

Министерство образования Республики Беларусь
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГРОДНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ЯНКИ КУПАЛЫ»

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Материалы XVIII республиканской научной конференции
аспирантов, магистрантов и студентов

(Гродно, 21 – 23 апреля 2010 г.)

ГРОДНО
ГрГУ им. Я. Купалы
2010

УДК 593.1(063)
ББК 22.3я43
Ф50

Редакционная коллегия:
Е.А. Ровба (отв. редактор), *В.А. Лиопо*, *А.В. Никитин*,
А.В. Медведь, *Т.С. Чикова*

Физика конденсированного состояния : материалы XVIII респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов (Гродно, 21 – 23 апр. 2010 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы ; редкол.: Е.А. Ровба (отв. ред.) [и др.] – Гродно : ГрГУ, 2010. – 398 с.
ISBN 978-985-515-265-2

В сборник включены доклады, в которых рассматриваются проблемы, отражающие связи между молекулярной структурой, составом, дефектностью и физическими свойствами различных веществ. Адресуется всем интересующимся вышеуказанными проблемами.

УДК 593.1(063)
ББК 22.3я43

© Учреждение образования
имени Янки Купалы», 2010

«Гродненский государственный университет

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

| | |
|--|----|
| Бачурина А.Ю., Саросек С.И. Теплопроводность полимерных композиционных материалов | 13 |
| Белоус В.В. Передача данных о температуре с защитой от ошибок | 15 |
| Боровских И.В. Математическое моделирование коррозионного износа толстостенной сферы под действием давления | 17 |
| Бруева К.В. Сравнительный анализ интенсивностей абсорбционных переходов трехвалентного празеодима в теллуридных стеклах | 18 |
| Бурунова О.Н. Моделирование скоротечной диффузии ионно-имплантированного бора | 21 |
| Бухалко Д.Н. Моделирование ультразвуковой системы микросварки методом конечных элементов | 23 |
| Волк Д.С. Генератор импульсов с переменной скважностью | 26 |
| Гедо А.Ч. Проект системы контроля температуры для АСУ | 28 |
| Гжимайло П.В. Расчет физических свойств жидкостей и газов | 30 |
| Гоман П.Н., Гайкович Е.Л. Распределение лучистого потока энергии вдоль плоского фронта теплоизлучающей поверхности | 32 |
| Горячева Е.Т. Оптимизация конструкции прецизионной технологической оснастки с применением CALS-технологий | 34 |
| Давыдовская В.В. Распространение двумерного супергауссова светового пучка в оптически активном фоторефрактивном кристалле $Bi_{12}TiO_{20}$ | 36 |
| Иоскевич Н.А. Макет лабораторной работы «АЦП одностадийного интегрирования» | 38 |
| Казак О.В., Семко А.Н. Вихревое движение расплава в сталеплавильных печах | 39 |
| Карпеня А.С. Восстановление продольной и поперечной сил, воздействующих на пульповое ядро, из экспериментальных данных | 42 |
| Клинецвич А.Ю. 12-разрядный АЦП с последовательным интерфейсом | 44 |
| Княжева Н.В. Моделирование межзельной диффузии бора в нанометровых слоях, созданных низкоэнергетической ионной имплантацией | 46 |
| Куликова Н.А., Семко А.Н. Влияние вязкости жидкости на параметры импульсного водомета | 48 |
| Куровский К.А., Скаскевич Ю.И. Перколяционные модели теплопроводности композиционной системы | 50 |
| Кухарев А.В. Колебания намагниченности под действием | |

| | |
|--|----|
| поляризованного по спину тока | 52 |
| Манько К.А. Обобщенные решетки | 55 |
| Овсейчик А.В. Модернизированный макет лабораторной работы «Устройство – выборки хранения» | 56 |
| Парковский В.В. Моделирование температурного профиля инфракрасного нагрева для пайки SMD | 58 |
| Саросек С.И., Бачурина А.Ю. Экспериментальные исследования эффективного коэффициента теплопроводности композита | 62 |
| Сельвич М.В., Колядко Ж.В. Распространение супергауссова пучка в керровской среде | 64 |
| Скаскевич Ю.И., Юркевич Ю.Ю. Алгоритмы генерирования фрактальных структур | 66 |
| Соколов Е.С. Поляризационные переключения и поляризационный гистерезис в полупроводниковых инжекционных лазерах | 68 |
| Ткаченко А.В. Влияние тепловой фазовой решетки на генерационные характеристики УКИ РОС-лазера на красителях | 70 |
| Трофимчик А.В. Организация вычислительного кластера на базе локальной сети | 73 |
| Чибирай М.С. О формировании в компрессорном плазменном потоке металлических кластеров | 75 |
| Янушко Е.А. Лабораторный стабилизированный источник питания | 76 |
| Ярыш Г.В. Математическое моделирование механохимической коррозии упругой трубы | 78 |
| Яцевич С.Ю., Яцевич И.В. Микроконтроллеры PSoC | 80 |

Секция 2. ИЗУЧЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

| | |
|---|----|
| Алесчик И.И. Влияние плотности катодного тока на выход по току сплава Zn – Ni из сульфатного электролита | 83 |
| Асташинская М.В. Структура медно-углеродных пленок, сформированных компрессионными эрозионными плазменными потоками | 85 |
| Баканов А.Г. Анализ спектров ГКР ультрамарина, адсорбированного на подложках слюды, напыленных серебром | 87 |
| Балинский А.Т. Анизотропия кристаллов и температура Дебая | 89 |
| Барышников С.С., Ежова Л.И., Борисов В.С., Барышников Д.С., Эйне Ю.Т., Краснов Д.А. Электретный эффект в конденсированных системах с полярной жидкой матрицей и электрически активными низкоразмерными частицами | 91 |

| | |
|--|-----|
| Башкиров С.А., Туровец А.И. Микроструктура тонких пленок сульфида олова, полученных методом «горячей стенки» | 94 |
| Белоусов Д.В. Исследование спектрально-люминесцентных характеристик красителей в жидких растворах и твердотельных композитных средах | 96 |
| Белый П.Н., Патапович М.П. Влияние техногенного загрязнения на химический состав коры ели обыкновенной (<i>Picea Abies</i>) | 98 |
| Борисов В.С., Шурыгина Н.А., Барышников С.С., Эйне Ю.Т., Трошев А.А., Ежова Л.И. Молекулярное упорядочение в полярных жидкостях, расположенных на заряженной твердой поверхности | 100 |
| Борская А.В. Исследование зависимости газочувствительных свойств сенсора от кристаллографической модификации диоксида титана | 103 |
| Бубешко Н.Н. Флуоресцентный метод определения концентрации пероксида водорода в водных растворах | 104 |
| Витус А.Ю. ГКР-спектры гемоглобина, адсорбированного на коллоидах серебра | 106 |
| Гайкович Е.Л. Поляризационные свойства комбигетированных кристаллов TGS | 108 |
| Глушения А.И., Размук А.А. Повышение чувствительности измерений в интерферометрии реверсивного сдвига | 110 |
| Горбачев Д.В. Диэлектрические свойства In_2Se_3 | 112 |
| Гусакова О.В. Тригук В.В. Тип химической связи в кристалле белого олова | 114 |
| Дубина Т.В., Кривченя Д.А., Котова Е.И., Якимчук Д.В. Синтез и физические свойства $(\text{Bi}, \text{A})\text{FeO}_3$ ($\text{A} = \text{La}, \text{Nd}, \text{Gd}$) мультиферроиков | 116 |
| Дубина Т.В., Кривченя Д.А., Котова Е.И., Якимчук Д.В. Диэлектрическая спектроскопия фононных состояний в феррите висмута | 119 |
| Заноза И.В. Изучение системы «поверхность слюды – поверхностная водная пленка» | 121 |
| Здоровец М.В., Абдрахметова А.А., Абуова Ф.У., Мухьшбаева А., Баймурзин Т., Юсупбекова Б. Поверхностные дефекты в LiF, облученном ионами ксенона, криптона и азота | 123 |
| Зеневич Г.В., Ясюнас А.А., Котов Д.А. Расчет тока эмиссии катода-компенсатора | 126 |
| Казак Л.А. Жидкокристаллические элементы для формирования пучков с радиальной и азимутальной поляризацией | 128 |
| Калганова Е.В. Измерение квантового выхода флуоресценции производных тиофлавина Т | 129 |
| Карабовский М.В. Структурно-фазовые изменения в инструментальных материалах, обработанных компрессионными плазменными потоками | 132 |

| | |
|--|-----|
| Ковальчук Н.В., Чернякова Е.В. Влияние условий анодирования на ИК спектроскопические свойства и структуру пористого анодного оксида алюминия | 133 |
| Ковгар В.В., Хотченкова Т.Г. Структура и спектрально-люминесцентные свойства «Квазикерамики», полученной из наночастиц CeO_2 :Tb в кремнеземной оболочке | 136 |
| Ковриго В.М., Черных А.Г. Барьерные слои в системе Cu – барьерный слой – Si | 140 |
| Козловский А.Н. Преобразование излучения с повышением частоты в молекулярных бихромофорах с гетероаннигиляцией | 141 |
| Козловский А.Л., Добрянский В.М. Магниторезистивный эффект в редкоземельных кобальтитах | 143 |
| Кривченя Д.А., Панасевич А.М. Диэлектрическая спектроскопия неэквивалентных состояний висмута в BaBiO_3 | 146 |
| Крылова Н.Г., Кузьменцова Т.П. Генерация активных форм кислорода фагоцитами при действии менадиона и коэнзимов Q_0 и Q_{10} | 148 |
| Кургузенков С.А. Спектральные свойства тиофлавина Т в полимерных пленках и интеркалированного в амилоидные фибриллы и ДНК | 151 |
| Лавыш Д.В., Алесчик И.И. Влияние рентгеновского излучения на рассеивающую способность электролита для получения сплавов Zn–Ni | 153 |
| Лебедев Н.В. Оценка размерной границы между нано- и макрофазами на основе адиабатического приближения | 155 |
| Лебедев Н.В., Янушкевич В.В. Сравнение температур Дебая графита и графана | 157 |
| Лицкевич А.Ю. Спектрально-кинетические свойства флуоресценции комплексов включения пирена с циклодекстринами | 159 |
| Логацкая М.А. Цитофлуориметрический анализ накопления и фототоксичности порфириновых сенсibilизаторов в лимфоцитах | 162 |
| Лойко П.А. Определение термооптических постоянных для анизотропных кристаллов ванадатов GdVO_4 и YVO_4 | 164 |
| Ляшенко Л.С., Тарасов Д.С. Особенности флуоресценции индотрикарбоцианинового красителя In Vivo | 167 |
| Мокиевец А.А., Черных А.Г. Структурные свойства бинарных и тройных сплавов алюминия | 169 |
| Мучковский А.В. Влияние препаратов, содержащих ионы лантана, на хемилюминесценцию фагоцитов крови | 171 |
| Нажим Ф.А., Харченко А.А. Оптические свойства полиимида, имплантированного ионами переходных металлов | 173 |

| | |
|---|-----|
| Николаевский А.Р. Оптимизация работы оптической схемы поляризаторного ослабителя | 175 |
| Павлюковец С.А. Диэлектрические свойства FeIn_2S_4 | 177 |
| Патапович М.П., Белый П.Н. Разработка методики определения послойного содержания элементов в растительных объектах методом лазерного спектрального анализа | 179 |
| Песецкий П.С. Исследование морфологии и оптических характеристик пленок поликристаллического кремния | 181 |
| Потреба В.В. Реологические характеристики термопластичных композиционных материалов, модифицированных наноразмерными частицами | 183 |
| Потреба В.В. Композиционные материалы на основе полипропилена, модифицированного дисперсными частицами стекла | 185 |
| Прокопенко В.В., Стеценко С.А., Хорольский А.В. О механизме вязкого течения фторпроизводных фенилметилсульфона | 187 |
| Рахмани С., Фадаян А.Р. Роль первого импульса в процессах абляции металлов двойными лазерными импульсами | 190 |
| Резниченко А.С. Дополнения к теореме Берто | 192 |
| Савицкая Е.С. Влияние процессов солубилизации на оптические свойства CdSe/ZnS наночастиц | 194 |
| Сазонко Г.Г. Исследование спектрально – люминесцентных свойств новых окси-кумариновых красителей | 196 |
| Сапешко В.В. Динамика электронных возбуждений в плазмонных наноконпозитах Ag/SiO | 198 |
| Сильванович Д.А. Структура CuInSe_2 пленок, полученных соиспарением | 199 |
| Станкевич А.В., Ханон Хайдер Камел. Фотоиндуцированное поглощение в кристаллах титана висмута при нано- и пикосекундном возбуждении | 201 |
| Стеценко С.А., Хорольский А.В., Прокопенко В.В. Применение эмпирических уравнений температурной зависимости вязкости к фторпроизводным метоксибензола | 204 |
| Стома Л.В. Исследование лазерной модификации сплавов и тонкопленочных покрытий методом рентгеновской флуоресценции | 206 |
| Таболитч А.Н. Причины возникновения электростатической мозаики на поверхности поликристаллических металлов | 208 |
| Тарасевич Ю.Г. Определение параметров обобщенной функции свойств веществ в зависимости от размеров частиц в нанодиапазоне по экспериментальным данным | 210 |
| Тарасов Д.С., Ляшенко Л.С., Самцова Е.М. Спектрально-люминесцентные свойства и фототоксичность новых водорастворимых фотосенсибилизаторов | 212 |

| | |
|---|-----|
| Тарасюк Н.С., Ермалицкая К.Ф. Лазерная спектроскопия стали, легированной Ti и Zr | 214 |
| Туровец А.И. Топография и смачиваемость поверхности графита, облученного ионами ксенона | 217 |
| Туровец А.И. Элементный состав графита, облученного ионами ксенона | 219 |
| Фадин С.Н. Температурная и геометрическая граница наноразмерности | 221 |
| Харитончик И.Н., Марголин Л.Н. Нелинейные свойства кристаллов TGS, легированных аминокислотами с различными R-группами | 223 |
| Хватюк Н.В., Васильевский С.А. Импульсная переполаризация дейтерированных кристаллов TGS, модифицированных фосфором и L-α аланином | 226 |
| Хомко В.И. Влияние наноконпозиционных покрытий на теплоизоляционные характеристики ячеистых бетонов | 228 |
| Хорольский А.В., Стеценко С.А., Хлопов А.М. Исследование температурной зависимости вязкости фторпроизводных фенилметилсульфида | 230 |
| Шайковская Н.Д., Шиманский В.И. Структура и микротвердость титана, облученного мощными ионными пучками | 233 |
| Шклейник В.О. Малогабаритный электроразрядный эксимерный лазер с искровой предыонизацией | 235 |
| Шурьгина Н.А., Кузнецова Г.А., Суворова Д.С., Щербаченко Л.А. Рентгенографическое исследование полиминеральных дисперсных систем | 237 |
| Янушкевич В.В. Углеродные соединения как модификаторы полимерных композитов | 239 |
| Ярмолич М.В., Петрукович А.И. Полярный механизм проводимости в нестехиометрическом $Y_3Fe_5O_{12}$ | 241 |

Секция 3. КОНДЕНСИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ В ТЕХНИКЕ

| | |
|---|-----|
| Амяга Д.В. Поверхностная обработка заэвтектического силумина плазменными потоками квазистационарного ускорителя | 244 |
| Баглай К.Э. Методы повышения безопасности эксплуатации прецизионной технологической оснастки | 246 |
| Белов Е.Г., Коновалов С.В., Загуляев Д.В., Громов В.Е. Выбор оптимальных режимов термомеханического упрочнения проката с целью формирования повышенного комплекса механических свойств | 248 |
| Бибик Н.В. Структурно-фазовые изменения в стали P18 под воздействием компрессионных плазменных потоков | 250 |

| | |
|---|-----|
| Ван Цзинце. Зеренная структура быстрозатвердевших фольг индия | 253 |
| Гей С.Л. Особенности развития остаточных двойников на начальных стадиях при действии концентрированной нагрузки в монокристаллах Vi и Zn | 256 |
| Гей С.Л., Ховатов П.А. Взаимодействие деформационных двойников с пластически деформированными зонами в монокристаллах цинка | 258 |
| Глубокий Д.С. Методы повышения эксплуатационного ресурса автомобильных амортизаторов | 260 |
| Данилюк М.А. Внутренние напряжения в нитриде циркония, перспективном материале ядерных реакторов четвертого поколения | 262 |
| Денисевич И.П. Методы повышения эксплуатационного ресурса тормозных камер | 264 |
| Жилко Л.В. Износостойкое покрытие для твердосплавных режущих пластин | 265 |
| Загуляев Д.В., Коновалов С.В., Филиппев Р.А., Невский С.А. Влияние слабого магнитного поля на пластическую деформацию Al | 267 |
| Загуляев Д.В., Филиппев Р.А., Громов В.Е. Анализ поверхностного слоя прокатных валков после плазменного упрочнения | 270 |
| Заерко Д.В. Распределение электромагнитных волн СВЧ-диапазона в управляемых структурированных средах | 272 |
| Ильчук О.Н., Саечников К.А. Исследование генерационных характеристик лазеров на органических соединениях в твердой матрице с лазерной накачкой | 275 |
| Кирия Л.Т. Исследование характеристик интегрированной ионно-плазменной системы | 276 |
| Климуть А.А. Блок управления зажиганием на базе микроконтроллера ATmega16 | 278 |
| Ковальчук Н.В., Мохамед Альхамруни Али. Влияние природы порошковых наполнителей на экранирующие свойства текстильных матриц | 280 |
| Комар Д.А. Поляризация анизотропия спектральных и энергетических характеристик внерезонаторного ВКР-лазера на кристалле $KGW:Nd$ | 283 |
| Комар А.А. Наносекундное и пикосекундное лимитирование лазерного излучения | 285 |
| Корнет Е.В., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е., Коновалов С.В. Формирование каналов деформации при сжатии закаленной конструкционной стали | 287 |

| | |
|---|-----|
| Костюкевич А.Г. Режимы работы дисперсионного спектрометра с микрозеркальной матрицей | 289 |
| Кудакцін Р.С., Петухоў Ю.А. Фармаванне сіліцыдаў цыркonia ўздзеяннем кампрэсійных плазмавых патокаў | 291 |
| Курочкина М.А., Комар А.А. Электрооптическое отклонение луча на основе жидкокристаллических ячеек | 293 |
| Лебедевич Д.Д. Гидрофобизированные лакокрасочные материалы для автомобильных агрегатов | 296 |
| Невский С.А., Коновалов С.В., Пономарева М.В., Громов В.Е. Влияние электрического потенциала на активационные параметры релаксации напряжений в алюминии | 298 |
| Никифоров Д.Ф. Пластичные смазки с наномодификаторами для тяжело нагруженных узлов трения автомобильных агрегатов | 300 |
| Ничипор А.И. Амортизирующие среды для автомобильных агрегатов повышенного ресурса | 301 |
| Орешко Ю.Н. Исследование механизма формирования водородосодержащего центра в кремнии, имплантированном ионами водорода | 303 |
| Павловский И.М. Методы повышения технических параметров запорной арматуры трубопроводов низкого давления | 305 |
| Палагина Ю.А. Постимплантационная эволюция радиационных дефектов в кремнии | 308 |
| Полоник В.Д., Струк А.В., Эйсымонт Е.И., Потреба В.В. Влияние фторсодержащих модификаторов на структуру и свойства резин | 310 |
| Полько Д.Д., Труханов С.В., Лобановский Л.С. Влияние добавки феррита-алюмината стронция $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ на коэрцитивную силу и другие характеристики постоянных изотропных магнитов из ферритов $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{12-x}\text{Co}_x\text{O}_{19}$ | 314 |
| Романов Д.А., Будовских Е.А., Громов В.Е. Особенности электровзрывного нанесения медных покрытий на алюминиевые контактные поверхности | 316 |
| Рутковский Е.Т. Изменение микротвердости медных электролитических покрытий, полученных в поле рентгеновского излучения | 318 |
| Солдатенко Е.А. Влияние плотности энергии электронных пучков на структуру и микротвердость твердого сплава | 320 |
| Солнцев М.А. Поведение водорода в быстрозатвердевших сплавах Al-Cr | 322 |
| Столбоушкина О.А., Коновалов С.В., Иванов Ю.Ф., Громов В.Е. Влияние электрического потенциала на эволюцию дефектной субструктуры алюминия при ползучести | 325 |
| Струк А.В., Чебель А.В., Эйсымонт Е.И., Потреба В.В. Методы модифицирования регенерированного полипропилена | 327 |
| Тимирханов Р.А., Антонов Н.Н., Гавриков А.В., Петров О.Ф., | |

| | |
|---|-----|
| Сидоров И.Ю. Экспериментальное исследование динамики макрочастиц при создании лазерным излучением вакансий в плазменно-пылевой структуре | 331 |
| Филиппев Р.А., Коновалов С.В., Столбоушкина О.А., Пономарева М.В. Влияние малых электрических потенциалов на микротвердость металлов и сплавов | 334 |
| Шиманский В.И. Структурно-фазовое состояние титана при воздействии электронных пучков | 336 |
| Эйсымонт Е.И. Зарядовое состояние низкоразмерных частиц модификаторов полимерных материалов | 338 |
| Яроцкий В.Ю. Обзор основных причин отказов мембранных тормозных камер | 340 |
| Ясонас А.А., Зеневич Г.В., Котов Д.А. Исследование импеданса разрядной системы индуктивно-связанной плазмы | 342 |

Секция 4. АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

| | |
|---|-----|
| Антончик А.Т. Организация самостоятельной деятельности учащихся и творческое саморазвитие при изучении физики | 345 |
| Беринчик Л.В., Вронко А.Ю. Определение скорости звука в воздухе методом стоячих волн | 347 |
| Бутя Л.В. Методика и технология подготовки учащихся к централизованному тестированию | 349 |
| Василевич А.А. Автоматизированный лабораторный практикум «Исследование скорости роста кристаллов» | 351 |
| Вронко А.Ю., Беринчик Л.В. Исследование свободного падения тел, определение ускорения свободного падения и вычисление скорости падения тел | 353 |
| Ермалицкая К.Ф. Двухимпульсная лазерная спектроскопия сталей и бронз: безкалибровочный метод | 355 |
| Zdorovets M.V., Abdrahmetova A.A., Abuova F.U., Nyshanbaeva I.N., Zhanuzak Zh.B. Verification of the reciprocity law between the intensity and duration of irradiation in LiF irradiated with 195 MeV Xe and 18 MeV n ions | 358 |
| Жарнова О.А. Физическое обоснование лордоза шейного отдела позвоночника | 360 |
| Жарнова О.А. Модель позвоночно-двигательного сегмента шейного отдела позвоночника | 363 |
| Завадская В.М. Изучение вопросов современной физики в средней школе | 365 |
| Иванчик О.Н. Методика разработки разноуровневых заданий для тестирования по физике | 368 |
| Калпота Е.А. Изучение явления рассеяния света в нелинейных средах в рамках факультативных занятий по физике в средней школе | 370 |

| | |
|--|-----|
| Кисель А.А. Реализация национального компонента в школьном курсе физики | 372 |
| Кухта Н.В. Проблемный метод как способ активизации познавательной деятельности учащихся | 374 |
| Нестерук Ю.А. Особенности получения нанослоев сульфида кадмия методом химического осаждения для солнечных элементов | 376 |
| Поплавная Т.В. Организация практических занятий по курсу общей астрономии для студентов | 378 |
| Поплавная Т.В. Практикум по курсу общей астрономии для студентов | 380 |
| Русак Н.Н. Разработка и систематизация методов решения задач по механике | 381 |
| Харченко А.А., Нажим Ф.А., Волобуев В.С. Лабораторная работа для специализации “Новые материалы и технологии” “Оптические характеристики наноструктурных композитов, синтезированных ионной имплантацией полимерных пленок” | 383 |
| Харазян О.Г., Казберук А.И. Методика организации лабораторного практикума по квантовой оптике в школьном курсе физики | 385 |
| Шетько А.П. Методика решения задач по физике в средней школе по курсу «Электродинамика» | 388 |
| Шукелович А.Э. Современное состояние использования информационных технологий в преподавании физики | 390 |
| Юрениа А.П. Математические методы в решении олимпиадных задач по физике | 392 |
| Яцевич И.В., Яцевич С.Ю. Основные положения и проблемы, связанные с разработкой и созданием виртуального лабораторного практикума | 394 |
| Яцевич И.В., Яцевич С.Ю. Разработка и создание виртуального лабораторного практикума «Основы радиоэлектроники» | 397 |

Секция 1

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ФИЗИКЕ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 541.64

А.Ю. Бачурина, С.И. Саросек

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предложен метод расчета коэффициента теплопроводности композиционных материалов. Выполнено сравнение расчетных и экспериментальных данных.

Для получения необходимых тепловых свойств полимеров используется внедрение различных наполнителей. При этом желательно заранее подсчитать возможные значения этих тепловых свойств создаваемых композиционных материалов.

В данной работе мы предлагаем метод расчета эффективной теплопроводности полимерных композиционных материалов с помощью метода конечных разностей. Этот метод мы уже описывали в более ранних работах [1].

Таблица

| n (в %) | λ_1 Вт/м·К | λ_2 Вт/м·К | $\lambda_{эксп}$ Вт/м·К | λ_2 (в отн. ед.) | $\lambda_{эксп}$ (в отн. ед.) | $\lambda_{расч}$ (в отн. ед.) |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Полистирол + MgO (280 К) | | | | | | |
| 2 | 0,175 | 28,8 | 0,206 | 164,6 | 1,18 | 1,08 |
| 6 | 0,175 | 28,8 | 0,340 | 164,6 | 1,94 | 1,28 |
| Полистирол + тальк (300 К) | | | | | | |
| 9 | 0,177 | 2,85 | 0,32 | 16,1 | 1,81 | 1,31 |
| 12 | 0,177 | 2,85 | 0,332 | 16,1 | 1,88 | 1,45 |
| 22 | 0,177 | 2,85 | 0,582 | 16,1 | 3,29 | 2,05 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------------------------|-------|---------|-------|---------|------|------|
| Полистирол + древесная мука (300 К) | | | | | | |
| 20 | 0,177 | 0,3-0,4 | 0,177 | 1,7-2,3 | 1 | 1,15 |
| 40 | 0,177 | 0,3-0,4 | 0,223 | 1,7-2,3 | 1,26 | 1,32 |
| 60 | 0,177 | 0,3-0,4 | 0,266 | 1,7-2,3 | 1,5 | 1,51 |

В таблице представлены результаты значений относительных эффективных коэффициентов теплопроводности различных композиций, полученных экспериментальным путем [2] и с помощью численного метода.

В таблице приняты следующие обозначения: λ_1 – коэффициент теплопроводности матрицы; λ_2 – коэффициент теплопроводности наполнителя; n – объемная концентрация наполнителя; $\lambda_{\text{экс}}$ – значение коэффициента теплопроводности, полученное экспериментальным путем, $\lambda_{\text{расч}}$ – значение коэффициента теплопроводности, полученное с помощью вычислений.

Как видно из таблицы, данные, полученные в эксперименте и численным методом отличаются. Это можно объяснить, во-первых, тем, что в модели не учитывается контактное сопротивление на границе матрица-наполнитель, во-вторых, необходимо учитывать способ распределения наполнителя в матрице. Кроме того, наличие наполнителя может существенно изменить структуру полимера, и тем самым его физические свойства.

В дальнейшем планируется модифицировать модель с учетом изложенных выше требований.

Список литературы

1. Бачурина, А.Ю. Расчет коэффициента теплопроводности композиционных систем / А.Ю. Бачурина // Физика конденсированного состояния: тез. докл. XVII Респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 16-17 апреля 2009 г.: / ГрГУ; редкол.: Е.А. Ровба [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2009. – С. 91–92.
2. Васильев, Л.Л. Теплофизические свойства пористых материалов / Л.Л. Васильев, С.А. Танаева. – Мн.: Наука и техника, 1971. – 268 с.

The method of calculation of factor of heat conductivity of composite materials is offered. Comparison calculated and experimental data is executed.

Бачурина Анна Юрьевна, аспирантка 1 года обучения физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы; Гродно, Беларусь, a.bachurina@grsu.by.

Саросек Станислав Иосифович, магистрант физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно Беларусь, s.sarosek@grsu.by.

Научный руководитель – *Никитин Александр Викторович*, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической физики, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, nik@grsu.by.

УДК 621.396

В.В. Белоус

ПЕРЕДАЧА ДАННЫХ О ТЕМПЕРАТУРЕ С ЗАЩИТОЙ ОТ ОШИБОК

В работе был предложен проект системы контроля температуры и ее электрическая схема проиммитирована в среде разработки Протеус.

В системах контроля состояния объектов конденсированных сред часто требуется осуществлять удаленный доступ к показаниям датчиков, накопление и передачу текущих значений физических величин на диспетчерский пункт. Для этой цели реализуется система преобразования измерительной информации и ее передачи через имеющейся канал связи. Рассмотрим структуру подобной системы, показанную на рисунке.

Разрабатываемая система, на передающей стороне, включает в себя такие входные устройства как Термодатчик, АЦП, осуществляющие регистрацию значений температуры контролируемого объекта и передачу его по каналу связи.

Для осуществления контроля ошибок при передаче информации по каналу связи в систему входит Кодер CRC (Cyclic Redundancy Check), осуществляющий добавление избыточных бит в цифровой сигнал. Для реализации структурной схемы системы контроля и передачи температуры в проекте используется Пик-контроллер Pic16F876 компании Microchip. Датчиком температуры служит полупроводниковый датчик ТС1 типа ТС1047, имеющий линейную характеристику и диапазон измеряемых температур от -40 до +125 °С .

Функция обратного преобразования: $T=(U-0.5)*100$ позволила отображать температуру на ЖКИ.

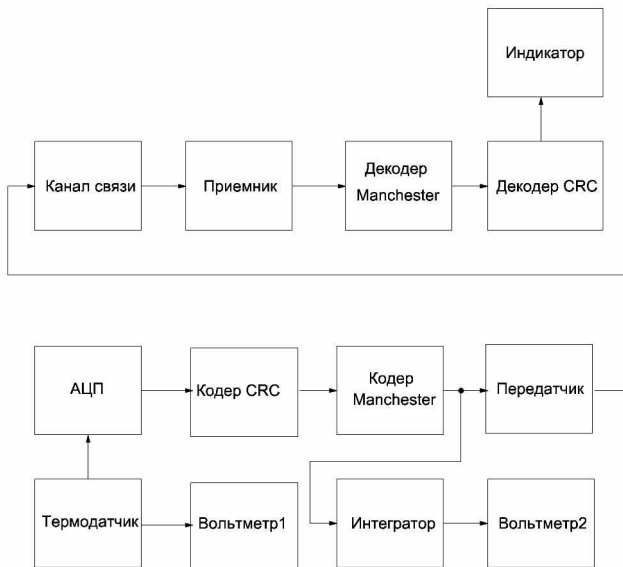


Рисунок – Система преобразования и передачи измерительной информации

Таким образом, в результате преобразования и кодирования был получен выходной сигнал длиной 64 элемента, который близок к случайному сигналу с величиной постоянной равной нулю.

A system for data error control with CRC has been proposed, i.e. the structural elements processes in it were elaborated for further Manchester encoding.

Белоус Вадим Владимирович – студент 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Ассанович Борис Алиевич*, кандидат технических наук, доцент кафедры ИСиТ, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, bas@grsu.by.

УДК 539.3

И.В. Боровских

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННОГО ИЗНОСА ТОЛСТОСТЕННОЙ СФЕРЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДАВЛЕНИЯ

В работе исследована равномерная механохимическая коррозия упругой толстостенной сферы под постоянным давлением. Задача сведена к решению обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка. Рассмотрено несколько частных случаев.

Рассматривается равномерный коррозионно-механический износ толстостенной сферической оболочки под действием внешнего и внутреннего давления. Материал сферы предполагается линейно упругим. Согласно результатам исследований на основе экспериментальных данных [1], скорость проникновения коррозии v линейно зависит от напряжений при превышении ими некоторого порогового значения σ^{th} :

$$v = [a + m\sigma] \exp(-bt), \quad |\sigma| > \left| \sigma^{\text{th}} \right|.$$

Здесь b , a , m – константы, определяемые опытным путем, причем $a = v^0 - m\sigma^{\text{th}}$, где v^0 – начальные скорости коррозии. Следует иметь в виду, что постоянные a , m , σ^{th} различны для растягивающих и сжимающих напряжений. Наилучшее совпадение с экспериментальными данными обеспечивается, если в качестве эквивалентного напряжения σ выбрать наибольшее нормальное напряжение [1]. Последний множитель в уравнении означает возможность затухания коррозии во времени при образовании плотной пленки продуктов коррозии.

В общем случае проблемы такого рода приводятся к решению системы связанных дифференциальных уравнений. В представленной работе задачу удалось свести к обыкновенному дифференциальному уравнению первого порядка относительно максимального нормального (т.е. окружного) напряжения. Аналогичное уравнение было выведено в

[2], где в качестве основной переменной использовалась интенсивность напряжений.

Наряду с полученными уравнениями выведены разрешающие уравнения относительно одного из радиусов сферы. Решение поставленной задачи получено в квадратурах. Рассмотрено несколько частных случаев поставленной задачи, которые доведены до конечных результатов.

Список литературы

1. Павлов, П.А. Прочность сталей в коррозионных средах / П.А. Павлов, Б.А. Кадырбеков, В.А. Колесников. – Алма-Ата: Наука, 1987. – 272 с.
2. Пронина, Ю.Г. Равномерная механохимическая коррозия полый сферы из идеального упругопластического материала под действием постоянного давления / Ю.Г. Пронина. – Вестн. С.-Петербург. гос. ун-та. Сер. 1: Математика, механика, астрономия, 2009. – Вып. 1. – С. 113–122.

In this work surface equal-rate mechanochemical corrosion of an elastic thick-walled sphere under dead pressure has been investigated. The problem has been reduced to the first-order ordinary differential equation. Some particular cases have been considered.

Боровских Инна Валериевна, аспирантка 1 года обучения факультета прикладной математики – процессов управления Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия, valerinna@yahoo.com.

Научный руководитель – *Пронина Юлия Григорьевна*, кандидат физико-математических наук; доцент, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, dearjuly@gmail.ru.

УДК 539.192

К.В. Бруева

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ АБСОРБЦИОННЫХ ПЕРЕХОДОВ ТРЕХВАЛЕНТНОГО ПРАЗЕОДИМА В ТЕЛЛУРИДНЫХ СТЕКЛАХ

Выполнено описание интенсивностей абсорбционных переходов в различных вариантах модифицированной теории, учитывающей влияние возбужденных конфигураций.

Теллуридные стекла $\text{TeO}_2 - \text{ZnO} - \text{WO}_3 - \text{TiO}_2 - \text{Na}_2\text{O}$, активированные ионами Pr^{3+} являются перспективными активными средами для твердотельных лазеров и усилителей в оптоволоконных технологиях. Широкомасштабные исследования теллуридных стекол предпринятые в последние годы объясняются уникальными физическими свойствами: температура стеклообразования $T_g = 380^\circ\text{C}$, температура кристаллизации $T_c = 555^\circ\text{C}$, температура плавления $T_m = 840^\circ\text{C}$, большое значение фактора стабильности и долговечности стекла $S = T_c - T_g = 175^\circ\text{C}$, большое значение линейного показателя преломления $n = 1.921$. Присутствие в составе теллуридного стекла ионов W приводит к образованию тетрагональных WO_4 и октаэдрических WO_6 структурных единиц. Наличие этих структурных групп обуславливает нелинейные оптические свойства стекол. Энергетический спектр Pr^{3+} в этом стекле обеспечивает конструирование лазеров, работающих в диапазоне 446–1940 нм. Причем нелинейно оптические эффекты обеспечивают апконверсионные механизмы накачки излучением 800 нм от диодного лазера. Не удивительно, что в работе [1] выполнен детальный экспериментальный и теоретический анализ интенсивностей абсорбционных переходов иона Pr^{3+} в теллуридном стекле. При этом было выяснено, что стандартная теория (приближение Джадда-Офельта [2,3]) не в состоянии корректно воспроизводить экспериментальные результаты.

В связи с этим в данной работе выполнен сравнительный анализ интенсивностей абсорбционных переходов с помощью различных модифицированных вариантов теории, учитывающих более корректно влияние возбужденных конфигураций.

Наибольшее распространение получила вариант модифицированной теории в приближении промежуточного конфигурационного взаимодействия [4]

$$S_{JJ'}^{\text{ed}} = e^2 \sum_{k=2,4,6} \Omega_k \left[1 + \frac{2R_k}{4} \left(E_{2J} + E_{4J'} - 2E_{43}^0 \right) \right] \langle \mathcal{U}^k \| U^k \| \mathcal{U}^{J'} \rangle^2, \quad (1)$$

где $S_{JJ'}^{\text{ed}}$ – сила линии электрического дипольного перехода, Ω_k – параметры интенсивности, $E_{\gamma l}$, $E_{\gamma l'}$ – энергии мультиплетов, включенных в переход, R_k – дополнительные параметры, обусловленные возбужденными конфигурациями.

Нами были выполнены расчеты по формуле (1) и по модифицированной теории [5], учитывающей влияние возбужденных конфигураций в приближении сильного конфигурационного взаимодействия.

Сделан вывод о наиболее адекватном приближении для описания интенсивностей абсорбционных переходов.

Список литературы

1. Lakshminarayana, G. Photoluminescence of Pr^{3+} -, Nd^{3+} - and Ni^{2+} -doped TeO_2 - ZnO - WO_3 - TiO_2 - Na_2O glasses / G.Lakshminarayana, H.Yang, J.Qiu // J. Alloys Compd. – 2009. – Vol. 475. – P. 569–576.
2. Judd, B.R. Optical Absorption Intensities of Rare-Earth Ions / B.R. Judd // Phys. Rev. – 1962. – Vol. 127, № 3. – P. 750–761.
3. Ofelt, G.S. Intensities of crystal spectra of rare-earth ions / G.S. Ofelt // J. Chem. Phys. – 1962. – Vol.37, №3. – P. 511–520.
4. Кorniенко, А.А. Dependence of the line strength of f - f transitions on the manifold energy. II. Analysis of Pr^{3+} in $\text{KPrP}_4\text{O}_{12}$ / А.А. Кorniенко, А.А. Каминский, Е.В. Дунина // Phys. Stat. Sol.(b). – 1990. – Vol. 157, № 1. – P. 267–273.
5. Кorniенко, А.А. Теория интенсивностей электрических дипольных переходов в приближении сильного конфигурационного взаимодействия / А.А. Кorniенко, Е.В. Дунина, В.Л. Янкевич // Опт. и спектр. – 1996. – Т.80. – С. 871–874.

The description of absorption intensity transitions in various variants of the modified theory considering influence of excited configurations is executed.

Бруева Кристина Владимировна, студентка 2 курса Витебского государственного технологического университета, Витебск, Беларусь, l.dun@mail.ru.

Научный руководитель – *Дунина Елена Брониславовна*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной математики, Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь, l.dun@mail.ru.

УДК 539.219.3

О.Н. Бурунова

МОДЕЛИРОВАНИЕ СКОРОТЕЧНОЙ ДИФФУЗИИ ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННОГО БОРА

Проведено моделирование процесса перераспределения ионно-имплантированного бора в кремнии в результате отжига длительностью 60 минут при температуре 750°C.

Скоротечная диффузия бора при термообработке ионно-имплантированных слоев кремния является важнейшей областью научных исследований в силу необходимости постоянного уменьшения характерных размеров элементов интегральных микросхем. Наиболее сложным является случай имплантации средних доз ионов ($\sim 10^{14} \text{ см}^{-2}$), когда максимальная концентрация атомов примеси близка к пределу растворимости бора в кремнии [1].

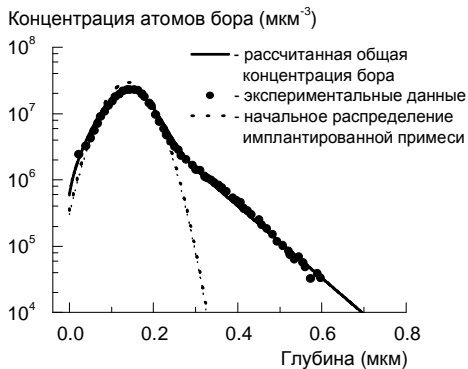


Рисунок – Рассчитанный профиль распределения концентрации атомов ионно-имплантированного бора после термообработки длительностью 60 минут при температуре 750°C. Экспериментальные данные из работы [1]

В представленной работе проведено моделирование процесса перераспределения имплантированного бора в Si в результате отжига

длительностью 60 минут при температуре 750°C. Для сравнения использовались экспериментальные данные [1], полученные для случая имплантации бора с энергией 40 кэВ и дозой $3 \times 10^{14} \text{ см}^{-2}$. Результаты расчета представлены на рисунке. Как видно из рисунка, максимальное значение концентрации бора после имплантации $C_m = 2.55 \times 10^7 \text{ мкм}^{-3}$ близко к пределу растворимости бора в кремнии $C_{\text{sol}} = 2.33 \times 10^7 \text{ мкм}^{-3}$ для температуры 750°C. Для объяснения явления формирования протяженного “хвоста” в области низкой концентрации бора, как и в [2], используется предположение о длиннопробежной миграции неравновесных межузельных атомов примеси. Однако в данной работе считается, что происходит непрерывная генерация неравновесных межузельных атомов. При расчете были использованы следующие значения параметров имплантации и межузельной диффузии бора: $R_p = 0.14 \text{ мкм}$; $\Delta R_p = 0.047 \text{ мкм}$; $l_{AI} = 0.08 \text{ мкм}$; $p = 41.8\%$. Здесь R_p и ΔR_p – средний проективный пробег иона и страгглинг этого пробега соответственно; l_{AI} – средняя длина пробега межузельных атомов бора; p – доля атомов примеси, переходивших в межузельное положение. Как видно из Рисунка 1, рассчитанный профиль распределения атомов бора хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Список литературы

1. Huang, M.B. Effects of phosphorus doping on boron transient enhanced diffusion in silicon / M.B. Huang, T.W. Simpson, I.V. Mitchell // Appl. Phys. Lett. – 1997. – V. 70. – № 9. – P. 1146–1148.
2. Бурунова, О.Н. Моделирование длиннопробежной диффузии межузельных атомов бора / О.Н. Бурунова // Физика конденсированного состояния: тез. докл. XVII Респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 16-17 апреля 2009 г. / редкол.: Е.А. Ровба (отв. ред.) [и др.]. Гродно: ГрГУ, 2009. – С.79–80.

Modeling of transient enhanced diffusion of ion-implanted boron in Si during thermal annealing for 60 minutes at a temperature of 750°C has been carried out.

Бурунова Ольга Никифоровна, студентка 3 курса факультета информационных технологий и управления, Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, olga-burunova@yandex.ru.

Научный руководитель – *Величко Олег Иванович*, доктор физико-математических наук, доцент кафедры физики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, oleg_velichko@cosmostv.by.

УДК 621.3.049.772

Д.Н. Бухалко

МОДЕЛИРОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СИСТЕМЫ МИКРОСВАРКИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Рассмотрен процесс моделирования значений и форм собственных частот ультразвуковой системы микросварки методом конечных элементов.

При сборке изделий электронной техники одним из наиболее распространенных способов электрического соединения между контактными площадками кристалла и выводами корпуса является соединение с помощью проволочных и ленточных выводов, что объясняется высокой автоматизацией процесса, универсальностью по отношению к различным технологическим вариантам производства и геометрическим размерам изделий. Среди основных методов микросварки, таких как термокомпрессионная, ультразвуковая, термозвуковая, расщепленным электродом наиболее широкое распространение получила ультразвуковая ввиду возможности соединения широкого круга материалов и высокой прочности соединений.

Основой любой установки микросварки является ультразвуковая система, включающая: ультразвуковой генератор и ультразвуковой преобразователь (УЗП), преобразующий электрическую энергию в энергию механических колебаний. Конструкция УЗП состоит из следующих составных частей (рис.1): пьезоэлектрического вибратора 1, состоящего из 4-х пьезокерамических колец, стянутых между собой шпилькой с металлическими накладками; цилиндрического держателя 2, закрепленного в узле волновода 3 и предназначенного для крепления

УЗ системы в сварочной головке установки. На конце волновода закреплен микроинструмент 4 с помощью торцевого зажима.

Для моделирования УЗ технологической системы микросварки, имеющей сложную геометрическую конфигурацию и нерегулярную физическую структуру, применен метод конечных элементов (МКЭ), основными преимуществам которого является доступность и применимость для задач с произвольной формой области решения с помощью высококачественных универсальных компьютерных программ. Основой метода является возможность разложить любую непрерывную функцию в бесконечный ряд по некоторым базисным функциям. Таким образом, существуют функции, удовлетворяющие определенным требованиям, по которым любую функцию $f(x)$ можно представить на отрезке $[a; b]$ в виде:

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k \psi_k(x); \quad x \in [a; b] \quad (1)$$

где a_k – константы, зависящие от отрезка, базисных функций и функции $f(x)$.

Аппроксимация заключается в выборе базисных функций и последующим поиске коэффициентов a_k из предположения:

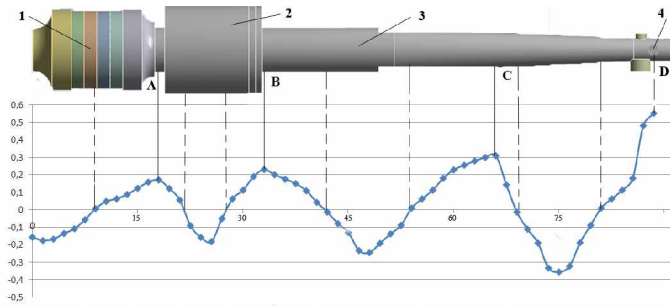
$$f(x) = \sum_{k=0}^K a_k \psi_k(x). \quad (2)$$

В качестве инструмента для моделирования применен комплекс конечно-элементного анализа ANSYS, с помощью которого построена модель, на основании которой были определены значение и формы собственных частот УЗ технологической системы микросварки в ультразвуковом диапазоне частот (таблица).

Таблица. Собственные частоты и амплитудные значения колебаний УЗ системы

| Частота, Гц | A_{\max} , МКМ | A_{\min} , МКМ |
|-------------|------------------|------------------|
| 61490 | 0,63 | -0,54 |
| 62233 | 0,537 | -0,416 |
| 66233 | 2,764 | -0,183 |
| 67623 | 0,043 | -0,042 |
| 72459 | 1,24 | -1,56 |
| 74971 | 2,37 | -1,306 |

Наибольшая амплитуда колебания инструмента соответствует частоте УЗ сварки равной 66233 Гц, распределение формы волны для которой представлено на рис. 1. На остальных частотах наблюдалось аксиальное распределение волны, которое не приемлемо для УЗ сварки



**Рисунок 1 – Распределение формы волны на частоте 66233 Гц вдоль оси X:
1 – пьезоэлектрический вибратор, 2 – держатель, 3 – волновод, 4 – микроинструмент**

Из рис. 1 следует, что амплитуда растет при распространении УЗ волны вдоль всего устройства за счет усилительных свойств концентратора и согласования элементов всей системы.

Динамические характеристики УЗ системы проверялись на сканирующей лазерной системе мод. PSV-400 Polytec, предоставленной для теста компанией НОВАТЕСТ (Москва). Распределение амплитуды колебания вдоль УЗ системы показало, что резонансная частота составляет 66,2 кГц, а амплитуда колебаний инструмента составляет 1,0–1,5 мкм. Внешний вид соединения алюминиевой проволоки диаметром 30 мкм к золоченой подложке показан на рис.2.

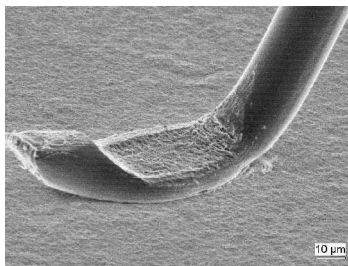


Рисунок 2 – Внешний вид сварного соединения алюминиевой проволокой диаметром 30 мкм

Микросварные соединения имели прочность 11–14 г для проволоки диаметром 30 мкм с исходным разрывным усилием 20–21 г и относительным удлинением ~ 1%.

Таким образом, моделирование собственных частот и усилительных свойств УЗ системы микросварки позволило обеспечить согласование отдельных элементов системы и достичь высокой прочности микросварных соединений.

Список литературы

1. Design of a Smart Ultrasonic Transducer for Interconnecting Machine Applications / Tian-Hong Yan and est. // Sensors. – 2009. – № 9. –Р. 4986 –5000.

Process of modeling of values and forms of own frequencies of ultrasonic system microwelding is considered by finite element model.

Бухалко Денис Николаевич, студент 5-го курса факультета компьютерного проектирования, Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, bukhalko@gmail.com.

Научный руководитель – *Ланин Владимир Леонидович*, доктор технических наук, профессор кафедры электронной техники и технологии, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, vlanin@bsuir.by.

УДК 621.382

Д.С. Волк

ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ С ПЕРЕМЕННОЙ СКВАЖНОСТЬЮ

Разработано и изготовлено устройство для изучения принципов широтно-импульсной модуляции (ШИМ). В основе конструкции лежит генератор прямоугольных импульсов переменной скважности. В качестве нагрузки используется лампа накаливания.

Изготовленный генератор импульсов с переменной скважностью (см. рисунок) собран на КМОП-микросхеме DD1 K561ЛН2 [1]. Частота генератора зависит от емкости конденсатора С1 и, незначительно, от

емкости монтажа и экземпляра микросхемы. С выхода элемента DD1.3 управляющий сигнал через резистор R2 поступает на базу транзистора VT1, работающего в ключевом режиме. Сквозность, т. е. отношение периода следования импульсов к длительности напряжения высокого уровня на выходе логического элемента DD1.3, может изменяться резистором R1 от 1 до нескольких сотен. При этом частота импульсов изменяется незначительно. Стабилизатор напряжения KP142EH5B обеспечивает постоянное напряжение питания микросхемы DD1, что уменьшает вероятность ее выхода из строя.

Изготовленное устройство планируется использовать в лабораторном практикуме по курсу «Основы автоматизации эксперимента» для демонстрации принципов широтно-импульсной модуляции при выполнении лабораторной работы «Интегрирующие ЦАП».

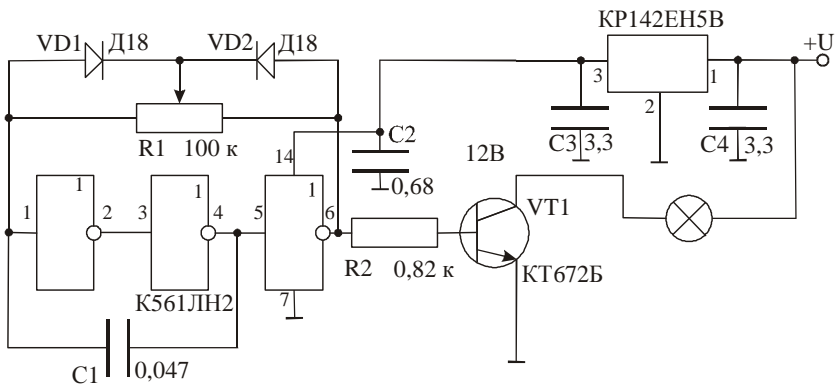


Рисунок – Принципиальная схема генератора прямоугольных импульсов с переменной сквозностью

Список литературы

1. Цифровые интегральные микросхемы: Справочник / М.И. Богданович, И.Н. Грель, В.А. Прохоренко, В.В Шалимо. – Мн.: Беларусь, 1991. – 493 с.

Designed and manufactured a device for studying the principles of pulse-width modulation (PWM). The basis of the construction is a generator of rectangular pulses of variable duty cycle. As the load using a filament lamp.

Волк Дарья Сергеевна, студентка 4 курса, физико-технического факультета, Гродненского государственного университета имени Янки Купалы; Гродно, Беларусь, volkda88@mail.ru.

Научный руководитель – *Герман Андрей Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы; Гродно, Беларусь.

УДК 621.396

А. Ч. Гедо

ПРОЕКТ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ АСУ

Предложен проект автоматизированной системы контроля. Ее электрическая схема была просимулирована в среде Proteus IDE

В системах контроля состояния объектов конденсированной среды часто требуется осуществлять как установку заданных значений температуры, так и измерение их текущих величин. Для эффективного управления систем имеется необходимость реализации управления различными механизмами, такими как двигатели, заслонки, нагреватели и т.д.

Разрабатываемая система контроля реализуется на основе Пик-контроллера и показана на рисунке 1.

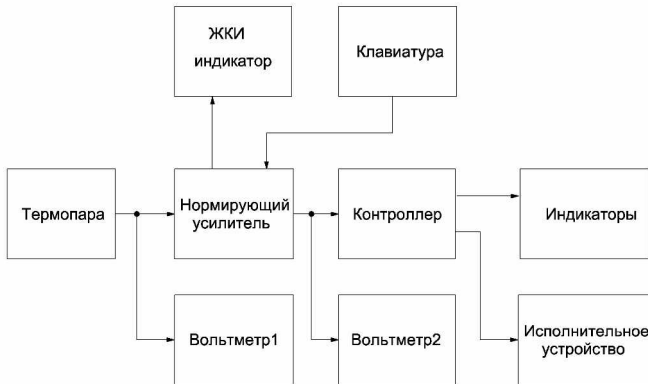


Рисунок 1 – Структурная схема системы контроля температуры

В разработанную систему контроля входят Термопара, с выхода которой сгенерированная термоэдс поступает на Нормирующий усилитель, усиливающий выходной сигнал Термопары до необходимого значения, позволяющего реализовать его аналого-цифровое преобразование при помощи Контроллера. Для реализации структурной схемы системы контроля температуры был выбран контроллер Pic16F876. Датчиком температуры служит термопара TC1 типа ТСК, выполненная на основе сплава хромель-копель. Для проверки работы было произведено тестирование модели температурного измерителя (рис.2.) в среде Proteus IDE.

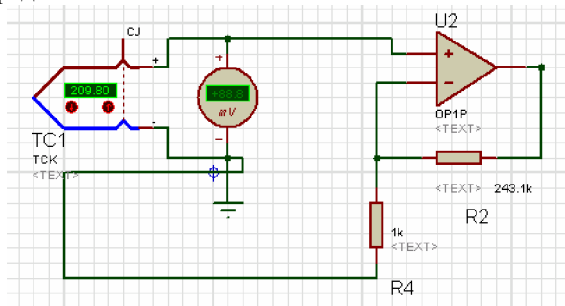


Рисунок 2 – Принципиальная схема датчика температуры

Моделирование работы измерителя температуры показало, абсолютная погрешность измерения температуры может составить 0.2 С в диапазоне от 0 до 250 С, что объясняется погрешностью преобразования и установки параметров входных цепей схемы, модель которых приведена на рис.2.

The project of automatic system for temperature control has been proposed. Its electrical scheme with the use of Proteus IDE was simulated.

Гедо Анатолий Чеславович, студент 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Ассанович Борис Алиевич*, кандидат технических наук, доцент кафедры информационных систем и технологий, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, bas@grsu.by.

УДК 675.017.62

П.В. Гжимайло

РАСЧЕТ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

В данной работе рассмотрены и проанализированы наиболее удобные и достоверные методы расчета свойств газов и жидкостей. Рассчитывается плотность газов и смесей газов, коэффициент динамической и кинематической вязкости, коэффициент теплопроводности, идеально-газовая и изобарная теплоемкость, давление насыщенных паров.

Без данных о свойствах материалов или рабочих тел, участвующих в рассматриваемом процессе или образующих элементов проектируемых устройств, не возможен ни один научный расчет. Однако сводки данных, обобщаемых в справочниках, не обеспечивают потребителей полной информацией. Часто требуется знание свойств при температурах и давлениях, выходящих за пределы изученной области. В связи с этим весьма важно уметь прогнозировать (рассчитывать) свойства веществ по неполным или косвенным данным.

Цель данной работы, рассмотреть и систематизировать более точные методы расчета свойств жидкостей и газов при различных

условиях. Причем, идеальная система расчета физико-химических свойств должна соответствовать условиям: 1) выдавать надежные физические и термодинамические данные для чистых веществ и их смесей при любых температурах и давлениях; 2) указывать агрегатное состояние; 3) обходиться минимальным количеством входных данных; 4) выбирать путь расчета, приводящий к минимальной ошибке; 5) указывать возможную ошибку; 6) минимизировать время расчета.

В ходе выполнения работы рассмотрены и проанализированы наиболее удобные и достоверные методы расчетов различных параметров. Плотность газов и смесей газов рассчитывается по уравнению Соаве-Грабосски-Дауберта. Коэффициент динамической вязкости газа рассчитывается на основе потенциалов Леннарда-Джонса (неполярные газы) и Штокмайера (полярные газы). Коэффициент динамической вязкости жидкости по методам Морриса и Леца-Стила. Коэффициент теплопроводности жидкости рассчитывается по методу Сато-Риделя. Коэффициент теплопроводности газов рассчитывается по методу Стила и Тодоса. Изобарная теплоемкость рассчитывается по методу Ли-Кеслера. Идеально-газовая теплоемкость рассчитывается по полуэмпирическим уравнениям. Давление насыщенных паров рассчитывается по уравнению Питцера. Для каждого метода указана относительная погрешность и пределы применения. Если имеются достаточно надежные данные о веществе, то и свойства могут быть вычислены достаточно точно. Расчеты выбраны таким образом, что в последствие их удобно будет использовать при вычислении на ЭВМ, что заменит многочисленные справочные пособия по свойствам веществ.

Такое программное приложение должно быть полезно научным работникам и инженерам, разрабатывающим или совершенствующим процессы промышленной технологии или оборудование для их проведения. Полезно преподавателям, аспирантам и студентам вузов. В дальнейшем, есть перспектива размещения такой программы на сайте факультета.

Список литературы

1. Рид, Р. Свойства газов и жидкостей: справочник / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд; пер. с англ. под ред. Б. И. Соколова. – перераб. и доп. – Л.: Химия, 1982. – 592 Нью-Йорк, 1977.

2. Уэйлес, С. Фазовые равновесия в химической технологии: 2-х ч. 4.1 / С. Уэйлес; пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 304 с, ил.

In the given work the most convenient and authentic methods of calculation of properties of gases and liquids are considered and analysed. The density of gases and mixes of gases, factor of dynamic and kinematic viscosity, heat conductivity factor, ideal-gas and isobar thermal capacity, pressure of sated steam are expected.

Гжимайло Петр Валентинович, студент кафедры теоретической физики, физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, petrik88@rambler.ru.

Научный руководитель – *Никитин Александр Викторович*, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической физики, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, nik@grsu.by.

УДК 536.331

П.Н. Гоман, Е.Л. Гайкович

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛУЧИСТОГО ПОТОКА ЭНЕРГИИ ВДОЛЬ ПЛОСКОГО ФРОНТА ТЕПЛОИЗЛУЧАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

В приближении Ламбертового источника излучения рассчитана локальная интегральная плотность теплового потока испускаемого плоской тепловыделяющей поверхностью

Процессы, связанные с контролем и управлением радиационной передачи энергии присутствуют во многих технологических циклах, к которым можно отнести синтез монокристаллов, перераспределение тепловых потоков с целью рационального обогрева помещений, разработку систем противопожарной защиты [1, 2]. Во всех случаях при наличии протяженных тепловыделяющих источников зачастую требуется определить составляющие локального теплового потока в заданной точке. В работе представлены результаты аналитического расчета и компьютерного моделирования распределения локальной плотности потока лучистой энергии от плоской тепловыделяющей поверхности.

Плотность лучистого потока энергии, создаваемого нагретой поверхностью определена для плоскости шириной $\Delta x = x_2 - x_1$ и высотой $\Delta y = y_2 - y_1$. Рассмотрение выполнено в предположении, что посылаемый поток по всем направлениям одинаков, т.е. излучающая поверхность по лучистой яркости отвечает Ламбертовому источнику. В локальной точке наблюдения на расстоянии L от излучающей поверхности определена составляющая плотности потока параллельная излучающей поверхности. Указанная геометрия в частности может быть адаптирована для расчета тепловых напоров на напочвенный покров при наличии плоского фронта пламени в случае пожара. При расчете учитывалась величина видимого элементарного участка на тепловыделяющей плоскости из точки наблюдения, а также эффективная величина участка поверхности, подвергнутой облучению вдоль заданного направления. Затем производилось суммирование вкладов от всех элементарных участков по плоскости тепловыделения.

Установлен закон распределения локальной плотности теплового потока в зависимости от ширины, высоты фронта тепловыделения, положения точки наблюдения по высоте и по фронту, расстояния от точки наблюдения до плоскости тепловыделения. Вышеуказанное распределение отвечает сумме тригонометрических функций, а именно арктангенсу с аргументом $\frac{x}{L}$ и $\frac{x}{\sqrt{h^2 + L^2}}$. В целом, функция арктангенс является слабо зависимой от своего аргумента и при его изменении от $-\infty$ до $+\infty$ варьируется от $-\frac{\pi}{2}$ до $\frac{\pi}{2}$. Это означает, что плотность потока тепла достаточно слабо зависит от размеров тепловыделяющего фронта и расстояния.

Список литературы

1. Система стандартов безопасности труда: ГОСТ 12.1.004-91 // Пожарная безопасность. Общие требования. – М.: Министерство внутренних дел СССР, Министерство химической промышленности СССР, 1992. – 78 с.
2. Кошмаров, Ю.А. Теплотехника / Ю.А. Кошмаров. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 501 с.

The local integrated density of the heat flow radiated from plane heat emitting surface has been calculated as an approximation to Lambert source.

Гоман Павел Николаевич, преподаватель Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь, Минск, Беларусь, g_pn83@mail.ru.

Гайкович Елена Леонидовна, студентка 4 курса Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка, Минск, Беларусь.

Научные руководители – *Соболь Валерий Романович*, доктор физико-математических наук, доцент, Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка, Минск.

Янцук Виктор Иосифович, кандидат физико-математических наук, доцент, Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка, Минск, Беларусь, uwi@bspu.unibel.by.

УДК 629.33:004.94

Е.Т. Горячева

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПРЕЦИЗИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАТКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ CALS-ТЕХНОЛОГИЙ

В условиях рыночной экономики конкурентную борьбу успешно выдерживают только предприятия, применяющие в своей деятельности современные информационные технологии (ИТ), в частности CALS-технологии.

В современной промышленности ни одно высокоточное изделие не может быть произведено без прецизионного оборудования и прецизионной технологической оснастки.

В связи с быстрыми темпами роста промышленности и компьютерных технологий конкурентную борьбу выдерживают только те предприятия, которые успешно осваивают новейшие технологии. Также жизнеспособность предприятия зависит от того как быстро оно способно проектировать (или оптимизировать) изделие. Для решения данной задачи во всем мире широко используются CALS-технологии.

CALS-технологии становятся главным условием делового партнерства, выбора поставщиков, проведения тендеров, заключения контрактов во многих и, в первую очередь, высокотехнологичных отраслях, где большое число организаций участвуют в поставках комплектующих, сырья, материалов, используемых для производства продукции.

Сегодня CALS-технологии представляют собой технологии создания, обмена, управления и использования электронных данных, поддерживающих полный жизненный цикл продукта.

Применение CALS-технологий в процессах проектирования технологической оснастки позволяет существенно сократить объемы проектных работ, облегчить решение проблем ремонтпригодности, интеграции продукции в различного рода системы и среды, адаптации к меняющимся условиям эксплуатации, специализации проектных организаций и т.п.

Для проектирования и оптимизации прецизионной технологической оснастки используются различные конструкторские пакеты, позволяющие не только создать 3D-модель, но и провести компьютерные испытания.

Так на стадии проектирования возможно применение таких программных пакетов, как, SolidWorks, Pro/ENGINEER, LsPrePost и Ls-Dyna. Также используя компьютерные технологии создаются заводские базы конструкторской и технологической документации.

В качестве примера использования CALS-технологий можно привести компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния сопрягаемых деталей (сборки) прецизионной технологической оснастки, самоцентрирующегося токарного патрона, выпускаемого РУП «БелТАПАЗ». Моделирование проводили с целью выявления в конструкции технологической оснастки опасных сечений, мест подверженных действию высоких нагрузок. Проанализировав результаты компьютерного моделирования, определили направления конструкторского, технологического, а также материаловедческого совершенствования выпускаемых самоцентрирующихся токарных патронов.

Список литературы

1. Норенков, И.П. Информационная поддержка наукоемких изделий. CALS-технологии / И.П. Норенков, П.К. Кузьмик. – М.: МГУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 320 с.
2. Михайлов, В. Опаздывая с CALS-технологиями, рискуем отстать навсегда / В. Михайлов // Национальная экономическая газета [Электронный ресурс]. – 2006. – № 10. – Режим доступа: http://www.neg.by/publication/2006_02_03_6684.html. – Дата доступа: 12.11.2009.
3. Кондаков, А.И. САПР технологических процессов: учебник / А.И. Кондаков. – М.: «Академия», 2007. – 272 с.

In a market economy to compete successfully withstand only businesses applying in their work of modern information technology (IT), in particular, CALS-technologies.

Горячёва Евгения Тимофеевна, студентка 5 курса факультета строительства и транспорта Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Республика Беларусь, frezaz@yandex.ru.

Научный руководитель – *Кравченко Виктор Иванович*, кандидат технических наук; профессор кафедры МиРТ, директор ОАО «Белкард», Гродно, Беларусь.

УДК 535.3

В.В. Давыдовская

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ДВУМЕРНОГО СУПЕРГАУССОВА СВЕТОВОГО ПУЧКА В ОПТИЧЕСКИ АКТИВНОМ ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$

Теоретически исследовано влияние оптической активности на распространение двумерного супергауссова светового пучка в фоторефрактивном кристалле ВТО.

В ряде работ исследовано распространение световых пучков в оптически активных фоторефрактивных кристаллах, например, [1, 2], однако в статьях в основном рассматриваются гауссовы световые пучки.

Мы представляем результаты теоретического исследования распространения двумерного светового пучка с супергауссовым распределением интенсивности на входе в кристалл ВТО.

При моделировании использовались следующие параметры: показатель преломления $n_0 = 2.54$, электрооптический коэффициент $\gamma_{41} = 5 \cdot 10^{-12}$ м/В, удельное вращение кристалла $\rho = 6$ град/мм, длина кристалла 15 мм, $\lambda = 0.6328$ мкм, входная плоскость кристалла $(\bar{1} \bar{1} 0)$, внешнее электрическое поле $E_0 = 2$ кВ/см. Относительная интенсивность в перетяжке описывается выражением $I = (I_0 / I_d) \cdot \exp\left(-\left(x^N + y^N\right) / r_0^N\right)$, где $r_0 = 22$ мкм – радиус пучка в перетяжке, I_d – темновая интенсивность, $I_0 = 1$ – максимальное

значение относительной интенсивности ($I_0 = I_d$), $N = 8$ – порядок супергауссова пучка.

Предположим сначала, что пучок имеет x-поляризацию, то есть вектор напряженности электрического поля световой волны направлен вдоль вектора внешнего электрического поля \vec{E}_0 .

На рисунке рассмотрено явление самофокусировки пучка на выходе из кристалла при ориентационном угле $\theta \approx 35.3$ ($E_0 \parallel [1\bar{1}\bar{1}]$). В этом случае без учета оптической активности (рис. а – в) максимальная интенсивность светового пучка возрастает в 2.6 раза и он сильно сужается (рис. а) перекачка интенсивности из x-поляризации (рис. б) в y-поляризацию (рис. в) не наблюдается. С учетом оптической активности (рис. г – е) для $\rho = 6$ град/мм можно видеть, что максимальная интенсивность светового пучка на выходе из кристалла меньше, чем в случае без учета оптической активности и возрастает в 2.4 раза (рис. г), также наблюдается перекачка интенсивности из x-поляризации (рис. д) в y-поляризацию (рис. е).

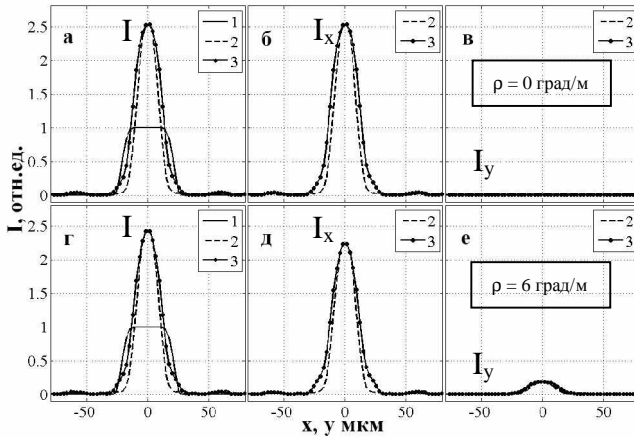


Рисунок – Пространственное распределение интенсивности света на выходе из кристалла с входной x-поляризацией для $\theta \approx 35.3$ (а – в) – без оптической активности; (г – е) – с оптической активностью; 1 – сечение входного светового пучка в точке максимума; 2 – сечение суммарной интенсивности, x и y - поляризованных компонент интенсивности на выходе из кристалла в точке максимума вдоль оси x; 3 – сечение суммарной интенсивности, x и y - поляризованных компонент интенсивности на выходе из кристалла в точке максимума вдоль оси y.

Список литературы

1. Шепелевич, В.В. Влияние оптической активности на самофокусировку световых пучков в кубических фоторефрактивных кристаллах // В.В. Шепелевич, Р. Коваршик, А. Кислинг, В. Матусевич, А.А. Голуб // Квантовая электроника. – 2003. – Т. 33, № 5. – С. 446–451.
2. Шепелевич, В.В. Влияние оптической активности на распространение двумерных пространственных солитонов в кубических фоторефрактивных кристаллах / В.В. Шепелевич, А.Е. Загорский, Р. Коваршик, А. Кислинг, В. Матусевич // Квантовая электроника. – 2007. – Т. 37. – № 4. – С. 353–357.

We present the results of the theoretical investigations of the propagation of two-dimensional super-Gaussian light beams in ВТО crystal.

Давыдовская Валентина Владимировна, аспирант Мозырьского государственного педагогического университета имени И.П. Шамякина, Мозырь, Беларусь, davalenta@inbox.ru.

Научный руководитель – *Шепелевич Василий Васильевич*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики, Мозырьский государственный педагогический университет имени И.П. Шамякина, Мозырь, Беларусь. vasshep@inbox.ru.

УДК 681.335

Н.А. Иоскевич

МАКЕТ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «АЦП ОДНОСТАДИЙНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ»

Разработан простой макет лабораторной работы «АЦП одностадийного интегрирования», используемый в лабораторном практикуме «Основы автоматизации эксперимента» студентами физических специальностей.

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП) получили широкое распространение в современных системах автоматизации. Одним из наиболее простых и широко используемых видов АЦП являются преобразователи, построенные по принципу одностадийного интегрирования.

Разработанный макет АЦП построен с применением аналогового ключа К561КТ3 и компаратора К554СА3. Принцип работы макета не отличается от описанного в литературе [1]. Измеряемый сигнал поступает на вход компаратора, который сравнивает этот сигнал с

напряжением на конденсаторе, заряжаемом от источника постоянного тока. Выход компаратора подключен к линии D0 интерфейса «Centronics». Состояние этой линии анализируется программно. Линия D1 подключена ко входу управления аналоговым ключом, подключенном параллельно заряжаемому конденсатору. Процесс измерения входного напряжения заключается в программном измерении времени заряда конденсатора до величины входного напряжения. После этого конденсатор разряжается при помощи аналогового ключа и процесс повторяется.

Макет выполнен в виде печатной платы с разъемами для подключения входного сигнала, источника питания и используется в лабораторном практикуме по курсу «Основы автоматизации эксперимента», выполняемом студентами четвертого курса специальности «Физика».

Список литературы

1. Хоровиц, П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл. – М.: Мир, 1993.

A simple laboratory model of "one-step integration of ADCs", used in the laboratory workshop "Bases of automation of experiment" is elaborated by the students of physical specialties.

Иоскевич Николай Александрович, студент 5 курса физико-технического факультета, Гродненского государственного университета имени Янки Купалы; Гродно, Беларусь, gltsry@mail.ru.

Научный руководитель – *Герман Андрей Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент, заместитель декана физико-технического факультета Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, german@grsu.by.

УДК 532.5:537.84

О.В. Казак, А.Н. Семко

ВИХРЕВОЕ ДВИЖЕНИЕ РАСПЛАВА В СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ

Работа посвящена изучению и управлению электровихревых движений расплавленного металла в электрических печах. Приводится постановка задачи, физическая и математическая модель протекающих процессов. Разработан алгоритм решения задачи и получены предварительные результаты полей

скорости движения расплава стали, выполненные с помощью программно-вычислительного комплекса ANSYS.

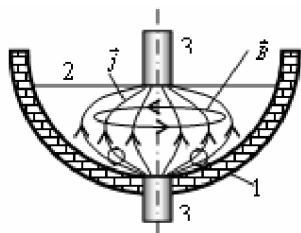


Рисунок 1

В последнее время для выплавки металла все большее распространение получают печи с подовым электродом, работающие на постоянном токе. Примерная схема такой печи с двумя электродами приведена на рис. 1, где 1 – огнеупорная футеровка, 2 – жидкий металл, 3 – электроды, j и B – линии

плотности тока и магнитной индукции. Эксплуатация печей данного типа показала повышенный износ футеровки в области подового электрода (рис. 2). Предполагаемой причиной износа является вихревое движение расплава металла. Вихревое течение расплава возникает при подводе электрического тока в отсутствие внешних магнитных полей при пространственной неоднородности электрического тока.

Построена математическая модель электрической печи для выплавки металла. Предложенная модель не имеет аналитического решения и решалась численно методом конечных элементов при помощи пакета ANSYS. Рассматриваемая задача относится к категории задач мультифизики, поэтому ее решение с помощью прикладного пакета ANSYS следует выполнять поэтапно:

- 1-й этап – моделирование электромагнитных полей;
- 2-й этап – моделирование электровихревых течений;
- 3-й этап – моделирование электровихревых течений с учетом теплообмена и конвекции.

Отработаны методы расчета электромагнитных полей при помощи пакета ANSYS. Расчеты проводились с использованием различных видов анализа на различных сетках. Исследовано влияние граничных условий на границах расчетной области на параметры в центральной зоне. Выяснено существенное влияние на результаты расчетов размеров расчетной сетки и формы конечных элементов. Проведены расчеты электромагнитных параметров для промышленной электрометаллургической печи. Результаты расчетов в ANSYS сравнивались с расчетами в COMSOL и экспериментальными данными.

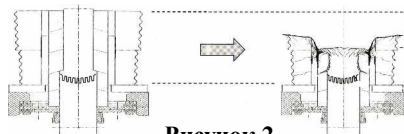


Рисунок 2

Хорошее совпадение расчетов разными методами и пакетами говорит о надежности методов и достоверности результатов. Произведены предварительные расчеты полей скорости в расплаве. На рис. 3 приведено векторное и контурное поле скоростей движения расплава, обусловленное силой Лоренца, около подового электрода (анода). Результаты расчетов подтверждают факт, что сила Лоренца в таких печах является определяющей при возникновении электровихревого течения.

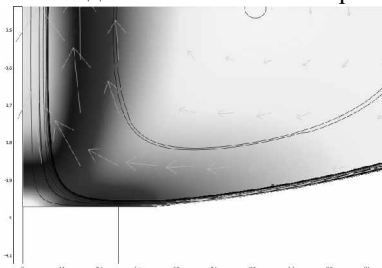


Рисунок 3

Список литературы

1. Szekely, J. Heat-transfer fluid flow and bath circulation in electric arc furnaces and dc plasma furnaces / J. Szekely, J. McKelliget, and M. Choudhary // Ironmaking and Steelmaking. – 1983. – Vol.10. No.4. – P. 169-179.
2. Henning, B. DC furnace containment vessel design using computational fluid dynamics / B. Henning, M. Shapiro and L.A. le Grange // Proceedings: Tenth International Ferroalloys Congress, 2004. – Cape Town, South Africa. – P. 565-574
3. ANSYS Theory Reference. Ninth Edition. SAS IP, Inc.

The article is devoted to investigating and to operationing of electrovortical movement of the molten metal in DC electric furnace. In the present article the problem is stated and the physical and mathematical model of proceeding processes is resulted. The algorithm of the problem solution is developed and the predicted results of velocity fields of liquid metal, obtained by the programmatic-calculable complex ANSYS, is received.

Казак Олег Викторович, аспирант физического факультета Донецкого национального университета, Донецк, Украина, olegkazak@yandex.ru.

Семко Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры общей физики и дидактики физики Донецкого национального университета, Донецк, Украина, semkoan@dongu.donetsk.ua.

Научный руководитель – *Семко Александр Николаевич*, доктор технических наук, профессор кафедры общей физики и дидактики физики, Донецкий национальный университет, Донецк, Украина, semkoan@dongu.donetsk.ua.

УДК 531.3

А.С. Карпеня

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ И ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ НА ПУЛЬПОЗНОЕ ЯДРО, ИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Рассмотрена рентгенограмма шейного отдела позвоночника, определены расстояния между каждой группой позвонков и построены графики зависимостей этих расстояний от положения. Найден физический параметр: модуль Юнга для межпозвонкового диска.

Шейный отдел – это наиболее уязвимая часть позвоночника в отношении травматических повреждений. Данный риск обусловлен слабым мышечным корсетом в области шеи, а также небольшими размерами и низкой механической прочностью позвонков шейного отдела. Первые 7 позвонков образуют шейный отдел позвоночника. Два первых, атлант и осевой позвонки, имеют различия, тогда как остальные позвонки – с третьего по седьмой – совершенно одинаковы. Различают четыре основных видов движений шеи: сгибание, разгибание, наклоны вправо и влево. Примерно половина объема сгибания и разгибания происходит между затылком С1 и С2. Остальное количество движения осуществляется за счет нижележащих позвонков, с большим размахом движений в самых нижних позвонках – С5–С7. Боковые наклоны распределены между всеми позвонками.

Перейдем непосредственно к расчету модуля Юнга для межпозвонкового диска. Рассмотрим пример когда сила f приложенная к свободному концу, направлена параллельно линии недеформированного стержня, что соответствует модели шейного отдела позвоночника.

На заделанном конце стержня (точка начала координат) $l = 0$, $\theta = 0$ в точке приложения силы f $\theta = 0$. Форма стержня определяется формулами

$$x_0 = \sqrt{\frac{2IE}{f}} (\sqrt{1 - \cos \theta_0} - \sqrt{\cos \theta - \cos \theta_0}) \quad (1)$$

$$y_0 = \sqrt{\frac{IE}{2f}} \int_0^{\theta} \frac{\cos \theta d\theta}{\sqrt{\cos \theta - \cos \theta_0}} \quad (2)$$

где $\theta_0 = \theta$ потому что в нашем частном случае координаты точки стержня (x_0, y_0) возьмем в точке приложения силы f . В любой же другой точке на стержне θ_0 будет отличен от θ .

Для расчета модуля Юнга E достаточно использовать одну координату, выразим E из (1)

$$E = \frac{fx^2}{2l(1 - \cos \theta)} \quad (3)$$

где l – момент энергии, f – сила тяжести головы. Данные представим в виде таблицы.

| № | параметр | значение |
|---|--|----------|
| 1 | Сила тяжести головы (Н) | 50 |
| 2 | Координата x_0 (М) | 0,0084 |
| 3 | Момент энергии (кг · м ²) | 4,48 |
| 4 | Модуль Юнга $\left(\frac{Н}{м^2} \right)$ | 7,8 |

Список литературы

1. Ландау, Л.Д., Теория упругости / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1987. – С. 104–107.
2. Жарнова, В.В. Особенности кинематики плоской модели позвоночника в виде трех элементов / В.В. Жарнова. – 2006. – № 3 (46). – С. 29–31.
3. Жарнова, О.А. Кинематика плоской модели позвоночника с ограниченным числом элементов / О.А. Жарнова. – Минск: БелМАПО, 2006. – С. 38–41.
4. Луговая, Я.А. Моделирование пространственного деформирования позвоночника / Я.А. Луговая. – Новосибирск, 1997. – С. 69.

The radiograph of jugular segment was examined, the distanced between every group of vertebrae were measured and the diagrams of dependence of this distances

on position was made. The physical parameter: the Ung's module for intervertebral disk was found.

Карпеня Андрей Сергеевич, студент 4 курса, физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь. viskas128@ Rambler.ru.

Научный руководитель – *Жарнов Александр Михайлович*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической физики, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 621.382

А.Ю. Клинецвич

12-РАЗРЯДНЫЙ АЦП С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ

Рассмотрен разработанный автором 12-разрядный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), позволяющий обрабатывать и отображать аналоговую информацию с помощью ЭВМ.

Электрическая принципиальная схема разработанного АЦП (см. рисунок) состоит из двух частей: источник питания с выходным напряжением 5В, и интегральной микросхемы AD7893 [1] в типовой схеме включения.

AD7893 – быстрый 12-битный АЦП, размещенный в 8-ми выводном DIP-корпусе. В состав микросхемы, помимо АЦП, входят устройство выборки-хранения и тактовый генератор. Микросхема обладает низкой потребляемой мощностью – 25 мВт.

Диоды VD1, VD2 и конденсаторы C1, C2 представляют собою 2 последовательно соединенных однополупериодных выпрямителя с отводом от средней точки. На вход выпрямителя подается переменное напряжение от трансформатора источника питания (на схеме не показан). Интегральная микросхема KP142EH5A используется в качестве линейного стабилизатора напряжения питания +5В. На стабилизаторе VD3 реализован стабилизатор отрицательного напряжения питания –5В, необходимого для питания внешнего усилителя сигналов.

Диод VD4 и светодиод D1 выполняют роль аналога стабилитрона с напряжением стабилизации 2,5В. Диоды VD5, VD6 обеспечивают защиту ИМС AD7893 от напряжения на входе, превышающего напряжение источника питания, а конденсаторы C3, C4, C5, C6, C7 и C8 используются в качестве фильтров.

Управление изготовленным устройством осуществляется при помощи управляющих линий INIT, PE и D0 параллельного интерфейса Centronics. Алгоритм обмена данными приведен в [1].

АЦП выполнен на печатной плате размерами 50х60 мм². Написано программное обеспечение, позволяющее выполнять измерения входного напряжения через заданный временной интервал.

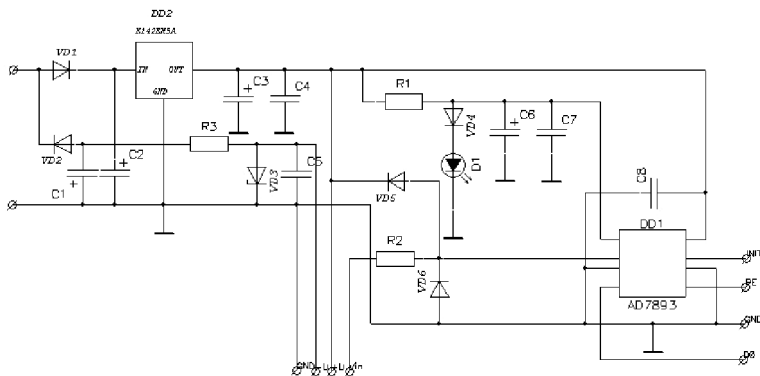


Рисунок – Электрическая принципиальная схема АЦП

Список литературы

1. Analog Devices, Inc. | Converters Amplifiers Processors MEMS A/D Converters Analog to Digital [Электронный ресурс] / AD7893: True Bipolar Input, Single Supply, 12-Bit, Serial 6 μ s ADC in 8-Pin Package. – Analog Devices. – Mode of access: <http://www.analog.com>. – Data of access: 23.02.2009

The article is devoted the 12 bit analog to digital converter (ADC), allowing to process and display the analogue information by means of the PC.

Клинцевич Артур Юрьевич, студент 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь; klintsevich@grodno.net.

Научный руководитель – *Герман Андрей Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, german@grsu.by.

УДК 539.219.3

Н.В. Княжева

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕЖУЗЕЛЬНОЙ ДИФФУЗИИ БОРА В НАНОМЕТРОВЫХ СЛОЯХ, СОЗДАНЫХ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ

Проведено моделирование межзельной диффузии бора в нанометровом слое, созданном низкоэнергетической ионной имплантацией, в процессе отжига подложек кремния при температуре 750°C .

В производстве интегральных микросхем с нанометровыми размерами легированных областей в настоящее время используется высокодозная низкоэнергетическая ионная имплантация в сочетании с последующим отжигом имплантированных подложек. При создании областей p^+ -типа проводимости с целью подавления скоротечной диффузии примесных атомов имплантация бора проводится в слой кремния, предварительно аморфизованный имплантацией ионов Ge или Si. Тем не менее, и в этом случае наблюдается ускоренная диффузия примеси, которая проявляется в формировании протяженных “хвостов” в области низкой концентрации бора при низкотемпературных отжигах [1].

Проведенное исследование представляет собой обобщение модели [2] на случай термообработок минутной длительности. В работе [2] предполагается, что межзельные атомы бора непрерывно генерируются в процессе отжига вследствие образования, перестройки или распада кластеров атомов примеси в ионно-имплантированных слоях с концентрацией примеси выше предела растворимости, а также в результате действия упругих напряжений, возникающих вследствие малости атомного радиуса бора по сравнению с атомным радиусом кремния. В представленной работе на этой основе проведено моделирование процесса перераспределения бора, имплантированного с энергией 1 кэВ и дозой $1 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ в слой кремния, предварительно

аморфизованный имплантацией ионов Ge с энергией 10 кэВ, при термическом отжиге длительностью 30 минут при температуре 750°C. Результаты расчета распределения атомов бора после термообработки представлены на рисунке. С учетом хорошего согласия с экспериментальными данными были определены следующие значения параметров межзельной диффузии: $l_{AI} = 0.021$ мкм; $p = 2.66$ %. Здесь l_{AI} — средняя длина пробега межзельных атомов бора; p — доля атомов примеси, переходивших в межзельное положение.

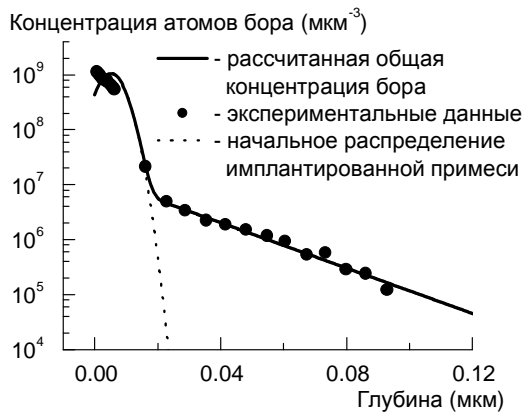


Рисунок – Рассчитанный профиль распределения концентрации атомов ионно-имплантированного бора после термообработки длительностью 30 минут при 750°C. Экспериментальные данные взяты из [1]

Список литературы

1. Camillo-Castillo, R.A. Impact of dopant profiles on the end of range defects for low energy germanium preamorphized silicon / R.A. Camillo-Castillo, M.E. Law, K.S. Jones // Mat. Sci. Eng. B. 2004. Vol.114–115. P.312–317.
2. Velichko, O.I. Modeling of the long-range interstitial migration of ion implanted boron / O.I. Velichko, N.V. Kniazhava // Comput. Mat. Sci. 2010. (в печати).

Modeling of interstitial boron diffusion in the nanometer layer formed by low energy ion implantation during thermal annealing at a temperature of 750 °C has been carried out.

Княжева Наталья Викторовна, студентка 2 курса факультета радиотехники и электроники, Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, natasha.knyaginy@mail.ru.

Научный руководитель – *Величко Олег Иванович*, доктор физико-математических наук, доцент кафедры физики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, oleg_velichko@cosmostv.by.

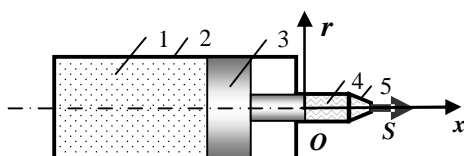
УДК 532.5

Н.А. Куликова, А.Н. Семко

ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ НА ПАРАМЕТРЫ ИМПУЛЬСНОГО ВОДОМЕТА

Работа посвящена оценке влияния вязкости на гидродинамические параметры течения жидкости внутри импульсного водомета. Численное моделирование течения жидкости внутри импульсного водомета осуществляется методом конечных элементов, реализованном в программном пакете ANSYS. Количественная оценка потерь на трение выполнена методом исчезающей вязкости.

Импульсный водомет (ИВ) – это установка для получения импульсных струй жидкости (ультраструй) с высокими скоростями (более 1000 м/с). Используются эти струи в следующих технологических



Рисунок

процессах: пробивание отверстий в породах и твердых материалах, проходка горных выработок, зачистка поверхностей, упрочнение рабочих кромок режущих инструментов, гидроимпульсная обработка металлов, обезвреживание взрывоопасных объектов и т.д. [1, 2, 3, 4]

На рисунке приведена классическая схема ИВ. Тяжелый поршень 3 разгоняется в стволе 2 сжатым газом, находящимся в ресивере

1. В конце разгона поршень сжимает небольшой объем жидкости 4 и вытесняет ее через малое отверстие в сопле 5 в виде импульсной высоконапорной струи. Сжатая поршнем жидкость с большой скоростью истекает из сопла – происходит выстрел, длительность которого составляет несколько миллисекунд. Поршень перед выстрелом может взводиться различными способами.

Обычно при описании внутренней баллистики ИВ и ГП вязкость жидкости не учитывается. Оценка сил вязкости, как правило, производится по числу Рейнольдса. Для реальных ИВ число Рейнольдса составляет величину порядка 10^6 , поэтому вязкостью жидкости пренебрегают. Более точные оценки, в которых сравнивались параметры течения ИВ для вязкой и идеальной жидкости не проводились. В данной работе количественно оценивается влияние вязкости на гидродинамические параметры ИВ: скорость и компактность струи, давление внутри установки.

Движение жидкости в ИВ нестационарное и пространственное, процесс носит импульсный характер, поэтому эта задача может быть решена только численно. Однако процесс выстрела ИВ обладает рядом особенностей, позволяющих упростить задачу и построить приближенную модель установки. Основные допущения для построения модели выстрела ИВ в рассматриваемой задаче: жидкость вязкая и несжимаемая; течение осесимметричное и турбулентное; процесс адиабатический; трение между поршнем и стволом, деформации корпуса и поршня, а так же течение жидкости через зазоры не учитываются. В принятой постановке течение вязкой жидкости описывается уравнениями Навье-Стокса и неразрывности, замыкается система уравнений при помощи $k-\epsilon$ модели турбулентности при соответствующих начальных и граничных условиях. Размеры и параметры ИВ взяты из работы [1].

Расчеты выполнены методом конечных элементов [5] при помощи программного модуля FLOTTRAN пакета ANSYS для различных жидкостей. Проведено сравнение параметров течения жидкостей с различной вязкостью. Результаты данной работы могут быть использованы при конструировании ИВ для повышения надежности, оптимизации параметров и уменьшения энергозатрат.

Список литературы

1. Атанов, Г.А. Гидроимпульсные установки для разрушения горных пород / Г.А. Атанов. - Киев: Вища школа, 1987.- 155 с.
2. Семко, А.Н. Внутренняя баллистика порохового водомета и гидропушки / А.Н. Семко. // Теорет. и прикл. механика. – Харьков: Основа, 2002. - Вып. 35. – С. 181-185.
3. Семко, А.Н. Импульсные струи жидкости высокого давления. / А.Н. Семко. – Донецк: Вебер (Донецкое отделение), 2007. – 149 с.
4. Pulsed jets: fundamentals and applications / М. М Vijay // Proc. 5th Pacific Rim Int. Conf. on Water Jet Technology. New Delhi, India, February 3-5, 1998.- P.610-627.
5. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – М.: Мир, 1979. - 392 с.

The finite element-based program ANSYS FLOTRAN was used for the simulation of steady-state fluid flow inside the impact hydraulic jet. The flow parameters were obtained for viscous, incompressible water and glycerol. The friction loss was estimated by the Bernoulli equation using disappearing-viscosity method.

Куликова Наталья Анатольевна, аспирантка физического факультета Донецкого национального университета, Донецк, Украина, natakulikova@ukr.net.

Семко Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры общей физики и дидактики физики, Донецкий Национальный Университет, Донецк, Украина, semkoan@dongu.donetsk.ua.

Научный руководитель – *Семко Александр Николаевич*, доктор технических наук, профессор кафедры общей физики и дидактики физики, Донецкий Национальный Университет, Донецк, semkoan@dongu.donetsk.ua.

УДК 53

К.А. Куровский, Ю.И. Скаскевич

ПЕРКОЛЯЦИОННЫЕ МОДЕЛИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КОМПОЗИЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

На основе вычислительных экспериментов выполнен анализ зависимости коэффициента теплопроводности композитной системы от структуры наполнителя.

На основе вычислительных экспериментов выполнен анализ зависимости коэффициента теплопроводности композитной системы с фрактальной структурой наполнителя от фрактальной размерности. Вычислительный эксперимент проводился с помощью компьютерной модели (см. Приложение) на матрицах размером 50x50, 100x100, 150x150. С ростом фрактальной размерности возрастает также и коэффициент теплопроводности. Чем больше фрактальная размерность, тем плотнее перколяционный кластер, образуемый наполнителем. Если теплопроводность наполнителя более чем на порядок выше теплопроводности матрицы, то с ростом доли наполнителя в композите возрастает и коэффициент теплопроводности всей системы. Рост данного коэффициента носит степенной характер, причем с увеличением области генерации возрастает также показатель степени. Это можно объяснить тем, что фрактальная размерность зависит от размеров генерации. У матриц, размеры которых меньше 150, фрактальная размерность с ростом области генерации возрастает.

Ниже представлены зависимости теплопроводности масштабного элемента от фрактальной размерности рисунка. Коэффициент теплопроводности для матрицы принимался равным 2, а для наполнителя 200.

На рисунках эффективный коэффициент теплопроводности представлен относительно коэффициента теплопроводности матрицы (λ_m или λ_1).

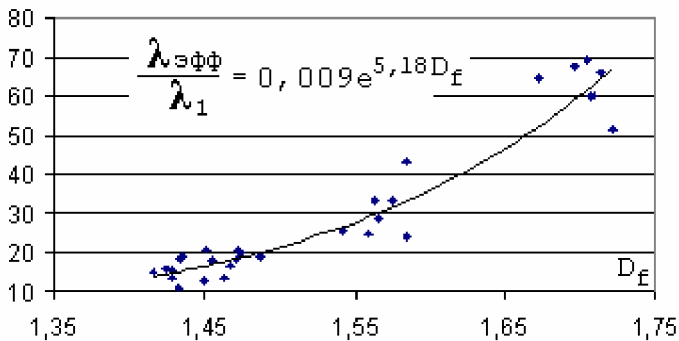


Рисунок – Зависимость коэффициента теплопроводности от фрактальной размерности D матрицы 50x50 (аппроксимация показательной функцией)

Список литературы

1. Никитин, Д.А. Моделирование структуры композиционных систем и расчет их коэффициента теплопроводности / Д. А. Никитин // *Материалы, технологии, инструменты*. – 2004. – Т. 9. – № 2. – С. 11–15.
2. Никитин, Д.А. Компьютерные модели теплопроводности композиционных систем / Д.А. Никитин [и др.] // V Минский международный форум по тепло- и массообмену, 2004 ИТМО НАН РБ. – Т. 2. – 2004. – С. 270–271.

The percolation heat conductivity of composite materials is investigated by computational modeling.

Куровский Константин Александрович, студент 4 курса, физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Скасевич Юлия Иосифовна, студентка 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Никитин Александр Викторович*, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической физики, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, nik@grsu.by.

УДК 621.315

А.В. Кухарев

КОЛЕБАНИЯ НАМАГНИЧЕННОСТИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОЛЯРИЗОВАННОГО ПО СПИНУ ТОКА

Проведено моделирование колебаний намагниченности ферромагнетика в форме диска под действием поляризованного по спину постоянного тока в отсутствие внешнего магнитного поля. Исследовано влияние размеров диска на частоту таких колебаний.

Поляризованный по спину ток может воздействовать на намагниченность тонкой ферромагнитной пленки по механизму передачи спина, установленным Слончевским [1] в 1996 г. При этом возможно возникновение устойчивых колебаний намагниченности даже при постоянном токе и в отсутствие внешнего магнитного поля [2].

Модель. Исследуемая структура состоит из двух ферромагнитных слоев разделенных тонким слоем немагнитного материала. Намагниченность одного из ферромагнитных слоев закреплена, и он служит для поляризации пропускаемого тока. Второй ферромагнитный слой является свободным и имеет форму тонкого диска толщиной $d = 5$ нм и диаметром 5 – 500 нм.

Для описания динамики намагниченности ферромагнетика использовалось уравнение Ландау – Лифшица в форме

$$(1 + \alpha^2) \frac{d\mathbf{m}}{dt} = -[\mathbf{m} \times \mathbf{h}] - \alpha[\mathbf{m} \times [\mathbf{m} \times \mathbf{h}]],$$

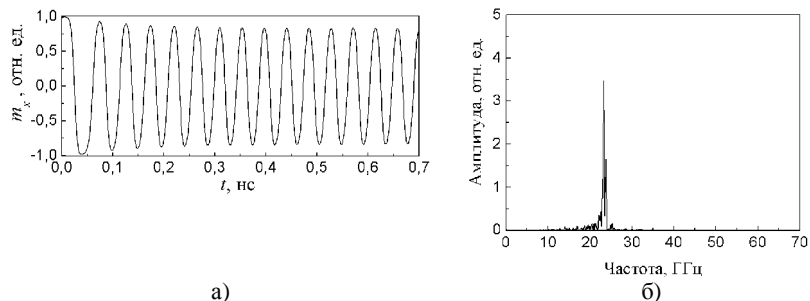
где \mathbf{m} – вектор намагниченности, α – параметр магнитной релаксации, t – время, \mathbf{h} – эффективное поле, которые включает поле магнитной анизотропии, магнитостатическое поле и учитывает воздействие поляризованного по спину тока. Магнитостатическое поле определяется в виде

$$\mathbf{h}_d = -(N_x m_x \mathbf{i} + N_y m_y \mathbf{j} + N_z m_z \mathbf{k}),$$

где $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ – орты осей x, y, z соответственно, m_x, m_y, m_z – компоненты вектора намагниченности \mathbf{m} , N_x, N_y, N_z – размагничивающие факторы.

Результаты. На рисунке представлены результаты расчетов для диска из кобальта в случае аспектного отношения $\varepsilon = 0,098$ ($N_x = N_y = 0.1, N_z = 0.8$), когда ось легкого намагничивания лежит в плоскости диска и перпендикулярна направлению намагниченности закрепленного слоя. В этом случае колебания оказываются наиболее устойчивыми по отношению к начальным данным, однако при этом требуются большие значения плотности тока: в рассмотренном случае $j = 5.5 \cdot 10^8$ А/см². Амплитуда колебаний зависит от начального положения вектора намагниченности. Спустя некоторое время колебания стабилизируются: частота и амплитуда колебаний принимают фиксированные значения.

В результате проведенного моделирования показано, что в отсутствии внешнего магнитного поля аспектное отношение тонкого ферромагнитного диска влияет на частоту периодических колебаний намагниченности. Увеличение толщины диска ведет к уменьшению частоты колебаний. Это связано с влиянием формы ферромагнетика на величину магнитостатического поля.



**Рисунок – Колебания составляющей вектора намагниченности m_x :
а) зависимость от времени, б) спектр колебаний**

Список литературы

1. Slonczewski, J.C. // J. Magn. Magn. Mater. / J.C. Slonczewski. – 1996. – Vol. 159. – L1 – L7.
2. Puliafito V. // IEEE Trans. Magn. / V. Puliafito. – 2008. – Vol. 44, № 11. – P. 2512 – 2515.

We present results of simulations of magnetization oscillations in ferromagnetic disk excited by a spin-polarized current when no external magnetic field is applied. We investigated the influence of the disk size on the oscillations frequency.

Кухарев Андрей Валерьевич, аспирант 1-го года обучения кафедры микро- и нанозлектроники Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, kuharev_andrei@mail.ru.

Научный руководитель – *Данилюк Александр Леонидович*, кандидат физико-математических наук, в.н.с. Центра 4.11 НИЧ БГУИР, Минск, Беларусь, daniilyuk@nano-center.org.

УДК 548.12-071.1

*К.А. Манько***ОБОБЩЕННЫЕ РЕШЕТКИ**

Рассмотрены обобщенные решетки. Дано определение обобщенных решеток. Показана актуальность и необходимость их изучения для описания объектов? имеющих некристаллографическую симметрию.

Обычные кристаллические решетки в трехмерном евклидовом пространстве могут иметь элементы симметрии лишь 1-го, 2-го, 3-го, 4-го и 6-го порядков. Тем не менее, в конце XX века были открыты вещества (квазикристаллы, фуллерены, нанотрубки и др.) обладающие симметрией, которая не может быть описана кристаллографическими группами трёхмерного евклидова пространства. В связи с этим, приобрели актуальность исследование решёток в пространствах с размерностями больше трёх, и последующие отображения этих решёток в трёхмерное пространство. Для этого необходимо от обычных кристаллических решеток переходить к обобщенным.

Объекты, имеющие пространственно-периодическое строение, являются аддитивными подгруппами векторного пространства, которые порождаются некоторым базисом этого пространства. Такие объекты в самом общем случае называются решетками.

Для любой некристаллографической точечной группы можно найти изоморфную ей базисную группу матриц порядка $n > 3$. Следовательно объекты с некристаллографической симметрией можно рассматривать как отображения многомерных регулярных решеток на трехмерное евклидово пространство.

Обобщенными решетками называются множества гомологичных точек пространства, кристаллографические координаты которых не обязательно целые, а имеют вид: $a + \xi b$, где a, b – целые числа, ξ – корень квадратного уравнения $\eta_0 x^2 + \eta_1 x + \eta_2 = 0$. Например, ξ – корень квадратного уравнения: $x^2 - x - 1 = 0$. $\xi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$ – золотое отношение.

Если от кристаллических решеток перейти к обобщенным, в базис и в матрицы Грама которых входит золотое отношение, то трехмерное пространство решетки будет выполнено в виде ромбоэдров двух типов,

с двухгранными углами 36° и 72° . В этом случае будут получены трехмерные аналоги сеток Пенроуза, координационные полиэдры которых имеют симметрию квазикристаллов и фуллеренов.

Таким образом, обобщенные решетки могут быть применены для исследования объектов имеющих некристаллографическую симметрию.

Список литературы

1. Сабуть, А.В. Модели фуллерено-подобных структур. I. Сетки Пенроуза / А.В. Сабуть // Вестник ГрГУ. – Сер. 2. – 2007. – № 2. – С. 56–64.
2. Сабуть, А.В. Модели фуллерено-подобных структур. II. Трехмерные $Z[\tau]$ – решетки с пента- и декагональной симметрией / А.В. Сабуть // Вестник ГрГУ. – Сер. 2. – 2007. – № 3. – С. 68–73
3. Лиопо, В.А. Многомерные регулярные решетки с заданными элементами симметрии / В.А. Лиопо, А.В. Сабуть // Вестник ГрГУ. – Сер. 2. – 2002. – № 2. – С. 82–89.

The generalization of the lattice. Shown the relevance and the need to study them, to describe objects having noncrystallographic symmetry.

Манько Кирилл Анатольевич, студент 5-го курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы; Гродно, Беларусь, manko_k_a@mail.ru.

Научный руководитель – *Сабуть Андрей Вацлавович*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры теоретической физики Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 65.011

А.В. Овсейчик

МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ МАКЕТ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «УСТРОЙСТВО ВЫБОРКИ – ХРАНЕНИЯ»

Разработан макет лабораторной работы «Устройство выборки-хранения», предназначенный для использования в лабораторном практикуме по курсу «Основы автоматизации эксперимента».

При сборе информации от источников аналоговых сигналов и ее последующем преобразовании в цифровую форму бывает необходимо

зафиксировать значение аналогового сигнала в требуемый момент времени. Некоторые типы аналогово-цифровых преобразователей (АЦП), например, АЦП последовательного приближения, могут давать непредсказуемые ошибки, если их входной сигнал не постоянен во время преобразования. При смене входного кода цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) из-за неодновременности установления разрядов наблюдаются выбросы выходного напряжения. Для устранения этого явления на время установления выходного сигнала также следует зафиксировать выходной сигнал ЦАП. Функцию аналоговой ячейки памяти выполняют устройства выборки-хранения (УВХ), построенные с использованием ключей на полевых транзисторах.

Разработанное УВХ [1] построено с применением интегральной микросхемы аналоговых ключей К561КТ3. Входной сигнал буферизируется с помощью повторителя на операционном усилителе (ОУ) К544УД1, поступает на ключ, запоминающий конденсатор, и, далее, на выходной повторитель, выполненный на аналогичном ОУ. В макете предусмотрена возможность изменения емкости и типа запоминающего конденсатора, сопротивления ключа в замкнутом состоянии, а также скорости разрядки конденсатора хранения путем изменения входного сопротивления выходного повторителя. С этой целью макет содержит набор переключаемых резисторов и конденсаторов с различными номиналами и выполненными с использованием различных технологий.

Макет изготовлен в виде печатной платы с разъемами для подключения источника входного сигнала, нагрузки, сигнала управления, а также источника питания. На плате предусмотрены цепи защиты входных и выходных цепей, линий источника питания от подачи на них напряжений, превышающих предельно допустимые значения.

В настоящее время изготовлено три экземпляра макета, которые прошли апробацию при выполнении лабораторного практикума по курсу «Основы автоматизации эксперимента» [2].

Список литературы

1. Овсейчик, А.В. Лабораторная работа «Устройство выборки-хранения» / Овсейчик А.В. // Тез. докл. XVII науч. конф. студентов, магистрантов и аспирантов «Физика конденсированного состояния». – Гродно: ГрГУ, 2009.

2. Герман, А.Е. Основы автоматизации эксперимента: лабораторный практикум / авт.-сост. А.Е. Герман, Г.А. Гачко. – Гродно: ГрГУ, 2005. – 103 с.

The developed model of laboratory work «the sample-storage device», applied is described at course studying «Bases of automation of experiment» students of physical specialities.

Овсейчик Андрей Васильевич, студент 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы; Гродно, Беларусь, patriotgrodno@yandex.ru.

Научный руководитель – *Герман Андрей Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы; Гродно, Беларусь, german@grsu.by.

УДК 621.38.002.72

В.В. Парковский

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ ИНФРАКРАСНОГО НАГРЕВА ДЛЯ ПАЙКИ SMD

Рассмотрен процесс нагрева поверхности печатной платы при пайке поверхностно-монтируемых компонентов (SMD) инфракрасным излучением. Моделирование термопрофиля ИК нагрева позволило рассчитать температуру в зоне нагрева в зависимости от времени воздействия и оптимизировать процесс монтажа или демонтажа электронных модулей.

С повышением функциональной сложности электронных компонентов растут проблемы их монтажа и демонтажа с поверхности печатных плат, в особенности многовыводных корпусов BGA, контактируемых с помощью шариковых выводов. Для монтажа компонентов на печатных платах в крупносерийном и массовом производстве часто используют инфракрасный нагрев. В зависимости от конкретных условий применяют различные по геометрии рефлекторы, формирующие тепловое поле в зоне нагрева: фокусирующий, диффузный и с сопловой насадкой [1].

Интенсивность ИК излучения складывается из интенсивностей прямого и отраженного потоков:

$$I = I_{\text{пр}} + I_{\text{отр}}, \quad (1)$$

где: $I_{\text{пр}}, I_{\text{отр}}$ – интенсивность прямого и отражённого потоков ИК излучения.

$$I_{\text{пр}} = \frac{2P_u}{2\pi l \sqrt{x^2 + h^2}} \quad (2)$$

где l – длина зоны нагрева, x – половина ширины зоны нагрева, h – высота от источника ИК излучения до поверхности, P_u – мощность ИК источника.

$$I_{\text{отр}} = \frac{(1 - m) \cdot K_s \cdot P_u}{2\pi l \sqrt{R_p^2 + \left(\frac{h^2}{4f} + f\right)^2}} \quad (3)$$

где R_p – радиус рефлектора, f – фокусное расстояние, m – коэффициент отражения; K_s – коэффициент полезной площади отражения рефлектора.

$$K_s = \frac{S_u}{2S} \quad (4)$$

где S_u, S_p – площади поверхностей ИК лампы и рефлектора.

Интенсивность результирующего потока ИК излучения, падающего на поверхность, ограниченной шириной основания отражателя [2]:

$$I_{\text{отр}} = 2K_s(1 - m) \frac{\sum_{i=1}^n \left(P_u / 2\pi l \sqrt{R_p^2 + \left(\frac{h^2}{4f} - f\right)^2} \right)}{n}, \quad (5)$$

где n – количество интервалов, выбираемых при дискретизации зоны нагрева.

Тогда интенсивность прямого ИК излучения составит:

$$I_{\text{пр}} = 2 \int_0^{0.03} \frac{P_u}{2\pi l \sqrt{x^2 + h^2}} dx. \quad (6)$$

Температура в зоне ИК нагрева определяется в соответствии с законом Стефана-Больцмана:

$$T_n = \left(\sqrt[4]{\frac{1 + K \cdot T_u^4}{K}} - 273 \right) \left(1 - e^{-\frac{\phi}{\Phi_n}} \right), \quad (7)$$

где: K – постоянная Стефана-Больцмана; T_u – температура источника, τ – время воздействия теплового потока, Φ_n – постоянная времени нагрева.

$$\Phi_n = \frac{C_M}{\sigma \cdot S_{\text{пов}}}, \quad (8)$$

где C_M – теплоёмкость материала печатной платы (для стеклотекстолита $1,7 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$; σ – коэффициент теплообмена источника тепла с поверхностью

$$\sigma = \frac{P_n}{S_{\text{пов}} \cdot \Delta t} \quad (9)$$

где P – мощность, отдаваемая источником нагрева.

$$P = I \cdot (S_u + S_p). \quad (10)$$

В результате моделирования получаем временные зависимости температуры в зоне нагрева (см. рисунок). Из рисунка следует, температура в рабочей зоне растёт достаточно быстро (5-7 с) и в зависимости от расстояния до источника изменяет своё максимальное значение. Основные преимущества источников ИК нагрева – более высокая температура источника, возможность точного контроля температуры в зоне нагрева. Однако при ИК нагреве большое количество тепла, выделяемое при нагреве, поглощается корпусами компонентов ввиду их большой площади по сравнению с выводами.

Моделирование термопрофиля ИК источника нагрева позволяет рассчитать температуру в зоне нагрева в зависимости от времени воздействия и оптимизировать процесс монтажа или демонтажа электронных модулей, что играет важную роль при работе с дорогими компонентами. Для ИК источников нагрева крайне важна конструкция

рефлектора, которая определяет площадь нагреваемой зоны и интенсивность излучения.

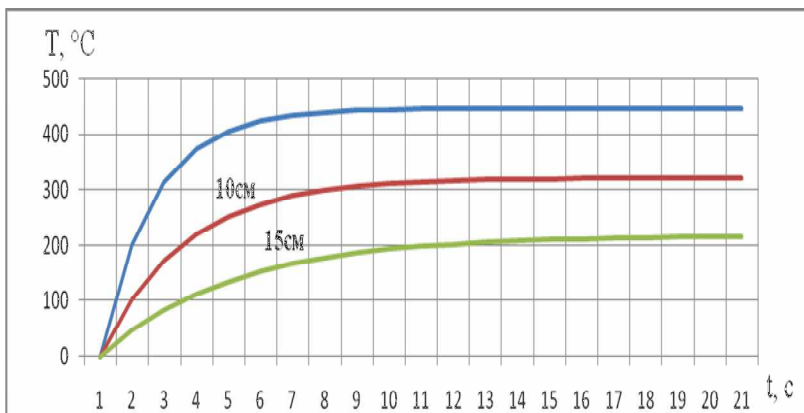


Рисунок – Зависимости температуры от времени при различных расстояниях до поверхности

Список литературы

1. Ланин, В.Л. Монтаж и демонтаж электронных компонентов / В.Л. Ланин, В.В. Парковский // Компоненты и технологии, 2009.– № 3.– С. 147–152.
2. Ланин, В.Л. Применение конвективных и инфракрасных источников нагрева для монтажа и демонтажа электронных модулей / В.Л. Ланин, В.В. Парковский // Электронная обработка материалов, 2009.– № 6.– С. 86 – 91.

Modeling of infrared heating process of the printed-circuit-board surface is considered at the soldering SMD. Modeling of infra-red heating profile has allowed to calculate temperature in a heating zone of depending on time and distance to optimize process of montage or demontage electronic modules.

Парковский Валерий Валерьевич, студент 5-го курса факультета компьютерного проектирования Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, gosker-87@yandex.ru.

Научный руководитель – *Ланин Владимир Леонидович*, доктор технических наук, профессор кафедры электронной техники и технологии, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, vlanin@bsuir.by.

УДК 536.2

С.И. Саросек, А.Ю. Бачурина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КОМПОЗИТА

Выполнено экспериментальное исследование теплопроводности композиционного материала на основе фторопласта с металлическим наполнителем. Экспериментальные данные сравниваются с расчетными.

Для выполнения экспериментов по определению коэффициента теплопроводности были изготовлены образцы по следующей технологии.

Порошок фторопласта подвергают механическому воздействию с целью избавления от слипания частиц. После этого производится добавка медного порошка и перемешивание смеси методом “пьяной бочки”. После достижения равномерного распределения наполнителя смесь прессуется в образцы цилиндрической формы с диаметром 20 мм. и высотой 70 мм. Полученный цилиндр спекается при температуре 380°C. Готовые образцы обрабатываются до получения нужных размеров. Были проведены эксперименты по определению эффективного коэффициента теплопроводности фторопласта с медным наполнителем в диапазоне температур от 25 до 70°C, и концентрациях наполнителя от 0 до 12%. Результаты экспериментов в таблице.

Таблица

| | | Номер образца | | |
|--------------------------------|----|---------------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Плотность, кг / м ³ | | 2030 | 2173 | 2202 |
| Концентрация, % | | 0% | 5% | 12% |
| Температура, °С | 25 | 0.248 | 0.249 | 0.298 |
| | 50 | 0.248 | 0.251 | 0.294 |
| | 75 | 0.25 | 0.248 | 0.298 |

На рисунке представлены экспериментальные (1) данные и расчетные (2) данные, полученные методом релаксации.

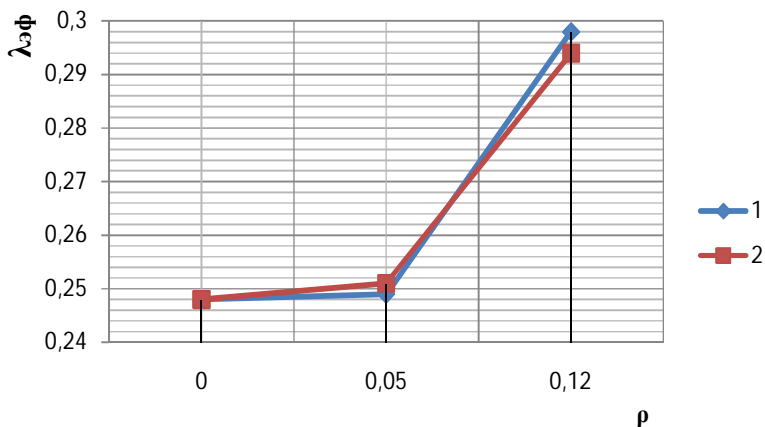


Рисунок – Кривые зависимости эффективного коэффициента $\lambda_{эф}$ теплопроводности от концентрации ρ наполнителя

Сравнение экспериментальных и расчетных данных показывает, что на эффективный коэффициент $\lambda_{эф}$ теплопроводности композиционной системы оказывает влияние большое число факторов. В частности, в случае большой разницы коэффициентов теплопроводности матрицы и наполнителя существенную роль играет распределение наполнителя в матрице при одной и той же концентрации наполнителя в матрице. Кроме того важную роль может иметь размерный фактор в случае мелко дисперсного наполнителя. Все это приводит в ряде случаев к большой разнице результатов эксперимента и расчета.

Список литературы

1. Никитин, А.В. Теплопроводность композиционных систем // А.В. Никитин [и др.]. / Сб. «Композиционные материалы в промышленности». УИЦ «Наука, техника, технология». – Ялта, 2008. – С. 86–92.

The experimental study of thermal conductivity of composite material based on fluoroplastic with a metal filler. The experimental data are compared with the calculated.

Саросек Станислав Иосифович, магистрант физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно Беларусь, s.sarosek@grsu.by.

Бачурина Анна Юрьевна, аспирант, физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно Беларусь, a.bachurina@grsu.by.

Научный руководитель – *Никитин Александр Викторович*, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической физики, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, nik@grsu.by.

УДК 535.3

М.В. Сельвич, Ж.В. Колядко

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СУПЕРГАУССОВА ПУЧКА В КЕРРОВСКОЙ СРЕДЕ

Исследована зависимость поперечного распределения относительной интенсивности супергауссова светового пучка от толщины керровской среды.

Для описания распространения светового пучка в керровской среде использовалось нелинейное векторное дифференциальное уравнение в частных производных [1].

При моделировании использовались следующие параметры: длина волны $\lambda = 1.6$ мкм, показатель преломления $n_0 = 1.65$, постоянная Керра $\alpha = 220 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2 / \text{Вт}$. Одномерный супергауссов световой пучок распространяется в керровской среде вдоль оси z . Входное распределение интенсивности светового пучка описывается формулой $I(x) = I_0 \exp(-x^m/x_0^m)$, где $I_0 = 1.985 \cdot 10^{11} \text{ Вт/м}^2$ – максимальная интенсивность светового пучка на входе в среду, $x_0 = 40$ мкм. Для супергауссова пучка $m = 12$, для гауссова светового пучка, используемого для сравнения, $m = 2$ (рисунок 1а).

Из рисунка 1б видно, что при учёте коэффициента Керра наблюдается более слабое расплывание супергауссова и гауссова

световых пучков, чем при отсутствии коэффициента; в пределах толщины среды $0.15 \div 0.5 Z_R$ происходит самофокусировка супергауссова пучка ($Z_R = 2\pi n_0 x_0^2 / \lambda = 0.013 \text{ м}$). Провал интенсивности в центре супергауссова пучка ($0 < z < 0.1z_R$) связан с деформацией этого пучка в процессе дифракции (рисунок 1в). При прохождении через керровскую среду гауссова светового пучка с радиусом перетяжки, близким к $x_0 = 40 \text{ мкм}$, можно наблюдать квазисолитонный режим (рисунок 1б).

Исследовалось также влияние оптической активности и радиуса перетяжки на интенсивность световых пучков различного профиля на выходе из керровской среды. Установлено, что оптическая активность керровской среды не влияет на интенсивность светового пучка на выходе из этой среды, а только изменяет его поляризацию.

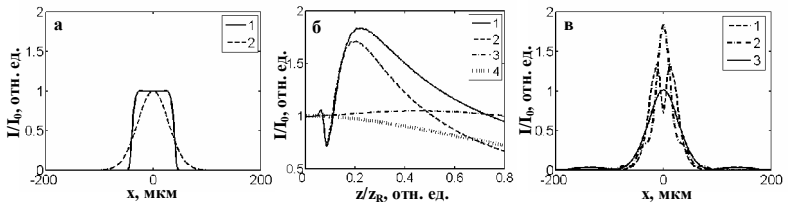


Рисунок 1 – Распространение одномерного супергауссова и гауссова световых пучков в керровской среде

- а) распределение относительной интенсивности световых пучков на входе в среду (1 – супергауссов пучок, 2 – гауссов пучок);
- б) зависимости относительной интенсивности в центре световых пучков от относительной координаты z/z_R (1 – супергауссов пучок с учетом коэффициента Керра, 2 – супергауссов пучок без учета коэффициента Керра, 3 – гауссов пучок с учетом коэффициента Керра, 4 – гауссов пучок без учета коэффициента Керра);
- в) распределение относительной интенсивности супергауссова светового пучка при его распространении в керровской среде (1 – пучок, прошедший 1.1 мм ($0.085z_R$); 2 – пучок, прошедший 2.8 мм ($0.215z_R$), 3 – пучок, прошедший 9.1 мм ($0.7z_R$))

Список литературы

1. Blair, S. Spatial soliton angular deflection logic gates / S. Blair, K. Wagner // Appl. Opt. – 1999. – Vol. 38, N. 32. – P. 6749–6772.

The dependence of relative intensity transverse distribution of the super-Gauss light beam on the Kerr media thickness is investigated.

Сельвич Марина Владимировна, аспирантка физико-математического факультета Мозырьского государственного педагогического университета имени И.П. Шамякина, Мозырь, Беларусь, selvichmarina@yandex.ru.

Колядко Жанна Владимировна, магистрант физико-математического факультета Мозырьского государственного педагогического университета имени И.П. Шамякина, Мозырь, Беларусь, zhanna-25-08@yandex.ru

Научный руководитель – *Шепелевич Василий Васильевич*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики, Мозырьский государственный педагогический университет имени И.П. Шамякина, Мозырь, Беларусь vasshep@inbox.ru.

УДК 53

Ю.И. Скаскевич, Ю.Ю. Юркевич

АЛГОРИТМЫ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ФРАКТАЛЬНЫХ СТРУКТУР

Предложены алгоритмы генерирования фрактальных структур как регулярных, так и стохастических. Разработана программа, позволяющая исследовать свойства (фрактальная размерность, радиус гирации) стохастических фракталов.

«Фрактал – это множество точек, размерность Хаусдорфа-Безиковича которых не совпадает с их топологической размерностью» – это пробное определение фрактала, данное основателем теории фракталов Мандельбротом, можете считать эпиграфом к данной модели, и не более.

Теория фракталов сегодня находит применение в физике, биологии, экономике, компьютерной графике. Методы теории фракталов позволяют генерировать разнообразные структуры, которые поразительным образом похожи на структуры, создаваемые природой.

Исследуя свойства этих структур на модельных объектах, можно прогнозировать параметры реальных физических объектов.

Различают геометрические, алгебраические и стохастические фракталы. В нашей модели мы рассмотрим геометрические и стохастические фракталы. Первые позволяют понять важнейшее свойство фрактальных объектов – самоподобие, а вторые – по способу генерации очень похожи на реальные физические объекты: деревья, кристаллы, природные узоры. Чтобы понять суть теории фракталов надо обратиться к специальной литературе, мы же только скромно проиллюстрируем методы получения некоторых фрактальных структур. На рисунке представлены геометрические структурные объекты. Мы можем дать им **качественную** характеристику: сложный, извилистый, распределенный, ветвистый и т.д. Если присмотреться, то такие же качественные характеристики применимы к структуре окружающих нас предметов. Можно ли каким-либо **количественным** параметром охарактеризовать структуру этих объектов? Сначала рассмотрим, как такие объекты получаются. Первый объект – кривая Кох, второй – ковер Серпинского, Третий объект построен по методу Виттена-Сандера. В природе чаще всего встречаются фрактальные объекты, которые можно построить, применяя этот метод. Рассматривается плоская сетка. В центральную ячейку помещается частица-затравка. Затем, на периферии области запускается другая частица, которая перемешается по ячейкам случайным образом – диффундирует. Если эта частица попадает в ячейку, имеющую общие грани с частицей-затравкой, то она к ней прилипает. Образовывается **кластер**. После этого запускается следующая частица и блуждает до тех пор, пока не прилипнет к кластеру. Подобные методы генерирования кластеров называются LDA-методы (Limited Diffusion Agregation – ограниченная диффузией агрегация). Разработанная программа позволяет исследовать свойства стохастических фракталов. (фрактальная размерность, радиус гирации).

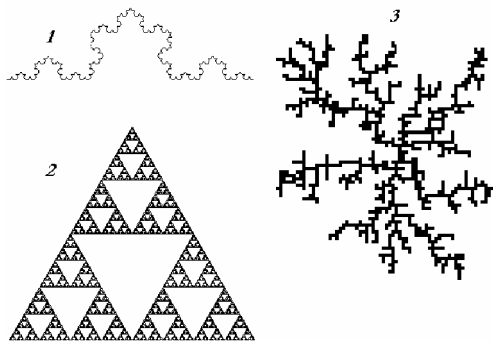


Рисунок 1 – Примеры фрактальных объектов

The program to generate and investigate fractal objects parameters with LDA-method was created.

Скаскевич Юлия Иосифовна, студентка 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Юркевич Юрий Юрьевич, аспирант физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Никитин Александр Викторович*, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической физики, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, nik@grsu.by.

УДК (621.373.8)

Е.С. Соколов

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ И ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ ГИСТЕРЕЗИС В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРАХ

Построена численная феноменологическая модель формирования поляризованного излучения в одномодовом полупроводниковом инжекционном

лазере, описывающая поляризационные переключения, гистерезис и влияние параметров инжектируемого сигнала на характер поляризационных эффектов.

Стремительно возрастающие требования к стабильности параметров лазерного излучения приводят к необходимости более глубокого рассмотрения процессов формирования излучения в лазере и их влияния на выходные характеристики. В частности, контроль состояния поляризации в полупроводниковых лазерах, в том числе в поверхностно-излучающих, востребовано для большого числа поляризационно-чувствительных систем, поскольку спонтанные динамические поляризационные эффекты существенно ограничивают их возможности.

Целями данной работы являются: анализ работоспособности феноменологической модели формирования поляризованного излучения в полупроводниковом инжекционном лазере, рассмотрение на основании предлагаемой модели ряда динамических эффектов переключения поляризации (ПП), получение вариантов управления параметрами выходного излучения лазеров при изменении параметров инжектируемого сигнала.

В основу теоретической модели положен метод поляризационных компонент, в рамках которого поле плоской волны представляется в виде суперпозиции поляризованных компонент. Далее, численными методами проводилось решение скоростного уравнения, описывающего динамику концентрации неравновесных носителей, и уравнений для эволюции интенсивности поляризационных компонент, записанных в приближении медленно меняющихся амплитуд и однородности распределения концентрации неравновесных носителей по объёму активной среды и интенсивности поляризационных компонент по резонатору. Расчеты проводились для широкого набора значений варьируемых параметров, а внутренние материальные параметры привязывались к значениям для GaAs - гетероструктуры.

Численное моделирование решения уравнений позволяет описать поляризационные эффекты в полупроводниковых инжекционных лазерах в одномодовом приближении, которые наблюдаются в условиях эксперимента: эффект ПП, гистерезис, зависимость скорости ПП от длительности импульса, смещение области ПП при использовании внешней инжекции поляризованного сигнала. Особое внимание уделялось вариации амплитудного значения плотности инжекционного тока, ориентации вектора поляризации инжектируемого сигнала и

соотношению длительностей и временных сдвигов импульсов накачки и инъекции.

Полученные результаты дают достаточно простую и последовательную физическую интерпретацию имеющимся в литературе экспериментальным данным по динамике ПП в полупроводниковых лазерах. Также были выявлены корреляции между характеристиками выходного излучения и параметрами инжестируемого сигнала. Основное отличие от широко распространенной модели переключения спинов (SFM – spin-flip model) заключается в отсутствии заранее заданных условий на фазово-поляризационную структуру излучения, которая образуется в процессе формирования излучения в лазерном резонаторе.

Важно отметить, что существует возможность расширения предлагаемого подхода на рассмотрение более высоких мод выходного излучения лазера, а также изучение конкретных лазерных систем, причем не только полупроводниковых, но и твердотельных.

The phenomenological numerical model for polarized radiation forming inside single-mode semiconductor injection laser is constructed and applied to description of polarization switching (PS), polarization hysteresis and influence of injected signal's parameters on the polarization phenomena character.

Соколов Евгений Сергеевич, студент 5 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, eugene_sokolov@tut.by.

Научный руководитель – *Буров Леонид Иванович*, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра общей физики, физический факультет Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь; burrov@bsu.by.

УДК 621.373.826

А.В. Ткаченко

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОЙ ФАЗОВОЙ РЕШЕТКИ НА ГЕНЕРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УКИ РОС-ЛАЗЕРА НА КРАСИТЕЛЯХ

Исследовано влияние тепловой фазовой решётки (ТФР) на генерационные характеристики излучения РОС-лазера на красителях при наносекундной длительности возбуждения.

Генерационные характеристики одиночных ультракоротких импульсов (УКИ) излучения РОС-лазера на красителях при наносекундной длительности накачки могут значительно отличаться в зависимости от конкретных условий генерации [1]. Следует, однако, учитывать, что квантовый выход люминесценции используемых красителей меньше единицы, а также в активной среде неизбежны стоковые потери энергии. Таким образом, в лазере на красителях со светоиндуцированной РОС помимо периодической структуры инверсии населённости всегда формируется и тепловая фазовая периодическая решётка (ТФР).

Влиянию ТФР на свойства излучения РОС - лазера на красителях уделялось внимание ещё до реализации режима генерации одиночных УКИ. Было показано, что положительной обратной связи на ТФР может быть вполне достаточно для генерации излучения на чисто тепловой периодической структуре.

Полученные в экспериментальных исследованиях значения длительностей УКИ, сильно зависели от параметров активной среды, прежде всего от концентрации молекул красителя, а также спектрального положения линии генерируемого излучения, что требовало соответствующего объяснения.

В связи с этим исследование влияния ТФР на генерацию УКИ РОС-лазером на красителях и их параметры представляет определённый интерес. Указанные исследования выполнялись в работе посредством численного моделирования кинетики генерации РОС-лазера на красителях.

Проведенные исследования показали, что влияние ТФР на генерацию УКИ РОС-лазером на красителях и их генерационные характеристики определяющим образом зависит от концентрации молекул красителя в активной среде лазера. Определена критическая концентрация красителя $C_k = 10^{-3}$ моль/л, при которой величина положительной обратной связи на ТФР равна соответствующей величине на структуре инверсии населённости.

При высоких концентрациях красителя, больших C_k , длительность одиночного УКИ уменьшаются из за ТФР незначительно.

Использование низких концентраций красителя ($C = 5 \cdot 10^{-4}$ Смоль/л), которые заметно ниже критической, приводит к существенному увеличению длительности и мощности одиночного

УКИ по сравнению с их значениями при высоких концентрациях красителя из-за увеличения положительной обратной связи на ТФР.

С возрастанием уровня накачки сильнее увеличивается время жизни фотона в резонаторе, обусловленное ТФР, по сравнению с аналогичной величиной, соответствующей периодической структуре инверсии населённости, что ведёт к сглаживанию импульсов в цуге и при определённом значении уровня накачки импульс становится гладким.

Использование для возбуждения РОС-лазера на красителях импульсов меньшей длительности увеличивает вклад в положительную обратную связь инверсии населённости и уменьшает обратную связь на ТФР. При этом критическая концентрация смещается в сторону меньших значений.

Полученные в работе данные имеют важное практическое значение для корректной интерпретации результатов экспериментальных исследований с использованием РОС-лазеров на красителях, возбуждаемых импульсами наносекундной длительности.

Список литературы

1. Катаркевич, В.М. Кинетика генерации РОС-лазера на красителях при наносекундном возбуждении / В.М. Катаркевич [и др.] // Квантовая электроника. -1996. – Т. 23, № 12. – С. 1091 – 1094.

Investigations of influence of thermal phase lattice on generation characteristics of radiation of the DFDL are executed at nanosecond duration of excitation.

Ткаченко Анатолий Владимирович, студент 5-го курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы; Гродно, Беларусь, ant201987@mail.ru.

Научный руководитель – *Курстак Владислав Юзефович*, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра лазерной физики и спектроскопии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, vkurstak@tut.by.

УДК 004.732

А.В. Трофимчик

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА НА БАЗЕ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ

Рассмотрены организация вычислительного кластера на базе локальной сети, дальнейшее развитие и использование в научных и учебных целях.

За последние годы развитие компьютеров и вычислительных технологий достигло огромного прогресса. Однако уже сегодня видно, что простое увеличение мощности процессоров, емкости накопителей и оперативной памяти, пропускной способности каналов – уже практически исчерпало свои ресурсы, и необходим новый, качественный скачок в вычислениях. В настоящее время развитие мощных компьютеров идет по пути параллельных вычислений, реализуемых внутри кластеров. Кластерные системы можно разделить на три группы: кластеры высокой готовности, кластеры распределения нагрузки, вычислительные кластеры [4].

Вычислительные кластеры при решении задач, как правило, большой вычислительной сложности, используют множество узлов для распараллеливания вычислений и могут быть реализованы как на суперкомпьютерах, так и на базе локальной сети [1].

В лаборатории «Системотехники» кафедры промышленной электроники физико-технического факультета ГрГУ реализован вычислительный кластер на базе локальной сети. Основным элементом кластера является головной вычислительный узел – сервер, работающий под управлением операционной системы Windows Server 2003. Остальные узлы кластера представляют собой рабочие станции, на каждой из которых установлена операционная система Windows XP Professional.

В качестве интерфейса параллельного программирования на всех узлах кластера установлен пакет MPICH, являющийся бесплатной реализацией стандарта MPI. MPI – это оформленная как стандарт библиотека функций, которые обеспечивают парные и коллективные обмены, реализуют коммутаторы, топологию, средства общения с исполнительной средой, средства профилирования и множество вспомогательных операций, связанных, например, с запуском вычислений, оценкой эффективности параллельных вычислений и

многое другое [1;2]. Программы, написанные на языках FORTRAN, С и С++, компилируются обычными компиляторами и связаны с MPI-библиотекой [3].

На сервере установлен дистрибутив программного обеспечения промежуточного уровня UNICORE, позволяющий запустить задачу на кластере с любого IP-адреса и работающий в связке с MPICH и другими библиотеками, установленными на кластере. Кластер включен в национальную грид-сеть, получены сертификаты грид-сервисов и проводится мониторинг кластера.

Наращивание вычислительной мощности кластера может осуществляться путем добавления новых рабочих станций, работающих под Windows XP с установленным пакетом MPICH.

Следует отметить, что на многих классах задач и при достаточном числе узлов кластеры, построенные на базе локальной сети, дают производительность, сравнимую с суперкомпьютерной.

Кластер, реализованный на базе локальной сети, может быть использован в научных исследованиях, в частности для моделирования процессов в конденсированных средах.

Список литературы

1. Шпарковский, Г.И. Руководство по работе на вычислительном кластере: пособие для студентов / Г.И. Шпарковский, А.Е. Верхотуров, Н.В. Серикова. – Минск: БГУ, 2004. – С. 23 – 33.
2. Шпарковский, Г.И. Программирование для многопроцессорных систем в стандарте MPI / Г.И. Шпарковский, Н.В. Серикова. – Минск: БГУ, 2002. – С. 28.
3. Букатов, А.А. Программирование многопроцессорных вычислительных систем / А.А. Букатов, В.Н. Дацюк, А.И. Жегуло. – Ростов-на-Дону, 2003. – С.86 – 95.
4. Бараш, Л. Кластеры: базовые понятия. / Л. Бараш [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://ko.com.ua/node/33003>.

The architecture of a compute cluster on the basis of the local area network, further development and usage in the scientific and educational purposes are considered.

Трофимчик Андрей Валерьевич – студент 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, andrik-tr@tut.by.

Научный руководитель – *Волчок Валерий Александрович*, кандидат технических наук, доцент, кафедра промышленной электроники, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, e-mail: wva@grsu.by.

УДК 538.911

М.С. Чибирай

О ФОРМИРОВАНИИ В КОМПРЕССИОННОМ ПЛАЗМЕННОМ ПОТОКЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ

Предложено уравнение, описывающее формирование металлических кластеров в компрессионном плазменном потоке, которое кроме кинетики процесса нуклеации учитывает динамику силового взаимодействия между атомами.

В ряде публикаций (см., например, [1]) была показана возможность образования металлических кластеров с использованием плотной компрессионной плазмы. Однако физический механизм генерации наноразмерных объектов в таких условиях остается невыясненным.

Рассмотрим в начале процесс формирования отдельных кластеров из пара металла. Соответствующие кинетические уравнения имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{dN_c}{dt} &= \delta N^2 N_p, \\ \frac{dN}{dt} &= -a_0 n^{2/3} N N_c - \delta N^2 N_p, \\ \frac{dn}{dt} &= a_0 n^{2/3} N \left[1 - \frac{N_s}{N} \exp\left(-\frac{2A}{3kT}\right) \right], \end{aligned} \quad (1)$$

где $N_s(t)$ – концентрация кластеров, $N(t)$ – концентрация пара свободных металлических атомов, N_p – концентрация частиц плазмы, $n(t)$ – количество атомов в кластере, N_s – концентрация насыщенного пара металла, δ, a, A – константы, характеризующие процесс нуклеации.

Начальные условия при этом определялись как

$$n(t=0) = 2, N_s(t=0) = 0, N(t=0) = 2. \quad (2)$$

Ввиду высокой температуры плазмы в отличие от [2] здесь учитывалось также испарение атомов металла с поверхности кластера.

Анализ показал, что кроме кинетики процесса нуклеации необходимо учитывать также динамику силового взаимодействия между атомами. Нами построено уравнение, описывающее формирование кластеров с учетом данного фактора:

$$\frac{\partial \eta(\bar{r}, t)}{\partial t} = -D \Delta \eta(\bar{r}, t) = \frac{D}{kT} \bar{V} \eta(\bar{r}, t) \bar{V} \int V(\bar{r}, \bar{r}') N(\bar{r}, t) d^3 \bar{r}' + \frac{D}{kT} \eta(\bar{r}, t) \Delta \int V(\bar{r}, \bar{r}') N(\bar{r}', t) d^3 \bar{r}', \quad (3)$$

где $\eta(\bar{r}, t)$ – параметр порядка, D – коэффициент диффузии, $V(\bar{r}, \bar{r}')$ – потенциальная энергия парного взаимодействия атомов, $N(\bar{r}, t)$ – концентрация атомов пара.

Для наших расчетов в качестве $V(\bar{r}, \bar{r}')$ используем потенциал Леонарда-Джонса достаточно хорошо описывающий Ван-дер-Ваальсовское взаимодействие.

We propose the equation which describes formation of metal clusters in compression plasma flow. Arguments are given which emphasize the necessity of taking the interaction of atoms into account.

Чибирай Мария Сергеевна, студентка 5 курса физического факультета Белорусского государственного факультета, Минск, Беларусь. merikys@gambler.ru.

Научный руководитель – *Углов Владимир Васильевич*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий НИЛ физики ионно-плазменной модификации твердого тела БГУ, Минск, Беларусь.

УДК 621.382

Е.А. Янушко

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ

Разработан и изготовлен универсальный стабилизированный источник питания на основе микросхемы стабилизатора напряжения LM317.

Схема электрическая принципиальная источника питания приведена на рисунке. На первичную обмотку силового трансформатора поступает сетевое напряжение 220В, 50 Гц. Вторичная обмотка трансформатора с номинальным напряжением 11В подключена ко входу мостового выпрямителя, реализованного на диодах VD1- VD4. Выпрямленное напряжение подаётся на ёмкостный фильтр (C4).

Выпрямленное и отфильтрованное напряжение поступает на

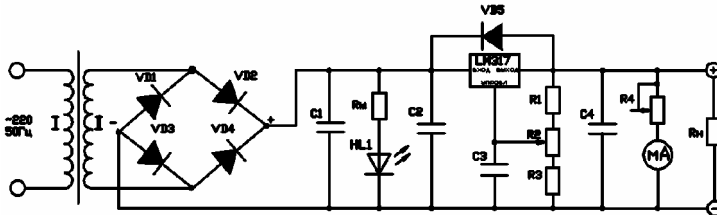


Рисунок – Схема электрическая принципиальная

вход интегрального стабилизатора LM317 [1]. Регулировка выходного напряжения осуществляется с помощью переменного резистора R2. Резисторы R1 и R3 задают диапазон регулирования выходного напряжения. Диод VD5 защищает микросхему от обратных напряжений, которые могут возникать при подключении к источнику питания некоторых нагрузок. Конденсаторы C2-C4 предназначены для подавления высокочастотных помех и защиты схемы стабилизатора от возможного самовозбуждения.

Выходное напряжение источника питания измеряется с помощью вольтметра, построенного на основе микроамперметра с током полного отклонения стрелки 100 мкА и переменного добавочного резистора R4. Светодиод HL1 служит для индикации включения устройства в сеть.

Стабилизатор напряжения выполнен на печатной плате размерами 80x30 мм и размещен в металлическом корпусе, на боковой стенке которого установлены пружинные клеммы для подключения нагрузки.

Характеристики разработанного источника питания приведены ниже:

| | |
|----------------------------------|----------------|
| Номинальное входное напряжение | 220В±20В, 50Гц |
| Минимальное выходное напряжение | 2В |
| Максимальное выходное напряжение | 10В |
| Максимальный ток нагрузки | 0,22А |

Ток короткого замыкания 0,9А
Амплитуда пульсаций выходного напряжения 0,2В (при I=0,22А).

Список литературы

1. Справочник по радиоэлектронике // корпорация fairchild полупроводника [Электронный ресурс].-2001.-Режим доступа: <http://www.fairchildsemi.com>.– Дата доступа: 10.10.2009.

Designed and built a universal, stabilized power supply based on chip voltage regulator LM317

Янушко Евгений Анатольевич, студент 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, Yanuha2010@mail.ru.

Научный руководитель, *Герман Андрей Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 539.3

Г.В. Ярыш

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ УПРУГОЙ ТРУБЫ

В работе рассмотрена механохимическая коррозия толстостенной трубы под действием давления. Задача сведена к решению дифференциального уравнения относительности интенсивности напряжений. Получено аналитическое решение выведенного уравнения.

Многие трубопроводные конструкции находятся под влиянием как механических нагрузок, так и химически активных сред. Поэтому при оценке длительной прочности необходимо учитывать оба этих фактора. Разрушение материалов под действием химического или электрохимического воздействия окружающей среды называется коррозией. В том случае, когда процесс разрушения ускоряется механическими напряжениями, коррозия называется механохимической. В данной работе исследуется равномерная поверхностная механохимическая коррозия линейно-упругой трубы под

действием постоянного давления агрессивных сред. При этом предполагается, что материал трубы корродирует равномерно по внутренней и внешней поверхностям. В расчетах используется решение задачи Ламе для толстостенной трубы с «закрытыми концами». Дифференциальные зависимости, которые связывают скорости проникновения коррозии с интенсивностью напряжений, составляются из анализа экспериментальных данных. Согласно большинству исследований [1], скорость равномерной поверхностной коррозии линейно зависит от интенсивности напряжений (и может убывать со временем при образовании плотной пленки окислов). В результате преобразований удалось свести задачу к обыкновенному дифференциальному уравнению первого порядка относительно интенсивности напряжений. В работе [2] было получено аналогичное уравнение относительно максимального нормального напряжения. Однако в некоторых ситуациях (например, при оценке условий перехода тела в пластическое состояние) удобнее в качестве основной переменной выбирать интенсивность напряжений. Для двухсторонней механохимической коррозии построено аналитическое решение в квадратурах. В случае, когда скорость коррозии с внутренней или внешней стороны не зависит от интенсивности напряжений, решения получены в замкнутом виде.

Список литературы

1. Наумова, Г.А. Расчеты на прочность сложных стержневых систем и трубопроводных конструкций с учетом коррозионных повреждений / Г.А. Наумова, И.Г. Овчинников. – М-во образования Рос. Федерации [и др.]. Саратов: СГТУ, 2000. – 227 с.
2. Пронина, Ю.Г. Механохимическая коррозия полого цилиндра из идеального упруго-пластического материала под действием постоянного давления / Ю.Г. Пронина // Вестн. С.-Петербург. гос. ун-та. Сер. 1: Математика, механика, астрономия. 2006. – Вып. 3. – С. 121–130.

Mechano-chemical corrosion of a linearly elastic thick-walled tube under constant pressure has been investigated. The problem has been reduced to the first-order ordinary differential equation in stress intensity. The analytical solutions of the equation have been found.

Ярыш Георгий Владимирович, студент 4 курса факультета прикладной математики – процессов управления Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия, zuldjin@yandex.ru.

Научный руководитель – *Пронина Юлия Григорьевна*, кандидат физико-математических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет, факультет прикладной математики – процессов управления, Санкт-Петербург, Россия, dearjuly@gmail.com.

УДК 621.317

С.Ю. Яцевич, И.В. Яцевич

МИКРОКОНТРОЛЛЕРЫ PSoC

Рассмотрены микроконтроллеры PSoC, отличительные особенности, принцип функционирования. Приведены примеры микросхем данной серии.

Микросхемы, объединяющие стандартное микропроцессорное ядро с программируемой логикой на одном кристалле (SoC), находят все более широкое применение. Компания Cypress предлагает собственную разработку систем на кристалле – PSoC {XE "PSoC"} (Programmable System-On-Chip). Отличительной особенностью кристаллов Cypress PSoC является интеграция аппаратного микроконтроллерного ядра и программируемых цифровых и аналоговых блоков различных типов. Широкий выбор пользовательских функций, реализуемых на программируемых блоках, позволяет существенно уменьшить количество внешних компонентов на плате и дает возможность на базе одной микросхемы реализовать большое число различных устройств.

Программирование блоков осуществляется на функциональном уровне, разработчик выбирает необходимую ему функцию из библиотеки и задает необходимые параметры работы и производит необходимую коммутацию с другими частями проекта.

Новые семейства контроллеров PSoC {XE "PSoC"} – CY8C21x34, CY8C20x34 и CY8C24x94(USB) – представляют собой адаптированные решения для реализации сенсорных кнопок и сенсорных панелей. Данная технология носит название – CapSense™. Одна из особенностей данных семейств – аналоговый мультиплексор, который позволяет использовать все порты ввода/вывода микросхем, перечисленных выше семейств, для подключения емкостных сенсоров.

Емкостной сенсор может представлять собой, в простейшем случае, контактную площадку определенной формы и размеров на печатной плате.

На базе двух технологий, PSoC {XE "PSoC"} и WirelessUSB, выпускаются микросхемы, объединяющие в одном корпусе микроконтроллер PSoC и приемопередатчик WirelessUSB. Эти микросхемы получили название PRoC (Programmable Radio System-on-Chip).

Семейство микроконтроллеров PSoC {XE "PSoC"} CY8C24x94 занимает особое положение в линейке PSoC.

Особенность заключается в том, что в микросхемах данной серии объединены две новых технологии – USB и CapSense.

Последовательное или параллельное подключение блоков позволяет синтезировать узлы обработки информации требуемой разрядности, точности и с заданной последовательностью преобразования сигнала.

Дополнительные возможности дает возможность динамической реконфигурации – возможность изменять конфигурацию программируемых блоков в процессе работы микроконтроллера. Текущая конфигурация выбирается путем подачи управляющего сигнала на внешний вход контроллера или по внутреннему таймеру.

Микроконтроллеры PSoC {XE "PSoC"} можно рекомендовать для применения в устройствах бытового, промышленного назначения, в аналогово-цифровых устройствах.

На сегодняшний день доступны микросхемы следующих семейств CY8C29xxx, CY8C27xxx, CY8C24xxx, CY8C22xxx, CY8C21xxx, CY8C25xxx, CY8C26xxx (см. рисунок).

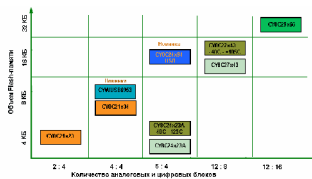


Рисунок – Микроконтроллеры PSoC {XE "PSoC"}

Список литературы

1. Кривченко, И.В. Современные интегральные микросхемы для построения емкостных сенсоров / И.В. Кривченко // Компоненты и технологии.– 2006. – № 9.
2. PSoC Technical Reference Manual. Cypress Semiconductor. www.cypress.com
3. PSoC Mixed Signal Array Technical Reference Manual. Cypress Semiconductor. www.cypress.com

Яцевич Сергей Юрьевич, магистрант 2-го года обучения заочной формы Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, e-mail: serg.85.10@mail.ru.

Яцевич Инна Валентиновна, магистрант 2-го года обучения заочной формы Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, sin_85@mail.ru.

Научный руководитель – *Василевич Александр Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры промышленной электроники, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, vasil@grsu.by.

Секция 2

ИЗУЧЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 621.375.9

И.И. Алесчик

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ КАТОДНОГО ТОКА НА ВЫХОД ПО ТОКУ СПЛАВА Zn-Ni ИЗ СУЛЬФАТНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА

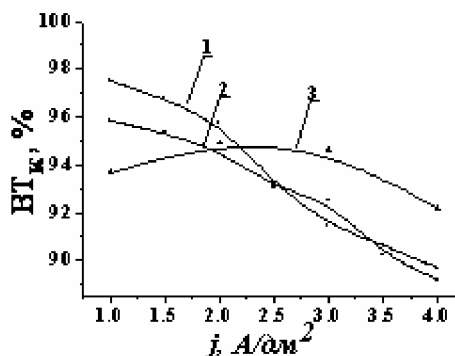
Проведено исследование кинетики электрокристаллизации покрытий сплавом Zn-Ni из сульфатного электролита. Проанализировано влияние активности подложек и режимов электролиза на выход сплава по току.

В настоящее время широко используются покрытия сплавом Zn-Ni, полученные электрохимическим методом. При оптимальной степени легирования (10 ÷ 15% Ni) покрытия сплавом Zn-Ni обладают в 3 ÷ 10 раз большей коррозионной стойкостью по сравнению с цинковыми нелегированными покрытиями и являются самыми коррозионноустойчивыми среди сплавов на основе металлов подсемейства железа [1, 2].

К гальваническим покрытиям предъявляются жесткие требования, одними из которых являются высокий выход металла по току и малая толщина, обеспечить которые можно варьированием плотности катодного тока. Поэтому целью данной работы являлось исследование влияния плотности катодного тока на величину выхода сплава по току.

Сплав Zn-Ni осаждался из сульфатного электролита на индифферентные подложки из нержавеющей стали и алюминия, а также на неиндифферентные подложки из низкоуглеродистой стали марки 08 кп в течение 1ч в диапазоне катодной плотности тока $1 \div 4 \text{ A/дм}^2$. Значение выхода сплава по току ($ВТ_k$) определялось отношением реальной массы металла, осажденной на катоде, к теоретически возможной [1, с. 30].

В ходе исследования было обнаружено, что увеличение плотности тока приводит к уменьшению $ВТ_k$ как для покрытий, полученных на алюминиевых подложках, так и на подложках из нержавеющей стали (см. рисунок). Это обусловлено увеличением побочных реакций, протекающих на катоде, в том числе выделение молекулярного водорода на индифферентных катодах. Из данных зависимостей также видно, что $ВТ_k$, практически, не зависит от материала, из которого изготовлены индифферентные катоды.



**Рисунок – Характер зависимостей выхода сплава Zn-Ni по току от плотности катодного тока на различных подложках:
1 – алюминий; 2 – нержавеющая сталь; 3 – сталь 08 кп**

Для покрытий, сформированных на неиндифферентных подложках из стали марки 08 кп, заметного влияния плотности катодного тока в исследуемом интервале плотностей на $ВТ_k$ не наблюдается. Очевидно, это связано с наличием активных участков на поверхности катода.

Поскольку, при электроосаждении металлов происходит конкуренция двух процессов: с одной стороны, обновление поверхности катода свежееосажденным слоем, с другой стороны, пассивирование его чужеродными поверхностно-активными частицами, то возрастание плотности катодного тока приводит к увеличению активной поверхности катода и скорости восстановления ионов металла [2]. Это объясняет, почему на катодах из стали 08 кп $ВТ_k$ при больших плотностях катодного тока ($j > 2 A/dm^2$) значительно выше, чем на индифферентных подложках.

Список литературы

1. Гамбург, Ю.Д. Гальванические покрытия: справочник по применению / Ю.Д. Гамбург. – Москва: Техносфера, 2006. – 216 с.
2. Аверкин, В.А. Электролитическое осаждение сплавов / В.А. Аверкин [и др.]; под ред. В.А. Аверкина. – Москва: Машгиз, 1961. – 216 с.

Research of Zn-Ni alloys electrodeposition kinetics in sulfate electrolytes is done. The influence of substrate activity and electrolysis conditions on alloy current yield has been analyzed.

Алесчик Ирина Ивановна, студентка 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, ialeschik@gmail.com.

Научный руководитель – *Валько Наталья Георгиевна*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, N.Valko@grsu.by.

УДК: 538.951: 538.975

М.В. Асташиная

**СТРУКТУРА МЕДНО-УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК,
СФОРМИРОВАННЫХ КОМПРЕССИОННЫМИ
ЭРОЗИОННЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ***

В работе исследована структура медно-углеродных (Cu-C) тонких пленок, полученных при воздействии на пластины кремния компрессионным эрозионным плазменным потоком, генерируемым квазистационарным эрозионным плазменным ускорителем.

Воздействие на различные материалы компрессионными эрозионными плазменными потоками заданного состава,

* Работа выполнена в рамках проекта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований № Т09М-067

генерируемыми квазистационарным эрозионным плазменным ускорителем торцевого типа, открывает принципиально новые возможности для формирования композиционных металл-углеродных пленок с уникальными физическими свойствами. Целью данной работы является исследование структуры медно-углеродных (Cu-C) композитов, сформированных при различных значениях плотности мощности, передаваемой компрессионным плазменным потоком поверхности образца.

Плазменному воздействию подвергались пластины монокристаллического кремния с кристаллографической ориентацией (111). Плотность энергии, передаваемой компрессионным плазменным потоком поверхности образца, изменялась от 2,5 до 4,5 Дж/см², в зависимости от начального напряжения накопителя энергии ускорителя и расстояния от рабочего торца разрядного устройства до образца. Такой диапазон плотности энергии при длительности воздействия ~ 100 мкс соответствует изменению плотности мощности P от $2,5 \cdot 10^4$ до $4,5 \cdot 10^4$ Вт/см². Для исследования структуры полученных медно-углеродных тонких плёнок толщиной ~ 1 мкм использовался метод комбинационного рассеяния (КР).

Из анализа КР спектров Cu-C плёнок, представленных на рисунке, следует, что вариация плотности мощности от $3 \cdot 10^4$ до $2,5 \cdot 10^4$ Вт/см² приводит к уменьшению концентрации углерода и, как следствие, к сдвигу положения D пика в низкочастотную область к значению 1330 см⁻¹. При этом G пик смещается в высокочастотную область 1660 см⁻¹, что свидетельствует об увеличении доли нанокристаллического графита (nc-G). В nc-G из-за размерного квантования фононов в нанокристаллах линия G сдвигается в сторону высоких частот вплоть до 1660 см⁻¹. Смещение D пика в область низких частот может быть связано объединением разупорядоченных углеродных кластеров в более крупные упорядоченные углеродные кластеры, при этом уменьшается количество оборванных углеродных связей.

Таким образом, по мере уменьшения плотности мощности до $2,5 \cdot 10^4$ Вт/см² увеличивается размер углеродных кластеров в Cu-C нанокompозитах с концентрацией углерода 90 ат.%, а также происходит внутреннее упорядочение, при этом доля нанокристаллического графита растёт.

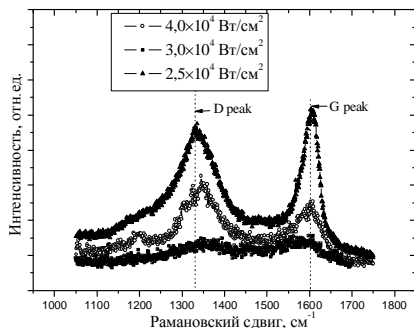


Рисунок – Спектры КР Cu-C плёнок с различным содержанием углерода.

In this work the structure of copper-carbon (Cu-C) thin films with different carbon content formed under the effect of compression erosion plasma flow generated by quasistationary erosion plasma accelerator on silicon plates has been researched.

Асташинская Марина Валерьевна, аспирантка 3 года обучения физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Углов Владимир Васильевич*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, Uglov@bsu.by.

УДК 539.1

А.Г. Баканов

АНАЛИЗ СПЕКТРОВ ГКР УЛЬТРАМАРИНА, АДСОРБИРОВАННОГО НА ПОДЛОЖКАХ СЛЮДЫ, НАПЫЛЕННЫХ СЕРЕБРОМ

В данной работе были изучены строение пигмента ультрамарина, а также спектры комбинационного рассеяния света от пленки из суспензии ультрамарина, нанесенной на ГКР-активную поверхность золь-геля серебра на подложке из слюды и непосредственно на подложку. Анализируются полосы высокочастотных колебаний, обнаруженные в спектре ГКР в рамках представлений об ангармоничности колебаний и структуры пигмента.

Ультрамарин — неорганический пигмент. Ультрамарин (см риунок) представляет собой синтетический алюмосиликат натрия с

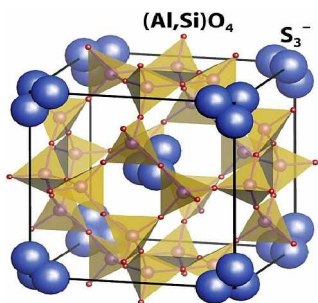
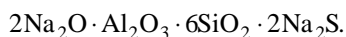


Рисунок – Вид молекулы ультрамарина.

включением полисульфидов натрия. В зависимости от своего состава может быть белым, зеленым, синим, фиолетовым и красным. От полисульфидов натрия зависит цветовая характеристика ультрамарина. Химическая формула ультрамарина:



Получены спектры КР образцов ультрамарина, нанесенных на подложку из слюды, покрытую золь-гелем серебра и на чистую подложку слюды, а также спектр КР чистой подложки слюды. Спектры чистой подложки и ультрамарина на чистой подложке из слюды практически совпадают. В присутствии золя серебра в спектре проявляются полосы с частотами около 259, 541, 1091, 1634 и 2186 см^{-1} . Согласно литературным данным первые три полосы принадлежат колебаниям атомов в ультрамарине, в то время как высокочастотные колебания не упоминались ранее.

В рамках представлений об ангармонизме колебаний подсчитаны возможные константы ангармоничности и частота основного тона колебаний связи Si-O с частотой около 540 см^{-1} . Среднее значение коэффициентов ангармоничности составило: 0,0026.

Рассмотрена также идея о проявлении в спектре ГКР ультрамарина полос, связанных с колебаниями связей в тетраэдрах SiO_4 и степени полимеризации этих тетраэдров.

Показано, что метод ГКР позволяет судить о наличии и структуре ультрамарина в предельно низких количествах, что имеет важное практическое значение для экспертизы художественных изделий.

In this work have been studied the molecular structure of the pigment ultramarine and also Raman spectra from a suspension of ultramarine deposited on SERS-active surface of the sol-gel silver mica substrate and directly on the substrate. The high frequency bands are analyzed in assumption of anharmonic vibration and ultramarine structure.

Баканов Алексей Георгиевич, студент 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, Blackie_21@mail.ru.

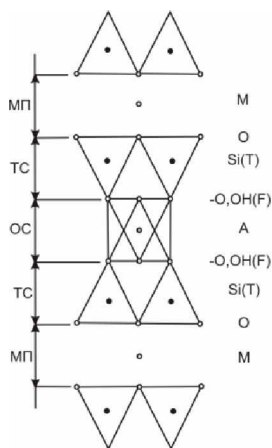
Научный руководитель – *Стрекаль Наталья Дмитриевна*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики, докторант, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь; nat@grsu.by.

УДК 678.027:678.073

А.Т. Балинский

АНИЗОТРОПИЯ КРИСТАЛЛОВ И ТЕМПЕРАТУРА ДЕБАЯ

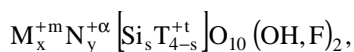
Температура Дебая (θ_D) зависит от скорости распространения фононов, которая является анизотропной величиной. Анизотропия скорости звука свойственна многим кристаллам и особенно выражена для кристаллов со спайностью. Значения θ_D рассчитаны для слюда в направлении вдоль и перпендикулярно плоскости спайности.



Рисунок

Слюда, как и другие слоистые силикаты, используются в качестве наногемодификаторов полимерных композитов [1]. Особенности структуры этих минералов проявляется в том, что они образуют чешуйки, у которых линейные размеры вдоль и перпендикулярно этим чешуйкам резко отличаются. Эти различия проявляются и в значениях температуры Дебая и в размерной границе между нано- и макрофазой [2]. Типичным представителем слоистых силикатов является слюда.

Слюды – это минералы весьма склонные к изоморфизму. Их общая кристаллохимическая формула имеет вид:



где М,А,Т – межслоевой, октаэдрический и тетраэдрический катион (рис. 1). Верхний индекс – валентность, нижний – число атомов, причем $m \cdot x = 1$, $a \cdot y = 6$ величина S зависит от t. В качестве М выступают ионы K^+ , Na^+ , Li^+ , Ca^{+2} ; в качестве А – Fe^{+2} , Fe^{+3} , Mg^{+2} , Mn^{+2} , Al^{+3} , Ti^{+4} ; в качестве Т – Al^{+3} , Ti^{+3} , Fe^{+3} . Возможны вхождения в слюды комбинаций этих и некоторых других атомов. Межатомные связи в пределах слюдяного блока носят достаточно выраженный валентный характер, тогда как сами блоки связаны слабыми Ван-дер-Ваальсовыми силами, в основе которых лежит взаимодействие межслоевых катионов с гидроксильным диполем внутреннего октаэдрического слоя. Группа OH^{-1} является вершиной только октаэдра и расположена под лункой тетраэдрической сетки, в которой размещается межслоевой катион. Эти структурные особенности слюд объясняется их весьма совершенную спайность как для больших кристаллов, так и для низкоразмерных частиц (чешуек).

Для слюд имеющих различный состав можно принять $a \approx 5.3$, $b \approx 9.2$, $c \approx 10.1$ (все в Å) угол моноклинности $\beta \approx 95,5^\circ$. Точечная группа слюд $C2m$. Размерная граница между нано- и макросостояниями в общем случае определяется формулой [1,2]:

$$L_0 = 230 \cdot (\theta_D)^{-1/2} \text{ [нм]} \quad (1)$$

где k, h – постоянные Больцмана и Планка соответственно, θ_D – температура Дебая (для слюд лежит в интервале (200-300)К в зависимости от состава и кристаллографического нагревания движения фонона).

С учетом приведенных параметров критерием наноразмерных слюд является значение $L_0 = 713 \cdot u^{-1/2}$ [нм].

Средняя скорость звука (u) слюд в зависимости от их состава и дефектности лежит в интервале 2000 м/с – 3500 м/с, при чем нижняя граница соответствует направлениям распространения звука перпендикулярному, а верхняя – параллельному плоскости спайности. Эти значения u и определяют интервал L_0 равный: $12 \text{ нм} < L_0 < 16 \text{ нм}$.

Список литературы

1. Лиопо, В.А. Введение в физику нанокomпозиционных машиностроительных материалов: монография / ред.: В.А.Лиопо, В.А.Струк. – Гродно: ГУО ГрГАУ. – 2009. – С. 438.
2. Балинский, А.Т. Анизотропия температуры Дебая // Наука – 2009: сборник научных статей / – Гродно: ГрГУ, 2009. – С.206.

The Debye temperatures of microcrystal's were calculated for along and normal to a plane of these crystal cleavage.

Балинский Александр Тадеушевич, магистрант физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, balinski.at@gmail.com.

Научный руководитель – Лиопо Валерий Александрович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, liopo@grsu.by.

УДК 537.9

*С.С. Барышников, Л.И. Ежова, В.С. Борисов, Д.С. Барышников,
Ю.Т. Эйне, Д.А. Краснов*

ЭЛЕКТРЕТНЫЙ ЭФФЕКТ В КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ С ПОЛЯРНОЙ ЖИДКОЙ МАТРИЦЕЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИ АКТИВНЫМИ НИЗКОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Исследованы электретные свойства мелкогазмерных слюда с различной величиной удельной поверхности частиц твердой фазы. Установлено наличие внутреннего электрического поля в данной конденсированной системе и выявлена возможность управления напряженностью этого поля.

Создание перспективных композитных материалов на основе мелкогазмерных слюда и прогнозирование их физико-механических свойств представляют известный научно-практический интерес [1]. Для достижения этих целей необходимо всестороннее изучение механизмов влияния активных наполнителей на структурные свойства матричных систем. В связи с этим в данной работе проведен электретно-

термический анализ конденсированной системы, матрица которой является полярной водной компонентой, а твердая фаза представлена частицами слюды-флогопита с высокоразвитой заряженной поверхностью.

На спектрах ТСТ мелкоразмерной слюды в интервале температур $(20-140)^{\circ}\text{C}$ обнаружена серия максимумов тока, что свидетельствует о наличии градиентов потенциала внутреннего электрического поля в изучаемой системе, накоплении свободных зарядов на межфазных границах и, как следствие, проявлении электретных свойств данной системы. Максимум тока при температуре 35°C вызван релаксацией зарядов, расположенных на границах раздела фаз в изучаемой системе и формирующих двойной электрический слой [2]. Пиковый максимум тока при температуре 64°C обусловлен переходом структурированной воды в объемное состояние вследствие теплового разупорядочения молекул, что сопровождается увеличением диэлектрической проницаемости жидкой фазы мелкоразмерных слюд [2]. Значительный термостимулированный ток в температурном интервале $(90-130)^{\circ}$ образован термически освобожденными ионами из дефектных областей поверхности частиц слюды. При повышении величины адсорбции каналы ионной проводимости расширяются и, таким образом, обеспечивают более свободный транспорт зарядов, что объясняет рост термостимулированного тока в диапазоне температур $(90-130)^{\circ}$.

В результате сравнительного анализа спектров ТСТ мелкоразмерного флогопита с различной величиной удельной поверхности установлено, что повышение электрической активности низкоразмерных частиц слюды при уменьшении их интервала дисперсности от $(0-60)$ мкм до $(0-10)$ мкм приводит к увеличению амплитуды токовых максимумов в 3 раза. Этот факт указывает на повышение интенсивности накопления зарядов на межфазных границах и увеличении структурированности полярной жидкой матрицы под действием внутреннего электрического поля.

Таким образом, метод термостимулированной спектроскопии позволил установить наличие в мелкоразмерных слюдах собственного электрического поля, обуславливающего накопление гетерозарядов внутри объема и на межфазных границах, а также изменение структуры жидкой фазы этой системы [2]. Внутреннее электрическое поле является результатом межфазного взаимодействия активной твердой и

полярной жидкой компонентом изучаемой системы и выступает в роли главного фактора, обуславливающего возникновение направленного движения носителей заряда, образующихся при термическом разрушении объемно-зарядового состояния исследуемой системы. Результаты электретно-термического анализа, проведенного в данной работе, свидетельствуют, что интенсивность межфазного взаимодействия и, как следствие, напряженность собственного внутреннего электрического поля мелкоразмерных слюд зависят от размеров частиц твердой фазы [3]. В связи с этим появляется возможность управления градиентами потенциала внутреннего электрического поля в рассматриваемой конденсированной системе посредством изменения величины удельной поверхности твердой компоненты.

Полученные в работе результаты позволяют выявить методы повышения эффективности высокодисперсных слюд как электроактивных наполнителей для наноструктурных стохастических материалов.

Список литературы

1. Авдейчик, С.В. Полимер-силикатные машиностроительные материалы: физико-химия, технология, применение / С.В. Авдейчик [и др]. – Минск: Тэхналогія, 2007. – 431 с. ил.
2. Дерягин, Б.В. Поверхностные силы / Б.В. Дерягин // М.: Наука, 1985. – С. 399.
3. Борисов, В.С. Особенности состояния термодинамического равновесия тонкой водной пленки, находящейся в электрическом поле активных центров поверхности кристалла слюды / В.С. Борисов, Л.А. Щербаченко // Физика твердого тела. 2009. – Т. 51. – Вып. 12. – С. 2394–2399.

Electret properties of dispersed mica with different specific surface areas of solid particles are investigated. The presence of the inner electric field in the considered system is revealed and possibility of controlling its strength is analyzed.

Барышников Сергей Сергеевич, аспирант 2 года обучения кафедры общей физики физического факультета Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия.

Ежова Лилия Игоревна; студентка 2 курса кафедры общей физики физического факультета Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия.

Борисов Владислав Станиславович; аспирант 2 года обучения кафедры общей физики физического факультета Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия, borisov.v.s@yandex.ru.

Барышников Дмитрий Сергеевич, студент 5 курса физического факультета Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия.

Эйне Юрий Тарасович, аспирант 1 года обучения кафедры общей физики физического факультета Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия.

Краснов Дмитрий Александрович, студент 5 курса физического факультета Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия.

Научный руководитель – *Щербаченко Лия Авенировна*, доктор технических наук; профессор кафедры общей физики, Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия, lizoge@mail.ru.

УДК 539.211

С.А. Башкиров, А.И. Туровец

МИКРОСТРУКТУРА ТОНКИХ ПЛЕНОК СУЛЬФИДА ОЛОВА, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ «ГОРЯЧЕЙ СТЕНКИ»

Тонкие плёнки SnS получены методом «горячей стенки». Кристаллическая структура и фазовый состав плёнок исследованы методом рентгеновской дифракции. Топография исследована методом атомно-силовой микроскопии.

Тонкие поликристаллические плёнки сульфида олова представляют интерес в связи с возможностью их использования в оптоэлектронике [1–3].

Цель данной работы – исследование микроструктуры тонких плёнок сульфида олова в зависимости от температуры подложки при напылении. Плёнки SnS были получены напылением поликристаллического порошка сульфида олова методом «горячей стенки» [4] на подложки из стекла с подслоем молибдена в интервале температур подложки 260–350°C.

Кристаллическая структура и фазовый состав плёнок были исследованы методом рентгеновской дифракции с использованием дифрактометра Siemens D-5000. Топография и шероховатость поверхности пленок SnS была изучена методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) в контактном режиме (атомно-силовой микроскоп

NT-206) с использованием программы Surface Explorer.

Результаты рентгеновской дифракции показали, что в образцах, полученных при температурах 260–280°C, наряду с фазой SnS, отмечено присутствие фазы Sn₂S₃. Плёнки, полученные при температурах выше 280°C, содержат только фазу SnS. Во всех случаях для фазы SnS характерна преимущественная ориентация вдоль направления [111]. Параметры элементарной ячейки плёнок для фазы SnS в зависимости от температуры подложки изменялись в интервалах $a = 4,294 - 4,329 \text{ \AA}$, $b = 11,196 - 11,215 \text{ \AA}$, $c = 3,983 - 3,993 \text{ \AA}$. Размер зерна, определённый по формуле Шеррера для главного пика, увеличивался в интервале температур 260–317°C (от 64 нм до 110 нм), и при дальнейшем увеличении температуры подложки практически не изменялся.

Результаты атомно-силовой микроскопии показали, что увеличение температуры подложки в диапазоне от 260°C до 317°C приводит к резкому росту средней шероховатости поверхности (от 39 нм. до 97 нм.). Поперечные размеры кристаллитов для всех образцов остаются неизменными и равными 0,3–0,5 мкм. Продольный размер кристаллитов увеличивается от 0,5 до 2,1 мкм. Дальнейшее увеличение температуры подложки (от 315°C до 350°C) практически не изменяет топографию плёнок. Средняя шероховатость поверхности и отношение проективной площади к полной в данном интервале температур незначительно уменьшаются, а размеры кристаллитов не изменяются.

Список литературы

1. K.T. Ramakrishna Reddy, N. Koteswara Reddy, R.W. Miles. Solar Energy Materials & Solar Cells, 90 (2006), 3041–3046.
2. M. Gunasekaran, M. Ichimura. Solar Energy Materials & Solar Cells, 91 (2007), 774–778.
3. Ogah E. Ogah, Guillaume Zoppi, Ian Forbes, R.W. Miles. Thin Solid Films 517 (2009), 2485–2488
4. A. Lopez-Otero. Thin Solid Films, 49 (1978), 3–57

SnS thin films were produced by hot wall deposition method. Crystal structure and phase composition of the films were examined by X-Ray diffraction method. Investigation of topography of SnS surfaces was performed using atomic force microscopy.

Башикиров Семён Александрович, магистрант химического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, disput@narod.ru.

Туровец Антон Иванович, аспирант физического факультета Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка, Минск, Беларусь, antowa.tur@tut.by.

Научный руководитель – *Гременок Валерий Феликсович*, доктор физико-математических наук, доцент, главный научный сотрудник, ГО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», Минск, Республика Беларусь.

УДК 621.375.8

Д.В. Белоусов

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРАСИТЕЛЕЙ В ЖИДКИХ РАСТВОРАХ И ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИТНЫХ СРЕДАХ

Проведено измерение спектров поглощения и флуоресценции, а также исследована кинетика флуоресценции при возбуждении импульсами пикосекундной длительности фенолеминовых, кумариновых и периленовых красителей в жидких растворах и твердотельных композитных средах.

Были проведены исследования спектрально-люминесцентных характеристик некоторых красителей внедренных в композит нанопористое стекло-полимер (НПС-П). В целях определения влияния окружения на молекулы красителей в качестве примера сравнивались результаты исследований для этанольного раствора фенолемина 512 и того же красителя внедренного в НПС-П (при одинаковой концентрации).

В одних и тех же условиях были измерены спектры поглощения и флуоресценции, а также исследовалась кинетика флуоресценции при возбуждении импульсами пикосекундной длительности.

Данные об измерениях времен жизни возбужденных состояний позволяют сделать ряд важных выводов. Первый касается увеличения времени жизни возбужденного состояния красителя фенолемина 512 в НПС-П по сравнению с тем же фенолемином 512 в этанольном растворе. Как известно одной из причин способствующей снижению

времени жизни возбужденного состояния является нарушение строго плоскостной молекулярной структуры, когда те или иные фрагменты молекулы могут вращаться, поворачиваться или совершать колебания. Нахождение молекул красителя в НПС-П как раз предотвращает вышеуказанные процессы и молекула сохраняет строго плоскостную структуру, что и увеличивает время жизни возбужденного состояния. Это, в свою очередь, позволяет получать более высокий коэффициент усиления активной среды.

Кроме того, данные эксперимента говорят о том, что с увеличением длины волны регистрации флуоресценции, также происходит увеличение времени жизни возбужденного состояния. Это характерно для всех исследованных красителей: феналемина 510 и 512, пиррометена 580, перилена и двух кумаринов. Наличие указанного эффекта говорит о том, что в процессе возбуждения красителя происходит внутримолекулярный перенос энергии.

Для красителя феналемин 510, внедренного в НПС-П, был обнаружен необычный эффект, связанный с увеличением времени жизни возбужденного состояния с увеличением концентрации красителя в образце. Причем, эффект наблюдается как для случаев изменения спектрального состава возбуждающего излучения, так и для различных длин волн регистрации флуоресценции. Пока нет достаточно убедительного объяснения наблюдаемой закономерности, однако можно предположить, что увеличение времени жизни возбужденного состояния с увеличением концентрации красителя может быть связано с образованием димеров с измененными спектрально-люминесцентными параметрами.

Measurement of spectra of absorption and fluorescence is carried out, and kinetics fluorescence at excitation by pulses picosecond duration phenalemin, coumarin and perilen dyes in liquid solutions and solid-state composite environments is also investigated.

Белоусов Дмитрий Валерьевич, студент 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, t4r4o4y4@mail.ru.

Научный руководитель – *Тарковский Викентий Викентьевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, tarkovsky@grsu.by.

УДК 533.9; 621.793.6

П.Н. Бельй, М.П. Патапович

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОРЫ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PICEA ABIES*)

Методом лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии при возбуждении спектров двоекными лазерными импульсами проведено исследование относительного содержания ряда металлов в коре еловых древостоев минского промышленного узла и Березинского заповедника.

Загрязнение окружающей среды играет все возрастающую роль среди других антропогенных воздействий в связи с увеличивающимися объемами загрязняющих веществ поступающих в природную среду. В связи с этим возникает необходимость слежения за состоянием биоты под влиянием локального и трансграничного переноса поллютантов; выяснения закономерностей устойчивого развития экосистем с целью обеспечения научных основ сбережения природных комплексов и устойчивого их использования.

Цель нашего исследования – определение относительного содержания ряда металлов в коре еловых древостоев минского промышленного узла. В качестве объектов исследования были выбраны еловые древостои, имеющие сходные лесорастительные условия и лесотаксационные показатели, расположенные в 20 км к северо-западу от Минска (ПП-1-4), а для сравнения – типологически выдержанные одновозрастные древостои Березинского биосферного заповедника (ПП-5). Образцы коры для анализа отбирали в летний период с нижней части крон деревьев.

Для проведения исследований использовался лазерный атомно-эмиссионный многоканальный спектрометр LSS-1. В состав спектрометра, в качестве источника возбуждения плазмы, входит двухимпульсный неодимовый лазер с регулируемой энергией (от 10 до 100 мДж) и интервалом между импульсами (от 0 до 100 мкс). Лазер может работать с частотой повторения импульсов до 10 Гц на длине волны 1064 нм. Длительность импульсов составляет 15 нс.

Сопоставив уровень накопления металлов в условиях антропогенной нагрузки с контролем, мы установили, что в результате

загрязнения происходит усиление накопления в коре еловых фитоценозов Al, Cu, Mg, Zn в 1,1 – 1,2 раза; Pb – в 1,3 – 1,8 раза.

Таблица. Интенсивность спектральных линий (I) и относительная интенсивность по отношению к контрольной (O) химических элементов в коре еловых древостоев минского промышленного урла

| | | ПП-1 | ПП-2 | ПП-3 | ПП-4 | ПП-5 |
|----------------------|---|--------|--------|--------|--------|---------|
| Al (I) (309.173) | I | 13,2 | 16,8 | 16,3 | 16,3 | 14,6 |
| | O | 0,9 | 1,2 | 1,1 | 1,1 | 1 |
| Ca (II) (393.239) | I | 3861,7 | 4828,5 | 3614,0 | 6852,3 | 11641,0 |
| | O | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,6 | 1 |
| Cu (I) (324.754) | I | 15,5 | 14,7 | 16,7 | 21,75 | 18,1 |
| | O | 0,9 | 0,8 | 0,9 | 1,2 | 1 |
| Mg (I) (285.099) | I | 16,5 | 17,1 | 17,6 | 18,6 | 17,0 |
| | O | 0,9 | 1 | 1 | 1,1 | 1 |
| Pb (I) (405.673) | I | 18,9 | 22,9 | 27,6 | 26,9 | 14,3 |
| | O | 1,3 | 1,6 | 1,9 | 1,8 | 1 |
| Zn (I) (330.126) | I | 18,5 | 19,0 | 17,6 | 20,1 | 16,2 |
| | O | 1,1 | 1,2 | 1,1 | 1,2 | 1 |

Таким образом, несмотря на незначительный размер превышения содержания металлов в коре елей из техногенно нарушенных фитоценозов относительно заповедных аналогов, наблюдается тенденция в активизации поглощения Al, Cu, Mg, Zn и ослаблении аккумуляции Ca в условиях антропогенных нагрузок.

A relative content of several metals in rind of the spruce forest stock in the industrial region of Minsk and at the territory of the Berezinski preserve has been studied by the laser atomic-emission spectrometry method with spectral excitation by double laser pulses.

Белый Павел Николаевич, аспирант ГНУ «Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси». Минск, Беларусь, pavel.bely@tut.by.

Патапович Мария Петровна – аспирантка кафедры лазерной физики и спектроскопии Белорусского государственного университета. Минск, Беларусь, Masha_P@tut.by.

Научные руководители – *Сидорович Евгений Антонович*, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией экологической физиологии растений;

Зажогин Анатолий Павлович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии, физический факультет, белогорский государственный университет, Минск, Беларусь, zajogin_an@mail.ru

УДК 539.424

*В.С. Борисов, Н.А. Шурыгина, С.С. Барышников, Ю.Т. Эйне,
А.А. Трошев, Л.И. Ежова*

МОЛЕКУЛЯРНОЕ УПОРЯДОЧЕНИЕ В ПОЛЯРНЫХ ЖИДКОСТЯХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ЗАРЯЖЕННОЙ ТВЕРДОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Проведен теоретический анализ особенностей молекулярного упорядочения в тонких пленках полярных жидкостей на заряженной поверхности твердой подложки. Получено нелинейное самосогласованное уравнение, описывающее распределение потенциала и напряженности внутреннего электрического поля в объеме изучаемой пленочной структуры.

В ряде публикаций исследовано влияние заряженной поверхности твердой подложки на структурные и электрофизические параметры полярных жидкостей, контактирующих с этой поверхностью [1-3]. В рамках поляризационной теории де Бура-Цвиккера [2] объясняется, как взаимное упорядочение диполей жидкости порождает дальнедействующие силы, структурирующие большие объемы жидкости и приводящие к интенсивному росту преимущественно линейных кластеров. В данной работе проведен теоретический анализ особенностей формирования упорядоченных молекулярных структур в тонких пленках полярных жидкостей, расположенных на заряженной поверхности.

Потенциал суммарного внутреннего электрического поля ϕ в изучаемой системе содержит вклады потенциалов трех различных источников: 1 – поверхностные заряды подложки, 2 – межфазные ионы с зарядами $+q$ и $-q$ и концентрацией n_i , образующиеся в результате диссоциации молекул жидкой среды, и 3 – полярные молекулы жидкости с дипольным моментом μ_0 . Под действием внутреннего

электрического поля происходит перераспределение указанных ионов в объеме жидкости, в результате чего последняя приобретает избыточный объемный заряд. Предложен феноменологический подход к вычислению поля реакции молекул жидкости, которое и приводит к их взаимному упорядочению [1]. Впервые получено нелинейное самосогласованное уравнение, описывающее распределение потенциала внутреннего электрического поля ϕ в объеме пленки:

$$\frac{d^2\phi}{dz^2} \left[1 + \frac{\gamma n \mu_0^2}{\epsilon_0 k T} L \left(-\frac{\mu_0}{k T} \frac{d\phi}{dz} \right) \right] = \frac{2qn_i}{\epsilon_0} \operatorname{sh} \left(\frac{q\phi}{kT} \right),$$

где z – расстояние от поверхности подложки до заданной точки жидкости, γ – безразмерный параметр, характеризующий ближний порядок и геометрию молекул этой жидкости, n – постоянная Лошмидта, T – равновесная температура системы. На основании полученного дифференциального уравнения построены профили распределения потенциала ϕ и напряженности E внутреннего электрического поля при увеличении расстояния z от заряженной твердой подложки.

Диэлектрическая поляризация в рассматриваемых пленочных структурах исследовалась в рамках теории Кирквуда, обобщенной на анизотропные полярные жидкости, находящиеся под действием электрического поля заряженной подложки [3]. Получено выражение для расчета локального значения макропараметра жидкости $\epsilon_{\perp}(z)$ в точке, находящейся на расстоянии z от поверхности твердой фазы:

$$\epsilon_{\perp}(z) - 1 = \frac{9\epsilon_{\perp}(z)}{2\epsilon_{\perp}(z) + 1} \frac{4\pi n}{3} \left[\alpha_{\text{эл}} + g \frac{\mu_0^2}{3kT} R \left(\frac{\mu_0 E}{kT} \right) \right],$$

где $E = -d\phi/dz$ – напряженность внутреннего электрического поля, которая уменьшается при удалении от подложки.

Установлено, что при увеличении толщины жидкой прослойки происходит увеличение ее диэлектрической проницаемости вследствие уменьшения объемной доли структурированного слоя этой жидкости. Теоретически обосновано, что увеличение протяженности

структурированного слоя жидкости происходит как при повышении плотности поверхностного заряда подложки, так и при увеличении дипольного момента молекул жидкости.

Список литературы

1. Дерягин, Б.В. Поверхностные силы / Б.В. Дерягин. – М.: Наука, 1985. – С. 399.
2. Авдейчик, С.В. Полимер-силикатные машиностроительные материалы: физико-химия, технология, применение / С.В. Авдейчик [и др]. – Минск: Тэхналогія. 2007. – 431 с. ил.
3. Борисов, В.С.. Особенности состояния термодинамического равновесия тонкой водной пленки, находящейся в электрическом поле активных центров поверхности кристалла слюды / В.С. Борисов, Л.А. Щербаченко // Физика твердого тела, 2009. – Т. 51. – Вып. 12. – С. 2394-2399.

Specific features of molecular ordering in thin films of polar liquids on a charged solid surface are analyzed. Nonlinear self-consistent equation for the potential and strength of the inner electric field in the considered film structure has been obtained.

Борисов Владислав Станиславович, аспирант 2 года обучения кафедры общей физики физического факультета Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия, borisov.v.s@yandex.ru.

Шурыгина Наталья Александровна, аспирант 2 года обучения кафедры общей физики физического факультета Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия.

Барышников Сергей Сергеевич, аспирант 2 года обучения кафедры общей физики физического факультета Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия.

Эйне Юрий Тарасович, аспирант 1 года обучения кафедры общей физики физического факультета Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия.

Трошев Антон Алексеевич, студент 5 курса кафедры общей физики физического факультета Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия.

Ежова Лилия Игоревна, студентка 2 курса физического факультета Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия, lizog@mail.ru.

Научный руководитель – *Щербаченко Лия Авенировна*, доктор технических наук, профессор кафедры общей физики, физический факультет, Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия.

УДК 621.382

А.В. Борская

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ГАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ СЕНСОРА ОТ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ ДИОКСИДА ТИТАНА

Разработана методика синтеза порошков TiO_2 различной кристаллографической модификации. Установлена зависимость газочувствительных свойств сенсора от структуры порошка диоксида титана.

Для контроля газовой обстановки в условиях постоянно ухудшающейся экологической ситуации используют системы контроля и защиты окружающей среды. Основными требованиями, предъявляемыми к газовым датчикам, которые представляют собой неотъемлемую часть таких систем, являются: достаточная чувствительность; селективность; быстродействие; малая потребляемая мощность; дешевизна и простота изготовления; стабильность в процессе эксплуатации; возможность серийного изготовления [1].

В настоящее время наиболее распространены и перспективны датчики на основе SnO_2 , ZnO , NiO , CuO , TiO_2 , ZrO_2 , Y_2O_3 , WO_3 и других оксидов. Такие материалы имеют простую, стабильную структуру. Сигнал, снимаемый с датчиков из вышперечисленных оксидов, может быть подан непосредственно на электрическую схему.

Усилия ученых направлены на повышение чувствительности и избирательности датчиков газа, в целях расширения области их применения [2].

В работе представлены результаты по исследованию чувствительных характеристик газовых сенсоров, изготовленных на основе оксидов титана.

Как известно, диоксид титана имеет три полиморфные модификации: рутил, анатаз, брукит, отличающиеся кристаллографическим строением. Модификация порошка диоксида титана определяется способом его получения. Для использования TiO_2 в составе чувствительного слоя газового сенсора нами были разработаны методики синтеза порошков двух кристаллографических модификаций: рутил и анатаз. В основе метода использованы золь-гель процессы. Необходимая кристаллографическая модификация порошка была достигнута применением соответствующего прекурсора и температурными режимами отжига гелей (в диапазоне от 500 до

1100°C). Для контроля состава порошка проводили рентгенофазовые исследования. На основе полученных порошков диоксида титана были изготовлены термокаталитические и газовые сенсоры.

Проводились измерения чувствительности сенсора к воздействию метана (концентрация 0,5 % в воздухе) при различных токах платинового нагревателя.

Установлена зависимость газочувствительных свойств сенсора (к воздействию метана) от кристаллической модификации диоксида титана: наилучшими газочувствительными свойствами обладают сенсоры, в состав которых входит диоксид титана модификации анатаз, полученный выпариванием золь-гель раствора.

Список литературы

1. Сенсор / С.И. Рембеза [и др.]. – 2004. – № 1 (10). – С. 20–28.
2. Биленко, А. Газовая атака на фронте датчиков / А. Биленко // CHIP NEWS. – 1996. – № 8 – 9.

TiO₂ have been prepared by a chemically modified sol-gel technique. Sensing properties are tested.

Борская Анжела Викторовна, аспирант радиотехнического факультета Полоцкого государственного университета, Новополоцк, Беларусь, tmolod@psu.by.

Научный руководитель – *Молодечкина Татьяна Викторовна*, кандидат технических наук, доцент кафедры КиТ РЭС, Полоцкий государственный университет, Новополоцк, Беларусь, tmolod@psu.by.

УДК 535.37:544.18

Н.Н. Бубешко

ФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЕРОКСИДА ВОДОРОДА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Предложена методика определения концентрации пероксида водорода в водных растворах.

Целью работы являлась разработка флуоресцентного метода определения концентрации пероксида водорода в водных растворах с использованием гем-содержащих белков и тиамин (Thm). Для этого

были изучены спектрально-флуоресцентные свойства продуктов окисления тиамин – тиохрома (TChr) и оксидигидротиохрома (ODTChr) – в различных растворителях и проведены квантово-химические расчеты этих молекул.

Среди флуоресцентных методов определения концентрации пероксида водорода нами был выбран способ, согласно которому в качестве флуорогенного соединения используется тиамин. Тиохром, образующийся при окислительной трансформации тиамин (см рисунок), обладает интенсивной флуоресценцией при 440 нм, что позволяет легко измерять концентрацию H_2O_2 .

Ранее мы обнаружили, что оптимальным катализатором окисления тиамин в тиохром является миоглобин. Выбор этого белка был сделан по причине того, что в его присутствии практически полностью отсутствует конкурентный процесс образования оксидигидротиохрома. Поэтому дальнейшие исследования производились с данным белком.

Увеличения скорости протекания реакции окисления тиамин в присутствии миоглобина и перекиси водорода можно добиться с помощью добавления D-тирозина в инкубационную смесь.

В процессе обработки данных было определено, что при разложении ~ 5 молекул пероксида водорода образуется 1 молекула тиохрома.

На основании проведенных исследований была разработана методика, согласно которой можно определять содержание пероксида водорода с погрешностью, не превышающей 10 % от определяемого значения в диапазоне концентраций от 1 мкМоль/л до 50 мкМоль/л.

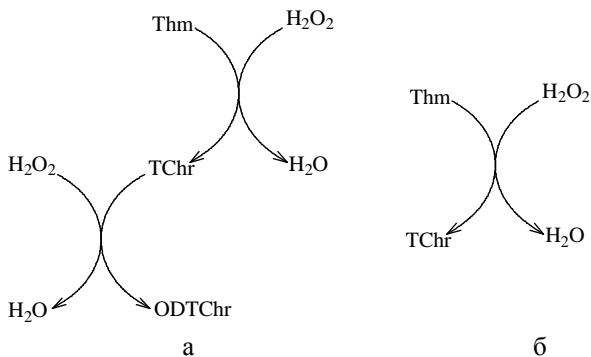


Рисунок – Схема, отображающая процесс окислительной трансформации тиамин под воздействием пероксида водорода в присутствии гем-содержащих белков цитохрома с (а) и метмиоглобин (б)

Список литературы

1. Лакович, Дж. Основа флуоресцентной спектроскопии / Дж. Лакович. – М.: Мир, 1986. – 496 с.
2. Бубешко, Н. Изучения спектрально-флуоресцентных свойств тioxрома в различных растворителях / Н. Бубешко // Физика конденсированного состояния: тез. докл. XXVII Респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Гродно, 16 – 17 апр. 2009 г. / Гродн. гос. ун-т; редкол.: Е.А. Ровба (отв. ред.) [и др.]. – Гродно, 2009. – С. 86 – 87..
3. Williams, A.T.R. Relative fluorescence quantum yields using a computer controller luminescence spectrometer / A.T.R. Williams, S.A. Winfeld, J.N. Miller. // Analyst. – 1983. – V. 108. – P. 1067.
4. Кларк, Т. Компьютерная химия / Т. Кларк: пер. с англ. – М.: Мир., – 1990.

The method to determine concentration of hydrogen peroxide in aqueous solvents was proposed.

Бубешко Николай Николаевич, магистрант 1 курса физико-технического факультета, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Степура Виталий Иванович*, кандидат физико-математических наук, доцент, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 541.1

А.Ю. Витус

ГКР-СПЕКТРЫ ГЕМОГЛОБИНА, АДСОРБИРОВАННОГО НА КОЛЛОИДАХ СЕРЕБРА

Были измерены спектры резонансного (РКР) и гигантского (ГКР) комбинационного рассеяний гемсодержащего белка гемоглобина в окси- и мет-формах. Проведено отнесение колебательных полос в спектрах.

Наиболее информативным методом исследования взаимодействий молекул с поверхностью металлов является метод гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) света. Он позволяет решать задачи, связанные со строением молекул, адсорбции молекул на поверхности металлов и физимией самой поверхности.

В качестве объектов исследования был использован гемсодержащий белок гемоглобин в окси- и мет- формах. Синтез коллоидов серебра с размером частиц 40 нм проводился согласно методике [1]. РКР- и ГКР- спектры были получены с помощью спектрометра ДФС-52М (ЛОМО, Россия), оснащенного ионным аргоновым лазером. Длина волны возбуждения составляла 488 нм.

С помощью пакета PeakFit спектры РКР и ГКР окси- и мет- форм гемоглобина были разложены на линии Гаусса (см. таблицу) и произведено отнесение колебательных полос в соответствии с работой [2].

Обнаружено, что несмотря на то, что РКР спектры мет- и окси- формы гемоглобина различаются, после адсорбции на поверхности коллоидов серебра спектры комбинационного рассеяния этих двух форм белка практически одинаковы. Это может говорить о том, что при адсорбции окси- формы белка происходит окисление иона железа гема или гемовое кольцо выходит из белковой матрицы и сорбируется на коллоидах серебра.

Таблица. Отнесение спектральных линий для РКР и ГКР окси- и мет- гемоглобина

| ν_i | РКР метгемогло-бина, см^{-1} | РКР оксигемо- глобина, см^{-1} | ГКР оксигемо- глобина, см^{-1} |
|---|---|---|---|
| $\nu_5(\text{C}_{\beta^-}$ methyl stretch) | - | 1123 | 1126 |
| ν_{30} | 1170 | 1165 | 1165 |
| ν_{13} | 1216 | - | - |
| | - | - | 1235 |
| $\delta(\text{C}_a\text{H}=\text{)}$ | - | - | 1304 |
| ν_{41} | - | 1342 | 1349 |
| ν_4 | 1369 | 1371 | 1369 |
| ν_{12} | 1389 | 1394 | 1391 |
| ν_{28} | - | - | 1426 |
| ν_{38} | 1513 | 1499 | 1498 |
| ν_{11} | 1544 | 1549 | - |
| ν_2 | 1565 | - | - |
| ν_{37} | - | 1579 | 1573 |
| ν_{10} | 1608 | - | - |
| $\nu(\text{C}_a=\text{C}_b)$ | 1631 | 1632 | 1634 |

Список литературы

1. Rong-Sheng, Ling Zhu, Michael P.Morris. Sedimentation Classification of Silver Colloids for SERS
2. Songzhou Hu, Kevin M. Smith, and Thomas G. Spiro. Assignment of Protoheme Raman Spectrum by Heme Labeling in Myoglobin// J. Am. Chem. Soc.– 1996.– V.1, № 118.- P.12638 –12646.

SERS and Resonant Raman spectra of oxy- and met-forms of hemoglobin were measured. Assignment of vibrational bands in spectra was carried out.

Витус Анна Юрьевна, студентка 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно Беларусь, Anyavitus.by88@mail.ru.

Научный руководитель – *Маскевич Сергей Александрович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, msa@grsu.by.

УДК 548:53

Е.Л. Гайкович

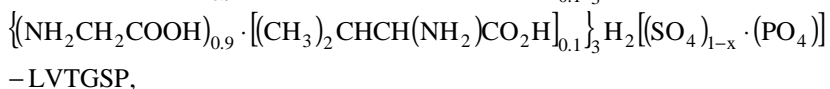
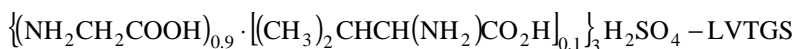
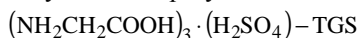
ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМБИЛЕГИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ TGS

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния комбинированной модификации кристаллов TGS на изменение их поляризационных свойств в синусоидальном поле.

Практическое использование монокристаллического триглицинсульфата (TGS) в качестве высокочувствительного пироэлектрического материала требует стабилизации его доменной структуры. Для этого используется модификация в процессе выращивания кристаллов с целью воздействия на структурные элементы, ответственные за возникновение спонтанной поляризации: группу SO_4 и группу NH_3 молекулы глицина-I [1]. Исследования [2]

показали существенное влияние групп-модификаторов PO_4 и L-валина на диэлектрические свойства TGS.

В работе представлены результаты исследования поляризационных свойств монокристаллов, выращенных из растворов, полученных в результате стехиометрического синтеза систем:



где x – степень замещения сульфатной группы в растворе.

Исследования показали, что все модифицированные кристаллы характеризуются прямоугольными асимметричными петлями гистерезиса. Это свидетельствует о неравноправности направлений поляризации, что наиболее заметно в полях ниже коэрцитивных. При этом статическая униполярность кристаллов зависит от модификаторов и их сочетания, а также температуры роста кристалла. Наибольшими значениями полей смещения характеризуются кристаллы TGSP с частично замещенной сульфатной группой $[\text{SO}_4]^{2-}$ на $[\text{PO}_4]^{3-}$. Одновременное замещение сульфатной группы на $[\text{PO}_4]^{3-}$ и глициновой группы на L-валин (кристаллы LVTGSP) приводит к уменьшению полей смещения.

Полевые и температурные зависимости спонтанной поляризации кристаллов свидетельствуют о том, что в процессе их комбинированной модификации величина P_s уменьшается незначительно. При этом не наблюдается уменьшения температурной области полярной фазы. Значения P_s кристаллов, как и характер их изменения при электрических и температурных воздействиях, зависят от модификаторов и их сочетания.

Список литературы

1. Цедрик, М.С. Физические свойства кристаллов семейства триглицинсульфата / М.С. Цедрик. – Мн.: Наука и техника, 1986. – 216 с.
2. Марголин, Л.Н. Диэлектрические свойства кристаллов LVTGSP в слабых электрических полях / Л.Н. Марголин [и др.] // Весці БДПУ. – Мінск, 2008. – № 3 – С. 4 – 7.

The following presents the results of research of influence of groups modifiers and growth conditions on the properties of TGS, TGSP, LVTGS and LVTGSP crystals.

Гайкович Елена Леонидовна, студентка 5-го курса физического факультета Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Януга Виктор Иосифович*, кандидат физико-математических наук, доцент, декан физического факультета, Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка, Минск, Беларусь, E-mail: ywi@bspu.unibel.by

УДК 535.317

А.И. Глушеня, А.А. Размук

ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ РЕВЕРСИВНОГО СДВИГА

Показано, что использование разворота исследуемого объекта в голографической интерферометрии реверсивного сдвига для объектов с линейными размерами, не превышающими половины диаметра зондирующего светового пучка, позволяет удвоить чувствительность интерферограмм, отображающих изменения волнового фронта исследуемым объектом.

Методы сдвиговой интерферометрии привлекают себя сравнительной простотой оптических схем реализации, а также высокой виброустойчивостью самих интерферометров и находят широкое применение в различных областях науки и техники.

В настоящей работе показано, что использование разворота исследуемого объекта в голографической интерферометрии реверсивного сдвига позволяет удвоить чувствительность измерений данного метода. Для реализации данного способа повышения

чувствительности максимальные линейные размеры исследуемого фазового объекта в направлении перпендикулярном к оси реверсивного сдвига не должны превышать половины диаметра зондирующего объектного пучка. Метод реализуется в два этапа. На первом этапе исследуемый фазовый объект размещается в одной из половин зондирующего светового пучка, и записывается опорная голографическая интерферограмма. После химической обработки голографическая интерферограмма устанавливается в прежнее место. На втором этапе фазовый объект разворачивается относительно оси реверсивного сдвига на 180° , и по нормали к опорной голограмме восстанавливаются волны, дифрагированные в первый и нулевой порядки, образующие интерференционную картину с удвоенной чувствительностью отображения оптических неоднородностей исследуемого фазового объекта. Интерференционная картина представляет собой два изображения исследуемого объекта, расположенные симметрично относительно оси разворота. Рассмотрены различные варианты настройки интерференционных полос. Показано, что оптимальной настройкой является бесконечно широкая полоса или конечные полосы параллельные оси реверсивного сдвига. Для этих условий настройки наблюдается симметрия в поведении интерференционных полос, что позволяет уменьшить величину погрешности измерений, возникающей при юстировке интерферометра. Для экспериментальной апробации методики была использована тестовая стеклянная пластина. На рисунке представлены интерферограммы реверсивного сдвига для рекомендованной настройки интерференционных полос.

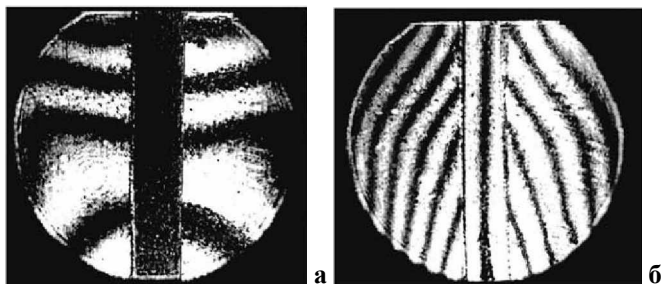


Рисунок – Интерферограммы удвоенной чувствительности полученные в полосах бесконечной (а), конечной (б) ширины

Чувствительность отображения оптических неоднородностей тестовой пластины повышена в два раза.

It is shown that a turn of an object in holographic reversible shearing interferometry in the case of object with linear dimensions not exceeding half the diameter of a probe light beam allows the doubling of the sensitivity of interferograms mapping changes in a wavefront caused by the object.

Глушеня Андрей Иванович, студент 6 курса заочного отделения физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь;

Размук Александр Алейзович, студент 6 курса заочного отделения физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Ляликов Александр Михайлович*, доктор физико-математических наук, доцент, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 621.315.592

Д.В. Горбачев

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА In_2Se_3

Исследованы диэлектрическая проницаемость ϵ и тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ при частотах $10^3 - 10^6$ Гц и температурах 78 – 400 К на монокристаллах In_2Se_3 .

Особенности межатомного взаимодействия на квазибинарном разрезе $\text{A}_2\text{C}^{\text{VI}} - \text{B}_2\text{C}_3^{\text{VI}}$ привели к получению тонкопленочных солнечных элементов на основе образующихся при этом различным образом позиционно-упорядоченных алмазоподобных фаз $\text{A}^{\text{I}}\text{B}_{2n+1}^{\text{III}}\text{C}_{3n+2}^{\text{VI}}$, открывающих новые перспективы использования их в полупроводниковой фотоэлектронике [1 – 3]. Сведения о физических параметрах таких фаз и, в частности, In_2Se_3 весьма противоречивы [4].

Настоящая работа направлена на исследования диэлектрической проницаемости ϵ и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ в

интервале частот $10^3 - 10^6$ Гц и температурах 78–400 К монокристаллов соединения In_2Se_3 .

Монокристаллы In_2Se_3 выращивали направленной кристаллизацией расплава (вертикальный вариант метода Бриджмена). Элементарные компоненты индий и селен чистотой $> 99,9998\%$, взятые в соотношениях, соответствующих химическому соединению.

Структуру и параметры элементарной ячейки монокристаллов устанавливали рентгеновским методом. Дифрактограммы записывали на автоматически управляемом с помощью ЭВМ рентгеновском дифрактометре ДРОН-3 М в $\text{CuK}\alpha$ – излучении с графитовым монохроматором.

Для измерений температурных зависимостей диэлектрической проницаемости были изготовлены конденсаторы, диэлектриком в которых служили пластинки исследуемых монокристаллов In_2Se_3 . Образцы представляли собой прямоугольные пластинки толщиной 0,5 мм и площадью 10 мм^2 на которые наносились электроды из серебряной пасты.

Диэлектрические свойства монокристаллов In_2Se_3 исследовались на автоматизированной установке, созданной на базе измерителей иммитанса Е7-12 и Е7-14.

На основании проведенной работы видно, что с увеличением температуры на частотах $10^5, 10^6$ Гц соединение In_2Se_3 проявляет диэлектрические свойства. При низких температурах величина диэлектрической проницаемости для перпендикулярной плоскости скола $\epsilon \approx 25$, а для параллельной $\epsilon \approx 45$.

Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ для параллельной плоскости скола с увеличением температуры плавно возрастает, тогда как для образца с перпендикулярной плоскостью скола наблюдается максимум про температуре порядка 290-295 К.

Список литературы

1. И.В. Боднар, Е.С. Дмитриева, С.Е. Никитин, В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь, Е.И. Теруков // ФТП. 38, 1228 (2004).

2. G. Marin, R. Marguez, R. Guevara, S. M. Wasim et al. Jap. J. Appl. Phys. 39, Suppl. 39 - 1, 44 (2000)
3. И.В. Боднар, В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь, М.В. Якушев. ФТП. 36, 1211 (2002)
4. T. Negami, N. Kohara, M. Nishitani, T. Wada, T. Hirao. Appl. Phys. Lett. 67, 825(1997).
5. В.Ю. Рудь, Ю.В. Рудь, И.В. Боднар, Д.В. Горбачев, Т.Н. Ушакова. ФТП. 42, 1211 (2009)

The dielectric constant and loss-angle tangent at different frequencies and temperatures for single crystals In_2Se_3 have been explained.

Горбачев Дмитрий Владимирович, аспирант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Беларусь, dima_lotus@tut.by.

Научный руководитель – *Боднар Иван Васильевич*, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой химии, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, chemzav@bsuir.by.

УДК 544.142

О.В. Гусакова, В.В. Тригук

ТИП ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ В КРИСТАЛЛЕ БЕЛОГО ОЛОВА

В работе исследуется вопрос о возможности наличия в кристалле белого олова ковалентной химической связи наряду с ионной. Теоретически получены карты распределения электронной плотности. Показано, что вдоль всех направлений в кристалле химическая связь является ионной.

Как известно, по своим свойствам белое олово ($\beta\text{-Sn}$) относится к типичным металлам. В связи с этим вполне естественно полагать, что в данном кристалле реализуется ионный тип химической связи. Однако в работе [1] было

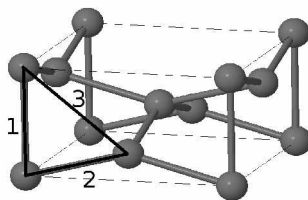


Рисунок 1 – Кристаллическая решётка белого олова

высказано предположение, что в кристаллической решётке β -Sn (рис. 1) возможно наличие как ионных, так и ковалентных связей (вдоль кратчайшего направления 2), на основании которого авторы объясняют наличие преимущественного направления роста дендритов олова. В связи с этим целью настоящей работы является теоретический расчет распределения электронной плотности в кристалле белого олова для определения типа химической связи вдоль различных направлений в ячейке.

Расчеты распределения электронной плотности были выполнены в рамках теории функционала плотности с помощью метода FP-LMTO (full-potential linear muffin-tin orbitals) [2], реализованного в программном пакете LMTART. Параметры ячейки a и c/a были определены из условия минимума теоретического значения полной энергии кристалла (были проведены расчёты E_{tot} на двумерной сетке значений a и c/a). Полученные результаты находятся в хорошем согласии с экспериментом

$$\left(a_{\text{theor}} = 5.873 \text{ \AA}, c/a_{\text{theor}} = 0.535, a_{\text{expt}} = 5.8197 \text{ \AA}, c/a_{\text{expt}} = 0.5455 \right)$$

Результаты расчётов электронной плотности для плоскости (100) приведены на рис. 2. Для наглядности на рис. 3 в одном масштабе изображено изменение электронной плотности вдоль различных направлений в соответствии со схемой на рис. 1. Для сравнения на рис. 3 дополнительно представлен характер изменения электронной плотности при наличии типичной ковалентной связи (кристалл MgB_2 , ковалентная связь между атомами бора).

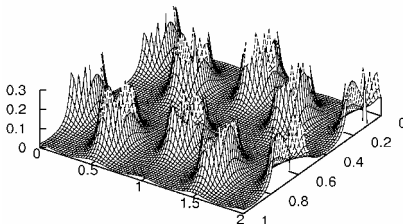


Рисунок 2 – Электронная плотность β -Sn в плоскости (100)

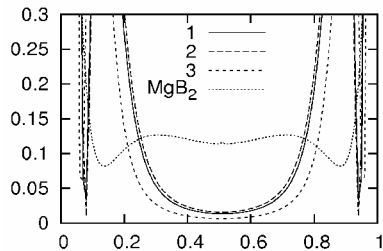


Рисунок 3 – Электронная плотность вдоль линий химической связи

Из приведённых диаграмм видно, что между ионами олова как в направлении 2, так и в направлениях 1 и 3 отсутствуют так называемые «ковалентные мостики» электронной плотности. Это говорит о том, что связь в кристалле белого олова является исключительно ионной. Предположение о различном характере химической связи вдоль направлений 2 и 3, приведённое в работе [1], не может быть подтверждено нашими расчётами.

Список литературы

1. Есин, В.О. Кристаллографическая ориентация дендридов чистого олова. / В.О. Есин, Г.Н. Панкин, Р.Ш. Насыров // Кристаллография, –1973. – Т. 18. – Вып. 5. – С. 396–402.
2. Savrasov, S. Yu. Full-potential linear-muffin-tin-orbital method for calculating total energies and forces / S. Yu. Savrasov, D. Yu. Savrasov // Phys. Rev. B. – 1992. – Vol. 46. – № 19. – P. 12181–12195.

The possibility of chemical bonding existence aside with ionic bonding in white tin crystal is investigated in this paper. Charge density distribution diagrams are calculated from first principles. It is shown than the chemical bonding in white tin is ionic along all directions.

Гусакова Ольга Вадимовна, аспирантка физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, olvadgus@mail.ru.

Тригук Валерий Владимирович, студент физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, triguk_vv@tut.by.

Научные руководители – *Шепелевич Василий Григорьевич*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твёрдого тела, белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, shepelevich@bsu.by.

Феранчук Илья Давыдович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедры теоретической физики, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, fer@open.by.

УДК 538.245:537.226.1

Т.В. Дубина, Д.А. Кривченя, Е.И. Котова, Д.В. Якимчук

СИНТЕЗ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (Bi,A)FeO₃ (A=La, Nd, Gd) МУЛЬТИФЕРРОИКОВ

Поликристаллические материалы (Bi,A)FeO₃ (A=La, Nd, Gd) были синтезированы по обычной керамической технологии. Результатами

рентгеновского анализа подтверждается однофазность полученных образцов. Методами диэлектрической спектроскопии исследованы диэлектрические и оптические свойства. Рассчитан комплекс оптических функций в областях решеточных и электронных резонансов.

Всплеск интереса к мультиферроикам на основе феррита висмута обусловлен возможностью преобразования в них магнитного сигнала (бита информации) в электрический сигнал без протекания электрического тока. При нынешних скоростях считывания информации в жестких дисках подобный механизм обработки сигналов является возможным решением такой проблемы современной электроники, как защита электронных устройств от влияния паразитных токов Фуко, которые являются основной причиной перегрева активных элементов электронных микросхем.

Связь между магнитной и электрической подсистемами в мультиферроиках, проявляющаяся в виде магнитоэлектрических эффектов, предоставляет возможность с помощью электрического поля управлять магнитными свойствами материала и, наоборот, осуществлять модуляцию электрических свойств магнитным полем. Все это позволяет говорить о мультиферроиках как о возможных материалах для создания сенсоров магнитного поля, устройств записи/считывания информации. Для получения новых материалов со специальными сегнетоэлектрическими и магнитными свойствами, а также для понимания природы физических свойств мультиферроиков на основе BiFeO_3 синтезируют соединения, в которых ион висмута замещают трех- и двухвалентными ионами.

Целью настоящей работы является исследование структуры и оптических свойств мультиферроиков, синтезированных на основе феррита висмута.

Поликристаллические образцы системы $(\text{Bi}, \text{A})\text{FeO}_3$ ($\text{A}=\text{La}, \text{Nd}, \text{Gd}$) готовили по стандартной керамической технологии. Стехиометрические количества порошков смешивали вручную в фарфоровой ступке в течение 5 часов. Предварительный обжиг смесей производили трехкратно в воздушной атмосфере при температуре 700°C . Перед окончательным спеканием образцы прессовали в цилиндрические таблетки высотой 3 мм и диаметром 8 мм.

Рентгенографический анализ показал, что все составы обладают перовскитоподобной структурой.

Вид спектров коэффициента отражения и восстановленные на их основе спектры компонент ϵ_1 , ϵ_2 подтверждают преобладание в синтезированных образцах ионного типа химической связи, и указывает на наличие механизма диэлектрической поляризации, связанного с упругими смещениями ионов кристаллической решетки. С использованием программы Reffit [1] на основании восстановленных параметров осцилляторов выполнено моделирование решеточных спектров коэффициента отражения.

В области фундаментального поглощения на частотных зависимостях коэффициента отражения выделяются два широких максимума. Вид спектра позволяет предположить доминирующую роль переходов с переносом заряда $O^{2-} - Fe^{3+}$ в формировании оптических свойств данных соединений. Рассчитаны основные параметры оптических функций.

Список литературы

1. Kuzmenko, A.B. Kramers-Kronig-constrained variational analysis of optical data / A.B. Kuzmenko // Rev. Sci. Instrum. – 2005. – Vol. 76, – P. 083108– 083112.

Polycrystalline materials $(Bi, A)FeO_3$ ($A=La, Nd, Gd$) were synthesized by the conventional ceramic method. The single-phase formation of these compounds was confirmed by X-ray diffraction studies. Dielectric and optical properties were studied by method of dielectric spectroscopy. The complex of optical functions was calculated in region of lattice and electronic resonances.

Дубина Татьяна Владимировна, аспирантка Белорусского государственного аграрного технического университета, Минск, Беларусь.

Кривченя Дмитрий Анатольевич, студент 5 курса, физического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест, Беларусь.

Котова Екатерина Игоревна, студентка 2 курса физического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест, Беларусь.

Якимчук Дмитрий Владимирович, студент 2 курса физического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест, Беларусь.

Научные руководители – *Соболь Валерий Романович*, доктор физико-математических наук, Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка, Минск, Беларусь.

Макоед Игорь Иванович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики, физический факультет, Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина, Брест, Республика Беларусь, maoked@brsu.brest.by.

УДК 538.245:537.226.1

Т.В. Дубина, Д.А. Кривченя, Е.И. Котова, Д.В. Якимчук

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ФОНОННЫХ СОСТОЯНИЙ В ФЕРРИТЕ ВИСМУТА

Методами диэлектрической спектроскопии экспериментально исследованы диэлектрические функции поликристаллического BiFeO_3 .

Исследование диэлектрического отклика относится к числу основных экспериментальных методов изучения электронного строения и динамических свойств кристаллов. Выраженный в виде функций компонент $\epsilon_1(\omega)$, $\epsilon_2(\omega)$ комплексной диэлектрической проницаемости $\epsilon^* = \epsilon_1 - i\epsilon_2$, оптических констант $n(\omega)$, $k(\omega)$, он содержит сведения о механизмах диэлектрической поляризации и позволяет определять величины вкладов в ϵ^* , дает возможность получения частот оптических фононов, эффективных зарядов, электронных поляризуемостей.

В настоящей работе данный метод применен к исследованию физических свойств поликристаллического феррита висмута. Целью работы является исследование диэлектрических характеристик феррита висмута.

Одной из центральных задач физики твёрдого тела является проблема спектроскопии собственных энергетических уровней кристаллов. При изучении тонкой структуры спектров используют метод диаграмм Арганда [1], который позволяет без дополнительных эмпирических параметров однозначно разделить интегральные кривые

$\varepsilon_1(\omega)$ и $\varepsilon_2(\omega)$ на компоненты в рамках модели симметричных лоренцевских осцилляторов. Теория упругой поляризации основана на модели линейного осциллятора, где заряженная частица колеблется в параболической потенциальной яме, создаваемой квазиупругой возвращающей силой. Зависимость поляризации от частоты в этом случае описывают формулами Лоренца. При анализе электронных диэлектрических спектров успешно применяют расчетную схему, разработанную Соболевым В.В [1].

Как показывают результаты расчетов, в случае ионных кристаллов, метод диаграмм Арганда может быть применен для обработки оптических спектров в области решеточных резонансов. Поскольку в данной спектральной области структура спектров более резко выражена чем в области фундаментального поглощения, то это налагает определенные требования на свойства исходной функции – экспериментальный спектр коэффициента отражения. В процессе получения экспериментальных данных неизбежны погрешности, обусловленные как используемыми приборами, так и ошибками экспериментатора – неточности в определении абсолютных величин коэффициента отражения, скачки на краях шкалы многопредельных приборов, а также, неоднородности, возникающие при сшивании результатов, полученных на разных приборах.

Подобные ошибки при обработке спектров по методу Крамерса Кронига могут привести к появлению особенностей в спектрах компонент диэлектрической проницаемости обусловленных не природой образца, а математической обработкой. Поэтому предлагается предварительно выполнить осцилляторное моделирование спектра коэффициента отражения с целью получения функциональной зависимости $R(\omega)$, максимально близкой к экспериментальной. Для этого удобно использовать программу Reffit [2], которая позволяет с высокой степенью точности воспроизводить решеточные спектры ионных кристаллов.

С использованием программы Reffit на основании восстановленных параметров осцилляторов выполнено моделирование решеточного спектра коэффициента отражения феррита висмута. Рассчитаны основные параметры оптических функций.

Список литературы

1. Соболев, В.В. Методы вычислительной физики в теории твердого тела. Электронная структура полупроводников / В.В. Соболев, В.В. Немошкаленко. – Киев, 1988. – 423 с.: ил.

2. Kuzmenko, A.B. Kramers-Kronig-constrained variational analysis of optical data / A.B. Kuzmenko // Rev. Sci. Instrum. – 2005. – Vol. 76, – P. 083108– 083112.

Dielectric functions of polycrystalline BiFeO_3 were studied by method of dielectric spectroscopy.

Дубина Татьяна Владимировна, аспирантка Белорусского государственного аграрного технического университета, Минск, Республика Беларусь.

Кривченя Дмитрий Анатольевич, студент 5 курса физического факультета, Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест, Беларусь.

Котова Екатерина Игоревна, студентка 2 курса физического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест, Беларусь.

Якимчук Дмитрий Владимирович, студент 2 курса физического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест, Беларусь.

Научные руководители – *Соболь Валерий Романович*, доктор физико-математических наук, Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка, Минск, Беларусь.

Макоед Игорь Иванович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики, физический факультет, Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина, Брест, Республика Беларусь, makloed@brsu.brest.by.

УДК 556.113

И.В. Заноза

ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ «ПОВЕРХНОСТЬ СЛЮДЫ – ПОВЕРХНОСТНАЯ ВОДНАЯ ПЛЕНКА»

Изменения свойств воды в пленочном состоянии на ювенильной поверхности слюд определяется воздействием электрического поля кристалла. Установлено, что структура водной пленки отличается от структуры объемной воды, но и молекулы пленочной воды оказывают влияние на кристалл.

Слюда принадлежит к классу минералов, характеризующихся совершенной спайностью – способностью расщепляться на тонкие пластинки с ровной поверхностью. При раскалывании кристалла слюды образуются поверхностные заряды, которые выступают в роли центров адсорбции полярных молекул воды из окружающей среды [1,2]. Под

действием поверхности кристалла происходит изменение структуры водной пленки и, физических свойств [3].

Обычно рассматривают влияние подложки на поверхностную пленку. Однако в водной пленке, нанесенной даже на нейтральную поверхность, могут возникать участки, где возникает ячейка локальной поляризации, то есть создается поляризационная мозаика вследствие действия водной пленки.

Следовательно, рассматривая систему, подложка – поверхностная пленка, следует анализировать не только влияние подложки на поверхностную пленку, но и учитывать влияние поверхностей пленки на кристалл- подложку.

Аналогичный эффект, на наш взгляд, в принципе может возникнуть даже при отсутствии полярных молекул, как в пленке, так и в основе. В поверхностях пленке вследствие флуктуаций могут возникнуть ячейки спонтанной поляризации, которые вызовут отклик остальных молекул.

Естественно, при наличии полярных молекул в обеих составляющих системы подложка – поверхностная пленка, эффект также обменного взаимодействия будет выражен в наибольшей степени. Наименьшее проявление будет наблюдаться при отсутствии полярности и слабо выраженной поляризации у молекул пленки и подложки.

Для системы водная пленка – ювенильная поверхность монокристалльной пленки слюды, эффект выражен настолько сильно, что проявляется практически на макроуровне. Действительно, толщина пленки со свойствами, отличными от объемной существенно превышает размерную границу между макро - и нанофазой, равной для воды [3].

В частности, при взаимодействии белков с органическими поверхностями. Может наблюдаться эффект, аналогичный описанному [4]. Изучение адсорбции белка в интерфейсах между самособранными монослоями и водными буферными пленками показывает, что органические пленочные чэндвичевые системы, подготовленные из самособранной длинной цепи алканетиолов на золото – это объекты, в какой-то мере аналогичные системам кристалл-водная пленка.

Список литературы

1. Мецик, М.С. Механические свойства кристаллов слюды / М.С. Мецик. – ИГУ, Иркутск, 1988. – 316 с.
2. Мецик, М.С. Физика расщепления слюд / М.С. Мецик. – Иркутск: Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1967. – 278 с.
3. Лиопо, В.А. Действие кристаллов слюд на поверхностные водные пленки / В.А. Лиопо, А.В. Никитин, В.А. Струк, Л.А. Щербаченко // Вестник ГрГУ. – Серия 2. – 2008. – № 3 (73). – С. 93-99.
4. Китель, Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Китель. – М.: Гос. изд. физ.-мат. лит, 1963. – 696 с.

Changes of properties of water in a film condition on mica's surface is determined by influence of the electrical field. It is necessary to take into account that the structure of a water film is different from the structure of bulk water.

Заноза Ирина Викентьевна, студентка 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Лиопо Валерий Александрович*, доктор физико-математических наук, профессор, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь; liopo@grsu.by.

УДК 548.4:539.211:537.533.9:539.534.9:537.533.35

*М.В. Здоровец, А.А. Абдрахметова, Ф.У. Абуова, А. Мухышбаева,
Т. Баймурзин, Б. Юсупбекова*

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ДЕФЕКТЫ В LiF ОБЛУЧЕННОМ ИОНАМИ КСЕНОНА, КРИПТОНА И АЗОТА

Представлены экспериментальные результаты по облучению кристаллов LiF на ускорителе DC-60 (Астана, Казахстан). Кристаллы облучались ионами $^{195}\text{MэВ Xe}^{+20}$, $^{117}\text{MэВ Kr}^{+13}$, $^{18}\text{MэВ N}^{+2}$. Поверхностные дефекты изучались с помощью высокоразрешающей сканирующей электронной (СЭМ) и атомно-силовой микроскопии (АСМ) (JSM).

Для исследования треков при 300К СЭМ, облучённые кристаллы фторида лития были протравлены. Погружены. На облучённой поверхности кристалла прекрасно видны на СЭМ изображения углубления от каждого трека после травления. Вследствие кубической структуры решётки LiF вытравленные ямки имеют пирамидальную форму. Исследование той же поверхности на АСМ дает глубину ямки травления равную 90 нм. Из наших оптических измерений радиус трека для иона азота составляет 4 нм, а длина пробега 11 мкм, рассчитанная с использованием программы SRIM-2008, то есть пирамидальная ямка травления - это возбужденная ионом область. На рисунке показаны измеренные топографические АСМ снимки протравленных поверхностей. Все кристаллы обнаруживают после облучения различными ионами появление наноструктур – выступающих крошечных бугорков (hillock). Число бугорков наблюдаемых на единицу площади поверхности находится в соответствии с флюенсом ионов с погрешностью в 10%. Высоты были получены из топографической микрографии. Средние значения высот были оценены с помощью соответствующей функции Гаусса для каждой высотнo-частотной гистограммы для ионных облучений. Если рассматривать по значениям электронных потерь энергии 1,65 кэВ/нм для азота, 12,11 кэВ/нм для криптона и 18,85 кэВ/нм для ксенона, то можно наблюдать увеличение высоты бугорков от 13 нм, 24 нм и 39 нм, соответственно, средняя неровность необлученной поверхности составляет 5 нм. Сравнительные данные приведены в таблице.

Таблица. – Параметры пучка и данные полученные из АСМ

| Ион | N ⁺² | Kr ⁺¹³ | Xe ⁺²⁰ |
|--------------------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| E, МэВ/нуклон | 1,3 | 1,4 | 1,48 |
| Φ, 10 ¹¹ см ⁻² | 7,9 | 0,6 | 0,57 |
| (dE/dx) _e , кэВ/нм | 1,65 | 12,11 | 18,85 |
| h вздутий, нм | 13 | 24 | 39 |

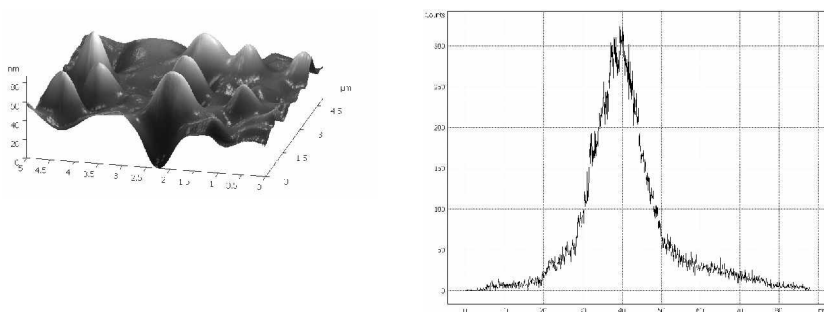


Рисунок – АСМ, изображение поверхности 3D (слева). Гистограмма распределения по высоте наноструктур на поверхности LiF (справа). Поверхность, облучена ионами 195 МэВ Хе, флюенс $0,57 \times 10^{11}$ ионов/см²

The irradiation experiments on the cyclotron ion accelerator DC-60 (Astana, Kazakhstan) are presented. LiF crystals were irradiated with 195 MeV Xe⁺²⁰, 117 МэВ Kr⁺¹³, 18 МэВ N⁺² ions. Surface defects are investigated with high resolution scanning electron and atomic force microscopy.

Здоровец Максим Владимирович, преподаватель Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, mzdorovets@inbox.ru

Абдрахметова Айнаш Ашимхановна, докторант PhD 1 года обучения Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, abdrahmetova_ain@mail.ru

Абуова Фатима Усеновна, магистрант 2 года обучения евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, fatika_82@mail.ru

Мухьшбаева Ардак, студентка 4 курса Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Баймурзин Тимур, студент 4 курса Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Юсупбекова Базила студентка 4-го курса Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Научный руководитель – *Акилбеков Абдираш Тасанович*, доктор физико-математических наук, профессор Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, akilbek@emu.kz.

УДК 533.915:539.23

*Г.В. Зеневич, А.А. Ясюнас, Д.А. Котов***РАСЧЕТ ТОКА ЭМИССИИ КАТОДА-КОМПЕНСАТОРА**

Быстрое развития технологии производства СБИС, создание МЭМС (микроэлектромеханических систем) и НЭМС (наноэлектромеханических систем) предъявляет высокие требования к процессам нанесения тонкоплёночных структур и модификации поверхности.

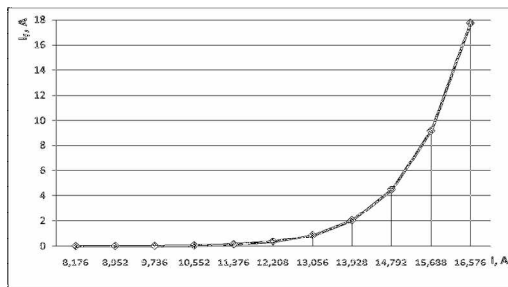
Для проведения ряда процессов ионно-лучевой обработки требуется наличие свободных электронов, способных обеспечить процесс генерации плазмы. Для этих целей в конструкции источников ионов низких энергий необходим источник электронов, самым простым из которых является термокатод. При пропускании через него электрического тока он нагревается до температуры обеспечивающей появления термоэмиссии. Этот эффект появляется при нагреве электронного газа в материале до температур, при которых кривая распределения электронов по энергиям заметно простирается в область, где $E \geq E_b$ и E_b – энергия потенциального барьера, которая превышает уровень Ферми E_F [1]. В этом случае плотность тока вышедших в вакуум термоэлектронов будет определяться выражением

$$J_T = eN_e = e(1 - R_e) \int_{E_b}^{\infty} dN_x$$

где N_e – число электронов, вышедших наружу из эмиттера с единицы площади (1 м^2) эмитирующей поверхности в единицу времени (1 с), R_e – коэффициент отражения электронов от потенциального барьера, dN_x – функция распределения электронов по нормальным составляющим скоростей. Основной формулой для расчёта величины тока термоэмиссии является уравнение Ричардсона-Дэшмена

$$J_T = A_0 D T^2 e^{-\frac{e\phi_0}{kT}} = AT^2 e^{-\frac{b}{T}}$$

где D – средний коэффициент прозрачности энергетического барьера, равный отношению потока электронов, вышедших через поверхность эмиттера, к потоку электронов, падающих изнутри на эту поверхность; $A_0 = 10.4 \cdot 10^4 \text{ A}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^2$ – универсальная постоянная Зоммерфельда, $A = A_0 D = 120.4 \cdot 10^4 D$ и $b = e\phi_0/k$, $e\phi_0 = W_0$ – такую работу называют эффективной, термодинамической, внешней или просто работой выхода. На графике видна зависимость тока эмиссии с катода компенсатора от величины тока накала. Эта зависимость получена исходя из полученных расчётных данных.



Рисунок

Целью данного расчёта является определение тока термоэмиссии в присутствия внешнего потенциала плазмы в ускорительном канале торцевого холловского источника ионов. Более того важна и величина энергии электронов, при превышении которой электроны не обеспечивают эффект пространственной компенсации положительного заряда[2]. Кроме того, исходя из величины электронного тока можно определить теоретически достижимый ток генерируемого ионного пучка, что необходимо для проектирования ионных источников и перспективных процессов ионно-лучевой обработки.

Список литературы

1. Кацман, Ю.А. Электронные лампы высоких и низких частот / Ю.А. Кацман. – М., Выс. шк., 1968. – 376 с.
2. Белянин, А.Ф. Модификация свойств материала пучками заряженных частиц: тезисы докладов / А.Ф. Белянин [и др.]. – Томск, – 1996. – С. 410–413.

In this abstract discussed method of the emission current calculation from thermo-cathode. Showed the result of emission current calculation in depending on filament current for real tungsten cathode.

Зеневич Георгий Валерьевич, магистрант Белогрусского государственного университета радиоэлектроники и информатик, Минск, Беларусь, george.ustas@gmail.com.

Ясюнас Александр Алексеевич, магистрант Белогрусского государственного университета радиоэлектроники и информатик, Минск, Беларусь, alex.yasunas@gmail.com.

Научный руководитель – *Котов Дмитрий Анатольевич*, кандидат технических наук, доцент, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь. dm_a_kotov@mail.ru.

УДК 535.34

Л.А. Казак

ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПУЧКОВ С РАДИАЛЬНОЙ И АЗИМУТАЛЬНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ

Предложен метод создания жидкокристаллических элементов, позволяющих преобразовывать линейно поляризованный лазерный пучок в пучок с радиальной или азимутальной поляризацией.

Широкие возможности использования жидкокристаллических (ЖК) элементов для управления световыми потоками привлекают пристальное внимание многих научно-исследовательских организаций и промышленных фирм. Такой повышенный интерес объясняется уникальными свойствами ЖК-элементов (тонкие оптические слои, низкие рабочие напряжения, дешевизна изготовления). Наряду с традиционными сферами использования жидких кристаллов (индикаторы, дефлекторы, модуляторы света) в последнее время активно исследуются пути создания управляемых элементов, формирующих световое поле с необходимыми свойствами.

В данной работе экспериментально реализован новый метод создания жидкокристаллических элементов, позволяющих преобразовывать исходно линейно поляризованный световой пучок в пучок с радиальной или азимутальной поляризацией.

Для данных элементов модуляция показателя преломления осуществляется посредством пространственной ориентации молекул ЖК фотополимерным ориентирующим покрытием, сформированным при засветке фотополимера УФ излучением с определенной поляризацией и пространственной структурой. Одна подложка засвечивалась пространственно однородным линейно поляризованным излучением, а вторая подложка разбивалась на сектора и каждый сектор засвечивался излучением с заданной поляризацией (радиальной или азимутальной). В объеме ЖК ячейки формировалась твист-структура, которая нужным образом поворачивала плоскость поляризации падающего излучения. На выходе ЖК ячейки световой пучок приобретал поляризацию (радиальную или азимутальную) в соответствии с распределением поляризации засвечивающего излучения. Проанализированы возможности использования разработанных ЖК элементов для преобразования поляризации как гауссовых, так и сингулярных световых пучков.

The method to create of liquid crystal elements to transform linear polarized laser beam into beam with radial or azimuthal polarization has been considered.

Казак Лев Александрович, студент 5 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, rdsforever@mail.ru.

Научный руководитель – *Толстик Алексей Леонидович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, Tolstik@bsu.by.

УДК 535.37

Е.В. Калганова

ИЗМЕРЕНИЕ КВАНТОВОГО ВЫХОДА ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ПРОИЗВОДНЫХ ТИОФЛАВИНА Т

Были измерены квантовые выходы флуоресценции производных тиофлавина Т (ВТА-1 и ВТА-2) в воде и этиловом спирте, изучена зависимость квантового выхода от вязкости. Сравнивая полученные результаты с данными для тиофлавина Т, можно сделать вывод о том, что катионные формы производных тиофлавина Т (ВТА-1 и ВТА-2) также проявляют свойства молекулярных роторов.

К молекулярным роторам относят вещества, для которых наблюдается сильная зависимость квантового выхода флуоресценции от вязкости или жесткости микроокружения. Недавно было показано, что

флуоресцентный зонд тиофлавин Т (ThT), использующийся для детекции амилоидных фибрилл, проявляет свойства молекулярных роторов. Молекулы (2-(4'-метиламинофенил) бензотиазола (BTA-1) и 2-(4'-(диметиламино)фенил) -6-метилбензотиазола) (BTA-2) являются производными ThT, и предполагается наличие у них подобных флуоресцентных свойств.

Целью работы являлось измерение квантового выхода флуоресценции производных тиофлавина Т (BTA-1, BTA-2), изучение зависимости квантового выхода флуоресценции производных тиофлавина Т от вязкости.

Катионные формы молекул BTA-1 и BTA-2 получали путем добавления соляной кислоты к растворам. Квантовые выходы флуоресценции Q определялись по методу Вильямса [1] относительно стандартного образца ThT в бутаноле с $Q=0,0043$ [2]. Измерены квантовые выходы флуоресценции катионов BTA-1 и BTA-2 в воде и этаноле, оценены погрешности измерений (Табл.). Обнаружено, что квантовый выход флуоресценции BTA-1, BTA-2 значительно зависит от вязкости растворителей (см. рисунок). Так, величина квантового выхода в воде и в этиловом спирту отличается в ~ 5 раз. В ходе исследования была определена функциональная зависимость квантового выхода от соотношения вязкость/температура. Полученные результаты свидетельствуют о том, что изученные производные тиофлавина Т можно отнести к классу молекулярных роторов.

Таблица. Квантовые выходы флуоресценции

| Флуорофор | Растворитель | Показатель преломления растворителя | Квантовый выход, Q | Погрешность относительная, $\epsilon(Q)$ |
|-----------|------------------|-------------------------------------|--------------------|--|
| ThT | BuOH | 1,399 | 0,0043 | |
| BTA-1 | EtOH | 1,362 | 0,0272 | 6,9% |
| BTA-1 | H ₂ O | 1,330 | 0,0052 | 3,3% |
| BTA-2 | EtOH | 1,362 | 0,0389 | 3,9% |
| BTA-2 | H ₂ O | 1,330 | 0,0069 | 1,4% |

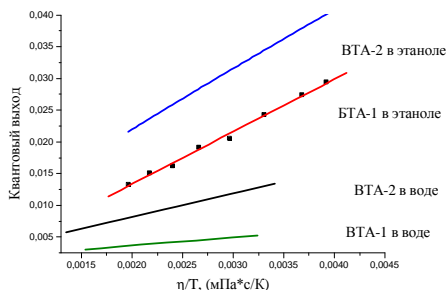


Рисунок – Зависимости квантового выхода флуоресценции молекул ВТА-1, ВТА-2 от отношения вязкость/температура

Список литературы

1. Williams, A.T.R. Relative fluorescence quantum yields using a computer controller luminescence spectrometer / A.T.R. Williams, S.A. Winfeld, J.N. Miller // *Analyst.* – 1983. – V. 108. – P.1067.
2. Maskevich, A.A. Spectral Properties of Thioflavin T in Solvents with Different Dielectric Properties and in a Fibril-Incorporated Form / A.A. Maskevich [et al] // *J. Proteome Res.* – 2007. – Vol. 6 (4). – P. 1392–1401.

Dependence of fluorescence quantum yields for thioflavin T derivatives (ВТА-1 and ВТА-2) on viscosity of aqueous and ethanol solutions were studied. Comparison of fluorescence properties of ThT with properties of ВТА-1 and ВТА-2 allows to conclude that cationic forms of ВТА-1 and ВТА-2 can be considered as molecular rotors.

Калганова Елена Васильевна, студентка 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь. e-mail: alyona_strelka@front.ru.

Научный руководитель – *Степура Виталий Иванович*, кандидат физико-математических наук, доцент, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, stepuro@grsu.by.

УДК 621.785: 669.295

М.В. Карабовский

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ, ОБРАБОТАННЫХ КОМПРЕССИОННЫМИ ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ

Исследована эволюция структуры, элементного и фазового состава твёрдых сплавов, обработанных компрессионно-плазменными потоками (КПП). Выявлена зависимость глубины проплавленного слоя от энергии КПП. Показано кратное изменение механических свойств.

Воздействие концентрированными потоками энергии является перспективным направлением повышения износостойкости, прочности металлообрабатывающего инструмента из твёрдых сплавов. Упрочнение металлов и сплавов воздействием концентрированных потоков энергии основано на локальном нагреве поверхностного слоя, в том числе и выше температуры плавления и последующем охлаждении этого поверхностного слоя со сверхкритическими скоростями (выше $\sim 10^4$ К/с). В результате таких воздействий на рабочей кромке инструмента может образовываться упроченная зона с высокой плотностью дефектов, измененным фазовым составом, дисперсной структурой, что способствует повышению твердости и износостойкости модифицированного инструмента [1].

Одним из наиболее распространённых и применяемых в промышленности из инструментальных материалов является спеченный твёрдый сплав Т15К6. Он имеет по данным рентгеноспектрального анализа следующий усредненный элементный состав: W – 46 ат. %, Ti – 12 % ат. %, Co – 5 ат. %. С.

Воздействие на образцы проводилось компрессионными плазменными потоками в газоразрядном магнитоплазменном компрессоре компактной геометрии [2]. Обработка проходила в режиме «остаточного газа», при котором предварительно откачанную вакуумную камеру заполняли рабочим газом – азотом. Расстояние между мишенью и катодом составляло 4 см. Обработка образцов производилась пятью импульсами, для формирования однородного перемешанного слоя.

Выявлено, что обработка КПП приводит к формированию модифицированного поверхностного слоя со сложным рельефом поверхности. Наблюдалось перераспределение компонент сплава, выделение новых фаз. Зафиксировано кратное (2-5 раз) увеличение твёрдости сплава Т15К6. Выявлены зависимости глубины модифицированного слоя и твёрдости от давления газа в камере магнитоплазменного компрессора и начального напряжения на конденсаторной батарее.

Список литературы

1. Углов, В.В. Модификация WC-TiC-Co твердого сплава мощными импульсными ионными пучками и плазменными потоками / В.В. Углов [и др.] // *Материалы, 7-ая межд. науч.-технич. конференции Быстрозакаленные материалы и покрытия, 2-3 декабря 2008 г. МАТИ-РГТУ им. К.Э.Циалковского, Москва. С. 178–183.*
2. Морозов, А.И. Введение в плазмодинамику / А.И. Морозов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 576 с.

Карабовский Максим Викторович, студент 5 курса Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, biarnar@tut.by.

Научный руководитель – *Астаинский В.М.*, доктор физико-математических наук, институт физики им. Б.И. Степанова, лаборатория плазменных ускорителей, Минск, Беларусь.

УДК 544.653.23

Н.В. Ковальчук, Е.В. Чернякова

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ АНОДИРОВАНИЯ
НА ИК СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
И СТРУКТУРУ ПОРИСТОГО АНОДНОГО ОКСИДА
АЛЮМИНИЯ***

Исследовано влияние состава электролита и условий анодирования на структуру, фазовый состав и ИК спектроскопические свойства пористого анодного оксида алюминия, полученного электрохимическим анодированием.

* Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь (грант № X08M-147).

Пористый анодный оксид алюминия (ПАОА), получаемый электрохимическим анодированием является перспективным наноструктурированным материалом. В развитие работ [1, 2] были исследованы особенности его строения и ИК спектроскопических свойств.

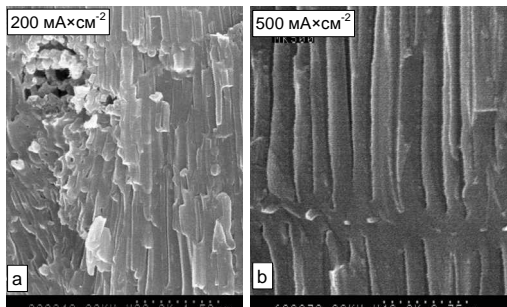


Рисунок 1 – Микрофотографии поперечных сколов образцов ПАОА, полученных в 0,6 М МК; а – концентрация арсеназо I 2,0 г/дм³, b – чистая МК

Методика получения исследуемых образцов описана в [1, 2].

Электронно-микроскопические исследования сколов и поверхностей ПАОА, сформированных при различных плотностях анодного тока в чистых растворах малоновой кислоты (МК) и в

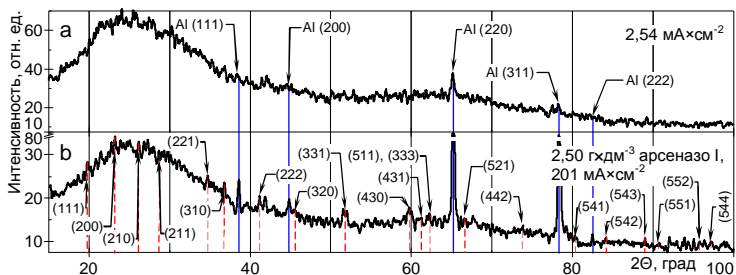


Рисунок 2 – Рентгенодифракционные спектры образцов ПАОА, полученных в 0,6 М МК

(a) – анодирование в растворе МК без добавки, (b) – с добавкой арсеназо I

присутствии добавки арсеназо I показали, что мезопористая структура оксида, сформированного в присутствии добавки, в значительной степени разупорядочена (см. рисунок 1); на поверхности присутствуют трещины. Рентгенодифракционные исследования позволили идентифицировать пики остаточного Al (рисунок 2 а), а на дифрактограммах ПАОА, сформированного в МК с добавкой (рисунок 2 б), обнаружены пики соединения $\text{Na}_{1,5}\text{Al}_2(\text{OH})_{4,5}(\text{AsO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (файл № 30-1145 базы данных International Centre for Diffraction Data 2002 г.).

На рисунке 3 показаны ИК спектры пропускания образцов ПАОА,

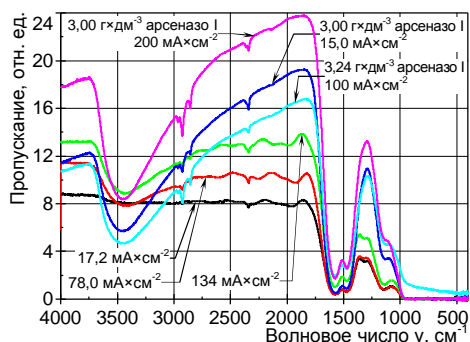


Рисунок 3 – ИК спектры пропускания образцов ПАОА, полученных в 0,6 М МК

сформированных в растворах МК. Видно, что пропускание образцов, полученных с добавлением арсеназо I, в целом выше, чем у сформированных в чистой МК. При этом полоса поглощения с минимумом в области 3400 см^{-1} , обусловленная наличием ОН-групп, выражена у первых также гораздо сильнее, а влияние плотности тока на характер спектра – слабее.

Список литературы

1. Головатая, С.В. Скорость электрохимического анодирования и объёмный рост анодного оксида в водном растворе малоновой кислоты / С.В. Головатая, А.М. Мозалев, А.А. Позняк // Изв. Белорус. инженер. акад. – 2005. – №1(19)/5. – С. 49-52.

2. Высоколегированные наноструктурированные матрицы анодного оксида алюминия / С.В. Головатая [и др.] // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: материалы 18-й Междунар. Крымск конф., Севастополь, Украина, 8-12 сент. 2008 г.: в 2 т. – М. [и др.], 2008. – Т. 2. – С. 581-583.

The influence of electrolyte composition and electrical anodizing conditions on crystalline structure, phase composition and IR spectroscopic properties of galvanostatic formed porous anodic alumina oxide has been studied.

Ковальчук Наталья Викторовна, студентка 5-го курса факультета компьютерного проектирования Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, n_smith@tut.by.

Чернякова Екатерина Викторовна, аспирантка кафедры химии Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, katerinach_85@mail.ru.

Научный руководитель – *Позняк Александр Анатольевич*; кандидат физико-математических наук, доцент кафедры химии; Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, poznyak@bsuir.by.

УДК 535.34; 539.2

В.В. Ковгар, Т.Г. Хотченкова

СТРУКТУРА И СПЕКТРАЛЬНО – ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА «КВАЗИКЕРАМИКИ», ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ НАНОЧАСТИЦ CeO_2 :ТЬ В КРЕМНЕЗЕМНОЙ ОБОЛОЧКЕ

Одним из перспективных прекурсоров для получения оптической керамики являются синтезированные золь-гель методом наночастицы CeO_2 в кремнеземной оболочке. Сферическая форма и нанометровые размеры зерен таких наночастиц являются благоприятными для получения плотных компактов. При этом прозрачность получаемой керамики будет определяться в основном остаточной пористостью и толщиной межзеренных границ, которая должна быть меньше рабочей длины волны.

Целью работы было выяснение изменения структуры и спектрально-люминесцентных свойств в результате прессования и спекания в квазикерамику термообработанных в водороде наночастиц CeO_2 с частичным замещением ионов церия ионами тербия.

Исследуемые образцы были получены с применением золь-гель метода путём гидролиза тетраэтилортосиликата $(\text{Si}(\text{C}_2\text{H}_5\text{O})_4)$ в водно-спиртовом растворе в присутствии соляной кислоты в качестве катализатора. Полученные золи легировали посредством добавления в них водно-спиртовых растворов солей церия и тербия, при этом атомарные соотношения составляли $\text{Ce}:\text{Tb} = 8:1$. Активированные золи помещали в сушильный шкаф до завершения процесса полимеризации. Полученные таким образом гели измельчали в агатовой ступке до состояния мелкодисперсных порошков, которые спекали на воздухе при $T = 1000^\circ\text{C}$, а затем отжигали в атмосфере сухого водорода при $T = 900^\circ\text{C}$. Далее эти порошки прессовали в таблетки под давлением 10 т/см^2 и спекали на воздухе при $T = 1000^\circ\text{C}$, что позволило получить «квазикерамические» образцы.

Микроскопическое и дифрактометрическое исследование показало, что исходный порошок представляет собой смесь сфероподобных частиц с размерами ~ 50 нм и их агломератов, а положение и относительные интенсивности брегговских рефлексов соответствуют кубической структуре CeO_2 с пространственной группой $\text{Fm}\bar{3}\text{m}$. Для квазикерамики характерна мозаичная микроструктура, где наряду с хорошо компактированными плотными участками имеются и пористые с размером от 1 до 10 мкм, а её дифрактограммы после отжига и спекания на воздухе идентичны дифрактограммам исходного порошка.

На рисунке изображены спектры люминесценции и возбуждения люминесценции компакта из отожженного в H_2 порошка $(\text{CeO}_2:\text{Tb})\text{SiO}_2$ и полученной из него квазикерамики, записанные при длинах волн возбуждения $\lambda_{\text{в}} = 320$ нм, и регистрации $\lambda_{\text{р}} = 545$ нм. Спектр люминесценции компакта (рис. 1а, кривая 1) представляет собой серию узких интенсивных полос в желто-зеленой области, обусловленных переходами $^5\text{D}_4 \rightarrow ^7\text{F}_j$ ионов Tb^{3+} , и

накладывающихся на широкую слабоинтенсивную полосу с максимумом при $\lambda \sim 450$ нм, обусловленную ионами Ce^{3+} [1].

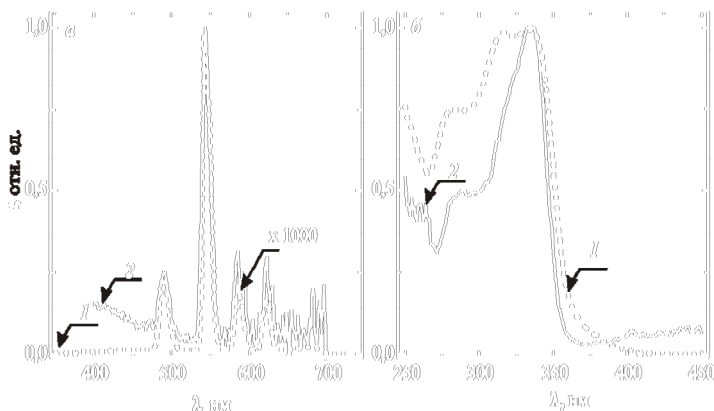


Рисунок – Спектры люминесценции (а) и её возбуждения (б) компакта, полученного из отожженного в H_2 порошка $(\text{CeO}_2 : \text{Tb})\text{SiO}_2$ (1), и спеченной из него на воздухе квазикерамики (2). $\lambda_{\text{B}} = 320$ нм, $\lambda_{\text{P}} = 545$ нм.

Поскольку возбуждение при указанном значении λ_{B} осуществляется в межконфигурационную полосу поглощения ионов Ce^{3+} , большая доля квантов, приходящихся на узкие полосы, свидетельствует о высокой эффективности передачи энергии от ионов Ce^{3+} на Tb^{3+} в исследованных наночастицах. После спекания компакта в квазикерамику наблюдается потемнение образца, а интенсивность люминесценции Tb^{3+} ослабляется примерно в 1000 раз (рис. 1а, кривая 2). Это можно связать с одновременным действием следующих факторов: окислением значительной части ионов Tb^{3+} до нелюминесцирующих ионов Tb^{4+} , которые одновременно тушат люминесценцию первых, поглощая во всей видимой области спектра; увеличением тушения люминесценции ионов Tb^{3+} формируемыми группировками $\text{Ce}^{4+} - \text{O} - \text{Ce}^{3+}$, также поглощающими во всей видимой области [1, 2]; гашением люминесценции оксокомплексами $\text{Ce}(\text{IV})$, поглощающими в ультрафиолетовой области [1]. Появление

такого гашения подтверждается явным «заваливанием» при $\lambda < 325$ нм полосы возбуждения люминесценции в спектре квазикерамики по сравнению со спектром компакта (рис. 1б, ср. кривые 1 и 2).

Таким образом, отжиг наночастиц $\text{CeO}_2:\text{Tb}$ в водороде при $T = 900^\circ\text{C}$ ведет к восстановлению ионов соактиваторов до трехзарядного состояния и появлению интенсивной люминесценции ионов Tb^{3+} , сенсibilизированной ионами Ce^{3+} . При этом трансформации наночастиц $\text{CeO}_2:\text{Tb}$ в наночастицы $\text{Ce}_2\text{O}_3:\text{Tb}$ не происходит. Прессование таких наночастиц позволяет получить компакт с относительно невысокой пористостью и интенсивной сенсibilизированной люминесценцией ионов Tb^{3+} . Дальнейшая температурная обработка такого компакта на воздухе при $T = 1000^\circ\text{C}$ приводит к спеканию его в квазикерамику и окислению ионов лантаноидов до четырехзарядного состояния.

Список литературы

1. Малашкевич, Г.Е. Кварцевые гель-стекла с высокой эффективностью сенсibilизации люминесценции в системе $\text{Ce}^{3+}-\text{Tb}^{3+}$ / Г.Е. Малашкевич [и др.] // ФТТ. 2004. – Т. 46. – № 8. – С. 1386–1392.
2. Malashkevich, G.E., // Optical centers of cerium in silica glasses obtained by the sol-gel process / G.E. Malashkevich. – J. of Non-Cryst. Solids. – 188. – 1995. – P. 107–117.

Quasiceramics made of CeO_2 nanoparticles in silica shell have a mosaic structure in which both well-compacted consistent and porous areas are present. Developed material is prospective for creation of effective luminescent optical ceramics on a basis of the Ce- and Tb-containing nanoparticles.

Ковгар Виктория Викторовна, студентка 5 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.
<http://www.vikusha-kovgar@mail.ru>;

Хотченкова Татьяна Георгиевна, аспирантка 2-го года обучения, Института физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Малашкевич Георгий Ефимович*, доктор физико-математических наук; заведующий лабораторией фотофизики активированных материалов, Институт физики имени Б.И. Степанова Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь, g.malashkevich@ifanbel.bas-net.by.

УДК 621.369.6

В.М. Ковриго, А.Г. Черных

БАРЬЕРНЫЕ СЛОИ В СИСТЕМЕ Cu–БАРЬЕРНЫЙ СЛОЙ–Si

В производстве интегральных схем широко используется металлизационная система на основе пленок меди и барьерных (или диффузионных) слоев. Барьерные слои формируются в контакте: Cu–барьерный слой–Si и должны исключать взаимное влияние меди и активной области интегральной схемы. Проведен анализ существующих барьерных слоев, составлена их классификация, дана оценка эффективности барьерных слоев на основе нитридов тугоплавких металлов.

Выбор материала для барьерных слоев определяется в соответствии с требованиями, предъявляемыми к их функционированию. Диффузионные барьеры между Cu и Si должны быть химически стабильными (низкая химическая активность между Cu и Si), свободными от дефектов и иметь высокие коэффициенты диффузии Cu и Si, то есть предотвращение диффузии меди в изолирующие слои и подложку, а также обеспечение адгезии медных проводников к поверхности кремния. Соответственно для выполнения данных задач наиболее подходящими материалами являются тугоплавкие металлы и соединения на их основе.

Диффузионные барьеры могут быть классифицированы по пяти группам:

- 1) поликристаллические барьерные слои из переходных металлов;
- 2) поликристаллические или аморфные барьерные слои из сплавов переходных металлов;
- 3) поликристаллические или аморфные барьерные слои: переходные металлы–кремний (включая силицид);
- 4) поликристаллические или аморфные барьерные слои: переходные металлы–азот (включая нитриды), -кислород (включая проводящий оксид) и бор (включая бориды);
- 5) аморфные трехкомпонентные и углеродные барьеры.

Основным критерием оценки эффективности барьерных диффузионных слоев является параметр термической стабильности. Проведен анализ термической стабильности барьеров на основе пленок TaN, TiN и WN. Деградация барьера оценивалась по электрическим

характеристикам диодной структуры, сформированной на кремниевой подложке, что является более чувствительным методом, чем изменение свойств материалов. Установлено, что термическая обработка улучшает барьерную способность слоев TaN, TiN и WN для всех образцов.

Список литературы

1. Васильев, В.А. Барьерные слои для систем металлизации СБИС / В.А. Васильев, Д.С. Серегин [и др.]. – Intermatic, 2008. – С. 43–52.
2. Laurila, T. Tantalum-based diffusion barriers for copper metallization. / T. Laurila, // Espoo, 2001.

In the production of integrated circuits are widely used metallizing system based on copper films and the barrier (or diffusion) layers. Barrier layers are formed in contact: Cu-barrier layer-Si and should exclude the mutual influence of copper and the active region of the integrated circuit. The analysis of the existing barrier layers, composed of their classification, assessed the effectiveness of barrier layers based on nitrides of refractory metals.

Ковриго Василий Михайлович, магистрант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, vkovriго@gmail.com.

Черных Александр Георгиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «микро- и наноэлектроника» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, chernykh@bsuir.by.

Научный руководитель – *Черных Александр Георгиевич*, кандидат технических наук, доцент кафедры «микро- и наноэлектроника», Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, chernykh@bsuir.by.

УДК 535.37

А.Н. Козловский

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОВЫШЕНИЕМ ЧАСТОТЫ В МОЛЕКУЛЯРНЫХ БИХРОМОФОРАХ С ГЕТЕРОАНИГИЛЯЦИЕЙ

Проведено теоретическое исследование процесса преобразования частоты вверх (ап-конверсия) в системе связанных молекул донора и акцептора. Определяются требования к характеристикам молекул донора и акцептора для

достижения максимальных значений квантового выхода преобразованного излучения.

Обычно ап-конверсия (процесс преобразования излучения с повышением частоты), например двухфотонное поглощение, генерация второй гармоники, требует больших плотностей излучения порядка мегаватт на квадратный сантиметр, поэтому этот процесс эффективен только при использовании лазерных источников. Для снижения требований к мощности преобразуемого излучения может быть использован межмолекулярный перенос энергии с триплет-триплетной аннигиляцией (ТТА), в результате наблюдается ап-конверсия при относительно низких интенсивностях ($\sim 0.1 \text{ Вт/см}^2$) и квантовый выход до единиц процентов [1, 2]. Одно из возможных применений таких процессов – преобразование длинноволновой компоненты солнечного спектра в более коротковолновую область, что позволяет существенно расширить диапазон эффективно используемого фотоэлементами солнечного спектра.

В работе на основе системы балансных уравнений, в которых учитывается возможность реализации как одно-, так и двухквантовых возбуждений в паре донор-акцептор (бихромофоре) получены аналитические выражения и выполнены расчеты зависимости аннигиляционной замедленной флуоресценции (АЗФ) (ап-конвертируемого излучения) от интенсивности возбуждения донора и вероятностей спонтанных переходов в доноре и акцепторе.

В данной работе показано, что основными параметрами, определяющими величину квантового выхода АЗФ, являются скорость накачки b , константа скорости интеркомбинационной конверсии акцептора ($K_{\text{ма}}$), квантовый выход образования триплета донора (ϕ_T) и флуоресценции акцептора (ϕ_{fa}). Установлено, что при работе с неконцентрированным солнечным излучением ($b \approx 10\text{с}^{-1}$) получаем, что эффективными преобразователями могут выступать только весьма долгоживущие бихромофоры с $K_{\text{ма}} \leq 10\text{с}^{-1}$, создание которых может оказаться достаточно сложной задачей. При использовании люминесцентных солнечных концентраторов с коэффициентом концентрирования порядка 10 требуются соединения с $K_{\text{ма}} \leq 100\text{с}^{-1}$, а для оптических концентраторов (например, зеркальных) с

коэффициентами концентрации порядка 100 требования к $K_{\text{ма}}$ ($K_{\text{ма}} \leq 10^3 \text{ с}^{-1}$) близки к достигнутым в настоящее время значениям для соединений, используемых в работах [1–3].

Список литературы

1. Balushev, S. Two pathways for photon upconversion in model organic compound systems / S. Balushev [at al] // J. Appl. Phys. – 2007. – Vol. 101. – № 2. – Art. ID 023101.
2. Balushev S. A general approach for non-coherently excited annihilation up-conversion: transforming the solar-spectrum / S. Balushev [at al] // New J. of Phys. – 2008. – Vol. 10. – Art. ID 013007.
3. Monguzzi, A., Tubino R., Meinardi F. Upconversion-induced delayed fluorescence in multicomponent organic systems: Role of Dexter energy transfer / A. Monguzzi, R. Tubino, F. Meinardi // Phys. Rev. B. – 2008. – Vol. 77. – Art. ID 155122.

The aim of this work is theoretically research of up-conversion process in the system of the couple donor and acceptor molecules. We define characteristics requirements of donor and acceptor molecules for maximal values of quantum efficiency of up-conversion process.

Козловский Александр Николаевич, аспирант физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, kozlovski.bsu@gmail.com.

Научный руководитель – *Гулис Игорь Михайлович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, gulis@bsu.by.

УДК 548.735.

А.Л. Козловский, В.М. Добрянский

МАГНИТОРЕЗИСТИВНЫЙ ЭФФЕКТ В РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ КОБАЛЬТИТАХ

Проведено исследование структуры, магнитных и магнитотранспортных свойств системы $\text{Pr}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$. Обнаружены переходы

ферромагнетик – спиновое стекло ($x = 0.5$) – антиферромагнетик G-типа ($x = 0.7$) и металл-диэлектрик ($x = 0.25$).

Кобальтиты редкоземельных ионов $R_{1-x}Sr_xCoO_3$ (R – редкоземельный ион) являются предметом исследований, особенно, в последнее десятилетие т.к. они перспективны, как материал, для различных технологических применений, в частности, в водородной энергетике.

В качестве объекта исследования выбрана система $Pr_{0.5}Sr_{0.5}Co_{1-x}Fe_xO_3$, в которой при легировании ионами железа происходит смена типа магнитного состояния и электропроводности.

Поликристаллические образцы состава $Pr_{0.5}Sr_{0.5}Co_{1-x}Fe_xO_3$ были получены по обычной керамической технологии из простых оксидов и карбонатов Pr_6O_{11} , $SrCO_3$, CoO и Fe_2O_3 , смешанных в стехиометрическом соотношении в планетарной мельнице RETSCH. Образцы получены на воздухе при $T = 1180^\circ C$. Для поддержания стехиометрии по кислороду охлаждение проводилось медленно со скоростью $30^\circ C/час$. Рентгенофазовый анализ, проведенный на дифрактометре ДРОН-3М в $Cu - K_\alpha$ излучении не выявил наличия посторонних фаз. Нейтронографические исследования проведены на дифрактометре DMC. Магнитные измерения были выполнены на СКВИД-магнетометре MPMS-5 в полях до $50^0kЭ$ и в полях до $140^0kЭ$ на вибрационном магнетометре фирмы Cryogenic Ltd. Измерения электропроводности выполнены стандартным четырехзондовым методом на универсальной измерительной системе фирмы Cryogenic Ltd в полях до $140^0kЭ$.

Результаты и их обсуждение. По результатам нейтронографических и магнитных измерений построена магнитная и кристаллоструктурная фазовая диаграмма твердых растворов $Pr_{0.5}Sr_{0.5}Co_{1-x}Fe_xO_3$. Из диаграммы следует, что незамещенный железом кобальтит ($x = 0$) ферромагнитно упорядочивается при $T_C = 230K$, магнитный момент на формульную единицу составляет около $2\mu_B$ при $T = 2K$ [1]. Вблизи $T_i \approx 120^0K$ происходит

кристаллоструктурное фазовое превращение с понижением симметрии от орторомбической $Imma$ до моноклинной $P21/a$ [2] или до триклинной $P\bar{1}$ [3]. Замещение ионов кобальта на ионы железа приводит к постепенному понижению точки Кюри до 115 К в составе $x = 0.44$. Состав $x = 0.5$ находится в состоянии типа кластерного спинового стекла с точкой замерзания магнитных моментов $T_f = 75\text{K}$. Дальний антиферромагнитный порядок возникает вблизи $x = 0.7$. С увеличением содержания железа от $x=0.7$ до $x=1$ точка Нееля увеличивается от 110 К до 240 К. Согласно нейтронографическим данным реализуется антиферромагнитная структура G-типа. Антиферромагнитные составы имеют небольшую спонтанную намагниченность, обусловленную взаимодействием Дзялошинского-Мория. Магнитный момент на один ион железа ($x=1$) составляет $1.7\mu_B$. Кристаллоструктурный фазовый переход I-го рода происходит в концентрационном интервале $0 \leq x \leq 0.7$. С увеличением концентрации ионов железа температура начала фазового перехода постепенно понижается от 120К до 75К. Кристаллоструктурное фазовое превращение в ферромагнитных составах ведет к спиновой переориентации [3], что проявляется в возникновении максимума на зависимости намагниченности от температуры, измеренной в небольших магнитных полях. Интересно отметить, что кристаллоструктурный переход не происходит в антиферромагнитных составах.

В результате проведенных исследований показано, что магниторезистивный эффект в ферромагнитных металлических кобальтатах состоит из вкладов разного знака. Обнаружены переходы ферромагнетик – спиновое стекло ($x = 0.5$) – антиферромагнетик G-типа ($x = 0.7$) и металл-диэлектрик ($x = 0.25$). Установлено, что в металлических ферромагнитных кобальтатах магнитосопротивление при увеличении внешнего магнитного поля меняет знак от положительного к отрицательному. Положительная компонента увеличивается с понижением температуры, а отрицательная уменьшается. Отрицательное магнитосопротивление резко возрастает в диэлектрической спин-стекольной фазе.

Список литературы

1. И.О. Троянчук, М.В. Бушинский, В.М. Добрянский, Д.В. Карпинский, В. Сиколенко, А.М. Балагуров Письма в ЖЭТФ 89, 375 (2009)
2. И.О. Троянчук, Д.В. Карпинский, А.Н. Чобот, Д.Г. Войцехович, В.М. Добрянский. Письма в ЖЭТФ 84, 180 (2006).
3. А.М. Балагуров, И.А. Бобриков, Д.В. Карпинский, И.О. Троянчук, В.Ю. Помякушин и Д.В. Шептяков. Письма в ЖЭТФ 88, 608 (2008)

The research of structure, magnetic and magnettransport properties of system $\text{Pr}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Co}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_3$ is carried spent.

Козловский Артем Леонидович, магистрант физического факультета Белорусского педагогического университета имени Максима Танка, Минск Белоруссия. kozlovski111@tut.by.

Добрянский Валерий Михайлович, доктор технических наук кафедры общей и теоретической физики Белорусского педагогического университета имени Максима Танка, Минск, Беларусь, kozlovski111@tut.by.

Научный руководитель – *Добрянский Валерий Михайлович*, доктор технических наук, кафедра общей и теоретической физики, Белорусский педагогический университет имени Максима Танка, Минск, Беларусь, kozlovski111@tut.by.

УДК 538.245:537.226.1

Д.А. Кривченя, А.М. Панасевич

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ НЕИЗОВАЛЕНТНЫХ СОСТОЯНИЙ ВИСМУТА В BaBiO_3

Распределение неэквивалентных ионов висмута в BaBiO_3 , изучено методами диэлектрической спектроскопии.

Интерес к исследованию висмутата бария (BaBiO_3) во многом обусловлен тем, что при допировании калием в данном соединении наблюдается явление сверхпроводимости. Соединения со структурой перовскита на его основе – $\text{Ba}_{1-x}\text{K}_x\text{BiO}_3$ (ВКВО) близки по кристаллической структуре и по ряду физических свойств к купратным высокотемпературным сверхпроводникам (ВТСП). Благодаря

сравнительно высоким критическим температурам ($T_c \sim 30$ К для $x = 0.4$) они интересны для исследования и проверки различных гипотез о природе ВТСП. Висмутат бария и система $Ba_{1-x}K_xBiO_3$ являются также возможной матрицей для получения материалов с повышенным магнитоэлектрическим взаимодействием.

В висмутате бария В положения в структуре перовскита ABO_3 занимают разновалентные катионы висмута (Bi^{3+}, Bi^{5+}). Наличие висмута-кислородной подсистемы в данном соединении, образованной разновалентными ионами приводит к возникновению волны зарядовой плотности, которая существенным образом влияет на магнитные, электрические, термодинамические свойства. Представляет интерес исследование динамического отклика кристаллической решетки висмутата бария с точки зрения анализа на его основе возможных зарядовых состояний ионов в данном соединении.

Несмотря на значительное количество известных работ, вопросы о механизме формирования диэлектрического отклика в висмутате бария в указанном диапазоне остаются открытыми. Общим для ИК спектров компонент диэлектрической проницаемости кристаллов подобного типа является их резонансное поведение, отражающее колебательные свойства кристаллической решетки. В настоящее время диэлектрический формализм ИК диапазона развит в меньшей мере, чем ультрафиолетовой и видимой областей спектра электромагнитных волн. Для последних разработаны методы надежного расчета диэлектрических функций, опирающиеся на результаты теоретического расчета зонной структуры и обширный экспериментальный материал.

В связи с этим, актуальным является построение моделей, отражающих процессы, происходящие при взаимодействии электромагнитного излучения с ионным кристаллом в ИК диапазоне. Перспективным для изучения наблюдаемых при этом явлений, представляется метод расчета диэлектрических спектров в модели квазигармонических осцилляторов, максимально учитывающей особенности кристаллического строения изучаемых систем, тип химической связи в решетке, межионные расстояния, массу, валентность и поляризуемость ионов.

В настоящей работе фононные характеристики $BaBiO_3$ исследованы методами диэлектрической спектроскопии. С использованием программы Reffit [1] выполнено моделирование решеточного спектра коэффициента отражения. Параметры

осцилляторов в первом приближении рассчитаны на основании простой ионной модели межатомного взаимодействия в сочетании с оптимизацией величин эффективных зарядов ионов и параметров элементарной ячейки.

По методу диаграмм Арганда обработаны диэлектрические функции висмутата бария, восстановленные из ИК спектров коэффициента отражения по методу Крамерса-Кронига. Возможность реализации различных вариантов возникновения волны зарядовой плотности исследована с использованием осцилляторного моделирования в рамках теории решетки и сопоставления полученных результатов с экспериментальными данными.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что наиболее вероятным механизмом возникновения волны зарядовой плотности, является расщепление заряда $2\text{Bi}^{4+} \Rightarrow \text{Bi}^{3+} + \text{Bi}^{5+}$ на катионах висмута.

Список литературы

1. Kuzmenko, A.B. Kramers-Kronig-constrained variational analysis of optical data / A.B. Kuzmenko // Rev. Sci. Instrum. – 2005. – Vol. 76. – P. 083108– 083112.

Distribution of nonequivalent ions of bismuth in BaBiO_3 , is investigated by methods of dielectric spectroscopy.

Кривченя Дмитрий Анатольевич, студент 5 курса физического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест, Беларусь.

Панасевич Алена Михайловна, студент 3 курса физического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест, Беларусь.

Научный руководитель – *Макоед Игорь Иванович*, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра общей физики, физический факультет, Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина, Брест, Беларусь, makloed@brsu.brest.by.

УДК 577.31

Н.Г. Крылова, Т.П. Кузьменцова

ГЕНЕРАЦИЯ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА ФАГОЦИТАМИ ПРИ ДЕЙСТВИИ МЕНАДИОНА И КОЭНЗИМОВ Q_0 И Q_{10}

Методом хемилюминесцентного анализа установлено, что при действии менадиона и коэнзима Q_0 в диапазоне концентраций $1 \cdot 10^{-9} - 1 \cdot 10^{-4}$ моль/л

на фагоциты наблюдается дозозависимое снижение генерации активных форм кислорода (АФК) клетками, адгезирующими к стеклу. Коэнзим Q_{10} во всем диапазоне концентраций не проявляет антиоксидантные свойства при генерации АФК фагоцитами.

Коэнзимы Q_0 и Q_{10} и витамин K_3 (менадион) относятся к группе природных хинонов, участвующих в регуляции важных физиологических функций клеток и организма в целом: в процессе окислительного фосфорилирования, процессе свертываемости крови, антиоксидантной защите [1-2]. Однако показано, что менадион и коэнзимы Q помимо антиоксидантного могут обладать и прооксидантным действием, индуцируя генерацию АФК [3]. Поэтому целью данной работы было оценить влияние этих хинонов на клетки, которые в организме являются источником большого количества АФК, то есть на нейтрофилы и мононуклеары крови.

Фагоциты крови выделяли путем центрифугирования в градиенте плотности фиколл-урографина по стандартной методике. Образование АФК оценивали хемилюминесцентным (ХЛ) методом с применением в качестве эмиттера свечения $1.25 \cdot 10^{-5}$ моль/л люминола.

Установлено, что добавление менадиона и коэнзима Q_0 непосредственно перед началом адгезии клеток дозозависимым образом снижает выход АФК в фагоцитах. При действии хинонов в низких концентрациях – $1 \cdot 10^{-8}$ – $1 \cdot 10^{-6}$ моль/л для менадиона и $1 \cdot 10^{-9}$ – $1 \cdot 10^{-7}$ моль/л для коэнзима Q_0 интегральная интенсивность ХЛ мононуклеаров и нейтрофилов плавно снижается приблизительно до (80 ± 7) % от контрольного уровня. Дальнейшее повышение концентрации препаратов до $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л приводит к более резкому уменьшению интегральной интенсивности ХЛ. При действии менадиона в концентрации $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л наблюдается минимальный выход АФК в фагоцитах – (10 ± 5) % от контрольного уровня. При действии коэнзима Q_0 на фагоциты выход АФК достигает нулевых значений при концентрации хинона равной $1 \cdot 10^{-5}$ моль/л для нейтрофилов и $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л для мононуклеаров.

Однако при изучении влияния коэнзима Q_{10} в диапазоне концентраций от $1 \cdot 10^{-9}$ моль/л до $1 \cdot 10^{-4}$ моль/л на фагоциты крови

нами установлено, что данный хинон не влияет на процессы генерации АФК в фагоцитах при адгезии к стеклу.

Мы предполагаем, что коэнзим Q_0 и менадион, в отличие от коэнзима Q_{10} , способны шунтировать передачу электронов в супероксидгенерирующей системе фагоцитов, что приводит к снижению выхода АФК.

Таким образом, в присутствии коэнзима Q_0 и менадиона в концентрациях выше $1 \cdot 10^{-7}$ моль/л образование АФК в нейтрофилах и мононуклеарах, стимулированных адгезией к стеклу, резко снижается. Причем антиоксидантная активность коэнзима Q_0 при генерации АФК фагоцитами выше, чем менадиона.

Список литературы

1. Crofts, A.R. The Q-cycle - a personal perspective / A.R. Crofts // Photosynthesis research –2004. – V. 80. – P. 223-243.
2. Seegers, W.H., Blood Clotting Enzymology /W.H. Seegers, N.U. Bang // NY: Academic Press; 1967.
3. Linnane, A.W. Coenzyme Q10 – its role as prooxidant in the formation of superoxide anion/hydrogen peroxide and the regulation of the metabolism. / Linnane A.W., M. Kios, L. Vitetta // Mitochondrion – 2007. –V. 7, № 1. – P. 51–61.

It has been shown by the method of chemiluminescent analysis that the reactive oxygen species (ROS) production by glass adhesion-stimulated phagocytes reduced in a dose-dependent manner under the action of menadione and coenzyme Q_0 at concentrations $1 \cdot 10^{-9} - 1 \cdot 10^{-4}$ mol/l. Coenzyme Q_{10} did not reveal antioxidant properties during ROS generation by phagocytes at all concentration range.

Крылова Нина Георгиевна, аспирантка 1-го года обучения кафедры биофизики физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, nina-kr@tut.by.

Кузьменцова Татьяна Петровна, студентка 3-го курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, tulipo@mail.ru.

Научный руководитель – *Кулагова Татьяна Александровна*, кандидат биологических наук, научный сотрудник кафедры биофизики, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, tatyana_kulagova@tut.by.

УДК 535.37

С.А. Кургузенков

СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ТИОФЛАВИНА Т В ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ И ИНТЕРКАЛИРОВАННОГО В АМИЛОИДНЫЕ ФИБРИЛЛЫ И ДНК

Изучены спектральные и кинетические свойства флуоресценции тиофлавина Т в пленках из поливинилового спирта и интеркалированного в амилоидные фибриллы и ДНК из эритроцитов цыпленка. Проанализирован характер влияния полимерной матрицы на флуоресцентные свойства красителя.

Интерес к исследованию амилоидных фибрилл возник в результате установления их влияния на возникновение и развитие более 20 различных нейродегенеративных заболеваний [1]. Одним из наиболее широко применяемых инструментов для изучения процессов формирования и структуры амилоидных фибрилл являются флуоресцентные зонды, специфическим образом взаимодействующие с изучаемыми объектами – конго красный и тиофлавин Т (ThT) [2,3].

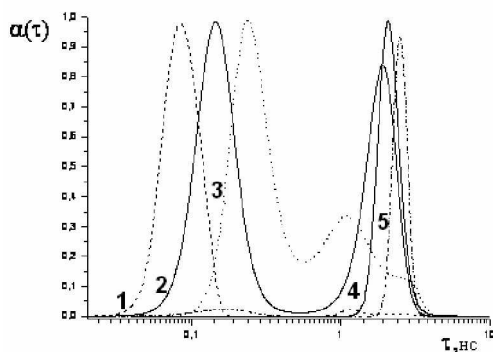


Рисунок – Результаты МЕМ-анализа кинетики затухания флуоресценции ThT в водном растворе ПВС (1), интеркалированного в фибриллы (2), ДНК (3), в пленке ПВС (4) и в растянутой пленке ПВС (5)

В этой связи анализу флуоресцентных свойств ThT в различных средах уделяется большое внимание, однако данные стационарной

флуорометрии и спектрофотометрии не позволяют судить о характере взаимодействия зонда с полимерами. Поэтому в данной работе большее внимание уделялось кинетике затухания флуоресценции.

При интеркаляции ThT в полимерные матрицы спектры поглощения и флуоресценции испытывают длинноволновое смещение, при этом на 2-3 порядка возрастает интенсивность флуоресценции, по сравнению с водными растворами красителя. Это обусловлено фотофизическими процессами, происходящими в молекуле зонда в возбужденном состоянии – локальным перераспределением электрического заряда и торсионной релаксацией фрагментов молекулы, приводящей к безызлучательной дезактивации возбужденного состояния и тушению флуоресценции [3].

Для установления вида функции распределения амплитуд по временам затухания $\alpha(\tau)$ использовался метод максимума энтропии (MEM). На рисунке представлены результаты анализа кинетики затухания флуоресценции зонда, находящегося в различных микроокружениях.

Наличие нескольких мод в распределениях амплитуд затухания флуоресценции тиофлавина Т интеркалированного в амилоидные фибриллы и ДНК указывает на существование различных механизмов встраивания зонда. Напротив, в пленке и водном растворе ПВС распределение $\alpha(\tau)$ мономодальное, что позволяет говорить о том, что матрица ПВС является хорошей модельной системой для изучения спектрально-кинетических свойств ThT в малополярных и жестких микроокружениях.

Список литературы

1. The environmental dependency of protein folding best explains prion and amyloid diseases / J.W. Kelly // Journal of Structural Biology. – 1996. – Vol. 6, № 11. – P. 124–132.
2. The binding of thioflavin-T to amyloid fibrils: localization and implications / H. Krebs [et al.] // Journal of Structural Biology. – 2005. – Vol. 149, № 4. – P. 30–37
3. Spectral properties of Thioflavin T in solvents with different dielectric properties and in a fibril-incorporated form / Alexander A. Maskevich [et al.] // Journal of proteome research. – 2007. – № 6. – P. 392–401.

Steady-state and time-resolved fluorescence properties of Thioflavine T bound to DNA from chicken erythrocytes, polyvinyl alcohol films and in fibril incorporated form has been studied. The influence of polymeric matrix on fluorescent properties of ThT has been analyzed.

Кургузенков Сергей Александрович, студент 5 курса физико-технического факультета, Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, kurhuzenkau@gmail.com.

Научный руководитель – *Маскевич Александр Александрович*, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой общей физики, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, amaskevich@grsu.by.

УДК 621.375.9

Д.В. Лавыш, И.И. Алесчик

ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАССЕИВАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ЭЛЕКТРОЛИТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СПЛАВОВ Zn-Ni

В работе проведено исследование влияния рентгеновского излучения на рассеивающую способность электролита для получения сплава Zn-Ni. Обнаружено увеличение рассеивающей способности электролита под излучением.

Рассеивающая способность электролита (РС) – это способность электролитов улучшать распределение металла на поверхности катода по сравнению с первичным распределением [1]. РС электролитов определяет равномерность толщины гальванических покрытий особенно на изделиях сложного профиля.

Целью данной работы было изучение влияния рентгеновского излучения на РС электролита.

Исследования РС проводились в электрохимической ячейке Молера по ГОСТ 9.309-86 [2]. В качестве электродов в катодном блоке были выбраны катоды из алюминия, которые обрабатывались

специальным раствором, препятствующим взаимодействию подложки с электролитом без прохождения через него электрического тока.

Объектом исследования служил электролит для осаждения покрытий сплавом Zn-Ni. Состав электролита был следующим: H_3BO_3 – 30 г/л, ZnO – 15 г/л, $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 90 г/л, NH_4Cl – 0,25 г/л.

Измерения РС электролита проводились при плотности катодного тока $0,5 \text{ А/дм}^2$, при температуре 21°C . Источником излучения служила установка УРС-1.0 при напряжении на рентгеновской трубке 50 кВ и токе 15 мА, анод Mo $\left(\lambda = 0,70 \text{ \AA} \right)$

В ходе исследования было обнаружено, что величина РС контрольного необлученного электролита равна 27%. Для облучаемого электролита РС составляет 32%. Изменение РС облучаемого электролита связано с увеличением подвижности ионов растворенных веществ под излучением [3].

Список литературы

1. Гамбург, Ю.Д. Гальванические покрытия: справочник по применению /Ю.Д. Гамбург. – Москва: Техносфера, 2006. – 216 с.
2. ГОСТ 9.309-86 Группа Т94 покрытия гальванические Определение рассеивающей способности электролитов при получении покрытий
3. Ершов, Б.Г. Кинетика, механизм и интермедиаты некоторых радиационно-химических реакций в водных растворах / Б.Г. Ершов // Успехи химии. – 2004. – Т. 73. – № 1. – 107с.

In work research of influence of x-ray radiation on disseminating ability of electrolytic for reception of alloy Zn-Ni is conducted. The increase in disseminating ability of electrolytic under radiation is revealed.

Лавыш Дмитрий Валерьевич, студент 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, DemonIff@e-mail.ru.

Алесчик Ирина Ивановна, студентка 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, ialesschik@gmail.ru.

Научный руководитель – *Валько Наталья Георгиевна*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, N.Valko@grsu.by.

УДК 539.21, 548.4+548.7

Н.В. Лебедевич

ОЦЕНКА РАЗМЕРНОЙ ГРАНИЦЫ МЕЖДУ НАНО- И МАКРОФАЗАМИ НА ОСНОВЕ АДИАБАТИЧЕСКОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ

Ранее была выведена формула расчета размерной границы между макро- и нанофазами вещества (L_0), основанная на использовании одного из важных параметров вещества – температуры Дебая. Из этой формулы сделан вывод, что значения L_0 лежат в интервале (8÷40) нм. Значения L_0 того же порядка можно получить не используя дебаевскую температуру.

Рассмотрим сферическую частицу изотропного вещества с диаметром d . Температура (T) и полная энергия частицы не меняется. С учетом граничных условий в этой частице могут возникать колебания с длинами волн $\lambda = \frac{d}{2Z}$, где Z – целое положительное число.

Если скорость акустических фононов равна v и дисперсия отсутствует, то частота фононов ω_{ph} и ее энергия E_Z равны

$$\omega_{ph} = \frac{\pi v \cdot Z}{d} = \omega_1 \cdot Z, \quad E_Z = \frac{\pi \eta v}{d} Z \quad (1)$$

Отношение чисел заполнения двух соседних размерных уровней ($Z+1$) и (Z) определяется условием

$$\exp\left[-\frac{E_{Z+1} - E_Z}{kT}\right] = \exp\left[-\frac{\pi \eta v}{kTd}\right] = \exp\left[-\frac{\eta \omega_1}{kT}\right] \quad (2)$$

Аналогичное отношение для соседних динамических фононных уровней ($n+1$) и (n) имеет вид

$$\exp\left[-\frac{E_{n+1} - E_n}{kT}\right] = \exp\left[-\frac{\eta \omega_n}{kT}\right] \quad (3)$$

ω_n – собственная частота атомных осцилляторов в модели Эйнштейна [1].

Отношение разниц энергий двух соседних размерных (ΔE_R) и тепловых (ΔE_h) уровней равно

$$\alpha = \frac{\Delta E_R}{\Delta E_h} = \frac{\pi v}{\omega_h d} = \frac{\omega_l}{\omega_h}. \quad (4)$$

Если $\alpha \ll 1$, то основную роль играет температурный фактор, при $\alpha \gg 1$ размерный. Размер частицы при $\alpha = 1$ можно считать границей между нано- и макрофазами, то есть

$$L_0 = \frac{\pi v}{\omega_h} \quad (5)$$

Приняв $v = 6 \cdot 10^3$ м/с, $T = 300$ К получим порядок величины L_0 , соответствующий наноразмерному диапазону.

Более строгий вывод расчета L_0 с учетом индивидуальных свойств вещества был выполнен ранее [2,3] и имеет вид

$$L_0 = \sqrt{\frac{1,5}{km}} h(\theta_D)^{-1/2}. \quad (6)$$

Список литературы

1. Китель, Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Китель. – М.: Гос. изд. ф-м. Лит. – 1967. – 696 с.
2. Лиопо, В.А. Определение максимального размера наночастиц / В.А. Лиопо // Весник. – Гродно: ГрГУ. – 2007. – Серия 2. – № 1. – С. 50–56.
3. Лебедевич, Н.В. Максимальная толщина водной пленки как одномерного нанобъекта / Н.В. Лебедевич // Физика конденсированного состояния: тез. док.ФКС-17, Гродно, 16-17 апреля 2009 г. / редкол. Е.А. Ровба (отв. ред.) [и др.] – Гродно: ГрГУ, – 2008. – С. 32–33.

It was described the influence of particle size to energetic condition of matter in nanomeasure scale.

Лебедевич Наталия Викторовна, магистрант 1-го курса обучения физико-технического факультета, Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Лиопо Валерий Александрович*, доктор физико-математических наук, профессор, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь; liopo@grsu.by.

УДК 678:539

Н.В. Лебедевич, В.В. Янушкевич

СРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР ДЕБАЯ ГРАФИТА И ГРАФАНА

В простейшей модели равенства скоростей поперечных и продольных фононов в объемной структуре графита и однослойной графитовой сетки графана установлено, что температура Дебая графита составляет примерно 85% от температуры Дебая графен.

В феврале 2009 года появилась публикация [1], в которой говорилось о том, что обнаружена еще одна модификация углерода. До этого были известны алмаз, графит, графитит, графен, фуллерен и, в какой-то мере, шунгит. Графитит, графен и графан в своей основе имеют графитовые сетки.

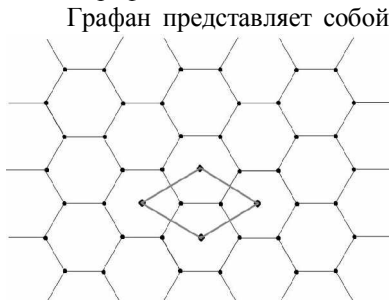


Рисунок – Фрагмент структуры графена

Графан представляет собой атомный слой графитового типа (см. рисунок). Графит описывается пространственной группой $R\bar{6}_3/mmc$. Число атомов на ячейку $z = 4$. Параметры равны:

$$a = 2,46 \text{ \AA}, \quad c = 6,80 \text{ \AA} \quad [2].$$

Расстояние с-с в слое равно $1,42 \text{ \AA}$,

с-с между слоями – $3,40 \text{ \AA}$. Если полагать, что в графане атомный

слой соответствует графитовой сетке, то его пространственная группа – $6mm$, $z = 2$, параметр $a = 2,46 \text{ \AA}$, площадь ячейки в слое

$$P = \frac{3\sqrt{3}}{2} a^2 = 2,6a^2 = 15,7 * 10^{-20} \text{ м}^2. \quad (1)$$

В фазовом пространстве двумерного кристалла на одно колебание приходится площадь $(2\pi)^2$. Величина фазового пространства для

волнового вектора q равна $W = \pi q^2 S$. Так как $q = \omega/v$, где ω - частота колебаний механического возбуждения, v - скорость звука.

Так как точечная группа графана позволяет считать его изотропным, то есть продольные и поперечные фононы в слое имеют одинаковую скорость, то общее число колебаний (Z), равное числу атомов, имеет вид

$$z = \frac{W}{(2\pi)^2} = \frac{\pi q^2 S}{(2\pi)^2} = \frac{\pi \omega^2 S}{v^2 (2\pi)^2} = N = 2 \frac{S}{P}, \quad (2)$$

$$\omega_{\max} = v \cdot \left(\frac{8\pi}{P} \right)^{1/2} = \frac{4}{3} \frac{v}{a} (\sqrt{3}\pi)^{1/2}. \quad (3)$$

Если считать графит изотропным с объемом ячейки $v = P \cdot c$, то объем приходящийся на один атом равен $n = \frac{1}{4} v$, то есть

$$\omega_{\max} = v \cdot \left(\frac{8n^2 \cdot 4}{v} \right)^{1/3} = 2v \left(\frac{3\pi^2}{pc} \right)^{1/3} = \frac{2v}{a} \left(\frac{3\pi^2 a}{c} \right)^{1/3}. \quad (4)$$

Отношения температур Дебая графита $\theta_D^{(1)}$ и графана $\theta_D^{(2)}$ равны

$$\frac{\theta_D^{(1)}}{\theta_D^{(2)}} = \frac{2v}{a} \left(\frac{2\pi^2 a}{c} \right)^{1/3} \cdot \frac{3a}{4v} \frac{1}{(\sqrt{3}\pi)^{1/2}} = 1,5 \left(\frac{4\sqrt{3}\pi}{9(c/a)^2} \right) = 0,83 \quad (5)$$

То есть вследствие размерного фактора[4] температура Дебая графана становится в 3,4 раза больше, чем температура графита. Следовательно, в нем в значительно большем, чем у графита, температурном интервале остается справедливой квантовая статистика описания процессов, связанных с механическими возбуждениями.

Список литературы

1. D. C. Elias, R. R. Nair, T. M. G. Mohiuddin, S. V. Morozov, P. Blake, M. P. Halsall, A. C. Ferrari, D. W. Boukhvalov, M. I. Katsnelson, A. K. Geim,

- K. S. Novoselov. «Control of Graphene's Properties by Reversible Hydrogenation: Evidence for Graphane» // Science.– 2009.– V. 323.– P. 610–613.
2. Брэгг, У. Кристаллическая структура минералов / У. Брэгг. – М.: МИР. 1967. – 389 с.
3. Китель, Ч. Квантовая теория твердых тел / Ч. Китель. – М.: Наука. 1967. – 491 с.
4. Лиопо, В.А. Фононный спектр и размерная граница между нано- и макрофазами / В.А. Лиопо, В.А. Струк // Вестник ГрГУ, 2009. – Сер 2. – № 1. – С. 114–120.

The ratio of Debye's temperatures of graphite to graphane phases is equald about 0,85, if other their structure-physics parameter, are the same.

Лебедевич Наталья Викторовна, магистрант физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Янушкевич Вадим Валерьевич, студент 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Лиопо Валерий Александрович*, доктор физико-математических наук, профессор, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, liopo@grsu.by.

УДК 577.152.+543.424

А.Ю. Лицкевич

СПЕКТРАЛЬНО-КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ КОМПЛЕКСОВ ВКЛЮЧЕНИЯ ПИРЕНА С ЦИКЛОДЕКСТРИНАМИ

Изучены спектрально-кинетические свойства флуоресценции комплексов включения пирена с β - и γ -циклодекстрином. Показано отсутствие тушения кислородом и ионным тушителем флуоресценции пирена в составе комплексов.

Супрамолекулярные комплексы образованные циклодекстринами и различными субстратами в настоящее время широко используются в различных областях науки. Наибольшее применение циклодекстрины получили в качестве молекулярных контейнеров и строительных блоков для наноструктур. К настоящему времени спектральные свойства комплексов циклодекстринов с различными красителями изучены

достаточно широко [1,2]. Одним из интереснейших свойств циклодекстрина является экранирование субстрата от тушителей флуоресценции.

В данной работе изучен комплекс включения циклодекстрина с пиреном. Несмотря на то, что на данный момент этот комплекс изучен достаточно неплохо [3,4], механизм экранирования пирена при использовании в качестве тушителя кислорода (O_2) практически не рассматривался. Так же фактически не имеется данных по эксимеризации пирена в присутствии циклодекстрина.

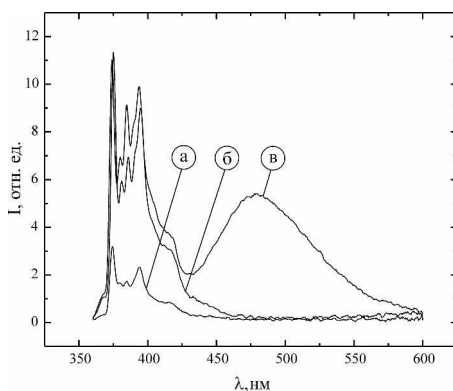


Рисунок – Спектры испускания флуоресценции: а) пирена ($c = 3 \cdot 10^{-6}$ моль/л) в воде; б) пирена ($c = 3 \cdot 10^{-6}$ моль/л) в воде, в присутствии $1 \cdot 10^{-3}$ моль/л γ -CD; в) пирена ($c = 4 \cdot 10^{-6}$ моль/л) в воде, в присутствии $1 \cdot 10^{-2}$ моль/л γ -CD.

В данной работе изучены спектры флуоресценции пирена в воде, а так же кинетика затухания флуоресценции в присутствии β - и γ -циклодекстринов (β - и γ -CD) при различных концентрациях красителя. Регистрация спектров и кинетики затухания осуществлялась при длине волны возбуждения 337 нм в полосе мономеров (393 нм) и полосе эксимеров (495 нм). Спектры флуоресценции представлены на рисунке.

При добавлении γ -CD соотношение интенсивностей колебательных полос флуоресценции пирена при 374 и 393 нм уменьшается (т.е. полярность окружения уменьшается). Кроме этого в

области 470–480 нм появляется полоса соответствующая флуоресценция эксимеров пирена. При добавлении ДМСО интенсивность этой полосы значительно ослабевает.

В результате анализа кинетики затухания, получены следующие длительности затухания флуоресценции: 230 нс – на длине волны 393 нм и 150 нс – на длине волны 480 нм. Были измерены спектры и кинетика затухания после продувки раствора молекулярным азотом (для удаления кислорода). Анализ кинетики затухания на длине волны 393 нм даёт среднюю длительность затухания 250 нс, до и после продувки азотом. То есть присутствие в растворе кислорода не влияет на длительность затухания флуоресценции. Отсюда следует, что при встраивании пирена в γ -циклодекстрин тушение флуоресценции кислородом не происходит.

Также установлено, что в присутствии γ -CD спектры и кинетика затухания флуоресценции пирена не изменяются при добавлении анионного тушителя – йодида натрия.

Аналогичные результаты получены и для β -CD, за исключением того, что при добавлении β -CD не появляется полоса эксимеров (см. рисунок).

Список литературы

1. V.B. Nazarov, T.G. Vershinnikova, M.V. Alfimov, Russ. Chem. Bull., 1999, 48, 1998.
2. V.B. Nazarov, V.G. Avakyan, T.G. Vershinnikova, M.V. Alfimov Rus. Chem. Bulletin, 2000, 49, 1699.
3. Nelson, G. Fluorescence Quenching Studies of Cyclodextrin Complexes of Pyrene and Naphthalene in the Presence of Alcohols / G. Nelson, I.M. Warner. – J. Phys. Chem. 1990. – 94. – P. 576–581.
4. Patonay, G. A Systematic Study of Pyrene Inclusion Complexes with β -, γ -, and α -Cyclodextrins / G. Patonay, A. Shapira, P. Diamond, I. M. Warner. – J. Phys. Chem. 1986, 90. 1963–1966.

Spectral and kinetic properties of fluorescence for inclusion complexes of pyrene with β - and γ -cyclodextrin were studied. It was shown that upon complex formation pyrene fluorescence was not quenched by oxygen and iodide ion.

Лицкевич Артур Юрьевич, аспирант кафедры общей физики, физико-технического факультета, Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, finkreg@km.ru.

Научный руководитель – *Маскевич Александр Александрович*, кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой общей физики, Гродненский государственный университет имени Купалы, Гродно, Беларусь, amaskevich@grsu.by.

УДК 577.3

М.А. Логацкая

ЦИТОФЛУОРИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ НАКОПЛЕНИЯ И ФОТОТОКСИЧНОСТИ ПОРФИРИНОВЫХ СЕНСИБИЛИЗАТОРОВ В ЛИМФОЦИТАХ

Исследованы характеристики процессов накопления порфириновых соединений в лимфоцитах. Установлено, что уровень накопления зависит от полярности порфирина, а также от активационного статуса клетки. Обнаружена селективная фототоксичность сенсibilизатора в активированных лимфоцитах.

Фотодинамическая терапия – метод лечения ряда заболеваний, в основе которого лежит комбинированное воздействие на патологические клетки и ткани сенсibilизаторов и видимого света. Результативность данного метода определяется как фотофизическими свойствами сенсibilизатора (способностью поглощать свет в области наибольшего пропускания тканей, генерировать синглетный кислород и другие цитотоксические соединения), так и его фармакокинетическими характеристиками (селективностью накопления в клеточных и тканевых мишенях).

Целью нашей работы является оценить возможность использования порфириновых соединений для избирательного воздействия на активированные лимфоциты периферической крови пациентов после трансплантации костного мозга и здоровых людей. В

качестве объектов исследования были выбраны хлорин еб (хл еб) и его диметилловый эфир (ДМЭ). Данные пигменты обладают высоким коэффициентом экстинкции в красной области спектра и значительным квантовым выходом синглетного кислорода (0,5 – 0,6), на их основе разработаны отечественные препараты для фотодинамической терапии, успешно прошедшие клинические испытания.

В нашей работе с помощью метода проточной цитофлуориметрии были получены кинетические кривые накопления хл еб и ДМЭ в активированных и покоящихся лимфоцитах. Фенотипирование стимулированных и покоящихся лимфоцитов производилось стандартными методами с использованием моноклональных антител, меченных флуорофорами. Оценка жизнеспособности клеток осуществлялась при помощи флуоресцентного зонда флуоресцеин диацетата.

Исследованы уровни накопления хлоринов в активированных и покоящихся лимфоцитах образцов крови пациентов после трансплантации костного мозга. Оба сенсibilизатора в больших количествах накапливаются в стимулированных лимфоцитах, чем в покоящихся. При этом хл еб и ДМЭ обладают практически одинаковой селективностью степени окраски. Обнаружено, что ДМЭ значительно лучше связывается с обеими популяциями лимфоцитов (отношение уровней накопления ДМЭ и хл еб составляет 2,4). Исследование лимфоцитов здоровых доноров показало, что сохраняется селективность накопления в активированных лимфоцитах как для хл еб, так и для ДМЭ. При этом стоит отметить большую избирательность накопления ДМЭ по сравнению с хл еб. Установлено, что степень окраски ДМЭ в суммарной фракции лимфоцитов превышает таковую для хл еб в 2,1 раза. Анализ характеристик накопления позволяет говорить о том, что повышенное по сравнению с хл еб сродство ДМЭ к клеткам обусловлено различиями в физико-химических свойствах, связанными с молекулярной структурой данных порфиринов. Этерификация карбоксильных групп двумя метильными снижает полярность ДМЭ, что обеспечивает высокую скорость диффузии порфиринов через мембрану клетки. В связи с более высокой степенью накопления ДМЭ в белых клетках этот пигмент был выбран для

исследования фотоиндуцированного повреждения активированных лимфоцитов периферической крови. Установлено, что при фотооблучении суммарной фракции лимфоцитов процент погибших активированных клеток в 2,3 раза превышает процент погибших покоящихся лимфоцитов.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о возможности использования порфириновых сенсбилизаторов в методах лечения иммунных заболеваний, связанных с избыточной активацией иммунокомпетентных клеток.

The characteristics of accumulation processes of porphyrin dyes in lymphocytes have been studied. It has been determined that the level of accumulation depends on polarity of the dye and activation of the cells. The selective phototoxicity of sensitizer has been observed in activated lymphocytes.

Логацкая Марина Александровна, студентка 4 курса кафедры биофизики физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, elmary@mail.ru.

Научный руководитель – *Зорин Владимир Петрович*, кандидат биологических наук, кафедра биофизики, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.

УДК 538.958;621.373.826

П.А. Лойко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМООПТИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ ДЛЯ АНИЗОТРОПНЫХ КРИСТАЛЛОВ ВАНАДАТОВ GdVO₄ И YVO₄

Целью настоящей работы является экспериментальное определение термооптических постоянных кристаллов гадолиниевого и иттриевого ванадатов GdVO₄ и YVO₄ методом пробного пучка для различных длин волн зондирующего излучения ($\lambda = 632.8$ нм и 1064 нм).

В работе создан экспериментальный стенд (рис.1) для измерения термооптических постоянных анизотропных кристаллов методом

пробного пучка. Зондирующий пучок формируется при помощи телескопа и диафрагмы, источником излучения (ТЕМ₀₀ мода, линейно поляризованное) является He-Ne лазер ($\lambda = 632.8$ нм) или микрочип-лазер с диодной накачкой на основе кристалла Nd:YAG с удвоением частоты ($\lambda = 1064$ нм). Пробный пучок проходит через исследуемый кристалл, в котором поддерживается постоянный линейный градиент температуры. Он вызывает изменение профиля показателя преломления в среде, что приводит к отклонению пробного пучка от первоначального направления распространения. Отклонение пробного пучка регистрируется при помощи ПЗС-камеры, установленной на расстоянии $L_{scr} = 4.8$ м от кристалла.

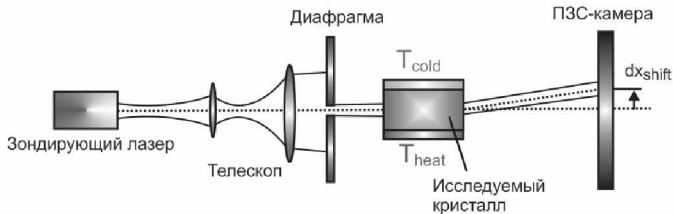


Рисунок – Схема экспериментальной установки для определения термооптических постоянных анизотропных кристаллов методом пробного пучка

Величина сдвига пробного пучка dx_{shift} [1] определяется выражением (1), где L_{cryst} и H_{cryst} – соответственно длина кристалла в направлении распространения излучения и его толщина в направлении градиента температуры δT_{h-c} , dn/dT – температурный коэффициент показателя преломления n , α_T – коэффициент линейного термического расширения.

$$dx_{shift} = \left[\frac{dn}{dT} + (\alpha_T - 1)n \right] \cdot \frac{L_{cryst}}{H_{cryst}} \cdot \delta T_{h-c} \cdot L_{scr} \quad (1)$$

Исследуемые кристаллы ванадатов $GdVO_4$ и $Nd(0.4at.\%):YVO_4$ (пространственная группа D_{4h}), ось $[001]=c$ совпадает с оптической осью, $[100]=a$ и $[010]=b$, при этом $b=a$ [2]. Величины dn/dT имеют

различные значения для поляризаций излучения $E // c$ и $E \perp c$, а α_T – для направлений распространения $k // c$ и $k \perp c$. Приготовленные образцы имели форму параллелепипедов.

Определенные значения $[dn/dT + (\alpha_T - 1)n]$ – термооптических постоянных – усреднялись для двух различных направлений градиента. Полученные результаты приведены в таблице.

Таблица – Термооптические постоянные кристаллов гадолиниевого и иттриевого ванадатов, измеренные для различных поляризаций и длин волн зондирующего излучения

| Поляризация пробного излучения E | $[dn/dT + (\alpha_T - 1)n] \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ | |
|--|---|--|
| | $\lambda = 632.8 \text{ нм}$ $\text{GdVO}_4 k // c$ | $\lambda = 632.8 \text{ нм}$ $\text{GdVO}_4 k \perp c$ |
| $E // c$ | – | 6.13 |
| $E \perp c$ | 13.46 | 6.93 |
| | $\lambda = 632.8 \text{ нм}$ $\text{Nd:YVO}_4 k \perp c$ | $\lambda = 1.064 \text{ мкм}$ $\text{Nd:YVO}_4 k \perp c$ |
| $E // c$ | 6.78 | 3.60 |
| $E \perp c$ | 11.21 | 8.32 |

Список литературы

1. Vatnik, S. [et. al.] // Appl. Phys. B. – 2009. – Vol. 95. – P.653.
2. Kaminskii, A.A. [et. al.] // Cryst. Res. Technol. – 2008. – Vol. 43. – P. 1117.

Thermo-optical parameters in anisotropic vanadate crystals GdVO_4 and YVO_4 were determined using a probe beam being passed through the crystal with steady-state linear thermal gradient.

Лойко Павел Александрович, магистрант приборостроительного факультета Белорусского национального технического университета, Минск, Беларусь, kinetic@tut.by.

Научный руководитель – *Юмашев Константин Владимирович*, доктор физико-математических наук, профессор, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, kumashev@bntu.by.

УДК 535.37

Л.С. Ляшенко, Д.С. Тарасов

ОСОБЕННОСТИ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ИНДОТРИКАРБОЦИАНИНОВОГО КРАСИТЕЛЯ *IN VIVO*

Установлено, что в процессе накопления фотосенсибилизатора в живом организме происходит деформация формы спектра флуоресценции красителя, обусловленная изменением микроокружения молекул красителя. Показано влияние различных форм гемоглобина крови на форму и положение спектра флуоресценции красителя.

В работе приведены результаты изучения спектрально-люминесцентных свойств индотрикарбоцианинового красителя, разработанного в лаборатории спектроскопии НИИ прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко, в культуре опухолевых клеток HeLa и в тканях животных *in vivo*. Эксперименты *in vivo* проводились на беспородных белых крысах с перевитыми в области бедра опухолями штамма саркома 45, саркома M1.

В результате исследований спектров флуоресценции фотосенсибилизатора *in vivo* установлено, что с течением времени после внутривенного введения форма и положение спектров красителя в опухолевых и в здоровых мышечных тканях изменяются. Спектры флуоресценции красителя в плазме крови имеют такое же положение максимума и близкую полуширину спектра как у красителя *in vivo* непосредственно после его введения. Это обстоятельство, а также аналогичная динамика изменения интенсивности флуоресценции красителя *in vivo* и его концентрации в крови дают основание заключить, что в течение первого часа после введения фотосенсибилизатора преимущественно локализован в крови и постепенно перераспределяется по тканям. В результате изменяется микроокружение красителя, которое вызывает наблюдаемые изменения в положении и форме спектров флуоресценции фотосенсибилизатора. Длинноволновое смещение спектра флуоресценции в опухолевых и нормальных тканях свидетельствует о менее полярном окружении молекул красителя в тканях животного по сравнению с их окружением в крови.

Положение максимума спектра флуоресценции красителя в освобожденных от крови образцах ткани животного совпадает с

положением в культуре опухолевых клеток HeLa. Вместе с тем, спектр флуоресценции красителя в опухолевых тканях *in vivo* имеет меньшую полуширину по сравнению со спектрами в клетках HeLa и в освобожденных от крови образцах опухолевой ткани животного. Описанное различие может быть обусловлено проявлением влияния эндогенных биомолекул, в частности гемоглобина, на спектр испускания красителя *in vivo*. В наиболее значительной мере в полосе флуоресценции красителя изменяется поглощение различных форм гемоглобина: окси-, дезокси- и метгемоглобина. Численными методами путем вариации процентного соотношения содержания различных форм гемоглобина в крови рассчитан спектр флуоресценции красителя с учетом поглощения компонент крови. Оптимальное совпадение теоретического и экспериментального спектров получено при концентрации оксигемоглобина более 85% и концентрации дезоксигемоглобина около 14% от общей концентрации гемоглобина, концентрация метгемоглобина не превышала 1%. Такое соотношение окси-, дезокси- и метгемоглобина согласуется с известными в литературе реальными концентрациями указанных форм гемоглобина в тканях крыс *in vivo*. Полученные данные свидетельствуют о том, что уменьшение полуширины спектра флуоресценции красителя *in vivo* по сравнению со спектром в культуре раковых клеток HeLa и в освобожденных от крови образцах опухолевой ткани обусловлено присутствием оксигемоглобина в ткани животного. Аналогичным образом показано, что отличия в спектрах флуоресценции красителя в здоровой и опухолевой тканях связаны с более высоким содержанием дезоксигемоглобина в опухолевой ткани по сравнению с мышечной.

It is established, that during accumulation of a photosensitizer in a living organism the environment of a molecule of dye in process of redistribution of a photosensitizer from blood in a tissues. Influence of various forms of hemoglobin of blood on the form and position of a spectrum of fluorescence of dye is shown.

Ляшенко Людмила Сергеевна – аспирантка физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, sky11@mail.ru.

Тарасов Дмитрий Сергеевич – студент 5 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Самцов Михаил Петрович*, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник НИИ ПФП им. А.Н. Севченко, Минск, Беларусь, samtsov@bsu.by.

УДК 621.369.6

А.А. Мокиевец, А.Г. Черных

СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА БИНАРНЫХ И ТРОЙНЫХ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ

Металлизационная система ИС на основе пленок алюминия требует постоянного совершенствования. Целью данной работы является исследование структурных свойств металлизации на основе бинарных и тройных сплавов алюминия как с традиционными добавками Si и Cu, так и с добавками редкоземельного металла гольмия, впервые используемого для металлизационной системы ИС.

Пленки алюминия и его сплавов Al+0,8%Ho, Al+0,8%Ho+1%Si, Al+1%Si, Al+1,5%Si, Al+1,5%Si+4%Cu (% по массе) получали методом магнетронного распыления мишеней диаметром 200 мм из указанных сплавов. В качестве подложек использовали пластины монокристаллического кремния n-типа диаметром 100 мм (КЭФ 4,5; КЭФ 20) ориентации (100). Распыление мишеней осуществляли в атмосфере аргона при величине разрядного тока $12 \pm 0,5$ А и максимальной мощности источника 10 кВт. Структурное совершенство полученных образцов, распределение в них легирующих добавок исследовали методами электронной микроскопии и рентгенодифракционного анализа.

Количественная оценка дисперсности пленок бинарных и тройных сплавов, полученных при температуре подложки 280°C показала, что при таком температурном режиме практически не происходит образования аномально крупных кристаллитов, столь характерных для пленок, полученных при высоких температурах подложки. В сравнении с монометаллическими образцами пленки сплавов обладают большей дисперсностью, при этом пленки тройных сплавов Al+Si+Cu и Al+Si+Ho являются наиболее мелко- и равномернозернистыми.

Исследования степени текстурированности пленок, напыленных при температуре подложки 250°C показали, что среди исследуемых сплавов наиболее выраженная преимущественная ориентация (111) зерен алюминия наблюдается у пленок, содержащих гольмий. Это может быть обусловлено тем, что гольмий, являясь химически активным элементом, взаимодействует с неконтролируемыми газовыми

примесями (С, Ог, Нг, Nr), присутствие которых в пленках способствует формированию неориентированных зерен алюминия.

Проведенный сравнительный анализ структурных свойств металлизации на основе тонких пленок различных сплавов алюминия показал, что добавки гольмия оказывают модифицирующие действия в пленках алюминия, проявляющиеся как в уменьшении среднего размера зерна пленок алюминия и уменьшения их разброса по величине, так и в повышении термостабильности пленок с точки зрения изменения микроструктуры поверхности при тепловой обработке.

Список литературы

1. Черных, А.Г. Особенности использования гольмия в металлизации ИС. / А.Г. Черных, С.В. Ригольд // Материалы МНТК «Новые технологии изготовления многокристалльных модулей», 25.09 – 29.09, Минск – Нарочь, 2006.
2. Черных, А.Г. Структурные и электрофизические свойства бинарных и тройных сплавов алюминия для металлизации микродисплеев типа LED-ON-SILICON / А.Г. Черных, С.А. Павлюковец, А.Г. Смирнов, С.В. Ригольд. – Доклады БГУИР, 2008. – № 5. – С. 97–103.

Obtained results show the perspective usage of developed methods which use aluminium alloys containing holmium and impulse optical bake for solution of problems of fabrication reliable ohmic contacts.

Мокиевец Анатолий Анатольевич, магистрант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, mokii@tut.by.

Черных Александр Георгиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «микро- и наноэлектроники» Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, chernykh@bsuir.by.

Научный руководитель – *Черных Александр Георгиевич*, кандидат технических наук, доцент кафедры «микро- и наноэлектроники», Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, chernykh@bsuir.by.

УДК 577.3

А.В. Мучковский

ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТОВ, СОДЕРЖАЩИХ ИОНЫ ЛАНТАНА, НА ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ ФАГОЦИТОВ КРОВИ

Выявлено, что препараты, содержащие ионы La^{3+} , ингибируют хемилюминесценцию фагоцитов, связанную с их активацией, вызывают образование клеточных агрегатов и подавляют адгезию клеток на стекло.

В настоящее время проводится разработка новых фармацевтических препаратов, представляющих собой комплексные соединения, содержащие ионы металлов, в том числе, ионы La^{3+} [1]. В составе таких препаратов ионы металла могут быть сорбированы на природных или синтетических полимерах, пептидах, аминокислотах посредством координационных связей [2]. Действие ионов лантана в свободном состоянии и в составе комплексных препаратов может быть различным. В связи с этим представляется актуальным сравнительное изучение механизмов действия различных La^{3+} – содержащих препаратов. Целью настоящей работы явилось исследование механизмов действия La^{3+} – содержащих препаратов – раствора нитрата лантана, геля полиэтиленгликоля (ПЭГ) с нитратом лантана и препарата «Лантамед» – на хемилюминесценцию фагоцитов крови, связанную с их активацией.

При контакте фагоцитов крови с поверхностью стекла или мелкими частицами латекса происходит активация этих клеток, сопровождаемая возникновением хемилюминесценции. Эта реакция используется в качестве модели процессов, происходящих в организме при воспалении [3]. Для усиления такого свечения используется химический усилитель свечения, обладающий высоким квантовым выходом, люминол. Нами выявлено, что из изученных препаратов все вызывают ингибирование хемилюминесценции фагоцитов при адгезии клеток на стекло, но в концентрациях, различающихся на 1-3 порядка. Эффект наименее выражен для геля ПЭГ с лантаном, а наиболее – для препарата «Лантамед». При активации клеток латексом добавление растворов нитрата лантана и препарата «Лантамед» приводит к подавлению хемилюминесценции клеток при тех же концентрациях, что

и в случае адгезии, тогда как при действии геля ПЭГ с лантаном ингибирования не наблюдается.

Взаимодействие клеток с объектами в ходе адгезии, фагоцитоза и образования межклеточных контактов носит электростатический характер и зависит от поверхностного потенциала клетки, зарядового «профиля» клеточной мембраны [4]. Поверхность клеток заряжена отрицательно, и положительно заряженные поливалентные ионы, предотвращая отталкивание поверхностей, могут способствовать образованию агрегатов клеток и влиять на различные реакции клеток.

Исследование влияния препаратов лантана на прикрепление клеток к стеклу методом световой микроскопии и на агрегатообразование методом турбидиметрии, показало, что ионы лантана приводят к предотвращению адгезии фагоцитов на стекло и вызывают формирование клеточных агрегатов. Эти эффекты наблюдаются при тех же концентрациях La^{3+} , при которых имеет место ингибирование хемилюминесценции фагоцитов. Полученные результаты свидетельствуют о модифицирующем влиянии препаратов, содержащих ионы La^{3+} , на заряд поверхности клеток. Однако ряд наблюдаемых эффектов не может быть объяснен только физико-химическими процессами и вероятно связан с биохимическими изменениями. Наиболее слабое действие геля ПЭГ с лантаном, по-видимому, обусловлено тем, что в составе данного препарата ионы La^{3+} сорбированы на молекулах ПЭГ и менее доступны для взаимодействия.

Список литературы

1. Davis, R.L. Lanthanum deposition in a dialysis patient / R.L. Davis, J.L. Abraham // *Nephrol. Dial. Transplant.* – 2009. – Vol. 24. – № 10. – P. 3247–3250.
2. Coordination of Ce(III) and Nd(III) with pentaethylene glycol in the presence of picrate anion: spectroscopic and X-ray structural studies / E. Kusriani [et al.] // *Spectrochim. Acta A. Mol. Biomol. Spectrosc.* – 2009. – Vol. 74. – № 1. – P. 120–126.
3. Effects of hydrogen peroxide on neutrophil ability to generate reactive oxygen and chlorine species and to secrete myeloperoxidase in vitro / A.I. Kavalenka [et al.] // *Cell Tissue Biol.* – 2007. – Vol. 1. – № 6. – P. 551–559.
4. Геннис, Р. Биомембраны: молекулярная структура и функции / Р. Геннис. – М.: Мир, 1997. – 624 с.

It was revealed that the preparations contained lanthanum ions inhibit chemiluminescence of phagocytes concerned with their activation and induce aggregation of cells and suppress adhesion of cells to glass surface.

Мучковский Антон Викторович, студент 3 курса кафедры биофизики, физического факультет, Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, MyGoodBox@pochta.ru.

Научный руководитель – *Коваленко Елена Иосифовна*, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник кафедры биофизики, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, kavalenka@bsu.by.

УДК 541.21.33

Ф.А. Нажим, А.А. Харченко

ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВА ПОЛИИМИДА, ИМПЛАНТИРОВАННОГО ИОНАМИ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

Изучены оптические характеристики пленок полиимида, имплантированного ионами никеля, железа, кобальта, меди, марганца и серебра с энергией 40 кэВ в интервале доз $1 \cdot 10^{16} - 1,5 \cdot 10^{17}$ ион/см² при плотности ионного тока до 15 мкА/см². Обнаружена разница в коэффициентах отражения и экстинкции при падении света на имплантированную и неимплантированную стороны.

Ионная имплантация в полимеры является эффективным методом синтеза наноструктурных композитов с широким спектром физических свойств. Так при имплантации ионов металла наряду с процессом карбонизации начинается зарождение и рост металлических наночастиц, что приводит к появлению нелинейных оптических характеристик модифицированных полимерных пленок [1].

Пленки полиимида толщиной 40 мкм были имплантированы ионами Ni⁺, Co⁺, Cu⁺, Mn⁺, Fe⁺ и Ag⁺ с энергией 40 кэВ в интервале доз $1 \cdot 10^{16} - 1,5 \cdot 10^{17}$ ион/см² при плотности ионного тока до 15 мкА/см. Спектры пропускания и отражения измерены на спектрофотометре SPECORD при комнатной температуре в диапазоне длин волн 300-800 нм.

В работе приводятся результаты, характерные для всех ионов на примере ионов марганца. На рис. 1 и 2 показаны спектры отражения и экстинкции исходной (кривая 1) и имплантированных пленок,

измеренных при падении света на имплантированную (обозначена 1) и не имплантированную (обозначена 2) поверхности пленки.. Характерной особенностью спектров отражения исходного и имплантированного образцов при падении света на сторону 1 является наличие минимума при длине волны около 500 нм (кривые 1,2,3). При измерении отражения со стороны 2 (кривые 4,5 на рис.1) такого минимума не наблюдается. Увеличение отражения в этой области спектра при падении света на имплантированную поверхность связано с зарождением и ростом металлических наночастиц в приповерхностном слое полимерной пленки и проявлением поверхностного плазменного резонанса в них [2].

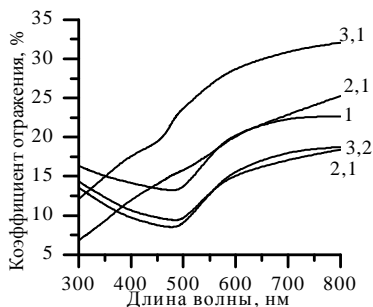


Рисунок 1 – Спектры отражения исходной (1) и имплантированных (2,3) плёнок. $D, \text{см}^{-2}: 1$ – исходная; 2,1,2,2 - $5 \cdot 10^{16}$; 3,1,3,2 - $1 \cdot 10^{17}$.

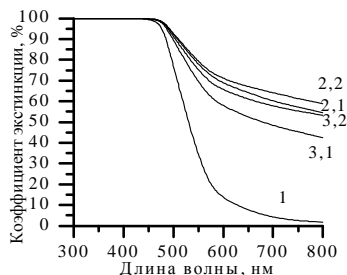


Рисунок 2 – Спектры экстинкции исходной (1) и имплантированных (2,3) плёнок. $D, \text{см}^{-2}: 1$ – исходная; 2,1,2,2 - $5 \cdot 10^{16}$; 3,1,3,2 - $1 \cdot 10^{17}$.

Из приведенных на рис. 2 спектров экстинкции видно, что экстинкция в имплантированных образцах больше при измерении ее со стороны не подвергшейся имплантации. Из этого можно сделать заключение, что рассеивающая способность модифицированного слоя больше со стороны не имплантированной поверхности вследствие того, что распределение сформированных при имплантации углеродных кластеров сдвинуто по отношению к кластерам металла ближе к имплантированной стороне пленки, таким образом, рассеивающая способность металлических наночастиц с не имплантируемой стороны оказывается выше. На наш взгляд к такому же эффекту может привести и не гауссов вид распределения формирующихся метало-углеродных кластеров по толщине имплантированного слоя.

Список литературы

1. Степанов, А.Л. Оптические свойства металлических наночастиц, синтезированных в полимере методом ионной имплантации / А.Л. Степанов // ЖТФ. 2004. – В. 2. – 11 с.
2. Kreiberg, U. Optical Properties of Metal Clusters / U. Kreiberg, M.Vollmer. – Berlin: Springer, 1995. – 134 p.

Optic properties (transmission, reflection and extinction) spectra of polyimide films implanted by Ni, Cu, Co, Fe, Mn, Ag ions with energy 40 keV in a dose range $1 \cdot 10^{16} - 1,5 \cdot 10^{17}$ ион/см² have been investigated. Difference reflection and extinction measured with implanted and non-implanted sides was observed.

А. Нажим Фирас, аспирант физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, phys74@yahoo.com.

Харченко Андрей Андреевич, студент 5 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, ХааТМ@mail.ru.

Научный руководитель – *Лукашевич Михаил Григорьевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики полупроводников, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, lukashevich@bsu.by.

УДК 535.241.1

А.Р. Николаевский

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ОСЛАБИТЕЛЯ

Приведены результаты аналитического расчета по оптимизации работы регулируемого поляризационного оптического ослабителя с анизотропной жидкокристаллической ячейкой. Основное внимание уделено минимизации уровня потерь оптического излучения в исследуемой схеме.

Широкое применение оптико-лазерных методов в научных и технологических целях выдвинуло повышенные требования к системам регулирования световых потоков. Наиболее полно отвечают этим требованиям поляризационные ослабители оптического излучения. Необходимо отметить, что оптические схемы таких ослабителей имеют

ограничения вследствие большой чувствительности к степени поляризации ослабляемого излучения. Известным типам поляризаторов характерны погрешности, связанные со свойствами их оптических сред и с особенностями конструкции. Поэтому разработка новых схем ослабителей оптического излучения является актуальной практической задачей. В настоящей работе приведены результаты аналитического расчета по оптимизации работы поляризационного оптического ослабителя с анизотропной жидкокristаллической ячейкой. Компьютерное моделирование выполнено с применением пакета прикладных программ Matlab.

В выполненных расчетах определялась угловая зависимость коэффициента пропускания ослабителя. Зависимость коэффициента пропускания $T(\alpha)$ ослабителя рассчитывалась с учетом потерь, зависящих от характеристик поляризаторов, используемых в разрабатываемой схеме. Такими характеристиками, учитываемыми при наших расчетах, являются оптическая прозрачность поляризатора p и его эффективность ρ (степень поляризации прошедшего через него оптического излучения). Систематическая ошибка $\sigma(\alpha)$ связана с несовершенством поляризаторов (описывается обобщенным параметром ϵ) и с угловой точностью установки поляризаторов.

Проведено качественное сравнение для различных схем поляризационных ослабителей. Поляризационный ослабитель, состоящий из двух поляризаторов, чувствителен к частично поляризованному свету и даёт большую систематическую погрешность. Система из трёх поляризаторов менее чувствительна к поляризации падающего излучения, но систематическая погрешность, обусловленная дефектами поляризаторов, в этой схеме увеличивается, что не обеспечивает высокой точности. Для таких схем необходимо также учитывать погрешности, вызванные неточной установкой угла поворота анализатора и его децентровкой относительно неподвижных поляризаторов. Данные недостатки можно значительно уменьшить в схеме ослабителя на основе анизотропной ЖК-ячейки. На рисунке приведены результаты расчета погрешностей для исследуемых схем ослабителей

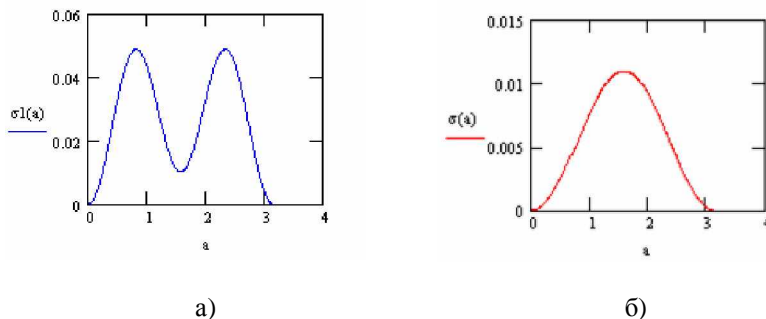


Рисунок – Зависимость систематической ошибки от угла поворота (а – для системы из трех поляризаторов, б – для системы с ЖК-ячейкой)

This paper presents the results of numerical study of characteristics of polarization attenuators.

Николаевский Александр Романович, студент 4 курса приборостроительного факультета Белорусского национального технического университета, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Развин Юрий Владимирович*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Экспериментальная и теоретическая физика», старший научный сотрудник, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, razvin@tut.by.

УДК 621.315.592

С.А. Павлюковец

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА FeIn_2S_4

Исследованы диэлектрическая FeIn_2S_4 проницаемость ϵ и тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$ при частотах $10^3 - 10^6$ Гц и температурах 78-400 К на монокристаллах FeIn_2S_4 .

Многокомпонентные соединения типа $\text{A}^{\text{II}}\text{B}_2^{\text{III}}\text{X}_4^{\text{VI}}$ (где А – Fe, Mn, Ni, Co; В – Ga, In; X – S, Se, Te) играют роль основного источника расширения функциональных возможностей современной

полупроводниковой электроники [1,2]. Однако, проблемы выращивания монокристаллов этих веществ, необходимость комплексных исследований их физических свойств пока остаются нерешенными для большинства новых многокомпонентных веществ.

В данной работе представлены результаты исследований диэлектрической проницаемости ϵ и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg } \delta$ в интервале частот $10^3 - 10^6$ Гц и температурах 78-400 К монокристаллов соединения FeIn_2S_4 .

Монокристаллы FeIn_2S_4 выращивались методом направленной кристаллизации близкого к стехиометрии этого соединения расплава.

Методами ДТА, РФА и микроструктурного анализа определен атомный состав, структура и записаны дифрактограммы на дифрактометре ДРОН-3М в $\text{CuK}\alpha$ – излучении с графитовым монохроматором [3,4].

Для измерений температурных зависимостей диэлектрической проницаемости были изготовлены конденсаторы, диэлектриком в которых служили пластинки исследуемых монокристаллов FeIn_2S_4 . Образцы представляли собой прямоугольные пластинки толщиной 0,5 мм и площадью 10 мм² на которые наносились электроды из серебряной пасты.

Диэлектрические свойства монокристаллов FeIn_2S_4 исследовались на автоматизированной установке, созданной на базе измерителей иммитанса E7-12 и E7-14.

По полученным данным видно, что значения диэлектрической проницаемости FeIn_2S_4 с увеличением температуры возрастают. При низких температурах величина диэлектрической проницаемости $\epsilon \approx 40$.

На температурных зависимостях тангенса угла диэлектрических потерь для монокристалла FeIn_2S_4 видны характерные максимумы, соответствующие областям резкого повышения значений диэлектрической проницаемости. Максимумы $\text{tg } \delta$ наблюдаются при температурах – 125, 150, 190 К на частотах $10^4, 10^5, 10^6$ Гц, соответственно. Максимумы температурных зависимостей $\text{tg } \delta$ возможно обусловлены изменением величины проводимости монокристалла FeIn_2S_4 .

Список литературы

1. B.Ch. Bairamov, V.Yu. Rud, Yu.V. Rud. MRS Bull., 23, 91 (1998).
2. H.D. Lutz, M. Feher. Spectrochimica Acta. 27A, 357 (1971).

3. Bodnar, I.V. Growth and properties of FeIn_2S_4 single crystals / I.V. Bodnar, S.A. Pavliukovets, I.A. Victorov, K.V. Charnyakova, Yu.A. Fedotova // Physics, chemistry and application of nanostructures (Nanomeeting 2009), Minsk, Belarus, 26 – 29 May 2009. – P. 295 – 298.
4. Боднар, И.В. Выращивание монокристаллов FeIn_2S_4 и создание фоточувствительных структур на их основе / И.В. Боднар, С.А. Павлюковец, В.Ю. Рудь // ФТП 2009. – Т 43. – № 11. – С 1553 – 1556.

The dielectric constant and loss-angle tangent at different frequencies and temperatures for single crystals FeIn_2S_4 have been explained.

Павлюковец Сергей Анатольевич, аспирант Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, serge_artstyle@mail.ru.

Научный руководитель – *Боднар Иван Васильевич*, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедры химии Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, chemzav@bsuir.by.

УДК 533.9; 621.793.6

М.П. Патапович, П.Н. Белый

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСЛОЙНОГО СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Разработана методика послойного количественного анализа растительных объектов (кора лиственницы), позволяющая определять концентрацию элементов (Са) при возбуждении спектров сдвоенными лазерными импульсами.

Одним из наиболее перспективных направлений развития лазерной спектроскопии является использование в качестве источника возбуждения спектров сдвоенных лазерных импульсов. При использовании двухимпульсного лазера для анализа растительных образцов процессы пробоподготовки и анализа объединены в едином цикле. Поглощение сфокусированного излучения образцом дозированной энергии первого импульса сопровождается локальным нагревом поверхности до температуры деструкции и частичного разрушения органической основы. При приходе с задержкой второго

импульса из серии происходит продвижение фронта деструкции в глубь образца со скоростью, зависящей от плотности облучения и потерь энергии, а также расширения зоны поражения за счет релаксационных процессов внутри образца и поглощения излучения газообразными продуктами деструкции в канале пробоя и возбуждение газообразных продуктов.

Для проведения исследований использовался лазерный атомно-эмиссионный многоканальный спектрометр LSS-1. В состав спектрометра, в качестве источника возбуждения плазмы, входит двухимпульсный неодимовый лазер с регулируемой энергией (от 10 до 100 мДж) и интервалом между импульсами (от 0 до 100 мкс).

В качестве объектов исследования для разработки методов экспресс-анализа послойного содержания элементов использованы образцы коры лиственницы, взятые из ботанического сада города Минска. Образцы коры для анализа отбирали в летний период с нижней части крон деревьев. Так как кора растет несколько лет, то это должно приводить к послойному накоплению различных концентраций отдельных элементов в разных частях коры. Изучая данные концентрации элементов можно говорить о наиболее благоприятных периодах накопления растением химического элемента. Влияние на количественное содержание также оказывают внешние воздействия (осадки, пыль).

В качестве примера на рисунке приведены график зависимости интенсивности спектральной линии Ca (393,239 нм) для пятидесяти последовательных слоев для образцов коры двух деревьев при энергии импульсов лазерного излучения 45 мДж и временном интервале между ними 10 мкс.

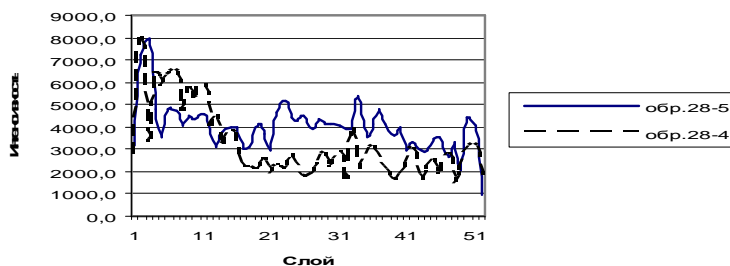


Рисунок – График послойной зависимости интенсивности линии кальция в образцах.

Из приведенных данных можно также полуколичественно определить содержание кальция в коре лиственницы, которое составляет примерно 1 %.

Использование данной методики позволяет изучать послойное распределение кальция в растительных объектах и определять режимы питания в течение определенного промежутка времени.

A method to perform a layer-by-layer analysis of plant objects (rind of larch) has been developed enabling estimation of the concentration for some elements (e.g., Ca) on spectral excitation by double laser pulses.

Патапович Мария Петровна, аспирантка физического факультета кафедры лазерной физики и спектроскопии Белорусского государственного университета, Минск, *Masha_P@tut.by*.

Бельй Павел Николаевич, аспирант ГНУ «Центральный ботанический сад национальной академии наук Беларуси», Минск, *pavel.bely@tut.by*.

Научные руководители – *Зажогин Анатолий Павлович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, *zajogin_an@mail.ru*.

Сидорович Евгений Антонович, доктор биологических наук, заведующий лабораторией экологической физиологии растений, профессор.

УДК 621.539

П.С. Песецкий

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ И ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛЕНОК ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ

Исследовано влияние параметров процесса напыления из ионно-пучкового фокуса на микроструктуру и оптические параметры.

Для формирования покрытий использовался метод ионно-лучевого распыления в режиме ионно-пучкового фокуса.[1] Формирование покрытий с использованием предлагаемого метода не требует применения мишеней. Формирование пленок кремния осуществляли осаждением из ионных пучков смеси 5% SiH₄+95%Ar. В качестве подложки использовались кремний КДБ-10 и оптическое стекло К8.

Исследование морфологии полученных покрытий осуществлялось методом атомно-силовой микроскопии (см. рис.1).

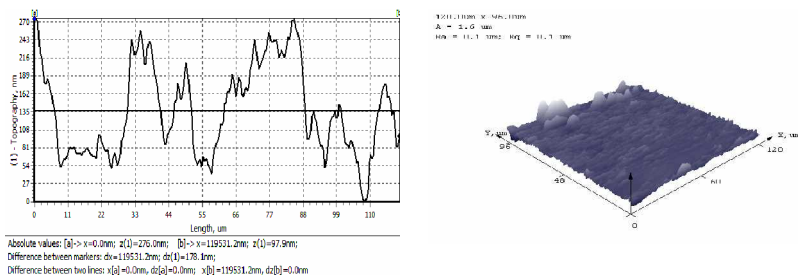
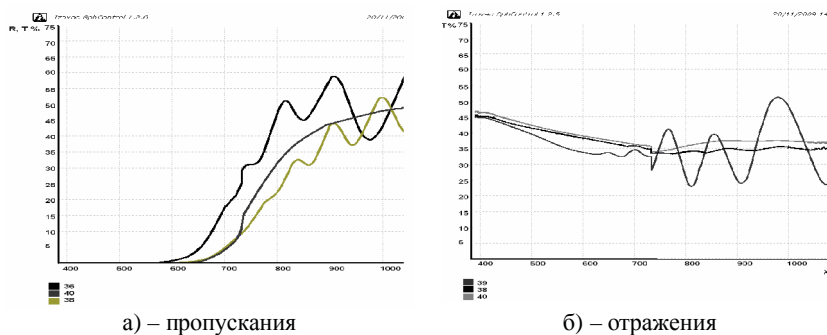


Рисунок 1 – Результаты атомно-силовой микроскопии пленок кремния, полученных на стекле при $T = 550^{\circ}\text{C}$

Были также проведены исследования оптических характеристик полученных покрытий. Результаты измерений приведены на рисунке 2. Коэффициент абсорбции (поглощения) вычислялся из измерений пропускания и отражения согласно закону Биера и показан на рисунке 3.



а) – пропускания

б) – отражения

Рисунок 2 – Спектральные зависимости пропускания для покрытий из кремния

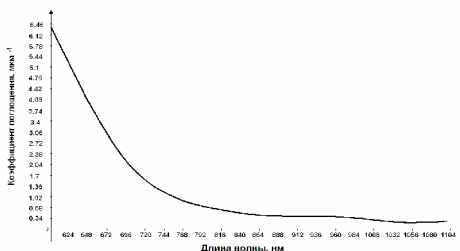


Рисунок 3 – Спектральная зависимость коэффициента поглощения для покрытия из кремния

Список литературы

1. Телеш, Е.В. Новый метод получения поликристаллических пленок кремния / Е.В. Телеш, О.В. Гуревич, Г.М. Шахлевич, П.С. Песецкий. – Материалы XIV Международной НТК «Современные средства связи». 29 сентября-1 октября. – Минск. – 2009. – С. 124.

In this work are defined parameters of the process of synthesis of polysilicon films, formed by the method of ion beam focusing, and discovered the influence of process parameters on the morphology and optical parameters.

Песецкий Павел Сергеевич, студент 3 курса Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, PavelPesetsky@tut.by.

Научный руководитель – *Телеш Евгений Владимирович*, старший преподаватель кафедры электронной техники и технологии, факультет компьютерного проектирования, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, etelelesh@mail.ru.

УДК 621. 7: 621.217

В.В. Потребя

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОРАЗМЕРНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

В работе представлены результаты испытания композиционных материалов на базе полиамида 11, модифицированного нанокomпонентами различного состава и строения: шунгитом, фторированной сажей,

нанодисперсным политетрафторэтиленом, кремнием. Установлена оптимальная концентрация модификаторов в объёме полимерной матрицы.

Одним из наиболее эффективных направлений современного материаловедения является создание композиционных материалов нового поколения на различных матрицах путем управления структурой на нано- и микроуровнях с помощью различных технологических воздействий. Применение нанотехнологий в создании новых композиционных материалов, позволило получить материалы с улучшенными физико-механическими характеристиками и защитными свойствами.

В настоящее время наряду с традиционными способами защиты рабочих поверхностей находят все большее применение способы нанесения на рабочие поверхности полимерных покрытий [1]. Триботехнические покрытия обладают уникальным сочетанием характеристик: низким коэффициентом трения, высокой химической стойкостью и износостойкостью. Как правило, такие покрытия формируют из расплавов компонентов, потому реологические характеристики композиций играют важное значение при разработке технологии их нанесения.

Исходя из вышесказанного, цель данной работы состояла в изучении реологических характеристик, в частности, показателя текучести расплава (ПТР) полиамида 11 и композиционных материалов, сформированных на его основе.

Исследования показателя текучести расплава композиций различного состава, модифицированных малыми добавками высокодисперсных наполнителей, свидетельствуют о наличии аномальных процессов, связанных с взаимодействием наполнителя и полимерного связывающего, которое проявляется в появлении экстремума на зависимости $\text{ПТР} = f(c)$ в области низких концентраций 0,005-0,1 мас% [2,3]. Исследования показали, что при добавлении к ПА 11 наноразмерных модификаторов изменяется межмолекулярное взаимодействие, которое обуславливает изменение вязкостных характеристик.

Увеличение концентрации модификатора от 0,5 до 2 % в объёме полимерной матрицы приводит к монотонному увеличению показателя ПТР. Увеличение вязкости полимера при содержании модификатора до 0,5% можно объяснить тем, что образуются дополнительные лабильные физические связи между нанофазными частицами и макромолекулами полиамида 11, которые обусловлены наличием нескомпенсированного собственного заряда у частиц модификаторов.

Список литературы

1. Нелсон, У.Е. Технология пластмасс на основе полиамидов / У.Е. Нелсон, пер. с англ.: под ред. А.Я. Малкина. – М.: Химия, 1979. – 256 с., ил. Лондон, Бостон, 1976. – С.55
2. Тагер, А.А. Физикохимия полимеров / А.А. Тагер. – М., 1968. – С. 182-205.
3. Нанокomпозиционные машиностроительные материалы: опыт разработки и применения: монография / С.В. Авдейчик [и др.]; под ред. В.А. Струка. – Гродно: ГрГУ, 2006. – 403 с. – С.11 – 13, 94 – 97.

In work results of test of composite materials on the basis of the polyamide 11 modified nanocomponents of various structure and a structure are presented: the fluorinated soot, nanodispersion "forum", silicon. Optimum concentration of modifiers in volume of a polymeric matrix is established.

Потреба Владимир Владимирович, студент 4 курса, инженерно-технологического факультета, Гродненского государственного аграрного университета, Гродно, Беларусь, vla-potreba@yandex.ru.

Научный руководитель – *Струк Василий Александрович*, доктор технических наук, профессор, кафедра технической механики и материаловедения, Гродненский государственный аграрный университет, Гродно, Беларусь.

УДК 621. 7: 621.217

В.В. Потреба

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ СТЕКЛА

В работе представлены результаты исследований реологических характеристик композиционных материалов на базе полипропилена, модифицированного дисперсными частицами стекла. Установлен немонотонный характер зависимости показателя текучести расплава от концентрации модификатора в объеме полимерной матрицы.

Полипропилен является одним из самых широко применяемых полимерных материалов в автомобилестроении, машиностроении, электротехнике, электронике, медицине и в других отраслях промышленности. Это обусловлено тем, что ПП обладает достаточно

высокой температурой эксплуатации – до 130°C, ударпрочностью, устойчивостью к коррозии [1,2]. Полипропилен обладает высокими физико-механическими, триботехническими и другими служебными характеристиками, отличается хорошей износо- и химической стойкостью.

Для повышения показателей служебных характеристик полипропилен, как и большинство полимеров, модифицируют различными видами материалов, отличающимися химическим составом, агрегатным состоянием, дисперсностью и т.п.: силикатами, оксидами, углеродными волокнами. Согласно литературных источников модифицирование полиолефинов (ПЭНД, ПП, СЭВА, ПЭВД) низкоразмерными углеродсодержащими частицами УДАГ приводит к повышению показателей физико-механических характеристик при содержании модификатора в пределах 0,005-0,5 масс.%. Увеличиваются значения прочности при одноосном растяжении и твердости по Бринеллю [3].

Вместе с тем, наполнители и модификаторы, вводимые в состав полиолефинов, могут существенно изменить вязкость расплава, что сказывается на технологичности процесса изготовления изделий.

Целью данной работы является исследование вязкостных характеристик полипропилена, модифицированного дисперсными частицами стекла при различных условиях переработки, определение оптимальной концентрации модификатора в объёме полимерной матрицы.

Показатели вязкости ПП и материалов на его основе оценивали на экструзионном пластомере марки ИИРТ 119 при температур 503К. В качестве модификатора использовали частицы стекла, образующееся при механическом дроблении полуфабриката. Размер единичных частиц частиц не превышал 1 мкм. Композиции получали механическим перемешиванием гранул полипропилена и стеклянного порошка.

При допинговом содержании модификатора (0,5 масс.%) вязкость увеличивается с 9,5 до 8,5 г/10 с. При дальнейшем увеличении содержания вязкость изменяется немонотонно. Полученные данные позволяют оптимизировать технологические режимы переработки композитов на основе полипропилена.

Исследования показали, что введение дисперсных частиц стекла в полимерную матрицу приводит к немонотонному изменению вязкости расплава композита.

Список литературы

1. Нелсон, У.Е. Технология пластмасс на основе полиамидов / У.Е. Нелсон, пер. с англ.: под ред. А.Я. Малкина. – М.: Химия, 1979. – 256 с., ил. Лондон, Бостон, 1976. – С.55
2. Тагер, А.А. Физикохимия полимеров / А.А. Тагер. – М., 1968. – С. 182-205.
3. Нанокпозиционные машиностроительные материалы: опыт разработки и применения: монография / С.В. Авдейчик [и др.]; под ред. В.А. Струка. – Гродно: ГрГУ, 2006. – 403 с. – С.11 – 13, 94 – 97.

In work results of researches rheological characteristics of composite materials on the basis of the polypropylene modified by disperse particles of glass are presented. Nonmonotonic character of dependence of an indicator of fluidity melt from concentration of the modifier in volume of a polymeric matrix is established.

Потреба Владимир Владимирович, студент 4 курса, инженерно-технологического факультета, Гродненского государственного аграрного университета, Гродно, Беларусь, vla-potreba@yandex.ru.

Научный руководитель – *Струк Василий Александрович*, доктор технических наук, профессор, кафедра технической механики и материаловедения, Гродненский государственный аграрный университет, Гродно, Беларусь.

УДК 534.286-8

В.В. Прокопенко, С.А. Стеценко, А.В. Хорольский

О МЕХАНИЗМЕ ВЯЗКОГО ТЕЧЕНИЯ ФТОРПРОИЗВОДНЫХ ФЕНИЛМЕТИЛСУЛЬФОНА

Исследована температурная зависимость коэффициента сдвиговой вязкости фторпроизводных фенилметилсульфона. Рассчитаны энтальпия активации и время релаксации вязкого течения.

Вязкость является одним из характерных свойств жидкостей, которая определяется спецификой жидкого состояния и в значительной

мере зависит от структуры жидкости [1,2]. Исследование вязкости по линии насыщения заключается в определении температурной зависимости коэффициента вязкости. Степень деформации молекулярной структуры определяет значение коэффициента сдвиговой вязкости (η_s).

Нами проведены измерения плотности и кинематической вязкости во фторпроизводных фенилметилсульфона $C_6H_5SO_2CHF_2$ и $C_6H_5SO_2CHF_3$ вдоль линии насыщения в интервале температур 293–363 К. Плотность (ρ) измерялась пикнометрическим методом с точностью 0,05%. Кинематическая вязкость (ν) измерялась с помощью вискозиметров типа ВПЖ с точностью 1,5%.

Для интерпретации температурной зависимости коэффициента сдвиговой вязкости ($\eta_s = \rho\nu$), как правило, используют теорию Френкеля-Эйринга [3,4]:

$$\eta_s = \frac{hN_A}{V_\mu} \exp\left(\frac{\Delta G_{\eta_e}^\ddagger}{RT}\right) = \frac{hN_A}{V_\mu} \exp\left(-\frac{\Delta S_{\eta_e}^\ddagger}{R}\right) \exp\left(\frac{\Delta H_{\eta}^\ddagger}{RT}\right), \quad (1)$$

где h – постоянная Планка, N_A – число Авогадро, V_μ – мольный объем, $\Delta G_{\eta_e}^\ddagger$, $\Delta S_{\eta_e}^\ddagger$, ΔH_{η}^\ddagger – свободная энтальпия, энтропия и энтальпия активации вязкого течения. Величины $\Delta G_{\eta_e}^\ddagger$ и $\Delta S_{\eta_e}^\ddagger$, рассчитанные на основании уравнения (1), носят в литературе название эмпирических (мнимых).

С помощью теории Френкеля-Эйринга рассчитаны энтальпия активации вязкого течения как тангенс угла наклона зависимости $\ln(\eta_s/\rho)$ от обратной температуры T^{-1} . При этом ΔH_{η}^\ddagger не должна зависеть от температуры.

Таблица

| T, K | $\rho, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ | $\eta_s \cdot 10^3, \text{Па} \cdot \text{с}$ | $\frac{\Delta H_{\eta}^{\ddagger}, \text{кДж}}{\text{моль}}$ | $\tau_{\eta} \cdot 10^{11}, \text{с}$ | $\rho, \text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ | $\eta_s \cdot 10^3, \text{Па} \cdot \text{с}$ | $\frac{\Delta H_{\eta}^{\ddagger}, \text{кДж}}{\text{моль}}$ | $\tau_{\eta} \cdot 10^{11}, \text{с}$ |
|--------|---------------------------------------|---|--|---------------------------------------|---------------------------------------|---|--|---------------------------------------|
| | $C_6H_5SO_2CHF_2$ | | | | $C_6H_5SO_2CF_3$ | | | |
| 293 | 1397,7 | 1,56 | 15,31 | 8,82 | 1415,6 | 3,84 | 17,69 | 23,40 |
| 303 | 1386,8 | 1,05 | 14,84 | 5,75 | 1402,6 | 3,01 | 17,70 | 17,82 |
| 313 | 1375,8 | 0,73 | 14,40 | 3,89 | 1389,6 | 2,40 | 17,72 | 13,91 |
| 323 | 1364,9 | 0,52 | 14,15 | 2,89 | 1376,7 | 2,02 | 17,85 | 11,50 |
| 333 | 1353,9 | 0,39 | 13,66 | 2,01 | 1363,7 | 1,60 | 17,78 | 8,90 |
| 343 | 1342,9 | 0,31 | 13,45 | 1,57 | 1350,7 | 1,36 | 17,88 | 7,42 |
| 353 | 1331,3 | 0,23 | 13,02 | 1,15 | 1337,8 | 1,16 | 17,44 | 5,19 |
| 363 | 1320,0 | 0,16 | 12,23 | 0,76 | 1324,1 | | | |

Как видно с таблицы, значения энтальпии активации вязкого течения и времени релаксации увеличиваются с заменой атома водорода атомом фтора. С ростом температуры наблюдается уменьшение времени релаксации вязкого течения исследованных жидкостей.

Список литературы

1. Бонди, А. Теория вязкости / А. Бонди // Реология / под ред. Ф. Эйриха / – М.: И.Л. 1962. – С. 332–376.
2. Рид, Р. Свойства газов и жидкостей / Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд. – Л.: Химия, 1982 – 592с.
3. Френкель, Я.И. Кинетическая теория жидкостей / Я.И. Френкель – Л.: Наука, 1975. – 375 с.
4. Глестон, С. Теория абсолютных скоростей реакций / С. Глестон, К. Лейдер, Г. Эйринг. – М.: И.Л., 1948. – 581 с.

Temperature dependence of the shear viscosity coefficient of fluorine-substituted phenylmethylsulfone was explored. Activation enthalpy and relaxation time of viscous flow were calculated.

Прокопенко Виталий Владимирович, аспирант Полтавского государственного педагогического университета имени В.Г. Короленко, Полтава, Украина, prokw@mail.ru.

Стеценко Сергей Анатольевич, студент Полтавского государственного педагогического университета имени В.Г. Короленко, Полтава, Украина.

Хорольский Алексей Викторович, студент Полтавского государственного педагогического университета имени В.Г. Короленко, Полтава, Украина.

Научный руководитель – *Руденко Александр Пантелеймонович*, доктор физико-математических наук, профессор, академик АНВШ Украины, Полтавский государственный педагогический университет имени В.Г. Короленко, Полтава, Украина, fizika_rudenko@meta.ua, allmail@pdpu.poltava.ua.

УДК 535.35; 533.9.082.5

С. Рахмани, А.Р. Фадаиян

РОЛЬ ПЕРВОГО ИМПУЛЬСА В ПРОЦЕССАХ АБЛЯЦИИ МЕТАЛЛОВ СДВОЕННЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

Экспериментально изучено влияние временной задержки между сдвоенными лазерными импульсами ($\lambda = 1,06$ мкм, $q \approx 10^{10}$ Вт/см²) в интервале 0-15 мкс на процессы формирования отверстий в алюминии в атмосфере воздуха.

Роль образующейся лазерной плазмы при импульсной лазерной абляции металлов является определяющей с точки зрения достижения эффективности их обработки. Несмотря на обилие результатов, есть еще и не достаточно освещенные вопросы. Одним из них является вопрос: как влияет время задержки между сдвоенными лазерными импульсами на эффективность формирования отверстий в твердом теле.

При проведении экспериментов использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1. Лазер может работать с частотой повторения импульсов до 10 Гц на длине волны 1064 нм. Длительность импульсов ≈ 15 нс. Временной сдвиг между сдвоенными импульсами может изменяться от 0 до 100 мкс с шагом 1 мкс. Лазерное излучение фокусировалось на образец с помощью ахроматического конденсора с фокусным расстоянием 100 мм. Размер пятна фокусировки примерно 50 мкм.

Динамика развития формирования формы отверстий исследовалась с помощью микроинтерферометра Линника МИИ-4 при воздействии сдвоенных лазерных импульсов ($\lambda = 1,06$ мкм) на образцы чистого алюминия толщиной 60 мкм в воздухе от временной задержки между импульсами в интервале 0-15 мкс и изменения энергии импульсов от 10 до 60 мДж (изменение энергии накачки 10-16 Дж).

Исследована динамика формирования глубины отверстия (Н1), величины выдавливания металла с тыльной стороны образца (Н2) и толщина оставшейся части (Н) при воздействии 2 сдвоенных лазерных импульсов на точку. В качестве примера влияния давления образующейся абляционной плазмы на формирование отверстий на рисунке приведены результаты величины выдавливания металла Н2 с тыльной стороны образца.

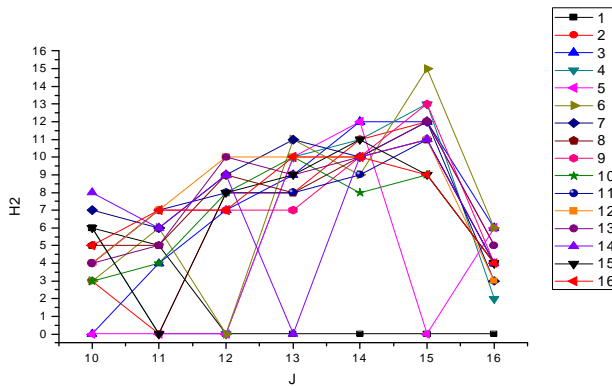


Рисунок – Величина выдавленной части металла Н2 (в мкм) с тыльной стороны образца от энергии накачки для разных временных интервалов между импульсами (1 в правой таблице соответствует 0 мкс и далее через 1 мкс).

Проведенный анализ на основе полученных экспериментальных результатов и теоретического рассмотрения с привлечением особенностей формирования абляционного факела с поверхности образца в атмосфере воздуха показал, что давление вещества, поступающего в газовую фазу, зависит как от скорости следования импульсов (временного интервала между сдвоенными импульсами), так и от энергии импульса. При этом с увеличением энергии накачки величина Н2 пропорциональна давлению в ударной волне сначала увеличивается, а затем после 15 Дж резко уменьшается. При нулевом интервале между импульсами (энергия импульсов равна сумме), образующаяся плазма при энергии накачки выше 12 Дж как и при более 15 Дж при ненулевых интервалах начинает эффективно экранировать поступление энергии излучения на поверхность и давление паров резко уменьшается ($H_2 \approx 0 \div 2$ мкм).

The effect of delay between double laser pulses ($\lambda = 1,06 \text{ }\mu\text{m}$, $q \approx 10^{10} \text{ W/cm}^2$), ranging from 1 to 15 μs , on the processes of hole formation in aluminum in the air has been studied experimentally.

Рахмани Сенехр, студент 5 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Фадаиян Ахмад Реза, аспирант кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, PCWCO@Rambler.ru.

Научный руководитель – *Зажогин Анатолий Павлович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, zajogin_an@mail.ru.

УДК 539.3

А.С. Резниченко

ДОПОЛНЕНИЯ К ТЕОРЕМЕ БЕРТО

Рассмотрено применение теоремы Берто для анализа положения и профиля рентгеновских рефлексов.

При рентгенографических исследованиях поликристаллов рентгеновский луч проходит различные пути в частице вещества, то есть начинают играть роль размерные факторы, отраженные в формуле Шеррера. Следовательно, начинает изменяться профиль рентгеновского рефлекса, что отражается теоремой Берто. Но реальные кристаллы – это дефектные объекты, которые могут изменять как профиль, так и положение дифракционных максимумов.

Размер кристаллов в поликристалле (L) влияет на дифракционную картину, вызывая уширение рентгеновских рефлексов, которая измеряется для каждого угла дифракции ($\Delta 2\nu$).

$$(\Delta 2\nu) = \frac{\lambda}{L \cos \vartheta},$$

где λ – длина волны рентгеновского излучения.

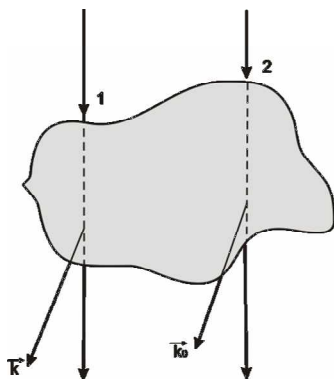


Рисунок – Иллюстрация к теореме Берто

Как видно из рисунка для луча с направлением k_0 претерпевших дифракцию в направлении вектора k играют роль участки, через который прошли составляющие дифракционного луча. Луч 1 «почувствует» размер кристалла в меньшей степени чем луч 2: отличие этого обстоятельства в дифракции рентгеновского излучения описывает теорема Берто: «Профиль рефлекса hkl , полученный от поликристалла, такой же, как и профиль рефлекса на дифракционной картине от

совокупности параллельных и некогерентных отрезков прямых, длины которых распределены как линейные сечения зерен, причем эти сечения направлены перпендикулярно плоскости (hkl) .» При этом наблюдается изменение профиля и интенсивности рефлекса, но ничего не говорится о смещении максимума.

Аналогичный эффект может быть вызван нагреванием вещества, что учитывается фактором (множителем) Дебая-Валлера.

Если в кристалле имеются дефекты (любого типа), которые вызывают локальные искажения в решетке, то значения параметров ячейки $(a, b, c, \alpha, \beta, \gamma)$ не являются постоянными для всего кристалла, но описываются статистическим распределением $P(a, b, c, \alpha, \beta, \gamma)$, которое определить в общем случае очень сложно. Однако для некоторых случаев это сделать можно. В частности, если анализируется кубический кристалл, то можно говорить о определении параметра a . Для сложных структур вводится функция распределение атомных сеток. Например, для слоистых силленитов – это $P(d_{001})$, если анализируется базальная серия рефлексов.

В формулу интенсивности рентгеновского рефлекса вводятся указанное распределение. В этом случае анализируется не только изменение профилей рефлексов, но и наблюдаются отличия $d(hkl)$ от идеальных значений, то есть узлы обратной решетки смещаются от своих идеальных положений на величину, превышающую ошибку эксперимента.

Список литературы

1. Кривоглаз, М.А. Теория рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов реальными кристаллами / М.А. Кривоглаз. – М.: Наука, 1967. – 336 с.
2. Лиопо, В.А. Рентгеновская дифрактометрия: учебное пособие / В.А. Лиопо, В.В. Война. – ГрГУ, 2003. – 171 с.
3. Гинье, А. Рентгенография кристаллов / А. Гринье. – М.: Гос. изд. ф.-м. лит. 1961. – 604 с.

It was prepared the method of analyses of the localizations and profiles of x-ray diffraction maximal. The method are passed on Bertot's theorem and Seherer' formula.

Резниченко Алла Семеновна, магистрант 1-го года обучения физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Лиопо Валерий Александрович*, доктор физико-математических наук, профессор, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, liopo@grsu.by.

УДК 533.016

Е.С. Савицкая

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССОВ СОЛЮБИЛИЗАЦИИ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА CdSe/ZnS НАНОЧАСТИЦ

В работе измерены спектры поглощения и испускания анионных CdSe/ZnS наночастиц, а также построены зависимости оптической плотности и интенсивности флуоресценции анионных наночастиц CdSe/ZnS от их размеров.

Одной из развивающихся областей применения полупроводниковых квантовых точек CdSe/ZnS является использование их в качестве флуоресцентных меток и сенсоров, способным конкурировать с традиционными органическими красителями.

Целью работы являлось изучение влияния процесса солюбилизации на спектры оптической плотности и флуоресценции CdSe/ZnS наночастиц разных размеров. Объектом исследования

являлись полупроводниковые наночастицы типа ядро/оболочка CdSe/ZnS с размерами излучающего CdSe ядра от 4,0 до 2,1 нм.

В работе измерены спектры поглощения и испускания анионных CdSe/ZnS наночастиц, а также построены зависимости оптической плотности и интенсивности флуоресценции наночастиц CdSe/ZnS от их размеров. Край спектра поглощения частиц и положение максимума спектра флуоресценции при уменьшении их размеров смещается в коротковолновую сторону. С увеличением размера наночастиц среднее время затухания флуоресценции увеличивается.

На рисунке приведен график зависимости среднего времени затухания τ флуоресценции от положения максимума флуоресценции наночастиц CdSe/ZnS разного размера. Как видно из рисунка 1, чем больше длина волны и, соответственно, размер наночастиц, тем больше время затухания флуоресценции.

Зависимость среднего времени затухания флуоресценции от размеров наночастиц показывает, что основной вклад в затухание флуоресценции вносят межзонные переходы.

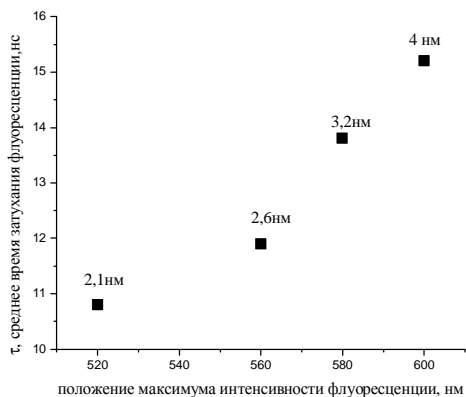


Рисунок – График зависимости среднего времени затухания τ флуоресценции от положения максимума флуоресценции анионных наночастиц CdSe/ZnS.

Spectra of absorption and emission of anionic CdSe/ZnS nanoparticles are presented. The dependence of CdSe nanoparticles optical absorption edge and fluorescence band intensity on size of emissive CdSe core are presented.

Савицкая Екатерина Светославовна, студентка 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, savka6@yandex.ru.

Научный руководитель – *Стрекаль Наталья Дмитриевна*, кандидат физико-математических наук, доцент, докторант, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, nat@grsu.by.

УДК 535.333

Г.Г. Сазонко

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ НОВЫХ ОКСИ-КУМАРИНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ

В работе представлены результаты исследований спектрально-люминесцентных характеристик новых окси-кумариновых красителей.

В настоящее время использование в качестве активных сред перестраиваемых лазеров на красителях производных кумарина представляет большой интерес. Это обусловлено тем, что соединения данного класса при мощной ламповой накачке обладают наилучшими энергетическими характеристиками и фотостойкостью [1-2] в синезеленой области спектра. Наличие ярко выраженной поляризации молекулярной структуры, позволяет расширить диапазон перестройки спектра генерации данных красителей, используя эффекты сольватации [3].

Исследование спектрально-люминесцентных характеристик растворов девяти новых кумариновых красителей проводилось на наносекундном импульсном спектрофлуориметре. Все новые соединения представляют собой окси-форму кумарина и отличаются природой заместителей в 3-м, 6-м и 7-м положениях кумаринового кольца. В качестве эталонного соединения использовался один из самых эффективных лазерных красителей – кумарин 334.

При исследовании спектрально-люминесцентных характеристик было установлено, что максимальным квантовым выходом люминесценции обладает соединение 509, а из тиазолил-кумаринов – соединения 505 и 506, причем диэтиламиногруппа в 7-м положении у кумарина 505 обладает несколько лучшими донорными возможностями,

чем замена этила на оксигруппу у соединения 506. Если сравнивать соединения 501 и 502 (при одинаковых заместителях в 7-м положении), то видно, что увеличение количества присоединенных к тиазолу фенильных колец не уменьшило, а увеличило квантовый выход люминесценции. У кумаринов 504 и 505 мы наблюдаем обратную картину. Увеличение присоединенных к тиазолу в 3-м положении фенильных групп (соединение 504) уменьшило квантовый выход люминесценции почти в два раза.

Из этого можно сделать вывод о том, что наличие гексил-группы в 6-м положении у соединений 501 и 502 перераспределяет электронную плотность таким образом, что блокирует возможность вращения фенильных колец у соединения 502, а наличие, в свою очередь, у него дополнительного фенильного кольца увеличивает акцепторные возможности всей присоединенной в 3-м положении кумаринового кольца группировки. В результате увеличивается подвижность π -электронов по всей цепи сопряженных связей, что приводит к увеличению квантового выхода люминесценции.

Если рассматривать соединения 507, 508 и 509, отличающиеся природой заместителя только в 3-м положении кумаринового кольца, то видно, что крайне благоприятное влияние на увеличение квантового выхода люминесценции оказало присоединение у кумарина 509 оксадиазолил-группировки. Видно, что этот кумарин обладает самым высоким из всех исследованных соединений квантовым выходом люминесценции, который близок к таковому для эталонного кумарина, являющегося самым эффективным из всех существующих на настоящий момент кумариновых красителей.

Список литературы

1. Батище, С.А. Исследование генерационных характеристик новых кумариновых красителей при ламповой накачке / С.А. Батище, В.А. Мостовников, В.М. Никитченко, В.В. Тарковский // Весці АНБ. Сер. фіз.-мат. – 1996. – № 1. – С.83-87.
2. Ануфрик, С.С. Спектроскопические и генерационные свойства новых бихромофоров. / С.С. Ануфрик, М.М. Асимов, В.В. Тарковский // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21, № 8. – С. 700-706.
3. Маслов, В.В. Влияние растворителя на спектральные и генерационные характеристики лазерных иминокумариновых красителей / В.В. Маслов, М.И. Дзюбенко, В.М. Никитченко // Квант. Электроника. – 1989. – Т. 15. – № 14. – С. 705.

Сазонко Геннадий Геннадьевич, аспирант кафедры лазерной физики и спектроскопии физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, fellini@tut.by.

Научный руководитель – *Ануфрик Славмир Степанович*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой лазерной физики и спектроскопии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, anufrick@grsu.by.

УДК 535.37+621.373

В.В. Сапешко

ДИНАМИКА ЭЛЕКТРОННЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В ПЛАЗМОННЫХ НАНОКОМПОЗИТАХ Ag/SiO

Рассмотрены и проанализированы нестационарные спектры поглощения слоистых плазмонных наноконпозитов на основе Ag/SiO при возбуждении фемтосекундными импульсами.

Изучение динамики электронных возбуждений в наноструктурированных объектах на основе наночастиц благородных металлов важно для решения практических задач, связанных с созданием быстродействующих полностью оптических модулирующих устройств.

Существенное влияние на процессы релаксации энергии плазмонного возбуждения таких наноструктур может оказывать топология, в том числе плотность упаковки и слоисто-периодическое строение образцов, когда имеет место как электронное, так и фотонное ограничение, а также проявляются коллективные эффекты, обусловленные плотностью упаковки.

В работе исследовалось проявление релаксации возбужденных носителей заряда в динамике нестационарных спектров наведенного поглощения слоистых плазмонных наноконпозитов Ag/SiO при возбуждении их в полосе плазмонного поглощения. Наноконпозиты изготавливались термическим испарением в вакууме на установке ВУ-1А и представляли собой чередующиеся плотноупакованные монослои наночастиц Ag, разделенные слоями SiO субволновой толщины.

Эксперименты проводились с использованием фемтосекундного спектрометра [1], в основе которого лежит оригинальный генератор

фемтосекундных импульсов на Ti: Sp [2], синхронно накачиваемый импульсным лазером на Nd: YAG с пассивной синхронизацией мод и отрицательной обратной связью.

Обнаружена сверхбыстрая трансформация полосы плазмонного поглощения исследованных образцов с характеристическими временами релаксации наводимых изменений порядка 1 – 2 пс. В докладе обсуждаются спектрально-кинетические особенности нестационарного поглощения синтезированных нанокompозитов в зависимости от их топологии и условий возбуждения.

Список литературы

1. Блохин А.П., Гелин М.Ф., Буганов О.В., Дубовский В.А., Тихомиров С.А., Толсторожев Г.Б. ЖПС 70 (2003)
2. Борисевич Н.А., Буганов О.В., Тихомиров С.А., Толсторожев Г.Б., Шкред Г.Л. Квантовая электроника 28, 225 (1999).

Transient absorption spectra of layered Ag/SiO plasmonic nanocomposites at femosecond laser pulses excitation have been obtained and analyzed.

Сапешко Владимир Владимирович, студент физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, usapeshka@gmail.com.

Научный руководитель – *Тихомиров Сергей Александрович*, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории физики инфракрасных лучей Института физики имени Б.И. Степанова НАНБ, Минск, Беларусь, tikhomirov@imaph.bas-net.by.

УДК 539.211

Д.А. Сильванович

СТРУКТУРА CuInSe₂ ПЛЕНОК, ПОЛУЧЕННЫХ СОИСПАРИЕМ

В данной работе представлены результаты структурных характеристик CIS пленок, полученных методом соиспарения в вакууме элементарных компонентов металла (Cu, In) [1] при различных температурах подложки. К настоящему времени эффективность фотопреобразователей с использованием CIS пленок достигла 17-19%.

Для изучения топографии поверхности применялся метод атомно-силовой микроскопии с использованием многофункционального сканирующего микроскопа NT 206 [2].

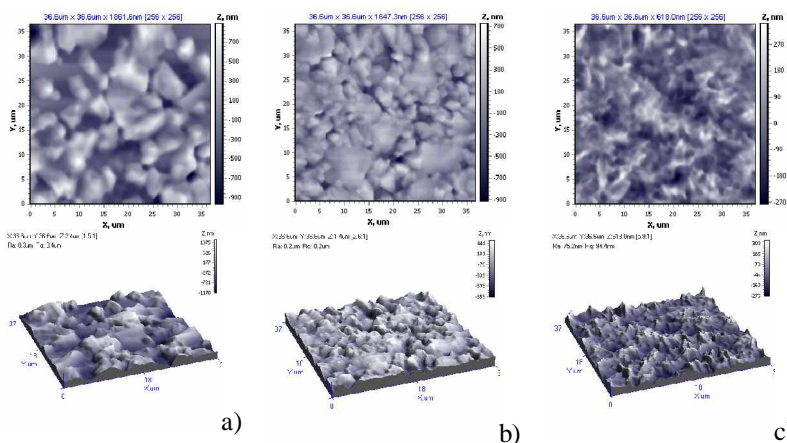


Рисунок – Топография поверхности CIS пленок, синтезированных при температуре подложки 450 °С (а), 500 °С (б), 550 °С (с)

Зерна, сформированные при более высоких температурах, имеют размытую форму, при более низких – более четкую (см. рисунок). Плотность размещения зерен на поверхности пленок увеличивается с увеличением температуры. Высота зерен с увеличением температуры уменьшается от 1,5 мкм до 0,5 мкм.

Анализируя данные, которые были получены (см. таблицу), можно сказать, что увеличение температуры подложки сопровождается снижением шероховатости Ra (от 293 нм до 88 нм) и среднеквадратичной шероховатости поверхности Rq (от 353 нм до 111 нм). При этом увеличивается отношение проективной площади к полной (Ratio Nominal/Full), а также меняется характер поверхности.

Таблица. Характеристика поверхности CIS пленок при разных температурах

| Температура подложки | 450 °С | 500 °С | 550 °С |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|
| Состав | CIS | | |
| Полная площадь, мкм ² | 1331 | 1331 | 1331 |
| Проективная площадь, мкм ² | 1440 | 1442 | 1350 |
| Отношение полная/проективная площадь | 0,923 | 0,924 | 0,985 |
| Средняя шероховатость, нм | 293 | 140 | 88 |
| Среднеквадратичная шероховатость, нм | 353 | 179 | 111 |

Можно сказать, что при более высоком температурном режиме отдельные неровности поверхности расплавляются и сливаются, при этом качество поверхности улучшается.

В заключение хочется еще раз подчеркнуть важность поиска наиболее приемлемых компонентов для получения поглощающих слоев, целесообразность исследований морфологии поверхности пленок, их свойств при изменении тех или иных параметров в процессе производства.

Список литературы

1. Kemell, M. Thin Film Deposition Methods of CuInSe₂ Solar Cells / M. Kemell, M. Ritala, M. Leskel // Critical Reviews in Solid State and Material Sciences. – 2005. – V. 30. – P. – 11.
2. Суслов, А.А. Сканирующие зондовые микроскопы (обзор) / А.А. Суслов, С.А. Чижик. // Материалы, Технологии, Инструменты. – 1997. – Т. 2, № 3, С. 78–89.

In this work dependence of surface CIS of the films received at various temperatures of a substrate is considered.

Сильванович Дмитрий Александрович, студент физического факультета Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка, Минск, Беларусь, cheh_das@tut.by.

Научный руководитель – *Ташлыков Игорь Серафимович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики, физический факультет, Белорусский государственный университет имени Максима Танка, Минск, Беларусь, tashl@bspu.unibel.by.

УДК 535.34

А.В. Станкевич, Ханон Хайдер Камел

ФОТОИНДУЦИРОВАННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ В КРИСТАЛЛАХ ТИТАНАТА ВИСМУТА ПРИ НАНО- И ПИКОСЕКУНДНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

Исследовано наведенное поглощение в кристаллах $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ при облучении их излучением различной интенсивности пико- и наносекундной длительности на длине волны 532 нм. Установлена зависимость фотохромного эффекта от интенсивности излучения при сохранении дозы облучения.

Из множества фоторефрактивных материалов большое внимание привлекает кристалл $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ (ВТО) со структурой силленита, который благодаря проявлению фоторефрактивного эффекта при малых дозах облучения используется для создания устройств оптической памяти, динамической голографии, интегральной и нелинейной оптики. Одним из механизмов управления фоторефрактивными явлениями может служить фотохромный эффект, заключающийся в обратимом изменении оптического поглощения кристалла при облучении его светом видимой и ближней УФ области.

Целью настоящей работы является исследование наведенного в кристалле ВТО поглощения при его облучении импульсным лазерным излучением с длиной волны 532 нм различной интенсивности и длительности.

При работе лазера в режиме генерации наносекундных импульсов (длительность 30 нс) интенсивность излучения на входной грани кристалла изменялась в диапазоне от 0,2 до 1,4 МВт/см². Экспозиция излучения не зависимо от интенсивности составляла 500 Дж/см². Показано, что величина наведенного поглощения увеличивается с ростом интенсивности, выходя на насыщение при интенсивностях свыше 1,5 МВт/см². Особенностью измеренной зависимости является ее пороговый характер. Так при интенсивностях меньших 0,2 МВт/см² фотохромный эффект не наблюдается даже при больших дозах облучения (свыше 1000 Дж/см²).

При переходе к пикосекундным импульсам качественный характер наблюдаемой зависимости сохраняется, но изменяются количественные параметры фотохромного эффекта. Так, например, при использовании импульсов длительностью 70 пс было обнаружено существенное (в 30 раз) увеличение чувствительности фотохромного эффекта к экспозиции. В этом случае, эффект насыщения наблюдался при интенсивностях $I > 100$ МВт/см², а пороговая интенсивность превысила 10 МВт/см². При этом в эксперименте интенсивность на входной грани кристалла изменялась от 5 до 140 МВт/см², а экспозиция излучения каждый раз составляла 17 Дж/см² феноменологическая модель, основанная на привлечении двух конкурирующих механизмов взаимодействия

лазерного излучения с фоторефрактивными кристаллами, которая позволила объяснить наблюдаемые зависимости. Так как энергия квантов используемого в эксперименте излучения (2,34 эВ) меньше ширины запрещенной зоны (3,27 эВ), то процессы однофотонного поглощения не приводят к затемнению кристалла. При увеличении интенсивности включаются процессы двухфотонного либо двухквантового (каскадного) поглощения света, вероятность которых пропорционально квадрату интенсивности падающего излучения. Они приводят к переходу электронов в зону проводимости, из которой электроны с некоторой вероятностью оседают на ловушечные уровни запрещенной зоны или возвращается в валентную зону. Заселение ловушечных уровней приводит к эффекту оптического затемнения. Вследствие того, что энергетический зазор между ловушечными уровнями и зоной проводимости меньше энергии кванта излучения, то становится возможным светоиндуцированный одноквантовый переход электронов в зону проводимости, что приводит к оптическому просветлению. Конкуренция одно- и двухквантовых процессов объясняет пороговый характер зависимости фотохромного эффекта от интенсивности излучения.

Induced absorption in $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ crystals has been studied under the effect of radiation at different intensities with a duration ranging from pico to nanoseconds and at a wavelength of 532 nm. The relationship between the photochromic effect and radiation intensity with retention of the irradiation dose has been determined.

Станкевич Андрей Витальевич, студент 5 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, x-man900@tut.by.

Ханон Хайдер Камел, аспирант физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Толстик Алексей Леонидович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь; tolstik@bsu.by.

УДК 532.13

С.А. Стеценко, А.В. Хорольский, В.В. Прокопенко

ПРИМЕНЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ К ФТОРПРОИЗВОДНЫМ МЕТОКСИБЕНЗОЛА

В работе представлен анализ применимости экспоненциальных эмпирических уравнений для описания температурной зависимости вязкости метоксибензола и его фторпроизводных.

Для исследуемых жидкостей – метоксибензола ($C_6H_5OCH_3$), метоксиdifторбензола ($C_6H_5OCHF_2$), метокситрифторбензола ($C_6H_5OCF_3$) – во всем исследуемом интервале температур коэффициент сдвиговой вязкости уменьшается с ростом температуры, но описать характер этой зависимости математически сложно.

Некоторые вязкостно-температурные уравнения представляют собой теоретические уравнения, в которые введены дополнительные эмпирические постоянные. В таком виде эти уравнения становятся применимыми ко многим жидкостям [1].

В частности, к ним относятся формулы, связанные с уравнением Рамана:

$$\eta = \exp\left(A + \frac{B}{T}\right). \quad (1)$$

В этом уравнении A равно величине, которая называется вязкостью при бесконечной температуре. Величина B имеет смысл энергии активации течения [2].

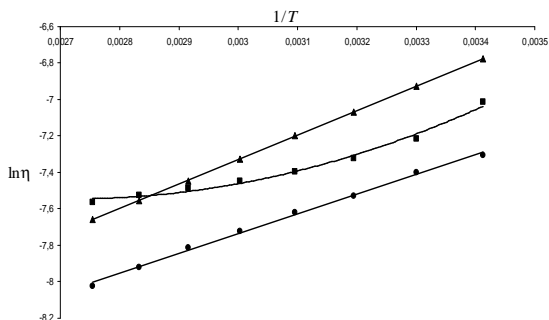


Рисунок 1

Результаты применения уравнения (1) к исследуемым жидкостям изображены на рисунке 1. Линейность характеристики $\ln \eta = A + B/T$, которая следует из (1), не выполняется для метоксибензола. Введя в уравнение (1) третью постоянную, после преобразований можно получить уравнение [2]

$$\eta = \eta_0 \exp\left(\frac{B}{T - T_\infty}\right), \quad (2)$$

где η_0 , B и T_∞ – постоянные. Уравнение (2) дает хорошие результаты. Для исследуемых в работе жидкостей выполняется линейность уравнения $[\ln(\eta/\eta_0)]^{-1} = \frac{T}{B} - \frac{T_\infty}{B}$ (рис. 2).

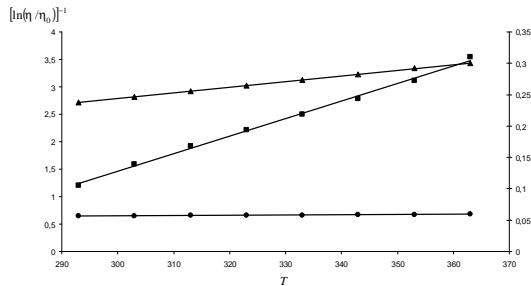


Рисунок 2

Список литературы

1. Скрышевский, А.Ф. Структурный анализ жидкостей / А.Ф. Скрышевский. – М.: ВШ, 1980. – 328 с.
2. Фукс, Г.И. Вязкость и пластичность нефтепродуктов / Г.И. Фукс. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 328 с.

In the article the analysis of applicability the exponential empirical equation for description of temperature dependence of viscosity for methoxybenzene and its fluorine derivatives are presented.

Стеценко Сергей Анатольевич, аспирант физико-математического факультета Полтавского педагогического университета имени В.Г.Короленко,

Полтава, Украина, fizika_rudenko@meta.ua.

Хорольский Алексей Викторович, студент физико-математического факультета Полтавского педагогического университета имени В.Г.Короленко, Полтава, Украина.

Прокopenko Виталий Владимирович, студент физико-математического факультета Полтавского педагогического университета имени В.Г.Короленко, Полтава, Украина.

Научный руководитель – *Руденко Александр Пантелеймонович*, доктор физико-математических наук, профессор, академик АНВШ Украины, Полтавский государственный педагогический университет имени В.Г. Короленко, Полтава, Украина; fizika_rudenko@meta.ua, allmail@pdpu.poltava.ua.

УДК 535.8

Л.В. Стома

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ СПЛАВОВ И ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ РЕНТГЕНОВСКОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ

Лазерная абляция является одним из методов получения тонкопленочных покрытий. Лазерная модификация пленочных материалов основана на воздействии на вещество лазерного излучения с мощностью, превышающей некоторое пороговое значение, при этом часть вещества переносится на подложку.

Проблема миниатюризации многих оптических и электронных устройств ставит задачу получать тонкослойные покрытия из различных материалов с заданными физическими свойствами. Воздействие лазерного импульса используется для создания тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников, термоэлектрических и полупроводниковых материалов.

Образование тонкопленочных покрытий при лазерной абляции происходит путем осаждения материала мишени, переносимого в лазерном факеле, на подложку, расположенную на пути распространения факела. Эффективность образования пленок, следовательно, будет зависеть от интенсивности осаждения материала на подложке и от расстояния до подложки.

Для исследования процесса переноса и конденсации материала мишени на подложке использовалась установка лазерной термообработки «Квант-15». Длина волны излучения составляла 1,06 мкм, длительность импульса ~ 2,0 мс. Энергия импульса излучения ~ 8 Дж, при проведении эксперимента энергия варьировалась от 100 мДж до 900 мДж. В качестве мишени для сфокусированного лазерного излучения использовалась свинцовая пластина. Материал мишени, уносимый лазерным факелом, осаждался на подложку-акцептор из оргстекла. Испаренный материал конденсировался на подложке в пятно диаметром 5 мм.

Методом рентгеновской флуоресценции исследовалось изменение интенсивности осаждения материала мишени от энергии излучения. Исследования зависимости интенсивности осаждения свинца от энергии лазерного излучения проводились, когда подложка находилась на фиксированной высоте, а также, когда высота подложки изменялась.

В результате проведенного исследования было выявлено, что характер осаждения вещества на подложку при лазерной абляции металлических мишеней зависит от параметров воздействующего излучения. Подбирая параметры воздействующего излучения (режим генерации, длина волны, энергия, длительность импульса и диаметр фокусировки), можно регулировать размеры частиц, формируемых во время лазерной эрозии и интенсивность их осаждения. Кроме параметров воздействующего излучения на процесс осаждения вещества влияют и свойства факела – распределение температуры, частиц плазмы, его гидродинамики, релаксационные свойства. При воздействии лазерного излучения умеренной плотности мощности $\sim 10^5$ Вт/см² образование частиц плазмы обусловлено, в основном действием двух механизмов: гидродинамического (размеры формируемых частиц лежат в интервале $(1 \div 100 \text{ мкм})$) и механизма объемного парообразования (размеры — $10 \div 100 \text{ нм}$). Все эти свойства, несомненно, весьма важны для создания оптимальных условий роста пленок высокого качества.

Laser ablation is one of methods of reception of thin-film coverings. Laser updating of film materials is based on influence on substance of laser radiation, with the capacity exceeding some threshold value, thus the substance part is transferred on a substrate.

Стома Людмила Вячеславовна, студентка 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, sludav@mail.ru.

Научный руководитель – *Ануфрик Славмир Степанович*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой лазерной физики и спектроскопии; физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, Anufric2005@grsu.by.

УДК 537.226(078.8)

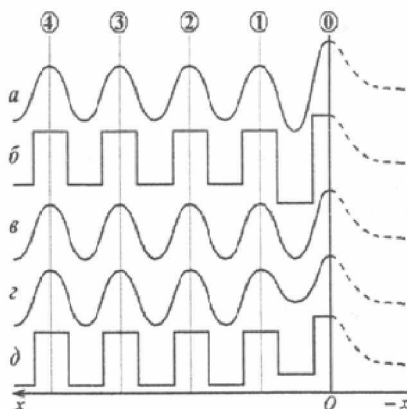
А.Н. Таболич

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ МОЗАИКИ НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ

Показано, что поликристаллы железа и алюминия имеют поверхности нейтральные (электрически), хотя плотность заряда в отдельных точках не равна нулю. Доказано, что на величину поверхностного заряда влияет симметрия поверхности Ферми.

Для объяснения наличия электростатической мозаики на очищенных от загрязнений поверхностях подложек из поликристаллических металлов может быть применено «барьерное приближение», которое относится к диэлектрикам. Появление электрически заряженных областей на ювенильных поверхностях диэлектриков (электростатическая мозаика) объясняется различиями структурной дефектности кристалла по обе стороны от плоскости раскола [1]. В этом случае область раскола в начальный момент рассматривается как потенциальный барьер, по обе стороны от которого находятся прилегающие к нему различные по высоте энергетические уровни. Еще в середине прошлого века Г.И. Дистлером [2] были обнаружены электрически заряженные участки на металлических образцах. Позднее исследования показали, что поверхностные заряды на металлах могут помочь в объяснении некоторых, например,

адгезионных и трибологических, процессов, т.е процессов связанных с трением, а так же с различного рода трещинами. Причина появления электростатической мозаики на поверхности поликристаллических металлов требует дополнительного анализа. Для исследования этого эффекта необходимо учесть влияние поверхности кристалла на функцию электрона, а так же вариации анизотропии работы выхода для граней с различными (hkl) .



Рисунок

В качестве примера на рисунке приведены характерные изменения значения потенциала вблизи границы кристалла, взятые из работы [3]. Приведенные кривые отражают изменение потенциала только в приповерхностном слое, хотя экспериментальные исследования показывают, что поверхность, как двумерный дефект, может оказывать влияние на глубину до 5 атомных слоев [4].

Закон затухания поверхностного потенциала примет вид:

$$U(x) = U \exp(-\lambda x),$$

где λ – коэффициент затухания поверхностного потенциала. Температура поверхности и среда, прилегающая к кристаллу, влияют на величину λ , что и объясняет термоэлектрический эффект.

В поликристалле (как и в блочном кристалле) поверхности контакта с разностями потенциалов влияют на внутренние, то есть

объемные области. В целом электрический заряд образца остается равным нулю.

Список литературы

1. Лиопо, В.А. Поверхностные процессы на свежих сколах монокристаллов полупроводников системы $TlIn(S,Se)$ / В.А. Лиопо, А.Н. Сенько, А.У. Шелег // Збір. навук. праць Полт. ДПУ. Сер. физ.-мат. наук. Полтава, 2005. – Вып. 8 (47). – С. 60–66.
2. Дистлер, Г.И. Декорирование поверхности твердых тел / Г.И. Дистлер, В.П. Власов, Ю.М. Герасимов. – М: Наука, 1976. –112 с.
3. Дункен, Х. Квантовая химия адсорбции на поверхности твердых тел / Х. Дункен, В. Лыгин. – М.: Мир, 1980. – 288 с.
4. Крекнел, А. Поверхность Ферми (понятие поверхности Ферми, ее определение и использование в физике металлов) / А. Крекнел, К. Уокг. – М.: Атомиздат, 1978. – 352 с.

The research has shown that iron and aluminum polycrystals have electrically neutral surfaces, though charge density in separate areas is not zero. We can assume that it is Fermi energy that influences the amount of charge.

Таболіч Александр Николаевич, студент 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, shoorik999@mail.ru.

Научный руководитель – *Лиопо Валерий Александрович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики. Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, liopo@grsu.by.

УДК 548.4+548.7

Ю.Г. Тарасевич

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБОБЩЕННОЙ
ФУНКЦИИ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ В ЗАВИСИМОСТ
ОТ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ В НАНОДИАПАЗОНЕ
ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ**

Проведена проверка возможности применения обобщённой функции описания зависимости свойств веществ от размера частиц в нанодиапазоне.

В работе [1] был предложен вид обобщённой функции (1) свойств веществ в зависимости от размеров частиц в нанодиапазоне (S_v – объёмное значение параметра. L_0 – размерная граница между нано- и макросостояниями.). Был также предложен способ определения по экспериментальным данным параметров данной функции.

$$S_r = \frac{S_v}{\left[\exp \alpha \left[\left(\frac{L_0}{r} \right)^n - 1 \right] \right]^{\frac{1}{2}}}. \quad (1)$$

Для проверки возможности применения предлагаемой зависимости были рассмотрены экспериментальные данные по изменению некоторых физических свойств веществ – периода кристаллической решётки алюминия, температур плавления золота и олова. Было выполнено аппроксимирование этих данных линейной зависимостью вида $Y = \alpha(X + A)$ для степеней $n = \{1, 2\}$. Использована программная реализация метода наименьших квадратов с нелинейным спуском по алгоритму Гаусса-Ньютона, входящая в состав программного пакета R(использовалась версия пакета 2.7.2 (<http://www.r-project.org>)). Отсчёты, находящиеся за размерной границей наносостояния, не учитывались.

Для данных по зависимости периода кристаллической решётки α от диаметра наночастиц алюминия получены следующие значения параметров формулы аппроксимирующей зависимости: $\alpha = 0.0088$; $A = 1.09$; коэффициент корреляции (Пирсона) $r = 0.89$; $n = 1$ и $\alpha = 0.0018$; $A = 5.52$; $r = 0.88$; $n = 2$. Значение периода для объёмного состояния принято равным 0.40496 нм (α -алюминий) (по the 84th Edition of the CRC Handbook of Chemistry and Physics, 84th ed. (2004)), граничного диаметра $L_0 = 12.7$ нм ([3]).

По зависимости температуры плавления от диаметра наночастиц золота рассчитаны следующие параметры: $\alpha = 0.198$; $A = -0.59$; $r = 0.84$; $n = 1$; и $\alpha = 0.021$; $A = -2.59$; $r = 0.88$; $n = 2$. Значение температуры плавления для объёмного состояния принято равным 1337 К, $L_0 = 17.7$ нм ([2]).

По данным зависимости температуры плавления олова от радиуса наночастиц олова рассчитаны следующие параметры: $\alpha = 0.045$; $A =$

0.35; $r = 0.97$ при $n = 1$ и $\alpha = 0.0048$; $A = 7.48$; $r = 0.95$ при $n = 2$.
Значение температуры плавления для объёмного состояния равно 505 К,
 $L_0 = 30.8$ нм.

Список литературы

1. Физика конденсированного состояния: тез. докл. XVII респ. науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов (Гродно, 16-17 апр. 2009 г.) / ГрГУ им. Я. Купалы; редкол.: Е.А.Ровба (отв. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2009. – 316 с.
2. Лиопо, В.А. Введение в физику наноразмерных частиц: монография. Промышленность региона: проблемы и перспективы инновационного развития / В.А. Лиопо, В.А. Струк, С.А. Авдейчик. – Гродно: ГрГАУ. – 2008. – С. 223 – 272.
3. Гусев, А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А.И. Гусев – М.: Физматлит. – 2005. – 416 с.
4. Лиопо В.А. Размерная граница между нано- и объёмными состояниями: теория и эксперимент / В.А. Лиопо // Веснік ГрДУ. Серія 2. – № 2. – 2007. – С. 65 – 71.

The validation of the generalized function of the description of dependence of properties of matter from the size of particles in nanometric range is brought out.

Тарасевич Юрий Георгиевич, старший научный сотрудник темы 4СГ/07 Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Никитин Александр Викторович*, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической физики, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 535.37

Д.С. Тарасов, Л.С. Ляшенко, Е.М. Самцова

СПЕКТРАЛЬНО – ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА И ФОТОТОКСИЧНОСТЬ НОВЫХ ВОДОРАСТВОРИМЫХ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ

В работе приведены результаты изучения спектрально-люминесцентных характеристик ряда новых водорастворимых полиметиновых красителей, а также проведены исследования фототоксичности индотрикарбодиазинового красителя в экспериментах на культуре раковых клеток HeLa и *in vivo* на перенесённых опухолях штамма саркома М-1 и саркома Йенсена.

На основе индотрикарбоцианинового красителя ПК1 синтезированы соединения с заместителями по карбоксильной группе – полиэтиленгликолем (ПЭГ) с различной молекулярной массой ПК2 (200 Да), ПК3 (300 Да).

Спектры поглощения растворов исследуемых полиметиновых красителей (ПК) в этиловом спирте и воде имеют типичную для исследованного класса соединений форму. Полоса наиболее интенсивного поглощения лежит в ближнем ИК- диапазоне, молярный коэффициент поглощения более $10^5 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$. Спектры поглощения исследованных соединений в этиловом спирте имеют близкую форму и положение, не изменяются при увеличении концентрации растворов в диапазоне $10^{-7} - 10^{-3} \text{ M}$. Полуширина основной полосы поглощения для разных красителей колеблется в пределах от 44 до 48 нм, максимум полосы расположен в области 720 нм. Спектры флуоресценции ПК зеркально-симметричны спектрам поглощения, их полуширина составляет 47–54 нм. Кинетика затухания флуоресценции представляет собой одну экспоненту, при этом квантовый выход, время жизни и значение степени поляризации флуоресценции для растворов всех исследованных ПК в этаноле имеют близкие значения.

В спектрах поглощения ПК в воде наблюдается уширение полуширины, усиливается вклад интенсивности коротковолнового плеча спектра. При этом красители лучше растворимые в воде имеют меньшую полуширину спектра. Так при концентрации 10^{-3} M у красителя ПК3 полуширина полосы поглощения составляет 148 нм. Нагревание растворов до 65°C приводит к уменьшению полуширины полосы поглощения на 10 нм, при этом соотношение коротковолнового и длинноволнового максимума полосы поглощения изменяется от 1,4 до 1,1, увеличивается интегральная интенсивность флуоресценции в 1,22 раза. Последующее понижение температуры приводит к обратимому восстановлению формы спектров поглощения. При этом в спектрах присутствует изобестическая точка. Обнаруженные закономерности свидетельствуют о присутствии в водных растворах ассоциатов молекул красителей.

При исследовании *in vitro* выявлена высокая фоточитотоксичность ПК3 и низкая цитотоксичность данного красителя. Путем регистрации флуоресценции красителей в тканях *in vivo* проведены исследования динамики накопления препаратов в опухоли после внутривенного введения. Полученные результаты свидетельствуют о том, что

наибольший уровень накопления фотосенсибилизатора в опухоли достигается примерно через час после введения препарата в кровь. Исследования *in vivo* показали достаточно хорошую избирательность накопления нового фотосенсибилизатора в опухолевых тканях. Коэффициент контрастности (отношение концентрации в опухоли к концентрации в здоровой мышечной ткани) для исследованного ПКЗ достигает 4 при условии максимального накопления в опухоли. В течение суток после введения концентрация красителя в организме снижается на порядок и через 5–7 суток препарат практически полностью выводится как из опухолевых, так и из нормальных мышечных тканей. В экспериментах *in vivo* установлено, что новый водорастворимый краситель имеет достаточно высокую фототоксичность, выражающуюся в обширных некрозах опухолей с глубиной повреждения до 2 см.

В целом проведенные исследования указывают на несомненную перспективность использования биосовместимых новых соединений для терапии и диагностики злокачественных новообразований.

Research results of spectral-fluorescence characteristics several cyanine dyes are shown in present work. Investigations of photoactivity of indotricarbocyanine dyes in experiments *in vitro* in HeLa cells culture and *in vivo* on implanted sarcoma M-1 and Jensen's sarcoma tumors.

Тарасов Дмитрий Сергеевич, студент 5 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Ляшенко Людмила Сергеевна, аспирантка физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Самцова Екатерина Михайловна, студентка 4 курса Белорусского национального технического университета, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Каплевский Кирилл Николаевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, Karleu@bsu.by.

УДК 533.9.082, 533.922, 533.924, 621.373.8

Н.С. Тарасюк, К.Ф. Ермалицкая

ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ СТАЛИ, ЛЕГИРОВАННОЙ Ti И Zr

Предложена схема послойного количественного анализа двухкомпонентных (Ti-Zr) покрытий стали методом двухимпульсной лазерной спектроскопии.

Многокомпонентные функциональные покрытия являются одним из наиболее распространенных способов улучшения поверхностных характеристик металлических изделий. Для исследования состава и структуры функциональных покрытий обычно используются следующие техники: рентгеноструктурный анализ, Ожэ-электронная спектроскопия, метод Резерфордского обратного рассеяния [1]. Развитие лазеров заложило основы для еще одного метода изучения тонких слоев многокомпонентных металлических покрытий – лазерная атомно-эмиссионная спектроскопия (ЛАЭС) [2].

В качестве источника возбуждения спектров атомов использовалось излучение двухимпульсного Nd:YAG-лазера длиной волны – 1064 нм, частотой – 10 Гц, длительностью – 15 нс, энергией 100 мДж, временным интервалом между импульсами – 10 мкс. Лазерный луч фокусировался на расстоянии 10 мм над поверхностью образца, толщина испаряемого слоя при этом составляла – 0,1 мкм.

Объектом исследования являлись образцы низкоуглеродистой стали Ст. 3, на которую наносилось покрытие из Ti и Zr методом конденсации с ионной бомбардировкой. Толщина покрытия составляла единицы микрометров. Полученные системы обрабатывались компрессионными потоками азотной плазмы (КПП), сформированными в магнитно-плазменном компрессоре. Подведенной энергии было достаточно для расплавления поверхностных слоев и легирования стали материалами покрытия. В результате была сформирована многослойная структура, толщиной 10-15 мкм.

Динамика интенсивностей спектральных линий титана, циркония и железа (материал основы) в покрытии, толщиной 2 мкм и 12 мкм (после обработки), представлена на рисунке.

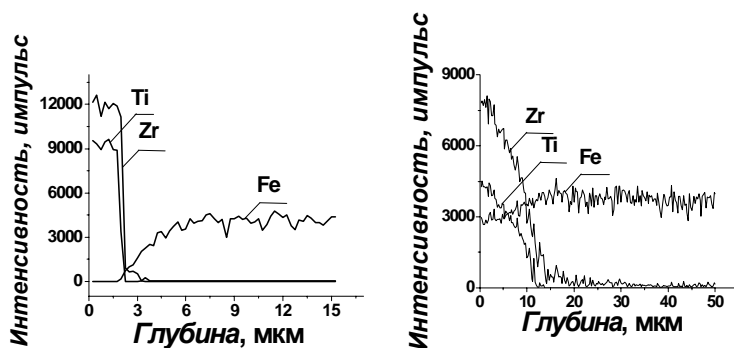


Рисунок – Динамика интенсивности спектральных линий Ti, Zr и Fe в функциональном покрытии до и после обработки образца потоками азотной плазмы

Было обнаружено, что отношение интенсивностей спектральных линий, а соответственно и концентраций, циркония к титану в 1,5 раза выше в модифицированном покрытии. Это объясняется различной глубиной модифицированного слоя при одинаковой толщине предварительно нанесенного покрытия.

Список литературы

1. Тарасюк, Н.С. Твердость стали, легированной титаном, хромом и цирконием / Н.С. Тарасюк, Е.К. Стальмошенко, Н.Н. Черенда. // Сборник докладов международной научной конференции «ФГТ-2009». Мн., 2009. – С. 366–368.
2. Воропай, Е.С. Атомно-эмиссионный многоканальный спектральный анализ: научное и практическое применение / Е.С. Воропай [и др.] // Вестн. БГУ, Сер. 1. – № 1. – 2009. – С. 14–20.

New method for multilayer spectral analysis of functional Ti-Zr coating was suggested. Double laser pulses with 10 mks delay were used as a source ablative plasma excitation.

Тарасюк Надежда Сергеевна, – аспирант кафедры твердого тела физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, uglov@bsu.by.

Ермалицкая Ксения Федоровна – аспирант кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, ermalitskaya@biz.by.

Научные руководители – *Углов Владимир Васильевич*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры лазерной твердого тела, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, uglov@bsu.by;

Воропай Евгений Семенович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой лазерной физики и спектроскопии, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, voropay@bsu.by.

УДК 539.211

А.И. Туровец

ТОПОГРАФИЯ И СМАЧИВАЕМОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ ГРАФИТА, ОБЛУЧЕННОГО ИОНАМИ КСЕНОНА

В данной работе исследуется влияние бомбардировки ионами Xe^+ (энергия $E_{\text{Xe}} = 20$ кэВ) на топографию поверхности графитовых пленок, её смачиваемость.

При изучении графита, облученного ионами Xe^+ с различными интегральными потоками, методом атомно-силовой микроскопии в контактном режиме (с помощью атомно-силового микроскопа NT 206) с использованием программы Surface Explorer были получены данные о топографии и шероховатости поверхности (таблица). Данные о гидрофильности поверхности образцов получали по методике измерения равновесного краевого угла смачивания (РКУС) [1].

Установлено, что величина полной площади поверхности зависит от интегрального потока. Это можно объяснить распылением поверхности графита. Во время облучения исходного графита ионами Xe^+ с интегральным потоком $1 \cdot 10^{14}$ $\text{Xe}/\text{см}^2$ распыляются естественные неоднородности, в результате чего поверхность выравнивается. При больших дозах процесс распыления идет более активно. Что, по-видимому, можно объяснить не только большим числом падающих ионов Xe^+ , но и преимущественным накоплением их в

приповерхностном слое графита. По-видимому, накопление атомов Хе с ростом дозы ионов ведет к разрыву связей между графитовыми плоскостями и усилению распыления поверхности аналогично тому, как это наблюдали авторы [2].

Таблица – Характеристики образцов исходного графита и облученного ионами Хе⁺ с различными интегральными потоками

| Интегральный поток F, Хе/см ² | | 1·10 ¹⁴ | 3·10 ¹⁴ | 1·10 ¹⁵ | 3·10 ¹⁵ |
|--|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Проективная площадь, мкм ² | 401,2 | 401,2 | 401,2 | 401,2 | 401,2 |
| Полная площадь, мкм ² | 434,9 | 426,5 | 432,0 | 430,3 | 419,5 |
| Отношение проективная/полная | 0,923 | 0,920 | 0,929 | 0,933 | 0,957 |
| R _a , нм | 226,2 | 309,7 | 294,7 | 257,2 | 233,5 |
| РКУС, ° | 70,6 | 116,2 | 123,9 | 119,9 | 93,2 |

Измерено, что средняя шероховатость (R_a) площадок исходного графита размером 401,2 мкм² составляет 226,2 нм. После имплантации графита ионами Хе⁺ шероховатость поверхности увеличивается. Её изменение максимально (на 37 %) при интегральном потоке 1·10¹⁴ Хе/см² и при увеличении интегрального потока снижается.

Изменение величины РКУС с ростом интегрального потока имеет качественно подобную зависимость с изменением величины шероховатости (таблица). Поэтому, учитывая неизменность элементного состава облученной поверхности, дает возможность сделать вывод о том, что изменение РКУС обусловлено в основном изменением шероховатости поверхности.

Список литературы

1. Ташлыкков, И.С. Порошковая металлургия и функциональны покрытия / И.С. Ташлыкков, С.М. Барайшук. – 1, 30 (2008).
2. Лигачева, Е.А. Порошковая металлургия и функциональны покрытия / Е.А. Лигачева [и др.]. – 5, 42 (2008).

Investigation of topography and wettability of the modified graphite surfaces was conducted using atomic force microscopy and contact angle measurements. Topography is considered as a main factor which is responsible for hydrophobic properties of modified graphite surfaces.

Туровец Антон Иванович, аспирант 1-го года обучения кафедры общей физики физического факультета Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка, Минск, Беларусь, antowa.tur@tut.by.

Научный руководитель – *Ташлыков Игорь Серафимович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики, физический факультет, Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка, Минск, Беларусь, tashl@bspu.unibel.by.

УДК 539.211

А.И. Туровец

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГРАФИТА, ОБЛУЧЕННОГО ИОНАМИ КСЕНОНА

В данной работе исследуется влияние бомбардировки ионами Xe^+ (энергия $E_{\text{Xe}} = 20$ кэВ) на структуру, элементный состав графита.

Для элементного анализа формируемых структур и распределения элементов по глубине применялся метод резерфордского обратного рассеяния (РОР) ионов гелия с $E_0 = 2$ МэВ. Изучение послойной концентрации элементов проводилось с применением компьютерной программы RUMP моделирования экспериментальных энергетических спектров РОР.

Моделирование экспериментальных спектров РОР, полученных от исходных образцов, выявило наличие в составе графита кислорода с концентрацией ~ 5 ат.%, кремния ~ 1 ат.%, кальция ~ 0.1 ат.%, и вольфрама ~ 0.02 ат.%. Отметим также значительное содержание в нем водорода (~ 30 ат.%). Это может быть следствием условий естественного формирования графита. Необходимо отметить, что элементный состав поверхности всех изученных образцов практически неизменен.

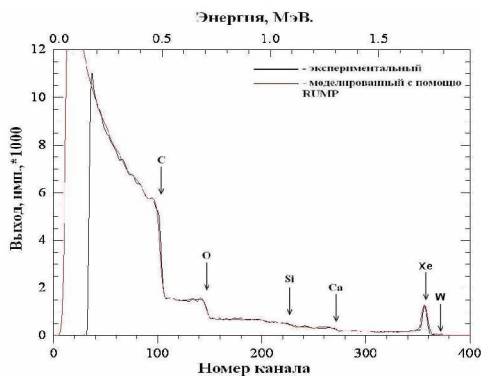


Рисунок 1 – Энергетические спектры РОР ионов He^+ с $E_0 = 2$ МэВ графита, облученного Xe^+ с интегральным потоком $3 \cdot 10^{15} \text{Xe}/\text{см}^2$

На рисунках 1 и 2 представлены энергетические (экспериментальный и восстановленный) спектры РОР ионов гелия и профили компонентов по глубине в образце графита, облученного ионами Xe^+ с интегральным потоком $3 \cdot 10^{15} \text{Xe}/\text{см}^2$.

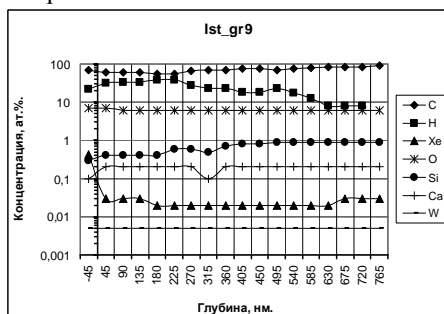


Рисунок 2 – Профили компонентов по глубине в образце графита облученного ионами Xe^+ с интегральным потоком $3 \cdot 10^{15} \text{Xe}/\text{см}^2$

С применением программы TRIM был рассчитан проективный пробег ионов Xe^+ в графите, который при энергии 20 кэВ составляет 20 нм. Действительно, на данной глубине наблюдается максимум концентрации Xe. Однако в отличие от кремния, Xe^+ в графите растворяется, и мы наблюдаем его с концентрацией ~ 0.02 ат.% на

глубине ~ 500 нм, что свидетельствует о радиационно-стимулированной диффузии ксенона в графите (см. табл.).

Таблица – Характеристики образцов графита, облученного ионами Xe^+ с различными интегральными потоками

| Интегральный поток $F, \text{Xe}/\text{см}^2$ | $1 \cdot 10^{14}$ | $3 \cdot 10^{14}$ | $1 \cdot 10^{15}$ | $3 \cdot 10^{15}$ |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Содержание Xe на глубине ~ 20 нм, ат.% | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,43 |
| Содержание Xe на глубине ~ 500 нм, ат.% | 0,03 | 0,02 | 0,01 | 0,005 |

Содержание ксенона на глубине ~ 20 нм практически неизменно при $F = 1 \cdot 10^{14} - 1 \cdot 10^{15} \text{Xe}/\text{см}^2$. При дальнейшем увеличении интегрального потока в 3 раза содержание ксенона увеличивается в 4 раза. В то же время содержание ксенона на глубине ~ 500 нм уменьшается с интегральным потоком. Для объяснения последнего эффекта необходимо продолжение исследований

The influence of Xe^+ bombardment on chemical composition, structure of graphite was established.

Туровец Антон Иванович, аспирант 1-го года обучения, кафедры общей физики физического факультета Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка, Минск, Беларусь, antowa.tur@tut.by.

Научный руководитель – *Ташлыков Игорь Серафимович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей физики, физический факультет, Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка, Минск, Беларусь, tashl@bspu.unibel.by.

УДК 539.2

С.Н. Фадин

ТЕМПЕРАТУРНАЯ И ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ГРАНИЦА НАНОРАЗМЕРНОСТИ

Между нано- и макросостоянием вещества имеется размерная граница L_0 . Если размеры кристаллов такие, что фонон с длиной волны больше дебаевской распространяться не может, то вещество приобретает свойства, отличные от свойств макроскопического кристалла.

Физические свойства, при изменении размеров частиц, остаются неизменными лишь до определенного значения L_0 . При размерах меньших L_0 начинают проявляться наносвойства, т.е. вещество приобретает свойства, отличные от свойств макроскопического кристалла.

Из теории Дебая и последующих работ [1] следует, что до некоторых значений частот фононов (ω_D) распределение $P(\omega)$ отличается от распределения для $\omega > \omega_D$ и имеет вид

$$P(\omega) \sim \begin{cases} \alpha\omega^2 & \text{при } \omega \leq \omega_D \\ \exp\left[\frac{\eta}{kT}(\omega_D - \omega)\right] & \text{при } \omega > \omega_D. \end{cases} \quad (1)$$

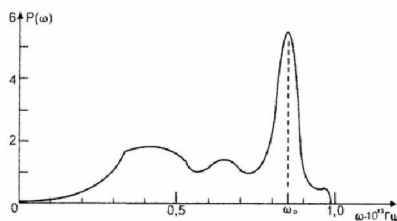


Рисунок – Фононный спектр частот в Al

Частота ω_D называется дебаевской частотой, с которой связаны и дебаевская энергия (E_D), и дебаевский импульс (P_D), и дебаевская длина волны (λ_D), и дебаевская температура (θ_D)

$$E_D = \eta\omega_D, \quad P_D = \frac{\eta\omega_D}{u}, \quad \lambda_D = \frac{2\pi u}{\omega_D}, \quad \theta_D = \frac{\eta\omega_D}{k} \quad (2)$$

где u – скорость распространения фононов, η, k – постоянные Планка и Больцмана соответственно.

В реальных кристаллах $P(\omega)$ отличается от модели Дебая-Больцмана. Например, на рисунке приведено экспериментально полученное распределение $P(\omega)$ для Al [2].

Температура Дебая разграничивает возможности методов физики при описании свойств кристаллов. Если $\theta_D > T$ – это квантовая область, при $\theta_D < T$ – область, где справедливы классические подходы.

Таким образом, и диспергирование, и нагревание вызывают переход от низкочастотной области фононных колебаний в высокочастотную. Если T переходит температурную границу θ_D , то характер протекания

процессов меняется. То же самое происходит, когда размер частицы g становится больше λ_D . В этом случае на частицу размерные факторы перестают оказывать влияние, то есть $L_0 = \lambda_D$ является размерной границей между нано- и макросостоянием. Следовательно, если выбрать такие экспериментальные ситуации, когда диспергирование и нагревание приводят к одинаковому результату, то можно установить связь между изменениями «эффективной» температуры кристалла и размера его частиц. Другими словами, в этом случае можно ввести температурный эквивалент размера частицы.

Список литературы

1. Китель, Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Китель. – М.: Гос. изд. физ.-мат. лит, 1963. – 696 с.
2. Каганов, М.И. Введение в квантовую теорию твердых тел / М.И. Каганов, В.В. Ржевский. – М.: Изд. МГУ, 1987. – 144 с.

There is measured border L_0 between nano- and macrostates of substance. If size of crystal is so, that phonon with wave-length bigger than Debay's wave-length can't extended, then substance possess properties which are distinguish from properties of macrocrystal.

Фадин Сергей Николаевич, студент 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Лиопо Валерий Александрович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, liopo@grsu.by.

УДК 548:53

И.Н. Харитончик, Л.Н. Марголин

НЕЛИНЕЙНЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ TGS, ЛЕГИРОВАННЫХ АМИНОКИСЛОТАМИ С РАЗЛИЧНЫМИ R-ГРУППАМИ

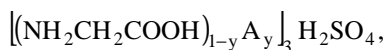
В работе приводятся результаты исследования диэлектрических свойств новых сегнетоэлектрических кристаллов LValTGS; LLeuTGS; LAspTGS.

Кристаллы триглицинсульфата (TGS) привлекают внимание исследователей благодаря своим высоким пьезоэлектрическим характеристикам и возможностью выращивания совершенных монокристаллов. Однако, кристаллы TGS имеют ряд существенных недостатков, которые ограничивают их практическое применение: нестабильность параметров и температурная деполяризация. Многочисленные исследования показали, что изменение физических свойств кристаллов TGS можно осуществлять введением различных примесей.

Известно, что в основе соединения TGS лежит гликоколь, т.е. глициновая группа, относящаяся к аминокислотам. Все аминокислоты можно сгруппировать на основе признаков, свойственных их R-группам, к взаимодействию с водой: а) неполярные R-группы; б) полярные, но незаряженные R-группы; в) отрицательно заряженные R-группы; г) положительно заряженные R-группы [1].

В данной работе для модификации кристаллов TGS применены как неполярные аминокислоты (L-валин; L-лейцин), так и полярная аминокислота (L-аспарагиновая кислота). Исследуемые в работе монокристаллы были выращены в двухтермостатной установке при постоянной температуре роста 30°C.

Раствор для выращивания модифицированных кристаллов приготавливался путем синтеза компонентов: аминокислоты (NH₂CH₂COOH); серной кислоты (H₂SO₄) и лигандов (аминокислоты с различными R-группами), взятых в соответствующих стехиометрическом составу количествах и растворенных в дистиллированной воде для получения систем:



где А – соответствующий лиганд: L-валин (LVal), L-лейцин (LLeu), L-аспарагиновая кислота (LAsp); у – содержание лиганда в растворе (у = 0,1).

Измерения диэлектрических параметров $\epsilon(T)$ и $\text{tg} \delta(T)$ проведены в температурном интервале (20–70)°C. Исследования показали, что применение данных лигандов значительно уменьшает значения ϵ в сегнетоэлектрической фазе. Так, если у кристаллов TGS при 25°C

$\epsilon = 225$, то у кристаллов LLeuTGS значения ϵ не превышают 100. Применение же лигандов L-валина и L-аспарагиновой кислоты снижает значения ϵ до 25–30. Для кристаллов LLeuTGS; LAspTGS при не сегнетоэлектрических срезах отмечается размытый максимум вблизи температуры фазового перехода в зависимостях $\epsilon(T)$. По результатам исследований определена температура Кюри; температура Кюри-Вейсса; рассчитана постоянная Кюри-Вейсса и отношение тангенсов углов наклона зависимости $\epsilon^{-1}(T)$ модифицированных кристаллов LValTGS; LLeuTGS; LAspTGS. Данные кристаллы имеют фазовый переход второго рода. Подробно изучены диэлектрические потери ($\text{tg } \delta$) в модифицированных кристаллах.

Проведенные экспериментальные исследования диэлектрических свойств новых сегнетоэлектрических кристаллов позволили сделать следующие выводы:

1. Введение в раствор небольшого количества (до 10 мол.%) модификаторов (L-валин; L-лейцин, L-аспарагиновая кислота) существенно изменяет диэлектрические параметры кристаллов TGS.

2. Аминокислоты с отрицательно заряженными R-группами оказывают более сильное влияние на диэлектрические характеристики кристаллов TGS.

Список литературы

1. Ленинджер, А. Основы биохимии / А. Ленинджер. – М., 1985. – Т. 2. – С. 107.

In work results of research of dielectric properties new сегнетоэлектрических crystals LvalTGS, LLeuTGS, LAspTGS crystals TGS received at updating are resulted.

Харитончик Ирина Николаевна, студентка 4 курса физического факультета Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка, Минск, Беларусь.

Марголин Леонид Наумович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей и теоретической физики Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка, Минск, Беларусь.

Научный руководитель, *Марголин Леонид Наумович* – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей и теоретической физики, Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка, Минск, leonidnm@hotmail.com.

УДК 548.55.001.5

Н.В. Хватюк, С.А. Василевский

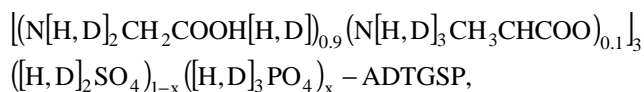
ИМПУЛЬСНАЯ ПЕРЕПОЛЯРИЗАЦИЯ ДЕЙТЕРИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ TGS, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ФОСФОРОМ И L- α АЛАНИНОМ

В работе проведено подробное исследование процессов импульсной переполаризации в дейтерированных кристаллах TGS, модифицированных фосфором и L- α аланином. Изучены процессы зарождения и последующей динамики доменной структуры кристаллов ADTGSP.

На физические свойства сегнетоэлектриков, существенное влияние оказывает состояние их доменной структуры, и усилия многих исследователей направлены на изучение закономерностей формирования, статических и динамических свойств доменной структуры, на поиск надежных способов управления ее параметрами, и в конечном итоге, на создание сегнетоэлектрических материалов с заданными свойствами [1].

Несмотря на огромное количество экспериментальных и теоретических работ, посвященных доменной структуре реальных сегнетоэлектриков кристаллы TGS с изменяющимся количеством структурных дефектов, созданных введением примесей или модификацией кристаллов, исследованы недостаточно.

Для исследований были выращены кристаллы ADTGSP с частично замещенной сульфатной группой на фосфатную и глициновую на L – α аланин. Кристаллы выращивались при постоянных параметрах кристаллизации из водных растворов. Растворы для выращивания приготавливались путем синтеза в тяжелой воде (D_2O) соответствующих стехиометрическому соотношению количеств химически чистых аминокислотной, серной и ортофосфорной кислот и L – α аланина для получения системы:



где $x = 0,1; 0,3; 0,5$ – степень замещения сульфатной группы в растворе.

Изучены процессы зарождения и последующей динамики структуры модифицированных кристаллов ADTGSP методом импульсной переполяризации.

При переполяризации кристаллов в прямоугольных импульсных полях форма импульсов тока переполяризации существенно различается для кристаллов TGS и ADTGSP (см рисунок).

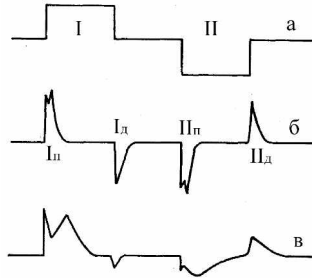


Рисунок – Типичные осциллограммы импульсов подаваемого напряжения (а) и импульсов тока переключения кристаллов TGS (б), ADTGSP (в)

У кристаллов TGS направления поляризации равноправны (петли гистерезиса симметричны $E_{см} \approx 0$), поэтому импульсы тока переключения I_{II} и II_{II} в различных направлениях одинаковые (рис.1 б). У кристаллов ADTGSP направления поляризации неравноправны (петли гистерезиса асимметричны, $E_{см}$ отличается от нуля) поэтому импульсы тока переключения I_{II} и II_{II} уже не одинаковые (рис.1 в). Импульс тока переключения I_{II} в направлении естественной униполярности больше по амплитуде и короче по времени, чем импульс тока II_{II} при переключении в противоположном направлении.

Изучение полевых зависимостей времени нарастания (t') импульса тока переключения, которое связывается с процессами зарождения кластеров поляризации, свидетельствуют о том, что эти зависимости аппроксимируются на экспоненциальную функцию. Проведенные исследования свидетельствуют о значительном влиянии групп-модификаторов на процессы возникновения униполярности кристаллов и изменения их поляризационных характеристик.

Список литературы

1. Цедрик, М.С. Физические свойства кристаллов семейства триглицинесульфата / М.С. Цедрик. – Минск: Наука и техника. 1986. – 216 с.

Structurally modified crystals triglycinesulphate are grown up under constant thermodynamic conditions of growth. Are carried out complex researches of polarizing characteristics of crystals ADTGSP. Essential influence of modifiers PO_4 on properties of crystals is established.

Хватюк Наталья Васильевна, студентка 5 курса физического факультета Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Василевский Сергей Александрович*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей и теоретической физики физического факультета Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка, Минск, Беларусь, Serj-7@tut.by.

Научный руководитель – *Василевский Сергей Александрович*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей и теоретической физики, физический факультет, Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка, Минск, Беларусь, Serj-7@tut.by.

УДК 666.9.127

В.И. Хомко

ВЛИЯНИЕ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ

Исследованы теплоизоляционные характеристики ячеистых бетонов с покрытиями на основе ПВА и отходов стекольного производства. Установлено, что при нанесении нанокomпозиционных покрытий теплопроводность и водопоглощение образцов уменьшается ~ в 2 раза.

Возросшая стоимость энергии и проблемы с ее запасами поставили задачу повышения эффективности тепловой изоляции ограждающих конструкций и тепловых агрегатов. С 1994 г. в Республике Беларусь установлены новые нормативные значения теплового сопротивления стен и других ограждающих конструкций. Они в 2,5...3,5 раза выше прежних. Побудительной причиной для этого явились большие потери тепловой

энергии через поверхности зданий, сооружений, теплотрасс и возросшая цена на энергоносители. Обеспечить заданные значения теплового сопротивления ограждающих конструкций можно только путём использования специальных высокоэффективных теплоизоляционных материалов и специальных покрытий. Блоки из ячеистых бетонов являются наиболее экономичным стеновым материалом [1].

Целью работы являлось увеличение эффективности тепловой изоляции ячеистых бетонов за счет нанесения нанокomпозиционных покрытий.

В данной работе исследованы теплопроводность и водопоглощение блоков из ячеистого бетона D150 производства ОАО «Гродненский комбинат строительных материалов». В качестве теплоизоляционного покрытия использовали клей ПВА и отходы стекольного производства, полученные в результате шлифовки хрусталя на стекольном заводе «Неман».

Для проведения экспериментов из середины блока было вырезано 9 образцов-дисков таким образом, чтобы их толщины были малы по сравнению с их диаметрами. Теплоизоляционное покрытие на образцы наносили кистью. Для оценки влияния покрытий на теплоизоляционные характеристики ячеистых бетонов определяли коэффициент теплопроводности сравнительным методом. Изменение водопоглощения оценивали согласно ГОСТ 127303-78 по массе образцов.

Результаты исследований показали, что при нанесении нанокomпозиционных покрытий коэффициент теплопроводности ячеистых бетонов уменьшился на 45,4 %, водопоглощение – в 2 раза по сравнению с исходным образцом. Установлен оптимальный состав покрытия – ПВА в качестве связующего и 40% отходов стекольного производства.

Investigate insulating characteristics of cellular concrete with coatings based on PVA and waste glass products. Found that when applying nanocomposite coating thermal conductivity and water absorption of samples decreases approximately twice.

Список литературы

1. Галкин, С.Л. Применение ячеистобетонных изделий / С.Л. Галкин, Н.П. Сажнев. – Минск: Стринко, 2006. – 250 с.
2. ГОСТ 127303-78. Бетоны. Метод определения водопоглощения.

Хомко Виталий Иванович, студент 6 курса заочного отделения, факультета строительства и транспорта, Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Гаврилова Валентина Владимировна*, старший преподаватель, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Республика Беларусь.

УДК 532.13

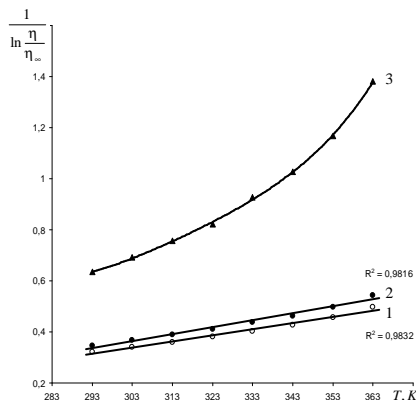
А.С. Хорольский, С.В. Стеценко, А.М. Хлопов

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ВЯЗКОСТИ ФТОРПРОИЗВОДНЫХ ФЕНИЛМЕТИЛСУЛЬФИДА

В работе проводится анализ применимости формулы Фогеля-Фульчера-Таммана для описания температурной зависимости вязкости фторзамещенных фенилметилсульфида.

Ранее нами были исследованы активационные параметры вязкого течения фенилметилсульфида ($C_6H_5SCH_3$), фенилдифторметилсульфида ($C_6H_5SCHF_2$) и фенилтрифторметилсульфида ($C_6H_5SCF_3$) с помощью теории Френкеля-Эйринга [1]. С целью обобщения и интерполяции экспериментальных данных, а также математического описания и полуколичественного анализа вязких свойств фторзамещенных ароматических жидкостей было проанализировано экспоненциальное эмпирическое уравнение, известное как формула Фогеля-Фульчера-Таммана (ФФТ):

$$\eta = \eta_{\infty} \exp\left(\frac{C}{t - t_0}\right).$$



Рисунок

Согласно [2] постоянные этого уравнения η_{∞} , C и t_0 имеют достаточно отчетливый физический смысл. Постоянная η_{∞} является вязкостью при бесконечно большой температуре, константа C показывает, насколько уменьшается вязкость с повышением температуры. Величина t_0 является температурой, при которой вязкость обращается в бесконечность, то есть температурой, при которой жидкость застывает. Однако следует отметить, что температура бесконечной вязкости не совпадает с температурой застывания, а величина C недостаточна для характеристики наклона вязкостно-температурной кривой.

Чтобы проверить справедливость формулы ФФТ для исследуемых объектов, необходимо удостовериться в линейности характеристики $[\ln(\eta/\eta_{\infty})]^{-1} = f(T)$ [2].

Как видно с рисунка, формула ФФТ неприменима для ($C_6H_5SCF_3$) (линия 3). Что касается ($C_6H_5SCH_3$) (линия 1) и ($C_6H_5SCHF_2$) (линия 2), то в рамках ошибок экспериментальных данных возможно использование предложенной формулы с некоторыми примечаниями. Лучшие результаты характерны для вязких химически сложных высокомолекулярных жидкостей, таких как минеральные масла и нефтепродукты [2]. Поэтому формулу целесообразно ограничено применять для полуколичественного анализа вязких характеристик химически и структурно подобных жидкостей.

Таблица

| Вещество | $\eta_{\infty} \cdot 10^5, \text{ Па} \cdot \text{с}$ | C | t_0 |
|----------------|---|---------|--------|
| $C_6H_5SCH_3$ | 7,069 | 1977,97 | -316,1 |
| $C_6H_5SCHF_2$ | 8,304 | 1756,03 | -301,1 |

Список литературы

1. Хорольский, А.В. Исследование сдвиговой и объемной вязкости фторпроизводных фенилметилсульфида / А.В. Хорольский, А.М. Хлопов, А.П. Руденко //Материалы V Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы теоретической и прикладной биофизики, физики и химии БФФХ-2009». – Севастополь, 2009. – С. 40-43.
2. Фукс, Г.И. Вязкость и пластичность нефтепродуктов / Г.И. Фукс. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 328 с.

The analysis of applicability the Vogel-Fulcher-Tamman equation for description of temperature dependence of viscosity for fluorine-substituted phenylmethylsulfide is conducted.

Хорольский Алексей Викторович, студент физико-математического факультета Полтавского педагогического университета имени В.Г.Короленко, Полтава, Украина;

Стеценко Сергей Анатольевич, аспирант физико-математического факультета Полтавского педагогического университета имени В.Г.Короленко, Полтава, Украина, fizika_rudenko@meta.ua;

Хлопов Андрей Михайлович, студент физико-математического факультета Полтавского педагогического университета имени В.Г.Короленко, Полтава, Украина;

Научный руководитель – *Руденко Александр Пантелеймонович*, доктор физико-математических наук, профессор, академик АНВШ Украины, Полтавский государственный педагогический университет имени В.Г. Короленко, Полтава, Украина; fizika_rudenko@meta.ua, allmail@pdpu.poltava.ua.

УДК 539.21

Н.Д. Шайковская, В.И. Шиманский

СТРУКТУРА И МИКРОТВЕРДОСТЬ ТИТАНА, ОБЛУЧЕННОГО МОЩНЫМИ ИОННЫМИ ПУЧКАМИ

В работе исследовалось влияние энергии и плотности тока мощных ионных пучков (МИП) на структуру и микротвердость титана. Обнаружено увеличение микротвердости до 3 ГПа за счет твердофазного упрочнения.

В последние несколько десятилетий большой интерес вызывает использование МИП для модификации поверхностных свойств материалов. Целью данного исследования было изучение влияния энергии и плотности тока МИП на структуру и микротвердость титана.

Объектами исследования являлись образцы технически чистого сплава титана ВТ1-0, которые предварительно подвергались механической шлифовке. Облучение образцов ионами углерода проводилось на ускорителе ТЕМР-4, при плотности тока (j) 25 и 100 А/см² и плотности поглощенной энергии от 15 до 35 Дж/см².

Исследование морфологии поверхности осуществлялось с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ) на микроскопе LEO1455VP. Фазовый состав обработанных систем определялся с помощью рентгеноструктурного анализа на диффрактометре ДРОН-4 в CuK α излучении. Микротвердость измерялась по методу Виккерса на микротвердомере ПМТ-3 с использованием нагрузок от 0,2 Н до 0,5 Н.

Анализ РЭМ-изображений позволил установить, что процесс плавления поверхностного слоя происходит при плотности тока 100 А/см², в то время как при плотности тока 25 А/см² плавление не происходит, что подтверждается наличием полос шлифовки на поверхности обработанного материала.

Величина плотности тока при воздействии МИП влияет на происходящие процессы в поверхностных модифицированных слоях. В случае, когда происходит плавление поверхностного слоя ($j=100$ А/см²), при последующей кристаллизации формируется твердый раствор внедрения атомов углерода в решетку α -титан. Данный процесс сопровождается увеличением параметров решетки (рис.). В случае, когда процесс плавления не происходит ($j=25$ А/см²), наряду с

формированием твердого раствора имеет место процесс образования каскадов смещений за счет высокоэнергетических атомов углерода (энергия ионов ~ 200 кэВ), приводящий к образованию вакансий. Повышение плотности поглощенной энергии приводит к увеличению числа вакансий, и, следовательно, уменьшению параметров решетки (рис.). Следует отметить, что отклонение параметров решетки от равновесных значений может обуславливать возникновение в образцах внутренних напряжений.

Формирование твердых растворов и наличие внутренних напряжений приводят к повышению микротвердости модифицированного слоя. При плотности поглощенной энергии 25 и 35 Дж/см² микротвердость составляет 3 ГПа в поверхностном слое на глубине ~ 2 мкм (исходные образцы характеризовались микротвердостью 2 ГПа).

Таким образом, облучение титана МИП с плотностью поглощенной энергии 15–35 Дж/см² приводит к формированию твердых растворов, обуславливающего увеличение микротвердости до 3 ГПа за счет твердорастворного механизма упрочнения.

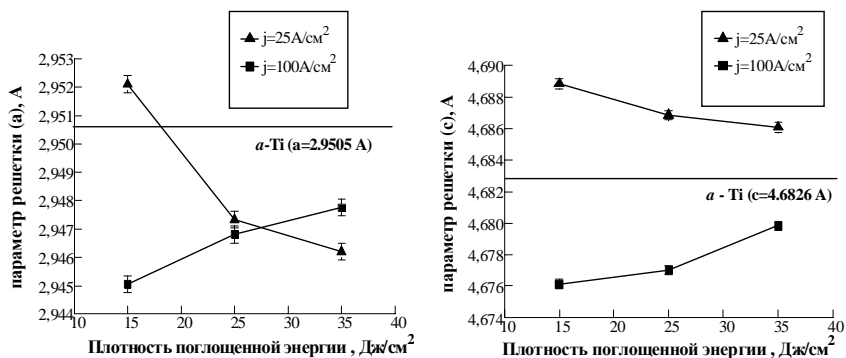


Рисунок – Зависимости параметров решетки a и c α -титана от плотности поглощенной энергии при различных плотностях тока.

The influence of energy and current density of the high-intensity ion beams on the structure and microhardness of titanium has been investigated in this research. The microhardness of titanium has been found to increase up to 3GPa by means of solid solution formation.

Шайковская Надежда Дмитриевна, студентка 3 курса, физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Шиманский Виталий Игоревич, магистрант, физического факультета, Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Углов Владимир Васильевич*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь; Uglov@bsu.by.

УДК 535.8

В.О. Шклейник

МАЛОГАБАРИТНЫЙ ЭЛЕКТРОГАЗОРАЗРЯДНЫЙ ЭКСИМЕРНЫЙ ЛАЗЕР С ИСКРОВОЙ ПРЕДЫОНИЗАЦИЕЙ

Разработана конструкция ХеСl-лазера с укороченной базой. Произведена оптимизация состава рабочей смеси.

Внутри излучателя (см. рисунок) располагались основные электроды (1, 2) и иглы искровой предыонизации (3). Электрод (1) крепился на дюралевой разрядной камере (4), которая герметизировалась через резиновое уплотнение крышкой из гетинакса (5) с расположенным на ней электродом (2).

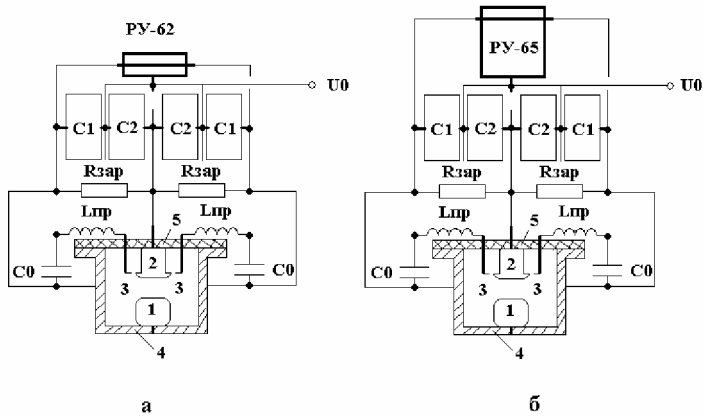


Рисунок - Излучатель и система возбуждения.

За основу системы возбуждения взята схема LC-инвертора с искровой предьонизацией. Каждая игла (3) предьонизации подключалась через индивидуальную индуктивность $L_{пр}$. Такая схема обеспечивала одновременный пробой всех искровых промежутков. Предьонизация основного разрядного промежутка осуществлялась рядами искровых разрядов, которые возникали при подаче импульса возбуждения на основные электроды лазера.

В качестве накопительных емкостей были использованы конденсаторы К15-10 (3,3 нФ; 30 кВ). Полная емкость накопительных конденсаторов составила 52,8 нФ. В качестве обострительных емкостей использовались конденсаторы КВИ-3 (220 пФ; 16 кВ). Полная емкость обострительных конденсаторов составила 5,72 нФ.

При использовании системы возбуждения, представленной на рисунке 1,а была произведена оптимизация состава лазерной смеси. Получена энергия генерации 10 мДж при зарядном напряжении 14 кВ для следующей рабочей смеси: 2 Торр HCl; 30 Торр Хе (общее давление 2,6 атм, буферный газ неон).

Для варианта лазера, схема которого представлена на рисунке 1,б также произведена оптимизация системы возбуждения и состава лазерной смеси. Получена энергия генерации 6 мДж при зарядном напряжении 22,5 кВ и составе рабочей смеси: 2 Торр HCl; 30 Торр Хе (общее давление 2,6 атм, буферный газ неон).

Список литературы

1. Anufrik, S. Optimization of electrodes profile for excimer lasers / S. Anufrik [at al] // IX Международная конференция Импульсные лазеры на переходах атомов и молекул 14-18 сентября 2009, Томск, Россия.
2. Anufrik, S. Modeling of active medium of XeCl excilamps / S. Anufrik [at al] // IX Международная конференция Импульсные лазеры на переходах атомов и молекул 14-18 сентября 2009, Томск, Россия.
3. Anufrik S. Experimental research of XeCl-excilamp with the capacitance discharge / S. Anufrik [at al] // IX Международная конференция Импульсные лазеры на переходах атомов и молекул 14-18 сентября 2009, Томск, Россия.

Шклейник Василий Олегович, магистрант кафедры лазерной физики и спектроскопии физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, dlja-sprama@mail.ru.

Научный руководитель – *Ануфрик Славмир Степанович*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой лазерной физики и спектроскопии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, anufriuk@grsu.by.

УДК 548.735.4: 537.312.54

Н.А. Шурыгина, Г.А. Кузнецова, Д.С. Суворова, Л.А. Щербаченко

РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Выполнено рентгенографическое исследование особенностей субмикроскопического строения полиминеральных дисперсных систем. Установлена корреляция с макроструктурными параметрами.

В различных технологических процессах и в различных отраслях промышленности широкое применение имеют многокомпонентные дисперсные системы. Физические и технологические параметры таких систем определяются как соотношением составляющих их минеральных фаз, так и индивидуальными характеристиками каждой составляющей. Основными компонентами многокомпонентной системы, представляющей собой цементный клинкер, являются трехкальциевый силикат, двухкальциевый силикат, алюминат кальция и алюмоферрит кальция. Несмотря на ряд затруднений, связанных с особенностями дифракционных спектров клинкера, дифракционный количественный анализ клинкерных минералов достаточно хорошо разработан и достаточно давно применяется во многих заводских лабораториях [1]. Наряду с фазовым составом важную и полезную для самых разнообразных промышленных материалов, в том числе и цементного клинкера, информацию может дать изучение субмикроскопического строения вещества.

Нами предпринята попытка рентгеновского определения (установка ДРОН-3М излучение $\text{Cu K}\alpha$) размеров областей когерентного рассеяния (ОКР) промышленного портландцемента двух марок. На рентгенограммах исследуемых объектов свободных от перекрытия и достаточно интенсивных, пригодных для измерения, отражений обнаружено два: на углах $\vartheta \approx 34,5$ град. и $\vartheta \approx 56,7$ град. Размеры ОКР D определялись по формуле Селякова-Шеррера,

плотность хаотически распределенных дислокаций ρ рассчитывалась для случая их хаотического распределения [2]. В таблице приведены характеристики микроструктуры и некоторые макроструктурные параметры исследуемых объектов, свидетельствующие о существенном влиянии субмикроскопического строения на физические свойства исследуемых цементов.

Таблица

| Марка цемента | Размеры областей когерентного рассеяния, $D, \text{Å}$ | Плотность дислокаций, $\rho, 1/\text{см}^2$ | Диэлектрические параметры | |
|---------------|--|---|--|--|
| | | | Действительная часть диэлектрической проницаемости | Тангенс угла диэлектрических потерь, $\cdot 10^{-3}$ |
| 400 | 560 | $9,5 \cdot 10^{10}$ | 3,5 | 0,7 |
| 500 | 490 | $12,5 \cdot 10^{10}$ | 5,0 | 0,9 |

Список литературы

1. Волконский, Б.В., Технологические, физико-механические и физико-химические исследования цементных минералов / Б.В. Волконский, С.Д. Макашев, Н.П. Штейерт. – Ленинград: Изд-во литературы по строительству, 1972. – 303 с.
2. Уманский, Я.С. Рентгенография металлов и полупроводников / Я.С. Уманский. – М.: Металлургия, 1969. – 496 с.

Results of rentgenographic analisys of peculiarities of submicroscopic structure of polimineral dispersed systems are presented. Correlation between this structure and macroscopic properties is established.

Шурыгина Наталья Александровна, аспирантка 2 года обучения физического факультета Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия;

Кузнецова Галина Анатольевна, кандидат физико-математических наук, доцент Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия, kuznetsova@physdep.isu.ru, kuznetsova46@mail.ru.

Суворова Дарья Сергеевна, студентка 3 курса, физического факультета, Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия.

Щербаченко Лия Авенировна, доктор технических наук, профессор Иркутского государственного университета, Иркутск, Россия.

Научный руководитель – *Аграфонов Юрий Васильевич*, доктор физико-математических наук, профессор, Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия.

УДК 678:539

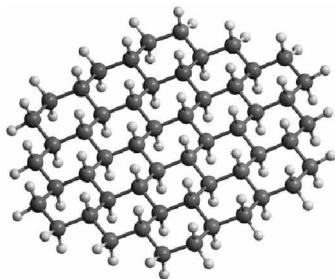
В.В. Янушкевич

УГЛЕРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ КАК МОДИФИКАТОРЫ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Проанализированы структуры, физические свойства и практическое использование известных в настоящее время углеродных соединений: алмаз, графит, графитит, графен, графан, фуллерен, шунгит. А также рассмотрены структурные особенности углеродных кристаллов и нанокристаллов. Проанализированы сходства и различия их основных кристаллохимических характеристик, а также возможности их практического применения.

До недавнего времени были известны две основные фазы углерода, а именно: алмаз и графит. Обе эти фазы давно используются в практической деятельности человека. Обработанный соответствующим образом кристалл алмаза называется бриллиантом и имеет довольно высокую коммерческую стоимость. Но алмаз широко применяется и в различных отраслях промышленности.

Графит – это кристалл, обладающий весьма совершенной спаянностью. Это его свойство обусловило его применение для



изготовления твердых смазок, добавок в смазочные масла. Графит, обладая слоистой структурой, может образовывать природные минералы у которых графитовые слои расположены беспорядочно, проникают друг в друга и могут включать частицы других, обычно

Рисунок – Кристалл графана

силикатных минералов. Такая модификация углерода называется графититом. Исследована эта модификация очень слабо, хотя обладает целым рядом уникальных свойств, вследствие большой удельной и очень активной поверхности [1].

В последние десятилетия обнаружена новая углеродная фаза представляющая собой одномерный нанообъект. Эта фаза называется графен и представляет собой чешуйку составляет 2 графитовых слоя. Предполагается, что эта углеродная модификация имеет хорошую перспективу для её применения в различных нанотехнологиях [2].

В 2009 году появилась первая работа, посвященная описанию еще одной, ранее неизвестной фазы, которая представляет собой одноатомный графитовый слой. Нескомпенсированные связи атомов углерода нейтрализованы ионами водорода в целом вся структура представляет собой ячейку графенового типа. Эта новая фаза была названа графаном(см рисунок) [3].

В 1985 году группа исследователей – Роберт Керл, Харолд Крото, Ричард Смолли, Хит и О’Брайен – исследовали масс-спектры паров графита, полученных при лазерном облучении твёрдого образца, и обнаружили пики с максимальной амплитудой, соответствующие кластерам состоящими из 60 и 70 атомов углерода. Полиэдрические кластеры углерода получили название фуллеренов [4].

Уже достаточно давно известен углерод – силикатный минерал под названием шунгит. Шунгит можно рассматривать как многофазную систему, в которой имеется графитоподобный каркас с внедренными в него силикатными минералами. Шунгиты в диспергированном состоянии обладают высокой поверхностной активностью и уже используются в различных фильтрах, в том числе и для очистки воды.

Список литературы

1. Дядин, Ю.А. Графит и его соединения включения / Ю.А. Дядин //Соросовский образовательный журнал. Т. 6. – № 10. – 2000. – С. 43–49.
2. Морозов, С.В. Электронный транспорт в графене / С.В. Морозов, К.С. Новоселов, А.К. Гейм // УФН. – Т. 178. – № 7. – 2008. – С. 776–780.
3. Elias, D. C. Control of Graphene’s Properties by Reversible Hydrogenation: Evidence for Graphane / D.C. Elias [at al] // Science. – 2009. – V. 323. – P. 610–613.
4. Kroto, H.W. C₆₀: Buckminsterfullerene / H.W. Kroto [at al] // Nature 318, 162 (1985)
5. Лиопо, В.А. Углерод продолжает удивлять / В.А. Лиопо // Альфа. 1999. – № 2. – С. 3–11.

It was described the carbon modifications. There are diamond, graphite, graphitite, graphen, graphan, fullerene and schungite.

Янушкевич Вадим Валерьевич, студент 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы.

Научный руководитель – *Лиопо Валерий Александрович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, liopo@grsu.by.

УДК 538.245:537.226.1

М.В. Ярмолич, А.И. Петрукович

ПОЛЯРОННЫЙ МЕХАНИЗМ ПРОВОДИМОСТИ В НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКОМ $Y_3Fe_5O_{12}$

Методами диэлектрической спектроскопии экспериментально исследованы диэлектрические свойства монокристаллов $Y_3Fe_5O_{12}$. Предложен метод, и вычислен эффективный положительный заряд, вызванный смещениями ионов самолокализующимся в поляронной яме электроном.

Структура кристаллов $Y_3Fe_5O_{12}$ уникальна с точки зрения возможностей вхождения различных примесных ионов в три неэквивалентные (по форме и размерам кислородных полиэдров) катионные подрешетки: тетраэдрическую, октаэдрическую и додекаэдрическую. Предпочтение ионов к занятию определенного сорта позиций в структуре граната в основном определяется размерным фактором (ионным радиусом). В процессе роста кристаллов неизбежны нарушения стехиометрии и образование дефектов, обусловленных ростовой и морфологической анизотропией [1]. Данное обстоятельство приводит к тому, что даже в таких совершенных образцах, какими являются монокристаллы гранатов, возможно наличие структурных несовершенств и различного вида неоднородностей, возникающих в объеме и на поверхности образцов, как при их выращивании, так и при последующей механической обработке.

Рассмотрены закономерности поведения оптической диэлектрической проницаемости ϵ_∞ при отклонении состава кристалла от стехиометрического в связи с дефицитом кислорода и наличием некоторых технологических примесей. Вычисленная по соотношению Лорентц-Лоренца вещественная составляющая комплексной

диэлектрической проницаемости, обусловленная смещениями электронов, для стехиометрических образцов граната достаточно хорошо согласуется с экспериментальной величиной ϵ_{∞} , полученной из ИК спектров отражения. Мнимая составляющая проницаемости ϵ_2 , обусловленная отставанием поляризации от изменений электрического поля, пропорциональна величине поглощенной энергии.

Несмотря на то, что различие между экспериментальными и расчетными величинами проницаемости находится в пределах точности определения восстановленной из спектров отражения ϵ_{∞} , найденный из условия электронейтральности заряд катионов представляется нереальным. Наличие t в кристаллах большого количества ионов Fe^{2+} должно было бы привести к большой электропроводности n – типа. Измерения термо-ЭДС на ряде образцов свидетельствуют о проводимости p – типа, которая может осуществляться с участием кислородных вакансий Δ^{2-} представляющих собой полярон малого радиуса $(0.50-0.75)\text{\AA}$.

Из условия электронейтральности кристалла рассчитаны количества ионов Fe^{3+} , Fe^{2+} , O^{2-} , O^{1-} и вакансий Δ^{2-} в нестехиометрическом феррите гранате иттрия, соответствующие совпадению рассчитанных и экспериментальных величин ϵ_{∞} . Наблюдаемое уменьшение величины диэлектрической проницаемости, обусловленной упругими смещениями электронов, при увеличении дефицита кислорода в исследуемых образцах, можно объяснить тем, что величина электронной поляризуемости этих ионов превалирует над поляризуемостью катионов и анионных вакансий.

В рамках полуэмпирического подхода выявлено уменьшение оптической диэлектрической проницаемости ϵ_{∞} железо-иттриевых гранатов при увеличении в них дефицита кислорода по сравнению со стехиометрическим составом, обусловленное доминирующим вкладом поляризуемости ионов кислорода в результирующую поляризуемость формульной единицы граната. Использование соотношения Лорентц-Лоренца для вычисления ϵ_{∞} и формулы Кирквуда для расчета электронной поляризуемости ионов позволяет получить удовлетворительное согласие вычисленных величин ϵ_{∞} с экспериментальными значениями, при предположении наличия в

составе гранатов ионов железа и кислорода не только номинальных валентностей, а также присутствия в дефектных образцах заряженных вакансий по кислороду.

Список литературы

1. Ломако, И.Д. Оптические свойства чистых и легированных монокристаллов $Y_3Fe_5O_{12}$ / И.Д. Ломако, Т.В. Смирнова, А.Н. Игуменцев [и др.] // ЖПС. – 1996. – Т. 63. – С. 667–675.

Dielectric properties of monocrystals $Y_3Fe_5O_{12}$ were studied by method of dielectric spectroscopy. The method is offered and the effective positive charge caused by the displacement of ions by an electron, self-localizing in a polaron hole is calculated.

Ярмолич Марта Викторовна, студентка 3 курса физического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест, Беларусь;

Петрукович Анастасия Ивановна, студентка 3 курса физического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина, Брест, Беларусь.

Научный руководитель – *Макоед Игорь Иванович*, доцент, кандидат физико-математических наук, физический факультет, Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина, Брест, Беларусь, makloed@brsu.brest.by.

Секция 3

КОНДЕНСИРОВАННЫЕ СОСТОЯНИЯ В ТЕХНИКЕ

УДК 539.21

Д.В. Амяга

ПОВЕРХНОСТНАЯ ОБРАБОТКА ЗАЭВТЕКТИЧЕСКОГО СИЛУМИНА ПЛАЗМЕННЫМИ ПОТОКАМИ КВАЗИСТАЦИОНАРНОГО УСКОРИТЕЛЯ

Исследованы механические свойства приповерхностного слоя заэвтектического силумина, подвергнутого обработке импульсами азотной плазмы.

В настоящее время активно разрабатываются и исследуются новые методы модификации состояния поверхностного слоя различных материалов с целью придания им требуемых свойств, так как возможности традиционных методов химико-термической обработки практически исчерпаны. Принципиально новые возможности для модификации поверхностных свойств различных материалов и существенного улучшения их эксплуатационных характеристик предоставило использование в промышленности концентрированных потоков энергии. Особенно актуальным является применение таких методов для модификации алюминиевых сплавов, более широкое применение которых в промышленности сдерживается низкими трибологическими и прочностными характеристиками.

Объектом исследования являлся заэвтектический силумин (Si 20 ат %).

Обработку образцов конденсированными плазменными потоками (КПП) осуществляли в газоразрядном магнитоплазменном компрессоре компактной геометрии[1]. Длительность разряда составляла ~100 мкс. Эксперименты проводили в режиме «остаточного газа», при котором предварительно откаченную вакуумную камеру магнитоплазменного компрессора заполняли рабочим газом (азотом) до давления 400 Па.

Исследования проводились при варьировании следующих параметров: расстояние между катодом и образцом, давление газа(3-20

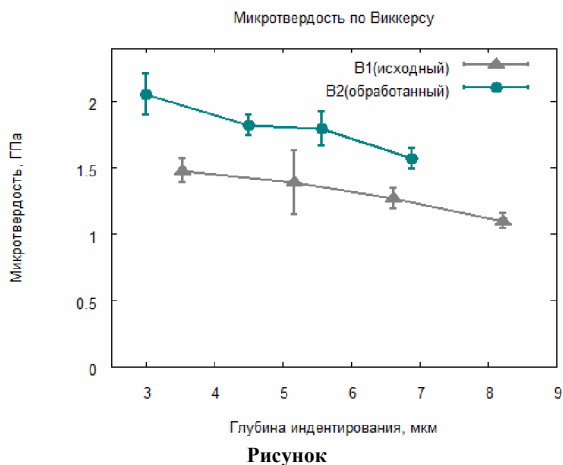
тор). Изменение этих параметров позволяет варьировать энергию, поглощенную поверхностью образца.

Измерение твердости по Виккерсу методом микроиндентирования выполнялось на приборе ПМТ-3 в диапазоне

нагрузок на индентор 0,5-2,0 Н. Максимальная глубина проникновения индентора составляла 8-9 мкм.

Трибологические тесты проводились при возвратно-поступательном движении индентора, изготовленного из сплава ВК8(92%WC, 8%Co) по поверхности образца при нагрузке 0,1 Н в условиях сухого трения

Проведенные исследования показали, что обработка КПП приводит к изменению микротвердости силумина, так поверхностная микротвердость образца, обработанного 5 импульсами на расстоянии 10 см до катода и давлении 3 тор повысилась в 1,5-2 раза по сравнению с исходным образцом, что видно из графика на рисунке.



Список литературы

1. Асташинский, В.М. Выбор режимов работы и параметры плазмы магнитоплазменного компрессора / В.М. Асташинский, Г.И. Баканович, А.М. Кузьмицкий, Л.Я. Минько. // Инж.-физич. журнал, 1992. – Т. 62. – С. 386–390.

Mechanical properties of the near surface layers of silumin exposed to the pulses of nitrogen plasma have been investigated. It was found that the pulsed plasma treatment results in increasing of microhardness of silumin.

Амяга Джон Васильевич, студент 3 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск Беларусь, Joooneg@yandex.ru.

Научный руководитель – *Черенда Николай Николаевич*, кандидат физико-математических наук, доцент, специалист в области взаимодействия ионно-плазменных потоков с веществом и радиационного материаловедения, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, cherenda@bsu.by.

УДК 621.833:62-294

К.Э. Баглай

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРЕЦИЗИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ

В настоящей работе было изучено влияние конструкции токарных патронов, выпускаемых на заводе РУП «БелТАПАЗ», на безопасность труда. Предложена конструкция конической шестерни токарного самозажимного патрона.

При ручном закреплении заготовки в токарный патрон рабочий токарь-станочник может оставить патронный ключ в конической шестерне. В этом случае при включении станка оставленный ключ под действием центробежной силы вылетает из токарного патрона и наносит повреждения оборудованию и травмирует рабочего.

На основании патента «RU 2018414 C1 – Шестерня патрона токарного станка» мной была изменена коническая шестерня, которая служит для ручного закрепления заготовки в токарном патроне. Устройство этой шестерни исключает нахождение ключа в токарном патроне после закрепления заготовки.

Когда рабочий вставляет ключ в шестерню, тонкий конец стержня толкает подпружиненный шарик, который сжимает пружину. После закрепления детали ключ выталкивается под действием пружины.

Пружина по ГОСТ 13770-86. Проволока В-2-0,80, ГОСТ 9389-75, кольцо С13 ГОСТ 13943-86, шарик 9 ГОСТ 3722-81.

Проведены лабораторные испытания опытной конструкции конической шестерни, которые показывают эффективность её применения в действующей конструкции токарного патрона.

Данная конструкция позволяет обеспечить выталкивание ключа из гнезда шестерни, когда рабочий не прилагает усилия.

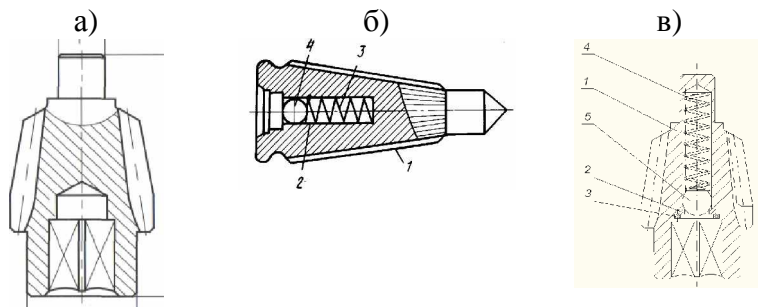


Рисунок 1 – Конические шестерни: а) стандартная коническая шестерня выпускаемая на заводе РУП «БелТАПАЗ»; б) коническая шестерня из патента «RU 2018414 С1 – Шестерня патрона токарного станка»; в) разработанная коническая шестерня. 1 – шестерня; 2 – шайба; 3 – внутреннее эксцентрическое стопорное кольцо; 4 – пружина; 5 – подпружиненный шарик

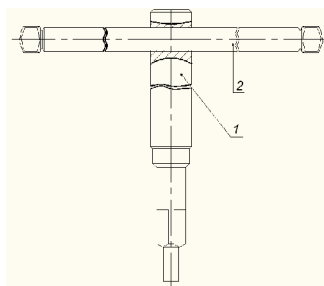


Рисунок 2 – Ключ: 1 – стержень; 2 – ручка

Список литературы

1. Ануриев, В.И. Справочник конструктора машиностроителя: В 3 т. Т. 3. / В.И. Ануриев.; под редакцией И.Н. Жестковой. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 864 с.: ил.

2. Анурьев, В.И. Справочник конструктора машиностроителя: В 3 т. Т. 1. /В.И. Анурьев.; под редакцией И.Н. Жестковой. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.: ил.
3. Каталог токарных патронов завода БелТАПАЗ.

In the present work influence of a design of the turning cartridges which are let out at factory RUP "БелТАПАЗ" on safety of work has been studied. The design of a conic gear wheel of a turning self-tightening cartridge is offered.

Баглай Константин Эдуардович, студент 5 курса, факультета строительства и транспорта, Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Струк Василий Александрович*, доктор технических наук, профессор, Гродненский государственный аграрный университет, Гродно, Беларусь.

УДК 621.77:539.21

Е.Г. Белов, С.В. Коновалов, Д.В. Загуляев, В.Е. Громов

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ПРОКАТА С ЦЕЛЬЮ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЫШЕННОГО КОМПЛЕКСА МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ*

Описана технология выбора оптимальных режимов термомеханического упрочнения проката с целью формирования повышенного комплекса механических свойств готового продукта.

Разработанные оптимальные режимы термомеханического упрочнения проката включают режим нагрева заготовок в методических печах, температурные и скоростные режимы прокатки, калибровку валков, охлаждения металла на холодильнике и правки профилей на роликоправильных машинах, а также технологию резки.

* работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013гг» (гос. контракт № П332).

За основу разработки новой технологии производства монорельса ДП155 взята ранее освоенная на стане калибровка двутавровой балки 14Б2, по которой сечение полосы в 11 универсальной клетки наиболее приближено к профилю монорельса. За счет корректировки режимов обжатий на 7 и 9 клетки, без изменения формы калибра, подкат в чистовую группу уменьшен по высоте на 11% и увеличен по толщине полок на 10%. Это перераспределение металла по сечению, позволило получить подкат из черновой группы клеток с соотношением толщины полки к средней толщине стенки равным 2,18.

Произведена прокатка профиля ДП155 из стали 09Г2С, во время которой регистрировались температурные и энергосиловые параметры. Скорость прокатки составила 5.9 м/сек. Замер энергосиловых параметров показал, что загрузка главных приводов по току не превысила номинальную и достигла 70% от номинала в черновой группе, а в чистовой группе клеток было достигнуто увеличение обжатий по сравнению с предыдущей калибровкой. Загруженность по току клетки №11 возросла с 30% до 50%, от номинального значения, в чистовой 14 клетки загруженность достигла 39%, против 25%.

На холодильнике раскат охлаждался до температуры стенки ~110, на каждом последующем «зубе» холодильника температура стенки изменялась на 10°C. Полки готового профиля по сравнению со стенкой более массивны, имеют температуру на ~5÷10°C выше. Для достижения такой температуры металла позволяющей производить правку на роликоправильных машинах, расположенных сразу за холодильником, выбрали темп прокатки 60 шт/час длиной до 110 м.

Прокатка проходила устойчиво, без ударов, скручивания раскатов вокруг продольной оси и повреждений валковой арматуры, что свидетельствует о правильном выборе схемы и рациональном распределении обжатий. Все прокатанные плавки соответствуют классу прочности 325 согласно ГОСТ 19281-89.

Таким образом, выбранная схема прокатки и скорректированная калибровка валков обеспечивает: соответствие геометрических размеров балок требованиям к готовой продукции, гарантированное получение профиля в требуемом поле допусков; высокое качество поверхности профилей; поддержание температуры прокатки в заданных пределах в каждом проходе для обеспечения заданных механических свойств; прямолинейный выход раскатов из калибров; отсутствие

ударов и излишних напряжений в приводах клетей; минимальный расход энергии; стабильность процесса.

The technology of the selection of the optimum regimes of thermomechanical strengthening of rental for the purpose of shaping of the increased combination of the mechanical properties of finished product is described.

Белов Евгений Геннадьевич, аспирант факультета материаловедения и обработки металлов давлением Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, konovalov@physics.sibsiu.ru.

Коновалов Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры физики факультета материаловедения и обработки металла давлением Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, konovalov@physics.sibsiu.ru.

Загуляев Дмитрий Валерьевич, аспирант факультета материаловедения и обработки металлов давлением Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, zagulyaev_dv@physics.sibsiu.ru.

Громов Виктор Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, gromov@physics.sibsiu.ru.

Научный руководитель – *Громов Виктор Евгеньевич*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, gromov@physics.sibsiu.ru.

УДК 539.21

Н.В. Бибик

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СТАЛИ P18 ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КОМПРЕССИОННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ

В данной работе было исследовано изменение элементного и фазового состава поверхностного слоя быстрорежущей стали P18 при воздействии на нее компрессионными импульсами азотной плазмы с плотностью поглощенной энергии от 9 до 23 Дж/см² за импульс.

В настоящее время, применение компрессионных плазменных потоков (КПП) открывает широкие перспективы в области

модификации материалов. Разработаны методы модификации поверхностных слоев железа и его сплавов, которые приводят к улучшению физико-механических свойств материала, таких как твердость, износостойкость, пластичность, теплостойкость и др. [1,2].

В данной работе представлены результаты исследования структурно-фазовых превращений и изменения элементного состава стали P18 под действием потоков плазмы, сформированных в квазистационарном плазменном ускорителе, при различной энергии, поставляемой плазменным потоком.

Объектом исследования являлась сталь P18, относящаяся к быстрорежущим высоколегированным сталям вольфрамового класса. В ее состав входят 17,0-18,5% W; 3,8-4,4% Cr; 1,0-1,4% V; 0,7-0,8% C и до 1% Mo (в вес.%). Данные элементы в определенных температурно-временных условиях формируют в стали частицы карбидной фазы, присутствие которых приводит к упрочнению материала. Как правило, в быстрорежущих сталях основной карбидной фазой является сложнелегированный карбид состава M_6C , где «M» — элементы, образующие металлическую основу карбида (Fe, W, Cr, Mo, V) [3].

Плазменная обработка образцов проводилась в газоразрядном магнитоплазменном компрессоре (МПК) компактной геометрии, в котором ускорение плазмы в аксиально-симметричной системе двух электродов сопровождается ее сжатием за счет взаимодействия продольной составляющей тока с собственным азимутальным магнитным полем [4]. Эксперименты проводились в режиме «остаточного газа», при котором предварительно откаченную камеру заполняли рабочим газом (азотом) до давления в 400 Па. Согласно проведенным калориметрическим измерениям плотность поглощенной энергии (Q) в зависимости от его удаления от среза разрядного устройства МПК составляет $9 \div 23 \text{ Дж/см}^2$. Длительность разряда составляла $\sim 100 \text{ мкс}$. Обработку образцов производили тремя импульсами. Рентгеноструктурный анализ проводился на дифрактометре ДРОН 4-13 в CuK_α -излучении. Морфология поверхности образцов исследовалась с помощью растрового электронного микроскопа LEO1455VP с энергодисперсионным рентгеновским микроанализатором Röntec.

Фазовый анализ (см. рисунок) показал, что в исходном состоянии основной фазой матрицы стали P18 является $\alpha\text{-Fe}$ с ОЦК кристаллической решеткой. Вторая фаза по объемной доле в составе

стали — это карбид M_6C . Необходимо отметить, что в этой стали карбид M_6C является сложным карбидом вольфрама, отвечающим формуле Fe_3W_3C однако его дифракционный максимум смещен в сторону больших углов по сравнению с табличными данными. Согласно литературным данным [3] это объясняется тем, что хром, ванадий и железо замещают в карбиде часть атомов вольфрама и уменьшают период решетки. Воздействие на образцы импульсами КПП приводит к растворению карбидов, а также формированию аустенита, смещение дифракционных линий которого свидетельствует о внедрении в решетку легирующих элементов. С увеличением плотности поглощенной энергии интенсивность линий γ -Fe возрастает.

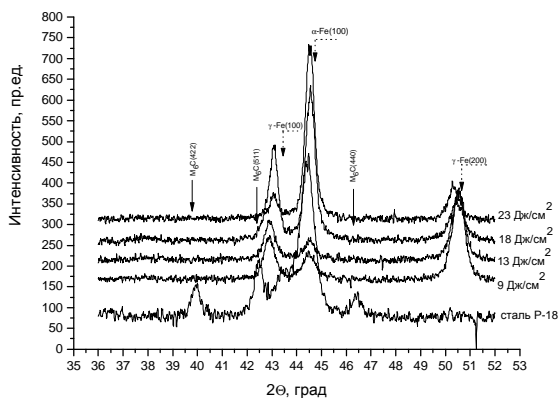


Рисунок – Рентгенограммы исходной стали и образцов, подвергнуты воздействию КПП при различном значении Q

Исследование морфологии поверхности образцов, подвергнутых воздействию КПП, подтверждает частичное растворение карбидов, которое усиливается с увеличением плотности поглощенной энергии. При этом образуются светлые области, в которых наблюдается повышенная концентрация вольфрама и других легирующих элементов. Для данных областей характерно также растрескивание поверхности. В результате исследования элементного состава образцов, обработанных при $Q = 13$ дж/см² были обнаружены области размером в несколько микрометров, предположительно относящиеся к карбиду ванадия VC,

который согласно [3] практически не растворятся в сталях, содержащих карбид M_6C . С увеличением плотности энергии выделения карбида VC обнаружены не были.

Таким образом, воздействию компрессионными плазменными потоками на быстрорежущую сталь P18 позволяет сформировать модифицированный слой, фазовый состав которого контролируется параметрами обработки материала.

Список литературы

1. Углов, В.В. Поверхностная обработка инструментальных сталей плазменными потоками квазистационарного ускорителя / В.В. Углов [и др.] // ФХОМ, 2004. – № 5. – С. 44–49.
2. Anishchik, V.M. Compressive plasma flows interaction with steel surface: structure and mechanical properties of modified layer / V.M. Anishchik [at al] // Vacuum, 2003. – V. 70. – P. 269–274.
3. Геллер, Ю.А. Инструментальные стали / Ю.А. Геллер. – М.: Металлургия, 1983. – 527 с.
4. Физика и применение плазменных ускорителей / под. ред. А. И. Морозова. – Минск, 1974.

In this work the elemental and phase composition of the surface layer of high speed steel after compression plasma flows (absorbed energy 9 – 23 J/cm²) influence are investigated.

Бибик Наталья Викторовна, студентка 5 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Черенда Николай Николаевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики твердого тела, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, cherenda@bsu.by.

УДК 548.735:669.872

Ван Цзинцзе

ЗЕРЕННАЯ СТРУКТУРА БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ ФОЛЬГ ИНДИЯ

Быстрозатвердевшие фольги индия имеют поликристаллическую структуру. Максимальная хорда сечений зерен, выходящих на поверхность

фольги, достигает 400 мкм. Средний размер зерен составляет 75 мкм. В быстрозатвердевших фольгах формируется текстура (002).

Ограничения на использование легкоплавких сплавов, содержащих вредные для здоровья компоненты (например, свинец, кадмий и др.), вызвали в последнее десятилетие резкое увеличение числа публикаций, посвященных исследованию материалов, в составе которых вышеуказанные компоненты заменены менее опасными. К числу таких заменителей относится олово, цинк, индий и серебро.

Быстрозатвердевшие фольги индия получены кристаллизацией капли расплава на внутренней полированной поверхности вращающегося медного цилиндра диаметром 20 см. Частота вращения диска изменялась от 10 до 70 об/с. Скорость охлаждения расплава, как показал расчет, находилась в пределах 10^5 К 10^6 К/с. Рентгенографические исследования выполнены на дифрактометре ДРОН-3. Текстура фольг изучалась методом обратных полюсных фигур. Полюсные плотности рассчитывались по методу Харисса. Исследование зеренной структуры фольг проведено с помощью растрового электронного микроскопа LEO 1455VP, оснащенного приставкой фазового анализа HKL Channel 5.

Быстрозатвердевшие фольги индия имеют поликристаллическую структуру. На поверхности фольги, контактирующей с поверхностью кристаллизатора, наблюдаются неравноосные зерна, размер некоторых из них достигал 0,4 мм. Распределение максимальных хорд сечений зерен, выходящих на поверхность фольги, приведено на рисунке. Из гистограммы видно, что около 50 % всех зерен относятся к минимальной размерной группе, для которой верхняя граница равна 50 мкм. Оставшаяся часть зерен распределена по другим размерным группам. Средний размер зерен, определенный методом секущих, равен 75 мкм.

В таблице приведены полюсные плотности дифракционных линий для фольг, полученных при различных частотах вращения цилиндра. Рентгеновское излучение падало на поверхность фольги,

контактирующей с поверхностью кристаллизатора. Максимальное значение полюсной плотности принадлежит дифракционной линии 202, что указывает на формирование текстуры (202).

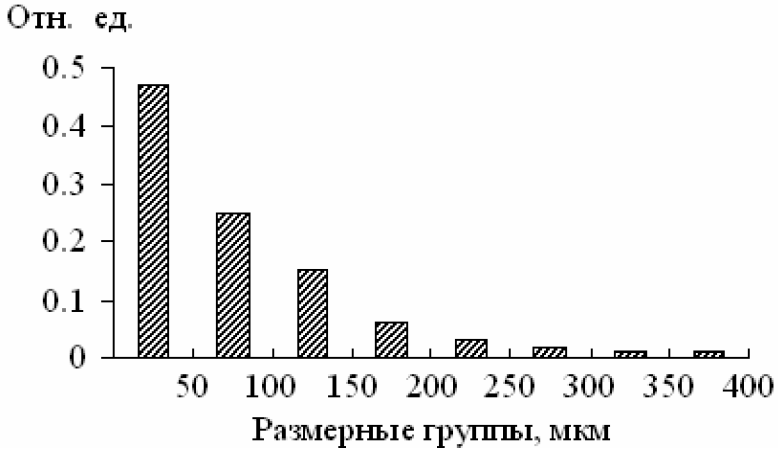


Рисунок – Распределение максимальных хорд зерен по размерным группам

Таблица – Полюсные плотности дифракционных линий индия

| Частота вращения цилиндра (об/с) | Дифракционные линии | | | | | | | |
|----------------------------------|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 002 | 110 | 112 | 200 | 103 | 211 | 202 | 213 |
| 10 | 1,5 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,4 | 2,8 | 0,4 |
| 30 | 0,8 | 1,0 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 3,9 | 0,3 |
| 40 | 0,8 | 0,9 | 0,7 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | 3,7 | 0,3 |
| 60 | 0,9 | 0,5 | 0,9 | 0,9 | 0,4 | 0,3 | 3,5 | 0,5 |
| 70 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 0,6 | 0,5 | 0,6 | 3,6 | 0,5 |

Structure of rapidly solidified In foils were investigated. Average size of grains and texture were determined.

Ван Цзинцзе, аспирант физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, wjz_hit@sina.com.

Научный руководитель – *Шепелевич Василий Григорьевич*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, shepelevich@bsu.by.

УДК 548.24

С.Л. Гей

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ОСТАТОЧНЫХ ДВОЙНИКОВ НА НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЯХ ПРИ ДЕЙСТВИИ КОНЦЕНТРИРОВАННОЙ НАГРУЗКИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ Vi и Zn

Исследованы особенности зарождения и варианты развития деформационных двойников при индентировании алмазной пирамидкой Виккерса плоскости спайности монокристаллов Vi и Zn при неизменной ориентации образца и индентора.

В гексагональной решетке цинка и ромбоэдрической решетке висмута все плоскости и направления двойникования кристаллографически эквивалентны по отношению к концентрированной нагрузке, перпендикулярной плоскости спайности. При условии, что релаксация напряжений, создаваемых индентором, осуществляется преимущественно двойникованием, у отпечатка 136-градусной алмазной пирамидки Виккерса на плоскостях спайности кристаллов можно ожидать появление симметричной шестилучевой розетки двойников. Следует, однако, отметить, что квадратная в сечении пирамидка Виккерса и плоскости спайности решеток висмута и цинка не имеют общей оси симметрии, поэтому невозможно выбрать ориентацию образца и пирамидки, при которой во всех плоскостях и направлениях двойникования создавались бы одинаковые сдвиговые напряжения. По этой причине в зарождении и развитии двойников по разным плоскостям двойникования можно ожидать анизотропию, обусловленную выбранной ориентацией образца и индентора.

Для проведения экспериментов использовался автоматический микротвердомер НВММТ-Х7, рабочие образцы Vi и Zn в котором закреплялись в специальном зажимном устройстве, при этом контролировалась параллельность рабочей поверхности образца и

опорной поверхности зажимного устройства. Скорость опускания пирамидки составляла 50 мкм/с, выдержка образца под нагрузкой – 10 с.

В сериях из 260 отпечатков с нагрузкой на индентор 0,1 Н при наиболее «неудобной» для симметричного развития двойников ориентировки образца и индентора обнаружено три варианта развития механических двойников.

Предполагалось, что вершины отпечатка будут местами; преимущественного зарождения деформационных двойников, контролируемых внешней нагрузкой. Однако, у всей совокупности отпечатков достаточно полно представлены механические двойники всех плоскостей двойникования, при этом у каждого из отпечатков возникают двойники преимущественно одной из трех возможных ориентаций. Форма отпечатков, полученных в строго идентичных условиях, искажена, и характер этих искажений однозначно связан с деформационными двойниками: клиновидные двойники либо искривляют противоположные стороны отпечатка, либо приводят к заметному различию в величине диагоналей. Во всех случаях искажения формы отпечатков сопровождаются изменением их фактической площади. Таким образом, обнаруженное явление ставит под сомнение достоверность значения микротвердости, определяемой на двойникующихся кристаллах традиционными методиками.

Features of origin and alternatives of development of deformation twins are examined by indentation of diamond indenter a Vickers a cleavage plane of monocrystals Bi and Zn at invariable orientation of the sample and an indenter.

Гей Снежана Лаврентьевна, аспирант факультета строительства и транспорта Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, sneg-mail@list.ru.

Научный руководитель – *Башмаков Виктор Иванович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры технической механики, факультет строительства и транспорта, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, t.chikova@grsu.by.

УДК 548.24

С.Л. Гей, П.А. Ховатов

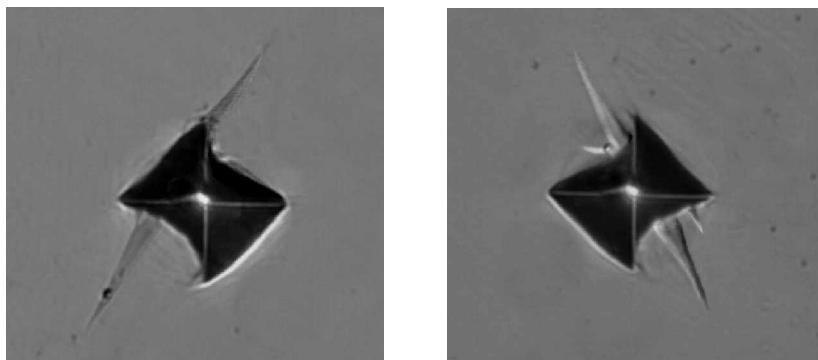
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ДВОЙНИКОВ С ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРОВАННЫМИ ЗОНАМИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ ЦИНКА

Обнаружено явление деформирования зоны отпечатка, создаваемого алмазной пирамидкой Виккерса, при зарождении и развитии деформационных двойников в монокристаллах цинка.

Деформирование монокристаллов цинка проводилось путем микроиндентирования плоскости (0001) алмазной пирамидкой Виккерса на автоматическом микротвердомере НWММТ-Х7. Под действием концентрированной нагрузки на плоскости спайности монокристалла появляется отпечаток микротвердости с серией клиновидных двойников. Эксперимент проводился по схеме повторного нагружения кристалла в ту же лунку с возрастающей нагрузкой. Каждый отпечаток формировался при ступенчатом повышении усилия на индентор со значениями: 0,01; 0,03; 0,05; 0,1; 0,25 и 0,5 Н. Кристалл выдерживался под нагрузкой 10с, время между ступенями нагружения составляло 2-3 минуты, скорость опускания пирамидки – 50 мкм/с. После каждой ступени нагружения отпечаток фиксировался оптической видеокамерой.

До появления двойников отпечатки имеют форму квадратов. Двойники зарождаются при достижении отпечатком определенных размеров. Зарождение и рост двойников приводит к искажению отпечатка и появлению вогнутости его сторон.

Линии симметрии двойников, искажающих стороны отпечатков, никогда не проходят через центр отпечатка, что свидетельствует о непричастности к их зарождению максимальных напряжений, создаваемых индентором под вершиной отпечатка. Это релаксационные двойники, которые зарождаются на концентраторах напряжений, создаваемых предшествующим двойникованию скольжением.



Рисунок

Большинство релаксационных двойников имеют клиновидную форму с максимальной толщиной клина в месте стыковки с отпечатком. Это позволяет утверждать, что источники двойникующих дислокаций активируются на гранях отпечатка и двойникующие дислокации перемещаются из более искаженных областей кристалла у отпечатка в сторону более совершенной решетки вдали от него. Причиной изменения геометрии отпечатка являются обратимые изменения размеров упруго-пластической зоны под отпечатком.

The phenomenon deformation of a zone indentation created by a diamond indenter of Vickers at origin and development of deformation twins in zinc monocrystals is revealed.

Гей Снежана Лаврентьевна, аспирант факультета строительства и транспорта Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, sneg-mail@list.ru.

Ховатов Павел Анатольевич, преподаватель кафедры технической механики факультета строительства и транспорта Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, ktm@grsu.by.

Научный руководитель – *Башмаков Виктор Иванович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры технической механики, факультет строительства и транспорта, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, t.chikova@grsu.by.

УДК 629.1.01

Д.С. Глубокий

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА АВТОМОБИЛЬНЫХ АМОРТИЗАТОРОВ

Целью работы является увеличение эксплуатационного ресурса амортизатора путем модифицирования амортизаторной жидкости ультрадисперсными фторсодержащими присадками.

В настоящее время в Беларуси существует несколько предприятий которые выпускают амортизаторы. Одним из них является ОАО “Белкард”. Объемы производства предприятия исчисляются сотнями тысяч штук год. Однако эксплуатационный ресурс отечественных амортизаторов ниже импортных аналогов производимых такими известными компаниями как Monroe, Kayaba, Bilstein. В связи с этим возникает проблема увеличения эксплуатационного ресурса отечественных амортизаторов, а так же их потребительских характеристик.

Целью работы является увеличение эксплуатационного ресурса амортизатора, путем модифицирования амортизаторной жидкости ультрадисперсными фторсодержащими присадками. Добавление фторсодержащей присадки в стандартную амортизаторную жидкость, приводит к увеличению эксплуатационного ресурса амортизатора.

Испытания амортизатора проводили на испытательном стенде VDA. Исходная амортизирующая среда АЖ-12Т модифицирована фторсодержащей присадкой. Усилия сжатия и усилия отбоя амортизатора измеряли при температуре 20°C на восьми скоростных режимах. Полученная зависимость представлена ниже на диаграмме (рисунок).

Анализируя полученные результаты можно сказать, при температуре амортизатора $T = 20^{\circ}\text{C}$, после добавления присадки на малых скоростях дросельного режима было замечено уменьшение усилий отбоя и сжатия. На средних и высоких скоростях клапанного режима усилия отбоя и сжатия увеличились.



Рисунок – Зависимость усилия отбоя от скорости при T = 20°C

По результатам эксперимента можно сделать следующий вывод, что данная присадка улучшает показатели усилий отбоя и сжатия, и как следствие приводит к увеличению эксплуатационного ресурса автомобильного амортизатора. Однако для более достоверных выводов необходимо произвести ряд дополнительных испытаний.

Список литературы

1. Раймпель, Й. Шасси автомобиля, амортизаторы, шины и колеса / Й. Раймпель. – М. – Машиностроение, 1986.
2. Скиндер, И.Б. Гидравлические телескопические амортизаторы. Атлас конструкций / И.Б. Скиндер, Ю.А. Лиэпа. – М.: Машиностроение, 1968.
3. Периодическое издание газета «Автодайжест». 01.04.2009. – № 615.
4. Дербаремдикер А.Д. Гидравлические амортизаторы автомобилей / А.Д. Дербаремдикер. – Машиностроение, 1969.
5. Бойкачев М.А. Эксплуатационные материалы. Ч. 2: Смазочные материалы и технические жидкости: пособие для студентов транспортных специальностей / М.А. Бойкачев. – Гомель: УО "БелГУТ", 2004.

The purpose of work is to increase the operational resource shock absorber, by modifying the absorber fluid ultra fluoride additives.

Глубокий Денис Станиславович, студент 5 курса факультета строительства и транспорта Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, dzianis.hluboki@gmail.com.

Научный руководитель – Авдейчик Сергей Валентинович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой МиРТ, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы.

УДК 539.21: 538.975

М.А. Данилюк

ВНУТРЕННИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В НИТРИДЕ ЦИРКОНИЯ, ПЕРСПЕКТИВНОМ МАТЕРИАЛЕ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Сформированы нанокристаллические покрытия нитрида циркония и методами рентгеноструктурного анализа, исследована эволюция внутренних напряжений термически обработанных ($400 \div 1000^\circ\text{C}$) образцов.

Современные тенденции развития ядерных технологий демонстрируют ослабление позиций водо-водяных энергетических реакторов и перспективы широкого применения высокотемпературных реакторов IV поколения. В таких реакторах ядерное топливо, содержащееся в гранулах, должно полностью выгорать, обеспечивая ядерную безопасность.

Актуальным является разработка новых материалов покрытия гранул, обладающих высокой термической стабильностью, коррозионной и радиационной стойкостью. Поэтому наибольший научный интерес представляет формирование и изучение материалов, из которых изготавливаются оболочки гранул.

Перспективными для покрытия гранул являются наноструктурированные материалы, получаемые методами ионно-плазменного осаждения. Такие покрытия обладают необходимыми свойствами для их использования в качестве покрытий для изготовления гранул с ядерным топливом [1].

К перспективным материалам – кандидатам для использования, следует отнести нитриды титана [1] и циркония [2]. В случае наноструктурированного состояния, их радиационная стойкость значительно увеличивается. В частности, для наноструктурированного

нитрида титана (размер зерна 8 – 100 нм), облученного ионами He^+ с энергией 35 кэВ при комнатной температуре, установлено эффективное подавление поро-, блистеро- и флекингаобразования [1]. В связи с этим, в настоящей работе рассматриваются проблемы связанные, во-первых, с синтезом наноструктурированного нитрида циркония, и во-вторых, с исследованием его структуры, в температурном интервале, соответствующем рабочему диапазону высокотемпературных реакторов.

Покрытие нитрида циркония формировалось при конденсации циркония с ионной бомбардировкой. Использование ионизированных потоков позволяет диспергировать структуру [3]. Изотермический отжиг проводился на воздухе в интервале от 400 до 1000°C.

Покрытия изучались с помощью методов рентгеноструктурного анализа. Для расчета макронапряжений использовался метод $\sin^2 \psi$, для микронапряжений – методы гармонического анализа, аппроксимации и моментов.

Обнаружено, что для всех изучаемых температур, покрытия являются нанокристаллическими (размер зерна 10 – 80 нм.). Рассчитанные макро- и микронапряжения в покрытиях нитрида циркония составляют 2 – 4 и 0.5 – 2 ГПа соответственно. Полученные результаты обсуждаются на основе существующих механизмов и моделей термической стабильности наноструктурированных материалов.

Список литературы

1. Wang, H. Ion irradiation effects in nanocrystalline TiN coatings / H. Wang [at al] // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. – 2007. – В 261. – P. 1162–1166.
2. Ciriello, A. Thermophysical characterization of nitrides inert matrices: Preliminary results on zirconium nitride / A. Ciriello [at al] // Journal of Nuclear Materials. – 2007. V. 371. P. 129–133.
3. Uglov, V.V. Structural and mechanical stability upon annealing of arc-deposited Ti – Zr – N coatings / V.V. Uglov. // Surface & Coatings Technology. – 2008. V. 202. P. 2394 – 2398.

Analysis of residual stress by the methods of x-ray diffraction in coatings of ZrN fabricated by plasma deposition with applying data of diffraction experiments was made. The residual stress development of temporary treatment was presented.

Данилюк Максим Александрович, студент 5 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, maxim_danilyk@mail.ru.

Научный руководитель – *Углов Владимир Васильевич*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.

УДК 62-59:629.113.001.2

И.П. Денисевич

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РЕСУРСА ТОРМОЗНЫХ КАМЕР

Рассмотрены основные дефекты тормозных камер и предложен один из способов их ликвидации, способствующий повышению технического ресурса.

На производстве автомобильных агрегатов ОАО «Белкард» существует проблема повышения ресурса тормозных камер грузовых автомобилей. Об этом свидетельствуют следующие причины выхода их из строя:

- Интенсивная коррозия деталей камеры;
- Неудовлетворительное качество защитного покрытия корпуса и крышки;
- Деформирование центрального отверстия штоком;
- Деформирование пружины энергоаккумулятора;
- Деформирование возвратной пружины камеры;
- Пробой диска штоком;
- Пробой мембраны штоком;
- Растрескивание резины в местах перегиба мембраны;
- Пробой мембраны сломавшейся пружиной;
- Потеря герметичности алюминиевого корпуса.

Был проведён анализ структуры дефектов тормозных камер, который показал, что большой процент брака тормозных камер (34,62 %) обусловлен потерей герметичности алюминиевых корпусов из-за раковин, пор, неоднородности поверхности.

Нами была изучена поверхность корпуса тормозной камеры на оптическом микроскопе. Использовали следующее оборудование и материалы: пластины из алюминия, растворитель марки 651 (состав:

нефрас С4-150/200, спирт бутиловый), наждачная бумага, автоматизированный металлографический комплекс ММБ 2000-206, фотоаппарат.

Исследования показали, что поверхностный слой камеры имеет ряд дефектов, которые являются причиной потери герметичности.

Исследование поверхности корпуса тормозной камеры ГЗАА типа 20/20 20.3519100 на дефекты при помощи вихретокового дефектоскопа FD-1 показало наличие пор под слоем материала.

Для снижения пористости нами предложено нанесение на внутреннюю поверхность корпуса лакокрасочного или полимерного покрытия, например, эмали ЭП-1267.

Исследование адгезионной прочности покрытия методом решетчатых надрезов свидетельствуют о том, что при нанесении лакокрасочного покрытия из эмали ЭП-1267, методом распыления достигается балл адгезии не менее 1.

Оценочные испытания показали, что полимерное покрытие на внутренней поверхности корпуса способствует повышению герметичности камеры.

Предложенный метод увеличения служебных характеристик камер может быть реализован в действующем производстве благодаря наличию необходимого технологического оборудования.

The basic defects of brake chambers are considered and one of ways of their liquidation, promoting increase of their technical resource is offered.

Денисевич Игорь Петрович, студент 5 курса факультета строительства и транспорта Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Струк Василий Александрович*, доктор технических наук, профессор кафедры МиРТ, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 539.21

Л.В. Жилко

ИЗНОСОСТОЙКОЕ ПОКРЫТИЕ ДЛЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН

В работе исследовано влияние осаждения тройных нитридных покрытий на износостойкость режущих пластин из твердого сплава ВК6.

Известно, что многокомпонентные нитридные покрытия являются эффективным средством для защиты поверхности материала от износа и коррозии. Благодаря своим выдающимся свойствам эти покрытия применяются для упрочнения различного инструмента, в основном металлообрабатывающего. Однако системы, которые демонстрируют хорошие результаты при обработке металлов, не всегда оказываются эффективными в деревообработке

Целью данной работы являлась разработка метода повышения износостойкости деревообрабатывающего инструмента из твердого сплава.

Объектами исследования являлись образцы твердого сплава ВК6 с покрытиями на основе нитридов переходных металлов, сформированные методом катодного вакуумно-дугового осаждения. Режим очистки поверхности твердых сплавов: токи дуг катодов –100 А, давление азота в камере 10^{-1} Па, напряжение смещения 1 кВ, время осаждения 1 мин. Режимы осаждения покрытий: титана и хрома – 100 А, циркония и молибдена – 180А, давление азота в камере 10^{-1} Па, напряжение смещения 60..120 В, время осаждения 10 мин. Исследование образцов проводили при помощи: рентгеноструктурного анализа, изучены их механические свойства. Так же были проведены промышленные испытания пластин с этими и другими покрытиями на деревообрабатывающем производстве.

Результаты промышленных испытаний представлены на рисунке 1. Установлено, что система ВК6\Ti-Zr-N обладает примерно в $\sim 2,9$ раза большей эксплуатационной стойкостью, чем необработанная пластина. Наименьшую стойкость – в $\sim 2,2$ раза ниже, чем пластина без покрытия, продемонстрировала система ВК6\Ti-Cr-N. Исследование механических свойств образцов показало, что микротвердость покрытия Ti-Cr-N составляет $10,2\pm 0,5$ ГПа, а Ti-Zr-N – $26,4\pm 1,5$ ГПа. В результате рентгеноструктурных исследований (рис.2) установлено, что покрытие Ti-Zr-N формируется в виде твердого раствора на основе нитридов титана и циркония.

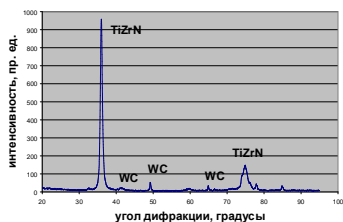


Рисунок 1 – Эксплуатационная стойкость исходных и обработанных режущих пластин из сплава ВК6.

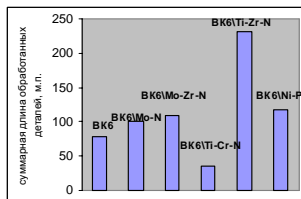


Рисунок 2 – Рентгенограмма образца ВК6\Ti-Zr-N

Таким образом, вакуумно-дуговое осаждение нитридного покрытия Ti-Zr-N на режущую пластину из твердого сплава ВК6 позволяет формировать высокопрочный твердый раствор на основе нитридов титана (TiN) и циркония (ZrN), который обладает повышенными эксплуатационными свойствами при деревообработке.

The influence of deposition of ternary nitride coatings on wear-resistance of ВК6 hard alloy wood-cutting tools is investigated in present work.

Жилко Любовь Владимировна, магистрант физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Углов Владимир Васильевич*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, Uglov@bsu.by.

УДК 53.098

Д.В. Загуляев, С.В. Коновалов, Р.А. Филипьев, С.А. Невский

ВЛИЯНИЕ СЛАБОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПЛАСТИЧЕСКУЮ ДЕФОРМАЦИЮ Аl*

В данной работе приведены результаты экспериментальных исследований влияния слабого магнитного поля различной напряженности на микротвердость и низкотемпературную ползучесть Аl.

* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.» (гос. контракт № П411).

В последнее время у ученых усилился интерес к проблеме влияния магнитного поля на прочность и пластичность материалов. Поскольку данное явление имеет не только теоретическую, но и практическую значимость при оценке свойств материалов для промышленных установок, работающих в жестких условиях, в которых имеются магнитные поля.

В данной связи целью работы является установление влияния слабого магнитного поля различной напряженности на процесс низкотемпературной ползучести и микротвердость поликристаллического, технически чистого Al марки А85.

В качестве методов пластической деформации использовались ползучесть и микротвердость.

Размеры образцов при исследовании микротвердости составляли $1 \times 1 \times 2 \text{ см}^3$, при испытаниях на ползучесть использовались цилиндрические образцы диаметром 1,75 мм и длиной рабочей части 150 мм. Все образцы подвергались рекристаллизационному отжигу при 500°C в течении 2 часов с последующем охлаждением в печи.

Количественно эффект влияния магнитного поля характеризовался относительным изменением скорости ползучести ξ и микротвердости Q Al. Скорость ползучести исследовалась на линейной стадии процесса. Относительные изменения рассчитывались по следующему формулам

$$\xi = \frac{\langle \dot{\epsilon}_{\text{mg}} \rangle - \langle \dot{\epsilon} \rangle}{\langle \dot{\epsilon} \rangle}, \quad Q = \frac{\langle \text{HV}_{\text{mg}} \rangle - \langle \text{HV} \rangle}{\langle \text{HV} \rangle},$$

где $\dot{\epsilon}_{\text{mg}}$, HV_{mg} – среднее значение скорости ползучести и микротвердости при воздействии магнитным полем, $\dot{\epsilon}$, $\langle \text{HV} \rangle$ – среднее значение скорости ползучести и микротвердости без поля. Полученные в работе экспериментальные данные приведены в таблице.

Полученные результаты говорят о том, что воздействие магнитным полем на образец из Al оказывает немонотонное влияние на скорость ползучести. При значениях индукции магнитного поля до 80 мТл наблюдается повышенная скорость ползучести, а в интервале значений от 150 до 300 мТл – пониженная. Микротвердость, как показывают экспериментальные данные, линейно зависит от индукции магнитного поля.

Таблица. Эффект влияния магнитного поля на скорость ползучести и микротвердость Al

| Ползучесть | | Микротвердость | |
|------------|-------|----------------|--------|
| В, мТл | ξ | В, мТл | Q |
| 45 | 0,50 | 200 | -0,038 |
| 80 | 0,53 | 250 | -0,066 |
| 150 | -0,10 | 300 | -0,13 |
| 220 | -0,40 | --- | --- |
| 300 | -0,56 | --- | --- |

The results of the experimental researches of the influence of the weak magnetic field of different value on microhardness and the low-temperature creep of Al are given in this work.

Загуляев Дмитрий Валерьевич, аспирант факультета материаловедения и обработки металла давлением Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, zagulyaev_dv@physics.sibsiu.ru;

Коновалов Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, докторант кафедры физики, факультет материаловедения и обработки металла давлением, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, konovalov@physics.sibsiu.ru.

Филипьев Роман Анатольевич, аспирант факультета материаловедения и обработки металла давлением Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, filipiev_ra@physics.sibsiu.ru;

Невский Сергей Андреевич, аспирант факультета материаловедения и обработки металла давлением Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, zagulyaev_dv@physics.sibsiu.ru.

Научный руководитель – *Громов Виктор Евгеньевич*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, gromov@physics.sibsiu.ru.

УДК 621.77:539.21

Д.В. Загуляев, Р.А. Филиппов, В.Е. Громов

АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ ПОСЛЕ ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ*

Плазменное упрочнение чугуновых валков прокатного стана, повышающее его износостойкость, приводит к формированию слоистой структуры. Методами сканирующей электронной микроскопии выполнен анализ дефектов этой структуры. Установлены причины отслаивания поверхностного слоя и его разрушения при эксплуатации.

Одной из основных проблем, обеспечивающих улучшение качественных показателей продукции для прокатного производства, является повышение стойкости чугуновых валков. Перспективным направлением решения этой задачи является плазменная закалка рабочей поверхности калибров валков.

В настоящей работе методами сканирующей электронной микроскопии (прибор SEM Philips 550) выполнен сравнительный анализ поверхности литых чугуновых валков диаметром 500 мм после плазменного упрочнения.

Аналізу подвергались поверхность плазменного воздействия и поперечное сечение модифицированных слоев. Было установлено, что плазменное упрочнение валков приводит к формированию слоистой структуры. Выявлен слой, кристаллизующийся при охлаждении расплава, толщиной 50-200 мкм и зона термического влияния толщиной ~ 400 мкм. Вследствие высоких скоростей нагрева и охлаждения на поверхности упрочнения формируются микродефекты: микровыбоины и микротрещины. Причиной формирования последних являются термоупругие напряжения, возникающие как из-за различия коэффициентов термического расширения матрицы и включений (графит, цементит), так и вследствие возникновения градиента напряжений при высоких скоростях охлаждения.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ и Федерального агентства по образованию в рамках реализации АВЦП "Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)" (проект 2.1.2/546).

Анализ структуры, формирующейся при разрушении поверхностного слоя, показывает, что она имеет ярко выраженное столбчатое строение. Толщина столбиков кристаллизации составляет ~ 0,25–0,3 мкм. Столбики фрагментированы, т.е. разделены на участки, средние размеры которых составляют 0,5-0,6 мкм.

Основным элементом макроструктуры поверхностного слоя являются образования второй фазы глобулярной формы, являющиеся графитом. Глобулы располагаются по толщине вала весьма неоднородно. В поверхностном слое толщиной ~50 мкм глобул практически нет, что свидетельствует об их растворении при плазменной обработке материала. На большей глубине глобулы обнаруживаются, линейная плотность их увеличивается по мере удаления от поверхности обработки. В поверхностном слое вокруг глобул графита часто наблюдается образование участков округлой формы микронных размеров в результате контактного плавления металлической матрицы вокруг этих глобул и последующего быстрого застывания материала.

Поверхностный слой характеризуется наличием микротрещин, возникающих при плазменной обработке, которые в отдельных случаях могут простираться на глубину до 200 мкм.

Plasma strengthening of rolling mill cast iron rolls, increasing it's wear resistance leads to the layer structure formation. The analysis of such defect structure is made by scanning electron microscopy methods. The reasons of surface layer ply separation and fracture during service life are established.

Загуляев Дмитрий Валерьевич, аспирант факультета материаловедения и обработки металла давлением Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, zagulyaev_dv@physics.sibsiu.ru;

Филиппев Роман Анатольевич, аспирант факультета материаловедения и обработки металла давлением Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, filipiev_ra@physics.sibsiu.ru;

Громов Виктор Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия.

Научный руководитель – *Громов Виктор Евгеньевич*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия. gromov@physics.sibsiu.ru.

УДК 537.87: 538.122

Д.В. Заерко

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН СВЧ-ДИАПАЗОНА В УПРАВЛЯЕМЫХ СТРУКТУРИРОВАННЫХ СРЕДАХ

Постоянный интерес, проявляемый в физике к задачам излучения, распространения и взаимодействия волн различной природы с периодическими структурами различной размерности, обусловлен широким применением таких структур в науке и технике.

В работе проведено экспериментальное исследование закономерностей распространения и локализации электромагнитных волн СВЧ-диапазона в периодических управляемых средах с неоднородностью диэлектрической проницаемости, а так же создан макет такого устройства (модулятор СВЧ-излучения). Исследовано распространение электромагнитных волн в модуляторе и проведен анализ его энергетических характеристик [1-3].

Функциональная схема автоматизированной экспериментальной установки для определения пространственных характеристик периодических структур приведена на рисунке 1.

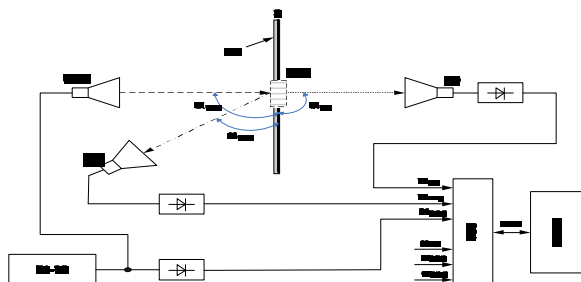


Рисунок 1 – Функциональная схема экспериментальной установки

Управление диаграммами направленности прошедшей и отраженной волн осуществлялось за счет изменения диэлектрической проницаемости элементов структуры (стержней).

Изменение (управление) диэлектрической проницаемостью основано на электрическом резонансе керамических вставок диэлектрических стержней структуры во внешнем переменном электрическом поле (низкочастотном, по отношению к СВЧ). Структурная схема системы управления диэлектрической проницаемостью периодической структуры приведена на рисунке 2.

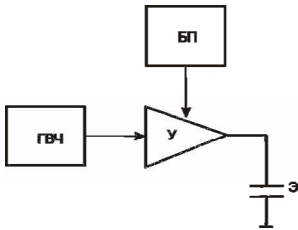


Рисунок 2 – Структурная схема системы управления диэлектрической проницаемостью периодической структуры

Схема состоит из генератора высокочастотных сигналов ГВЧ (Г4-116), широкополосного линейного усилителя У, регулируемого блока питания БП (0-60В, 1А) и прямоугольных металлических электродов Э (200×120 мм). Усилитель имеет коэффициент усиления по мощности до 16 дБ в диапазоне частот от 3 до 350 МГц при неравномерности не более 2,5 дБ.

Определение нормированных мощностей прошедших и отраженных сигналов, а также потерь в периодической структуре осуществляется путем сравнения площадей диаграмм этих сигналов, представленных в одном масштабе.

Наличие управляющего поля приводит как к качественным, так и количественным изменениям в диаграммах направленности прошедшей и отраженной волн (рисунок 3). (Электромагнитная волна с частотой 8633 МГц. Угол падения 0° . Амплитуда управляющего поля 0,3-1,8 В/см).

Полученные результаты позволяют оптимизировать структуру плоскостойкого модулятора СВЧ-излучения с целью получения максимальной глубины модуляции и разработать рекомендации по его практическому применению в СВЧ-электронике.

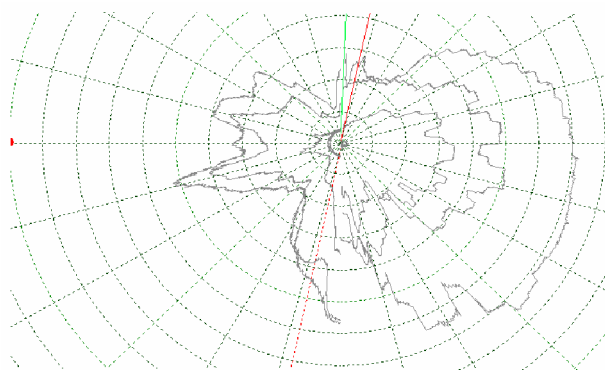


Рисунок 3 – Диаграмма прошедшей и отраженной волн при наличии управляющего поля

Список литературы

1. Баскаков, С.И. Электродинамика и распространение радиоволн: учеб. пособие для вузов по «Радиотехнике» / С.И. Баскаков – М.: Высш. шк., – 1998. – 416 с.
2. Гапоненко, С.В. Оптика наноструктур / С.В. Гапоненко [и др]; под общ. ред. А.В Федорова . – Минск: Недра, 2005. – 325 с.
3. Фрадин, А.З. Антенно-фидерные устройства / А.З. Фрадин. – М.: Связь, 1997. – 440 с.

The Localization of the electromagnetic field in consequence of frequentative dissipation and interferences of the waves brings about observation new effect in complex structures dielectric media.

Заерко Дмитрий Владимирович, аспирант физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Рычков Юрий Михайлович*, доктор физико-математических наук, профессор заведующий кафедрой промышленной электроники, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 621.375.826

О.Н. Ильючик, К.А. Саечников

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАЗЕРОВ НА ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ В ТВЕРДОЙ МАТРИЦЕ С ЛАЗЕРНОЙ НАКАЧКОЙ

Исследованы генерационные характеристики лазеров на красителе в виде таблеток из полиметилметакрилата с внедренными молекулами красителя Р-6G и ФН-70 с накачкой второй гармоникой лазера LS-2137 фирмы «LOTIS ТП». Выбрано оптимальное схемное решение схемы лазера на красителе, условия накачки и исследованы его генерационные характеристики.

Лазеры и лазерные комплексы вызывают огромный интерес в связи с расширяющейся сферой их практического использования. Несмотря на многообразие типов лазеров и лазерных систем ведутся интенсивные разработки в области модернизации конструкций лазерных устройств, поиска новых активных сред, расширения диапазона генерируемых частот и т.д. Самыми интересными с точки зрения практических применений являются перестраиваемые лазеры. На сегодняшний день имеются перестраиваемые твердотельные лазеры и лазеры на растворах органических красителей. Главными недостатками последнего типа лазеров являются неудобство работы с растворами и их низкая фотоустойчивость. Эти две существенные проблемы успешно решаются с помощью внедрения красителей в твердые матрицы, например, матрицы полимеров.

Целью данной работы является разработка и создание компактного и удобного в работе лазера на красителе, внедренного в матрицу полимера. Выбор оптимальной схемы накачки лазера на красителе и исследование его генерационных характеристик с перспективой дальнейшего использования в лазерной спектроскопии, нелинейной оптике и учебном процессе.

Для выбора источника накачки исследовались генерационные характеристики ряда АИГ: Nd^{3+} лазеров. Результаты исследования показали, что для накачки лазера на красителе наиболее подходящим является излучение 2-й гармоникой лазера LS-2137 фирмы «LOTIS ТП» с длительностью импульса накачки (на полувысоте) ~ 18 нс и энергией в импульсе для излучения второй гармоникой ~ 330 мДж.

Активные элементы лазера на красителе представляют собой таблетки из полиметилметакрилата с внедренными молекулами красителя Р-6G и ФН-70. Разработанный вариант схемы лазера на красителе представляет схему с продольной накачкой, двухпризменной дисперсионной системой с возможностью использования внутрирезонаторного интерферометра Фабри-Перо для сужения спектральной ширины линии генерации. Исследованы зависимости энергии генерации лазера на красителе от коэффициента отражения выходного зеркала, длительности импульсов генерации от длительности импульсов накачки, спектральная ширина линии генерации при использовании различных дисперсионных элементов. Показано, что при накачке второй гармоникой лазера LS-2137 область перестройки излучения составила $\sim 560 \div 600$ нм для Р-6G и $\sim 590 \div 650$ нм для ФН-70. Коэффициент преобразования составил $\sim 20\%$ от энергии излучения лазера накачки.

Ильчук Ольга Николаевна, студентка 4 курса физического факультета Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка, Минск, Беларусь; marrizzana@mail.ru.

Саечников Константин Алексеевич, кандидат физико-математических наук, доцент, Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка, Минск, Беларусь, ska-bspu@tut.by.

Научный руководитель – *Саечников Константин Алексеевич*, кандидат физико-математических наук, доцент, Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка, Минск, Беларусь, ska-bspu@tut.by.

УДК 621.384.637

Л.Т. Кирия

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИОННО-ПЛАЗМЕННОЙ СИСТЕМЫ

В работе представлены результаты исследований интегрированной ионно-плазменной системы для формирования тонкопленочных структур. Отмечены преимущества совместной работы магнетронной распылительной системы и ионно-лучевого источника.

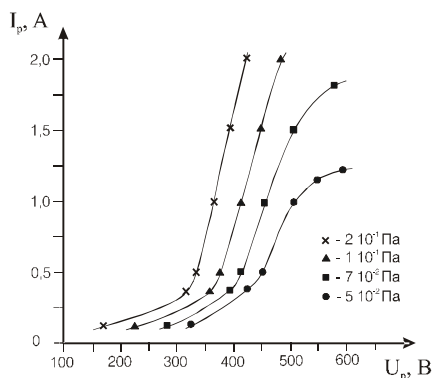


Рисунок – Вольт-амперные характеристики МРС при стимуляции разряда пучком ионов внешней ступени двухлучевого источника

Для создания элементов современных и перспективных радиоэлектронных устройств широкое распространение в микроэлектронике получил метод формирования функциональных слоев магнетронным распылением. Несмотря на ряд достоинств этого метода [1], существуют и проблемы связанные с величиной адгезии создаваемых структур, стабильностью работы устройства при пониженном давлении, что представляет особый интерес для

реактивных процессов и др., которые можно решить, объединив в одном комплексе магнетронную распылительную систему и ионно-лучевую источник. Поэтому нами была разработана и изготовлена интегрированная ионно-плазменная система (ИИПС), позволяющая проводить ионно-лучевую очистку подложки и способная стабильно работать при давлениях порядка 10^{-2} Па. Разработанный технологический комплекс состоит из магнетронной распылительной системы (МРС) представляющий собой катодный узел с магнитной системой на постоянных магнитах (диаметр мишени – катода составляет 80 мм), и кольцевого ионно-лучевого источника с анодным слоем (ИИ). Подача рабочего газа осуществляется через газораспределитель ИИ. Охлаждения ИИПС осуществлялось проточной водой.

На рисунке приведены результаты экспериментальных исследований вольт-амперных характеристик магнетронного разряда ИИПС в зависимости от рабочего давления в вакуумной камере при токе ионного пучка 100 мА. Напряжение зажигания магнетронного разряда в этом случае уменьшалось до 150-300 В [2]. Можно отметить, что при давлении $5 \cdot 10^{-2}$ Па разрядный ток МРС при работе с внутренней ступенью источника составляет 1.3 А, а при автономном включении магнетрона разряд не «горит» совсем. Из этого можно

сделать вывод, что работа распыляющей ступени ИИПС значительно расширяет диапазон рабочих давлений ИИПС. Кроме того, при одном и том же напряжении разрядный ток ИИПС, работающей с внешней ступенью выше разрядного тока автономно работающей МРС. Установлено также, что с ростом тока пучка ионов уменьшается напряжение «зажигания» и генерации разряда в МРС и растет разрядный ток магнетрона. Разряд становится также более устойчив и при напряжениях порядка 600 – 700 В.

Таким образом можно сделать вывод о том, что совместная работа МРС и ионного источника позволяет увеличить диапазон рабочих давлений МРС, увеличить разрядный ток магнетронной распылительной системы и уменьшить напряжение зажигания разряда.

Список литературы

1. Musil, J. Low-pressure sputtering /J. Musil. // Vacuum., 1998. – V. 50. – № 3–4. – P. 363–372.
2. Котов Д.А. Исследование вольт-амперных характеристик ИИПС / Д.А. Котов // Доклады БГУИР. – 2003. – Т. 1. – № 3. – С. 78 – 82.

In the present work peculiarities and advantages of material processing by the integrated ion-plasma system was performed. It was noted the advantages of joined operating of the magnetron sputtering system and the ion-beam source.

Кирия Лаша Торникевич, магистрант факультета радиотехники и электроники Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, Lasha_kiria@mail.ru.

Научный руководитель – *Котов Дмитрий Анатольевич*, кандидат технических наук, доцент, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, dm_a_kotov@mail.ru.

УДК 629.113

А.А. Климуть

БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ЗАЖИГАНИЕМ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА АТМЕГА16

Разработан микропроцессорный блок управления зажиганием, предназначенный для формирования зависимости угла опережения зажигания карбюраторного бензинового двигателя, как функции частоты вращения коленчатого вала и давления воздуха во впускном коллекторе.

Основанием для разработки данного изделия явились следующие обстоятельства: невозможность реализации оптимальных функциональных зависимостей углов опережения зажигания посредством центробежного и вакуумного регуляторов датчиков-распределителей, устанавливаемых на карбюраторные двигатели, значительный начальный разброс их характеристик при поставке на сборочный конвейер, изменение этих характеристик в процессе эксплуатации.

Для карбюраторных автомобилей, которые еще широко распространены в нашей стране, незначительный объем доработок позволяет преобразить их динамические характеристики. Автомобиль становится более комфортным, динамичным, обладающим лучшей приемистостью, экологичностью. Установка этой системы на двигатель позволяет "выжать" из него максимум на что он способен в данный момент. Происходит это потому, что управление зажиганием возложено исключительно на микроконтроллер, трамблеру же осталась только функция разносчика искры.

Основным элементом МСЗ является контроллер зажигания. Он разработан согласно техническим требованиям, предъявляемым к системам зажигания автомобилей и представляющий собой достаточно простое микропроцессорное устройство. Выполнен на микрочипе ATmega16, в ПЗУ которого записаны таблицы с набором значений угла опережения зажигания в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и абсолютного давления во впускном коллекторе двигателя. Так же производится интерполяция углов, для более плавного их изменения.

Соответствующая информация поступает с датчика-распределителя или с ДПКВ (датчика положения коленвала) и в этом случае трамблер не используется, и датчика абсолютного давления.

МПСЗ кроме своей прямой функции, может выполнять управление клапаном ЭПХХ (экономайзером принудительного холостого хода), поддерживает обороты холостого хода на заданном уровне, и осуществляет блокировку стартера при пуске, что значительно продлевает его срок службы.

Данный блок может устанавливаться и на инжекторных автомобилях, при выходе из строя штатной системы и в случае высокой стоимости ее восстановления.

Список литературы

1. Белов, А.В. Создаем устройства на микроконтроллерах / А.В. Белов. – СПб.: Наука и Техника, 2007. – 304 с: ил.
2. Росс, Т. Системы зажигания легковых автомобилей. Устройство, обслуживание и ремонт / Т.Росс. – М.: ЗАО «КЖИ За рулем», 2004. – 96 с: ил.
3. Соснин, Д.А. Новейшие автомобильные электронные системы / Д.А. Соснин, В.Ф. Яковлев. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 240 с: ил.

The microprocessor block of management by the ignition, intended for formation of dependence of a corner of an advancing of ignition of the carburettor petrol engine, as functions of frequency of rotation of a cranked shaft and pressure of air in an inlet collector is developed.

Климуть Андрей Александрович, студент 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, klimuts@mail.ru.

Научный руководитель – *Зайкова Светлана Алексеевна*, доцент, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры промышленной электроники, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, sunny@grsu.by.

УДК 621.3.09

Н.В. Ковальчук, Альхамруни Али Мохамед

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ ПОРОШКОВЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ЭКРАНИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТРИЦ

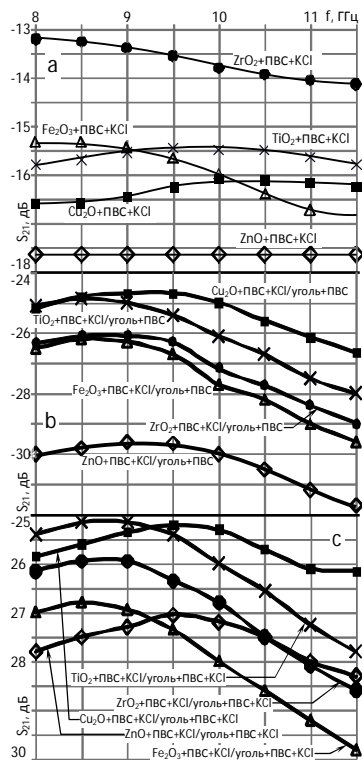
Экспериментально определены коэффициенты передачи и отражения электромагнитного излучения гибких одно- и двухслойных экранов с композитными наполнителями на основе геля поливинилового спирта.

Данное исследование явилось продолжение серии ранее начатых экспериментов [1, 2, 3]. Описание методики изготовления образцов

представлено, например, в [1].

В результате исследований сравнивали характеристики одно- и двухслойных экранов электромагнитного излучения (ЭМИ) с пятью различными порошковыми наполнителями: TiO_2 , ZrO_2 , Fe_2O_3 , ZnO , Cu_2O , равномерно распределёнными в геле поливинилового спирта (ПВС). Было установлено, что в исследованном диапазоне частот лучшими свойствами обладает наполнитель на основе порошка оксида цинка (ZnO) с добавкой сильного электролита – хлорида калия (KCl), введённого в гель ПВС для увеличения электропроводности композитного наполнителя. Таким образом, двухслойные экраны, в составе которых имеется порошок ZnO с добавкой KCl , имеют наименьшие коэффициенты передачи S_{21} и отражения S_{11} в сравнении с остальными исследованными образцами

наполненных текстильных матриц. Комбинирование текстильной матрицы с композитным наполнителем на основе оксида металла со слоем, расположенным вторым по отношению к направлению распространения ЭМИ и содержащим наполнитель, состоящий из угольного порошка, также распределённого в геле ПВС, приводит к



Одно- (a) и двухслойные экранирующие матрицы без добавки (b) и с добавкой (c) KCl во второй слой

Рисунок 1 – Частотная зависимость коэффициента пропускания S_{21}

существенному улучшению характеристик экрана: значение S_{21} уменьшается на 10-12 дБ, но величина S_{11} уменьшается несущественно. В то же время, добавление КСИ во второй слой не приводит к существенному изменению свойств такой двухслойной системы. Отсутствие соли в первом слое практически не изменяет коэффициентов отражения как одно-, так и двухслойных экранов, но приводит к увеличению коэффициента пропускания на 3-5 дБ. Добавление второго углесодержащего слоя также приводит к уменьшению значения S_{21} на 10-12 дБ, причём наличие соли во втором слое также практически не оказывает влияния на свойства двухслойной экранирующей системы.

Список литературы

1. Белявская, О.И. Гибкие двухслойные экраны электромагнитного излучения с увеличенной электропроводностью / О.И. Белявская, С.В. Головатая, Н.В. Ковальчук // Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций «РТ-2009»: материалы 5-й Междунар. молодежной науч.-техн. конф., Севастополь, Украина, 20 – 25 апр. 2009 г. / СевНТУ. – Севастополь, 2009. – С. 274.
2. Головатая, С.В. Влияние добавок сильного электролита на эффективность двухслойных экранов электромагнитного излучения / С.В. Головатая, Н.В. Ковальчук, А.А. Позняк // Технические средства защиты информации: материалы 7-й Белорус.-рос. науч.-техн. конф., Минск, Беларусь, 23 – 24 июня 2009 г. / БГУИР. – Минск, 2009. – С. 87-88.
3. Головатая, С.В. Гибкие двухслойные экраны электромагнитного излучения на текстильной основе с наполнителем на основе оксида цинка / С.В. Головатая [и др.] // Современные средства связи: материалы 14-й Междунар. науч.-техн. конф., Минск, Беларусь, 29 сент. – 01 окт. 2009 г. / ВГКС. – Минск, 2009. – С. 96.

The transmission and reflection coefficients of electromagnetic radiation were determined for mono – and bilayered flexible shields with polyvinyl alcohol gel as filling

Ковальчук Наталья Викторовна, студентка 5-го курса факультета компьютерного проектирования Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, n_smith@tut.by.

Мохамед Альхамруни Али, аспирант кафедры химии Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь; kafchim@bsuir.by.

Научный руководитель – *Позняк Александр Анатольевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры химии, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, *roznyak@bsuir.by*.

УДК 621.373.8:535.54

Д.А. Комар

ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ АНИЗОТРОПИЯ СПЕКТРАЛЬНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВНЕРЕЗОНАТОРНОГО ВКР-ЛАЗЕРА НА КРИСТАЛЛЕ KGW:Nd



Рисунок – Зависимость энергии стоксовых компонент от угла α между вектором E излучения накачки и осью оптической индикатрисы N_g : 1,2 – компоненты, поляризованные вдоль оси N_g , $\lambda = 1507$ (1) и 1538 нм (2); 3 – компонента, поляризованная вдоль оси N_m ; $\lambda = 1538$ нм; 4 – вторые стоксовы компоненты, $\lambda = 1704$, 1744 и 1784 нм

Лазерный кристалл $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2 : \text{Nd}^{3+}$ (KGW : Nd) является одновременно и ВКР-активной средой, имеющей богатую картину вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) [1]. Кристалл обычно имеет срез [010], совпадающий с осью оптической индикатрисы N_p . Это обеспечивает генерацию излучения, линейно поляризованного вдоль оси N_m . Для среза [010] спектры спонтанного КР даны для случаев возбуждения излучением с колебанием электрического вектора E вдоль осей N_g и N_m .

При $E//N_m$ наблюдается только одна КР-линия с частотой $\omega_R = 901 \cdot \text{см}^{-1}$, определяющая длину волны ВКР-лазера. В случае $E//N_g$ спектр СКР более богат, наиболее интенсивной является линия с $\omega_R = 767 \text{ см}^{-1}$. Однако сообщения о ВКР-лазерах, генерирующих только на колебательной моде 767 см^{-1} , нам неизвестны.

Цель работы – исследование спектральных и энергетических характеристик внрезонаторного ВКР-лазера при произвольной ориентации плоскости поляризации излучения накачки относительно осей N_g и N_m оптической индикатрисы кристалла KGW:Nd среза [010]. Накачка производится KGW:Nd лазер с рабочим переходом ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{13/2}$. Генерация излучения с $\lambda = 1351 \text{ нм}$ и его последующее ВКР-преобразование позволяют создавать на основе производимых в РБ элементов KGW:Nd безопасные для глаз источники, широко востребованные на практике.

В ВКР-лазере используется KGW:Nd-элемент размером $\varnothing 4 \times 50 \text{ мм}^3$. Реализован двухпроходной режим накачки импульсами длительностью $\sim 25 \text{ нс}$ и энергией $\sim 33 \text{ мДж}$. Вывод стоксовых компонент из устойчивого резонатора производится зеркалом с параметрами: $R=25 \%$ для $\lambda = 1507 \text{ нм}$, $R=49 \%$ для $\lambda = 1538 \text{ нм}$ и $T \approx 98 - 99.9\%$ для $\lambda = 1704 - 1784 \text{ нм}$.

Данные о спектральном распределении энергии выходного излучения ВКР-лазера при повороте кристалла из положения $E//N_g$ в положение $E//N_m$ приведены на рисунке. Установлено, что направления линейных поляризаций выходного излучения определяются положением осей N_g и N_m , а не ориентацией вектора E излучения накачки. Этим объясняются представленные на рисунке зависимости. При повороте кристалла уменьшение проекции E на N_g и увеличение проекции E на N_m приводят к падению энергии поляризованных вдоль N_g стоксовых компонент с $\omega_R = 767 \text{ см}^{-1}$ ($\lambda = 1507 \text{ нм}$) и $\omega_R = 901 \text{ см}^{-1}$ ($\lambda = 1538 \text{ нм}$) и увеличению энергии ортогонально поляризованной компоненты с $\omega_R = 901 \text{ см}^{-1}$,

генерируемой при $\alpha > 33^\circ$. Генерация стоковых компонент, поляризованных вдоль N_g затухает при $\alpha \approx 45^\circ$.

Появление вторых стоковых компонент объясняется плотной фокусировкой излучения накачки.

Список литературы

1. Mochalov, I.V. Laser and nonlinear properties of the potassium gadolinium tungstate laser crystal $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2 : \text{Nd}^{3+}(\text{KGW} : \text{Nd}) - (\text{KGW} : \text{Nd}) / \text{I.V.Mochalov} // \text{Opt. Eng.} - 1997. - \text{V.36.} - \text{P. 1660} - 1669.$

The dependence of spectral and energy characteristics of an extracavity Raman laser on the orientation of pump polarization vector with respect to the axes of optical indicatrix of a [010]-cut KGW:Nd crystal are studied.

Комар Дмитрий Александрович, студент 4 курса кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского Государственного университета, Минск, Беларусь, komar.dima@gmail.com.

Научный руководитель – *Дашкевич Владимир Иванович*, кандидат физико-математических наук, Институт физики имени Б. И. Степанова НАН Беларуси, лаборатория нелинейной оптики, Минск, Беларусь, v.dashkevich@dragon.bas-net.by.

УДК 535.34

А.А. Комар

НАНОСЕКУНДНОЕ И ПИКΟΣЕКУНДНОЕ ЛИМИТИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Показана возможность использования полиметиновых красителей для лимитирования мощных наносекундных и пикосекундных лазерных импульсов. Разработаны и экспериментально реализованы лимитеры оптического излучения с использованием трех схемных решений и исследованы их рабочие характеристики

В связи с широким распространением в технике импульсных источников света больших мощностей, появилась необходимость создания элементов эффективной защиты от различного рода

повреждений, вызываемых лазерным излучением. Особенно остро стоит проблема защиты органов зрения и оптических датчиков в видимой области спектра. В связи с этим была поставлена задача разработать устройство, способное эффективно лимитировать импульсное лазерное излучение коротких длительностей на длине волны наиболее распространенного твердотельного лазера на иттрий-алюминиевом гранате — 532 нм. В качестве среды, лимитирующей импульсное лазерное излучение, использовался полиметиновый краситель, синтезированный в НИИ прикладных физических проблем Белорусского государственного университета.

В работе разработаны и экспериментально исследованы схемы оптических лимитеров, и проанализированы их рабочие характеристики под действием лазерного излучения на длине волны 532 нм в наносекундном диапазоне. Предложены три схемы оптического лимитера с использованием полиметинового красителя, а также его композита с жидким кристаллом. Каждая из схем обладает определенными преимуществами, зависящими от условий, в которых планируется применять данное устройство.

В настоящее время широкое распространение приобрели лазеры, работающие в режиме активной синхронизации мод, длительности которых составляют десятки пикосекунд. Для защиты от такого рода излучения не подходят устройства, имеющие механические или электрические компоненты вследствие своей относительной инертности. Для эффективного ограничения лазерного излучения необходимо, использовать среду, способную менять свои физические свойства за время длительности одного импульса.

В данной работе проведено экспериментальное исследование лимитирующих свойств полиметиновых красителей для мощного лазерного излучения на длине волны 532 нм пикосекундной длительности.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что используемые полиметиновые красители обладают достаточно высоким наведенным поглощением при их возбуждении импульсным лазерным излучением на длине волны 532 нм длительностью 70 пс (частота следования импульсов 15 Гц). Возможность использования полиметиновых красителей для ограничения мощных световых импульсов нано и пикосекундной длительностью обоснована временными масштабами, протекающих в них процессов: переходы между электронными уровнями в полиметиновых красителях

происходят за времена десятки пикосекунд, Кроме того, низкий квантовый выход люминесценции (менее 10%) и короткое время жизни молекул в возбужденном состоянии ($\sim 10^{-10}$ – 10^{-11} с) обеспечивают быструю (в пределах пикосекундного импульса) и эффективную (десятки процентов) термализацию поглощенной энергии.

The opportunity of using of polymethine dye for limitation of nanosecond and picoseconds laser pulses is demonstrated. Limiters of optical radiation are developed using three schemes and experimentally realized; their operational characteristics are investigated.

Комар Андрей Александрович, аспирант кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, komar.andrei@gmail.com.

Научный руководитель – *Мельникова Елена Александровна*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, melnikova@bsu.by.

УДК 669.112.227: 539.4.015

Е.В. Корнет, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов, С.В. Коновалов

ФОРМИРОВАНИЕ КАНАЛОВ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СЖАТИИ ЗАКАЛЕННОЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ

Методами просвечивающей электронной микроскопии выполнен анализ каналов деформации – мест локализации деформации при одноосном сжатии закаленной конструкционной стали. Каналы деформации имеют размеры: продольные – несколько микрон, поперечные $\sim 0,5$ мкм; размеры фрагментов в каналах деформации изменяются в пределах 5-100 нм.

Ранее [1] нами было показано, что в условиях интенсивной пластической деформации при комнатной температуре для стали 08Г2С (феррито-перлитное состояние) возможно формирование вытянутых областей с ультрадисперсной структурой – каналов деформации. Каналы деформации – это места локализации деформации. В настоящей работе изучены особенности локализации пластической деформации

закаленной в масле от 950^oC конструкционной стали 38НХЗМФА. Исследования структуры и фазового состава стали выполняли методами электронной дифракционной микроскопии тонких фольг [2]. Детальный анализ структуры деформированной стали позволил выявить особые состояния материала, располагающиеся, как правило, вдоль внутрифазных границ раздела, а именно, границ раздела соседних пакетов или границ раздела пластин и пакетов – так называемые каналы локализованной деформации. Особенностью каналов деформации являются значительные поля напряжений, локализованные внутри них и в прилегающих к ним областях. Отмечены два механизма релаксации этих полей напряжений [1]: путем фрагментации. В этом случае образуются цепочки фрагментов малых размеров и близкой ориентации, расположенные вдоль канала деформации; путем развития микротрещин.

Каналы локализованной деформации, формирующиеся при одноосном сжатии закаленной стали 38НХЗМФА, имеют форму вытянутой области, поперечные размеры которой ~0,5 мкм. Слоистое строение канала напоминает структуру пакета мартенсита. Слои сформированы кристаллитами, размеры которых изменяются в пределах 50-100 нм. Кольцевое строение микроэлектроннограммы, полученной с области локализации канала деформации указывает на большеугловую разориентацию кристаллитов, формирующих его.

Важно отметить, что в прилегающих к каналу деформации областях материала структура стали по морфологическому признаку подобна структуре исходного состояния, т.е. выявляются кристаллы пакетного и пластинчатого мартенсита. Микроэлектроннограмма, полученная с прилегающей к каналу области фольги, является точечной, характерной для поликристаллического материала. С ростом степени деформации объем материала, занятый каналами деформации возрастает, достигая на момент разрушения стали нескольких десятков процентов.

Список литературы

1. Эволюция субструктуры стали 08Г2С после электростимулированного волочения / Громов В.Е. [и др.] // Металлофизика. 1991. – Т.13. – №4. – С.9–13.
2. Электронная микроскопия тонких кристаллов / П. Хирт [и др.] – М.: Мир, 1968. – 574 с.

The analysis of the channels of deformation - places for localization of deformation with the axial compression of hardened structural steel is executed by the methods of the translucent electron microscopy. The channels of deformation have sizes: longitudinal – several microns, transverse of $\sim 0,5 \mu\text{m}$; the sizes of fragments in the channels of deformation vary within the limits of 5-100 nm.

Корнет Евгений Владимирович, студент факультета материаловедения и обработки металла давлением Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия;

Иванов Юрий Федорович, доктор физико-математических наук, профессор, Томского государственного архитектурно-строительного университета, Томск, Россия. yufi@mail2000.ru.

Коновалов Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры физики, факультет материаловедения и обработки металла давлением, Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, konovalov@physics.sibsiu.ru.

Громов Виктор Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия. gromov@physics.sibsiu.ru.

Научный руководитель – *Иванов Юрий Федорович*, доктор физико-математических наук, профессор, Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия. yufi@mail2000.ru.

УДК 535.317

А.Г. Костюкевич

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ДИСПЕРСИОННОГО СПЕКТРОМЕТРА С МИКРОЗЕРКАЛЬНОЙ МАТРИЦЕЙ

Разработан дисперсионный гиперспектрометр с реконфигурируемой входной апертурой на основе микрозеркальной матрицы, в котором реализованы два режима работы: с построением спектрального гиперкуба всей исследуемой поверхности или получением спектров отдельных ее участков.

В современной прикладной спектроскопии четко наметилась тенденция развития новых (гиперспектральных) методов анализа, позволяющих исследовать структуру объектов с одновременным пространственным и спектральным разрешением. Здесь речь идет о возможности получения спектральных характеристик всего массива точек исследуемой поверхности, т.н. «спектральный гиперкуб», т.е.

зависимость интенсивности света от двух пространственных и спектральной координат.

Наиболее перспективным путем создания дисперсионного гиперспектрометра для обеспечения высоких спектро-аналитических характеристик является подход, в котором на плоскость входной щели обычного дисперсионного спектрометра изображается двухмерная картина исследуемого объекта, из которой входная щель «вырезает» узкую полосу. Входная апертура при этом реализуется на основе электронно-управляемого пространственного модулятора света (ПМС), формирующего реконфигурируемую входную щель. Сканируя эту щель вдоль изображения всего объекта в направлении, перпендикулярном оси щели, получают набор спектров, соответствующий набору полос, на которые разбивается изображение объекта.

Перспективным представляется использование в данной схеме гиперспектрометра в качестве ПМС современных систем с микрозеркальными элементами, которые образуют двумерную матрицу, содержащую порядка 10^6 микрозеркал с размерами порядка 10 – 15 мкм каждое, которые могут независимо переключать из основного состояния в два положения, поворачиваясь вокруг своих диагоналей на углы $10^\circ - 12^\circ$ в обе стороны относительно нормали к плоскости матрицы.

Использование микрозеркальной матрицы обеспечивает существенные преимущества по сравнению с другими ПМС (например, ПМС на основе ЖК-ячеек), в частности, высокое пространственное и временное разрешение (скорость переключения), малые потери света, а также практическое отсутствие спектральной и поляризационной селективности.

На кафедре лазерной физики и спектроскопии БГУ разработан дисперсионный спектрометр с дифракционной решеткой и зеркальной оптикой, включающий два канала – наблюдательный и спектральный. В качестве реконфигурируемой входной апертуры использовалась система с микрозеркальной матрицей фирмы Texas Instruments (1024×768 микрозеркал размером 10,8×10,8 мкм каждое), имеющая высокую скорость переключения (≈ 30 мкс) Прибор обладает высоким спектральным разрешением ($\Delta\lambda \approx 0,8$ нм) на широком спектральном диапазоне (160 нм), высокую светосилу (относительное отверстие 1:5), обеспечивает работу с входным полем размерами 11×8 мм. В докладе обсуждаются особенности оптической схемы гиперспектрометра,

режимы его работы, процедура калибровки, приводятся примеры гиперспектральных изображений тестовых объектов. Обсуждается также возможность использования прибора для формирования излучения с программно задаваемым спектром, что представляет интерес для фото- и колориметрических измерений.

The hyperspectrometer having the digital micromirror device as a reconfigurable input aperture was created. The device operation modes allow one to register both the full spectral hypercube and spectra of a number of previously selected object regions simultaneously.

Костюкевич Александр Геннадьевич, магистрант физического факультета, Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, kostukevich.alex@mail.ru.

Научный руководитель – *Гулис Игорь Михайлович*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры лазерной физики и спектроскопии, Физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, gulis@bsu.by.

УДК 539.2

Р.С. Кудакцін, Ю.А. Петухоў

ФАРМАВАННЕ СІЛШЫДАЎ ЦЫРКОНІЯ ЎЗДЗЕЯННЕМ КАМПРЭСІЙНЫХ ПЛАЗМАВЫХ ПАТОКАЎ

Изучались фазовый состав и структура поверхностного слоя, полученного воздействием компрессионных плазменных потоков на систему «циркониевое покрытие – кремниевая основа». Воздействие плазмы приводит в формированию дендритов кремния и силицидов циркония $ZrSi_2$ и $ZrSi$, локализованных в междендритовом пространстве.

У сучаснай электроніцы шырока выкарыстоўваюцца сіліцыды металаў для вырабу міжзлучэнняў, тэрмаэлектрычных і оптаэлектронных прыладаў [1]. Для іх атрымання выкарыстоўваюцца разнастайныя метады, такія як іонная імплантацыя, стацыянарная і імпульсная тэрмаапрацоўка, лазернае ўздзеянне [2-3]. У параўнанні з імі кампрэсійная плазма валодае высокай шчыльнасцю энергіі і аптымальнай працягласцю ўздзеяння.

У дадзенай рабоце праводзілася даследаванне фармавання сіліцыдаў цырконія ўздзеяннем кампрэсійных плазмавых патокаў на сістэму цырконій-крэмній. Сістэма ўяўляла сабой тонкі слой цырконія (1,2 мкм), напылены на крэмніевую аснову метадам вакуумна дугавага асаджэння.

Зыходны абразец падвяргаўся ўздзеянню плазмы. У плазмы былі наступныя параметры:

колькасць імпульсаў 1-3;

энергія $5 \div 12$ Дж/см².

Аналіз фазавага складу і структуры прыпаверхневага слою праводзіўся метадамі рэнтгенаструктурнага аналізу і растравай электроннай мікраскапіі.

На падставе вынікаў фазавага аналізу былі вылучаныя наступныя заканамернасці:

было ўстаноўлена, што пры энергіі 12 Дж/см² увесь цырконій уступае ў рэакцыю сіліцыдаўтварэння;

у дыпазоне энергіі $5 \div 12$ Дж/см² адбываецца фармаванне сіліцыдаў ZrSi і ZrSi₂, прычым з павелічэннем энергіі канцэнтрацыя ZrSi₂ павялічваецца, а пры энергіі 12 Дж/см² утвараецца толькі гэты сіліцыд.

Было разлічана змяненне энергіі Гібса для рэакцый утварэння сіліцыдаў цырконія рознай стэхіяметрыі з улікам тэмпературных залежнасцей тэрмадынамічных параметраў [4,5] і знойдзена, што найбольш верагодным з'яўляецца ўтварэнне ZrSi₂ і ZrSi, што стасуецца з эксперыментальнымі дадзенамі і сведчыць аб квазістацыянарнасці працэсаў фазаўтварэння.

Згодна з вынікамі даследаванняў метадам растравай электроннай мікраскапіі у прыпаверхневым слоі фарміруецца дэндрытная структура (перыяд галін першага парадку 0,7 мкм). Здымка ў рэжыме рассеянных назад электронаў паказала, што дэндрыты складаюцца з крэмнія, а ў міждэндрытнай прасторы лакалізуюцца сіліцыды.

Такім чынам ўздзеянне кампрэсійнай плазмы на сістэму “цырконіевае пакрыцце – крэмніевая падложка” прыводзіць да фармавання дэндрытнай структуры крэмнія, у міждэндрытнай прасторы якой лакалізуюцца сіліцыды ZrSi₂ і ZrSi.

Сніс літаратуры

1. Borisenko V.E. *Semiconducting Silicides*, Springer-Berlin / V.E. Borisenko. – 2000, 348 p.
2. Bertolino, N. / N. Bertolino [at al] // *Journal of alloys and compounds* 288 (1999), pp. 238-248
3. Tsubouchi, N. / N. Tsubouchi, Y. Horino // *Nuclear instruments and methods in Physics Research B* 232 (2005), pp. 338-342.
4. Brandes, E.A. / E.A. Brandes, G. B. Brook // *Smithells Metals Reference Book – 7th edition*, Butterworth. – Heinemann, 1999, 1790 p.
5. Забелина, И.А. *Химическая термодинамика* / И.А. Забелина, А.А. Позняк, Л.В. Ясюкевич. – Минск: БГУИР, – 2006. – 42 с.

In the present paper we studied phase composition and structure of surface layer obtained by the action of compression plasma flows on system zirconium coating – silicon substrate. The action of plasma resulted in the formation of silicon dendrites and zirconium silicides $ZrSi_2$ and $ZrSi$ localized in the interdendritic space.

Кудакцін Раман Сяргеевіч, студэнт 3 курса фізічнага факультэта Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта, Мінск, Беларусь, kudroma@list.ru

Петухоў Юрый Аляксандравіч, аспірант кафедры фізікі Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта радыёэлектронікі і іфарматыкі, Мінск, Беларусь, spadar_pett@tut.by.

Навуковы кіраўнік – *Углоў Уладзімір Васільевіч*, доктар фізіка-матэматычных навук, прафесар кафедры фізікі цвёрдага цела, фізічны факультэт Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта, Мінск, Беларусь, uglov@bsu.by.

УДК 535.34

М.А. Курочкина, А.А. Комар

ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКОЕ ОТКЛОНЕНИЕ ЛУЧА НА ОСНОВЕ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЯЧЕЕК

Предложены и экспериментально проанализированы схемы управления направлением распространения лазерного пучка на основе эффекта полного внутреннего отражения в двулучепреломляющих жидкокристаллических оптоэлектронных элементах.

Одной из технических задач современной оптики является разработка новых недорогих устройств, способных управлять направлением распространения световых пучков в пространстве. Такие элементы необходимы в волоконно-оптических линиях связи, при проектировании интегральных схем с использованием способов световой передачи и обработки информации и т.д. Перспективной средой для создания устройств управления световыми пучками являются жидкокристаллические среды, характеризующиеся большой величиной двулучепреломления и возможностью ее электрического изменения с помощью низких напряжений (порядка нескольких вольт).

В данной работе предложены и экспериментально проанализированы схемы управления направлением распространения лазерных пучков жидкокристаллическими элементами на основе эффекта полного внутреннего отражения. В жидкокристаллической ячейке создается граница раздела двух объемов жидкого кристалла, различающихся направлением ориентации директора. Управление распространением лазерного излучения осуществляется посредством приложения к жидкокристаллической ячейке внешнего электрического поля.

При изготовлении ячейки использовался положительный двулучепреломляющий нематический жидкий кристалл с анизотропией показателя преломления 0,18. Для задания двух направлений директора жидкого кристалла использовался оригинальный фотополимер, разработанный на кафедре физической оптики Белорусского государственного университета. Эксперименты проводились с помощью He-Ne лазера, работающего на длине волны 633 нм. Для света, распространяющегося через такую двулучепреломляющую среду, показатель преломления зависит от поляризации излучения. При распространении лазерного излучения с поляризацией, параллельной директору жидкого кристалла, в среде возбуждается необыкновенная волна (для использованного жидкого кристалла $n_e = 1,67$). В случае, когда поляризация света перпендикулярна направлению директора жидкого кристалла, показатель преломления соответствует показателю преломления для обыкновенной волны ($n_o = 1,49$). Подбирая соответствующую геометрию эксперимента (направление директора двух объемов жидкого кристалла и вектора поляризации входящей в жидкокристаллическую ячейку световой волны) можно осуществить

отклонение светового пучка на границе раздела двух ориентаций директора жидкого кристалла.

Линейно поляризованный лазерный луч вводился в область с большим показателем преломления (электрический вектор светового пучка параллелен директору) под углом полного внутреннего отражения к созданной границе раздела показателей преломления. Отражаясь от границы, световой пучок менял направление своего распространения. При включении внешнего электрического поля жидкий кристалл переориентировался и жидkokристаллическая ячейка представляла собой однородно ориентированную гомеотропную структуру, в которой луч распространялся прямолинейно, не испытывая отражения.

Таким образом, в результате выполнения работы экспериментально исследованы и оптимизированы условия, позволяющие достичь максимального эффекта отражения светового пучка на границе раздела двух объемов жидкого кристалла с различной ориентацией директора. Реализовано переключение направления распространения лазерного пучка за счет переориентации директора под действием приложенного электрического поля.

The schemes to control the propagation direction based on the total internal reflection effect in birefringence liquid-crystal optoelectronic elements have been proposed and experimentally realized.

Курочкина Маргарита Анатольевна, студентка 4 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, Kurochkina.margarita@yandex.ru;

Комар Андрей Александрович, студент физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, komar.andrei@gmail.com.

Научный руководитель – *Мельникова Елена Александровна*, кандидат физико-математических наук, доцент, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, melnikova@bsu.by.

УДК 667.637.633

Д.Д. Лебедевич

ГИДРОФОБИЗИРОВАННЫЕ ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

Проведены исследования гидрофобизированных лакокрасочных материалов, наносимых на автомобильные агрегаты для защиты от воздействия окружающей среды.

Лакокрасочные покрытия являются одним из основных практических средств защиты черных металлов от коррозии. В большинстве случаев они наиболее удобны в применении, экономически выгодны и часто более долговечны, чем металлические покрытия. Была поставлена задача повысить водо- и грязеотталкивающие свойства лакокрасочных покрытий, наносимых на карданные передачи, производства ОАО «Белкард». Проникновение воды, попадающей во время эксплуатации на изделие, сквозь покрытие к металлу приводит к его корродированию.

Для придания гидрофобных свойств на поверхность сформированного лакокрасочного покрытия наносили полидиметилсилоксан из раствора в бензоле. Полидиметилсилоксан обладает высокими гидрофобными свойствами, поэтому его часто используют в строительстве для придания водоотталкивающих свойств стеклу, керамике, бетону, текстилю. Причина гидрофобности заключается в ориентации молекул пленки кремнийорганического полимера: углеводородные радикалы направлены наружу, а атомы кислорода направлены в сторону гидрофильной поверхности.

На поверхность лакокрасочного покрытия, полученного из эмали ЭП-1267, методом окунания, был нанесен раствор полидиметилсилоксана в бензоле различной концентрации: 3, 6, 10 объем %. После испарения бензола на поверхности изделия образовалась равномерная пленка.

Для определения гидрофобных свойств сформированного покрытия на поверхность наносили каплю дистиллированной воды с последующим определением краевого угла смачивания, по которому судили о степени смачивания поверхности [1].

В нашем случае значение краевого угла смачивания изменялось в зависимости от концентрации наносимого раствора

полидиметилсилоксана в бензоле (рисунок). Проанализировав результаты можно сделать вывод, что нанесение 6%-го раствора полидиметилсилоксана в бензоле увеличило краевой угол смачивания на 60%.

Таким образом, увеличение значения краевого угла смачивания покрытия уменьшило степень смачивания поверхности изделия и соответственно повысило антикоррозионные свойства.



Рисунок – Зависимость краевого угла смачивания гидрофобизированных лакокрасочных материалов от концентрации раствора полидиметилсилоксана в бензоле

Список литературы

1. Карякина, М.И. Испытания лакокрасочных материалов и покрытий /М.И. Карякина. – М.: Химия, 1988. – 272 с.: ил.

The researches hydrophobized coatings applied to a car units for protection from environmental influences.

Лебедевич Дмитрий Дорофеевич, студент факультета строительства и транспорта Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь. lebedevich_d@mail.ru.

Научный руководитель – *Скаскевич Александр Александрович*, кандидат технических наук, доцент кафедры МиРТ, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 539.8

С.А. Невский, С.В. Коновалов, М.В. Пономарева, В.Е. Громов

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НА АКТИВАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ В АЛЮМИНИИ *

Проведено исследование влияния электрического потенциала на величину активационного объема релаксации напряжений в технически чистом алюминии А85. Показано, что при воздействии малых электрических потенциалов величина активационного объема уменьшается.

Известно, что внешние энергетические воздействия оказывают существенное влияние на пластическую деформацию материалов. Большие успехи достигнуты в исследовании электрических воздействий в частности влияния электростатических полей большой напряженности. Влияние данного воздействия хорошо изучено на пластическую деформацию диэлектрических кристаллов [1]. В случае металлических материалов выгоднее всего изменять потенциал поверхности образца, так как в них содержится большое число свободных носителей заряда, которые экранируют электрическое воздействие. К настоящему моменту влияние электрического потенциала изучено на процесс ползучести алюминия и меди [2].

В нашей работе исследовано поведение активационного объема процесса релаксации напряжений в технически чистом алюминии А 85 при наложении электрических потенциалов от -1,5 В до 1,5 В в условиях сжатия. Из релаксационных кривых, полученных при проведении экспериментов, по методике, приведенной в [3], определялись параметры, характеризующие термически активированную релаксацию напряжений, в нашем случае – активационный объем. Эффект влияния электрического потенциала характеризовался величиной относительного изменения активационного объема $\xi = \gamma_{el} / \gamma_0 - 1$, где γ_{el} – активационный объем при воздействии электрического потенциала, γ_0 – без воздействия.

* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.г.» (гос. контракт № П411).

Результаты исследования показывают, что величина относительного изменения активационного объема не зависит от знака приложенного потенциала и по мере увеличения его абсолютного значения уменьшается. Уменьшение значения активационного объема следует связать с увеличением плотности подвижных дислокаций в системе, как следствие увеличения скорости пластической деформации. Однако для установления причин изменения плотности подвижных дислокаций и механизма их блокировки требуются дополнительные исследования с привлечением прецизионных методов физического металловедения.

Список литературы

1. Зуев, Л.Б. Физика электропластичности щелочно-галлоидных кристаллов / Л.Б. Зуев. – Новосибирск: Наука, 1990. – 120 с.
2. Коновалов С.В. Прочность и пластичность металлов при слабых энергетических воздействиях / С.В. Коновалов [и др.] – Новокузнецк: Изд-во ОАО «Новокузнецкий полиграфический комбинат», 2009. – 180 с.
3. Dotsenko, V.I. Stress relaxation in crystals / V.I. Dotsenko // Physica Status Solidi (b). – 1979. – V. 93. – P. 11–43.

It is investigated of influence of electrical potential on change of activation parameters of a stress relaxation (activation volume) in technically pure aluminium A 85 at the application of electrical potential from -1,5 to 1,5 V. Dependences of relative change of the given parameters on magnitude of electric potential are gained.

Невский Сергей Андреевич, аспирант кафедры физики факультета материаловедения и обработки металла давлением Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, nevskiy_sa@physics.sibsiu.ru;

Коновалов Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры физики, факультет материаловедения и обработки металла давлением, доцент, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, konovalov@physics.sibsiu.ru.

Пономарева Марина Владимировна, аспирант факультета материаловедения и обработки металла давлением Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, zagulyaev_dv@physics.sibsiu.ru.

Научный руководитель – *Громов Виктор Евгеньевич*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, gromov@physics.sibsiu.ru.

УДК 665.76

Д.Ф. Никифоров

ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗКИ С НАНОМОДИФИКАТОРАМИ ДЛЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ УЗЛОВ ТРЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

В работе рассмотрена проблема совершенствования пластичных смазок с целью повышения эффективности их применения в тяжело нагруженных узлах трения автомобильных агрегатов. Приведена информация о наномодификаторах, использование которых оказывает существенное влияние на триботехнические характеристики базовых пластичных смазок.

Одной из главных проблем машиностроения является увеличение эксплуатационного ресурса, безопасности и комфортности машин, технологического оборудования и механизмов. В процессе эксплуатации узлы трения испытывают комплексное воздействие эксплуатационных факторов, приводящих к изнашиванию сопряженных поверхностей и нарушению оптимального зазора между ними. Это воздействие характеризуется тенденцией увеличения нагрузочно-скоростных и температурных режимов в процессе эксплуатации. В результате существенно сокращается ресурс работы карданной передачи, что неблагоприятно сказывается на потребительских характеристиках. Важную роль в этих процессах играют смазочные материалы и их подбор для применения в конкретных узлах трения.

Целью данной работы является разработка смазочного материала на основе базовой пластичной смазки. Поставленная задача была достигнута путем введения в базовый состав смазки наномодификатор, на основе фторсодержащих соединений.

Проведены исследования, в результате которых получены данные об эффективности действия наномодификатора в составе пластичной смазки Итмол – 150Н. Используя в качестве модификатора ультрадисперсный порошок ПТФЭ (УПТФЭ), достигли эффекта снижения износа пары трения почти в 3 раза. Однако УПТФЭ является достаточно дорогим для массового применения, в связи с этим выбор оптимальных видов наномодификаторов остается актуальным и требует дальнейшего изучения.

Список литературы

1. Наноструктурные материалы – 2008: Беларусь – Россия – Украина (НАНО–2008) : материалы Первой междунар. науч. конф. (Минск, 22 – 25 апр. 2008 г.) / редкол.: П.А.Витязь [и др.]. – Минск: Бел. наука, 2008. – 765 с.
2. Нанокomпозиционные машиностроительные материалы: опыт разработки и применения : монография / С.В. Авдейчик [и др.]. под ред. В.А. Струка. – Гродно : ГрГУ, 2006. – 403 с.

The problem of improvement of viscous lubrications is presented in this article. The goal of the improvement is to increase the efficiency of their application in heavy-loaded friction knots of cardan shafts. Information about nanomodifiers is also reflected in the article. Usage of nanomodifiers has great influence on tribotechnical characteristics of base viscous lubrications.

Никифоров Дмитрий Федорович, студент 5 курса факультета строительства и транспорта Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Струк Василий Александрович*, доктор технических наук, профессор кафедры МиРТ, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 629.1.01

А.И. Ничипор

АМОРТИЗИРУЮЩИЕ СРЕДЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ПОВЫШЕННОГО РЕСУРСА

В данной работе было исследовано влияние фторсодержащей присадки на амортизаторную жидкость Лукойл АЖ-12Т.

Амортизаторные жидкости подвергаются механическим и термическим воздействиям в процессе эксплуатации. Поэтому они должны иметь вязкость от 12 (при 50°C) до 6500 мм²/с (при –40°C); сильно не разжижаться и не терять текучести соответственно при высоких и низких температурах; обладать возможно более низкой температурой застывания (не выше –55°C) и высокой температурой кипения (не ниже 250°C); при хранении и эксплуатации в широком

диапазоне температур (от -50 до 300°C) и давлений (10-15 МПа) не должны расслаиваться, вспениваться, интенсивно испаряться, образовывать осадки, смолистые отложения. Кроме того, амортизаторные жидкости должны обладать хорошими противоизносными свойствами, не вызывать коррозию металлов и не разрушать другие конструкции, материалы, например, резиновые уплотнения. [1,2]

Основным показателем амортизаторной жидкости является кинематическая вязкость при положительных и отрицательных температурах.

Проводили измерение кинематической вязкости амортизаторной жидкости Лукойл АЖ-12Т с добавлением присадки, в качестве которой была применена суспензия фторсодержащего модификатора.

Измерения проводили при температурах 40°C и 100°C . Присадку добавляли в диапазоне концентраций от 0-90%.

Из полученных результатов следует, что добавление присадки оказывает разное влияние на кинематическую вязкость при разных температурах.

При температуре 40°C вязкость моторного масла уменьшалась с увеличением концентрации присадки. При температуре 100°C с добавлением присадки в размере 10% , вязкость увеличилась, с дальнейшим увеличением присадки вязкость снова уменьшилась.

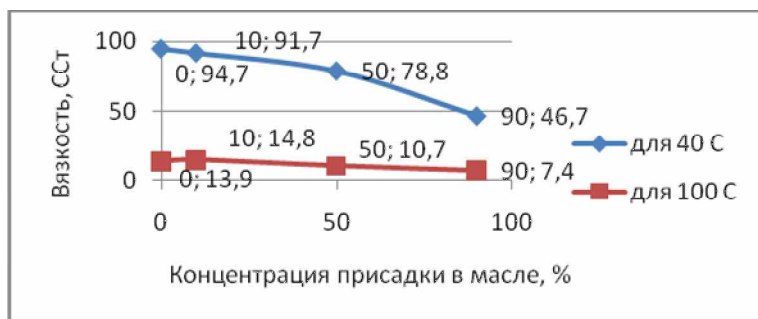


Рисунок – График зависимости вязкости от концентрации присадки

Таким образом применение фторсодержащей присадки концентрацией 10% повышает вязкость при температурах нормальной работы амортизатора ($80-100^{\circ}\text{C}$) до 14,8 сСт, чем увеличивает амортизационные свойства.

Список литературы

1. Раймпель, Й. Шасси автомобиля. Амортизаторы, шины и колеса / Й. Раймпель под редакцией О.Д. Златовратского.; перевод с немецкого В.П. Агапова. – М.: Машиностроение, 1986.
2. Скиндер, И.Б. Ю.А. Лиэпа Гидравлические телескопические амортизаторы, атлас конструкций / И.Б. Скиндер, Ю.А. Лиэпа. – М.: Машиностроение, 1969.

The purpose of work is to increase the operational resource shock absorber, by modifying the absorber fluid ultra fluoride additives.

Ничипор Александр Иванович, студент факультета строительства и транспорта Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Скаскевич Александр Александрович*, кандидат технических наук, доцент кафедры МиРТ, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 546.424

Ю.Н. Орешко

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩЕГО ЦЕНТРА В КРЕМНИИ, ИМПЛАНТИРОВАННОМ ИОНАМИ ВОДОРОДА

Методом DLTS исследован энергетический спектр уровней радиационных дефектов в эпитаксиальном кремнии n-типа, облученном ионами водорода с энергией 300 кэВ. Показано, что комплексы с уровнем $E_c - 0,31$ образуются путем присоединения к А-центру атомов водорода. При $T > 150^{\circ}\text{C}$ этот дефект начинает отжигаться, и одновременно восстанавливается А-центр.

Исследования проводились на (Mo-Si) диодах Шоттки. Облучение ионами H^+ с энергией 300 кэВ и дозой $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ проводилось с планарной стороны. Параметры РД определялись методом DLTS. Отжиг образцов проводился в кварцевой трубе на воздухе.

На рисунке приведены спектры DLTS для диодов Шоттки, облученных γ – квантами ^{60}Co (1) и ионами H^+ (2), нормированные по амплитуде самого высокотемпературного пика.

Из анализа полученных результатов следует, что при обоих видах облучения вводятся А-центры (1), Е-центры (4) и незначительное количество дивакансий $W^{=/-}$ (2). Более глубокое состояние дивакансии $W^{-/0}$ маскируется, по нашему мнению, мощным пиком (4), который мы, исходя главным образом из температуры его отжига 150°C , идентифицировали как Е-центр. К особенностям протонного облучения, как следует из рисунка, можно отнести во-первых, появление нового дефекта с уровнем $E_c - 0,31 \text{ эВ}$ и, во-вторых, более низкий относительный вклад А-центра, который при γ – (кривая 1) доминирует в спектре DLTS. С учетом этого можно предположить, что образование водородосодержащего дефекта с уровнем $E_c - 0,31 \text{ эВ}$ происходит за счет А-центра. Действительно, в работе [1] показано, что низкотемпературное введение водорода в процессе химической полировки кремния, предварительно облученного электронами приводит к сокращению А-центров за счет присоединения к ним атома водорода и образования нового дефекта с уровнем $E_c - 0,31 \text{ эВ}$, идентифицированного, как VОН-комплекс. В пользу механизма пассивации А-центра свидетельствуют и наши данные по изохронному отжигу. Действительно, отжиг VОН-комплекса сопровождается восстановлением А-центра. В то же время отжиг А-центра в образце, облученном γ – квантами, протекает без увеличения его концентрации.

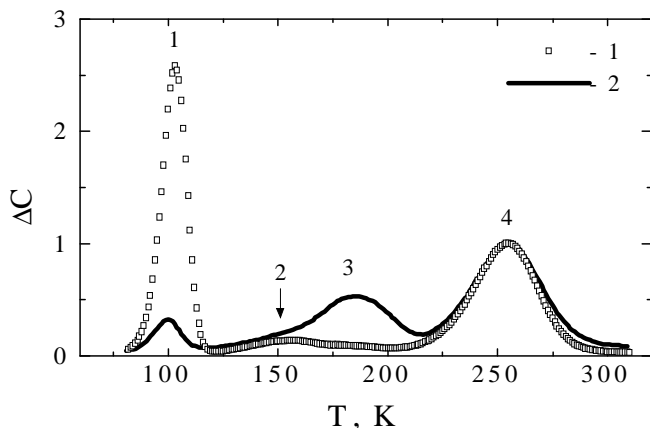


Рисунок – Спектры DLTS для диодов Шоттки

Список литературы

1. Козлов В.А., Козловский В.В. // ФТП.– 2001.– Т.35, в.7.– С.769.

Орешко Юлия Николаевна, студентка 4 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь; Yulechka_3333@mail.ru.

Научный руководитель – *Покотило Юрий Мефодиевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры атомной физики и физической информатики, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, pokotilo@bsu.by.

УДК 621.89.012.7

И.М. Павловский

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ ТРУБОПРОВОДОВ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

В данной работе было исследовано влияние сухой ультрадисперсной смазки «Форум» на усилие закрытия-открытия шарового крана. Показано, что

использование данной смазки увеличивает ресурс работы и долговечность запорной арматуры трубопроводов низкого давления.

Основным требованием, предъявляемым к запорной арматуре, в частности к шаровым кранам, является герметичность. Она обеспечивается работой пары трения седло-затвор. При этом герметичность обеспечивается только в случае прилегания затвора по всей площади контакта седла, а это обеспечивается увеличением силы затяжки резьбового соединения, которое приводит к увеличению усилия открытия-закрытия, а также приводит к повышению коэффициента трения и увеличению линейного износа фторопластового уплотнения.

Целью работы являлось повышение долговечности запорной арматуры трубопроводов низкого давления, за счет увеличения износостойкости уплотнительных седел на основе фторопласта.

Для уменьшения износа фторопластового уплотнения в паре трения седло-затвор, была использована сухая ультрадисперсная смазка «Форум». Форум – это ультрадисперсные частицы ПТФЭ правильной шаровидной формы. Размер частицы приблизительно равен 100-500 нм [3].

В ходе эксперимента ротап rintное покрытие наносили непосредственно на поверхность хромированного затвора, шарового крана DN32, PN 1,6 МПа путем натирания. Измеряли усилие закрытия крана. Испытания проводились на 7-ми кранах, которые предварительно были приработаны в течение 3-4 минут. Измерения осуществлялись при помощи динамометра общего назначения серии ДПУ-100-1, ГОСТ 9500-84 [2]. При испытаниях шаровые краны устанавливались в тиски.

По результатам эксперимента можно сделать следующий вывод, что данная смазка уменьшает усилие открытия-закрытия затвора и силу трения в паре седло-затвор, и как следствие, она уменьшает износ трущихся поверхностей, в частности фторопластового седла, что увеличивает ресурс работы шарового крана (см. рисунок).

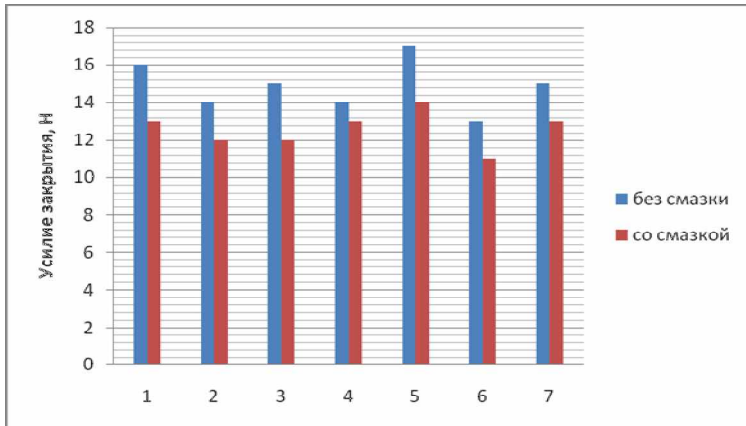


Рисунок – Зависимость усилия закрывтия-открывтия шарового крана от применения смазки

Этот эффект объясняется тем, что активные центры, которые образуются на поверхности ультрадисперсной частицы, дают возможность ей прочно удерживаться на поверхности металла за счет высокого трибоэлектрического заряда частиц «Форума». На поверхности шарового затвора образуется устойчивая пленка переноса. Таким образом, при циклах открывтия-закривтия смазка переносится с поверхности затвора на поверхность фторопластового уплотнения и наоборот.

Список литературы

1. Гуревич, Д.Ф. Трубопроводная арматура: справочное пособие / Д.Ф. Гуревич. – 3-е изд. М.: ЛКИ, 2008. – 368 с.
2. ГОСТ 9500-84. «Динамометры образцовые переносные. Общие технические требования»
3. Коробов, М.С. Наночастицы на поверхности ультрадисперсного политетрафторэтилена: дис. ... канд. хим. наук. – М.: РГБ, 2003. – 165 с.

In this study we investigated the influence of the ultrafine dry lubricant "Forum" at the closing force, opening the ball valve. It is shown that the use of the lubricant increases the operating life and durability of the valves of low pressure pipelines.

Павловский Иван Михайлович, студент 5 курса, факультета строительства и транспорта, Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, i.pavlovsky@inbox.ru.

Научный руководитель – *Гаврилова Валентина Владимировна*, старший преподаватель кафедры МиРТ, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 546.424

Ю.А. Палагина

ПОСТИМПЛАНТАЦИОННАЯ ЭВОЛЮЦИЯ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В КРЕМНИИ

Методом DLTS исследован энергетический спектр уровней радиационных дефектов в эпитаксиальном кремнии n-типа, облученном ионами водорода с энергией 300 кэВ. Обнаружено, что сразу после имплантации формируются крупномасштабные области скопления дефектов, которые после выдержки образцов при комнатной температуре в течение нескольких месяцев распадаются с образованием точечных радиационных дефектов. (А-, Е-центров).

Исследования проводились на (Mo-Si) диодах Шоттки. Облучение ионами H^+ с энергией 300 кэВ и дозой $1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ проводилось с планарной стороны. Параметры РД определялись методом DLTS. В нашем случае отношение времен выборок $t_2/t_1 = 5$, частота измерительного моста 1 МГц, а напряжение смещения переключалось от 0 до -5 В, что соответствует глубине сканирования базового слоя $x=(1,2-2,1 \text{ мкм})$.

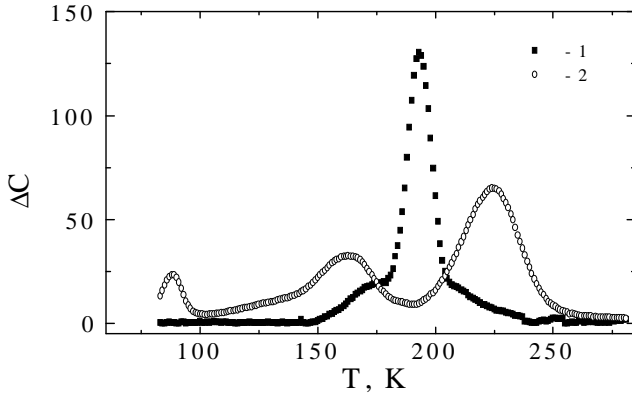


Рисунок – Спектры DLTS ($\tau=10,4$ мс) в облученном ионами водорода диоде Шоттки (1) и спустя 5 месяцев после выдержки при комнатной температуре (2)

На рисунке приведены спектры DLTS в образце, облученном ионами H^+ . Видно, что сразу после облучения в спектре наблюдается только один пик со значениями активации $\Delta E = 0,4$ эВ и сечением захвата электронов $\sigma = 8,3 \cdot 10^{-15}$ см², найденными из температурного смещения максимума пика при измерении серии спектров с различными окнами регистрации. В этих измерениях обнаружено возрастание амплитуды пика с увеличением температуры регистрации. Согласно [1], этот эффект обусловлен изменением концентрации заряженных глубоких уровней в скоплениях дефектов с изменением температуры. Однако, для скопления дефектов, образованных быстрыми нейтронами реактора, амплитуда пика падает с ростом температуры регистрации. В нашем же случае наблюдается обратный эффект, что образованием при протонном облучении областей с невысокой, меньше исходного уровня легирования плотностью смещения. Такие области скопления дефектов неустойчивы и, поэтому, выдержка облученных образцов при комнатной температуре приводит к их развалу и появлению известных изолированных точечных дефектов (А-, Е-центров). (см. рисунок, кривая 2), амплитуды пиков которых не зависят от температуры регистрации.

Список литературы

1. Антонова, И.В., Васильев А.В., Панов В.И. и др // ФТП. – 1988. – Т. 22, в.6. – С. 998.

Method DLTS investigates a power spectrum of levels of radiating defects in epitaxial silicon of n-type irradiated with ions of hydrogen with energy 300 keV. It is revealed that right after implantations are formed large-scale areas of a congestion of defects which after endurance of samples at a room temperature in the time of break up several months with formation of dot radiating defects. (A-, E-centres).

Палагина Юлия Андреевна, студентка 4 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, Julia_Palagina@tut.by.

Научный руководитель – *Покотило Юрий Мефодиевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры атомной физики и физической информатики, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, pokotilo@bsu.by.

УДК 621.8+541.6:678.02

В.Д. Полоник, А.В. Струк, Е.И. Эйсымонт, В.В. Потребя

ВЛИЯНИЕ ФТОРСОДЕРЖАЩИХ МОДИФИКАТОРОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА РЕЗИН

Исследовано влияние фторсодержащих модификаторов на деформационно-прочностные характеристики и зарядовое состояние резин. Показано, что при совместном введении ПТФЭ и УПТФЭ в состав резиновой смеси достигается синергический эффект повышения деформационно-прочностных характеристик и устойчивости к воздействию эксплуатационных сред.

Резинотехнические изделия (РТИ) на основе каучуков общетехнического назначения относятся к числу наиболее распространенных видов комплектующих в уплотнительных устройствах узлов трения машин, механизмов и технологического оборудования, запорной арматуры газо- и водопроводов, автомобильных агрегатов и др. герметизирующих устройствах. Наряду с несомненными достоинствами, таким РТИ присущ ряд недостатков, обусловленных относительно небольшой износостойкостью, особенно в

условиях воздействия абразивных сред, повышенной склонностью к набуханию в различных технологических средах (смазочных маслах, гидравлических жидкостях, топливах) и старению под действием эксплуатационных факторов. Для повышения показателей служебных характеристик в состав резин вводят функциональные модификаторы. Особенный интерес представляют собой высокодисперсные модификаторы комплексного действия, в т.ч. наноразмерные [1,2].

В настоящей работе исследовано влияние фторсодержащих компонентов на параметры служебных характеристик резины общетехнического назначения марки ИРП 1068, применяемой для изготовления уплотнительных манжет на предприятиях по производству азотсодержащих продуктов.

В качестве фторсодержащих модификаторов использовали порошкообразный политетрафторэтилен (ПТФЭ) марки Ф-4 и продукты термогазодинамического синтеза политетрафторэтилена (УПТФЭ) марки «Форум». Дисперсные компоненты в необходимых количествах вводили в состав сырой резиновой смеси перемешиванием на вальцах. Вулканизацию смеси осуществляли при режимах, характерных для базовой резины, в формах. Испытания деформационно-прочностных характеристик композитов и стойкости к воздействию технологических сред оценивали по стандартным методикам. Кроме того, осуществляли комплексный анализ особенностей деформационно-прочностных характеристик композитов с применением метода динамического индентирования с использованием прибора «Импульс-Ф», разработанного ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси». Устойчивость композитов к воздействию технологических сред оценивали по краевому углу смачивания θ и степени набухания образца (мас.%).

Исследования показали, что фторсодержащие модификаторы (ПТФЭ и УПТФЭ), несмотря на практически одинаковое химическое строение, оказывают разное влияние на параметры прочности и твердости. Так, при введении порошкообразного ПТФЭ в количестве 3÷5 мас.% прочность композиции на основе ИРП 1068 уменьшается более чем на 30÷50% при одновременном повышении показателя твердости по Шору А.

Анализ морфологии поперечного скола образца в жидком азоте показывает, что частицы ПТФЭ достаточно равномерно распределены по объему резиновой матрицы. При этом адгезионное взаимодействие на границе раздела «матрица-наполнитель» практически отсутствует

вследствие низкой смачиваемости частиц ПТФЭ резиновой смесью в вязкотекучем состоянии. Этот факт подтверждает резкое снижение показателя эластичности, оцениваемого по относительному удлинению образца при одноосном растяжении.

При введении в качестве модификатора УПТФЭ в количестве 3÷5 мас.% также наблюдается снижение прочностных показателей, однако композиционный материал сохраняет способность к деформированию без разрушения, о чем свидетельствует увеличение показателя относительного удлинения композиционного образца.

Исследования процесса смачивания композитов показали, что оба фторсодержащих модификатора увеличивают значения краевого угла смачивания модельными средами: инактивным вазелиновым маслом и водой, однако эффективность действия УПТФЭ заметно выше, чем ПТФЭ. Для оценки механизма действия фторсодержащих компонентов исследовали состав частиц УПТФЭ с применением методов ДТА, ИК-спектроскопии и спектроскопии термостимулированных токов (ТСТ).

Анализ показал, что высокодисперсные частицы УПТФЭ представляют композит, в состав которого входит полимерное ядро, имеющее химический состав и молекулярную массу, близкую к ПТФЭ, и периферийный слой, состоящий из олигомерных фракций различной молекулярной массы с температурой плавления (сублимации) от 60 до 150°С.

При введении в состав сырой резиновой смеси частицы УПТФЭ благодаря наличию олигомерной фазы легко совмещаются с матрицей, образуя гомогенный композиционный материал, в котором высокодисперсная фаза с размером не более 200 нм выполняет функцию армирующего компонента.

Анализ спектров ТСТ свидетельствует, что частицы УПТФЭ, в отличие от ПТФЭ обладают нескомпенсированным зарядом, который обуславливает протекание нанотоков в области 120÷150°С. В процессе формирования композита при температурах 150÷170°С частицы УПТФЭ, в отличие от частиц ПТФЭ, выполняют функцию армирующего компонента вследствие повышенной термодинамической совместимости с матричной резиновой смесью. Часть олигомерных компонентов УПТФЭ выполняет функцию высокомолекулярного пластификатора и гидрофобизатора, способствуя повышению

показателей пластичности и гидро-маслофобности. При совместном введении ПТФЭ и УПТФЭ в состав резиновой смеси достигается синергический эффект повышения деформационно-прочностных характеристик и устойчивости к воздействию эксплуатационных сред.

Проведенные исследования позволили разработать состав композиционного материала на основе ИРП 1068 для изготовления уплотнений с повышенными служебными характеристиками для технологического оборудования, применяемого на ОАО «Гродно Азот», и уплотнений запорной арматуры газо- и водопроводов ПУЧП «Цветлит».

Список литературы

1. Гольдаде, В.А. Ингибиторы изнашивания металлополимерных систем / В.А. Гольдаде, В.А. Струк, С.С. Песецкий. – М.: Химия, 1993. – 240 с.
2. Авдейчик, С.В. Введение в физику нанокomпозиционных машиностроительных материалов / С.В. Авдейчик [и др.]; под науч. ред. В.А. Лиопо, В.А. Струка. – Гродно: ГГАУ, 2009. – 439 с.

It is studied influence of fluorine-containing modifiers on the deformation-strength characteristics and charging state of the rubbers. It is shown that achievement of synergetic effect of deformation-strength characteristics and resistance to operating environment influence increase by joint introduction of the PTFE and UPTFE.

Полоник Владимир Дмитриевич, аспирант 1 года обучения Белорусского государственного технологического университета, Минск, Беларусь;

Струк Александр Васильевич, магистрант 1 года обучения, Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь;

Эйсьмонт Евгения Ивановна, магистрант 2 года обучения, Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь;

Потребва Владимир Владимирович, студент 4 курса инженерно-технологического факультета Гродненского государственного аграрного университета, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Струк Василий Александрович*, доктор технических наук, профессор кафедры МиРТ, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, alex@grsu.by.

УДК 541.124+546.431

Д.Д. Польшко, С.В. Труханов, Л.С. Лобановский

**ВЛИЯНИЕ ДОБАВКИ ФЕРРИТА-АЛЮМИНАТА
СТРОНЦИЯ $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ НА КОЭРЦИТИВНУЮ СИЛУ
И ДРУГИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОСТОЯННЫХ
ИЗОТРОПНЫХ МАГНИТОВ ИЗ ФЕРРИТОВ
 $\text{Sr}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Fe}_{12-x}\text{Co}_x\text{O}_{19}$**

Изучено влияние добавки феррита-алюмината стронция $\text{Sr}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Fe}_{12-x}\text{Co}_x\text{O}_{19}$ на коэрцитивную силу, остаточную намагниченность, энергетическое произведение $(\text{BH})_{\text{max}}$ изотропных магнитов из ферритов $\text{Sr}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Fe}_{12-x}\text{Co}_x\text{O}_{19}$ ($x \leq 0.4$).

Перспективным направлением в области материаловедения высококоэрцитивных ферритов является изучение свойств твердых растворов $\text{Sr}_{1-x}\text{Ln}_x\text{Fe}_{12-x}\text{M}_x\text{O}_{19}$ ($\text{M} - \text{Zn, Cd, Cu, Mg, Mn, Ni, Co; Ln} - \text{La}$ и др. редкоземельные элементы). Так, результаты исследования магнитных свойств систем $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{12-x}\text{Zn}_x\text{O}_{19}$ [1], $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{12-x}\text{Co}_x\text{O}_{19}$ [2] показали, что анизотропные постоянные магниты из ферритов $\text{Sr}_{0.7}\text{La}_{0.3}\text{Fe}_{11.7}\text{Zn}_{0.3}\text{O}_{19}$ $\text{Sr}_{0.8}\text{La}_{0.2}\text{Fe}_{11.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_{19}$ имеют значения энергетического произведения $(\text{BH})_{\text{max}}$ 41 кДж/м³ и 38.4 кДж/м³ соответственно. Это выше чем у анизотропных магнитов из феррита $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ ($(\text{BH})_{\text{max}} = 35$ кДж/м³).

На кафедре физической и коллоидной химии БГТУ впервые было предложено для увеличения коэрцитивной силы и энергетического произведения $(\text{BH})_{\text{max}}$ магнитов из феррита $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ использовать в качестве дополнительной изоморфной добавки феррит-алюминат стронция $\text{SrFe}_{9.5}\text{Al}_{2.5}\text{O}_{19}$, подавляющий движение доменных границ

[3].

В данной работе керамическим методом получены ферриты $Sr_{1-x}Pr_xFe_{12-x}Co_xO_{19}$ ($x=0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4$) и феррит-алюминат стронция $SrFe_{9.5}Al_{2.5}O_{19}$. Анализ рентгеновских дифрактограмм показал, что ферриты при $x \leq 0.3$ и феррит-алюминат стронция являются однофазными, а в образце феррита со степенью замещения $x = 0.4$ присутствуют так же фазы $\alpha-Fe_2O_3$ и $CoFe_2O_4$. Изучение магнитных свойств $SrFe_{9.5}Al_{2.5}O_{19}$ и ферритов $Sr_{1-x}Pr_xFe_{12-x}Co_xO_{19}$ показало, что $SrFe_{9.5}Al_{2.5}O_{19}$ имеет более высокое значение коэрцитивной силы, чем у ферритов $Sr_{1-x}Pr_xFe_{12-x}Co_xO_{19}$ и он был использован в качестве добавки при изготовлении изотропных керамических магнитов из ферритов $Sr_{1-x}Pr_xFe_{12-x}Co_xO_{19}$. Показано, что использование $SrFe_{9.5}Al_{2.5}O_{19}$ позволило увеличить остаточную индукцию B_r , коэрцитивную силу B_{Hc} , энергетическое произведение $(BH)_{max}$ изотропных магнитов из всех исследуемых ферритов $Sr_{1-x}Pr_xFe_{12-x}Co_xO_{19}$. У изотропных магнитов, в которых присутствовала только промышленная добавка $(CaCO_3 + SiO_2 + H_3BO_3)$, B_{Hc} и $(BH)_{max}$ достигали максимальных значений 119 кА/м и 5.35 кДж/м³ при $x = 0.2$. Для магнитов, содержащих 0.75 мас. % добавку $SrFe_{9.5}Al_{2.5}O_{19}$ максимальные значения B_{Hc} и $(BH)_{max}$ так же достигались для магнита из феррита $Sr_{0.8}Pr_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ и были выше на 6.7%, 12.3% соответственно. Отмечено увеличение значений кажущейся плотности $\rho_{каж}$ изотропных магнитов из ферритов $Sr_{1-x}Pr_xFe_{12-x}Co_xO_{19}$, содержащих добавку $SrFe_{9.5}Al_{2.5}O_{19}$, по отношению к соответствующим магнитам без добавки. Это указывает на более интенсивное протекание процесса спекания, так как кристаллическая структура $SrFe_{9.5}Al_{2.5}O_{19}$ изоморфна структуре ферритов $Sr_{1-x}La_xFe_{12-x}Zn_xO_{19}$.

Список литературы

1. High Energy Ferrite Magnets / Н. Taguchi [et al.] // 7th International Conference on Ferrites, Bordeaux, 3-6 september 1996 / Bordeaux Convention Centre

France. – Bordeaux, 1996. – P. 3–4 A 4.

2. Anisotropy effects of La-Co substitutions in M-type Sr hexaferrites / G. Asti [et al.] // Phys. Stat. Sol. C: Conferences. – 2004. – Vol. 1, Iss. 12. – P. 3306–3309.

3. О возможном механизме влияния изоморфных добавок $\text{Ba}(\text{Sr})\text{Al}_{2.5}\text{Fe}_{9.5}\text{O}_{19}$ на коэрцитивную силу гексагональных ферритов *M*-типа / Л.А. Башкиров [и др.] // Материалы электронной техники. – 2006. – № 4. – С. 39–42.

Influence additive of the ferrite-aluminate $\text{SrFe}_{9.5}\text{Al}_{2.5}\text{O}_{19}$ on the coercive force, residual magnetization, power product $(BH)_{max}$ of isotropic magnets from ferrite $\text{Sr}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Fe}_{12-x}\text{Co}_x\text{O}_{19}$ ($x \leq 0.4$) is investigated.

Полько Дмитрий Дмитриевич, аспирант 3 года обучения кафедры физической и коллоидной химии факультета химической технологии и техники Белорусского государственного технологического университета, Минск, Беларусь, mhv79@mail.ru.

Труханов Сергей Валентинович, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь.

Лобановский Леонид Сергеевич, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Башкиров Леонид Андреевич*, доктор химических наук, профессор кафедры физической и коллоидной химии, факультет химической технологии и техники, Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь, bashkirov@bstu.unibel.by.

УДК 621.793

Д.А. Романов, Е.А. Будовских, В.Е. Громов

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО НАНЕСЕНИЯ МЕДНЫХ ПОКРЫТИЙ НА АЛЮМИНИЕВЫЕ КОНТАКТНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Методом световой микроскопии изучена структура и особенности границы с основой медных покрытий на алюминиевых контактных наконечниках, сформированных электровзрывным способом.

Существует необходимость на контактные поверхности кабельных наконечников наносить медные покрытия, которые увеличивают электрическую проводимость и коррозионную стойкость поверхности. Нанесение такого покрытия возможно электровзрывным способом. Способ включает формирование импульсной многофазной плазменной

струи с использованием плазменного ускорителя и воздействие ею на контактную поверхность, сопровождающееся осаждением капельной фазы струи.

В настоящей работе провели электровзрывное формирование медных покрытий на алюминиевую основу с использованием в качестве материала взрываемого проводника круглой медной фольги диаметром 50 мм и толщиной 15 мкм. Обработке подвергали контактную поверхность алюминиевого кабельного наконечника типа ТА по ГОСТ 9581-80. Контактную поверхность ориентировали перпендикулярно к оси плазменной струи. При этом расстояние облучаемой поверхности от среза сопла электровзрывного укорителя и значение зарядного напряжения емкостного накопителя энергии обеспечивало плотность мощности, необходимую для создания порогового значения удельного потока энергии плазменной струи для нагрева поверхности до температуры плавления. Для алюминия ее расчетное значение составляет $q = 3,7 \text{ ГВт/м}^2$.

Методом световой микроскопии установлено, что за один импульс обработки на контактной поверхности площадью 7 см^2 формируется однородный слой меди толщиной 12К 15 мкм. При повторной обработке толщина покрытия увеличивается пропорционально числу импульсов. Так, при трех импульсах она достигает 45К 50 мкм. При этом видимая граница между последовательно наносимыми слоями отсутствует. Способ позволяет одновременно обрабатывать контактные поверхности двух наконечников. Структура покрытий однородна вдоль поверхности и по глубине. На границе между покрытием и основой отсутствует промежуточный слой взаимного перемешивания материалов. Режим обработки, обеспечивающий нагрев облучаемой поверхности до температуры плавления формирует микрорельеф, который обеспечивает высокую адгезию покрытия к основе.

In work the copper coverings on aluminium contact copper surfaces have been formed by means of electroexplosive way. Their structure and also the features of border with a basis have been studied by the method of the light microscopy.

Романов Денис Анатольевич, аспирант факультета материаловедения и обработки металла давлением Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, romanov_da@physics.sibsiu.ru.

Будовских Евгений Александрович, доктор технических наук, доцент факультета материаловедения и обработки металла давлением Сибирского

государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, budovskih_ea@physics.sibsiu.ru.

Громов Виктор Евгеньевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия.

Научный руководитель – *Громов Виктор Евгеньевич*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия. gromov@physics.sibsiu.ru.

УДК 541.15

Е.Т. Рутковский

ИЗМЕНЕНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ МЕДНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫ В ПОЛЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Исследована микротвердость медных электролитических покрытий, образовавшихся при воздействии рентгеновского излучения.

Электролитические процессы нанесения металлопокрытий применяются для защиты изделий от коррозии, защитно-декоративной отделки, повышения сопротивления механическому износу и поверхностной твердости, отражательной способности, а также для изготовления металлических копий (гальванопластика).

Одной из механических характеристик гальванопокрытий является твердость и микротвердость в зависимости от условий электролиза. Твердость оценивается сопротивлением, которое одно тело оказывает проникновению в него другого, более твердого тела. Методом микротвердости находят твердость микрообъемов покрытия. Основное назначение метода – исследование твердости отдельных частиц, структурных составляющих, а также анизотропии твердости в различных участках покрытия [1].

Для измерений микротвердости были получены медные электролитические покрытия без облучения в процессе электролиза и в поле рентгеновского излучения при напряжениях 39, 47, 55 кВ на рентгеновской трубке с медным анодом и токах трубки 5, 10 и 15 мА. Плотность тока при электролизе во всех случаях составляла $1,5 \text{ А/дм}^2$.

Электроосаждение меди длилось в течение трех часов для достижения определенной толщины. Измерение микротвердости проводилось на микротвердомере ПМТ-3 путём вдавливания алмазного наконечника статической нагрузкой в течение 15 секунд. После снятия нагрузки и удаления наконечника были измерены параметры оставшегося отпечатка, по которым была определена микротвердость.

Зависимость микротвердости от силы тока на рентгеновской трубке при различных напряжениях, приведена на рисунке. Из зависимостей представленных на рисунке видно, что при увеличении интенсивности рентгеновского излучения микротвердость медных гальванических покрытий возрастает.

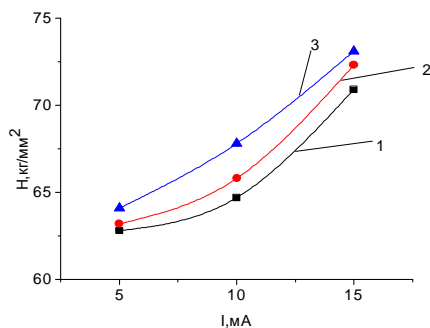


Рисунок – Зависимость микротвердости от силы тока на рентгеновской трубке при напряжениях: 1 – $U = 39$ кВ, 2 – $U = 47$ кВ, 3 – $U = 55$ кВ

Так как плотность зародышей, образовавшихся в поле рентгеновского излучения больше, по сравнению с плотностью зародышей на контрольном катоде, и размеры их меньше, то облученное покрытие обладает более мелкозернистой структурой [2]. Это в свою очередь оказывает влияние на микротвердость медных покрытий. Наибольшее различие в значениях микротвердости покрытий образовавшихся под излучением, наблюдается при напряжении 55 кВ и силе тока 15 мА на рентгеновской трубке,

и составляет 19,1% микротвердости контрольного образца.

Список литературы

1. Боярская, Ю.С. Деформирование кристаллов при испытаниях на микротвердость / Ю.С.Боярская. – Кишинев: Штинца, 1972. – 234 с.
2. Валько, Н.Г. Микроструктурные исследования медных гальванических покрытий, полученных в поле рентгеновского излучения / Н.Г. Валько, А.С. Воронцов // Молодые ученые – науке, технологиям и профессиональному образованию: материалы международной научно-технической школы-

конференции, Москва, 10-13 ноября 2008 г.: в 3 ч / Москва: Энергоатомиздат, 2008. – Ч. 3. – С. 171-173

The article is devoted research of microhardness copper coverings received in the field of X-ray radiation. With growth of intensity of X-ray radiation microhardness of a covering increases.

Рутковский Евгений Тадеушевич, студент 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, elektronik87@mail.ru.

Научный руководитель – *Война Владимир Васильевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 621.785:669.14.08.29

Е.А. Солдатенко

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ НА СТРУКТУРУ И МИКРОТВЕРДОСТЬ ТВЕРДОГО СПЛАВА *

Методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), рентгеновского спектрального микроанализа (РСМА) и рентгеноструктурного анализа (РСА) исследовано влияние плотности энергии электронных пучков на микротвердость, фазовый и элементный состав приповерхностных слоев твердого сплава Т15К6.

Обработка мощными пучками энергии позволяет улучшать физико-механические характеристики инструментальных материалов [1]. Актуальной научной задачей является исследование влияния высоких плотностей энергии (более 10 Дж/см^2) на структуру и механические свойства твердых сплавов.

Цель данного исследования – изучить влияние плотности энергии электронных пучков ($J_s = 10 - 80 \text{ Дж/см}^2$) на микротвердость, фазовый и элементный состав приповерхностных слоев твердого сплава Т15К6 (WC- 15 вес. % TiC - 6 вес. % Co).

* Автор благодарит сотрудников ИСЭ СО РАН (г. Томск) за помощь в электронном облучении образцов.

Из данных РСМА обнаружено, что в поверхностном слое сплава при $30 \leq J_s \leq 50$ Дж/см² одновременно происходят снижение содержания кобальта и титана и увеличение концентрации вольфрама. Такие изменения состава можно связать с процессом конвективного перемешивания компонентов мишени при расплавлении поверхностного слоя, а также с частичным испарением кобальта (процесс абляции) и его замещением атомами вольфрама [2]. Повышение температуры и перераспределение элементов приводят к трансформации фазы WC в W₂C, а также к дополнительному легированию твердого раствора (Ti,W)C вольфрамом, о чем свидетельствует уменьшение его параметра решетки, определенного из прецизионной рентгеновской съемки ((0.4324 ± 0.0329) нм ÷ (0.4309 ± 0.0328) нм). Наблюдается формирование модифицированного слоя с фазовым составом (Ti,W)C и W₂C.

При $50 < J_s \leq 80$ Дж/см² обнаружено снижение концентрации вольфрама в твердом растворе.

В результате формирования перенасыщенного вольфрамом твердого раствора (Ti,W)C и высокотвердой фазы W₂C микротвердость сплава возрастает в 1.5-3 раза.

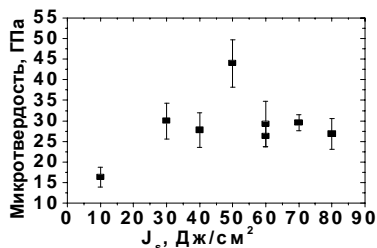


Рисунок – Зависимость микротвердости (Н) поверхности твердого сплава Ti5K6 от плотности энергии импульса электронного пучка (J_s).

Список литературы

1. Анищик, В.М. Модификация инструментальных материалов ионными и плазменными пучками / В.М. Анищик, В.В. Углов. – Минск, БГУ, 2003. – 191 с.

2. Тарбоков, В.А. Модифицирование твердосплавных пластин на основе карбида вольфрама мощным импульсным ионным пучком. / В.А. Тарбоков, Г.Е. Ремнев, П.В. Кузнецов. // ФХОМ. – 2004. – № 3.– С. 11–16.

The influence of teaching modes by pulsed electron beam on phase and elemental composition, microhardness of WC-TiC15-Co6 hard alloy's near-surface layers has been investigated by methods of scanning electron microscopy, X-ray spectrum and X-ray phase analyses.

Солдатенко Евгения Александровна, студентка 4 курса физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, soldatenko@tut.by.

Научные руководители – *Углов Владимир Васильевич*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.

Кулешов Андрей Константинович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник кафедры физики твердого тела, физический факультет, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь.

УДК 543. 72:669.715:621.785.6

М.А. Солнцев

ПОВЕДЕНИЕ ВОДОРОДА В БЫСТРОЗАТВЕРДЕВШИХ СПЛАВАХ Al-Cr

Впервые исследовано поведение водорода методом термодесорбционной спектроскопии в сплавах Al-Cr, полученных сверхбыстрой закалкой из расплава (СБЗР). Установлено качественное изменение кинетики десорбции водорода из сплавов в сравнении с традиционно полученными алюминием и его сплавами.

В настоящее время алюминиевые сплавы широко применяются в автомобильной и аэрокосмической промышленности, поскольку они характеризуются уникальной комбинацией таких свойств, как малая плотность, высокая прочность, хорошая коррозионная устойчивость, пластичность, высокая электропроводность и теплопроводность [1]. Одним из перспективных направлений считается разработка улучшенных алюминиевых сплавов без водородного охрупчивания. Взаимодействие водорода с алюминием и его сплавами интенсивно изучается в течение последних двух десятилетий. Данные исследования обусловлены как научным, так и технологическим интересом в

основном из-за перспектив их использования в качестве материала для изготовления баллонов, предназначенных для хранения сжатого водородного топлива в экологически чистых автомобилях, работающих на водороде. Действительно, как считается, водородные топливные элементы заменят в будущем углеводородное топливо. Перевод автотранспорта с нефти на водород рассматривается многими в качестве будущего мировой энергетики [2]. Учитывая такие экологические и транспортные проблемы, как глобальное потепление и ограниченность запасов нефти, использование в качестве альтернативного источника энергии водорода позволит улучшить состояние окружающей среды.

Для контролирования водородного охрупчивания необходимо понимание взаимодействия и транспорта водорода в алюминии и его сплавах. Известно, что такие микроструктурные характеристики, обуславливающие высокую прочность алюминиевых сплавов, как дислокации, примесные атомы, выделения вторых фаз, границы зерен, являются местами захвата водорода. Поэтому фундаментальное исследование поведения водорода в алюминии и его сплавах включает изучение содержания водорода в зависимости от состава образцов, метода их получения и условий обработки. Необходимо отметить, что основная часть исследований выполнена на традиционно полученных алюминиевых образцах [3,4]. Однако, на сколько нам известно, на данный момент отсутствуют работы, в которых алюминий и его сплавы были получены методом сверхбыстрой закалки из расплава (СБЗР). Отметим, что технология СБЗР позволяет получать алюминиевые сплавы с улучшенными свойствами за счет достижения значительно более высоких скоростей затвердевания, чем с помощью традиционных методов. Свойства сплавов модернизируются в результате формирования пересыщенных твердых растворов, модифицирования структуры и образования метастабильных фаз.

Цель наших исследований заключается в том, чтобы изучить и проанализировать закономерности поведения водорода в сплавах алюминия с хромом с учетом роли микроструктуры и состава материалов, полученных методом СБЗР. При этом сравниваются оригинальные результаты, полученные для быстрозатвердевших фольг и фольг, полученных традиционным способом. Содержание водорода в образцах было исследовано с помощью термодесорбционной спектроскопии.

Анализ спектров десорбции водорода в изученных образцах выявил мультиплетные ловушки водорода, которые проявились

образованием нескольких максимумов на спектрах выделения водорода при разных температурах. Полученные новые оригинальные результаты о поведении водорода в быстрозатвердевших фольгах свидетельствуют, что захват водорода зависит от содержания легирующих элементов в сплавах. Сравнение настоящих результатов с измерениями, выполненными на традиционно полученном алюминии и его сплавах, указывает на качественное изменение кинетики десорбции водорода из сплавов Al-Cr в результате СБЗР.

Список литературы

1. Jones, H. A perspective on the development of rapid solidification and nonequilibrium processing and its future / H. Jones // Mater. Sci. and Eng. A. – 2001. – Vol. 304-306. – P. 11-19.
2. Demirbas, A. Fuel Cells as Clean Energy / A. Demirbas // Converters Energy Sources, Part A. – 2007. – Vol. 29. – P. 185–191.
3. Itoh, G. Evidence for the transport of impurity hydrogen with gliding dislocations in aluminium / G. Itoh, K. Koyama, M. Kanno // Scripta Mater. – 1996. – Vol. 35. – P. 695-698.
4. Lu, G. Energetics of hydrogen impurities in aluminum and their effect on mechanical properties / G. Lu, D. Orlikowski, I. Park, O. Politano, E. Kaxiras // Phys. Rev. B. – 2002. – Vol. 65. – P. 064102-1–064102-8.

For the first time hydrogen behavior in solidified Al-Cr alloys has been investigated by means of thermal desorption spectroscopy. It is found that H desorption kinetics from the alloys are significantly changed in respect to traditionally processed samples.

Солнцев Максим Александрович, студент 2 курса Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь; maxsolnc@gmail.com.

Научный руководитель – *Ташлыкова-Бушкевич Ия Игоревна*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь; iya.itb@gmail.com.

УДК 538.9

О.А. Столбоушкина, С.В. Коновалов, Ю.Ф. Иванов, В.Е. Громов

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ЭВОЛЮЦИЮ ДЕФЕКТНОЙ СУБСТРУКТУРЫ АЛЮМИНИЯ ПРИ ПОЛЗУЧЕСТИ*

Методами современного физического материаловедения исследована роль электрического потенциала 1В в эволюции дефектной субструктуры технически чистого алюминия А85, формирующейся при низкотемпературной ползучести.

В [1] показано, что подключение электрических потенциалов до 1В к образцам поликристаллического алюминия, подвергающихся низкотемпературной ползучести, приводит к значительному изменению ее скорости. В связи с этим в настоящей работе методами просвечивающей электронной дифракционной микроскопии тонких фольг выполнено исследование дефектной субструктуры с целью установления роли электрического потенциала в эволюции дефектной субструктуры при ползучести.

Установлено, что ползучесть алюминия привела к существенной модификации дислокационной субструктуры. В зоне разрушения выявлено формирование субструктур, отсутствующих в исходном материале, а именно, полосовой субструктуры и субзерен. Оба типа дислокационной субструктуры формируются у границ зерен. Полосовая субструктура преимущественно фрагментирована. В объеме полосовой субструктуры присутствует субструктура дислокационного хаоса и дислокационные сетки; скалярная плотность дислокаций $1,9 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Субзерна имеют средний размер 1,5 мкм. В объеме субзерен присутствуют хаотически распределенные дислокации; скалярная плотность дислокаций $1,3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Наряду с полосовой и субзеренной структурой в зоне разрушения выявлены зерна с сетчатой дислокационной субструктурой.

* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013гг» (гос. контракт № П411).

Скалярная плотность дислокаций сетчатой субструктуры $2,2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Особенностью зерен с сетчатой субструктурой является наличие изгибных экстинкционных контуров.

Как и в случае деформации без электрического потенциала, в зоне разрушения формируется структура, представленная субзернами, зернами с полосовой, ячеистой и сетчатой субструктурами. Основным типом субструктуры стали в зоне разрушения является субзеренная структура $\sim 0,85$ (средние размеры субзерен $0,98 \text{ мкм}$); заметно меньший объем материала занимает сетчатая субструктура $\sim 0,10$; остальное – полосовая и ячеистая субструктуры в примерно равных пропорциях. Средняя скалярная плотность дислокаций $1,37 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Ползучесть под потенциалом приводит к существенному увеличению линейной плотности изгибных экстинкционных контуров. Изгибные экстинкционные контуры обнаруживаются в зернах, содержащих субзеренную структуру. Источниками изгиба-кручения кристаллической решетки являются границы раздела зерен и субзерен. Сопоставляя структуры, формирующиеся при ползучести под потенциалом и без него можно отметить, что поперечные размеры изгибных экстинкционных контуров в первом случае в 3-5 раз уже, чем во втором.

Список литературы

1. Коновалов, Прочность и пластичность металлов при слабых энергетических воздействиях / С.В. Коновалов [и др.]. – Новокузнецк. Изд-во ОАО «Новокузнецкий полиграфический комбинат», 2009. – 180 с.

By the methods of modern physical materials science is investigated the role of the electric potential of 1V into the evolution of the defect substructure of commercially pure aluminum A85, which is formed with low-temperature creep.

Столбоушкина Оксана Андреевна, аспирантка факультета материаловедения и обработки металла давлением факультета Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, zagulyaev_dv@physics.sibsiu.ru;

Коновалов Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры физики, факультет материаловедения и обработки металла давлением, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия, konovalov@physics.sibsiu.ru.

Иванов Юрий Федорович, доктор физико-математических наук, профессор Институт сильноточной электроники СО РАН, Томск, Россия, e-mail: yufi@mail2000.ru.

Научный руководитель – *Громов Виктор Евгеньевич*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия. gromov@physics.sibsiu.ru.

УДК 621.8+541.6:678.02

А.В. Струк, А.В. Чекель, Е.И. Эйсымонт, В.В. Потребя

МЕТОДЫ МОДИФИЦИРОВАНИЯ РЕГЕНЕРИРОВАННОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА

Исследовано влияние низкоразмерных частиц на реологические и деформационно-прочностные характеристики композиционных материалов на основе регенерированного полипропилена. Предложен механизм модифицирующего действия, основанный на влиянии зарядового состояния наномодификаторов на процессы межмолекулярного взаимодействия и надмолекулярного упорядочения.

Регенерированные полимерные материалы и композиты на их основе находят все большее применение для изготовления различных изделий и полуфабрикатов, в том числе, применяемых в машиностроении, строительной индустрии, теплоэнергетике. Данное обстоятельство обусловлено, прежде всего, возможностью получения на базе современных технологий рециклинга, полноценного сырья, которое по основным параметрам деформационно-прочностных, триботехнических характеристик и стойкости к воздействию активных эксплуатационных сред, не только не уступает первичным аналогам, но в некоторых случаях превосходит их. Применение многостадийной технологии рециклинга, представляющей замкнутый цикл операций, выполняемых в определенной последовательности, формирует предпосылки направленного использования характерных положительных преимуществ, которыми обладает регенерируемый полуфабрикат вследствие специальных воздействий (например, одно- и двухосного ориентирования), в конечном продукте, получаемом на последней стадии процесса. Кроме того, как правило, регенерированию подлежат амортизированные полимерные изделия, которые вследствие

специфических требований обладали повышенными показателями служебных характеристик, и для их изготовления было использовано сырье повышенного качества со стабильными реологическими характеристиками и минимальным содержанием примесей. К числу таких изделий относят, прежде всего, упаковочную тару в виде пакетов, мешков, коробок, емкостей для жидких сред и т.п.

Сочетание исходного высокого качества регенируемого полуфабриката с современной технологией рециклинга, обеспечивающей минимальное содержание примесей различного состава и агрегатного состояния, позволяет достичь синергического эффекта при использовании полученного продукта в качестве сырья для изготовления различных композиционных материалов.

Вместе с тем, некоторые полимерные материалы (например, полипропилен и полиэтилентерефталат), наиболее широко применяющиеся при производстве упаковочных изделий, изначально вследствие своего молекулярного и надмолекулярного строения не могут быть использованы после регенерирования в качестве полноценного связующего функциональных композитов. Например, полипропилен при сочетании высоких параметров деформационно-прочностных характеристик и химической стойкости обладает низкой температурой морозостойкости и недостаточно устойчив к воздействию атмосферных факторов. Вследствие этого проблема направленного регулирования параметров служебных характеристик путем применения функциональных наполнителей и модификаторов различного состава, дисперсности и механизма действия, в т.ч. наноразмерных, приобретает особую актуальность.

В настоящей работе проведен анализ эффективности модифицирующего действия на регенированный полипропилен высокодисперсных модификаторов различного состава.

В исследовании использовали регенированный полипропилен, полученный на ОАО «Белвторполимер» по многостадийной технологии рециклинга амортизированных упаковочных изделий из ориентированных плоских волокон. В качестве функциональных модификаторов использовали нанодисперсные частицы оксидов металлов, являющихся отходами металлургического производства (ЗАО «Северсталь»), частицы силикатов, образующихся при механическом диспергировании стеклянных полуфабрикатов, продукты термогазодинамического синтеза политетрафторэтилена – ультрадисперсный политетрафторэтилен (УПТФЭ). Кроме того,

применяли высокомолекулярные компоненты класса полиолефинов (ПЭНД, ПЭВД, СЭВА), полиэфиров (ПБТФ) и стирольных полимеров (ДСТ) как первичные, так и вторичные (регенерированные), которые позволяли регулировать показатели деформационно-прочностных характеристик, в т.ч. ударной вязкости и стойкости к знакопеременным нагрузкам, в оптимальном диапазоне значений. Композиционные материалы получали методом термомеханического совмещения компонентов в материальном цилиндре литьевой машины со шнековым пластикатором при температурах, характерных для переработки базового термопласта.

Оценку активности дисперсных модификаторов полипропилена производили по критерию интенсивности термостимулированных токов в заданном диапазоне температур с применением установки ТСТ-анализа (ОДО «Микротестмашины»). Реологические характеристики композитов с различным содержанием дисперсного модификатора анализировали на экструзионном пластомере ИИРТ 119 в диапазоне температур 180 - 270°C.

Показатели деформационно-прочностных характеристик композитов на основе регенерированного полипропилена определяли по действующим стандартам.

Исследования методом ТСТ-спектроскопии свидетельствуют о существенном различии в активности использованных дисперсных модификаторов. Так, для высокодисперсных стеклянных частиц характерен интенсивный эффект в области температур 15 ÷ 30°C, обусловленный, вероятно, эмиссией зарядов, захваченных поверхностными дефектами. После термической обработки в диапазоне температур 200 ÷ 600°C интенсивность данного эффекта снижается.

Для ультрадисперсных продуктов деструкции политетрафторэтилена (УПТФЭ) характерен выраженный эффект токопрохождения в области температур 150 ÷ 250°C, обусловленный, вероятно, сублимацией радикальных олигомерных продуктов термодеструкции, входящих в оболочку частиц.

Наноразмерные частицы оксидов металлов также характеризуются низкотемпературными эффектами в ТСТ-спектре.

При введении дисперсных модификаторов в состав композита на основе регенерированного полипропилена существенно изменяются показатели реологических характеристик. Немонотонный характер зависимости показателя текучести расплава (ПТР) от содержания

модификатора в области концентраций 0,1–5 мас.% свидетельствует о существенном влиянии активности частиц на процессы межмолекулярного взаимодействия, которые приводят к изменению характера течения расплава композита. Аналогичные эффекты наблюдали при введении в состав термопластичных полиамидных и полиолефиновых матриц наноразмерных частиц углеродсодержащих компонентов (УДА, УДАГ) [1].

Вероятным механизмом модифицирующего действия дисперсных частиц является формирование в объеме композита пространственной сетки физических связей адсорбционного типа и образование в периферии наночастицы граничного слоя с повышенной степенью упорядочения в результате действия ее силового поля [2].

Композиционные материалы на основе регенерированного полипропилена обладают повышенными показателями служебных характеристик по сравнению, как с первичным, так и с регенерированным связующим. При модифицировании регенерированного полипропилена термопластичными (ПЭНД, ПЭВД) или термоэластопластичными (ДСТ, СЭВА) компонентами в сочетании с высокодисперсными частицами обеспечивается возможность регулирования показателей служебных характеристик в требуемом диапазоне значений.

Разработанные композиционные материалы на основе регенерированного полипропилена эффективны при изготовлении деталей конструкций автомобильных агрегатов (амортизаторов, карданных валов сельскохозяйственной техники), технологической оснастки (самоцентрирующихся токарных патронов) и крепежных элементов строительных конструкций взамен аналогов из первичного сырья.

Список литературы

1. Ахмадиева, Л.В. Композиционные материалы на основе совмещенных матриц для защитных покрытий: монография. / Л.В. Ахмадиева [и др.]; под науч. ред. В.А. Струка. – Гродно: ГГАУ, 2009. – 532 с.
2. Авдейчик, С.В. Введение в физику нанокomпозиционных машиностроительных материалов / С.В. Авдейчик [и др.]; под науч. ред. В.А. Лиопо, В.А. Струка. – Гродно: ГГАУ, 2009. – 439 с.

It is studied influence of low-dimension particles on the rheological and deformation-strength characteristics of composite materials based on regenerated

polypropylene. Mechanism of modifying effect based on charging state influence on the intermolecular interaction and supramolecular structuring.

Струк Александр Васильевич, магистрант 1 года обучения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Чекель Александр Владимирович, аспирант заочной формы обучения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Эйсымонт Евгения Ивановна, магистрант 2 года обучения Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Потребя Владимир Владимирович, студент 4 курса инженерно-технологического факультета Гродненского государственного аграрного университета, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Струк Василий Александрович*, доктор технических наук, профессор кафедры МиРТ, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 537.322.2

*Р.А. Тимирханов, Н.Н. Антонов, А.В. Гавриков, О.Ф. Петров,
И.Ю. Сидоров*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МАКРОЧАСТИЦ ПРИ СОЗДАНИИ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ВАКАНСИЙ В ПЛАЗМЕННО-ПЫЛЕВОЙ СТРУКТУРЕ

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования колебаний пылевых частиц, возбуждаемых лазерным излучением. Исследовалась плазменно-пылевая структура в приэлектродном слое ВЧ разряда мощностью 5 Вт в атмосфере воздуха при давлении 0,1 Торр.

При исследовании вязкопластических свойств кристаллических плазменно-пылевых образований и их структурных характеристик в зависимости от приложенного касательного напряжения создаваемого лазерным излучением [1], было обнаружено образование гидродинамического течения кристаллической плазменно-пылевой структуры, при этом механизм течения заключался в генерации и последующей аннигиляции краевых дислокаций несоответствия.

В данной работе проведено экспериментальное исследование динамики макрочастиц при создании лазерным излучением вакансии в

плазменно-пылевой структуре. Для этого был разработан экспериментальный стенд, представляющий собой вакуумную камеру, в которую помещены плоские электроды в виде дисков с отверстиями в центре. Отверстие нижнего диска было закрыто стальным сетчатым электродом, над которым в плазме высокочастотного разряда зависала плазменно-пылевая структура. Лазерный луч осуществляющий выбивание пылевой частицы заводился в вакуумную камеру двумя способами: сверху, когда луч проходил через отверстие в верхнем электроде, далее проходил плазменно-пылевую структуру и сетчатый электрод, попадал на зеркало, расположенное под нижнем электродом и выводился из камеры, и снизу, когда луч проходил тот же путь наоборот. В обоих случаях производилась фокусировка луча в плоскости плазменно-пылевой структуры и позиционирование луча в центре ячейки сетчатого электрода.

В качестве материала для макрочастиц был выбран графит, так как при плотности меньшей, чем у металлов он обладает схожей отражательной способностью.

Было проведено две серии экспериментов. В первой серии выбивание происходило сверху. На рисунке 1 представлен видеоряд из 3 последовательных видеокadres. Съемка производилась сбоку через иллюминатор, для этого плазменно-пылевая структура подсвечивалась через другой боковой иллюминатор твердотельным лазером. На представленных кадрах видно, что выбитая частица, образовав вакансию в плазменно-пылевой структуре, через время порядка 0,01 с вновь пересекает плазменно-пылевую структуру, возмущая при этом соседние макрочастицы. Средняя скорость частицы оцененная по траекториям ~ 10 см/с.

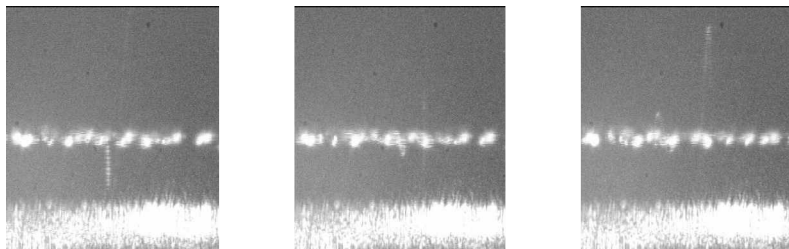


Рисунок 1 – Видеосъемка выбивания макрочастицы сверху, вид сбоку: экспозиция 0,04 с, размер видимой области 5 мм на 5 мм. Ряд светящихся точек в центре кадра – плазменно-пылевая структура, светлые линии – траектория выбитой макрочастицы, засвеченная область внизу кадра – электрод.

Во второй серии экспериментов макрочастицу выбивали снизу. На рисунке 2 представлен видеоряд из 3 последовательных видеокadres.

На представленных кадрах видно, что выбитая частица, образовав вакансию в плазменно-пылевой структуре, через время порядка 0,06 с пересекает плазменно-пылевую структуру в области отстоящей от вакансии на расстояние 1 мм. Скорость частицы оцененная по траекториям – ~5 см/с.

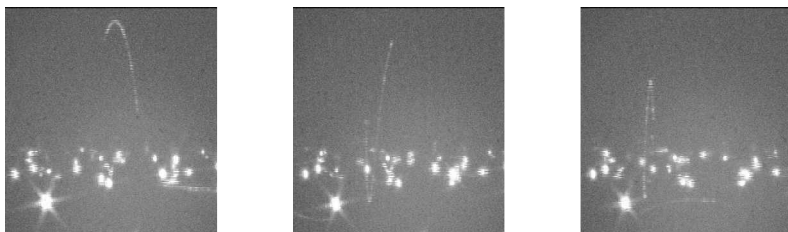


Рисунок 2 – Видеосъемка выбивания макрочастицы снизу, вид сбоку: экспозиция 0,04 с, размер видимой области 5 мм на 5 мм. Ряд светящихся точек в центре кадра – плазменно-пылевая структура, светлые линии – траектория выб. макрочастицы

Список литературы

1. Fortov, V., Gavrikov A, Goranskaya D, Ivanov A, Petrov O, Timirkhanov R. Volume 1041 Fifth International Conference on Physics of Dusty Plasmas” pp. 331-331 — Melville: AIP Conference Proceedings, 2008.

The presented work deals with the experimental investigation of oscillations of dusty macroparticles induced by the laser radiation. A dusty plasma structure was observed in the near-electrode layer of RF discharge (power 5 W), buffer gas - air (pressure 0.1 Torr).

Антонов Николай Николаевич, студент Московского физико-технического института, Москва, Россия, footsure@gmail.com, dnblovers@mail.ru.

Сидоров Игорь Юрьевич, студент 2 курса Московского физико-технического института, Москва, Россия, footsure@gmail.com, dnblovers@mail.ru.

Гавриков Андрей Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент, Объединенный институт высоких температур, Российская академия наук.

Научный руководитель – *Гавриков Андрей Владимирович*, кандидат физико-математических наук, доцент, Объединенный институт высоких температур, Российская академия наук.

УДК 538.9

*Р.А. Филипьев, С.В. Коновалов, О.А. Столбоушкина,
М.В. Пономарева**

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ НА МИКРОТВЕРДОСТЬ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Экспериментально исследовано влияние малых электрических потенциалов на микротвердость алюминия, циркония, кремнистого железа.

Поскольку из механических характеристик материалов, чувствительных к состоянию тонких приповерхностных слоев, особое место занимает микротвердость, то можно ожидать, что изменение плотности поверхностной энергии, вызванное электрическим потенциалом, наиболее сильно может сказаться на ее величине. По этой причине данная работа была посвящена изучению изменения сопротивления микроиндентированию металлических систем в присутствии электрического заряда на их поверхности. В качестве материалов для исследования выбраны алюминий А85, сплав Э110 (Zr-1%Nb) и сплав Fe-3%Si.

Так же как и при проведении испытаний на ползучесть [1] исследуемый образец был изолирован от измерительного устройства (микротвердомеры ПМТ-3М и AFFRI DM-8) электроизоляционным материалом и к нему подводился электрический потенциал, значения которого варьировались от -1 до +1 В при одной серии экспериментов и от -5 до +5 В – при другой. Подробная методика измерений методом микротвердости описана в [2].

* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013гг» (гос. контракт № П411).

Смысл особенности наблюдавшихся зависимостей микротвердости от приложенного электрического потенциала выражается в противоположном знаке эффекта для алюминия и циркония, а также Fe-3%Si причем форма зависимостей для этих металлов остается одинаковой. Указанное различие может быть связано с тем обстоятельством, что механизмы проводимости в этих металлах различны.

По-видимому, воздействие электрического потенциала и подключение металлов на материал выражается в возбуждении электронной подсистемы металла. Происходит локальное нарушение равновесия атомов вследствие электростатических (кулоновских) сил. В первую очередь это приводит к изменению периодичности электронной плотности, что изменяет электростатический потенциал на поверхности металла. Подтверждением этого может служить установленное авторами [3] изменение потенциала на поверхности образцов при облучении фотонами.

Результаты данной работы позволяют утверждать, что изменения энергетического состояния поверхности путем воздействия малых (до 1 В) электрических потенциалов дают значительный механический отклик.

Список литературы

1. Коновалов, С.В. О влиянии электрического потенциала на скорость ползучести алюминия / С.В. Коновалов, В.И. Данилов, Л.Б. Зуев [и др.] // Физика твердого тела. – 2007. – Т. 49. – Вып. 8. – С. 1389–1391.
2. Харитонов, Л.Г. Определение микротвердости / Л.Г. Харитонов. – М.: Металлургия, 1967. – 47 с.
3. Колотов, А.А. О влиянии потока фотонов на свойства фольги Ni–Cu / А.А. Колотов, Ф.З. Гильмутдинов, В.Я. Баянкин // Письма в ЖТФ, 2004.– Т. 30. – В. 16. – С. 7–12.

Influence of the shot electric potentials on microhardness of Al, Zr, Fe-3%Si has been studied experimentally.

Филипьев Роман Анатольевич, аспирант факультета материаловедения и обработки металла давлением Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, filipiev_ra@physics.sibsiu.ru.

Коновалов Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры физики факультета материаловедения и обработки металла

давлением Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, konovalov@physics.sibsiu.ru.

Столбоушкина Оксана Андреевна, аспирант факультета материаловедения и обработки металла давлением Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, zagulyaev_dv@physics.sibsiu.ru;

Пономарева Марина Владимировна, аспирант факультета материаловедения и обработки металла давлением Сибирского государственного индустриального университета, Новокузнецк, Россия, zagulyaev_dv@physics.sibsiu.ru.

Научный руководитель – *Громов Виктор Евгеньевич*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики, Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия. gromov@physics.sibsiu.ru.

УДК 539.21

В.И. Шиманский

СТРУКТУРНО-ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ ТИТАНА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ

В работе исследовано влияние длительности импульса сильноточных электронных пучков на фазовый состав и механические свойства титана.

Воздействие на материалы сильноточных электронных пучков (СЭП) является эффективным методом модификации физико-механических свойств в результате происходящих структурно-фазовых превращений, обусловленных высокоскоростной кристаллизацией. Целью данной работы являлось исследование влияния длительности импульса СЭП на структурно-фазовое состояние и микротвердость титана, легированного атомами молибдена.

Объектом исследования послужили образцы технически чистого сплава титана ВТ1-0, на которые предварительно было нанесено покрытие молибдена толщиной 1 мкм. Впоследствии сформированные системы «покрытие/подложка» подвергались воздействию СЭП тремя последовательными импульсами, длительность которых изменялась от 50 до 200 мкс при плотности поглощенной энергии 20 Дж/см² за один импульс. Фазовый состав обработанных образцов исследовался с помощью рентгеноструктурного анализа в монохроматизированном

медном излучении. Микротвердость поверхностных слоев определялась по методике Виккерса на твердомере ПМТ-3.

Присутствие атомов молибдена в модифицированном слое обуславливает формирование твердого раствора на основе высокотемпературной β -фазы титана (рис. 1). Следует отметить, что с увеличением длительности импульса от 50 до 200 мкс наблюдается смещение дифракционной линии твердого раствора в сторону нелегированной β -фазы, обусловленное снижением концентрации молибдена в твердом растворе.

Сравнение относительных интенсивностей дифракционных линий позволяет заключить, что при длительности импульса 100 мкс практически весь анализируемый слой (7 – 8 мкм) представляет собой высокотемпературную β -фазу титана, стабилизированную молибденом. Уменьшение длительности импульса снижает время существования расплава и не позволяет сформировать β -фазу титана в глубоких слоях, а увеличение длительности импульса не позволяет полностью расплавить нанесенный слой молибдена за счет снижения мощности воздействия СЭП.

Исследование механических свойств, в частности микротвердости, показало, что модифицированные с помощью СЭП слои обладают повышенной микротвердостью, которая составляет 3 – 4 ГПа (рис. 2). Увеличение микротвердости в данном случае происходит за счет диспергирования структуры, обусловленной сверхскоростной кристаллизацией. Максимальной микротвердостью характеризуются образцы, время воздействия на которые составляло 100 мкс, те, содержание высокотемпературной фазы максимально.

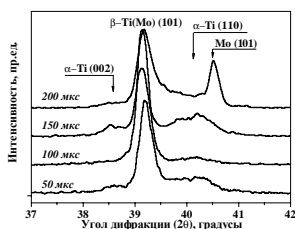


Рисунок 1 – Рентгенограммы образцов после воздействия СЭП

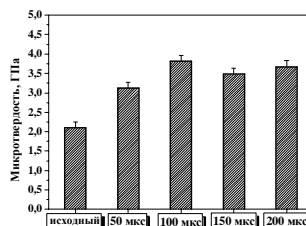


Рисунок 2 – Микротвердость образцов (на глубине 3 мкм) после воздействия СЭП

Таким образом, воздействие на систему «молибден/титан» высокоэнергичных электронным пучков с плотностью поглощенной энергии 20 Дж/см² приводит к формированию высокотемпературной β -фазы титан, стабилизированной молибденом, существование которой обуславливает максимальное упрочнение модифицированного слоя.

In this work the influence of pulse duration of high-current electron beams on the phase composition and mechanical properties of titanium is investigated.

Шиманский Виталий Игоревич, магистрант физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь.

Научный руководитель – *Углов Владимир Васильевич*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твердого тела, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, Ugllov@bsu.by.

УДК 678.01:621:7

Е.И. Эйсымонт

ЗАРЯДОВОЕ СОСТОЯНИЕ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ МОДИФИКАТОРОВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Исследовано зарядовое состояние высокодисперсных частиц модификаторов полимерных матриц. Методом спектроскопии термостимулированных токов (ТСТ) установлено, что выбранные в качестве объектов исследования модификаторы обладают активностью в различных диапазонах температур.

Дисперсные частицы различной природы, состава и строения широко применяют в качестве функциональных модификаторов полимерных матриц. К числу таких модификаторов относят ультрадисперсные частицы металлов, оксидов, фуллерены, природные силикаты. Для изменения структуры и свойств полимерных материалов используют дисперсные частицы, обладающие нескомпенсированным зарядом.

Целью данной работы является исследование зарядового состояния дисперсных частиц модификаторов различного состава и строения при помощи ТСТ-спектроскопии.

Для оценки зарядового состояния исследованных материалов использовали значения термостимулированных токов (ТСТ), измеренные по методу термостимулированной деполяризации (ГОСТ 25 209-82) с помощью прибора ST-1 (ОДО «Микротестмашины» г. Гомель).

В работе были анализировали ТСТ-спектры дисперсных частиц шунгита, кремня, трепела, гранитной муки, слюды, ультрадисперсного политетрафторэтилена «Форум», отличающихся составом, строением и технологией получения. ТСТ-анализ проводили как для исходных материалов, так и для термообработанных при температурах 100°C, 200°C, 400°C, 600°C и 800°C в течение 1 часа. Указанные модификаторы были выбраны в качестве объектов исследования, т.к. они находят широкое применение в современном композиционном материаловедении.

Установлено, что активность ультрадисперсных частиц, оцененная по спектрам ТСТ, зависит от состава, строения и температуры обработки. Так, в ТСТ-спектре УПТФЭ установлено наличие малоинтенсивного пика в диапазоне температур 65–155°C, величина которого изменяется после обработки частиц при $t = 100^\circ\text{C}$ и 200°C , а также высокотемпературного пика (165°C и выше), начало которого после обработки при 200°C смещается в высокотемпературную область $\sim 210^\circ\text{C}$.

В ТСТ-спектре исходных порошков трепела, гранитной муки, кремня и слюды «мусковит» отмечено наличие довольно интенсивного пика термостимулированного тока в области 15–55°. Величина этого пика ТСТ для образцов, подвергнутых предварительной термообработке, как правило, уменьшается. Кроме того, в ТСТ-спектрах образцов слюды, обработанных при температурах 600°C и 800°C, появляется размытый пик в области 120°C и выше.

Для частиц шунгита характерно появление двух интенсивных пиков в ТСТ-спектре – в диапазоне температур 15–60°C и 70–120°C. После термообработки шунгита в течение 1 часа при $t = 600^\circ\text{C}$ и 800°C происходит вырождение пика ТСТ в области 70–120°C, однако величина первого пика остается достаточно высокой.

Таким образом, методом ТСТ-спектроскопии установлено, что выбранные в качестве объектов исследования модификаторы обладают активностью в различных диапазонах температур. Следовательно, для достижения оптимального эффекта при выборе модификатора полимерных матриц необходимо учитывать температурный диапазон его активности.

Список литературы

1. Пинчук, Л.С. Электретные материалы в машиностроении / Л.С. Пинчук, В.А. Гольдаде. – Гомель: Инфотрибо, 1998. – 288 с.
2. Авдейчик, С.В. Введение в физику нанокomпозиционных машиностроительных материалов / С.В. Авдейчик [и др.]; под науч. ред. В.А. Лиопо, В.А. Струка. – Гродно: ГГАУ, 2009. – 439 с.
3. Лиопо, В.А. Введение в физику наноразмерных частиц / В.А. Лиопо, В.А. Струк, С.В. Авдейчик. // Промышленность региона: проблемы и перспективы инновационного развития – Гродно: ГГАУ, 2008. – С. 223 – 272.

The fine-grained particles of polymeric matrixes modifiers charge state is investigated. It is established by thermostimulated currents spectroscopy method that modifiers selected as a research object are active in different temperature ranges.

Эйсымонт Евгения Ивановна, магистрант 2 года обучения, Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Струк Василий Александрович*, доктор технических наук, профессор кафедры МиРТ, факультет строительства и транспорта, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, alex@grsu.by.

УДК 629.33:004.94

В.Ю. Яроцкий

ОБЗОР ОСНОВНЫХ ПРИЧИН ОТКАЗОВ МЕМБРАННЫХ ТОРМОЗНЫХ КАМЕР

Проведен анализ дефектов тормозных камер, выпускаемых ОАО "Белкард". Подобран пакет программных продуктов для осуществления конструкторских и материаловедческих решений, применяемых на ОАО "Белкард".

Одним из основных показателей безопасности автомобиля при его движении с высокими скоростями является эффективность тормозной системы.

Тормозная система – это важнейшая часть автомобиля, обеспечивающая его безопасность. Тормозные системы можно условно разделить на две составные части: тормозные механизмы и тормозной привод [1]. Тормозной привод – это совокупность устройств, предназначенных для усиления и передачи тормозным механизмам воздействия водителя на педаль тормоза.

Основным элементом пневматического тормозного привода является тормозная камера, которая непосредственно воздействует на шток главного тормозного цилиндра. Они бывают двух типов: мембранные тормозные камеры и камеры с пружинным энергоаккумулятором [1]. ОАО "Белкард" производит оба типа тормозных камер для большегрузного транспорта.

В процессе исследования были выявлены следующие дефекты образующиеся в процессе испытания или эксплуатации:

- 1 Интенсивная коррозия деталей камеры.
- 2 Неудовлетворительное качество защитного покрытия корпуса и крышки, его низкая адгезионная прочность.
- 3 Деформация пружины энергоаккумулятора.
- 4 Деформация возвратной пружины камеры.
- 5 Разрушение диска штоком.
- 6 Растрескивание резины в местах перегиба мембраны.
- 7 Быстрая выработка мембраны с выходом корда на поверхность в местах ее перегиба
- 8 Поломка пружины энергоаккумулятора.
- 9 Негерметичность алюминиевого корпуса

При проведении анализа процентного соотношения отказов тормозных камер выявлено, что наиболее распространенным является негерметичность алюминиевого корпуса.

В качестве объекта исследования был выбран корпус тормозной камеры тип 20/20. Для проведения анализа была построена трехмерная модель корпуса с применением пакетов Pro/Engineer и SolidWorks, проведен анализ литья алюминиевого сплава в программе ProCAST. Предложено использовать стеклонаполненный полиамид 6 для изготовления корпуса. В связи с чем, проведен сравнительный прочностной анализ в Pro/MECHANICA и анализ литья полиамида в программе Moldflow Plastic Adviser.

Список литературы

1. Александров, М.П. Тормозные устройства: справочник / М.П. Александров [и др.]; под общ. ред. Александрова. – М.: Машиностроение, 1985. – 213 с.
2. Рославльский Автоагрегатный завод АМО ЗИЛ: каталог продукции. – 2007. – 81 с.
3. Степаненко, В.В. Автобус ЛиАЗ-5256 и его модификации : руководство по эксплуатации / В.В. Степаненко [и др.]; под общ. ред. к.т.н. В.В. Степаненко. – М.: Атласы автомобилей, 2001. – 512 с.
4. Авдейчик, С.В. Нанокпозиционные машиностроительные материалы: опыт разработки и применения / С.В. Авдейчик [и др.]; под ред. В.А. Струка. – Гродно: ГГАУ.
5. Струк, В.А.. Материаловедение: учебник / В.А. Струк [и др.]; под общ. ред В.А. Струка. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 519 с.
6. Абламенко, С. Новая форма управления производством / С. Абламенко [и др.]// Наука и инновации. – 2007 – №10. – С. 6 – 9.

In this paper, an analysis of defects in brake chambers produced Belkard. Choose a software product for engineering and material science solutions used in Belkard.

Яроцкий Витольд Юрьевич, магистрант 1 года обучения факультета строительства и транспорта Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, sharp_gr@tut.by.

Научный руководитель – *Струк Василий Александрович*, доктор технических наук, профессор кафедры МиРТ, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, aleks@grsu.by.

УДК 621.9.048

А.А. Ясюнас, Г.В. Зеневич, Д.А. Котов

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПЕДАНСА РАЗРЯДНОЙ СИСТЕМЫ ИНДУКТИВНО-СВЯЗАННОЙ ПЛАЗМЫ

В работе проведено аналитическое исследование влияния конструкции источника ВЧ индуктивно-связанной плазмы на электрические параметры генерируемой им плазмы, с целью обеспечения согласования разрядной системы с источником питания.

Плазма ВЧИ (ВЧ индуктивного) разряда – это вторичная одновитковая обмотка трансформатора, с импедансом, зависящим от вкладываемой в разряд мощности. Поэтому для обеспечения эффективной передачи мощности плазме разряда, необходимо согласование с источником питания. Для этого используется следующая схема согласования (см. рис. 1) [1].

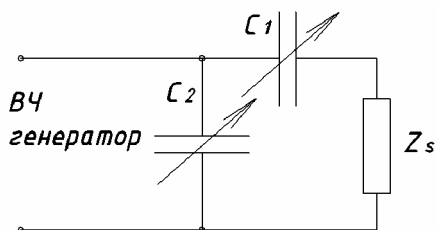


Рисунок 1 – Схема согласования систем ВЧИ разряда

Такая схема обеспечивает сглаживание нелинейностей возникающих в газовом разряде. Нелинейности разделяют на быструю – это генерация гармоник напряжения и тока, и медленную – это зависимость сопротивления разряда от вкладываемой мощности (точный расчёт только для определенной мощности) [2].

В работе [3] был исследован процесс передачи мощности в плазму ВЧ индуктивно-связанного разряда. На основании методики, предложенной в этой работе, было проведено аналитическое исследование влияния конструкции источника индуктивно-связанной плазмы на интегральные электрические характеристики разрядной системы. Были получены зависимости сопротивления плазмы разряда R_p , импеданса Z_s , активного R_s и реактивного ωL_s сопротивления от концентрации плазмы для различных конструкций разрядных систем.

Установлено, что для обеспечения эффективной передачи мощности в плазму разряда необходим индивидуальный подход к конструкции разрядной системы. Так, например, для цилиндрического источника индуктивно-связанной плазмы диаметром рабочей зоны 100 мм и длиной 150 мм необходим индуктор минимум с семью витками. Уменьшение числа витков приведёт к снижению импеданса системы $Z_s < 50$ Ом, что нежелательно (см. рис. 2).

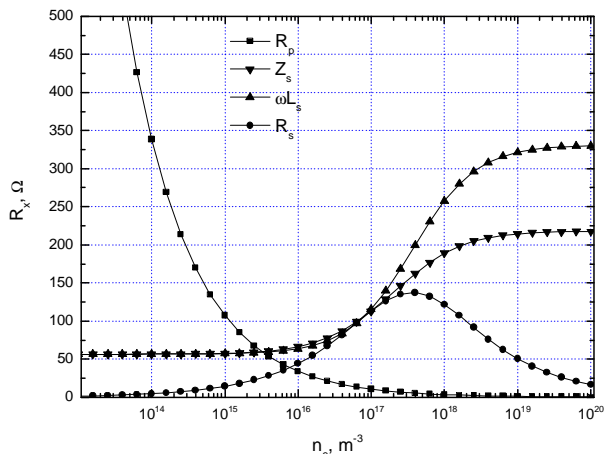


Рисунок 2 – Зависимости сопротивления плазмы разряда R_p , импеданса Z_c , активного R_s и реактивного ωL_s сопротивления от концентрации плазмы n_e

Список литературы

1. Lieberman M.A., Lichtenberg A.J., Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, John Wiley & Sons, Inc 1994
2. Фортов, В.Е. Энциклопедия низкотемпературной плазмы / В.Е. Фортов. – М.: Наука, 2000.
3. Kotov, D.A. Research of process energy transfer to plasma of RF inductively coupled discharge, VI International Conference plasma physics and plasma technology / D.A. Kotov, D. Yasunas. – Minsk, 2009.

In this paper, an analytical study of the influence ICP source design on the electrical parameters of the generated plasma, in order to provide matched of the discharge system with power supply.

Ясюнас Александр Алексеевич, магистрант кафедры МНЭ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, alex.yasunas@gmail.com.

Научный руководитель – *Котов Дмитрий Анатольевич*; кандидат технических наук, доцент кафедры МНЭ, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, dm_a_kotov@mail.ru.

Секция 4

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

УДК 37.016:53

А.Т. Антончик

ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАЩИХСЯ И ТВОРЧЕСКОЕ САМОРАЗВИТИЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ФИЗИКИ

Рассмотрена система творческих задач, которую можно предложить учащимся для организации самостоятельной работы при решении задач по теме «Построение изображений в линзе». Разработаны способы контроля знаний по данной теме.

Под термином «творческая задача» условились понимать задачу, алгоритм решения которой учащемуся неизвестен. Условия таких задач могут быть маскирующими: с недостающими данными, с избыточными данными, либо вовсе не содержать физических данных из той области знаний, в которой учитель предполагает решение задачи.

Разница между творческими и тренировочными задачами состоит в том, что условия первых – маскирующие по отношению к алгоритму решения, а вторых – подсказывающие, поскольку сами данные тренировочных задач указывают на алгоритм их решения. Если информация содержит указание на принадлежность к определенной модели, то происходит понимание – привязка и затем преобразование информации по известному алгоритму.

Процесс усвоения знаний условно можно расчленить на четыре стадии: 1) понимание, 2) запоминание, 3) применение по известным правилам или формулам, 4) применение в новых условиях. На четвертой, самой высокой стадии усвоения материала, ученик использует имеющиеся у него знания для решения творческих задач.

Каждой стадии усвоения должны соответствовать специальные упражнения. Важно вовремя перейти от одного вида упражнений к

другим; от воспроизведения материала к применению его по образцу или формуле и от тренировочных задач к творческим.

Большим методическим недостатком является преждевременный переход от одного вида упражнений к следующему виду. Бесплезно давать творческие упражнения ученику, который не может сформулировать правил и не умеет решить тренировочную задачу. Нежелательно и обратное явление, когда учащиеся теряют интерес к изучаемому, слишком долго занимаясь тренировочными заданиями.

Для оценки готовности учащихся перейти к творческим упражнениям можно пользоваться временной характеристикой успешности их деятельности. Классу для самостоятельного решения дается задача, и учитель наблюдает, уложились ли учащиеся по времени. Если подавляющее большинство учащихся в отведенное время сумели решить задачу, то можно переходить к творческим упражнениям.

Привить учащимся умение самостоятельно решать задачи – одна из наиболее трудных проблем, требующих постоянного пристального внимания. К самостоятельному решению задач нужно приучать постепенно, начиная с выработки умения выполнять отдельные несложные операции и переходя к выполнению более трудных, а затем – к самостоятельному решению сложных задач, постепенно наращивая трудность заданий. Можно рекомендовать следующий этап этой работы:

Выработка умения самостоятельно анализировать содержание задач, ознакомление с наиболее рациональными способами краткой записи содержания и способами решения.

Формирование умения решать задачи в общем виде и проверять правильность решения, выполняя операции с наименованиями единиц физических величин.

Выработка умения проводить вычисления с помощью калькулятора.

Включение в самостоятельную работу поиска путей решения задач после усвоения учащимися приемов краткой записи условий задач и анализа физической ситуации, описанной в условии.

Большой самостоятельности требует от учащихся нахождение новых способов решения по сравнению с теми, которыми решалась задача на доске. Поэтому полезно систематически предлагать учащимся решать одну и ту же задачу несколькими способами. При этом нужно

иметь в виду, что решение одной и той же задачи несколькими способами – один из методов проверки правильности решения.

The system of creative tasks which can be offered to pupils for the organization of independent work at the decision of tasks on the topic «Construction of images in a lens» is considered.

Антончик Александр Тадеушевич, студент 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, antonchik_alexandr@mail.ru.

Научный руководитель – *Тарковский Викентий Викентьевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, tarkovsky@grsu.by.

ББК32

Л.В. Беринчик, А.Ю. Вронко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ МЕТОДОМ СТОЯЧИХ ВОЛН

Рассмотрены способы измерения скорости звука методом стоячих волн на базе измерительно-управляющего комплекса МикроЛаб.

Периодическое отклонение тела от положения равновесия называется колебанием. В физике обычно под «звуковыми колебаниями» подразумевают упругие колебания, распространяющиеся в газах, жидкостях и твердых телах в виде волнового процесса или образующие в ограниченных областях этих тел стоячие волны.

Любую волну характеризуют три основные величины: длина волны λ , скорость распространения v и частота $\nu = 1/T$. Так как $v = \lambda / T$.

Стоячая волна фактически представляет собой совокупность бесконечного числа колебаний частиц среды одной и той же частоты ν , но с различными амплитудами.

Случай возникновения собственных колебаний в столбе воздуха используют для нахождения скорости распространения звука в воздухе;

υ можно определить, зная длину звуковой волны λ , распространяющейся от источника колебаний частоты ν :

$$\upsilon = \lambda \nu \quad (1)$$

Для измерения длины волны используется явление акустического резонанса. Для получения резонанса мы должны подобрать такую длину l столба воздуха, чтобы длина стоячей волны в нем совпала с длиной волны, распространяющейся от нашего источника звука. На рисунке изображена схема экспериментальной установки.

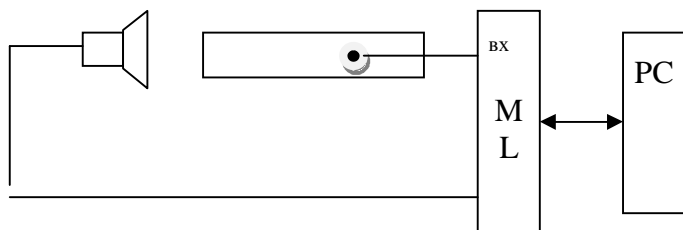


Рисунок – Схема лабораторной установки для определения скорости звука

Принцип работы установки: необходимый для опыта столб воздуха заключен в пластиковой трубе. Нижнее основание трубы открыто, к нему подаются звуковые колебания с помощью динамика, подключенного к выходу цифрово-аналогового преобразователя измерительно-управляющего комплекса МикроЛаб. В верхнем основании – поршень внутри трубы. Для измерения амплитуды звуковых колебаний в поршне закреплен миниатюрный микрофон, подключенный к одному из входов измерительно-управляющего комплекса МикроЛаб. Длина воздушного столба определяется по шкале, нанесенной на провод микрофона. Полученные данные далее обрабатываются с помощью персонального компьютера.

Список литературы

1. Гоноровский, И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для студ. ун-тов / И.С. Гоноровский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь. – 1986. – 511 с.

2. Василевич, А.Е. Измерительно-управляющее устройство на базе микроконтроллера ADuC841 для организации лабораторных практикумов по физике. / А.Е. Василевич, Ю.С. Седеневский. // Веснік ГрДУ. Серыя 2. – 2008. – № 3. – С. 112–115.

Беринчик Людмила Владимировна, студентка 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, MilaBerinchik@yandex.ru;

Вронко Алла Юрьевна, студентка 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, alla.vronko@mail.ru.

Научный руководитель – *Василевич Александр Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры промышленной электроники, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, vasil@grsu.by.

УДК 37.016.53

Л.В. Бутя

МЕТОДИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ УЧАЩИХСЯ К ЦЕНТРАЛИЗОВАННОМУ ТЕСТИРОВАНИЮ

Тестирование в наше время является наиболее применяемой формой контроля знаний. Его объективность зависит от подготовленности учащихся к этому виду испытаний, которая достигается применением специальных методик и технологий.

Применение централизованного тестирования (ЦТ) привело к возникновению противоречий между наличием разработанной теории и методики использования тестов в оценке качества знаний и их эффективным применением в практике преподавания и контроля знаний по физике [1].

Актуальность работы обусловлена, с одной стороны, новыми государственными требованиями, к подготовке по физике школьников, сформулированными в стандарте образования, а с другой, сложившейся системой тестовой формы контроля знаний.

Все это позволяет сформулировать цель работы: изучить теоретические основы централизованного тестирования, наиболее

известные методики и структуру подготовки учащихся к централизованному тестированию и их реализацию в условиях общеобразовательной школы.

Тесты своими корнями уходит далеко вглубь веков. Еще в Древнем Египте, Греции, Китае проводились испытания различных способностей, знаний, умений и навыков. Централизованное тестирование, проводимое в Республике Беларусь с 1998 года, основывается на опыте стран, где тестирование используется десятилетиями и стало универсальным средством контроля знаний.

Тестовые технологии всё заметнее влияют на образовательную практику: повышают у школьников мотивацию к обучению, достижения более высоких результатов и создают равные условия для испытуемых по сложности, объёму и времени выполнения заданий.

Проведенный анализ результатов ЦТ за 2004-2009 учебный год показал, что:

- средний балл, полученный учащимися на ЦТ, уменьшается год от года (для сравнение 2004 – 2006 годы большинство участников ЦТ набрали от 13 до 30 баллов; 2008-2009 годы основная масса абитуриентов набрала от 1 до 30 баллов;

- низкий уровень подготовки учащихся к ЦТ (об этом свидетельствует балл при котором в 2009 году выдавали сертификаты – 1балл);

- наиболее сложными оказались для абитуриентов задания по следующим разделам: механика, электричество и оптика.

Проведенное исследование показало, что централизованное тестирование прочно вошло и закрепилось в нашей жизни[2]. Уже сегодня с легкостью можем сказать, что оно приобрело масштабный характер. Это во многом способствовало формированию у населения тестовой культуры. Значительная часть как педагогической, так и родительской общественности признает тесты в качестве объективного инструмента оценки знаний.

Плохие результаты на ЦТ обусловлены низким уровнем знаний физики учащимися и слабой адаптированностью их к самому процессу тестирования. Для повышения тестового балла мной предложена технология подготовки к ЦТ, основанная на индивидуально-групповом подходе к изучению физики и использованию тестов не только для контроля, но и для обучения.

В настоящее время, когда качество учебной работы и успеваемость учащихся нуждаются в значительном улучшении, актуальной является

проблема совершенствования учебного процесса в школе. Одним из направлений этого процесса является применение обучающих тестов.

Список литературы

1. Феськов, Н.С. Централизованное тестирование: направления, технологии и содержание / Н. С. Феськов. // Адукацыя і выхаванне. – 2006. – № 3. – С. 49.
2. Феськов, Н.С. Централизованное тестирование как средство совершенствования учебного процесса. / Н. С. Феськов // Адукацыя і выхаванне. – 2007. – № 5. – С. 46–52.

Testing is presently the most applied form of the control of knowledge. Its objectivity depends on readiness of pupils to this kind of tests which is reached by application of special techniques and technologies.

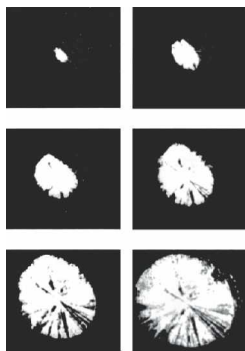
Бутя Людмила Валерьевна, студентка 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, ludmila_bu@mail.ru.

Научный руководитель – *Зноско Казимир Францевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры лазерной физик и спектроскопии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, znosko@grsu.by.

УДК 373.167.1:53

А.А. Василевич

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ «ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ РОСТА КРИСТАЛЛОВ»



Приведено описание и конструкция лабораторного практикума по определению скорости роста кристаллов сала. Управление процессами нагрева, охлаждения и термостабилизации организовано программно.

Введение. В качестве измерительных приборов и устройств управления экспериментом используется компьютер с устройством ввода-вывода аналого-цифровых сигналов [1]. Такое решение позволяет

Рисунок 1

значительно снизить стоимость лабораторного макета, автоматизировать процессы управления, сбора и обработки результатов. Высокая скорость ввода/вывода информации позволяет регистрировать быстропротекающие процессы в реальном времени.

Экспериментальная установка. Для исследования зависимости скорости роста кристаллов от температуры используется кристаллическое вещество салол (фенилсалицилат) с температурой плавления 42°C [2].

Для нагрева и охлаждения применен элемент Пельтье, температура рабочей поверхности которого поддерживается программно.

Экспериментальная установка состоит из видеокамеры; элемента Пельтье, расположенного на радиаторе с вентилятором; датчика температуры; двух светодиодов для подсветки рабочей поверхности; устройства управления; блока питания и компьютера.

Следующие этапы измерения основаны на анализе изображений фазовой границы перехода жидкость-кристалл. На рис. 1 показаны кадры роста кристалла при температуре 22°C .

По оценке роста площади поля кристалла $S(t)$ при заданной температуре можно определить скорость v его роста (рис. 2). При некоторой программно-аппаратной доработке лабораторный практикум может выполняться

дистанционно, т.е. использоваться в системе дистанционного образования.

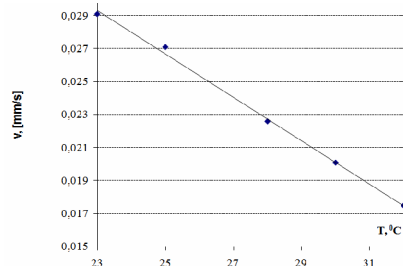


Рисунок 2

Список литературы

1. Василевич, А.Е. Измерительно-управляющее устройство на базе микроконтроллера ADuC841 для организации лабораторных практикумов по физике. / А.Е. Василевич, Ю.С. Седеневский. // Веснік ГрДУ. – Серыя 2. – 2008. – № 3. – С. 112-115.
2. Енохович, А.С. Справочник по физике / А.С. Енохович. – М.: Просвещение.

A description and construction of the laboratory workshop to identify the rate of crystal growth salol. Process control heating, cooling and temperature stabilization organized program.

Василевич Александр Александрович, студент 5курс, физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Василевич Александр Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры промышленной электроники, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, vasil@grsu.by.

ББК 32

А.Ю. Вронко, Л.В. Беринчик

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ ТЕЛ, ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЕНИЯ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ И ВЫЧИСЛЕНИЕ СКОРОСТИ ПАДЕНИЯ ТЕЛ

Проведено теоретическое и экспериментальное исследование свободного падения тел, определение ускорения свободного падения и вычисление скорости падения тел.

На кафедре промышленной электроники Гродненского государственного университета имени Янки Купалы разработан измерительно-управляющий комплекс на базе ПК, оптимизированный для организации современного лабораторного практикума в ВУЗах, колледжах и школах [1]. Комплекс позволяет заменить множество необходимых для лабораторного эксперимента стандартных измерительных приборов – генераторов, осциллографов, вольтметров, частотомеров, фазометров, анализаторов спектра, статистических анализаторов, измерителей АЧХ, ФЧХ и т.д.

С помощью разработанного измерительно-управляющего комплекса и соответствующего программного обеспечения проведено исследование свободного падения тел, определение ускорения свободного падения и вычисление скорости падения тел.

Свободное падение является важным частным случаем движения с постоянным ускорением (называемым ускорением свободного падения g) под действием силы тяжести.



**Рисунок –
Экспериментальная
установка для
определения ускорения
свободного падения**

Экспериментальная установка для определения ускорения свободного падения и вычисления скорости падения тел, состоящая из компьютера, измерительно-управляющего комплекса МикроЛаб и системы катушек индуктивности, представлена на рисунке.

Сущность эксперимента состоит в определении (измерении) времени падения магнита длиной 5 см и диаметром 8 мм. Магнит свободно падает внутри пластиковой трубы длиной 1,1 м, на поверхности которой расположены последовательно соединенные катушки индуктивности. На расстоянии 0,05 м от верхнего конца находится первая катушка. Последующие катушки (всего 5) располагаются с интервалом 0,2 м. Все катушки одинаковые, намотаны тонким медным проводом (по 20 витков) и соединены последовательно.

Для регистрации времени используется явление электромагнитной индукции в катушках вследствие изменения магнитного поля, образованного пролетом магнита через соответствующие катушки. Выход системы катушек соединяется непосредственно со входом измерительного комплекса. Для уменьшения шумов и помех выход шунтируется конденсатором. Программное обеспечение регистрирует сигналы ЭДС, индуцируемые при пролете магнита через катушки.

Список литературы

1. Василевич, А.Е. Виртуальные измерительные приборы в лабораторном практикуме /А.Е. Василевич, Ю.С. Седеневский. // Современные информационные компьютерные технологии в учебном процессе, научных исследованиях и управлении университетом: Тез. докл. науч.-практ. конф., Гродно, 25-30 апреля 2005 г. – Гродно: ГрГУ, 2005. – С. 128–129.

2. Василевич, А.Е. Измерительно-управляющее устройство на базе микроконтроллера ADuC841 для организации лабораторных практикумов по физике / А.Е. Василевич, Ю.С. Седеневский // Веснік ГрДУ. Серыя 2. – 2008. – № 3. – С. 112–115.
3. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для студ. ун-тов. / И.С. Гоноровский. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 511 с.

Вронко Алла Юрьевна; студентка 4-го курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, alla.vronko@mail.ru.

Беринчик Людмила Владимировна, студентка 4-го курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, MilaBerinchik@yandex.ru.

Научный руководитель – *Василевич Александр Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры промышленной электроники, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, vasil@grsu.by.

УДК 533.9.082, 533.922, 533.924, 621.373.8

К.Ф. Ермалицкая

ДВУХИМПУЛЬСНАЯ ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ СТАЛЕЙ И БРОНЗ: БЕЗКАЛИБРОВОЧНЫЙ МЕТОД

Предложены аналитические методики количественного анализа сталей и бронз методом двухимпульсной лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии. Для снижения влияния матричных эффектов на результаты анализа предложено определять концентрацию элементов из уравнений Больцмана и Саха.

Двухимпульсная лазерная спектроскопия – это метод количественного анализа, основанный на абляции вещества и возбуждения атомно-эмиссионных спектров двойными лазерными импульсами (СЛИ), сдвинутыми во времени друг относительно друга. Использование СЛИ приводит к значительному увеличению лазерной абляции вещества и интенсивности спектральных линий [1].

Исследования проводились на двухимпульсном лазерном атомно-эмиссионном спектрометре LSS-1, в качестве источника возбуждения спектра использовалось излучение Nd:YAG-лазера (длина волны –

1064 нм, длительность импульса – 15 нс, частота повторения – 10 Гц, энергия – 100 мДж, временной интервал между двоянными лазерными импульсами – 10 мкс).

При спектральном анализе сплавов с высоким содержанием основного компонента (концентрация меди в бронзах – 80-95 %, железа в сталях – 95-99 %) происходит увеличение погрешности за счет матричных эффектов – влияние основы на поступление в плазму других элементов. Градуировочные графики зависимости интенсивности I спектральных линий от концентрации C в этом случае нелинейны для всех компонентов и не могут быть использованы для количественного анализа. Для снижения влияния матричных эффектов содержание элементов необходимо определять безкалибровочным методом, используя формулу Больцмана:

$$I = \frac{hC}{4\pi\lambda} N(T) \frac{A_{ki}g_k}{U(T)} \exp\left(-\frac{E_k}{kT}\right), \quad (1)$$

где h – постоянная Планка, λ – длина волны, $N(T)$, E_k и g_k – заселенность, энергия и статистический вес уровня, A_{ki} – вероятность спонтанного перехода, T – температура плазмы, $U(T)$ – частичная функция. После преобразований получается следующая формула:

$$\ln \frac{I\lambda}{A_{ki}g_k} = -\frac{1}{kT} E_k + \ln \frac{CF}{U(T)} \quad (2)$$

где F – параметр, значение которого определяется из условия нормировки:

$$\sum_k C_k = 1 \quad (3)$$

т.к. суммарная относительная концентрация всех элементов в образце равна 1. В соответствии с формулой (2) графики, построенные в координатах $\ln(I\lambda/A_{ki}g_k) - E_k$ позволяют определять температуру эрозийной плазмы как угол наклона полученной прямой к оси абсцисс. Графики для определения температуры плазмы бронзового и стального

образца по интенсивностям спектральных линий меди приведены на рисунке.

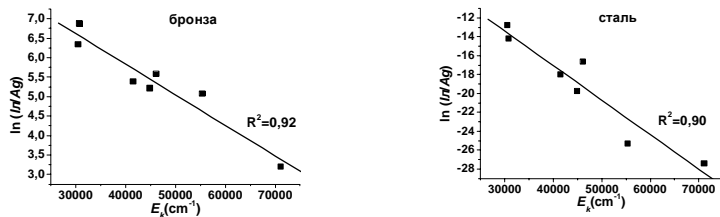


Рисунок – Графическое представление уравнения Больцмана для определения температуры лазерной плазмы при абляции бронзы и стали

В ходе эксперимента было определено, что температура лазерной бронзовой плазмы составляет – 7900 К, стальной – 5150 К.

Список литературы

1. Double pulse, calibration-free laser-induced breakdown spectroscopy: a new technique for in situ standard-less analysis of polluted soils. / M. Corsi [et al.] // Applied geochemistry. – 21. – 2006. – p. 748-755.

The potential of laser-induced breakdown spectroscopy for accurate quantitative analysis could be improved using an innovative experimental setup – based on the use of two laser pulses suitably retarded – and analyzing the results with a standard-less procedure which overcomes the problems related to matrix effects.

Ермалицкая Ксения Федоровна, аспирант физического факультета Белорусского государственного университета, Беларусь, ermalitskaya@biz.by.

Научный руководитель – *Воропай Евгений Семенович*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой лазерной физики и спектроскопии, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, voropay@bsu.by.

УДК 548.4:539.211:537.533.9:539.534.9:537.533.35

*M.V. Zdorovets, A.A. Abdrahmetova, F.U. Abuova
I.N. Nyshanbaeva, Zh.B. Zhanuzak*

VERIFICATION OF THE RECIPROCITY LAW BETWEEN THE INTENSITY AND DURATION OF IRRADIATION IN LiF IRRADIATED WITH 195 MeV Xe AND 18 MeV N IONS

Представлены результаты экспериментов по облучению кристаллов LiF на ускорителе DC-60 (Астана, Казахстан). Центры окраски в кристаллах LiF облученных ионами 18 MeV N (Φ от 2.4×10^{11} до 10^{13} ионов/см², ионный ток 10-100 нА) и ионами 195 MeV Xe (Φ от 0.57×10^{11} до 7.5×10^{11} ионов/см², ток 10-100 нА) исследовались с использованием UV-VIS абсорбционной спектроскопии.

The defect creation in alkali halides strongly depends on the energy loss of the ions (dE/dx), absorbed energy (fluence), and irradiation temperature [1,2]. The irradiation parameters are presented in Table 1 [3].

Table – Xe and N ions radiation parameters in LiF crystals.

| Ion, energy, MeV | Range, R, μm | Electronic loss, $(dE/dx)_e$, keV/nm | Nuclear loss, $(dE/dx)_n$, keV/nm | Maximal energy of electrons, eV |
|------------------|-------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| N, 18 | 11 | 1.65 | 0.0013 | 2800 |
| Xe, 195 | 17.6 | 18.85 | 0.052 | 3200 |

The electron energy loss is larger than the nuclear energy loss and energy transfer from the ions takes place by ionization and electronic excitation. The maximum energy of δ electrons in LiF is limited to 2.8 keV and 3.2 keV. These electrons interact with the solid and finally via lattice excitations create color centers.

Using absorption spectroscopy, the number of F centers per track (n_F^5) and the mean energy (ΔE_F) to create an F center, as well as the average distance between ion tracks was estimated. From the dependence $n_F = f(\Phi)$

we calculated [4] the track radius for N ions $r_F = 4,4$ nm and for Xe ions – 17 nm.

Irradiation at a beam current density of $20\text{nA}/\text{cm}^2$ (Xe ions) leads to the track overlapping at fluences above 10^{11} ions/ cm^2 . At a fluence of about 10^{13} ions/ cm^2 the F center concentration (n_F) increases with the flux (ϕ) as $n_F \sim \phi^{1/3}$. The dependence of $\phi^{1/3}$ indicates a strong interaction of the primary H centers with fluorine molecule formation which leads to a decrease of recombination losses between F and H centers [5].

References

1. Defect creation in alkali-halides under dense electronic excitations: experimental results on NaCl and KBr. / E. Balanzat [et al.] // Nucl.Instrum.Methods Phys.Res. – 1994. – В 91. – P.134.
2. Effect of electronic energy loss and irradiation temperature on color-center creation in LiF and NaCl crystals irradiated with swift heavy ions. / K. Schwartz [et al.]. // Phys.Rev. – 2008. В 78. – P.024120.
3. SRIM-2006.02 [Electronic resource]. / J. F. Ziegler, M.D, Ziegler, and J. P. Biersak // Mode of access <http://www.srim.org>.
4. Assumption of F-centre creation in LiF bombarded with high-energy particles. / Thevenard P. [et al.] // Radiation Effects and Defects in Solids. – 1977. – Vol. 32, № 2. – P. 83 – 90.
5. Creation of nanosize defects in LiF crystals under 5 – and 10-MeV Au ion irradiation at room temperature /K. Schwartz [et al.] // Phys.Rev. – 2007 – .В. 76. – P.054114.

The irradiation experiments on the cyclotron ion accelerator DC-60 (Astana, Kazakhstan) are presented. Color centers in LiF crystals irradiated with 18 MeV N (Φ from 2.4×10^{11} to 10^{13} ions/ cm^2 , beam current 10-100nA) and 195 MeV Xe (Φ from 0.57×10^{11} to 7.5×10^{11} ions/ cm^2 , beam current 10-100nA) ions are studied using UV-VIS absorption spectroscopy.

Здоровец Максим Владимирович, преподаватель Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, mzdorovets@inbox.ru;

Абдрахметова Айнаш Ашимхановна, докторант PhD 1-го года обучения Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан;

Абуова Фатима Усеновна, магистрант 2-го года обучения Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева Астана, Казахстан fatika_82@mail.ru;

Нышанбаева Индира Науатбековна, магистрант 1-го года обучения Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан;

Жанузак Жандос Бауржанович, магистрант 1-го года обучения Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан zzb1987@mail.ru.

Научный руководитель – *Даулетбекова Алма Кабденовна*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры радиоэлектроники и технической физики, физико-технический факультет, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, alma_dauletbek@mail.ru.

УДК 616.71

О.А. Жарнова

ФИЗИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЛОРДОЗА ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

Представлены экспериментальные данные положения позвонков шейного отдела в вертикальном положении. Приведены и проверены предположения о нагрузке на голову при воздействии внешней силы с учетом диссипации энергии в позвоночно-двигательных сегментах.

Наиболее продолжительным во времени является вертикальное положение скелета. Очевидно, что при этом сила тяжести, действующая в основном на голову через позвонки, передается на межпозвонковые диски (МПД). В то же время внешние силы могут передаваться через МПД на голову. Наиболее оптимальным при этом является случай, когда нагрузка в обоих случаях будет равномерно распределена по всей поверхности МПД [1].

Для равномерной нагрузки вдоль всей поверхности межпозвонкового диска необходима жесткая корреляция между формой конкретного позвонка и изгибом шейного отдела позвоночника (лордозом), который будет формироваться во времени (у новорожденных лордоз отсутствует) при воздействии на него внешних сил. При этом, как показывает анализ устойчивого равновесия как в статическом положении, так и при наклонах назад и вперед эти силы

должны имеет составляющие по всем осям. Это связано с тем, что при наклонах создаются моменты сил тяжести, которые должны компенсироваться моментами реакций опоры. Когда действуют только вертикальные силы, то это приводит к состоянию неустойчивого равновесия. При воздействии этих сил для нестационарного случая у человека формируется лордоз в шейном отделе (помимо этого формируется кифоз и лордоз в поясничном и грудном отделах). Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что боковые поверхности позвонков (к ним крепятся задние продольные связки) располагаются под некоторыми углами к вертикальной оси. Изначально эти углы имеют нулевые значения, к 20-25 годам они становятся ненулевыми, причем разница между верхним позвонком С2 и нижним С7 достигает 40° [2]. Значения этих углов для возраста 21-30 лет представлены в таблице.

Таблица – Средние значения углов отклонения тел позвонков α относительно вертикальной оси в боковой проекции шейного отдела позвоночника при вертикальном положении.

| Номер позвонка | С2 | С3 | С4 | С5 | С6 | С7 |
|-------------------------------|--------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Результат в градусах α | -12.0 ± 3.6 | -4.0 ± 3.8 | 6.0 ± 3.6 | 12.0 ± 4.0 | 19.0 ± 4.1 | 25.0 ± 4.4 |

Отсутствие аналогичных данных для грудного и поясничного отделов не позволяет провести точные расчеты о влиянии внешних воздействий на голову человека, однако можно провести оценки ослабления силы за счет диссипации энергии в позвоночно-двигательных сегментах для шейного отдела позвоночника.

Будем считать, что на нижний позвонок шейного отдела С7 воздействует внешняя сила F_0 . Через верхнюю грань позвонка это усилие передается на межпозвонковый диск, работающий как упруго-диссипативный элемент. Поскольку позвонок С6 наклонен под некоторым углом к позвонку С7, то на него передается часть усилия, а именно $F_0 \cos \alpha_i$, другая часть, равная $F_0 \sin \alpha_i$ будет воздействовать вдоль поверхности позвонка и приводит к деформации продольных связок. Для всех позвонков шейного отдела это приводит к уменьшению

вертикального воздействия на 40%. Очевидно, что в грудном и поясничном отделе также будет происходить ослабление внешнего воздействия.

Список литературы

1. Жарнов, А.М. Кинематические и динамические характеристики плоского движения позвоночника / А.М. Жарнов, О.А. Жарнова // *Вестник Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы*. – 2008. – № 3 (46). – С. 100–106.
2. Жарнова, В.В. О возможности определения степени дегенеративно-дистрофического поражения шейного отдела позвоночника при вертикальном положении головы / В.В. Жарнова, О.А. Жарнова, А.Н. Михайлов // *Актуальные вопросы лучевой диагностики, лучевой терапии и радиационной безопасности: материалы респ. науч.-практ. конф.* – Минск. – 2009. – С. 57–59.

Experimental data of position a cervical vertebraedepartment in vertical position are submitted. Assumptions of loading on a head are resulteted and checked up at influence of external force with the account dissipation energy in a backbon-impellent segment.

Жарнова Ольга Александровна, магистр физики, соискатель, учитель физики городской гимназии № 1, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Никитин Александр Викторович*, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической физики, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, nik@grsu.by.

УДК 616.71

О.А. Жарнова

МОДЕЛЬ ПОЗВОНОЧНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО СЕГМЕНТА ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

На основе анализа изменения площади межпозвонкового диска (МПД) при полном объеме движения шейного отдела позвоночника в сагиттальной плоскости делается вывод о распределении нагрузок. Исходя из этого представлена модель, описывающая поведение позвоночно-двигательного сегмента.

Для плоского движения позвонок как твердое тело имеет три степени свободы: из них две поступательных и одну вращательную. При поступательных перемещениях неизбежна деформация межпозвоночного диска, при чистом вращательном движении позвонок как твердое тело должен вращаться относительно некоторой мгновенной оси. При этом деформации межпозвоночного диска не происходит и позвонок должен без проскальзывания двигаться относительно диска. Экспериментально было определено, что мгновенной оси вращения для всех позвонков при движении в сагиттальной плоскости не существует, эта точка смещалась и выходила за пределы погрешности эксперимента. Следовательно, при движении шейного отдела позвоночника происходит комбинация вращательного и поступательного движения, при этом неизбежно должна происходить деформация диска, о которой можно судить по площади, занимаемой им между позвонками и передней и задней продольными связками. На рисунке 1 представлено изменение площадей (нормированных к вертикальному положению площади S_0) для межпозвоночного диска при полной амплитуде движения ШОП в сагиттальной плоскости. Из этих данных видно, что для нормального позвоночника изменение площадей незначительно, что позволяет утверждать о малой деформации межпозвоночного диска при плавно изменяющейся нагрузке.

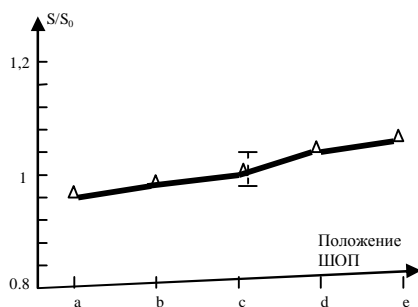


Рисунок 1 – Относительное изменение площади межпозвоночного диска при полном объеме движения в сагиттальной плоскости.

Более или менее замкнутыми моделями движения ПДС до настоящего момента являются 2 [1; 2]. Одна из них рассматривает кинематику движения межпозвонкового диска, ограниченного двумя недеформируемыми позвонками, представленных в виде стержней заданной длины. Вторая рассматривает динамику поведения диска как вязко-диссипативной среды при ударных воздействиях в вертикальной плоскости.

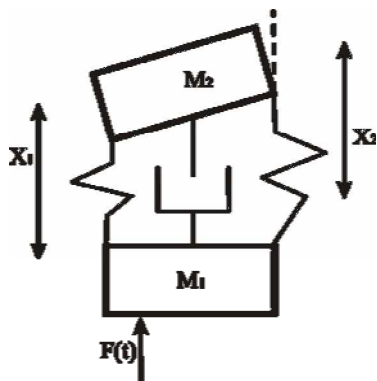


Рисунок 2

Ограничения, определяемые такими моделями, весьма велики, поэтому реальное движение позвоночного отдела вряд ли адекватно моделям [3]. В то же время, по-видимому, без построения достаточно объективной физико-математической модели движения позвоночника объяснить источник тех либо иных функциональных изменений в нем не представляется возможным. На рисунке 2 представлена схема расчета для позвоночно-двигательного сегмента с учетом

полученных экспериментальных результатов. При воздействии внешней силы $F(t)$ нагрузка через тела позвонков передается на межпозвонковые диски. Из эксперимента известно, что нагрузка на задние отделы дисков больше, чем на передние. О нагрузках на межпозвонковый диск косвенно можно судить по изменению расстояния X_i между фиксированными точками соседних позвонков при изгибе шейного отдела.

Список литературы

1. Orne, D A mathematical model of spinal response to impact / D. Orne, Y.K. Liu // J. Biomech. 1971. – V. 4(1). – P. 49–71.
2. Payne, P.R. The dynamic of human restraint systems in impact acceleration stress / P.R. Payne // Washington, DC: Nat. Acad. Sci. – National Research Council, 1962. – P. 195–257.

3. Жарнов, А.М. Кинематические и динамические характеристики плоского движения позвоночника / А.М. Жарнов, О.А. Жарнова // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. – 2008. – № 3 (46). – С. 100–106.

On the basis of the analysis of change of the area intervertebrae a disk at full volume of movement of a cervical department of a backbone in sagittal planes it is judged distribution of loadings. Proceeding from this the model describing behaviour of a vertebra-impellent segment is submitted

Жарнова Ольга Александровна, магистр физики, соискатель, учитель физики городской гимназии № 1, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Никитин Александр Викторович*, кандидат технических наук, заведующий кафедры теоретической физики, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, nik@grsu.by.

УДК 378.018

В.М. Завадская

ИЗУЧЕНИЕ ВОПРОСОВ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ

В педагогическом смысле термин «современная физика» предполагает построение такого содержания школьного курса физики, в котором основы классической (дорелятивистской и доквантовой) и современной физики изучаются не изолировано друг от друга.

Всеобщий характер закона сохранения энергии требует дать такое определение полной энергии, при котором закон сохранения в теории относительности был бы инвариантен при переходе от одной системы отсчета (инерциальной) к другой. Т.е. необходимо, чтобы релятивистская энергия E удовлетворяла двум условиям:

Полная энергия любой замкнутой системы сохраняется.

Энергия E стремится к классическому значению, когда $\frac{v}{c} \rightarrow 0$.

Как и в классической механике, определим кинетическую энергию частицы E_k как работу, совершаемую равнодействующей силой для

ускорения частицы из состояния покоя до некоторой скорости U . Для одномерного движения:

$$E_k = \gamma mc^2 - mc^2. \quad (1)$$

Формула (1) – выражение для релятивистской кинетической энергии.

Проверим, переходит ли выражение (1) в $\frac{m\vartheta^2}{2}$ при $\vartheta \ll c$.

Разложим

$$\gamma = \left(1 - \frac{\vartheta^2}{c^2}\right)^{-1/2} \approx 1 + \frac{1}{2} \frac{\vartheta^2}{c^2} + \dots,$$

где $\frac{\vartheta}{c} \ll 1$.

Тогда

$$E_k = mc^2 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\vartheta^2}{c^2} + \dots - 1\right) \approx \frac{1}{2} m\vartheta^2$$

Полная релятивистская энергия E определяется как сумма $E = E_k + mc^2 = \gamma mc^2$. Таким образом, работа силы идет на увеличение энергии от mc^2 до γmc^2 при $\vartheta \ll c$.

$$E_k = \frac{P^2}{m(1+\gamma)}; \quad E = \frac{1}{2} m\vartheta^2 + mc^2;$$

$$E_k = \frac{P^2}{2m}; \quad E = \frac{P^2}{2m} + mc^2;$$

Графики, приведенные на рисунке выражают зависимости ньютоновской и релятивистской кинетических энергий от скорости. Как

и для других классических и релятивистских величин, здесь также разница между ними становится существенной при скоростях близких к скорости света. Причем, все релятивистские величины превышают по значению соответствующие ньютоновские величины.

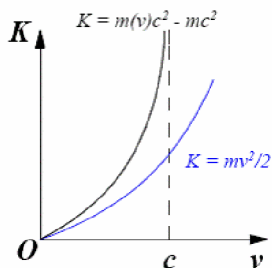


Рисунок – Зависимость ньютоновской и релятивистской кинетических энергий от скорости

Поскольку релятивистская и кинетическая энергии отличаются друг от друга на постоянную величину (энергию покоя), то теорема о кинетической энергии верна также для релятивистской энергии.

In pedagogical sense the term «the modern physics» assumes construction of such maintenance of a school course of physics in which bases classical and the modern physics are studied is not isolated from each other

Завадская Виктория Михайловна, магистрантка физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, vichka1984@mail.ru.

Научный руководитель – *Ануфрик Славимир Степанович*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой лазерной физики и спектроскопии, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, AnufriC2005@grsu.by.

УДК 37.016:53

О.Н. Иванчик

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ РАЗНОУРОВНЕВЫХ ЗАДАНИЙ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПО ФИЗИКЕ

Регулярное использование на уроках физики системы специальных разноуровневых задач и заданий, направленных на развитие умений и навыков, расширяет кругозор школьников, способствует развитию физико-математического мышления, повышает качество подготовленности.

В национальной концепции образования главный акцент сегодня сдвигается на личность учащихся, на их интеллектуальное развитие. Измерение результатов человеческой деятельности и оценка ее

качественных и количественных показателей становятся актуальной педагогической проблемой. Результаты оценивают различными методами и средствами.

Формы педагогических заданий могут быть различны как в тестовой, так и в нетестовой форме. В учебных пособиях предложены четыре вида заданий: тестовые задания, задания с пропусками, вопросы или качественные задачи, расчётные задачи [1].

Используя многоуровневые тесты, ученик может самостоятельно определить уровень усвоения темы. Тест представляет собой систему заданий возрастающей трудности, позволяющую эффективно измерить уровень и качественно оценить структуру подготовленности учащихся. Вопросы разработки тестов для объективного контроля подготовленности учащихся рассматриваются и изучаются наукой о тестах или тестологией.

При разработке тестов важно, насколько они соответствуют запроектированным целям обучения, образования, развития обучаемых. Важнейшими критериями диагностических тестов обученности являются: действенность (валидность, показательность), надежность (вероятность, правильность), дифференцированность (различимость).

На основе анализа литературных источников были рассмотрены этапы и принципы разработки разноуровневых тестов. Разработаны разноуровневые задания в виде тестов, которые прошли апробацию на уроках физики в девятом классе во время педагогической практики. Каждый тест представлен пятью вариантами, задания которых составлены в соответствии с пятью уровнями овладения учебным материалом при изучении законов сохранения в механике: импульс, закон сохранения импульса, работа, мощность, энергия, теорема об изменении кинетической энергии. Это позволяет эффективно использовать тесты для контроля и оценки знаний в рамках десятибалльной системы.

Учащийся имеет возможность выбрать номер варианта, степень сложности которого соответствует его уровню усвоения знаний. Тесты могут быть рекомендованы учащимся для самоконтроля и стимуляции продвижения от одного уровня к другому. При достижении успеха в процессе выполнения заданий более низкого уровня у учащегося появляется стимул к решению заданий следующего. Так любой учащийся получает возможность самостоятельно оценить достигнутый уровень и при желании подняться на более высокий уровень овладения данной темой. В результате применения тестов были сделаны выводы о правильности их составления.

Таким образом, разноуровневые задания позволяют учитывать индивидуальные особенности учеников; развивать их познавательную деятельность, активность и самостоятельность в обучении, формировать

наиболее рациональные приемы умственных действий; обобщать и систематизировать знания; осуществлять самодиагностику сложности учебного материала, а учителю диагностировать уровень обученности учеников; осуществлять коррекцию знаний учеников; стимулировать интерес к материалу, который изучается, организовывать самоконтроль и взаимоконтроль.

Список литературы

1. Аванесов, В.С. Тесты: теория и методика их разработки / В.С. Аванесов. // Управление школой. – 1999. – № 28. – 40.
2. Чельшкова, М.Б. Теория и практика конструирования педагогических тестов: учебное пособие. / М.Б. Чельшкова. // М.: Логос. – 2002. – 432 с.
3. Чертко, Н.В. Тесты как средство оценки уровня знаний по физике / Н.В. Чертко. // Фізика: праблемы выкладання. – 2003. – № 5. – С. 10–14.

Regular use at lessons of physics of system of special problems and the tasks of different level directed on development of skills, expands an outlook of schoolboys, promotes development of physical and mathematical thinking, raises quality of readiness.

Иванчик Ольга Николаевна, студентка 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

Научный руководитель – *Тарковский Викентий Викентьевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь.

УДК 535.58

Е.А. Калюта

**ИЗУЧЕНИЕ ЯВЛЕНИЯ РАССЕЯНИЯ СВЕТА
В НЕЛИНЕЙНЫХ СРЕДАХ В РАМКАХ
ФАКУЛЬТАТИВНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ФИЗИКЕ
В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ**

Явление рассеяния света в нелинейных средах не входит в школьную образовательную программу. Изучение данного явления необходимо для полного понимания физической картины мира.

За последние годы появилось большое количество важных открытий и достижений в современной оптике и лазерной физике, которые не рассматриваются в действующей образовательной программе средней школы.

До создания лазеров в оптике и спектроскопии практически безраздельно господствовал принцип линейности. Согласно этому принципу реакция вещества на действие света линейно зависит от напряженности действующего светового поля. До создания лазеров этот принцип не подвергался сомнению и считался надежно подтвержденным всей совокупностью экспериментальных и теоретических данных о распространении света в веществе. Использование в оптическом эксперименте лазерных источников света привело к открытию ряда явлений, не совместимых с принципом линейности.

Таким образом, при изучении только классической физики исчезает связь между классической и нелинейной оптикой, что нарушает целостное восприятие современной физической картины мира и не дает представления о колоссальных возможностях современной оптики и предстоящих открытиях в этом направлении.

Решать эту проблему можно, начиная с рассмотрения некоторых наиболее важных нелинейных эффектов в рамках факультативных занятий в средней школе.

Рассмотрим методику изложения явления комбинационного рассеяния.

Рассеяние света веществом сопровождается заметным изменением частоты рассеиваемого света. Если источник испускает линейчатый спектр, то при комбинационном рассеянии света в спектре рассеянного света обнаруживаются дополнительные линии, число и расположение которых тесно связаны с молекулярным строением вещества.

Можно представить сущность явления, пользуясь упрощенным представлением о световых квантах. В силу этих представлений свет частоты ν_0 распространяется в виде отдельных порций (квантов), величина которых $h\nu_0$. В соответствии с этим, атом или молекула, в которых совершаются колебания с частотой ν_0 , содержат запас энергии $h\nu_0$, который может быть испущен этим атомом (молекулой) в виде света той же частоты. С этой точки зрения рассеяние света молекулами следует упрощенно рассматривать как столкновение световых квантов, т.е. фотонов с молекулами, в результате которого фотоны изменяют направление своего полета, т.е. рассеиваются в стороны. Столкновения фотонов с молекулами могут быть упругими и неупругими. В первом случае энергия молекулы с частотой ν_0 не меняется, что соответствует Рэлеевскому рассеянию. Во втором случае энергия фотона изменяется

на величину колебательного кванта $h\nu_i$. Такой спектр комбинационного рассеяния состоит из системы спутников, расположенных симметрично относительно возбуждающей линии с частотой ν . Каждому спутнику с частотой $\nu - \nu_i$ (красный, или стоксов, спутник) соответствует спутник с частотой $\nu + \nu_i$ (фиолетовый, или антистоксов, спутник)

Колебания атомов в кристалле можно отождествить с газом фононов, а комбинационное рассеяние света в кристаллах рассматривать как рассеяние на фононах.

Список литературы

1. Ландсберг, Г.С. Избранные труды / Г.С. Ландсберг. – М., 1958. – С. 101—170.
2. Манделъштам, Л.И. Полное собрание трудов / Л.И. Манделъштам. – М., 1947. – Т. 1. – С. 293, 305.
3. Шеев, И.Р. Принципы нелинейной оптики / И.Р. Шеев; пер. с англ.; под ред. С.А. Ахманова. – М.: Наука, 1989. – 560 с.
4. Басов, Н.Г. О квантовой электронике / Н.Г. Басов. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. Лит., 1987. – 400 с.

Калюта Евгений Александрович, студент 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, Zheka-by@gambler.ru.

Научный руководитель – *Ануфрик Славмир Степанович*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой лазерной физики и спектроскопии, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, anufrick@grsu.by.

УДК 535.58

А.А. Кисель

РЕАЛИЗАЦИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО КОМПОНЕНТА В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ

Реализовать воспитательную функцию урока физики позволяет использование национального компонента в содержании обучения.

Сегодня остро стоит вопрос о воспитательном значении урока, о формировании нравственных мотивов поведения и их роли в

определении жизненного пути учащихся. Помочь учащимся в обретении правильных ценностных ориентиров, стойких личных качеств, сформировать достойных граждан страны – задача каждого учителя. Воспитание чувства гордости за свою страну, чувства патриотизма, уважения к родному краю на уроках физики становится возможным при включении в содержание обучения национального компонента.

С этой целью нами было разработано дидактическое обеспечение урока физики, а именно, создана электронная база данных в помощь учителю, подобраны сведения по методике использования элементов истории отечественной науки, разработаны варианты составления задач и вопросов с белорусской тематикой.

В настоящее время информационные технологии могут эффективно применяться и в процессе передачи знаний, и в управлении образовательным процессом. Нами была создана база данных, в которой содержится информация об ученых-физиках, уроженцах Беларуси. Данная методическая работа поможет систематизировать материалы, чтобы в дальнейшем их было удобно использовать в практической деятельности.

Для осознания принципа всеобщей связи явлений в природе очень важно сформировать у учащихся умение видеть проявление явлений и законов физики в окружающей действительности, поэтому в учебном процессе невозможно обойтись без использования местного краеведческого материала. В качестве примера можно рекомендовать такие задания для учащихся: нахождение в справочной литературе глубины озер и определение давления воды, измерение скорости течения реки и мощности потока воды, выяснение физических характеристик местных радиостанций и определение частоты, длины волны их радиовещания.

Изучаемые законы, явления природы, основные направления научно-технического прогресса на уроках физики желательно рассматривать во взаимосвязи с экологическими проблемами нашей страны. Это гранитные разработки в Микашевичах, вызвавшие понижение уровня воды в почве и высыхания лесов; загрязнение атмосферы и водоемов вблизи Солигорска, Новополоцка, Мозыря; изменение климата в больших городах; высыхание рек на Полесье, связанное с мелиорацией; Чернобыльская авария и её последствия. Формы изучения экологического материала могут быть различны: сообщения учителя или самих учащихся, задачи с экологическим содержанием, учебные игры по обсуждению экологических проблем, научно-практические конференции.

Представленное дидактическое обеспечение с использованием национального компонента позволит усилить воспитательное

воздействие на учащихся, способствовать формированию у учащихся чувства патриотизма, а также стимулировать их к более глубокому изучению физики. Применение предложенных заданий на уроках наряду с традиционными будет способствовать повышению интереса учеников не только к их выполнению, но и к самому предмету в целом. Для учителя использование уже готовых дидактических материалов дает не только возможность более рациональной организации урока с использованием национального компонента, но и ускоряет процесс подготовки к уроку.

Список литературы

1. Савелова, Е.В. Вопросы истории физики и техники в курсе физики средней школы / Е.В. Савелова. – Л., 1956.
2. Каменецкий, С.Е. Методика решения задач по физике в средней школе / С.К. Каменецкий, В.П. Орехов. – М., 1971.
3. Боядырев, Н.И. Методика воспитательной работы в школе / Н.И. Боядырев. – М., 1981.

Pride education for the country, feelings of patriotism, respect for a native land at physics lessons becomes possible at inclusion in the maintenance of training of a national component.

Кисель Анна Алейзовна, студентка 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, KisiaAnna87@mail.ru.

Научный руководитель – *Курстак Ирина Александровна*, старший преподаватель кафедры лазерной физики и спектроскопии, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, kaf_lazfiz@post.grsu.by.

УДК 37.016:53

Н.В. Кухта

ПРОБЛЕМНЫЙ МЕТОД КАК СПОСОБ АКТИВИЗАЦИИ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАЩИХСЯ

В работе рассмотрен проблемный метод с точки зрения активизации познавательной деятельности учащихся, предложены некоторые способы активизации деятельности при изучении физики с использованием этого метода. Установлено место проблемного обучения в системе образования и разработано два раздела физики с применением этого метода.

Формирование мотивации учения является одной из центральных проблем современной школы. Сегодня большинство старшеклассников хотят приобрести гуманитарную, юридическую или экономическую специальность. Это существенно снижает интерес к изучению предметов естественнонаучного цикла, к которым и относится физика. Кроме того, интерес к физике снижается, во-первых, из-за сложности преподавания, во-вторых, из-за однообразности преподнесения учебного материала. Необходимо мобилизовать резервы внутреннего активного отношения самих школьников к учебному труду. Для этого нужно использовать все виды проблемного обучения.

Исследования в этой области показали, что проблемное обучение будит и формирует интерес к учению, развивает инициативу ученика в познании, способствует пониманию внутренней сущности явлений и процессов, формирует умение видеть проблему и т.д. Можно предположить, что при использовании элементов проблемного обучения на уроках физики у учащихся повысится интерес и, как следствие, повысится успеваемость. В связи с этим, выбранная тема является актуальной.

Целью работы является рассмотреть проблемный метод с точки зрения способа активизации познавательной деятельности учащихся, выяснить какое место занимает проблемное обучение в системе других методов, разработать несколько разделов физики с использованием этого метода.

В работе приведено много заданий и вопросов, которые способствуют активной деятельности учеников. Установлено на каких уроках эффективнее всего применять проблемное обучение.

В качестве примера разработаны два раздела физики: «Оптика» и «Тепловые явления». На каждом уроке упор делается на деятельность самого ученика, а учитель лишь проблемными вопросами, заданиями и опытами направляет их к получению нужных знаний и умений. Все уроки построены именно на интересе учащихся, ведь благодаря этому и возможно применение данного метода.

На наш взгляд, рассмотренный метод идеально подходит для активизации познавательной деятельности учащихся на уроках физики. Применение проблемного обучения вызывает у учащихся большой интерес к учебе, стимулирует учащихся преодолевать трудности, способствует более быстрому развитию творческого мышления и воображения. Использование проблемных ситуаций является, одним из условий создания у учащихся интереса к содержанию обучения и к

самой деятельности – возможность проявить в учении самостоятельность и инициативность. Кроме того проблемные ситуации является основным средством воспитания устойчивого интереса к учебе – использование таких вопросов и заданий, решение которых требует от учащихся активной поисковой деятельности.

In our view, the considered method is ideal for enhancing cognitive activity of pupils at the lessons of physics. Application of problem-based learning is students' strong interest in learning, encourages students to overcome difficulties, promote more rapid development of creative thinking and imagination. Use of problem situations is a prerequisite for the establishment of students' interest in learning content and to the activity itself – the opportunity to demonstrate to the teachings of independence and initiative.

Кухта Наталья Витальевна, студентка 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, natallia1@mail.ru.

Научный руководитель – *Зноско Казимир Францевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, znosko@grsu.by.

УДК 539.232:546.221

Ю.А. Нестерук

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСЛОЕВ СУЛЬФИДА КАДМИЯ МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Изучены морфология поверхности, оптические и электрофизические свойства нанослоев сульфида кадмия, полученных методом химического осаждения из раствора солей. Исследованы вольт-амперные характеристики р-п-перехода CdS–p-Si. Полученные нанослои CdS удовлетворяют требованиям, предъявляемым к буферным слоям при создании солнечных элементов на основе твердых растворов $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{x-1}$.

При создании фотоэлектрических тонкопленочных преобразователей (ФЭП) солнечной энергии на поликристаллических структурах на основе тройных соединений $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{VI}}\text{C}_2$ CuInSe_2 состава и

$\text{CuIn}_x\text{Ga}_{x-1}$ [1-3] важное значение для эффективности имеет создание гетероперехода на границе поглощающего и буферного слоя.

Известно, что оптимальным материалом буферного слоя служат широкозонные полупроводники с проводимостью n-типа. Буферный слой в ФЭП должен создавать надежный электрический контакт между поглощающим слоем и лицевым контактом и обладать также высоким пропусканием, чтобы не экранировать солнечное излучение.

Из многообразия методов получения буферных слоев метод химического осаждения пленок из водного раствора солей наиболее изучен. Он привлекает «мягкими» условиями получения слоев CdS, небольшой температурой осаждения, возможностью регулирования толщины пленок, простотой изменения химического состава за счет изменения концентрации различных реагентов. Однако, несмотря на эти преимущества, он имеет много технологических «тонкостей», что затрудняет получение качественных пленок. Поэтому мы осаждали слои CdS при различных режимах на стеклянные подложки для исследования фотоэлектрических характеристик и на кремниевые подложки p-типа для изучения структуры p-Si/n-CdS.

Измерение электрофизических характеристик нанослоев CdS на стекле и оценка ВАХ структуры p-Si/n-CdS позволила выявить оптимальный состав химической ванны – $1:13:600$ ($1,7 \cdot 10^{-3} \text{M Cd}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, $0,022 \text{M CS}(\text{NH}_2)_2$, $1,02 \text{M NH}_4\text{OH}$)

Пленки характеризуются высоким значением пропускания $> 70 \%$ и резким краем фундаментального поглощения в области длин волн $400 - 500 \text{ нм}$ в зависимости от их толщины. Коэффициент оптического поглощения пленок был рассчитан на основании данных оптического отражения и пропускания по методике [4]. Ширина запрещенной зоны пленок CdS определялась путем экстраполяции линейной части спектральной зависимости квадрата коэффициента поглощения $\alpha^2 \sim f(h\nu)$ к оси энергии фотонов.

В работе проводилось изучение влияния толщины и морфологии поверхности CdS на электрофизические параметры структуры p-Si/n-CdS.

Таким образом, проведенные исследования по созданию p-n перехода p-Si/n-CdS позволили выявить оптимальный состав химической ванны и показали, что нанослои CdS по своим высоким оптическим свойствам и фотоэлектрическим параметрам пригодны для использования в солнечных элементах и приборах оптоэлектроники.

Список литературы

1. Современные проблемы полупроводниковой фотоэнергетики / под ред. Т. Коутса, Дж. Микина. – М.: Мир, 1988. – 307 с.
2. Schock H.W. Appl. Surf. Sci. – 1996. – 92. – P. 606-616.
3. U. Rau, H. W. Shock . Series on Photoconversion of Solar Energy. 1, 277–345 (2001).
4. A.V. Mudryi, A.V. Ivaniukovich, A.G. Ulyashin . Thin Solid Films. 515, 6489 (2007).

Surface morphology, optical and electro-physical properties for cadmium sulphide nanolayers obtained by chemical deposition of salt solution are studied. Current-voltage characteristics for p-n junction CdS-p-Si are investigated. The obtained nanolayers of CdS comply to requirements for buffer layers when creating solar cell on the basis of solid solutions $\text{CuIn}_x\text{Ga}_{1-x}$.

Нестерук Юлия Александровна, Государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», Минск, Беларусь, yulopka@mail.ru.

Научный руководитель – *Гременок Валерий Феликсович*, доктор физико-математических наук, Государственное научно-производственное объединение «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по материаловедению», Минск, Беларусь, gremenok@ifftp.bas-net.by.

УДК 378.018

Т.В. Поплавная

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО КУРСУ ОБЩЕЙ АСТРОНОМИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Практикум содержит разработку занятий по наблюдению звёздного неба в курсе общей астрономии. Он включает перечень вопросов и методических указаний для подготовки к занятиям.

Астрономия – одна из наук о природе. Она опирается на наблюдения, которые начаты в глубокой древности и продолжаются до настоящего времени. Результаты наблюдений ложатся в основу различных теорий, являются критерием их достоверности. Проведение наблюдений и расчетов должно показать студентам конкретную

реальность небесных объектов, о которых говорилось на лекциях, написано в книгах.

Настоящий практикум является обобщением опыта проведения занятий по наблюдению звёздного неба в течении ряда лет в Гродненском госуниверситете. Цель этих занятий – познакомить студентов со звёздным небом, научить ориентироваться среди этих объектов, научить пользоваться простейшими астрономически инструментами и приборами, освоить методику проведения простейших астрономических наблюдений, дать понятие об основных методах астрономических исследований. Знакомство со звёздным небом и его объектами, астрономическая ориентировка имеют большое практическое значение. Будущий учитель астрономии должен сам владеть ими, чтобы передать необходимые знания подрастающему поколению, у которого в основном астрономическое образование ограничивается только средней школой. Каждый студент, изучавший астрономию в университете, должен быть методически подготовлен к преподаванию её в средней школе. Поэтому при проведении наблюдений звёздного неба и его объектов необходимо уделять внимание методическим аспектам этой формы занятий.

Тематика занятий и последовательность их проведения соответствует программе и основным учебным пособиям по астрономии для физико-технического факультета.

Каждое занятие содержит перечень вопросов, которые необходимо повторить и изучить, а также ссылки на учебные пособия с указанием страниц. Краткие теоретические сведения описывают сущность и методику проведения наблюдений. В целях более глубокого и детального ознакомления с изучаемыми вопросами студентам рекомендуется дополнительная литература. Задания по каждому занятию состоят из нескольких пунктов.

The Practical work contains the development an occupation on observation starry sky in course of the general astronomy. He includes the list of the questions and methodical instructions for preparing to occupation.

Поплавная Татьяна Викторовна, магистрантка физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, tantrap@mail.ru.

Научный руководитель – *Зноско Казимир Францевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, znosko@grsu.by.

УДК 378.018

Т.В. Поплавная

ПРАКТИКУМ ПО КУРСУ ОБЩЕЙ АСТРОНОМИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

Практикум содержит разработку практических занятий по курсу общей астрономии. Практикум предназначен для подготовки к практическим занятиям, аудиторному их проведению, самостоятельного овладения навыками решения астрономических задач.

Содержание практикума охватывает наиболее значимые и сложные темы сферической и практической астрономии, небесной механики и звёздной астрономии. Он включает перечень вопросов и методических указаний для подготовки к занятиям, примеры решения типовых задач, подборку типовых задач по каждой теме.

Настоящий практикум предназначен для студентов физико-технического факультета, которые изучают курс общей астрономии, разработано и написано в соответствии с программами и отведённым количеством учебных часов. Практические занятия, ведущиеся параллельно с лекционным курсом, не только служат лучшему пониманию и усвоению материала, но и решают свои самостоятельные задачи: использование следствий сферической тригонометрии при определении восхода и захода светил, перевод звёздного времени в среднее солнечное и наоборот, изучение фотометрии звёзд и практическое использование ее следствий.

На практические занятия вынесены разделы и вопросы, представляющие наибольшие трудности при изучении, требующие хорошего усвоения, необходимые для приобретения студентами определённых навыков и приёмов при проведении расчётов, содержащие основополагающие знания по астрономии.

В практикуме в интегрированном виде представлены разработки практических занятий по сферической астрономии, практической, небесной механике, звёздной астрономии. Все занятия построены по единому плану. После формулировки темы и цели помещён список литературы с указанием страниц для подготовки к занятию и перечень основных вопросов по теме занятия. Затем следуют методические указания по подготовке к занятию, примеры решения задач,

контрольные вопросы и задачи для самостоятельного и аудиторного решения.

К каждому занятию даются ссылки на основные учебные пособия с указанием страниц и необходимые теоретические сведения студенты могут почерпнуть из них. По каждому занятию задачи расположены в порядке возрастания их сложности. Задачам предшествует решение основных типовых задач. Они подобраны таким образом, чтобы были представлены основные вопросы каждой темы.

The Practical work contains the development practical occupation on course of the general astronomy. It Is Intended for preparing to practical occupation, аудиторному to their undertaking, independent mastering skill decisions of the astronomical problems.

Поплавная Татьяна Виктороновна, магистрантка физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, tantrap@mail.ru.

Научный руководитель – *Зноско Казимир Францевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, znosko@grsu.by.

УДК 378.018

Н.Н. Русак

РАЗРАБОТКА И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО МЕХАНИКЕ

Приведена классификация методов решения задач, рассмотрены примеры решения, соответствующие определенным методам. Предложены задачи для самостоятельного решения.

В настоящее время централизованное тестирование вытеснило все иные формы вступительных экзаменов в высшие учебные заведения. Поэтому при сдаче физики абитуриентам в первую очередь необходимо владеть навыками решения задач. Опыт преподавания показывает, что наибольшую трудность для абитуриентов, а также студентов представляют вопросы, как приступить к решению задачи, в каком направлении следует продвигаться, чтобы решить ее.

Наиболее важная проблема, стоящая перед преподавателем, - как научить студентов решать задачи. Кроме того, анализ практики обучения доказывает, что основой обучения решению задач в вузе должно быть целенаправленное освоение студентами общих и частных методов решения задач. В условиях, когда количество поступающей информации непрерывно возрастает, для ее усвоения и практического использования за относительно короткий срок обучения необходимы ее систематизация и упорядочение.

Целью работы является разработка новых и систематизирование уже существующих методов решения задач по механике.

Для этого была разработана технология решения задач по механике, основой которой являются следующие компоненты:

- целеполагание (необходимо определить, что является целью деятельности при решении задач для учащихся и преподавателя, и в какой конечный результат эта деятельность должна воплотиться);

- система применения в процессе обучения решению задач общих и частных методов и общеметодологических принципов (необходимо ознакомить учащихся с содержанием самих методов решения задач);

- подбор и составление учебно-методических средств (необходимо обеспечить полную ориентировку в той деятельности, которую предстоит освоить учащимся при решении задач с помощью систематизирующих и обобщающих таблиц, граф-схем и примеров задач, иллюстрирующих методы их решения).

Данная технология будет представлена в учебном пособии, которое может быть использовано учителями средних школ при подготовке учеников к участию в олимпиадах, абитуриентами при подготовке к централизованному тестированию по физике и студентами специальности «Физика» (будущими учителями физики).

Список литературы

1. Матецкий, М.В. Технология решения задач по физике (механике) и астрономии: учеб.-метод. пособие / Н.В. Матецкий, К.Ф. Зноско. – Гродно: ГрГУ, 2007. – 359 с.: ил.

The Broughted categorization of the methods of the decision of the problems, considered examples of the decision, corresponding to determined method. The Offered problems for independent decision.

Русак Наталья Николаевна, магистрантка физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, NataRUS21@mail.ru.

Научный руководитель – *Зноско Казимир Францевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, znosko@grsu.by.

УДК 541.21.33

А.А. Харченко, Ф.А. Нажим, В.С. Волобуев

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ДЛЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ
«НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ»
«ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
НАНОСТРУКТУРНЫХ КОМПОЗИТОВ,
СИНТЕЗИРОВАННЫХ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИЕЙ
ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК»**

Разработаны методические основы изучения оптических характеристик (пропускание, отражение и экстинкция) наноструктурных композитов, синтезированных имплантацией полимерных пленок и поставлена лабораторная работа по их изучению в диапазоне длин волн 300 – 800 нм. Экспериментально изучаются спектральная, дозовая и зависимости оптических характеристик от плотности ионного тока, анализируемые на основе теории Тауца и электродинамической теории Ми.

Подготовка специалистов в области создания новых материалов и технологий требует решения не только теоретических, но и практических задач по приобретению навыков синтеза и изучения физических свойств новых композиционных материалов и, в особенности, структурированных на наноуровне. Ионная имплантация в полимеры является эффективным методом синтеза таких материалов. Так при имплантации ионов металла наряду с процессом карбонизации начинается зарождение и рост металлических наночастиц, что приводит к появлению нелинейных оптических характеристик модифицированных полимерных пленок [1]. Основной целью лабораторной работы для студентов пятого курса специализации “Новые материалы и технологии” является освоение методики определения основных оптических характеристик наноструктурных

композитов, синтезированных имплантацией полимерных пленок, и определении с использованием современных теоретических представлений основных характеристик металло-углеродных кластеров в полимерной матрице.

Лабораторная работа реализована на базе стандартного двухлучевого спектрометра SPECORD UV VIS для измерения спектров пропускания в диапазоне 300-800 нм. Так как при имплантации ионов металла в полимерную пленку визуально наблюдается появление характерного металлического блеска, то спектрометр был модернизирован для измерения спектров отражения. С этой целью разработаны специальные кассеты-диафрагмы для крепления модифицированных имплантацией пленок и система поворота луча в измерительном канале спектрометра, что позволяет определить спектральную зависимость отражения. Это, в свою очередь, в совокупности с измеренным по традиционной схеме пропусканием позволяет определить экстинкцию исследуемых материалов.

В работе приводятся современные теоретические представления об оптических характеристиках углеродных композиционных материалов, базирующиеся на представлении об оптической щели Тауца [2] и электромагнитной теории Ми [3], которые позволяют определить размер и концентрацию формирующихся металло-углеродных нанокластеров в полимерной матрице.

Проведенные исследования оптических характеристик ряда полимерных пленок, имплантированных ионами переходных металлов, представленные на ФКС-ХVIII показали на эффективность использования оптических методов характеристики таких нанокompозитов.

Выполнение работы позволяет не только освоить методику измерения оптических характеристик композиционных материалов, но и установить их зависимость от технологических режимов синтеза, т.е. научиться целенаправленно управлять оптическими характеристиками таких материалов, получая композиты с заранее заданными свойствами.

Список литературы

1. Степанов, А.Л. Оптические свойства металлических наночастиц, синтезированных в полимере методом ионной имплантации / А.Л. Степанов. // ЖТФ 2004. – Вып. 2. – С. 11.

2. Таус, J., Grigorovici R., Vancu A. / Phys. Stat. Sol. // 1966. – V. 15. – P. 627–637.
3. Mie, G. Ann. // Phys. – 1908. – Vol. 25. – P.377–422.

Laboratory work for advanced students specialization “Novel materials and technology” “Optic properties nanostructured composites synthesized by ions implantation” has been developed. Transmission, reflection and extinction of such materials in a wave length range 300-800 nm are studied.

Харченко Андрей Андреевич, студент 5 курса физического факультета Белорусского государственного университета, хаатм@mail.ru;

Нажим Фирас А., аспирант физического факультета Белорусского государственного факультета, Минск, Беларусь, phys74@yahoo.com.

Волобуев Влас Сергеевич, аспирант кафедры физики полупроводников и наноэлектроники, физического факультета Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, vlasname@mail.ru.

Научный руководитель – *Лукашевич Михаил Григорьевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики полупроводников и наноэлектроники, Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь, lukashevich@bsu.by.

УДК 378.018

О.Г. Харазян, А.И. Казберук

МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО КВАНТОВОЙ ОПТИКЕ В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ ФИЗИКИ

Описана методика организации современного лабораторного практикума по квантовой оптике, основанная на самостоятельной деятельности учащихся.

В настоящее время вопросы квантовой оптики включены в школьный курс физики. Они позволяют сделать представления учащихся о строении и свойствах окружающего мира более полными и адекватными современному научному знанию. Физический практикум по данному разделу поможет организовать его изучение не только на качественном и количественном уровне, как это предусматривает учебная программа по физике, но и на экспериментальном уровне.

В основе практикума лежат лабораторные работы, которые позволят организовать исследовательскую деятельность учащихся по следующим вопросам: изучение характеристик светодиода, определение постоянной Планка, установление количественных закономерностей при изучении свойств ионизирующих излучений, исследование зависимости кинетической энергии фотоэлектронов от частоты излучения, измерение скорости света в жидкости и многие другие.

Методика организации перечисленных исследовательских работ по квантовой оптике представлена на рисунке. Согласно данной методике учащиеся должны самостоятельно ознакомиться с теоретическим материалом по теме лабораторной работы, а также изучить её структуру и содержание. На уроке необходимо организовать актуализацию знаний учащихся на основе мультимедийной презентации, которая позволит быстро и наглядно проверить и повторить учебный материал, необходимый для выполнения экспериментальной работы.

Допуск к лабораторной работе можно получить при успешном выполнении за компьютером вводного теста. Затем учащиеся приступают к выполнению экспериментальных заданий. При этом организация самостоятельной деятельности может быть осуществлена с использованием подробного плана работы или без него. Это означает, что самые творческие ученики имеют возможность самостоятельно спланировать последовательность своих действий.

После выполнения экспериментальной работы учащиеся должны представить полученные результаты с помощью мультимедийной презентации. Далее организуется обсуждение и обобщение представленных данных. В конце урока учащиеся выполняют за компьютерами контрольный тест, который позволит проверить знания, полученные в ходе лабораторной работы.

Таким образом, физический практикум по квантовой оптике направлен на организацию самостоятельной экспериментальной деятельности учащихся, в результате которой они смогут изучить своеобразие законов микромира, а также выявить их отличия от законов классической физики.

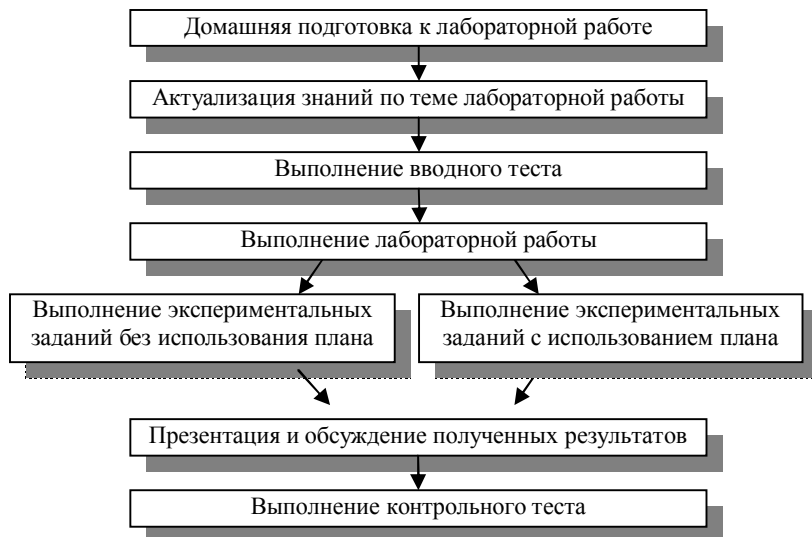


Рисунок – Методика организации лабораторных работ по квантовой оптике

The technique of the organization of a modern laboratory practical work on the quantum optics, founded on independent activity of pupils is described.

Харазян Оксана Гагиковна, аспирант физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, kharazuan@mail.ru.

Казберук Антон Иосифович, студент 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, k.anton@mail.ru.

Научный руководитель – *Матецкий Николай Викторович*, кандидат педагогических наук, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, matsetski@mail.ru.

УДК 37.016.53

А.П. Шетько

МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ ПО КУРСУ «ЭЛЕКТРОДИНАМИКА»

В данной работе показано значение физических задач как метода обучения физике и рассмотрены некоторые методы решения задач по физике по курсу «Электродинамика».

Обучение физике подрастающего поколения в современном технократическом мире является важной задачей. Сокращение числа часов на преподавание физики привело к тому, что оказалось практически невозможным на базовом уровне должным образом изложить ряд тем учебной программы курса физики. Следует также обратить внимание на расхождение объемов учебного материала в учебниках с количеством часов, выделенным для изучения этого материала школьным базовым учебным планом. Один из основных методов обучения физике является решение физических задач. В этой связи тема моей работы является актуальной.

Основная цель, которую ставят при решении задач, заключается в том, чтобы школьники глубже поняли физические закономерности, научились разбираться в них и применять их к анализу физических явлений, к практическим вопросам [1]. Решение задач относится к практическим методам обучения и, как составная часть обучения физике, выполняет такие функции как: образовательная, воспитательная и развивающая, но, опираясь на активную мыслительную деятельность ученика. Разнообразие и важность функций, выполняемых задачами, приводит к тому, что задача занимает в учебном процессе важное место [2]. Задачи по физике классифицируют по многим признакам: по содержанию, целевому назначению, глубине исследования вопроса, способам решения, способам задания условия, степени трудности и т. д.

Представим общий алгоритм решения физической задачи схематично:



При решении физических задач используются различные методы, некоторые из которых рассмотрены в данной работе, а именно: метод аналогии, размерностей, изображений и графический метод.

Метод аналогии способствует глубокому пониманию, объединяет материал из разных разделов физики. (К примеру: аналогия между движением заряженной частицы в конденсаторе и движением тела, брошенного под углом к горизонту) [3].

Метод размерностей позволяет исследовать правильность решения задачи, установить функциональную зависимость между физическими величинами, характеризующими данный процесс и оценить ожидаемый численный результат. В основе метода размерностей лежит составление перечня существенных физических величин, определяющих процесс в данной задаче [4].

Метод изображений, заключается в сведении исходной задачи, в которой рассматриваются заряды и граничные поверхности, к задаче, в которой есть те же заряды и добавочные (фиктивные) заряды-изображения в безграничной среде.

В графическом методе объектом исследования являются графики зависимости физических величин. В одних задачах эти графики заданы в условии, в других их надо построить.

Список литературы

1. <http://www.potential.org.ru>.
2. <http://www.revolution.allbest.ru>.
3. Каменецкий, С.Е. Методика решения задач по физике в средней школе / С.Е. Каменецкий, В.П. Орехов. – 1971. – 448 с.
4. <http://www.kvant.ru>.

In the given work value of physical tasks as method of training of physics is shown and some methods of the decision of tasks on the physics at the rate "Electrodynamics" are considered.

Шетько Анна Петровна, студентка 4 курса физико-технического факультета, Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, anna_107a@mail.ru.

Научный руководитель – *Зноско Казимир Францевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, znosko@grsu.by.

УДК 378.018

А.Э. Шукелович

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ

Описаны результаты теоретического исследования по использованию средств современных информационных технологий в процессе преподавания физики в средней школе.

Внедрение современных информационных технологий в учебный процесс по физике позволяет открыть новые возможности для дальнейшего развития и совершенствования существующих педагогических методик и технологий обучения, сместить акцент с вербальных методов обучения физики на методы поисковой и творческой деятельности. Это создаёт основу для активизации познавательной деятельности учащихся, а также организации их творческой самостоятельной деятельности.

Контент-анализ учебно-методического журнала «Фізика: проблеми викладання» позволил выявить многообразие используемых средств современных информационных технологий в учебном процессе по физике (см. рисунок).



Рисунок – Средства информационных технологий

Количественный анализ статей позволил сделать вывод о том, что с 1995 по 2009 год в использовании средств современных информационных технологий не наблюдается устойчивой тенденции роста или спада. Также можно отметить, что интерес к использованию современных информационных средств обучения не является устойчивым, а периодически изменяется. Наибольшее количество статей, посвященных использованию современных информационных технологий в учебном процессе по физике, приходится на 2008 год.

Содержательный анализ научно-методических работ позволил выявить основные возможности использования средств современных информационных технологий в учебном процессе по физике: 1) компьютерное моделирование физических процессов, 2) использование контролирующих программ, 3) Web-технологий и дистанционного обучения, 4) программно-методических комплексов, 5) организация демонстрации учебного материала по физике, 6) решение физических задач на компьютере, 7) организация виртуального физического эксперимента. Анализ тематики статей показал, что наибольшее их количество посвящено использованию программно-методических комплексов (25%).

К числу наиболее значимых современных технологий, используемых в учебном процессе по физике можно также отнести Web-технологии и дистанционное обучение (16%). Данные технологии в журнале «Фізика: проблеми викладання» впервые упоминаются в 2003 году и активно используются в настоящее время. Относительно небольшая доля статей посвящена использованию контролирующих, тестирующих программ (7%) и компьютерных моделей (5%). Также значительная доля научно-методических работ посвящена

использованию современных информационных средств для демонстрации учебной информации (14%) и решения физических задач (14%).

Использование выше указанных средств обучения в учебном процессе по физике позволит повысить мотивацию и индивидуализацию обучения учащихся, организовать их самостоятельную деятельность, развить творческие способности и создать благополучный эмоциональный фон на уроках физики.

Results of research on use of means of a modern information technology in the course of physics teaching in high school are described.

Шукелович Анна Эдвардовна, студентка 4 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, anua12.89@mail.ru.

Научный руководитель – *Матецкий Николай Викторович*, кандидат педагогических наук, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, matsetski@mail.ru.

УДК 37.016:53

А.П. Юрениа

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В РЕШЕНИИ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Представлены результаты анализа сборников олимпиадных задач по физике, отражающие спектр математических вопросов, наиболее часто используемых в процессе решения физических задач.

Физическая задача – это физическое явление (или совокупность явлений), его словесная модель с некоторыми известными и неизвестными физическими величинами, характеризующими данное явление. Решить физическую задачу – значит восстановить неизвестные связи и найти неизвестные физические величины.

Выделим этапы решения физической задачи:

Физический этап. На данном этапе решения задачи осуществляется ознакомление с условием задачи, составление замкнутой системы уравнений, в число неизвестных которой входят искомые величины.

Математический этап. Решение полученной замкнутой системы уравнений, представление численного ответа или искомой зависимости в общем виде.

Анализ полученного результата на соответствие физически возможным значениям искомой величины.

Как показывает практика, большинство учащихся испытывают трудности на математическом этапе решения физической задачи. Для определения места и роли математических знаний в процессе решения физических задач были проанализированы сборники олимпиадных задач по физике (см. таблицу).

Таблица – Вопросы математики, используемые в решениях олимпиадных задач по физике

| Математическая теория | Доля задач в процентном отношении (%) |
|---|---------------------------------------|
| Вектора | 9,1 |
| Геометрия (теоремы, построения) | 8,6 |
| Тригонометрические соотношения | 17,4 |
| Квадратные уравнения | 8 |
| Решение систем линейных уравнений | 10 |
| Графики | 14,3 |
| Формулы приближенных вычислений | 8,7 |
| Производная. Максимальное и минимальное значение функций. | 10 |
| Интеграл | 7 |
| Дифференциальные уравнения | 6,9 |

Из результатов проведенного анализа следует, что в сборниках олимпиадных задач по физике преобладают задачи, требующие для своего решения использование тригонометрических соотношений, графических построений и решения систем линейных уравнений. При этом изучение далеко не всех вопросов, представленных в таблице, предусмотрено учебной программой по математике.

Именно поэтому важно исследовать математических методы, применяемые для решения задач по физике; разработать методику позволяющую актуализировать уже имеющиеся математические знания на уроках физики, а так же вводить новые знания из области математики.

Таким образом, для успешного решения олимпиадных задач по физике ученики должны владеть широким спектром знаний из области математики и уметь применять данные знания на математическом этапе решения физической задачи.

Results of the analysis of collections tasks in the physics, reflecting a spectrum of the mathematical questions most often used during the decision of physical tasks are presented.

Юрэня Александр Павлович, студент 5 курса физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, Saha0404@mail.ru.

Научный руководитель – *Матецкий Николай Викторович*, кандидат педагогических наук, доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии, физико-технический факультет, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, matsetski@mail.ru.

УДК 621.317

И.В. Яцевич, С.Ю. Яцевич

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С РАЗРАБОТКОЙ И СОЗДАНИЕМ ВИРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

Рассмотрены основные положения, а также освещены проблемы, связанные с разработкой и созданием виртуального лабораторного практикума по электронике.

Технические дисциплины требуют неразрывной связи теоретического анализа, практических расчетов и экспериментальных исследований. Причем практика преобладает в количественном отношении: 60% аудиторных занятий отводятся в учебном плане на проведение лабораторных работ.

Основная цель лабораторных работ, в частности, по электронике - углубление и закрепление теоретических знаний, приобретенных студентами на лекциях и при самостоятельной работе, а также приобретение навыков экспериментальных исследований. Кроме того, при выполнении лабораторных работ студенты знакомятся с методами математической обработки результатов измерений.

При всех достоинствах существующего практикума проведения лабораторных работ в учебных заведениях имеется много проблем, которые в силу объективных и субъективных трудностей практической реализации не решаются сегодня.

В стендах и блоках устройства и элементы упрятаны вовнутрь, а на передний план выходят мнемосхемы лабораторных работ, поэтому обычно студент плохо представляет себе даже внешний вид изучаемого в работе объекта, а стенд для него превращается в некий «черный ящик» с множеством клемм и обозначений. В связи с изменениями элементной базы электроники лаборатория должна постоянно обновляться и совершенствоваться, что требует сложного, дорогого лабораторного оборудования.

Современная аппаратура сложна, требует высокой квалификации и мало приспособлена для работы студентов.

В существующих универсальных стендах отсутствует возможность диагностики неисправности электронных устройств.

Перечисленные замечания не охватывают всю проблему, возникающую при проведении лабораторного практикума. Поэтому актуально стоит вопрос поиска альтернативных методических направлений обучения электронным дисциплинам.

Одно из таких направлений – создание виртуальной лаборатории по электронике, где новейшие компьютерные технологии позволяют смоделировать на компьютере самую современную электротехническую лабораторию с уникальными приборами, которыми оснащены далеко не все реальные лаборатории. На этом этапе виртуальная среда создает все условия для организации и проведения экспериментов с широким спектром электрических и электронных схем, причем конечные результаты должны совпадать с процессами в реальных условиях.

Компьютерные модели с большим диапазоном регулируемых параметров задействуют имитационную форму обучения через проведение виртуального эксперимента, который, с одной стороны, готовит студента к реальному эксперименту: тренирует в его проведении и дает предварительные результаты, позволяющие в дальнейшем анализировать результаты реального эксперимента. С другой стороны, виртуальный эксперимент обладает возможностями, которые исключаются в реальном: моделирование аварийных режимов работы; замедление или ускорение электромагнитных явлений и процессов в электрических цепях и электротехнических устройствах, что способствует более глубокому их пониманию.

Список литературы

1. Беспалько, В.П. Основы теории педагогических систем. / В.П. Беспалько. – Воронеж, 1977. – С. 136.
2. Вахтина, Е.А. Дидактическое проектирование как технология гуманизации процесса обучения в вузе: авторефер. дис. канд. пед. наук / Е.А. Вахтина. – Майкоп, 2006. – С. 13–14.
3. Загвязинский, В.И. Теория обучения: Современная интерпретация: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / В.И. Загвязинский. – М.: Издат. центр «Академия», 2001. – С. 91.

Яцевич Инна Валентиновна, магистрант 2-го года обучения заочной формы физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, sin_85@mail.ru.

Яцевич Сергей Юрьевич, магистрант 2-го года обучения заочной формы физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, serg.85.10@mail.ru.

Научный руководитель – *Василевич Александр Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры промышленной электроники, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, vasil@grsu.by.

УДК 621.317

И.В. Яцевич, С.Ю. Яцевич

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА «ОСНОВЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

Разработан лабораторный практикум для измерения основных параметров приборов. Выполнены экспериментальные измерения и компьютерное моделирование в среде MultiSim 8.

Целью исследования является разработка и создание лабораторного практикума «Основы радиоэлектроники», поиск методических путей повышения эффективности разработки и использования лабораторного практикума для самостоятельного изучения нового материала.

К первостепенным задачам исследования можно отнести: изучение состояния проблемы современного лабораторного практикума; выявление эффективных методов и приемов использования компьютерных программ в учебном процессе; разработку методики использования компьютерных моделей при проблемном изучении нового материала.

По ходу исследования будет разработан алгоритм действий преподавателя на лабораторном практикуме с использованием современных информационных технологий, а также разработан лабораторный практикум с использованием компьютерных технологий, который окажет практическую помощь преподавателям в проведении занятий по курсу «Основы радиоэлектроники».

В качестве виртуальной среды выбран программный продукт Electronics Workbench Multisim8 – одна из наиболее популярных в мире программ конструирования электронных схем.

На рисунке 1 изображен пример косвенного измерения одного из параметров полевого транзистора – входной емкости.

Яцевич Инна Валентиновна, магистрант 2-го года обучения заочной формы физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, sin_85@mail.ru;

Яцевич Сергей Юрьевич, магистрант 2-го года обучения заочной формы физико-технического факультета Гродненского государственного университета имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, serg.85.10@mail.ru.

Научный руководитель – *Василевич Александр Евгеньевич*, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры промышленной электроники, Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь, vasil@grsu.by.

Научное издание

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

Материалы XVIII республиканской научной конференции
аспирантов, магистрантов и студентов

(Гродно, 21 – 23 апреля 2010 г.)

Ответственный за выпуск: *М.В. Вахмянина*
Компьютерная вёрстка: *Е.В. Корыткина*
Дизайн обложки: *О.В. Канчуга*

Подписано в печать 21.04.2010. Формат 60x84/16.
Бумага офсетная. Ризография. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 23,25. Уч.-изд. л. 20,2. Тираж 150 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования «Гродненский государственный
университет имени Янки Купалы».

ЛИ № 02330/0549484 от 14.05.2009.

ЛП № 02330/0494172 от 03.04.2009.

Пер. Телеграфный, 15а, 230023, Гродно.