

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Российский фонд фундаментальных исследований  
Правительство Республики Мордовия  
Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева  
Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН  
Научный центр волоконной оптики РАН  
Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского  
АУ «Технопарк-Мордовия»

Официальные партнеры:



# **МАТЕРИАЛЫ НАНО-, МИКРО-, ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ И ВОЛОКОННОЙ ОПТИКИ: ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ**

СБОРНИК ТРУДОВ  
11-Й ВСЕРОССИЙСКОЙ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ  
КОНФЕРЕНЦИИ-ШКОЛЫ

Саранск, 2–5 октября 2012 г.

Саранск  
Издательство Мордовского университета  
2012

УДК 537.533.3:621.3.049.77

ББК В3  
М341

Редакционная коллегия:  
*Нищев К. Н. (отв. ред.), Рябочкина П.А. (отв. секр.),  
Фомин Н. Е., Маргулис В. А., Чупрунов Е. В.*

М341

**Материалы** нано-, микро-, оптоэлектроники и волоконной оптики: физические свойства и применение: сб. тр. 11-й Всерос. с междунар. участием конф.-шк., Саранск, 2–5 окт. 2012 г. / редкол.: К. Н. Нищев (отв. ред.) [и др.]. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2012. – 184 с.  
ISBN 978-5-7103-2601-5

В сборник трудов включены конспекты лекций и тезисы докладов Всероссийской конференции с элементами научной школы для молодежи «Материалы нано-, микро-, оптоэлектроники и волоконной оптики: физические свойства и применение», посвященные актуальным проблемам современного физического материаловедения. Рецензирование докладов осуществлено программным комитетом школы.

УДК 537.533.3:621.3.049.77  
ББК В3

ISBN 978-5-7103-2601-5

© Коллектив авторов, 2012  
© Оформление Издательство  
Мордовского университета, 2012

### **Сопредседатели конференции:**

- Е. М. Дианов** – академик РАН, директор Научного центра волоконной оптики РАН  
**В. В. Осико** – академик РАН, директор Научного центра лазерных материалов и технологий Института общей физики им. А. М. Прохорова РАН

### **Организационный комитет:**

- С. М. Вдовин** – ректор МГУ им. Н. П. Огарева, председатель  
**К. Н. Нищев** – директор ИФХ МГУ им. Н. П. Огарева, заместитель председателя  
**Е. В. Чупрунов** – ректор ННГУ им. Н. И. Лобачевского  
**М. Ф. Чурбанов** – директор ИХВВ РАН  
**В. В. Якуба** – генеральный директор АУ «Технопарк–Мордовия»  
**П. А. Рябочкина** – ученый секретарь

### **Программный комитет:**

- |                  |                 |                             |
|------------------|-----------------|-----------------------------|
| Т. В. Антропова  | – д. х. н.,     | г. С.-Петербург             |
| В. А. Горюнов    | – д. ф. -м. н., | г. Саранск                  |
| О. Н. Горшков    | – к. ф. -м. н., | г. Н. Новгород              |
| Е. В. Жариков    | – д. т. н.,     | г. Москва                   |
| А. М. Зюзин      | – д. ф. -м. н., | г. Саранск                  |
| В. Д. Кревчик    | – д. ф. -м. н., | г. Пенза                    |
| А. С. Курков     | – д. ф. -м. н., | г. Москва                   |
| Ф. В. Кусмарцев  | – д. ф. -м. н., | г. Лафборо (Великобритания) |
| М. В. Логунов    | – д. ф. -м. н., | г. Саранск                  |
| Г. Е. Малашкевич | – д. ф. -м. н., | г. Минск                    |
| В. А. Маргулис   | – д. ф. -м. н., | г. Саранск                  |
| К. Н. Нищев      | – к. ф. -м. н., | г. Саранск (председатель)   |
| М. Н. Попова     | – д. ф. -м. н., | г. Троицк                   |
| В. Н. Сигаев     | – д. х. н.,     | г. Москва                   |
| С. Н. Ушаков     | – к. ф. -м. н., | г. Москва                   |
| Н. Е. Фомин      | – к. ф. -м. н., | г. Саранск                  |
| П. П. Федоров    | – д. х. н.,     | г. Москва                   |

### **Локальный комитет:**

- |                               |                  |
|-------------------------------|------------------|
| С. А. Антошкина               | Н. В. Моисеев    |
| А. В. Голубьев – председатель | О. В. Позднякова |
| И. Н. Евтеева                 | А. А. Панов      |
| Л. А. Куликов                 | М. А. Пятаев     |
| О. П. Лазарева                | А. Н. Чабушкин   |
| Н. Н. Логинов                 | Н. В. Янцен      |
| А. А. Ляпин                   |                  |

Конференция проводится в рамках реализации проекта № 12-02-06822-моб\_г  
Российского фонда фундаментальных исследований

## Официальные партнеры:

Фонд инфраструктурных и образовательных программ



# РОСНАНО

ФОНД ИНФРАСТРУКТУРНЫХ  
И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

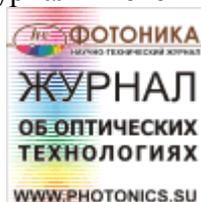
Фонд инфраструктурных и образовательных программ создан в 2010 году в соответствии с Федеральным законом № 211-ФЗ «О реорганизации Российской корпорации нанотехнологий». Целью деятельности Фонда является развитие инновационной инфраструктуры в сфере нанотехнологий, включая реализацию уже начатых РОСНАНО образовательных и инфраструктурных программ.

Основными направлениями деятельности Фонда инфраструктурных и образовательных программ являются:

- Формирование технологической инфраструктуры
- Развитие кадрового потенциала отрасли
- Стимулирование спроса на нанотехнологическую продукцию
- Совершенствование законодательства
- Стандартизация, сертификация и оценка безопасности нанопродукции
- Метрология
- Популяризация нанотехнологий

Председателем высшего коллегиального органа управления Фонда – наблюдательного совета – является вице-президент Сколковского института науки и технологий (Сколтех) **Алексей Пономарев**. Согласно уставу Фонда к компетенции совета, в частности, относятся вопросы определения приоритетных направлений деятельности Фонда, его стратегии и бюджета. Председателем правления Фонда, являющегося коллегиальным органом управления, является Председатель правления ОАО «РОСНАНО» **Анатолий Чубайс**, генеральным директором Фонда – **Андрей Свиноренко**.

Журнал «Фотоника»



Журнал «Фотоника» – глубокое и подробное освещение вопросов, связанных с оптическими системами передачи, оптическими технологиями, оптическими материалами и элементами, используемыми в оптических системах, оборудовании и станках.

В журнале рассматриваются следующие темы: фотовольтаика, фотоэлектронные преобразователи; лазеры и лазерные системы; оптические системы и элементы; электрооптические системы; ВОЛС и оптические системы связи; оптические волокна и кабели; технологическое оптическое оборудование; контроль и измерение; новые оптические технологии.

Публикуется информация, представленная как отечественными, так и зарубежными авторами и источниками.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ЭЛЕКТРОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В НАНОСТРУКТУРАХ</b>	21
<b>Лекции</b>	
<b><u>С.А. Тарасенко</u></b> Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербурга <b>ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ГРАФЕНЕ И ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ</b>	22
<b><u>В.А. Бурдов</u></b> Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород <b>ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ И МИГРАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В МАССИВАХ НАНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ, СФОРМИРОВАННЫХ В ОКСИДНОЙ МАТРИЦЕ</b>	23
<b><u>А.Е. Обухов</u></b> Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва <b>МЕХАНИЗМ СВЕРХТОНКОГО ЭЛЕКТРОННО-ЯДЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТАНОВЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ФОТОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОАТОМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ</b>	24
<b>Доклады</b>	
<b><u>В.В. Карпунин</u><sup>1</sup>, В.А. Маргулис<sup>2</sup></b> <sup>1</sup> Мордовский государственный педагогический институт им. М.Е. Евсевьева, Саранск <sup>2</sup> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <b>ГИБРИДНО-ФОНОННЫЕ РЕЗОНАНСЫ В КВАНТОВОМ БРАСЛЕТЕ</b>	25
<b><u>В.А. Рудин</u>, В.Д. Кревчик, А.Б. Грунин</b> Пензенский государственный университет, Пенза <b>ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА СПЕКТР ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КВАНТОВОЙ МОЛЕКУЛЫ С <math>D_2^{(1)}</math> – ЦЕНТРОМ</b>	26
<b><u>К.С. Ползунов</u>, В.Д. Кревчик, А.В. Левашов</b> Пензенский государственный университет, Пенза <b>ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КВАНТОВОЙ ЯМЫ GAAS/ALGAAS С <math>A_2^+</math> – ЦЕНТРОМ</b>	28
<b><u>В.А. Рудин</u>, В.Д. Кревчик, М.Б. Семёнов, Р.В. Зайцев, П.В. Кревчик, И.А. Егоров</b> Пензенский государственный университет, Пенза <b>ВЛИЯНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ НА ДИССИПАТИВНЫЙ ТУННЕЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧКАХ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ</b>	31

<b><u>С.Е. Козенко</u>, В.Д. Кревчик, А.В. Разумов</b> Пензенский государственный университет, Пенза	
<b>ЭФФЕКТ ФОТОННОГО УВЛЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В НАНОТРУБКЕ СО СПИРАЛЬНЫМ ДЕФЕКТОМ В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ</b>	32
<b><u>Н.С. Прудских</u>, А.В. Шорохов</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск	
<b>НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВОЛН ЗАРЯДОВОЙ ПЛОТНОСТИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СВЕРХРЕШЕТКЕ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В ТЕРАГЕРЦЕВЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЯХ</b>	33
<b><u>И.А. Ногтев</u>, В.В. Карзанов, Н.А. Добычин</b> Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород	
<b>ДЕФЕКТЫ В НИТРИДЕ КРЕМНИЯ, СОЗДАННЫЕ ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИОНОВ УГЛЕРОДА</b>	34
<b><u>Т.А. Губин</u>, Ю.А. Тареева, К.С. Авалиани, А.В. Митина, Д.Д. Запорожец</b> Пензенский государственный университет, Пенза	
<b>ВНУТРИЗОННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА В УСЕЧЕННОЙ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ КВАНТОВОЙ ТОЧКЕ</b>	35
<b><u>М.А. Пятаев</u>, М.А. Кокорева</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск	
<b>ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ОДНОМЕРНОЙ СВЕРХРЕШЕТКИ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ КВАНТОВЫХ КОЛЕЦ</b>	36
<b><u>А.А. Григорькин</u><sup>1</sup>, М.А. Пятаев<sup>2</sup></b> <sup>1</sup> Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова, Санкт-Петербург	
<b><sup>2</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск</b> <b>ТУННЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ЧЕРЕЗ ОДНОМЕРНОЕ КОЛЬЦО ПРИ НАЛИЧИИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЗМУЩЕНИЯ</b>	37
<b><u>В.Н. Калинин</u>, В.Д. Кревчик, А.В. Разумов, С.А. Лакомкин</b> Пензенский государственный университет, Пенза	
<b>ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КВАНТОВОЙ ЯМЫ С ПРИМЕСНЫМИ РЕЗОНАНСНЫМИ СОСТОЯНИЯМИ ВО ВНЕШНЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ И МАГНИТНОМ ПОЛЯХ</b>	38
<b>НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ</b>	39
<b>Лекции</b>	
<b><u>М.Н. Попова</u></b> Институт спектроскопии РАН, Троицк	
<b>РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЙ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ ЗОНД В ИССЛЕДОВАНИИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ И МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ</b>	40

<b><u>С.А. Климин</u></b> Институт спектроскопии РАН, Троицк <b>ТИТАНАТЫ СО СТРУКТУРОЙ ПИРОХЛОРА: ОТ СПИНОВОГО ЛЬДА К МАГНИТНЫМ МОНОПОЛЯМ. СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ</b>	41
<b><u>Т.В. Антропова</u></b> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук, Санкт-Петербург <b>РАЗРАБОТКИ ИХС РАН ПО ПРИМЕНЕНИЮ НАНОПОРИСТЫХ СТЕКОЛ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ</b>	42
<b><u>К.Н. Болдырев</u></b> Институт спектроскопии РАН, Троицк <b>СПЕКТРОСКОПИЯ ТЕРАГЕРЦЕВОГО ДИАПАЗОНА – МОЩНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ</b>	43
<b>Доклады</b>	
<b><u>Д.А. Ерофеев</u><sup>1,2</sup>, Е.П. Чукалина<sup>1</sup></b> <sup>1</sup> Институт спектроскопии РАН, Троицк <sup>2</sup> Московский физико-технический институт (ГУ) <b>СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ <math>SmFe_3(VO_3)_4</math></b>	44
<b><u>М.А. Кащенко</u>, С.А. Климин</b> Институт спектроскопии РАН, Троицк <b>ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ КОБАЛЬТИТОВ <math>RCoO_3</math></b>	45
<b><u>М.В. Нарожный</u>, С.А. Климин</b> Институт спектроскопии РАН, Троицк <b>ПОГЛОЩЕНИЕ ГОЛЬМИЯ В <math>Ho_2Ti_2O_7</math></b>	46
<b><u>Е.Э. Дунаева</u>, Л.И. Излева, К.В. Закутайлов, В.С. Петров, В.В. Осико</b> ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва <b>МОРФОЛОГИЯ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ ОКСИДНЫХ ВАНАДИЕВЫХ БРОНЗ НАТРИЯ <math>\beta-Na_{0.28}V_2O_5</math></b>	47
<b><u>С.Г. Мусеев</u><sup>1,2</sup></b> <sup>1</sup> Ульяновский государственный университет, Ульяновск <sup>2</sup> Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Ульяновск <b>ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ПЛАЗМОННОГО НАНОКОМПОЗИТА</b>	48
<b><u>И.В. Рандошкин</u>, Е.Е. Ломонова, Н.В. Васильева, В.В. Воронов</b> Отделение нанотехнологий, лаборатория ФИАНИТ <b>ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗА ЦИРКОНИЙСОДЕРЖАЩИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ ЖИДКОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ</b>	49
<b><u>О.Б. Петрова</u>, Р.И. Аветисов, И.Х. Аветисов, О.А. Мушкало, А.В. Хомяков, А.Г. Чередниченко</b> Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва <b>ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ЛЮМИНОФОРОВ В НЕОРГАНИЧЕСКОЙ СТЕКЛЯННОЙ МАТРИЦЕ</b>	50

<u><b>И.В. Степанова</b></u> , Н.Г. Горащенко Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва	
<b>СТЕКЛА И СТЕКЛОКЕРАМИКА В СИСТЕМЕ <math>Bi_2O_3-GeO_2-Cr_2O_3</math></b>	51
<u><b>С.В. Красильников</b></u> , Н.Г. Горащенко Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва	
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СТЕКОЛ СИСТЕМЫ <math>Bi_2O_3-SiO_2-GeO_2</math> МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-СКАНИРУЮЩЕЙ КАЛОРИМЕТРИИ</b>	52
<u><b>О.А. Пшенко</b></u> , Т.В. Антропова, И.А. Дроздова, И.Г. Полякова Институт химии силикатов им. И.В.Гребенщикова РАН, СПб	
<b>НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАГНИТНЫЕ СТЕКЛОБРАЗНЫЕ ПОРИСТЫЕ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕЙ ОКСИДНОЙ НАТРИЕВО-БОРОСИЛИКАТНОЙ СИСТЕМЫ</b>	53
<u><b>В.В. Ковзар</b></u> <sup>1</sup> , Г.Е. Малашкевич <sup>1</sup> , И.А. Ходасевич <sup>1</sup> , А.А. Суходола <sup>1</sup> , Е.В. Пестряков <sup>2</sup>	
<sup>1</sup> Институт физики им. Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси, Минск <sup>2</sup> Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск	
<b>ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ СТЕКЛОКЕРАМИКОЙ СИСТЕМЫ <math>SiO_2-(Er_xYb_{1-x})_2O_3</math></b>	54
<u><b>О.Б. Петрова</b></u> <sup>1</sup> , А.В. Хомяков <sup>1</sup> , В.Е. Шукшин <sup>2</sup>	
<sup>1</sup> Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва <sup>2</sup> Учреждение Российской академии наук Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва	
<b>СВИНЦОВО-ФТОРОСИЛИКАТНЫЕ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, АКТИВИРОВАННЫЕ <math>Nd^{3+}</math>, <math>Er^{3+}</math> и <math>Yb^{3+}</math></b>	55
<u><b>В.П. Мишкин</b></u> , К.Н. Нищев, М.В. Вилкова, М.И. Новопольцев Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск	
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНИЦ РАЗДЕЛА «МАТРИЦА-НАПОЛНИТЕЛЬ» В ММКМ <math>AlSiC</math> МЕТОДАМИ РЭМ И СЗМ</b>	56
<u><b>А.С. Галкин</b></u> , С.А. Климин Институт Спектроскопии РАН, Троицк	
<b>СПЕКТРОСКОПИЯ ЦЕПОЧЕЧНЫХ НИКЕЛАТОВ <math>R_2BaNiO_5</math> (<math>R=DY, NO</math>): ШТАРКОВСКИЕ УРОВНИ, ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ</b>	57
<u><b>А.Д. Гортинская</b></u> , В.Н. Портнов Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород	
<b>ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА НА МОРФОЛОГИЮ ГРАНЕЙ КРИСТАЛЛОВ ЦИНКА-АММОНИЯ СЕРНОКИСЛОГО (<math>Zn(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O</math>)</b>	58
<u><b>А.В. Марков</b></u> , В.Н. Трушин Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород	
<b>КОРРЕКТИРОВКА ПРОФИЛЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ МОДУЛЬНЫХ РЕНТГЕНООПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ</b>	59

<b><u>Э.Ю. Великанова</u>, Н.Г. Горащенко</b> Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва	
<b>ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДА ФОСФОРА НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ СТЕКЛА В СИСТЕМЕ <math>Bi_2O_3-SiO_2-P_2O_5</math></b>	60
<b><u>В.Ю. Илюшкин</u>, В.П. Мишкин, К.Н. Нищев</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск	
<b>ФРАКТОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА AISiC</b>	61
<b>ЛАЗЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ</b>	63
<b>Лекции</b>	
<b><u>Е.В. Жариков</u></b> Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва	
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН	
<b>РОСТ КРИСТАЛЛОВ ИЗ РАСПЛАВА В УСЛОВИЯХ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ВИБРАЦИЙ</b>	64
<b><u>О.Л. Антипов</u><sup>1</sup>, А.А. Новиков<sup>1</sup>, А.П. Зиновьев<sup>1</sup>, А.А. Лагатский<sup>2</sup></b> <sup>1</sup> Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород <sup>2</sup> Университет Сэнт-Андрюс, Сэнт-Андрюс, Англия	
<b>ЭФФЕКТИВНЫЕ И МОЩНЫЕ ЛАЗЕРЫ ДВУХМИКРОННОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН НА ОСНОВЕ КЕРАМИКИ <math>Tm:Lu_2O_3</math> С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ</b>	65
<b><u>П.А. Рябочкина</u></b> Мордовский государственный университет им. М.П. Огарева, Саранск	
<b>ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕРХЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ИОНОВ В ОКСИДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ КРИСТАЛЛАХ</b>	68
<b><u>Г.Р. Асатрян</u></b> ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург	
<b>ПАРАМАГНИТНЫЕ ЦЕНТРЫ В ГРАНАТАХ И ОРТОАЛЮМИНАТАХ: ЭПР-ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	69
<b><u>П.Г. Зверев</u></b> Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва	
<b>СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ НЕЛИНЕЙНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ</b>	70
<b><u>Д.С. Пыталев</u></b> Институт спектроскопии РАН, Троицк, Московская обл.	
<b>НЕЛАЗЕРНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ И СПЕКТРОСКОПИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ КРИСТАЛЛОВ ДВОЙНЫХ ФТОРИДОВ С РЕДКИМИ ЗЕМЛЯМИ</b>	71

## Доклады

**М.А. Гурсова**<sup>1</sup>, Т.В. Антропова<sup>1</sup>, И.Н. Анфимова<sup>1</sup>, Г.К. Костюк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова  
Российской академии наук (ИХС РАН), Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

**ПРИМЕНЕНИЕ НАНОПОРИСТЫХ СТЕКОЛ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ  
ПЛАНАРНЫХ ВОЛНОВОДОВ**

72

**Е.Л. Егорова**, Н.Г. Горащенко, М.Е. Ворончихина

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
Москва

**ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕКОЛ  
СОСТАВА  $(2-x)Bi_2O_3 \cdot 2xBi \cdot 3SiO_2$**

73

**М.М. Сергеев**<sup>1</sup>, Г.К. Костюк<sup>1</sup>, Т.В. Антропова<sup>2</sup>, И.Н. Анфимова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена  
Трудового Красного Знамени Институт химии силикатов  
им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук, Санкт-Петербург

**ЛОКАЛЬНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОРИСТЫХ СИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ ПОД  
ДЕЙСТВИЕМ СЛАБО ПОГЛОЩАЕМОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

74

**А.П. Гажулина**, Н.Ю. Иванов, М.Л. Лабутина, М.О. Марычев

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород

**ЛИНЕЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ТАРТРАТОВ  
НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ**

75

**О.А. Образцова**, О.Р. Ахтямов, Э.К. Кучаев, Е.Ю. Гордеев,

А.С. Низамутдинов, В.В. Семашко

Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Казань

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ  
ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА СО СВЕРХКОРОТКОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ  
ИМПУЛЬСОВ**

76

Г.М. Кузьмичева<sup>1</sup>, А.В. Еремин<sup>1</sup>, В.Б. Рыбаков<sup>2</sup>, К.А. Субботин<sup>3</sup>,

Е.В. Жариков<sup>3</sup>, **Д.А. Лус**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Московская государственная академия тонкой химической технологии

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

<sup>3</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук

**СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДВОЙНЫХ МОЛИБДАТОВ И  
ВОЛЬФРАМАТОВ СО СТРУКТУРОЙ ШЕЕЛИТА**

77

**А.А. Ляпин**<sup>1</sup>, П.А. Рябочкина<sup>1</sup>, С.Н. Ушаков<sup>2</sup>, П.П. Федоров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

<sup>2</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова, Москва

**СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И ГЕНЕРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА  
ЛАЗЕРНОЙ ФТОРИДНОЙ КЕРАМИКИ  $CaF_2:Tm$**

78

- Е.В. Милютина**, М.Д. Зимин, Н.М. Кожевникова, Е.Ф. Мартынович  
Иркутский филиал Института лазерной физики СО РАН, Иркутск  
Иркутский государственный университет, Иркутск  
Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В СЛОЖНЫХ МОЛИБДАТАХ,  
АКТИВИРОВАННЫХ ТРЕХВАЛЕНТНЫМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ  
ИОНАМИ** 79
- О.Н. Зайцева**<sup>1</sup>, В.Ф. Тарасов<sup>2</sup>, В.Б. Дудникова<sup>1</sup>, Е.В. Жариков<sup>1</sup>, К.А. Субботин<sup>1</sup>,  
Д.А. Лис<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва  
<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского  
Казанского научного центра Российской академии наук, Казань  
**ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРЫ ВЫРАЩИВАНИЯ НА КОНЦЕНТРАЦИИ  
ОПТИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ  $Mg_2SiO_4:Cr$**  80
- А.Н. Чабушкин**<sup>1</sup>, П.А. Рябочкина<sup>1</sup>, С.Н. Ушаков<sup>2</sup>, Е.В. Ломонова<sup>2</sup>,  
А.В. Малов<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск  
<sup>2</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова, Москва  
**ГЕНЕРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ  $ZrO_2-Y_2O_3-Tm_2O_3$**  81
- В.Е. Шукшин**, Ю.К. Воронько, А.А. Соболев  
Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва  
**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ БОР-КИСЛОРОДНЫХ ФРАГМЕНТОВ В  
КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ, РАСПЛАВЛЕННЫХ И СТЕКЛООБРАЗНЫХ  
МЕТАБОРАТАХ ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ  
МЕТОДОМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ  
КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА** 82
- И.Н. Павлов**, Б.С.Ринкевичюс  
Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва  
**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИСТЕНОЧНОМ  
СЛОЕ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ НПВО** 83
- К.С. Зараменских**, И.С. Лисицкий, М.С. Кузнецов, Г.В. Полякова,  
В.Ф. Голованов  
ОАО Государственный научно-исследовательский и проектный  
институт редкометаллической промышленности «Гиредмет», Москва  
**ГАЛОГЕНИДЫ ТАЛЛИЯ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛАЗЕРНЫХ  
СИСТЕМ** 84
- Ю.А. Гусева**, А.П. Гажулина, М.О. Марычев  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород  
**ПСЕВДОСИММЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛОВ  
СТРУКТУРНЫХ ТИПОВ ВЮРЦИТА,  $WS$ ,  $NbAs$**  85
- Д.С. Нуждин**, В.А. Иванов  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород  
**РАСЧЁТ ОРИЕНТАЦИИ ВЕКТОРА ДИПОЛЬНОГО МОМЕНТА  
МОЛЕКУЛЫ В КРИСТАЛЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ** 86

<b><u>В.А. Лыков</u>, М.А. Фаддеев</b> Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород	
<b>ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ КРИСТАЛЛОВ ДИГИДРОФОСФАТА КАЛИЯ С ДОБАВЛЕНИЕМ ХЛОРИДА АЛЮМИНИЯ</b>	87
<b><u>А.Е. Егорова</u>, В.Н. Портнов</b> Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород	
<b>РОСТ КРИСТАЛЛОВ СЕГНЕТОВОЙ СОЛИ И КДР С ПРИМЕСЬЮ ТАРТРАТА МЕДИ И ПЕРМАНГАНАТА КАЛИЯ СООТВЕТСТВЕННО</b>	88
<b><u>Е.В. Глушкин</u><sup>1</sup>, С.А. Антошкина<sup>1</sup>, А.В. Малов<sup>1</sup>, П.А. Рябочкина<sup>1</sup>, С.Н. Ушаков<sup>2</sup></b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск	
<b>СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ КАЛЬЦИЙ-НИОБИЙ-ГАЛЛИЕВОГО ГРАНАТА, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ Pr<sup>3+</sup></b>	89
<b>НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ</b>	91
<b>Лекции</b>	
<b><u>В.Е. Дрозд</u></b> С-Петербургский государственный университет, С-Петербург	
<b>МОЛЕКУЛЯРНОЕ НАСЛАИВАНИЕ (ATOMIC LAYER DEPOSITION) – ТОНКОПЛЕНОЧНАЯ НАНОТЕХНОЛОГИЯ ШИРОКОЙ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ</b>	92
<b><u>Г.Е. Малашкевич</u><sup>1</sup>, Г.П. Шевченко<sup>2</sup></b> <sup>1</sup> Институт физики им. Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси, Минск <sup>2</sup> НИИ физико-химических проблем Белорусского государственного университета, Минск	
<b>СЕНСИБИЛИЗАЦИЯ И ТУШЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ Ln<sup>3+</sup> ИОНАМИ И КЛАСТЕРАМИ СЕРЕБРА В ОКСИДНЫХ МАТРИЦАХ</b>	93
<b><u>Н.Л. Шварц</u></b> Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск	
<b>КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОСТРУКТУР</b>	94
<b><u>А.С. Ванецев</u><sup>1,2</sup>, И.Г. Чувашова<sup>2</sup>, Г.П. Копица<sup>3</sup>, О.М. Гайтко<sup>2</sup></b> <sup>1</sup> Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва <sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва <sup>3</sup> Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова, Гатчина	
<b>МИКРОВОЛНОВЫЙ СИНТЕЗ МОНОДИСПЕРСНЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЧАСТИЦ ОКСИДОВ РЗЭ</b>	95

**А.В. Крайский<sup>1</sup>**, В.А. Постников<sup>2</sup>, Т.Т. Султанов<sup>1</sup>, Т.В. Миронова<sup>1</sup>,  
А.А. Крайский<sup>1</sup>, М.А. Шевченко<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>ФГБУН Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва,  
<sup>2</sup>ФГБУН «НИИ физико-химической медицины», ФМБА России, Москва  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАНОЧАСТИЦ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ  
СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ СЕРЕБРЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ПО ОПТИЧЕСКИМ  
СПЕКТРАМ ПРОПУСКАНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ** 96

**С.В. Кузнецов<sup>1</sup>**, М.Ш. Акчурин<sup>2</sup>, **Т.Т. Басиев<sup>1</sup>**, В.В. Воронов<sup>1</sup>,  
Е.А. Гарибин<sup>3</sup>, М.Е. Дорошенко<sup>1</sup>, Д.С. Лось<sup>1</sup>, В.А. Конюшкин<sup>1</sup>,  
А.А. Лугинина<sup>1</sup>, М.Н. Маякова<sup>1</sup>, И.А. Миронов<sup>3</sup>, В.В. Осико<sup>1</sup>,  
А.А. Овсянникова<sup>1</sup>, А.В. Рябова<sup>1</sup>, Е.А. Тупицына<sup>1</sup>, П.П. Федоров<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
<sup>2</sup>Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН  
<sup>3</sup>ФГУП "НИТИОМ ВНЦ "ГОИ им.С.И. Вавилова"  
**МОНО-, НАНО- И ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ФТОРИДЫ ДЛЯ  
ФОТОНИКИ** 97

**М.В. Кузнецов**, Ю.Г. Морозов, О.В. Белоусова  
Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения  
РАН (ИСМАН), Черноголовка, Московская область  
**ЛЕВИТАЦИОННО-СТРУЙНЫЙ СИНТЕЗ АЭРОЗОЛЬНЫХ НАНОЧАСТИЦ  
Ni/NiO С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ** 99

#### Доклады

**А.Н. Буй**, С.А. Гришин, Н.С. Недвецкий,  
А.Л. Петюк, С.С. Грабчиков, В.Н. Ильин, С.С. Гришин  
Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск  
ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Минск  
**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС  
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ МАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ  
НА ОСНОВЕ ПЛЕНОЧНЫХ НАНОСТРУКТУР** 101

**Г.М. Полетаев**, Д.В. Дмитриенко, М.Д. Старостенков  
Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова, Барнаул  
**МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АТОМНОЙ  
СТРУКТУРЫ ТРОЙНЫХ СТЫКОВ ЗЕРЕН** 102

**Г.Е. Малашкевич<sup>1,2</sup>**, В.Н. Сигаев<sup>2</sup>, Н.В. Голубев<sup>2</sup>, Е.Х. Мамаджанова<sup>2</sup>,  
Т.Г. Хотченкова<sup>1</sup>, И.В. Прусова<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Институт физики им. Б.И. Степанова Национальной академии наук  
Беларуси, Минск  
<sup>2</sup>Международная лаборатория функциональных материалов на основе  
стекла РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва  
**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ СТЕКЛАМИ СИСТЕМЫ  
(Ce<sub>x</sub>Tb<sub>y</sub>Y<sub>1-x-y</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** 103

**А.В. Крайский**, Н.Н. Мельник  
ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва  
**НАНОМЕТРОВЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ В СЛАБЫХ ВОДНЫХ  
РАСТВОРАХ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА** 104

- П.П. Файков<sup>1</sup>, Е.А. Данилов<sup>2</sup>, Е.В. Жариков<sup>1</sup>, К.С. Зараменских<sup>1</sup>,  
Э.М. Кольцова<sup>1</sup>, Н.А. Попова<sup>1</sup>, Д.Н. Совык<sup>1</sup>, Н.А. Федосова<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>Российский химико-технологический университет  
им. Д.И. Менделеева, Москва  
<sup>2</sup>ОАО Государственный научно-исследовательский институт  
конструкционных материалов на основе графита, Москва  
**ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ СОЗДАНИЯ  
КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ** 105
- Д.С. Королев, А.Б. Костюк, А.И. Белов, И.А. Чуаров, А.В. Ершов,  
А.Н. Михайлов, Д.И. Тетельбаум**  
Научно-исследовательский физико-технический институт  
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского,  
Н. Новгород  
**ОСОБЕННОСТИ РАДИАЦИОННОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ  
НАНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ В ОКСИДНЫХ МАТРИЦАХ ПРИ  
ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ** 106
- С.А. Созыкин, В.П. Бескачко**  
Южно-Уральский государственный университет (национальный  
исследовательский университет), Челябинск  
**ВЛИЯНИЕ ХАЛЬКОГЕНОВ (S и Se) НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ  
СОПРОТИВЛЕНИЕ УГЛЕРОДНОЙ НАНОТРУБКИ (7,7)** 107
- О.С. Косарева<sup>1</sup>, В.Ю. Чалков<sup>2</sup>, С.А. Денисов<sup>2</sup>, С.А. Матвеев<sup>2</sup>,  
В.Г. Шенгуров<sup>2</sup>, В.В. Карзанов<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Н. Новгород  
<sup>2</sup>Научно-исследовательский физико-технический институт  
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского,  
Н. Новгород  
**СТРУКТУРНЫЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОЕВ  
ГЕРМАНИЯ, ВЫРАЩЕННЫХ МЕТОДОМ МЛЭ НА Si(100)** 108
- Д.С. Лось, С.В. Кузнецов, А.В. Рябова, В.В. Воронов,  
Р.П. Ермаков, П.П. Федоров, В.В. Осико**  
Учреждение Российской академии наук  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
**СИНТЕЗ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБМИКРОННЫХ  
ПОРОШКОВ  $\text{NaYF}_4:\text{Yb:Er}$**  109
- М.Н. Маякова, П.П. Федоров, С.В. Кузнецов, В.В. Воронов, А.В. Рябова**  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии наук,  
Москва  
**СИНТЕЗ НЕОРГАНИЧЕСКИХ НАНОФТОРИДОВ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ  
И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ** 110
- С.А. Матвеев, С.А. Денисов, В.Ю. Чалков, В.Г. Шенгуров**  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород  
**ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ , ВЫРАЩЕННЫЕ МЕТОДОМ МЛЭ С  
СУБЛИМАЦИОННЫМ КРЕМНИЕВЫМ И ГАЗОВЫМ ГЕРМАНИЕВЫМ  
ИСТОЧНИКАМИ НА КНС-ПОДЛОЖКАХ** 111

- А.С. Липатьев<sup>1</sup>, С.В. Лотарев<sup>1</sup>, Н.В. Голубев<sup>1</sup>, Ю.С. Присеко<sup>2</sup>,  
Н.М. Лепёхин<sup>2</sup>, В.Н. Сигаев<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>Международная лаборатория функциональных материалов на основе  
стекла РХТУ им Д.И. Менделеева, Москва  
<sup>2</sup>НПП «ВЭЛИТ», Московская обл., Истра  
**ФОРМИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР  
В ГАЛЛИЕВО-ГЕРМАНО-СИЛИКАТНЫХ СТЕКЛАХ, ДОПИРОВАННЫХ  
ОКСИДОМ НИКЕЛЯ** 112
- А.О. Тимофеева, А.И. Белов, А.Н. Михайлов, Д.И. Тетельбаум**  
Научно-исследовательский физико-технический институт  
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского,  
Н. Новгород  
**ЭВОЛЮЦИЯ ДЕФЕКТОВ В КРЕМНИИ, ИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ  
ПРИ НАЛИЧИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ** 113
- В.Е. Мешков, И.Х. Аветисов**  
Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
Москва  
**ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
НАНОКРИСТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ  $A^{IV}B^{VI}$**  114
- Л.С. Бовкун, Е.С. Демидов, Ю.И. Чигиринский, В.В. Сдобняков**  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород  
**О ПОЛУЧЕНИИ И ИССЛЕДОВАНИИ НАНОРАЗМЕРНЫХ  
ФЕРРОМАГНИТНЫХ СЛОЕВ КРЕМНИЕВОГО СПЛАВА ГЕЙСЛЕРА  
 $Co_2MnSi$**  115
- Д.В. Рябов, В.В. Карзанов, Н.А. Добычин**  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород  
**ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ПИРОЛИТИЧЕСКИХ ПЛЕНОК НИТРИДА  
КРЕМНИЯ, ОБОГАЩЁННЫХ КРЕМНИЕМ** 116
- В.С. Мясниченко, М.Д. Старостенков**  
Алтайский государственный технический университет, Барнаул  
**ВЛИЯНИЕ ДВУСТОРОННЕЙ ДЕФОРМАЦИИ СЖАТИЯ НА  
ОБРАЗОВАНИЕ АТОМНОЙ СТРУКТУРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ Au-Ag,  
Cu-Au И Cu-Ag НАНОПЛЁНОК** 117
- А.В. Кулебякин, М.А. Борик, М.А. Вишнякова, Е.Е. Ломонова, В.А. Мызина,  
В.В. Осико, С.Н. Ушаков**  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
**ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ ЧСЦ  
С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО МЕДИЦИНСКОГО  
ИНСТРУМЕНТА** 118
- М.А. Земскова<sup>1</sup>, А.А. Ляпин<sup>1</sup>, А.В. Малов<sup>1</sup>, В.П. Мишкин<sup>1</sup>, А.А. Пыненко<sup>1</sup>,  
П.А. Рябочкина<sup>1</sup>, П.П. Федоров<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск  
<sup>2</sup>Учреждение Российской академии наук Институт общей физики  
им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
**СТРУКТУРА И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ПОРОШКОВ  $NaYb_xEr_{1-x}F_4$**  119

**Т.В. Волкова**<sup>1</sup>, А.А. Ляпин<sup>1</sup>, А.В. Малов<sup>1</sup>, В.П. Мишкин<sup>1</sup>, А.А. Пыненко<sup>1</sup>,  
П.А. Рябочкина<sup>1</sup>, П.П. Федоров<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск  
<sup>2</sup>Учреждение Российской академии наук Институт общей физики  
им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ  
СВОЙСТВ ПОРОШКОВ SrF<sub>2</sub> – NdF<sub>3</sub>** 120

**М.Н. Маякова**<sup>1</sup>, П.П. Федоров<sup>1</sup>, К.Н. Болдырев<sup>2</sup>, С.В. Кузнецов<sup>1</sup>,  
В.В. Воронов<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии наук,  
Москва  
<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт Спектроскопии Российской Академии наук, Троицк  
**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОФТОРИДОВ В СИСТЕМАХ MF<sub>2</sub>–YF<sub>3</sub>  
(M = Ca, Sr, Ba)** 121

**В.И. Беглов**, Ю.В. Максимов, М.А. Голубьев, К.Н. Нищев, А.А. Панов  
Мордовский государственный университет им.Н.П.Огарева, Саранск  
**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В Fe-Co ОКСИДНЫХ  
НАНОСИСТЕМАХ** 122

**К.С. Зараменских**<sup>1</sup>, Е.А. Данилов<sup>2</sup>, Е.В. Жариков<sup>1</sup>, Э.М. Кольцова<sup>1</sup>,  
Н.А. Попова<sup>1</sup>, Д.Н. Сovyк<sup>1</sup>, П.П. Файков<sup>1</sup>, Н.А. Федосова<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Российский химико-технологический университет  
им. Д.И. Менделеева, Москва  
<sup>2</sup>ОАО Государственный научно-исследовательский институт  
конструкционных материалов на основе графита, Москва  
**СВЯЗЬ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНО-КЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА С  
УСЛОВИЯМИ СИНТЕЗА АРМИРУЮЩИХ НАНОТРУБОК** 123

## **ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА** 125

### **Лекции**

**Г.П. Мирошниченко**  
Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург  
**ГАМИЛЬТониан ФОТОНОВ В ОДНОМОДОВОМ, СТОХАСТИЧЕСКОМ,  
АНИЗОТРОПНОМ ОПТОВОЛОКНЕ В ПРИБЛИЖЕНИИ ПЛАВНЫХ  
ВОЗМУЩЕНИЙ** 126

**А.С. Курков**  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
**ПРОГРЕСС В ОБЛАСТИ ГОЛЬМИЕВЫХ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ** 127

**К.М. Голант**  
Институт Радиотехники и Электроники им. В.А. Котельникова РАН,  
Москва  
**ПЛАЗМОХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ SPCVD** 130

## Доклады

- К.С. Зараменских, Г.В. Полякова, В.Ф. Голованов, И.С. Лисицкий, М.С. Кузнецов**  
ОАО Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности «Гиредмет», Москва  
**МОНОКРИСТАЛЛЫ ГАЛОГЕНИДОВ СЕРЕБРА ДЛЯ ЭКСТРУЗИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СВЕТОВОДОВ** 131
- А.И. Низовцев, А.Ю. Торошин**  
ФГБОУ ВПО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет", Пермь  
**ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ** 132
- С.О. Антипов<sup>1</sup>, В.А. Камынин<sup>2</sup>, А.С. Курков<sup>2</sup>, С.И. Каблуков<sup>3</sup>, К.С. Распопин<sup>4</sup>**  
<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва  
<sup>2</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
<sup>3</sup>Институт автоматики и электрометрии, Новосибирск  
<sup>4</sup>Inversion FiberCo. Ltd, Новосибирск  
**ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ВОЛОКОННЫЙ Но-ЛАЗЕР** 133
- Я.Э. Садовникова<sup>1,2</sup>, В.А.Камынин<sup>2</sup>, А.С. Курков<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Московский государственный университет приборостроения и информатики  
<sup>2</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН  
**ИМПУЛЬСНЫЙ ВОЛОКОННЫЙ Er-Tm-ЛАЗЕР В ПРИБОРНОМ ИСПОЛНЕНИИ** 134
- А.А. Сотникова, Г.П. Мирошниченко**  
Санкт-Петербургский Государственный Университет Информационных Технологий, Механики и Оптики, С.-Петербург  
**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕИДЕАЛЬНОГО КВАНТОВОГО ОПТОВОЛОКОННОГО КАНАЛА, ПОДВЕРЖЕННОГО АТАКЕ ТИПА «ПЕРЕХВАТ – ПОСЫЛКА»** 135
- В.А. Камынин<sup>1</sup>, А.С. Курков<sup>1</sup>, Я.Э. Садовникова<sup>2</sup>, В.Б. Цветков<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
<sup>2</sup>Московский государственный университет приборостроения и информатики, Москва  
**ИСТОЧНИКИ СУПЕРКОНТИНУУМА ДВУХМИКРОННОГО ДИАПАЗОНА** 136
- С.В. Фирстов, Г.К. Алагашев., Е.Г. Фирстова, В.Ф. Хопин, В.В. Вельмискин, И.А. Буфетов, А.Н. Гурьянов, Е.М. Дианов**  
Научный центр волоконной оптики РАН, Москва  
**ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ВИСМУТОВЫХ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ В СВЕТОВОДАХ ИЗ  $v\text{-SiO}_2$  И  $v\text{-GeO}_2$  ПРИ КАСКАДНОМ ДВУХКВАНТОВОМ ВОЗБУЖДЕНИИ** 137
- А.Н. Колядин, А.Ф. Косолапов, А.Д. Прямикова, А.С. Бирюков**  
Научный центр волоконной оптики Российской академии наук, Москва  
**ПОЛЫЕ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ СВЕТОВОДЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ КРИВИЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СЕРДЦЕВИНЫ ДЛЯ СРЕДНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА** 139

- Д.Ю. Ерин**, К.Н. Нищев, А.А. Панов, А.А. Пыненков  
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск  
**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ, ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ ВИСМУТА** 140
- П.А. Кашайкин**, К.Н. Нищев, А.А. Панов  
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск  
**СИНТЕЗ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ  $Ni^{2+}$**  141
- А.А. Пыненков**, К.Н. Нищев, А.А. Панов  
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск  
**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ВИСМУТ-ГЕРМАНАТНЫХ СТЕКОЛ, ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ ВИСМУТА** 142
- Д.С. Липатов**, А.Н. Гурьянов  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых Российской академии наук, Нижний Новгород  
**ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ С СЕРДЦЕВИНОЙ НА ОСНОВЕ СТЕКОЛ СИСТЕМЫ  $Er_2O_3-P_2O_5-Al_2O_3-SiO_2$  МЕТОДОМ МСVD** 144
- Ф.В. Афанасьев**, В.Ф. Хопин, А.Н. Абрамов, А.Н. Гурьянов  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых Российской академии наук, Нижний Новгород  
**ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОЧИСТЫХ СТЕКОЛ СИСТЕМЫ  $SiO_2-GeO_2-P_2O_5-Vi$  И СВЕТОВОДОВ НА ИХ ОСНОВЕ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО МСVD-ТЕХНОЛОГИИ** 145
- А.Л. Бутвина<sup>1</sup>**, А.Г. Охримчук<sup>1</sup>, Л.Н. Бутвина<sup>1</sup>, Н.В. Личкова<sup>2</sup>, В.Н. Загороднев<sup>2</sup>, Е.М. Дианов<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>НЦВО РАН, Москва  
<sup>2</sup>ИПТМ РАН Черноголовка Московской обл.  
**СВЕТОВОДЫ ИЗ ГАЛОГЕНИДОВ СЕРЕБРА ДЛЯ СРЕДНЕГО ИК ДИАПАЗОНА, АКТИВИРОВАННЫЕ ИОНАМИ  $Dy^{3+}$**  146
- В.В. Дорофеев<sup>1</sup>**, А.Н. Моисеев<sup>1</sup>, И.А. Краев<sup>1</sup>, С.Е. Моторин<sup>1</sup>, А.Ф. Косолапов<sup>2</sup>, Д.В. Филипповский<sup>2</sup>, В.Г. Плотниченко<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН, Н. Новгород  
<sup>2</sup>Научный центр волоконной оптики РАН, Москва  
**СТЕКЛА  $TeO_2-WO_3-La_2O_3$  С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ГИДРОКСИЛЬНЫХ ГРУПП ДЛЯ ВОЛОКОННОЙ ОПТИКИ** 147
- М.В. Вилкова<sup>1</sup>, М.В. Мишкин<sup>1</sup>, В.В. Дорофеев<sup>2</sup>, **А.Ф. Косолапов<sup>3</sup>**, К.Н. Нищев<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск  
<sup>2</sup>Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН, Н. Новгород,  
<sup>3</sup>Научный центр волоконной оптики РАН, Москва  
**ПРИМЕНЕНИЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ТЕЛЛУРИТНЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ** 148

**А.С. Лобанов**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых российской академии наук, Нижний Новгород

**ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОЧИСТОЙ МОНОИЗОТОПНОЙ СЕРЫ**

149

**А.А. Фотиаду<sup>1,3,4</sup>, В.В. Спирун<sup>1,2</sup>, И.О.Золотовский<sup>3</sup>, P. Mégret<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>University of Mons, blvd.Dolez, 31, Mons, B-7000 Belgium

<sup>2</sup>CICESE, 22860 Ensenada, B.C., México

<sup>3</sup>Ульяновский государственный университет, Ульяновск

<sup>4</sup>Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, С. Петербург

**ДВУХЧАСТОТНЫЕ УЗКОПОЛОСНЫЕ ВОЛОКОННЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ОСНОВЕ ВЫНУЖДЕННОГО БРИЛЛЮЭНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ**

150

**РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ  
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

151

**Доклады**

**А.В. Пивкин, В.М.Бардин**

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск  
**ИЗЛУЧАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СВАРОЧНОГО КАБЕЛЯ**

152

**А.В. Земсков, Д.А.Борисов**

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск  
**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СВАРОЧНОЕ УСТРОЙСТВО**

153

**Ю.А. Алексеев<sup>1,2</sup>, М.Л. Антонов<sup>1</sup>, С.Ф. Боев<sup>2,3</sup>, А.Р. Милославский<sup>1</sup>,  
Д.Д. Ступин<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>ОАО «Саранский телевизионный завод», Саранск,

<sup>2</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

<sup>3</sup>ОАО «РТИ», Москва

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ  
РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ: ЛОГИСТИКА И КОНСТРУИРОВАНИЕ**

154

**А.В. Балясов<sup>1</sup>, М.В. Герасимов<sup>1</sup>, М.В. Логунов<sup>1</sup>, Д.Д. Ступин<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

<sup>2</sup>ОАО «РТИ», Москва

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МОЗАИЧНАЯ МИКРОСКОПИЯ И  
ДЕФЕКТОСКОПИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР**

155

**Н.Н. Логинов, М.В. Герасимов, Д.С. Кашкин, М.В. Логунов, А.В. Спирун**

Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарёва, Саранск

**ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ УПОРЯДОЧЕННЫХ ДОМЕННЫХ СТРУКТУР  
В ЭЛЕМЕНТАХ МАГНИТОФОТОНИКИ**

156

**А.А. Трифонов, А.В. Брагин, М.В. Логунов, Д.В. Пьянзин**

Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарёва, Саранск

**ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ МАТЛАВ И LABVIEW ПРИ  
АНАЛИЗЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

157

<b><u>А.В. Брагин</u>, М.В. Логунов, Д.В. Пьянзин</b> Мордовский государственный университет им. Н.П.Огарёва, Саранск	
<b>ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА ДОМЕННЫХ СТРУКТУР</b>	158
<b><u>И.А Пьянзина</u><sup>1,2</sup>, М.В. Логунов<sup>2</sup></b> <sup>1</sup> ОАО «Электровыпрямитель», Саранск, <sup>2</sup> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск	
<b>МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРНО-РЕАКТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ЧАСТОТАХ ТРАНСФОРМАЦИИ</b>	159
<b><u>Д.А. Алексин</u><sup>1</sup>, А.В. Брагин<sup>1</sup>, А.С. Кузин<sup>1,2</sup></b> <sup>1</sup> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <sup>2</sup> ОАО «Саранский телевизионный завод», Саранск	
<b>РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ РАДИОМАТЕРИАЛОВ</b>	160
<b><u>А.М. Майоров</u>, М.И. Майоров, В.А. Горюнов</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск	
<b>ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИЕМНИК ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДОВ В ГАЗОВОМ РАЗРЯДЕ</b>	161
<b><u>Я.А. Зазулин</u>, Б.Н. Денисов</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск	
<b>ОПТРОННЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ</b>	162
<b>АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ</b>	163
<b>ФОТООТЧЕТ ВНКШ-2011</b>	171

# **ЭЛЕКТРОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В НАНОСТРУКТУРАХ**

## ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ГРАФЕНЕ И ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ

С.А. Тарасенко

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург*

Представлен обзор наших теоретических и экспериментальных исследований фотогальванических эффектов в графеновых системах, полупроводниковых квантовых ямах и структурах металл-диэлектрик-полупроводник на поверхности кремния. Показано, что оптическое возбуждение структур поляризованным светом может приводить к возникновению электрического тока даже в отсутствие внешнего напряжения между контактами [1,2,3]. Фотогальванические эффекты обусловлены асимметрией элементарных процессов поглощения света или последующей релаксации носителей.

Обнаружен и исследован краевой фотогальванический эффект в графеновых структурах [4]. Показано, что освещение края образца поляризованным излучением приводит к возникновению электрического тока, который формируется близи края в узкой полоске шириной, сопоставимой с длиной свободного пробега электронов. Фототок, индуцированный циркулярно поляризованным светом, меняет направление на противоположное при смене знака циркулярной поляризации. Развитая микроскопическая теория эффекта находится в хорошем качественном и количественном согласии с экспериментом. Продемонстрировано, что краевые фототоки могут быть использованы для определения типа проводимости и времени рассеяния электронов вблизи края образца.

Продемонстрирована возможность оптической инжекции чисто долинных токов в многодолинные структуры. Показано, что поглощение света в таких системах приводит к возникновению фототоков в отдельных долинах, величины и направления которых зависят от поляризации света. Полный электрический ток в структуре определяется векторной суммой однодолинных токов и может быть равен нулю даже при генерации значительных токов в долинах. Микроскопическая теория долинных фототоков развита для двумерных структур на поверхности кремния и для графена [5,6]. Предложены и реализованы методы регистрации долинных токов.

1. J. Karch, S.A. Tarasenko, P. Olbrich et al., J. Phys.: Condens. Matter **22**, 355307 (2010).

2. J. Karch, P. Olbrich et al., Phys. Rev. Lett. **105**, 227402 (2010).

3. S.A. Tarasenko, Phys. Rev. B **83**, 035313 (2011).

4. J. Karch, C. Drexler et al., Phys. Rev. Lett. **107**, 276601 (2011).

5. J. Karch, S.A. Tarasenko, E.L. Ivchenko et al., Phys. Rev. B **83**, 121312 (2011).

6. L.E. Golub, S.A. Tarasenko, M.V. Entin, and L.I. Magarill, Phys. Rev. B **84**, 195408 (2011).

# ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ И МИГРАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В МАССИВАХ НАНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ, СФОРМИРОВАННЫХ В ОКСИДНОЙ МАТРИЦЕ

В.А. Бурдов

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород*

Представлены результаты экспериментов и компьютерного моделирования фотолюминесценции и экситонной динамики в массивах нанокристаллов кремния, сформированных в однослойных и многослойных планарных структурах  $\text{SiO}_2/\text{nc-Si}$ . Исследование экситонной релаксации в массиве требует учета не только излучательных, но и разнообразных безизлучательных процессов. При этом безизлучательная релаксация в массиве нанокристаллов происходит несколько иначе, чем в изолированных кристаллитах. В массиве нанокристаллы могут «взаимодействовать», обмениваясь элементарными возбуждениями, что существенно влияет на излучение массива. Возможными механизмами взаимодействия нанокристаллов в массиве являются прямое туннелирование возбужденных носителей из одной квантовой точки в другую [1] и экситонный перенос, не сопровождающийся переносом электрического заряда (механизм Фёрстера-Декстера [2,3]). Следствием миграции отдельных возбужденных носителей и экситонов, которая идет, как правило, из меньших нанокристаллов в большие, будет накопление отдельных носителей и электронно-дырочных пар в нанокристаллах больших размеров, которые, преимущественно, и будут высвечиваться. Для полноценного анализа кинетики фотолюминесценции необходимо рассматривать систему с большим количеством нанокристаллов, что требует использования многопроцессорных вычислений. С этой целью было проведено компьютерное моделирование процесса фотолюминесценции на основе метода Монте-Карло с учетом различных механизмов энергетической релаксации (излучательная рекомбинация, безизлучательная рекомбинация, туннелирование, экситонный перенос) в массивах, содержащих  $\sim 10^6$  нанокристаллов кремния, внедрённых в диэлектрическую матрицу  $\text{SiO}_2$ . В начальный момент в системе задавалось случайное распределение экситонов по нанокристаллам массива, после чего разыгрывались несколько возможных сценариев эволюции для каждого нанокристалла. Опираясь на рассчитанные скорости основных процессов энергообмена и релаксации, были получены спектры люминесценции массива нанокристаллов кремния и временная зависимость сигнала люминесценции для образцов с различной долей объемного наполнения нанокристаллами. Было обнаружено, что в массивах с высокой плотностью нанокристаллов в процесс световой эмиссии, действительно, оказываются вовлеченными преимущественно нанокристаллы больших размеров, в то время как меньшие нанокристаллы остаются «темными» в течение всего времени релаксации массива. Полученные в ходе моделирования спектры люминесценции одно- и многослойных структур очень хорошо согласуются со спектрами, полученными экспериментально на структурах с такими же параметрами.

1. J. Heitmann, F. Muller, L. Yi, *et al.*, Phys. Rev. B **69**, 195309 (2004).
2. T. Forster, Z. Elektrochem. **53**, 93 (1949).
3. D. L. Dexter, J. Chem. Phys. **21**, 836 (1952).

# МЕХАНИЗМ СВЕРХТОНКОГО ЭЛЕКТРОННО-ЯДЕРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И СПЕКТРАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТАНОВЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ФОТОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОАТОМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А.Е. Обухов

*Национальный исследовательский университет «МЭИ»,  
Москва*

Рассмотрены спектральные и квантовохимические технологии применительно к научным и педагогическим задачам фотоники. Предложенный метод позволяет на основе механизмов сверхтонкого электронно-ядерного взаимодействия (СВТЭЯВ) установить геометрическое строение, рассчитать методами ЛКАО-МО ССП КВ ЧПДП/S свойства синглетных и триплетных электронно-возбужденных состояний (СТЭВС) (Рис. 1) и фотофизические свойства nano-размерных структур как элементов OLEDs-диодов, мед-био-препаратов, Day-лазеров, сенсоров и датчиков, нанотоковых систем в разных условиях накачки.

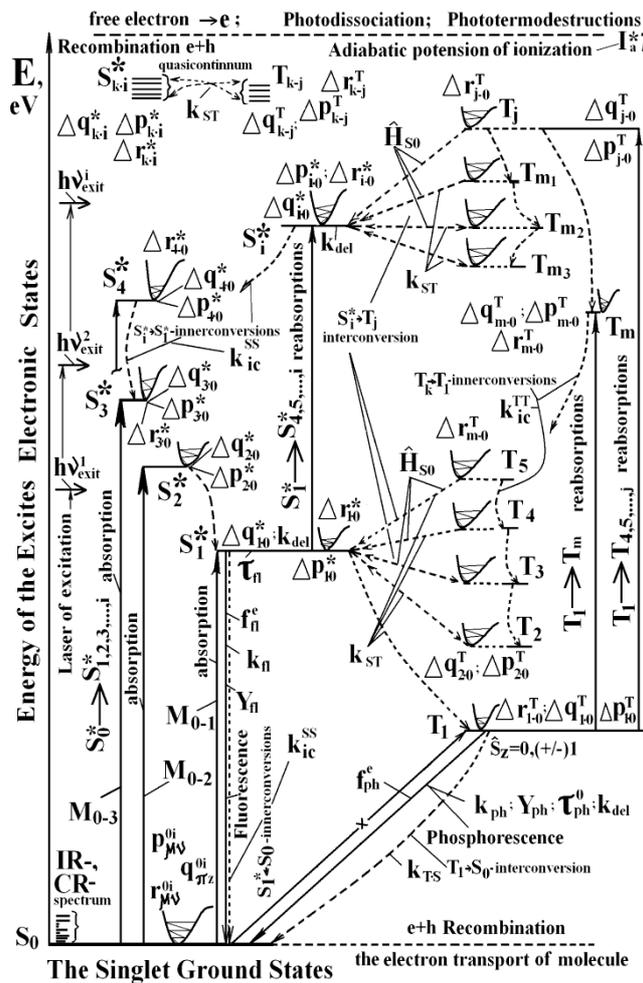


Рис. 1. Предложенная полная схема излучательных и безизлучательных многоступенчатых релаксационных переходов в полном спектре синглетных и триплетных электронно-возбужденных состояний (S<sup>\*</sup><sub>i</sub> и T<sub>j</sub>) (“элементарный акт”) для многоатомных соединений (в терминах дублет D<sup>\*</sup><sub>i</sub> и квартет Q<sup>\*</sup><sub>j</sub> для иона) на активных колебаниях {r<sub>n</sub>} координат электронов для равновесной ядерной конфигурации для промежуточных термов T<sub>m</sub> и T<sub>n</sub>, M<sub>0i</sub> матричные моменты электрических дипольных переходов. Стрелками обозначены частоты и силы осцилляторов переходов S<sub>1</sub><sup>\*</sup> → S<sub>0</sub>, S<sub>1</sub><sup>\*</sup> → S<sub>i</sub><sup>\*</sup>, T<sub>1</sub> → S<sub>0</sub> и T<sub>1</sub> → T<sub>j</sub> до испускания фотона. На линиях отмечены потенциальные кривые для каждого типа ЭВС и Δr<sub>μν</sub>, Δρ<sub>μν</sub> и Δq<sub>μν</sub>, Δρ<sub>μν</sub> длины, порядки валентных связей, заряды и полные электронные плотности на атомах. Free electron энергия равная работе выхода электрона для нового механизма многоступенчатой фотоионизации молекулы.

Предложены формулы для расчета энергетических параметров.

1. Обухов А.Е. Спектроскопия основного и возбужденных состояний многоатомных соединений в разных условиях. М. “Спутник+” (2010). 274с.

# ГИБРИДНО-ФОНОННЫЕ РЕЗОНАНСЫ В КВАНТОВОМ БРАСЛЕТЕ

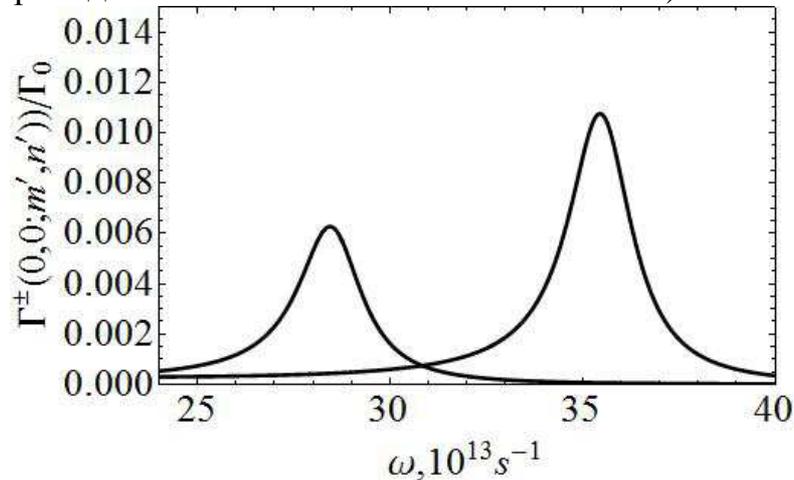
В.В. Карпунин<sup>1</sup>, В.А. Маргулис<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Мордовский государственный педагогический институт  
им. М.Е. Евсевьева, Саранск

<sup>2</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

Теоретически исследован коэффициент поглощения электромагнитного излучения, возникающий при учете взаимодействия электронов с продольными оптическими фононами. Браслет расположен в постоянном, однородном магнитном поле. В качестве удерживающего потенциала использована прямоугольная потенциальная яма. Рассмотрены невырожденный квазиодномерный электронный газ, деформационный и поляризационный механизмы электрон-фононной связи. Расчет проведен на основе метода теории возмущений, предложенного в [1] для 3D электронного газа в полупроводниках, и примененного в [2] для исследования гибридно-примесных резонансов в анизотропных квантовых точках.

Получено аналитическое выражение коэффициента поглощения, установлен резонансный характер поглощения, найдены резонансные частоты и форма резонансной кривой. Отметим также, что резонансы могут наблюдаться на мультигибридных частотах  $\Delta\omega_q^\pm = -\Omega n' \mp \omega_L + \omega$ , где  $\Omega$  – гибридная частота,  $\omega_L$  – предельная частота оптических фононов (рассмотрены переходы из основного состояния  $n = m = 0$ ).



**Рис 1.** Зависимость коэффициента поглощения от частоты излучения,  $n = 0, n' = 4, m = m' = 0, \Omega = 8 \cdot 10^{13} \text{ c}^{-1}, \omega_L = 3.5 \cdot 10^{13} \text{ c}^{-1}, T = 100 \text{ K}$ .

1. Басс Ф.Г., Левинсон И.Б. ЖЭТФ. **49**,914 (1965).
2. Margulis V.A., Shorokhov A.V. Physica E. **41**, 485 (2009).

# ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА СПЕКТР ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КВАНТОВОЙ МОЛЕКУЛЫ С $D_2^{(-)}$ – ЦЕНТРОМ

В.Д. Кревчик, А.Б. Грунин, В.А. Рудин

*Пензенский государственный университет, Пенза*

В модели потенциала нулевого радиуса исследовано влияние внешнего электрического поля на фотолюминесценцию (ФЛ) квантовой молекулы (КМ), связанную с излучательным переходом электрона с резонансного  $u$  – состояния на  $g$ - терм  $D_2^{(-)}$  - центра. Для КМ использовалась модель двухъямного осцилляторного потенциала. Внешнее электрическое поле направлено вдоль координаты  $1 D$  – диссипативного туннелирования. На рис. 1 представлены результаты численного анализа зависимости вероятности ФЛ от величины напряженности внешнего электрического поля для различных значений энергии фотона. Как видно из рис. 1, кроме максимума, соответствующего средней энергии оптического перехода (кривые 1 и 3), при определенном значении напряженности электрического поля возникает еще один дополнительный максимум, положение которого не зависит от энергии фотона (см. кривые 1 и 3). При соответствующей энергии оптического перехода эти максимумы оказываются совпадающими, что видно из кривой 2. Возникновение этого дополнительного максимума обусловлено пиком на полевой зависимости вероятности туннелирования  $\Gamma_0$ , поскольку первоначально асимметричный двухъямный осцилляторный потенциал КМ трансформируется в симметричный под влиянием внешнего электрического поля. На рис 2 изображена спектральная зависимость вероятности ФЛ в КМ для различных значений напряженности внешнего электрического поля. Изменение энергии фотона при ФЛ по отношению к средней энергии перехода в силу неопределенности энергии электрона в  $u$ -состоянии приводит к уменьшению вероятности ФЛ, что видно из сравнения кривых 1 и 3 с кривой 2 на рис. 2. С увеличением напряженности внешнего электрического поля максимум ФЛ смещается в коротковолновую область спектра, из-за увеличения расщепления между термами.

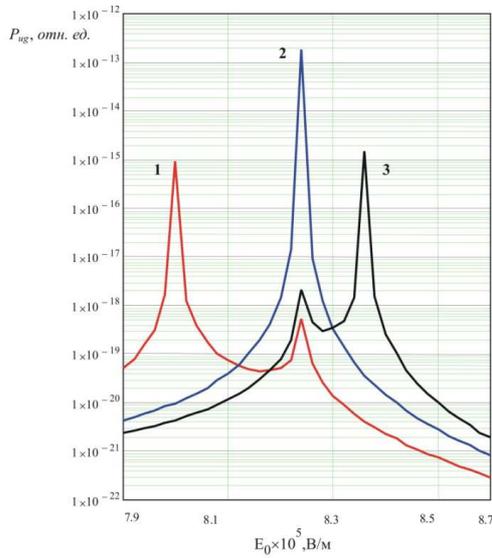


Рис. 1. Зависимость вероятности  $P_{ug}$  ФЛ  $D_2^{(-)}$  - центра ( $|E_i| = 2 \times 10^{-3} \text{ эВ}$ ,  $R_0 = 80 \text{ нм}$ ,  $U_0 = 0.2 \text{ эВ}$ ) в КМ ( $b_0 = 0.5$ ,  $a_0 = 1$ ,  $\epsilon_T^* = 1$ ,  $\epsilon_c^* = 1$ ,  $\epsilon_L^* = 1$ ) от величины напряженности внешнего электрического поля  $|\vec{E}_0|$  для различных значений энергии фотона  $\hbar\omega$ : **1** –  $\hbar\omega = 2.3 \times 10^{-3} \text{ эВ}$ , **2** –  $\hbar\omega = 2.35 \times 10^{-3} \text{ эВ}$ , **3** –  $\hbar\omega = 2.45 \times 10^{-3} \text{ эВ}$ .

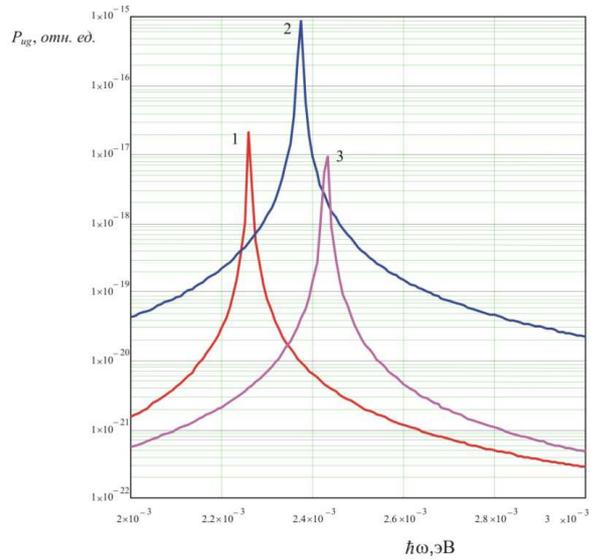


Рис. 2. Спектральная зависимость вероятности  $P_{ug}$  ФЛ  $D_2^{(-)}$  - центра ( $|E_i| = 2 \times 10^{-3} \text{ эВ}$ ,  $R_0 = 80 \text{ нм}$ ,  $U_0 = 0.2 \text{ эВ}$ ) в КМ ( $b_0 = 0.5$ ,  $a_0 = 1$ ,  $\epsilon_T^* = 1$ ,  $\epsilon_c^* = 1$ ,  $\epsilon_L^* = 1$ ) для различных значений напряженности внешнего электрического поля  $\vec{E}_0$ : **1** –  $E_0 = 7.9 \times 10^5 \text{ В/м}$ , **2** –  $E_0 = 8.3 \times 10^5 \text{ В/м}$ , **3** –  $E_0 = 8.4 \times 10^5 \text{ В/м}$ .

# ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ КВАНТОВОЙ ЯМЫ GaAs/AlGaAs С $A_2^+$ – ЦЕНТРОМ

В.Д. Кревчик, А.В. Левашов, К.С. Ползунов  
*Пензенский государственный университет, Пенза*

В настоящее время с помощью техники двойного селективного легирования возможно получение квантовых ям (КЯ)  $GaAs/AlGaAs$ , содержащих стационарные  $A^+$ -центры. Последние, как известно [1], образуются в результате присоединения дополнительной дырки к нейтральному акцептору (твердотельный аналог иона  $H^-$ ) в полупроводниках р-типа. Особый интерес представляют двумерные структуры  $GaAs/AlGaAs$  со значительной концентрацией  $A^+$ -центров. В этом случае, как показано в работе [2], возможно образование акцепторных молекулярных состояний, которые проявляются в наличие второго пика фотолюминесценции (ФЛ), находящегося ниже, по энергии от линии  $A^+$ -центров. В [2] было выдвинуто предположение о том, что такие акцепторные молекулярные состояния могут образовываться за счет спаривания  $A^+$ -центров вследствие поляронного эффекта (молекулярные  $(A^+)_2$  – состояния) [3]. Однако, в рассматриваемой ситуации образование пар из положительных дырок близко расположенных  $A^+$ -центров маловероятно из-за малости постоянной  $\alpha$  электрон-фононного взаимодействия ( $\alpha \ll 2.9$ ). В настоящей работе теоретически показано, что линия ФЛ с меньшей энергией может соответствовать излучательному переходу фотовозбуждённого электрона на  $g$ -терм  $A_2^+$ -центра, образованного двумя близко расположенными  $A^0$ -центрами с общей дыркой. Методом потенциала нулевого радиуса теоретически исследованы  $A_2^+$ -состояния в КЯ с потенциалом конфайнмента, описываемого в рамках модели «жестких» стенок. Двухцентровой потенциал моделировался суперпозицией потенциалов нулевого радиуса.

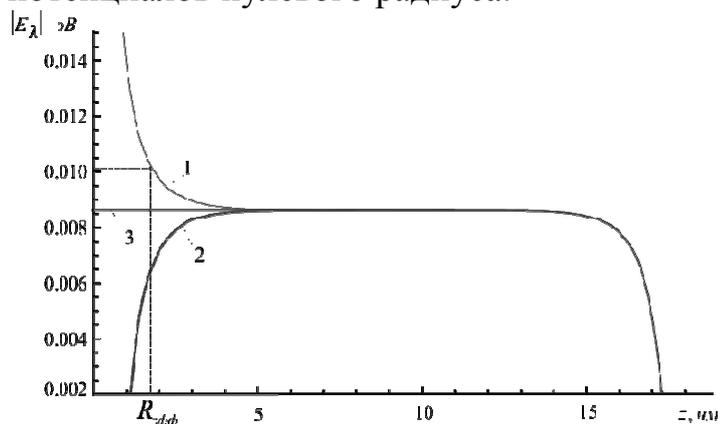


Рис. 1 Термы  $A_2^+$  - центра в КЯ GaAs (штрих - пунктирная линия показывает характерное расстояние между примесными центрами при энергии связи 10.08 мэВ): 1 -  $g$  - терм; 2 -  $i$  - терм; 3 - случай изолированного  $A^+$  - центра.

На рис. 1 приведена зависимость энергии связи дырки  $|E_\lambda|$  от

расстояния  $z$  между  $A^0$  - центрами, расположенными на оси размерного квантования в КЯ  $GaAs/AlGaAs$ . Можно видеть, что в случае  $g$  – терма (кривая 1)  $|E_\lambda| \rightarrow \infty$  при  $z \rightarrow 0$ , т.е. имеет место своеобразное падение на центр. Напротив, у состояния с меньшей энергией связи ( $u$  – терм, кривая 2)  $|E_\lambda|$  уменьшается при  $z \rightarrow 0$ . Таким образом, с уменьшением  $z$  возникает расщепление между вырожденными при  $z > 5$  нм  $g$  - и  $u$  – термами. В пределе, когда  $z \rightarrow \infty$  имеем случай изолированного  $A^+$  - центра (кривая 3). С помощью кривых 1 и 2 можно определить эффективное расстояние  $R_{эфф}$  между  $A^0$  - центрами при заданном значении энергии связи  $|E_\lambda|$ . Согласно [4],  $|E_\lambda| = 10,08$  мэВ и  $R_{эфф} \approx 1,8$  нм. Проведен расчет спектров фотолюминесценции, связанной с переходом фотовозбужденного электрона из первой размерно – квантованной подзоны на  $g$  – терм  $A_2^+$  - центра.

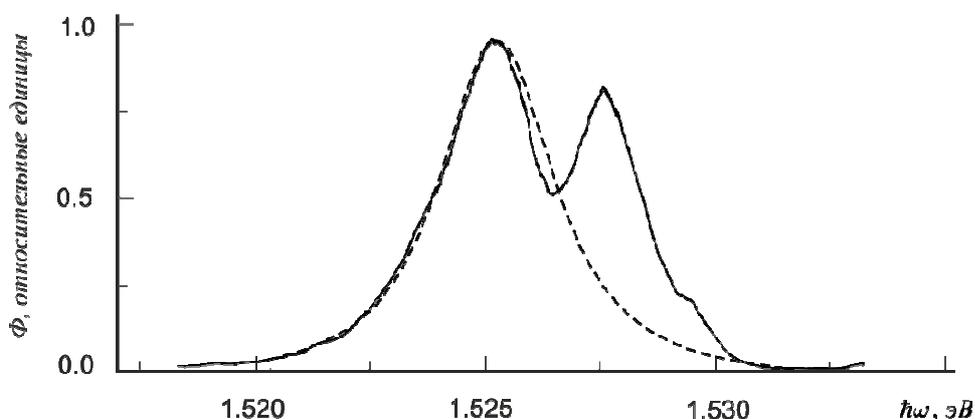


Рис. 2 Спектральная зависимость фотолюминесценции с участием  $A_2^+$  - центров.

На рис 2 представлена кривая спектральной зависимости ФЛ с участием  $A_2^+$  - центров для КЯ  $GaAs/AlGaAs$  шириной  $\bar{L} = 18$  нм. При численных расчетах энергия связи  $A_2^+$  - центров полагалось равной  $E_\lambda = 10,08$  мэВ [4]. Исходя из анализа экспериментальных данных работы [2], полуширина пиков ФЛ для молекулярных состояний принималась равной  $\Gamma_A = 2,5$  мэВ. Соответственно значение подгоночного параметра в функции распределения принималось равным  $\sigma^* = 10^{-3}$ . Поскольку вероятность образования молекулярных состояний  $A_2^+$  - центров зависит от концентрации легирующей примеси, то интенсивность линии ФЛ связанной с молекулярными состояниями сильно зависит от поверхностной концентрации  $A^0$  - центров. С ростом концентрации интенсивность линии ФЛ связанной с молекулярными состояниями растет, а интенсивность линии ФЛ атомарных  $A^+$  - центров соответственно уменьшается. Представленный на рис. 2 экспериментальный спектр ФЛ (сплошная линия) был снят соответственно при поверхностной концентрации  $A^0$  - центров равной  $1,8 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$  и температуре  $T = 4,2$  К. На

рис. 2 помимо линии связанной с коллективными состояниями  $A_2^+$  - центров также видна линия ФЛ атомарных состояний, связанная с рекомбинацией электронов со дна зоны проводимости и дырки, локализованной в основном состоянии  $A^+$  - центра. Эта линия находится выше по энергии, чем линия ФЛ молекулярных состояний. Следует отметить, что согласно [4] легирование нейтральными акцепторами (бериллием) производилось в  $\delta$  - слое, расположенные в центре КЯ шириной  $3 \text{ нм}$  с концентрацией  $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . В настоящей работе, для упрощения расчетов и получения аналитического выражения для спектральной зависимости ФЛ, рассматривалась ситуация когда два близко расположенных нейтральных акцептора имеют симметричную конфигурацию относительно центра КЯ. При этом энергия связи дырки с каждым нейтральным акцептором одинакова, так как энергия связи зависит только от расстояния между  $A^0$  - центром и границей КЯ. Таким образом, теоретический анализ, проведенный в данной работе, позволяет сделать вывод, о том, что рассмотренная модель  $A_2^+$  - центра может быть использована для идентификации молекулярных состояний  $A^+$  - центров в 2D – структурах  $GaAs/AlGaAs$ .

1. Е.М. Гершензон, А.П. Мельников, Р.И. Рабинович, Н.А. Серебрякова. // УФН. 1980. 132, С 353.
2. П.В. Петров, А.Е Иванов, Ю.Л. Жуков. // ФТП. 2007. 41, № 7. С. 850.
3. N. Kashirina, V. Lakhno, V. Sychyov. Phys. Rev. B. 2005. 51, 134 301.
4. П.В. Петров, Ю.Л. Иванов, В.С. Михрин, А.Е. Жуков. // ФТП. 2008. 42, № 10. С. 1219.

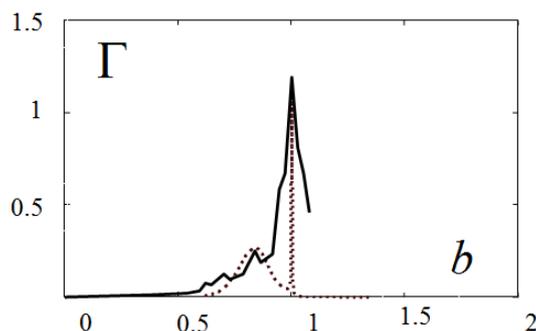
# ВЛИЯНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ НА ДИССИПАТИВНЫЙ ТУННЕЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧКАХ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В.Д. Кревчик, М.Б. Семёнов, Р.В. Зайцев,

В.А. Рудин, П.В. Кревчик, И.А. Егоров

*Пензенский государственный университет, Пенза*

В рамках теории 1D – диссипативного туннелирования исследована проблема переноса в полупроводниковых квантовых точках в системе совмещенного атомного силового и сканирующего туннельного микроскопа в условиях внешнего электрического поля. Методом инстантонов рассчитана вероятность 1D- туннельного переноса с точностью до предэкспоненциального фактора и исследована ее зависимость от величины внешнего электрического поля и температуры с учетом влияния отдельных локальных мод матрицы среды – термостата. Показано, что эффект реализации единичного пика, обусловленного особенностью предэкспоненциального фактора для случая, когда двухъямный осцилляторный потенциал с изменением величины напряженности электрического поля при одной из полярностей становился симметричным, при учете влияния локальных мод среды-термостата становится неустойчивым, (в отличие от предела слабой диссипации, когда этот эффект оказывался устойчивым). Учет влияния отдельной локальной моды на вероятность 1D – диссипативного туннелирования позволил теоретически выявить дополнительный устойчивый максимум, который не носит резонансного характера. Полученная теоретическая кривая качественно согласуется (см. рис.) с экспериментальной туннельной ВАХ для структур с полупроводниковыми квантовыми точками (*InAs/GaAs*) в системе совмещенного АСМ/ СТМ (экспериментальная работа выполнена в Казанском физико-техническом институте КНЦ РАН и Нижегородском гос. университете: П.А. Бородин, А.А. Бухарев, Д.О. Филатов, Д.А. Воронцов, М.А. Лапшина «Визуализация локальной плотности состояний в квантовых точках *InAs/GaAs* методом комбинированной АСМ/ СТМ»).



Сравнение экспериментальной ВАХ контакта АСМ зонда к поверхности КТ (*InAs/GaAs*) – сплошная кривая и вероятности 1D – диссипативного туннелирования с учетом влияния локальной моды – точечная кривая

Учет влияния двух промотирующих локальных мод матрицы среды – термостата позволил также теоретически выявить различные режимы 1D – диссипативного туннелирования, включая осциллирующий.

# ЭФФЕКТ ФОТОННОГО УВЛЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В НАНОТРУБКЕ СО СПИРАЛЬНЫМ ДЕФЕКТОМ В ПРОДОЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

В.Д. Кревчик, А.В. Разумов, С.Е. Козенко  
*Пензенский государственный университет, Пенза*

Теоретически исследован эффект фотонного увлечения электронов в нанотрубке со спиральной симметрией, которая обусловлена наличием спирального дефекта, моделируемого протяженным  $\delta$ - потенциалом с амплитудой  $V_0$ . Как показано в [1], энергетический спектр нанотрубки со спиральным дефектом является асимметричным  $E(k) \neq E(-k)$ , что типично для систем без центра инверсии при наличии возмущения, нарушающего  $t$  – инвариантность [2]. Благодаря указанной асимметрии в нанотрубке возникает асимметрия элементарных электронных взаимодействий, в частности с фотонами и акустическими фононами, имеющими противоположно направленные волновые векторы. В данной работе показано, что асимметрия элементарных электронных взаимодействий приводит к эффекту анизотропной передачи импульса фотона электронной системе в нанотрубке со спиральным дефектом в условиях внешнего продольного магнитного поля. Показано, что плотность тока фотонного увлечения как функция магнитного поля имеет немонотонную зависимость с периодом осцилляций, определяемым квантом магнитного потока. Поскольку в магнитном поле электронные подзоны асимметричны для направлений  $k$  и  $-k$ , то матричный элемент внутризонного оптического перехода оказывается различным для процессов поглощения фотонов с волновыми векторами  $q$  и  $-q$  благодаря чему вероятности поглощения этих фотонов также оказывается различными. В результате, при наличии вдоль оси нанотрубки со спиральным дефектом стоячей электромагнитной волны возможно появление ЭДС фотонного увлечения, что представляет собой новый макроскопический квантовый эффект, предсказанный в работе [2]. В настоящей работе получена аналитическая формула, определяющая спектральную зависимость ЭДС, а также её зависимость от величины внешнего магнитного поля и параметров нанотрубки со спиральным дефектом.

1. А.А. Григорькин, С.М. Дунаевский. Магнитный момент нанотрубки со спиральной симметрией// ФТТ.- 2008.-т.50-№3. – с. 507
2. О.В. Кибис. Эффект анизотропной передачи импульса в низкоразмерных электронных системах в магнитном поле// Письма в ЖЭТФ. - 1997. - т.66. -№8. - с. 551

# НЕСТАБИЛЬНОСТИ ВОЛН ЗАРЯДОВОЙ ПЛОТНОСТИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СВЕРХРЕШЕТКЕ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В ТЕРАГЕРЦЕВЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЯХ

Н.С. Прудских, А.В. Шорохов

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

Полупроводниковые сверхрешетки являются перспективной средой для источников и детекторов когерентного терагерцевого (ТГц) излучения. Параметрическое усиление ТГц излучения в такой системе вполне может быть достигнуто при благоприятных условиях [1], однако стабильность схемы усиления [1] еще нуждается в дополнительном обосновании.

В данной работе мы рассматриваем вопрос стабилизации волн зарядовой плотности (ВЗП) в сверхрешетке, находящейся в сильном переменном поле накачки  $E_{pump}(t) = E_0 + E_1 \cos(\omega_1 t)$  в рамках параметрической схемы усиления [1].

Совместное решение кинетического уравнения Больцмана, уравнения Пуассона и дисперсионного уравнения позволило найти спектр ВЗП и области их неустойчивости, проявляющейся в формировании доменов сильного поля.

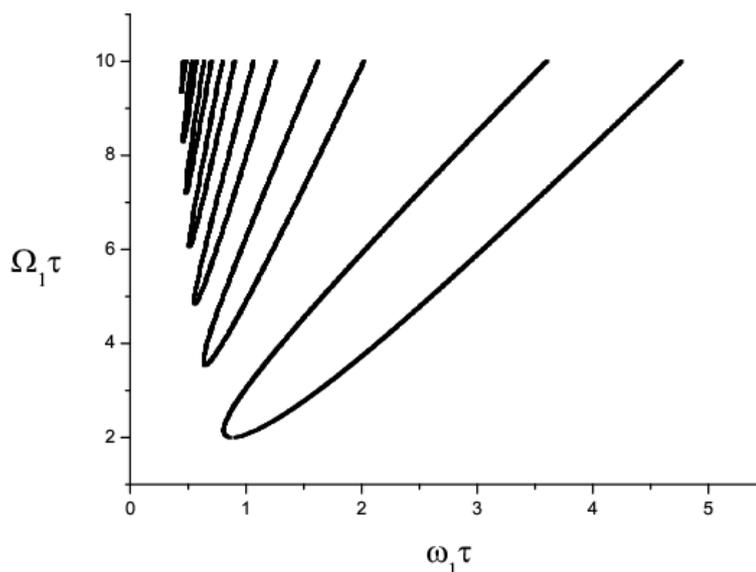


Рис. 1. Области неустойчивостей ВЗП в длинноволновом пределе в приближении  $\omega_2 \ll \omega_1$  ( $\Omega_1 = edE_1 / \hbar$ ,  $\tau$  – время релаксации).

В результате показано, что в длинноволновом пределе области неустойчивостей совпадают с областями отрицательной дифференциальной проводимости (ОДП) и практически не зависят от плазменной частоты. Так как области усиления существенно больше областей ОДП, полученные результаты демонстрируют стабильность параметрической схемы усиления [1] в большом интервале параметров системы.

1. T. Nyart, A.V. Shorokhov, and K.N. Alekseev. Phys. Rev. Lett. **98**, 220404 (2007).

## ДЕФЕКТЫ В НИТРИДЕ КРЕМНИЯ, СОЗДАННЫЕ ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИОНОВ УГЛЕРОДА

В.В. Карзанов, И.А. Ногтев, Н.А. Добычин

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород*

Методом ЭПР исследовались дефекты, создаваемые в пиролитических пленках нитрида кремния при ионной имплантации углерода, а также их поведение при последующих отжигах. Имплантация осуществлялась на ионном ускорителе ИЛУ-3 с энергией  $E=40$  кэВ при комнатной температуре с дозами  $3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ ,  $10^{16} \text{ см}^{-2}$ ,  $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ ,  $10^{17} \text{ см}^{-2}$ . Регистрация спектров ЭПР производилась на спектрометре Bruker EMX<sup>+</sup> при комнатной температуре, для улучшения соотношения сигнал-шум применялось многократное сканирование по магнитному полю. Отжиги выполнялись в потоке молекулярного азота при температурах 500-1100 °С.

В облученных пленках наблюдалась одиночная несимметричная линия, параметры которой (эффективный g-фактор, ширина  $\Delta H_{pp}$ , интегральная интенсивность) сложным образом зависели от дозы внедрения и природы ионов, температуры и продолжительности отжигов. Эти данные указывали на то, что наблюдаемые спектры были суперпозицией нескольких линий.

Авторами доклада был выполнен анализ, в ходе которого экспериментальные ЭПР-линии представлялись как сумма спектров от известных для нитрида кремния дефектов (К-центры, N-центры, D-центры), а также спектра углеродных кластеров. Было установлено, что сразу после облучения ионами углерода в нитриде кремния присутствуют все типы дефектов. Пропорции между ними зависели от дозы: при малых дозах преобладали К-центры (азотные вакансии) и D-центры (кремний в позиции азота), при больших дозах доминировали D-центры, но так же сразу после бомбардировки была замечена линия, соответствующая углеродным кластерам. При отжигах наиболее устойчивыми дефектами были D-центры – они могли наблюдаться до 900 °С. После отжигов при 700-900 °С интенсивность сигнала ЭПР достигала минимума. После отжигов при  $T > 900$  °С наблюдался рост интенсивности спектра, параметры которого соответствовали кластерам углерода. Кинетика нарастания интенсивности описывалась в рамках модели диффузионно-лимитированного распада твердого раствора.

## ВНУТРИЗОННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА В УСЕЧЕННОЙ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ КВАНТОВОЙ ТОЧКЕ

Т.А. Губин, Ю.А. Тареева, К.С. Авалиани, А.В. Митина, Д.Д. Запорожец  
*Пензенский государственный университет, Пенза*

Теоретически исследовано внутризонное поглощение света в усечённой параболической квантовой точке (КТ), потенциал конфайнмента которой имеет вид:

$$U(r) = \begin{cases} \frac{m_1^* \omega_0^2 r^2}{2}, & r < R_0, \\ U_0, & r \geq R_0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $R_0$  – радиус КТ,  $m_1^*, m_2^*$  – эффективная масса электрона в КТ и окружающей среде соответственно,  $\omega_0$  и  $U_0$  – частота и амплитуда удерживающего потенциала. Найдено решение уравнения Шрёдингера с потенциалом (1):

$$\Psi(r, \theta, \varphi) = \begin{cases} c_{nlm}^{(1)} \cdot e^{-\frac{r^2}{2a^2}} \cdot \left(\frac{r}{a}\right)^l \cdot L_n^{l+1/2}\left(\frac{r^2}{a^2}\right) \cdot Y_{lm}(\theta, \varphi), & r < R_0, \\ c_{lm}^{(2)} \cdot \frac{1}{r} \cdot h_l^{(1)}(i\alpha r) \cdot Y_{lm}(\theta, \varphi), & r \geq R_0, \end{cases} \quad (2)$$

где  $c_{nlm}^1$  и  $c_{lm}^2$  – множители;  $n=0,1,2,\dots$  – осцилляторное квантовое число;  $l$  и  $m$  – орбитальное и магнитное квантовые числа соответственно;  $h_l^{(1)}(i\alpha r)$  – сферическая функция Ханкеля мнимого аргумента;  $L_n^\alpha(x)$  – полиномы Лагерра;  $Y_{lm}(\theta, \varphi)$  – сферические функции;  $\alpha = \sqrt{2m_2^*(U_0 - E)/\hbar^2}$ . Из условия непрерывности логарифмической производной волновых функций на границе при  $r = R_0$  получено трансцендентное уравнение для определения энергетического спектра усечённой параболической КТ. В дипольном приближении получена аналитическая формула для вероятности внутризонного оптического поглощения  $P_{f\lambda}$  в КТ с потенциалом конфайнмента в виде (1) с учётом лоренцева уширения энергетических уровней. Рассмотрен один из возможных механизмов, определяющих время жизни электрона в конечном состоянии, связанный с диссипативным туннелированием в модели «вертикальной стенки». Исследована спектральная зависимость  $P_{f\lambda}$ , а также её зависимость от соотношения эффективных масс  $m_1^*/m_2^*$ .

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ОДНОМЕРНОЙ СВЕРХРЕШЕТКИ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ КВАНТОВЫХ КОЛЕЦ

М.А. Пятаев, М.А. Кокорева

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

В работе исследуется энергетический спектр и транспортные свойства одномерной сверхрешетки, состоящей из квантовых колец, помещенных в магнитное поле. Рассматриваются два варианта сверхрешеток: в первом варианте кольца соединены между собой короткими одномерными проводниками, а во втором варианте имеют непосредственный контакт друг с другом. Необычные спектральные свойства данной системы делают ее интересной с точки зрения создания устройств с заданными транспортными характеристиками и фотодетекторов с управляемыми параметрами.

С помощью теоремы Блоха и теории потенциалов нулевого радиуса в работе получено уравнение, определяющее энергию электронов в системе как функцию квазиимпульса. Показано, что спектр имеет минизонную структуру без пересечения минизон. Изучена зависимость ширины запрещенных и разрешенных зон от параметров системы, таких как положение контактов на кольцах, величина внешнего магнитного поля, длина проводника, соединяющего кольца, величина точечного потенциала в точке контакта.

Интересной особенностью рассматриваемой системы является наличие в спектре дискретных энергетических уровней, которые могут располагаться как в запрещенных, так и в разрешенных зонах или же на границах зон. В работе найдена волновая функция, соответствующая таким уровням и показано, что электроны при данных энергиях могут быть локализованы на одном кольце или же на паре соседних колец. При этом во всех случаях кратность вырождения уровня равна числу элементарных ячеек в сверхрешетке. В частности, дискретные уровни имеются при диаметрально противоположном расположении контактов на кольце, как при наличии, так и при отсутствии магнитного поля. Наличие таких уровней в запрещенных зонах позволяет предположить возможность существенного изменения проводимости системы при облучении ее электромагнитным излучением, что делает сверхрешетку из квантовых колец перспективным кандидатом на роль фотодетектора в инфракрасном или терагерцевом диапазоне. Зависимость положения энергетических уровней и ширины запрещенных зон от магнитного поля, дает дополнительные возможности для управления параметрами фотодетектора.

Работа выполнена при поддержке РФФИ и ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы".

# ТУННЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ЧЕРЕЗ ОДНОМЕРНОЕ КОЛЬЦО ПРИ НАЛИЧИИ ОПТИЧЕСКОГО ВОЗМУЩЕНИЯ

А.А. Григорькин<sup>1</sup>, М.А. Пятаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова, Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

В последние годы большое внимание привлекают наноструктуры, способные генерировать постоянный электрический ток при наличии однородной освещенности. Постоянный ток может возникать в структурах, не имеющих центра инверсии. Это явление известно как фотогальванический эффект (ФГЭ). Для практических приложений особый интерес представляют квазиодномерные проволоки на основе GaAs, технологии изготовления которых хорошо отработаны. В работе [1] произведен расчет ФГЭ в одномерной проволоке, скрученной в спираль. В статье [2] рассмотрен фотоиндуцированный ток в одномерной проволоке, согнутой в одной плоскости.

В настоящей работе рассматривается квазиодномерная система, состоящая из кольца с присоединенными к нему двумя проводниками. Две точки контакта рассматриваются как рассеивающие потенциалы нулевого радиуса, характеризующиеся длинами рассеяния  $\lambda_{1,2}$ . На кольцо падает циркулярно-поляризованное излучение частоты  $\omega$ , благодаря которому в проводниках возникает постоянный ток. Отсутствие центра инверсии в этой системе может быть обусловлено двумя механизмами: асимметрией подключения проводников к кольцу, и неравенством длин рассеяния в контактах. Для расчета тока использован подход Ландауэра-Бьютиккера, обобщенный на случай наличия периодического возмущения. В этом подходе учтена возможность неупругого туннелирования электронов через кольцо с одновременным поглощением или излучением кванта с энергией, равной  $\hbar\omega$ . Возникновение тока обусловлено неравенством коэффициентов прохождения электрона из «левого» проводника в «правый» и наоборот.

Полученные графики демонстрируют сильную зависимость фототока от частоты излучения, величины уровня Ферми и положения точек контактов на кольце. Кроме того, ток осциллирует как функция магнитного потока через плоскость кольца. Период осцилляций равен одному кванту магнитного потока.

Работа выполнена при поддержке ФЦП "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы".

1. L.I. Magarill, A.V. Chaplik. JETP Lett. **70**, 615 (1999).
2. Y.V. Pershin, C. Piermarocchi. Phys. Rev. B **72**, 195340 (2005).

# ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КВАНТОВОЙ ЯМЫ С ПРИМЕСНЫМИ РЕЗОНАНСНЫМИ СОСТОЯНИЯМИ ВО ВНЕШНЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ И МАГНИТНОМ ПОЛЯХ

В.Д. Кревчик, А.В. Разумов, В.Н. Калинин, С.А. Лакомкин  
*Пензенский государственный университет, Пенза*

Теоретически исследовано влияние электрического и магнитного поля на среднюю энергию связи резонансного  $D^-$  - состояния и ширину резонансного уровня в параболической квантовой яме (КЯ). Предполагалось, что распадность примесного резонансного состояния обусловлена процессом диссипативного туннелирования. Расчет вероятности диссипативного туннелирования выполнен в одноинстантонном приближении с учетом взаимодействия с локальной фононной модой среды для случая внешнего электрического и магнитного поля соответственно. В модели потенциала нулевого радиуса в приближении эффективной массы получены дисперсионные уравнения для определения средней энергии связи  $D^-$  - состояния и уширения примесного резонансного уровня. Показано, что электрическое поле стимулирует распад резонансного  $D^-$  - состояния в условиях диссипативного туннелирования за счет электрической поляризации и Штарковского сдвига энергии. Найдено, что увеличение константы взаимодействия электрона с контактной средой приводит к блокировке туннельного распада, что обусловлено ростом «вязкости» контактной среды. Показано, что наименьшее время жизни имеют резонансные  $D^-$  - состояния соответствующие  $D^-$  - центрам, расположенным вблизи границ КЯ. Установлено, что магнитное поле оказывает стабилизирующее действие на резонансные  $D^-$  - состояния в КЯ и приводит к пространственной анизотропии средней энергии связи и ширины резонансного уровня. В дипольном приближении получены аналитические формулы для вероятности фотоионизации  $D^-$  - центра с резонансным примесным уровнем в КЯ при наличии соответственно внешних электрического и магнитного поля. Показано, что квантово-размерный эффект Штарка проявляется в красном смещении порога фотоионизации, а также в увеличении силы осциллятора дипольного оптического перехода. В случае поперечной по отношению к направлению внешнего магнитного поля поляризации света, для спектральной зависимости вероятности фотоионизации характерен квантово-размерный эффект Зеемана. Выявлена высокая чувствительность фотоионизационных спектров к таким параметрам диссипативного туннелирования, как температура, частота фононной моды и константа взаимодействия с контактной средой.

# **НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

# РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЙ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЙ ЗОНД В ИССЛЕДОВАНИИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ И МАГНИТНОЙ СТРУКТУРЫ

М.Н. Попова

*Институт спектроскопии РАН, Троицк*

Лекция посвящена методу редкоземельного спектроскопического зондирования – использованию спектральных свойств редкоземельных (РЗ) ионов для изучения строения их окружения, а также для детектирования и исследования особенностей структурных и магнитных фазовых переходов. Спектры в инфракрасной и видимой области трехзарядных РЗ ионов обусловлены переходами внутри  $4f$  электронной оболочки, экранированной от воздействия внешних полей заполненными  $5s$  и  $5p$  оболочками. В результате, спектральные линии очень узки (до  $0.001 \text{ см}^{-1}$ ). Анализируя спектры РЗ ионов, получают информацию о штарковском расщеплении электронных уровней в кристаллическом поле решетки и отсюда – о локальной симметрии РЗ центра. Вибронные спектры несут информацию об электронно-колебательном взаимодействии и плотности фононных состояний кристалла. Рассмотрены особенности спектров трехвалентного иона европия, позволяющие достаточно детально определять строение его ближайшего окружения.

Энергетический спектр РЗ иона с нечетным числом электронов в  $4f$  оболочке характеризуется дополнительным вырождением, связанным с симметрией по отношению к обращению времени (крамерсовское вырождение). Это вырождение не может быть снято никаким возмущением, кроме магнитного поля. Детектирование расщепления спектральных линий крамерсовских ионов в кристалле является надежным способом обнаружения внутреннего магнитного поля, появляющегося в кристалле при его магнитном упорядочении. Это – информативный метод изучения различных магнитных фазовых переходов и типа магнитных структур [1].

Возможности метода РЗ зондирования иллюстрируются на примерах из работ нашей лаборатории по исследованию соединений из семейства РЗ боратов со структурой хантита.

1. M.N. Popova. *Encyclopedia of Materials: Science and Technology* (Elsevier Science Ltd), 2001, p. 3786

# ТИТАНАТЫ СО СТРУКТУРОЙ ПИРОХЛОРА: ОТ СПИНОВОГО ЛЬДА К МАГНИТНЫМ МОНОПОЛЯМ. СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

С.А. Климин

*Институт спектроскопии РАН, Троицк*

Редкоземельные (РЗ) титанаты со структурой пирохлора и общей формулой  $R_2Ti_2O_7$  в форме монокристаллов появились недавно. Обсуждаются различные применения этих новых материалов, например, в качестве среды для рамановского лазера. Однако наиболее известными данные кристаллы стали благодаря их необычной магнитной решетке, на которой было обнаружено новое магнитное состояние спиновый лёд [1] и зарегистрированы магнитные монополи [2]. Для реализации того и другого важны магнитная анизотропия РЗ иона, которая является следствием эффектов кристаллического поля (КП), и штарковская структура основного мультиплета. Для изучения штарковской структуры и КП мы провели спектроскопические исследования титанатов с  $R = Yb, Ho, Tb$ .

Наши исследования иттербиевого титаната [3] позволили получить энергии штарковских уровней иона  $Yb^{3+}$ , провести вычисления по теории кристаллического поля и найти  $g$ -факторы основного состояния не только для иттербия, но для всего ряда РЗ-титанатов. Было показано, что магнитная анизотропия РЗ иона определяется кристаллическим полем. Только Ho, Dy, и Tb обладают анизотропией изинговского типа, важной для реализации состояния спиновый лёд. Тем не менее, в  $Tb_2Ti_2O_7$  данное состояние не обнаружено. Причиной этого является наличие низколежащего штарковского уровня  $13\text{ cm}^{-1}$ . Малый энергетический зазор приводит к перемешиванию волновых функций основного и первого возбужденного состояния тербия, в результате магнитная анизотропия Изинговского типа не реализуется. РЗ центр в структуре пирохлора обладает центром инверсии и, как следствие, запретом на электродипольные переходы и магнито-дипольные с  $\Delta J \neq \pm 1$ . Вследствие этого в спектре наблюдаются переходы высшего порядка: мультипольные, электронно-колебательные и, возможно, кооперативные. Уровни тербия в  $Tb_2Ti_2O_7$  демонстрируют необычное поведение в области низких температур ( $T < 15\text{ K}$ ). Изменения положения линий, а также их спектральной формы, происходят одновременно с опустошением заселенности первого возбужденного штарковского уровня иона  $Tb^{3+}$ . Это связано с зонной структурой состояний тербия, формирующейся из-за сильного межионного взаимодействия в структуре пирохлора, что подтверждается нейтронными исследованиями [4].

Работа поддержана РФФИ (грант № 12-02-00858-а).

2. R. Siddharthan, et.al., Phys. Rev. Lett., **83**, 1854, (1999)
3. S.R. Giblin, et.al., Nature Physics, **7**, 252, (2011)
4. B.Z. Malkin, et.al., Phys. Rev. B, **70** (2004) 075112
5. B.D. Gaulin, et.al., Phys. Rev. B, **84**, (2011) 140402(R)

РАЗРАБОТКИ ИХС РАН  
ПО ПРИМЕНЕНИЮ НАНОПОРИСТЫХ СТЕКОЛ ДЛЯ СОЗДАНИЯ  
НОВЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Т.В. Антропова

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Ордена Трудового Красного Знамени Институт химии силикатов  
им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук, Санкт-Петербург*

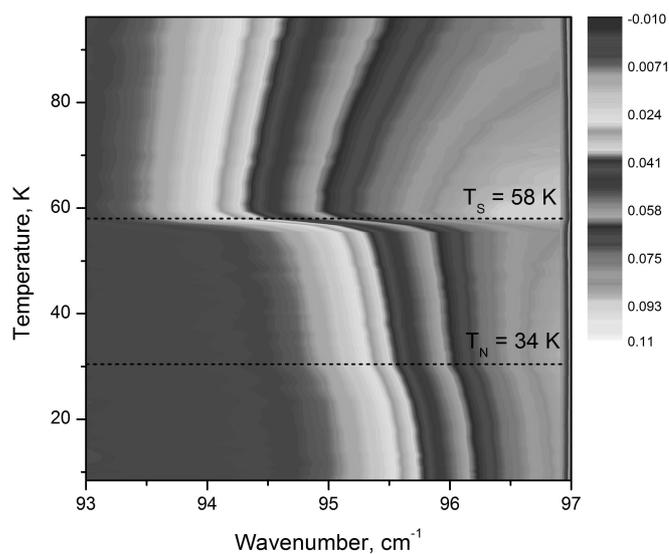
В настоящее время в ИХС РАН успешно развиваются исследования, направленные на разработку и оптимизацию высококремнеземных нанопористых стекол (НПС), а также на создание новых функциональных материалов на их основе для решения прикладных задач оптики, лазерной техники, электроники, аналитического приборостроения. Представления о процессе получения пористого стекла были заложены в работах основателя ИХС академика И.В. Гребенщикова и его последователей О.С. Молчановой, С.П. Жданова, Д.П. Добычина. Разработка теории метастабильной ликвации в стеклообразующих оксидных системах, большой вклад в развитие которой внесли сотрудники ИХС Е.А. Порай-Кошиц, В.Н. Филипович, О.В. Мазурин, Н.С. Андреев, позволила развивать эти исследования на качественно новой методической основе: построение изотерм ликвации и определение положения конод в базовой натриевоборосиликатной системе дает информацию о составах и характере взаимного распределения сосуществующих фаз в двухфазном стекле, что облегчает проведение направленного синтеза НПС с регулируемыми параметрами. В предыдущие два десятилетия практическое использование НПС составило предмет совместных разработок ИХС и ГОИ им. Вавилова, ЛИТМО, ЛОМО, НИОПИК. В результате были сформированы научные основы технологии твердотельно-жидкостных и твердотельно-полимерных лазерных элементов; светочувствительных гетерогенных сред для высокоэффективных стабильных объемных голограмм; фотохромных кварцoidных материалов; микрооптических элементов; узкополосных светофильтров. С целью создания лазерных элементов с некогерентным излучением разработана технология НПС с особой структурной неоднородностью. В последние годы в лаборатории физической химии ИХС РАН проводятся совместные исследования с ИАнП РАН, НИУ ИТМО, ФТИ РАН, направленные на создание на базе НПС функциональных элементов микрофлюидных аналитических систем с оптическим детектированием для био-химического анализа; структурных элементов интегрально-оптических схем, формируемых при воздействии лазерного излучения; нанокompозитных материалов с сегнето-электрическими свойствами и со свойствами мультиферроиков, перспективных для магнитного хранения данных и спинтронных устройств; кварцoidных материалов с плазмонными структурами. Работа проводится при финансовой поддержке ПФИ Президиума РАН, ОХНМ РАН и РФФИ.

# СПЕКТРОСКОПИЯ ТЕРАГЕРЦЕВОГО ДИАПАЗОНА – МОЩНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

К.Н. Болдырев

*Институт спектроскопии РАН, Троицк*

Спектроскопия – один из самых распространённых и наиболее сильных экспериментальных методов изучения физики и химии твёрдого тела. Она позволяет напрямую «заглянуть» в мир атомов и молекул, электронов и ядер, наноразмерных и квантовых материалов. Так, при помощи спектроскопии можно наблюдать колебания и вращения атомов и молекул, анализировать зонную структуру полупроводников, исследовать электронные переходы в атомах и многое другое. В настоящее время существует огромное количество развитых спектроскопических методик. Однако в этой работе мы остановимся на спектроскопии терагерцового диапазона ( $\nu = 0,1 - 10$  ТГц или  $\lambda = 3 - 0,03$  мм), экспериментальная база которой недавно получила хорошее развитие, а также рассмотрим её использование на примере мультиферроиков  $RM_3(BO_3)_4$ , где R – один из редкоземельных элементов, M – Fe, Cr или Al. Будет показано, что в спектрах пропускания/отражения в ТГц области спектра можно наблюдать такие явления в твёрдых телах, как структурные и магнитные фазовые переходы, магнито- и электрострикцию, элементарные магнитные возбуждения, двулучепреломление, низкоэнергетичное электронное поглощение, сверхпроводящую щель классических и высокотемпературных сверхпроводников, а также выяснять природу этих явлений.



Структурный и магнитный фазовые переходы в спектрах  $EuFe_3(BO_3)_4$

## СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$

Д.А. Ерофеев<sup>1,2</sup>, Е.П. Чукалина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт спектроскопии РАН, Троицк

<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (ГУ)

$\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$  является новым мультиферроиком из семейства  $\text{RFe}_3(\text{BO}_3)_4$  ( $\text{R} = \text{Y}, \text{La-Lu}$ ) со структурой типа хантита (пространственная группа симметрии  $R32$ ). Редкоземельные ионы занимают позиции с точечной группой симметрии  $D_3$ . Для исследователей представляют интерес как физические свойства мультиферроиков (магнитные, магнитоэлектрические, магнитоупругие, оптические), так и возможность их применения в спинтронике, оптоэлектронике и в лазерах с перестраиваемой магнитным полем частотой. При температуре  $T_N \approx 33\text{K}$  ферроборат самария антиферромагнитно упорядочивается в легкоплоскостную магнитную структуру [1, 2]. Исследование магнитоэлектрических свойств  $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$  показало, что так же как и  $\text{NdFe}_3(\text{BO}_3)_4$ ,  $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$  имеет максимальную для ферроборатов величину электрической поляризации в магнитном поле, но даже и в отсутствие магнитного поля наблюдается не равная нулю электрическая поляризация [2]. Объяснение магнитных и магнитоэлектрических свойств  $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$  можно получить зная волновые функции иона  $\text{Sm}^{3+}$ . Их можно получить из расчёта по теории кристаллического поля, для которого необходимо знание шарковской структуры уровней иона  $\text{Sm}^{3+}$  в ферроборате самария.

Мы провели спектроскопическое исследование монокристаллов  $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$ . Прозрачные зеленые монокристаллы  $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$  хорошего оптического качества были выращены раствор-расплавным методом в Институте Физики им. Л.В. Киренского, г. Красноярск. Спектры пропускания в поляризованном свете ориентированных монокристаллов  $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$  были зарегистрированы на фурье-спектрометре Bruker IFS 125HR в спектральной области  $1000\text{-}23000\text{ см}^{-1}$  и в температурном диапазоне  $4,5\text{-}300\text{K}$  с помощью криостата замкнутого цикла Cryomech ST403. Проведена идентификация шарковских уровней  $\text{Sm}^{3+}$  иона в  $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$  для большинства мультиплетов в исследуемой спектральной области. Построена температурная зависимость периода интерференции в спектре плоскопараллельного образца, из анализа которой получены сведения о показателе преломления  $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$  в средней и ближней инфракрасных областях.

Работа поддержана грантами РФФИ (10-02-01071) и РАН (по программам фундаментальных исследований).

1. E.P. Chukalina, M.N. Popova, L.N. Bezmaternykh, I.A. Gudim, Physics Letters A 374 (2010) 1790-1792
2. A.A. Mukhin, G.P. Vorob'ev, V.Yu. Ivanov, A.M. Kadomtseva, A.S. Narizhnaya, A.M. Kuz'menko, Yu.F. Popov, L.N. Bezmaternykh, I.A. Gudim, JETP Letters, 2011, Vol. 93. No.5, pp. 275-281.

# ОПТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ КОБАЛЬТИТОВ $R\text{CoO}_3$

М.А. Кащенко, С.А. Климин

*Институт спектроскопии РАН, Троицк*

Кобальтиты являются сильно коррелированной электронной системой, в которой с температурой изменяется спиновое состояние кобальта и электрическая проводимость (переход металл-диэлектрик) [1,2]. Это находит свое отражение в оптических спектрах. Данная работа имеет своей целью нахождение взаимосвязи оптического пропускания и электрической проводимости в исследуемых объектах.

Спектры пропускания кобальтитов  $R\text{CoO}_3$  ( $R=\text{La, Eu, Sm}$ ) в различных спектральных областях и в широком температурном диапазоне были получены с использованием фурье-спектрометра Bruker IFS 125HR, нагревательной приставки и криостата Cryotech PT403. С повышением температуры пропускание всех образцов падает, что связано с ростом электрической проводимости. Из спектров была рассчитана глубина проникновения электромагнитного поля в зависимости от температуры. При условии  $\omega_p < \omega$  ( $\omega_p$ - плазменная частота,  $\omega$ - частота наблюдения) глубина проникновения описывается формулой

$$\Delta = c \sqrt{2\rho \frac{\epsilon_0}{\omega\mu_m}},$$

где  $\epsilon_0$ - абсолютная диэлектрическая проницаемость,  $\rho$  — удельное сопротивление,  $c$  — скорость света,  $\mu_m$  — относительная магнитная проницаемость. С использованием приведенной формулы и экспериментальных данных  $\Delta(T)$  получены зависимости  $\rho(T)$  для различных частот  $\omega$ . Проведено сравнение с литературными данными.

1. Tachibana M., et al., Phys. Rev. B., **77**, 094402 (2008).
2. Fujita T., et al., J. Phys. Soc. Japan, **73**, 1987 (2004).

## ПОГЛОЩЕНИЕ ГОЛЬМИЯ В $\text{Ho}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$

М.В. Нарожный, С.А. Климин  
*Институт спектроскопии РАН, Троицк*

Семейство соединений  $R_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ , где  $R$  – редкая земля (РЗ), со структурой пирохлора обладает необычными магнитными свойствами, обусловленными геометрической фрустрацией. В частности, в  $\text{Ho}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  и  $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  обнаружено необычное магнитное состояние, названное «спиновый лёд». Для существования этого состояния важно, какой тип анизотропии РЗ-иона реализуется в кристаллическом поле, а также, насколько велика энергетическая щель между основным дублетом и следующим штарковским уровнем РЗ-иона. В данной работе были измерены температурно-зависимые спектры поглощения  $\text{Ho}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$  с целью извлечения информации о штарковской структуре иона гольмия в кристаллическом поле титаната со структурой пирохлора.

Измерения в широкой области частот ( $4000\text{--}22000\text{ см}^{-1}$ ) и температур ( $4\text{--}350\text{ К}$ ) были проведены на фурье-спектрометре BRUKER IFS125HR при помощи криостата CRYOMECH PT403.

Проведен симметричный анализ. Показано, что центр РЗ иона, обладающий симметрией  $D_{3d}$  (с центром инверсии), характеризуется запретом на электродипольные переходы. Разрешенным является только магнитодипольный переход  $^5I_8 \rightarrow ^5I_7$ , а также переходы более высокой мультиплетности. Вследствие этого, сравнимыми по интенсивности становятся электронно-колебательные, а также кооперативные переходы. Проведен анализ полученных спектров поглощения. Извлечена информация о штарковской структуре мультиплета  $^5I_7$  и основного мультиплета  $^5I_8$ . Проведено сравнение полученных данных с имеющимися в литературе [1-3], в которых есть противоречия относительного первого возбужденного штарковского уровня гольмия. По нашим данным энергетическая щель с спектре гольмия составляет  $109\text{ см}^{-1}$ , что находится в согласии с работой [3].

Работа поддержана РФФИ (грант № 12-02-00858-а) и ОФН РАН.

6. Rosenkranz S., et al., J. Appl. Phys., 87, 5914 (2000).
7. Jana Y.M., et al., Phys. Rev. B, 61, 333, 9657 (2000).
8. Macalik L., et al., Optical Materials, 31, 790 (2009).

## МОРФОЛОГИЯ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ ОКСИДНЫХ ВАНАДИЕВЫХ БРОНЗ НАТРИЯ $\beta$ - $\text{Na}_{0.28}\text{V}_2\text{O}_5$

Е.Э. Дунаева, Л.И. Ивлева, К.В. Закутайлов, В.С. Петров, В.В. Осико  
*ФГБУН Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

Новый метод формирования наноструктур на подложке, использующий термоэлектрическую эмиссию атомов или атомных комплексов, предполагает создание активного зонда, обладающего эмиссионно – геттерными характеристиками [1].

В настоящей работе рассматриваются условия кристаллизации и приводятся характеристики монокристаллов оксидной ванадиевой бронзы натрия, как модельного материала для создания объемно-активных зондов, выполняющих эмиссионно-геттерные функции. Изучены особенности выращивания монокристаллов оксидных ванадиевых бронз натрия методом Чохральского из расплава состава  $\beta$ - $\text{Na}_{0.28}\text{V}_2\text{O}_5$ . Показана важная роль кислорода в процессах кристаллизации бронз. Приведены данные рентгенофазового и высокотемпературного рентгеноструктурного анализов и изучены морфологические особенности кристаллов  $\beta$ - $\text{Na}_{0.28}\text{V}_2\text{O}_5$  в зависимости от атмосферы выращивания. Исследована температурная зависимость электрической проводимости в интервале 20 – 500 °С, определены коэффициенты линейного расширения  $\beta$ - $\text{Na}_{0.28}\text{V}_2\text{O}_5$  и установлен температурный интервал стабильной работы активного зонда (20 – 190 °С).

Методом фотометрии с помощью растрового электронного микроскопа исследована реальная структура выращенных монокристаллов, как в воздушной атмосфере, так и в вакууме. Определены морфологические особенности ростовых граней для различных кристаллографических направлений. Для исследования упругих свойств и визуализации микроструктуры выращенных монокристаллов был применен ультразвуковой метод высокого разрешения [2].

Методом «Термополевой времяпролетной масс-спектрометрии» получены предварительные данные по испарению натрия в вакуум, которое контролируется электродиффузией натрия в монокристалле оксидной ванадиевой бронзы в интервале температуры 20 ÷ 300°С и ускоряющем напряжении до 300В. При нагревании бронз в вакууме также фиксировалось наличие массы 32 (кислорода).

Проведенные многочисленные экспериментальные исследования позволили оптимизировать условия получения монокристаллов оксидных ванадиевых бронз состава  $\beta$ - $\text{Na}_{0.28}\text{V}_2\text{O}_5$ .

1. L.I.Ivleva, V.V.Osiko, V.S.Petrov et al. Nanotechnologies in Russia, **6**, 5-6, 379-386 (2011).
2. K.V.Zakutailov, V.M.Levin, Yu.Petronyuk Inorg. Mat., **46**, 15, 1655-1661 (2010).

# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ НА ОСНОВЕ ПЛАЗМОННОГО НАНОКОМПОЗИТА

С.Г. Моисеев<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Ульяновский государственный университет, Ульяновск*

<sup>2</sup>*Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Ульяновск*

Благодаря композиционной структуре искусственные материалы (нанокомпозиты, метаматериалы) могут обладать уникальными оптическими характеристиками. Дисперсионные характеристики, электромагнитная однородность и анизотропия нанокомпозита контролируются посредством выбора используемых материалов, формы наночастиц и характера их распределения по объему композита. В настоящей работе теоретически предсказывается возможность применения нанокомпозита, представляющего собой прозрачную среду с взвешенными в ней наночастицами металла, в качестве материала для антиотражающих (светопоглощающих и просветляющих) покрытий, поляризующего сплиттера. Необходимые оптические свойства исследуемого нанокомпозита формируются благодаря плазмонному резонансу в наночастицах.

Показана возможность формирования единичного эффективного показателя преломления при умеренном поглощении (эффективный коэффициент экстинкции много меньше 1), что может быть использовано для изготовления эффективных светопоглощающих покрытий с неструктурированной поверхностью.

Предложен дизайн однослойного просветляющего оптического покрытия, которого позволит существенно ослабить френелевское отражение от поверхности легких стекол, поликарбоната, РММА и других оптических материалов, имеющих показатель преломления меньше 1.8. При неоднородном распределении металлических наночастиц по глубине покрытия эффект просветления удастся достичь для всей видимой области спектра.

Исследована поляризационная чувствительность отражательной и пропускной способности нанокомпозитного слоя с ориентационно упорядоченными металлическими включениями. На основе упорядоченного нанокомпозита предложен дизайн ультратонкого (толщиной порядка четверти длины световой волны) оптического поляризующего сплиттера, которые разделяет нормально падающий световой луч на отраженный и преломленный лучи, поляризованные во взаимно перпендикулярных плоскостях.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» Министерства образования и науки РФ.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗА ЦИРКОНИЙСОДЕРЖАЩИХ ПЛЕНОК МЕТОДОМ ЖИДКОФАЗНОЙ ЭПИТАКСИИ

И.В. Рандошкин, Е.Е. Ломонова, Н.В. Васильева, В.В. Воронов

*Отделение нанотехнологий, лаборатория ФИАНИТ*

*E-mail: AivenArd@gmail.com*

Одним из перспективных материалов для оптики, микро- и оптоэлектроники, приборостроения, высокотемпературной техники, энергетики, медицины является диоксид циркония ( $ZrO_2$ ), обладающий уникальными оптическими, механическими и электрическими характеристиками: это - изотропная оптическая среда с высоким показателем преломления и широкой спектральной областью пропускания, обладающая тугоплавкостью, большой твердостью, износостойкостью [1].

В настоящее время используются, главным образом, керамические и монокристаллические материалы на основе  $ZrO_2$ , а в последние годы интенсивно разрабатываются технологии и исследуются пленки этих материалов, для создания компактных устройств. Пленки на основе  $ZrO_2$  выращивают, главным образом, из газовой фазы методами: молекулярно-лучевой эпитаксии, лазерного, магнетронного или плазменного напыления. В литературе отсутствуют данные о получении (выращивании) пленок диоксида циркония методом жидкофазной эпитаксии (ЖФЭ).

Целью работы является исследование синтеза цирконийсодержащих пленок на подложках из монокристалла диоксида циркония стабилизированного оксидом иттрия с ориентацией  $\langle 100 \rangle$  методом ЖФЭ, исследование их оптических свойств и возможности легирования редкоземельными элементами.

Исследования эпитаксиального роста проводились из двух систем: 1) система  $PbO-B_2O_3-ZrO_2$  и 2) система  $PbO-B_2O_3-ZrO_2-Y_2O_3$ .

По данным рентгеноструктурного анализа в первой системе выросли эпитаксиальные пленки структуры типа перовскита состава  $PbZrO_3$ . Методом ЖФЭ такие пленки получены впервые. Этот материал перспективен для приборостроения. В зависимости от линейных размеров он может приобретать как сегнетоэлектрические, так и антисегнетоэлектрические свойства. Из второй системы выращены эпитаксиальные структуры, состоящие из хорошо ограненных монокристаллов с линейными размерами порядка 10 мкм. Спектры поглощения эпитаксиальных структур, полученных из системы 2, соответствуют спектрам поглощения подложек.

1. Кузьминов Ю.С. и др. Тугоплавкие материалы из холодного тигля /Ю.С. Кузьминов, Е.Е. Ломонова, В.В. Осико - М.: наука, 2004 - 369 с. - ISBN 5-02-002820-7

## ГИБРИДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ЛЮМИНОФОРОВ В НЕОРГАНИЧЕСКОЙ СТЕКЛЯННОЙ МАТРИЦЕ

О.Б. Петрова, Р.И. Аветисов, И.Х. Аветисов, О.А. Мушкало,  
А.В. Хомяков, А.Г. Чередниченко

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
Москва*

Прогресс в органической химии и нанотехнологии привел в настоящее время к большой популярности гибридных органо-неорганических материалов. Органические люминофоры показывают крайне высокую эффективность, однако, большинство из них нестойки на воздухе. Внедрение органических люминофоров в прозрачные неорганические матрицы может решить проблему деградации. В качестве неорганических матриц используют стекла [1,2], наносферы из оксида кремния [3], тонкие аморфные пленки [4], ксерогели [5], монокристаллы [6,7]. Сравнение люминесценции в материалах, легированных органическими металл-комплексами, с материалами, содержащими неорганические соединения этих же металлов, показали значительное (до 40% [4]) увеличение эффективности. Низкие температуры разложения органических компонентов ограничивают выбор методов получения гибридных материалов: все материалы в [1-5] получены различными модификациями золь-гель метода, монокристаллы [6,7] выращены из растворов. Использование этих методов приводит к повышенному содержанию –ОН групп в материале, и, соответственно, тушению люминесценции на колебаниях этих групп. Получение новых эффективных люминесцирующих органических металл-комплексов с высокими температурами разложения (выше 300 °С) позволяет синтезировать гибридные материалы на основе расплавной технологии стекла. В данной работе в качестве стеклянных матрицы использовались низкоплавкие боратные стекла, а в качестве органического люминофора металл-комплекс  $Alq_3$  (три-(8-гидрохинолят) алюминия) в концентрации 0,1-0,2 масс.%. Полученный гибридный материал прозрачен в видимой области, максимум спектра люминесценции - 443 нм, тогда как для  $Alq_3$  он составляет 513 нм. Такое смещение максимума может быть связано с получением в стекле высокотемпературной модификации  $Alq_3$  [8].

1. Sanza N., Baldeckb P.L., Ibane A. Synt. Metals. **115**, 229 (2000)
2. Innocenzi P., Martucci A., Guglielmi M. J.Non-Cryst. Solids. **259**, 182 (1999)
3. Huang C., Sun T, Tian W., Zhao B. J. Rare Earths. **24**, № 2, 134 (2006)
4. Hao X., Fan X., Wang M. Thin Solid Films. **353**, № 1-2, 223 (1999)
5. Fan X., Wang Z., Wang M. J.Lum. **99**, № 3, 247 (2002)
6. Watanabe T., Doki N., Yokota M., Shimizu K. Mat. APCCHE (2010)
7. Pritula I., Gayvoronsky V., Gromov Yu. Opt. Com. **282**, № 6, 1141 (2009)
8. Ghica C., Grecu M.N. J. Optoelectron. Advanc. Mater. **7**, № 6, 2997 (2005)

## СТЕКЛА И СТЕКЛОКЕРАМИКА В СИСТЕМЕ $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2\text{--Cr}_2\text{O}_3$

И.В. Степанова, Н.Г. Горащенко

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
Москва*

Стеклокерамика, содержащая фазу  $\text{Bi}_2\text{GeO}_5$ , обладает сегнетоэлектрическими и нелинейно-оптическими свойствами [1], поэтому ее получение представляется важной технологической задачей. Оксид хрома в составе стекла ускоряет процесс кристаллизации, а также влияет на электрические и оптические свойства стекол и стеклокерамики.

Исходные стекла  $1\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--}1\text{GeO}_2$ ,  $1\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--}1\text{GeO}_2\text{--}0,0002\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $1\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--}1\text{GeO}_2\text{--}0,001\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $1\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--}1\text{GeO}_2\text{--}0,002\text{Cr}_2\text{O}_3$  получали отливом расплава ( $T_{\text{пл}}=1100^\circ\text{C}$ ) на охлажденную металлическую подложку. Термическую обработку стекол проводили в интервале температур  $450\text{--}520^\circ\text{C}$ , как с применением переменного электрического поля, так и без него. Емкость и сопротивление образцов измеряли с помощью мостовой схемы Е7-12 с частотой 1 МГц в диапазоне  $25\text{--}500^\circ\text{C}$ , а также в области частот 20 Гц - 1 МГц при  $25^\circ\text{C}$ .

Исследование электрических характеристик исходных стекол показало, что добавление оксида хрома в количестве 0,0002 молей  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  снижает их проводимость относительно «чистого» стекла, а дальнейшее увеличение концентрации оксида хрома – незначительно повышает проводимость. Подобный эффект разнонаправленного влияния оксидов переходных элементов при изменении их концентрации наблюдали в [2] и связывали с перестройкой структуры стекла. В области  $515\text{--}535^\circ\text{C}$  диэлектрические характеристики всех стеклянных образцов претерпевают резкое изменение: рост сопротивления, снижение диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь. Полагаем, что при температурах выше  $T_g$ , под воздействием электрического тока, происходит интенсивная кристаллизация стекол с образованием сегнетоэлектрической фазы  $\text{Bi}_2\text{GeO}_5$ , которая в области  $510\text{--}535^\circ\text{C}$  переходит в параэлектрическое состояние.

Коротковолновый край поглощения стекла состава  $1\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--}1\text{GeO}_2$  лежит в области 440 нм. Добавление оксида хрома в количестве 0,0002 молей  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  сдвигает край поглощения в область коротких длин волн, что согласуется с результатами электрических измерений. Термическая обработка хромсодержащих стекол приводит к сдвигу края поглощения в длинноволновую часть спектра и изменению интенсивности полос поглощения, вследствие перераспределения ионов хрома между стеклянной матрицей и кристаллической фазой.

1. Pengpat K., Holland D. Journal of the European Ceramic Society **23**, 1599–1607 (2003)
2. G.Srinivasarao, N.Veeraiah. Journal of Physics and Chemistry of Solids **63**, 705-717 (2002)

# ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ СТЕКОЛ СИСТЕМЫ $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-GeO}_2$ МЕТОДОМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-СКАНИРУЮЩЕЙ КАЛОРИМЕТРИИ

С.В. Красильников, Н.Г. Горащенко

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
Москва*

В обычных установках дифференциального термического анализа (ДТА) используются большие массы изучаемого материала, что вызывает неоднородное распределение температурного градиента и, как следствие, снижает повторяемость, точность и достоверность измерений. Метод дифференциальной сканирующей калориметрии, благодаря использованию высокочувствительных сенсоров, требует минимальных навесок исследуемого вещества, а особенность конструкции прободержателей с низким температурным сопротивлением позволяет исследовать не только в мелкодисперсные вещества, но и объемные материалы. Вышеперечисленные факторы делают ДСК не только качественным, но и прецизионным количественным анализом. Современные термические анализаторы, при условии корректной калибровки по чувствительности и температуре позволяют достоверно описать температурные интервалы и с высокой точностью определить тепловые эффекты фазовых превращений, происходящих при термообработке стекла.

Стекла системы  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-GeO}_2$  представляют научный интерес благодаря тому, что на их основе были получены прозрачные стеклокристаллические материалы эквивалентные по составу монокристаллам силико- и германоэвлитина [1].

В данной работе изучали кинетику кристаллизации стекол состава  $\text{Bi}_4(\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x})_3\text{O}_{12}$ , где  $x = 0.5, 0.25, 0.75$ . С целью учета влияния на процесс атмосферы, ДСК анализ проводили как на воздухе, так и в атмосфере аргона. Определены температурные интервалы стеклования и кристаллизации и изменение теплоемкости после их завершения. Калибровка чувствительности по стандартным материалам позволила определить тепловые эффекты процессов кристаллизации. На основе этих данных методом Борхарда-Дэниелса определены константы скоростей кристаллизации и значения энергий активаций этих процессов

Полученные данные позволяют определить оптимальный режим термообработки стекол исследуемого состава для получения материала с максимальным содержанием необходимой кристаллической фазы.

1. Ворончихина М.Е., Горащенко Н.Г., Цветков В.Б., Кучук Ж.С. Стекло системы  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2$  и прозрачная стеклокерамика на его основе// Стекло и керамика, №2, 2011. – с. 11-15

# НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАГНИТНЫЕ СТЕКЛООБРАЗНЫЕ ПОРИСТЫЕ МАТРИЦЫ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩЕЙ ОКСИДНОЙ НАТРИЕВО-БОРОСИЛИКАТНОЙ СИСТЕМЫ

О.А. Пщенко, Т.В. Антропова, И.А. Дроздова, И.Г. Полякова

*Институт химии силикатов им. И.В.Гребенщикова РАН, С-Петербург*

В связи с интенсивным развитием современных технологий микроэлектроники актуальной задачей является получение композиционных материалов с элементами наноструктурирования, которые обеспечивают их уникальные функциональные свойства [1]. Одним из перспективных путей решения этой проблемы является использование искусственных пористых матриц с нанометровыми каналами, в которые внедряют различные вещества. К наиболее интересным системам, получаемым таким методом, относятся нанокompозиты, которые обладают свойствами мультиферроиков [2].

Целью работы явилось создание новых магнитных нанопористых матриц в результате сквозного химического травления двухфазных натриевоборосиликатных стекол, модифицированных оксидами железа [3], и исследование структуры исходных двухфазных стекол и пористых матриц методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и рентгенофазового анализа (РФА). В двухфазных стеклах на фоне двухкаркасной структуры обнаружены включения нанометровых частиц и сферолитов микронных размеров (Рис. 1, а).

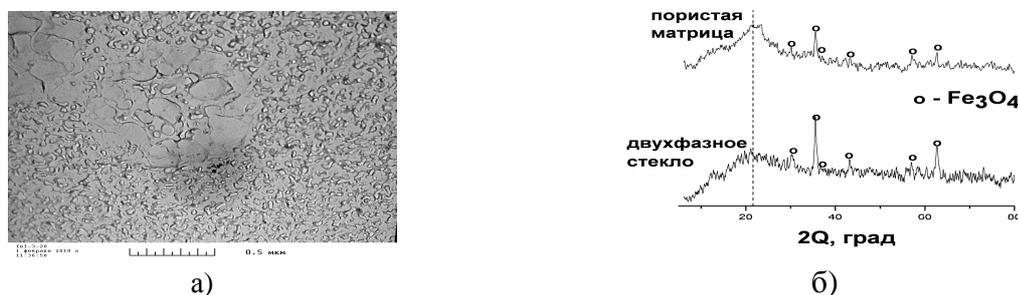


Рис. 1. Типичные ПЭМ фотографии (а) и дифрактограммы (б) изученных двухфазных и полученных из них пористых матриц

Синтезированы пористые матрицы состава  $0.7\text{Na}_2\text{O}-4.9\text{B}_2\text{O}_3-91.7\text{SiO}_2-2.2\text{Fe}_2\text{O}_3-0.4\text{FeO}$  со средним размером пор 5 нм [4]. Выявлено присутствие кристаллической фазы магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и в исходных двухфазных стеклах, и в полученных из них пористых матрицах (рис. 1, б).

Работа при поддержке РФФИ (проект № 11-03-00747а).

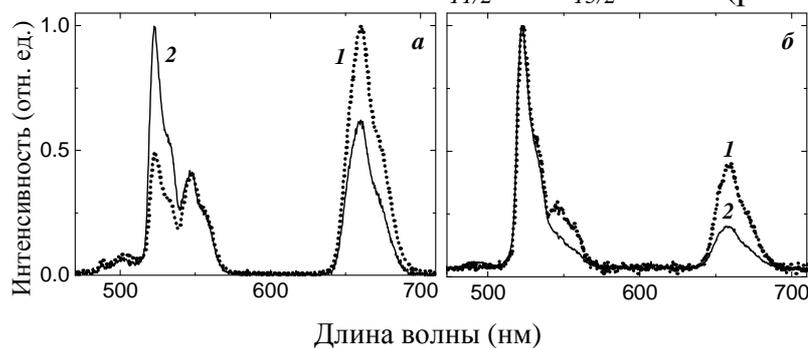
1. Третьяков Ю.Д., Гудилин Е.А. // Успехи химии. **78** (9), 2009, 867 - 888.
2. Акбашев А.Р., Кауль А.Р. // Успехи химии. **80** (12), 2011, 1211- 1230.
3. Столяр С.В., Анфимова И.Н., И.А. Дроздова, Т.В. Антропова // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии. **9** (2), 2011, 433 - 440.
4. Пщенко О. А., Антропова Т. В., Анфимова И. Н., Лурье С. В., Костырева Т. Г. // Тезисы докладов на XIV Междунар. научно-техн. конференции «Наукоемкие химические технологии-2012», 20 – 24 мая 2012, Тула.

# ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ИК-ИЗЛУЧЕНИЯ СТЕКЛОКЕРАМИКОЙ СИСТЕМЫ $\text{SiO}_2-(\text{Er}_x\text{Yb}_{1-x})_2\text{O}_3$

В.В. Ковгар<sup>1</sup>, Г.Е. Малашкевич<sup>1</sup>,  
И.А. Ходасевич<sup>1</sup>, А.А. Суходола<sup>1</sup>, Е.В. Пестряков<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова*  
*Национальной академии наук Беларуси, Минск*  
<sup>2</sup>*Институт лазерной физики Сибирского отделения*  
*Российской академии наук, Новосибирск*

Прямым золь-гель методом синтезированы плёночные и монолитные стеклокерамические образцы с наночастицами  $(\text{Yb}_{1-x}\text{Er}_x)_2\text{O}_3$ . Оптимизирована технология получения монолитной стеклокерамики с концентрацией  $\text{Ln}_2\text{O}_3 \sim 20$  масс % достаточно высокой прозрачности. Установлено, что в спектре люминесценции  $\text{Yb}$ -содержащей стеклокерамики помимо основной интенсивной полосы, соответствующей переходу  ${}^2F_{5/2} \rightarrow {}^2F_{7/2}$ , присутствует полоса кооперативной люминесценции ионов  $\text{Yb}^{3+}$  на удвоенной частоте данного перехода. В спектре люминесценции образцов, соактивированных ионами  $\text{Yb}^{3+}$  и  $\text{Er}^{3+}$ , при возбуждении через ионы иттербия полоса кооперативной люминесценции исчезает и появляются три полосы  ${}^2H_{11/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$  ( $\lambda \approx 522$  нм),  ${}^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$  ( $\lambda \approx 547$  нм) и  ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$  ( $\lambda \approx 660$  нм) антистоксовой люминесценции ионов  $\text{Er}^{3+}$ , относительная интенсивность которых зависит от удельной мощности ( $P$ ) ИК-возбуждения (рис. 1а)

Стеклокерамические плёнки характеризуются высокой адгезией к кварцевой подложке и могут содержать до 30 масс %  $\text{Ln}_2\text{O}_3$ , однако их прозрачность по сравнению с монолитными образцами значительно ниже. В спектре антистоксовой люминесценции этих плёнок также присутствуют указанные полосы, относительные интенсивности которых в зависимости от  $P$  ведут себя аналогичным образом с той лишь разницей, что относительная интенсивность полосы  ${}^2H_{11/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$  выше (рис. 1б).



$$\lambda_{\text{exc}} \approx 980 \text{ нм. } P = 7 \cdot 10^5 \text{ (1) и } 3.5 \cdot 10^5 \text{ Вт/см}^2 \text{ (2)}$$

Рис. 1. Спектры антистоксовой люминесценции монолитных (а) и плёночных (б) образцов стеклокерамики  $\text{SiO}_2-(\text{Yb}_{1-x}\text{Er}_x)_2\text{O}_3$

Определены поперечные сечения рассмотренных полос люминесценции, а также скорости заселения и распада соответствующих энергетических состояний. Проанализированы перспективы использования подобных материалов.

# СВИНЦОВО-ФТОРОСИЛИКАТНЫЕ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, АКТИВИРОВАННЫЕ $\text{Nd}^{3+}$ , $\text{Er}^{3+}$ и $\text{Yb}^{3+}$

О.Б. Петрова<sup>1</sup>, А.В. Хомяков<sup>1</sup>, В.Е. Шукшин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва*

<sup>2</sup>*Учреждение Российской академии наук Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

Стеклокристаллические материалы (СКМ) на основе стекол в системе  $\text{PbF}_2\text{-PbO-SiO}_2$ , легированные РЗЭ, могут быть перспективны в фотонике и лазерной технике. Такие материалы сочетают технологичность оксидных стекол и спектрально-оптические свойства фторидных кристаллов с низкочастотным фононным спектром. Активированные  $\text{Er}^{3+}$  свинцово-силикатные стекла и прозрачные СКМ широко исследуются в качестве материалов как для ИК-лазеров (длина волны излучения  $\sim 1500$  нм), так и для ап-конверсионных лазеров с излучением в видимой области ( $\sim 550$  нм) [1-4], причем эффективность ап-конверсии зависит от окружения иона  $\text{Er}^{3+}$ .

Целью нашей работы было получение СКМ в системе  $\text{PbF}_2\text{-PbO-SiO}_2$  с кубической кристаллической фазой  $\beta\text{-PbF}_2$  и эффективным вхождением РЗЭ в эту кристаллическую фазу. Были синтезированы свинцовые фторсиликатные (и, для сравнения, силикатные) стекла с различным соотношением компонентов ( $50\text{PbO-50SiO}_2$ ,  $50\text{PbF}_2\text{-50SiO}_2$ ,  $67\text{PbO-33SiO}_2$ ,  $67\text{PbF}_2\text{-33SiO}_2$ ,  $33\text{PbF}_2\text{-33PbO-33SiO}_2$ ), активированные 1 моль.% РЗЭ ( $\text{Nd}^{3+}$ ,  $\text{Er}^{3+}$  или  $\text{Yb}^{3+}$ ), исследованы их механические, термические, оптические и спектральные свойства. Контуры линий поглощения и люминесценции имеют стандартный для стекол вид [4-6], однако, имеются различия в спектрах оксидных и оксифторидных стекол.

Кристаллизацию стекол проводили при температурах, близких к температуре кристаллизации, определенной ДТА. Выделяющиеся кристаллические фазы исследовали методами РФА и КРС. После кристаллизации микротвердость всех составов увеличилась, а показатели преломления уменьшились, что связано с выделением кристаллических фаз с меньшим показателем преломления, чем исходное стекло. Спектры люминесценции СКМ представляют собой суперпозицию не менее двух типов люминесцентных линий.

1. Qiao X., Fan X., Wang M., Zhang X. Opt. Mater. 27 597 (2004),
2. Xu S., Yang Z., Dai S., Yang J., Hu L., Jiang Z. J. All.Comp. 361, 313 (2003)
3. Kawamoto Y., Kanno R., Qiu J. J. Mater. Science 33, 63 (1998)
4. Zeng F., Ren G., Qiu X., Yang Q., Chen J. J. Non-Cryst. Solids 354, 3428 (2008)
5. Courrol L.C., Kassab L.R.P., Cacho V.D.D., Tatumi S.H., Wetter N.U. J. Lum. 102-103, 101 (2003)
6. Dai N., Hu L., Yang J., Dai S., Lin A. J. All.Comp. 363, 1 (2004).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНИЦ РАЗДЕЛА «МАТРИЦА–НАПОЛНИТЕЛЬ» В ММКМ AlSiC МЕТОДАМИ РЭМ и СЗМ

К.Н. Нищев, В.П. Мишкин, М.В. Вилкова, М.И. Новопольцев  
*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

Ключевой проблемой силовой электроники является повышение эффективности теплоотводов силовых IGBT модулей. Перспективным решением этой проблемы является использование в качестве материала для изготовления теплоотводов силовых модулей металломатричного композиционного материала (ММКМ) на основе алюминиевого матричного сплава, армированного наполнителем – частицами SiC.

Исследуемые образцы ММКМ AlSiC были изготовлены методом вакуумно-компрессионной пропитки пористой заготовки из смеси порошков SiC расплавом матричного алюминиевого сплава [1, 2]. Измерения проводили на растровом электронном микроскопе «Quanta 200 I 3D» и сканирующем зондовом микроскопе «SPM 9600».

С целью получения информации о микроструктуре границ раздела «матрица-наполнитель» исследовали топографию поверхности и элементный состав шлифов и изломов ММКМ AlSiC. При этом показано, что изломы образцов ММКМ AlSiC происходят путем хрупкого разрушения зерен карбида кремния и пластического разрушения материала матричного сплава, находящегося между зёрнами наполнителя. Этот факт свидетельствует о значительной адгезии материала матрицы на границах «матрица-наполнитель» и высокой механической прочности ММКМ AlSiC.

С использованием энергодисперсионной приставки РЭМ проведен элементный анализ границ раздела «матрица-наполнитель» ММКМ AlSiC. В пределах излома зерен карбида кремния выявлены лишь кремний и углерод. На границе зерен SiC отмечен резкий (ступенчатый) рост содержания алюминия, что указывает на отсутствие заметной диффузии элементов или химического взаимодействия материалов матрицы и наполнителя композита.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по договору №13.G25.31.0030 в рамках реализации Постановления Правительства РФ от 9.04.2010 г. №218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

1. Каблов Е.Н., Чибиркин В.В., Вдовин С.М., Гращенков Д.В., Щетанов Б.В., Прокофьев С.А., Мускатинов В.Г., Нищев К.Н. Устройство для получения изделия из металломатричного композиционного материала. Патент на полезную модель № 110310, 20.11.2011.
2. Е.Н. Каблов, В.В. Чибиркин, С.М. Вдовин, Б.В. Щетанов, А.А. Шавнев, С.А.Прокофьев, А.Н.Няфкин, Б.В.Пряжников. Способ получения изделия из композиционного материала. Патент на изобретение. №2448808. Оpubл. 27.04.2012.Бюл.№12.

СПЕКТРОСКОПИЯ ЦЕПОЧЕЧНЫХ НИКЕЛАТОВ  $R_2\text{BaNiO}_5$   
( $R=\text{Dy}, \text{Ho}$ ): ШТАРКОВСКИЕ УРОВНИ, ОСОБЕННОСТИ  
МАГНИТНОГО УПОРЯДОЧЕНИЯ

А.С. Галкин, С.А. Климин

*Институт Спектроскопии РАН, Троицк*

$\text{Dy}_2\text{BaNiO}_5$  и  $\text{Ho}_2\text{BaNiO}_5$  принадлежат к семейству цепочечных никелатов с общей формулой  $R_2\text{BaNiO}_5$  ( $R$  = редкоземельный (РЗ) элемент). Магнитное упорядочение в системе взаимодействующих РЗ- и никелиевой одномерной магнитных подсистем было исследовано методами магнитной восприимчивости и рассеяния нейтронов. В то же время известно, что особенности низкотемпературного поведения зачастую связаны со штарковской структурой основного мультиплета РЗ иона, информацию о которой можно получить из оптических измерений. Следует отметить, что в  $\text{Ho}_2\text{BaNiO}_5$  недавно был обнаружен магнитоэлектрический эффект [1], проявление которого также возможно увидеть при исследовании спектроскопическими методами.

В данной работе мы представляем результаты сравнительного исследования диспрозиевого и гольмиевого никелатов с целью изучения антиферромагнитного упорядочения, объяснения низкотемпературных особенностей восприимчивости, поиска проявлений магнитоэлектрических взаимодействий. Спектры пропускания исследуемых образцов были зарегистрированы в широком спектральном диапазоне 2000-20000  $\text{cm}^{-1}$  со спектральным разрешением от 1 до 0.1  $\text{cm}^{-1}$  на фурье-спектрометрах BOMEM DA3.002 и Bruker 125HR в интервале температур от 4 до 300 К.

Были определены положения штарковских уровней для доступных по энергии мультиплетов ионов  $\text{Dy}^{3+}$ ,  $\text{Ho}^{3+}$ . Магнитное упорядочение исследовано на основании температурной зависимости расщепления основного состояния для крамерсова иона  $\text{Dy}^{3+}$  и квазидублета основного состояния для некрамерсова иона  $\text{Ho}^{3+}$ . Показано, что нижние штарковские подуровни основного состояния ответственны за особенности в температурной зависимости магнитной восприимчивости и теплоемкости для данных соединений. Сдвиги уровней, наблюдаемые при магнитном упорядочении, могут быть связаны с проявлением магнитоупругих и магнитоэлектрических взаимодействий.

Работа поддержана РФФИ (грант № 12-02-00858-а) РАН (по программам фундаментальных исследований).

1. G. Nénert and T. T. Palstra, Phys. Rev. B **76** (2007) 024415.

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ЖЕЛЕЗА НА МОРФОЛОГИЮ ГРАНЕЙ  
КРИСТАЛЛОВ ЦИНКА-АММОНИЯ СЕРНОКИСЛОГО  
( $Zn(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ )

А.Д. Гортинская, В.Н. Портнов

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород*

Морфология граней кристаллов очень чувствительна к условиям роста, в частности, сильно зависит от состава кристаллообразующей среды. [1]. Наличие случайных примесей в веществе и растворителе часто не дают возможности вырастить однородные и совершенные кристаллы [2].

Целью работы является интерферометрическое исследование морфологии граней  $\{hkl\}$  кристаллов  $Zn(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  из раствора, в котором проводился синтез вещества и из растворов с введением в него ионов железа. Кроме того вводилось щелочное вещество  $NaHCO_3$ . Для синтеза использовались  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  марки Ч, и  $(NH_4)_2SO_4$  марки ЧДА и дистиллированная вода. Проводилось выращивание кристаллов [3] из растворов с разным содержанием примесей и наблюдались особенности морфологии граней.

Кристаллы, выращиваемые из раствора для синтеза, были ограненные, но неоднородные, не прозрачные. Добавление  $NaHCO_3$  к раствору того же состава позволяет получать хорошо образованные прозрачные кристаллы с визуально гладкими гранями. Эти результаты были подтверждены с помощью интерферометра. Введение в раствор соли  $Fe_2SO_4 \cdot 9H_2O$ , уже содержащий  $NaHCO_3$ , затрудняет получение однородных кристаллов. Соответственно, в первом случае картина интерференции наблюдается на отдельных участках и имеет зигзагообразные линии. Во втором, наблюдались прямые линии интерференции, подтверждающие отсутствие макроступеней. В третьем случае получается промежуточная картина интерференции, отражающая наличие макроступеней и других неровностей.

1. Г.Г. Лемлейн. Морфология и генезис кристаллов. М.: Наука, 1973, с. 328.
2. Н.Н. Шефталъ, Сб. Рост кристаллов изд-во АН СССР, М.:1957, с. 1-30.
3. А.В. Белюстин //Кристаллография.1961. Т. 6, вып. 5, С. 807-808.

# КОРРЕКТИРОВКА ПРОФИЛЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ МОДУЛЬНЫХ РЕНТГЕНООПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.В. Марков, В.Н. Трушин

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород*

Создание коллимирующих и фокусирующих элементов – важнейшие задачи рентгеновской оптики. Для того, чтобы отражающая поверхность этих элементов приняла заданный профиль, используют различные методы, среди которых одним из наиболее популярных является упругий изгиб [1]. На результат управления рентгеновским излучением, помимо геометрических искажений, влияет отклонение локальной кривизны изгиба, вызванное микронеровностями и другими факторами. В связи с этим, актуальным является развитие адаптивных методов, позволяющих корректировать сходимость рентгеновских пучков путем управления профилем кристалла. В работе исследуется возможность управления формой параболического зеркала, представляющего собой модульный элемент (МЭ), состоящий из основания и тонких вставок, размещаемых с противоположной стороны от рабочей поверхности. Начальное поле деформаций и напряжений ( $\sigma_0$ ) формируется за счёт разности коэффициентов теплового расширения ( $\alpha$ ) основания и вставок. Изменяя температуру, а так же положение и размеры вставок, можно заданным образом формировать профиль зеркала. При моделировании значения тензора смещений  $\mathbf{U}$  определялись из уравнений равновесия, теплопроводности и обобщённого закона Гука:

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} (\varepsilon_{kl} - \alpha \Delta T) + \sigma_{0ij}, \quad (1)$$

где  $\sigma$ ,  $\varepsilon$ ,  $C$  – тензоры напряжений, деформаций и жёсткости соответственно. На рис.1 показано уменьшение кривизны поверхности МЭ при увеличении температуры.

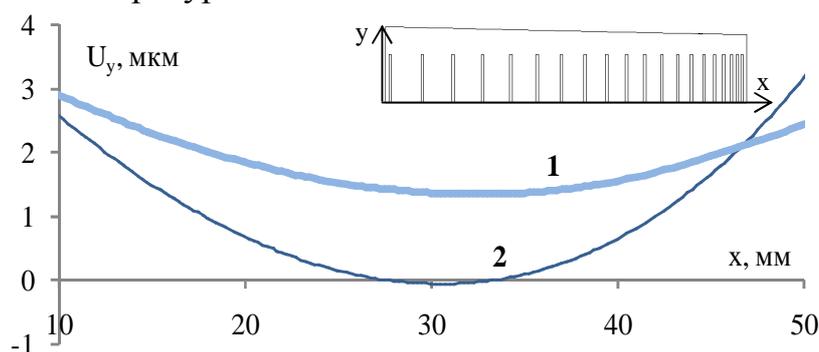


Рис. 1 МЭ с 20 вставками, расположенными по параболическому закону, и координатная зависимость тензора смещений его параболической поверхности при нагревании: 1 – до 50°, 2 – до 20°С.

1. Stedman M., Stedman M., Winick H., Brown G. Stanford Linear Accelerator Center. SSRL Report No.78/04 – 1978.– P.VII142

## ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОКСИДА ФОСФОРА НА КРИСТАЛЛИЗАЦИЮ СТЕКОЛ В СИСТЕМЕ $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$

Э.Ю. Великанова, Н.Г. Горащенко

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
Москва*

Висмутсиликатные стекла состава, совпадающего с составом минерала силикоэвлитина ( $2\text{Bi}_2\text{O}_3\cdot 3\text{SiO}_2$ ), перспективны для использования в качестве сцинтилляционных материалов для изготовления  $\gamma$ -детекторов.

Замена в исходной шихте оксида кремния на эквивалентное количество оксида фосфора, являющегося классическим стеклообразователем, а также применяемого в качестве катализатора при кристаллизации стекол, позволяет существенно снизить температуры плавления стекломассы и получить стеклокерамику с высоким содержанием (до 80%) кристаллической фазы  $\text{Bi}_4\text{Si}_3\text{O}_{12}$ .

Экспериментально подобраны условия стеклокерамики на основе стекол, содержащих от 1 до 22 мол.%  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Термообработку исходных стекол проводили в интервале температур  $350\text{-}600^\circ\text{C}$ . Исходные стекла в зависимости от содержания  $\text{P}_2\text{O}_5$  имели окраску от красного до светло-желтого цвета.

В процессе кристаллизации стекол, наряду с  $\text{Bi}_4\text{Si}_3\text{O}_{12}$ , возможно образование кристаллической фазы  $\text{BiPO}_4$ . Образование кристаллитов  $\text{BiPO}_4$  зависит как от времени и температуры термообработки, так и от содержания в исходной шихте оксида фосфора. С ростом концентрации оксида фосфора от 1 до 22 % мол. содержание  $\text{BiPO}_4$  в стеклокерамике линейно возрастает от 30 до 70%. В процессе обработки при  $420^\circ\text{C}$  от 5 до 10 ч. все образцы остаются прозрачными. При этом в них образуется до 80% кристаллической фазы  $\text{Bi}_4\text{Si}_3\text{O}_{12}$ . Термообработка стекол в течение 5 ч. при  $420^\circ\text{C}$  приводит к их осветлению (красные стекла приобретают желтую окраску, желтые - светло-желтую). При времени термообработки более 5,5 ч. в образцах начинается образование кристаллической фазы- $\text{BiPO}_4$ . Интенсивность окраски при этом усиливается. Термообработка при  $480^\circ\text{C}$  в течение 1 ч. ведет к частичной потере прозрачности и изменению окраски образцов - красная окраска переходит в темно-красную, желтая - в бело-желтую. Содержание гексагональной кристаллической фазы  $\text{BiPO}_4$  в образцах достигает 70%. Размер кристаллитов колеблется от 30 до 45 мкм. С ростом температуры термообработки размеры и объемное содержание кристаллитов  $\text{BiPO}_4$ , возрастают, а количество основной фазы- $\text{Bi}_4\text{Si}_3\text{O}_{12}$  снижается, происходит полная потеря прозрачности образцов. По сравнению со стеклами, показатели преломления прозрачных стеклокристаллических образцов после длительной термообработки при  $420^\circ\text{C}$  выше, край поглощения сдвигается в длинноволновую область спектра, коэффициенты поглощения возрастают, что может быть связано с окислительно-восстановительными и кристаллизационными процессами.

## ФРАКТОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА AlSiC

В.Ю. Илюшкин, В.П.Мишкин, К.Н.Нищев

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

Актуальной для силовой электроники является проблема повышения эффективности отвода тепла, выделяемого в процессе работы электронных компонентов. Одним из направлений решения этой проблемы является использование в качестве материала теплоотводящих оснований силовых полупроводниковых приборов композиционных материалов, в частности, металломатричного композиционного материала (ММКМ) AlSiC [1]. AlSiC – металломатричный композит, состоящий из мелкодисперсных частиц карбида кремния, включенных в матрицу алюминиевого сплава. Он обладает низкой плотностью и высокой механической прочностью, совмещает в себе высокую теплопроводность и управляемое тепловое расширение. В данной работе исследовались образцы AlSiC, полученные с использованием технологии вакуумно-компрессионной пропитки [2, 3].

С использованием пакета программ ImageScope проведен фрактографический анализ РЭМ изображений поверхностей изломов и шлифов образцов ММКМ AlSiC, приготовленных на основе порошков SiC двух фракционных составов (F220, 0,5F150+0,5M10) и пяти алюминиевых матричных сплавов (Al, 0,5Al+0,5AK5, AK5, AK7, AK12). Проведен статистический анализ распределения зерен SiC на изломах и шлифах ММКМ AlSiC. При построении гистограмм учитывались зерна с размерами, превышающими 10 мкм. Определены суммарные площади зёрен SiC и средние размеры зёрен SiC для различных составов матрицы композита.

Выявлены значительные различия фракционного состава образцов ММКМ AlSiC, полученных на основе разных матричных сплавов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ по договору №13.G25.31.0030 в рамках реализации Постановления Правительства РФ от 9.04.2010 г. №218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

3. Ken Gilleo, Ph.D. - MEMS/MOEMS Packaging Concepts, Designs, Materials, and Processes - McGraw-Hill Nanoscience and Technology Series, 2005.
4. Каблов Е.Н., Чибиркин В.В., Вдовин С.М., Гращенков Д.В., Щетанов Б.В., Прокофьев С.А., Мускатинов В.Г., Нищев К.Н. Устройство для получения изделия из металломатричного композиционного материала. Патент на полезную модель № 110310, 20.11.2011.
5. Е.Н. Каблов, В.В. Чибиркин, С.М. Вдовин, Б.В. Щетанов, А.А. Шавнев, С.А.Прокофьев, А.Н.Няфкин, Б.В.Пряжников. Способ получения изделия из композиционного материала. Патент на изобретение. №2448808. Оpubл. 27.04.2012.Бюл.№12.



# **ЛАЗЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

## РОСТ КРИСТАЛЛОВ ИЗ РАСПЛАВА В УСЛОВИЯХ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ВИБРАЦИЙ

Е.В. Жариков

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН*

В докладе обсуждается выращивание кристаллов из расплава при воздействии низкочастотных вибраций малой амплитуды, которые вводятся в жидкую фазу или с помощью погруженного инертного тела или непосредственно через растущий кристалл. Данный метод, получивший название метода аксиальных низкочастотных вибраций (АНВ), представляет собой новый подход к выращиванию кристаллов из жидкой фазы (расплава или раствора). Например, в конфигурации метода Бриджмена погруженное в жидкость тело, находящееся вблизи от границы раздела кристалл - расплав, вибрирует с частотой десятки Гц и амплитудой десятки - сотни микрон, индуцируя в расплаве макроскопические (сечением порядка 1 см и более) конвективные потоки. В конфигурации метода Чохральского сам кристалл играет роль вибрирующего тела, которое контактирует с поверхностью расплава и производит подобные интенсивные вибрационные течения в жидкости. Вдругом использовавшимся нами варианте вибровоздействие в методе Чохральского осуществляется с помощью погруженного в расплав осциллирующего диска, который подведен под растущий кристалл. При этом такая конфигурация представляет собой некую комбинацию вибрационных методов Чохральского и Бриджмена.

Введение низкочастотных аксиальных вибраций в жидкую фазу производит мощные и разнообразные воздействия на ростовую систему. Прежде всего, это позволяет организовать прецизионное управление тепло-массопереносом в расплаве и создавать желаемые градиенты температуры на поверхности раздела твердое - жидкое. Другими словами, это дает возможность контролировать кинетику и скорость роста кристалла. Эта вибрационная технология позволяет подавить осцилляции температуры на фронте кристаллизации, делает возможным варьировать толщину пограничных слоев, управлять вхождением примеси и ее распределением по диаметру и длине кристалла. Введение вибраций приводит к заметному увеличению теплового эффекта кристаллизации расплава, что связывается с изменением степени ассоциации компонентов расплава.

В противоположность широко применяемому методу вращающегося магнитного поля метод АНВ может быть использован в случае неэлектропроводящих расплавов, что расширяет возможность его применения при разработке технологий конкретных диэлектрических материалов. Метод аксиальных низкочастотных вибраций успешно применяется при выращивании как низкотемпературных так и тугоплавких диэлектрических и полупроводниковых кристаллов.

## ЭФФЕКТИВНЫЕ И МОЩНЫЕ ЛАЗЕРЫ ДВУХМИКРОННОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН НА ОСНОВЕ КЕРАМИКИ $Tm:Lu_2O_3$ С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

О.Л. Антипов<sup>1</sup>, А.А. Новиков<sup>1</sup>, А.П. Зиновьев<sup>1</sup>, А.А. Лагатский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

<sup>2</sup>*Университет Сэнт-Андрюс, Сэнт-Андрюс, Англия*

Лазеры двухмикронного диапазона длин волн (1.9-2.1 мкм) привлекают внимание исследователей, поскольку они имеют множество применений в медицине (хирургии, урологии, офтальмологии, ангиопластике, артроскопии и т.д.), дистанционном зондировании атмосферы и экологическом мониторинге, технологиях обработки пластиков и других областях. Кроме того, лазеры на длине волны более 2 мкм являются идеальным источником накачки параметрических генераторов света (ПГС) на основе кристаллов  $ZnGeP_2$  для преобразования в средний ИК диапазон.

В последние годы появились сообщения о лазерной генерации в кристаллах полупрозрачных оксидов, активированных ионами  $Tm^{3+}$ :  $Tm:Lu_2O_3$  и  $Tm:Sc_2O_3$ , в которых при диодной накачке на 800 нм удаётся получить мощную и эффективную генерацию на длинах волн 2067 нм и 2116 нм, соответственно [1]. К сожалению, изготовление таких монокристаллов затруднено из-за высокой температуры плавления (~2450 °С). Альтернативным методом изготовления активных элементов на основе полупрозрачных оксидов является спекание керамики. К настоящему времени известны лазеры на основе керамики из полупрозрачных оксидов  $Lu_2O_3$ ,  $Sc_2O_3$ ,  $Lu_2O_3$ , активированных ионами  $Yb^{3+}$ ,  $Nd^{3+}$ ,  $Ho^{3+}$  [2,3]. В настоящем докладе приведён обзор результатов исследований лазеров на основе новой лазерной керамики  $Tm:Lu_2O_3$ , проведённых авторами [4-6].

Были исследованы структурные, оптические и спектроскопические свойства керамики  $Tm:Lu_2O_3$  с концентрацией ионов  $Tm^{3+}$  1 или 2 ат. % (изготовленной компанией “KonoshimaChemicalsCo.”, Япония). Средний размер зерна (кристаллита) керамики составил ~0,54-0,56 мкм. Исследования спектра поглощения в видимом и ближнем ИК диапазонах показали возможность накачки на длинах волн коммерчески доступных лазерных диодов 796 нм и 810 нм; хорошее пропускание керамики в среднем ИК диапазоне распространяется до 7 мкм. Исследования спектра люминесценции в диапазоне 1,75-2,2 мкм при накачке лазерным диодом на 796 нм показали наличие сильных линий с максимумами на 1942 нм, 1965 нм и 2065 нм. Различными методами измерялись также времена релаксации возбуждённых состояний ионов  $Tm^{3+}$ . Эллипсометрические измерения и оценка показателя величины преломления дали значения  $n \approx 1,94$  на длине волны накачки 800 нм и  $n \approx 1,92$  на длине волны 2,07 мкм. Методом динамических решёток были исследованы термооптические

характеристики новой керамики: коэффициент теплопроводности, в частности, оказался равен  $12.1 \pm 0.5$  Вт/(м К).

Получена лазерная генерация в диапазоне длин волн 2030-2100 нм в керамике Tm:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с диодно-лазерной накачкой (на длине волны 796 нм или 811 нм). Реализованы и исследованы режимы непрерывной и импульсно-периодической генерации. Мощность непрерывной генерации достигала 34 Вт при дифференциальной эффективности до 44% и полной эффективности до 32%. Исследование спектра генерации показало его изменение в зависимости от пропускания выходного зеркала и мощности накачки в интервале длин волн 2060-2094 нм (без использования специального частотного селектора).

С использованием акустооптического затвора реализована импульсно-периодическая генерация в лазере на керамике Tm:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (режим активной модуляции добротности). Длительность импульсов генерации составляла 100-150 нс при частоте повторения 3-20 кГц. Средняя мощность излучения достигала 7 Вт при высокой стабильности (нестабильности импульсной энергии менее 7%). С использованием насыщающегося поглотителя из Cr<sup>2+</sup>:ZnSe реализована пассивная модуляция добротности.

С использованием полупроводникового насыщающегося поглотителя (SESAM) на основе гетероструктуры InGaAsSb с ионной имплантацией реализована синхронизация мод в лазере на керамике Tm:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. При этом получена генерация спектрально-ограниченных импульсов длительностью ~180 фс на длине волны 2076 нм со средней мощностью до 400 мВт при частоте повторения 121.2 МГц. Большая средняя мощность - до 750 мВт, достигнута для импульсов длительностью ~382 фс. Генерация фемтосекундных импульсов реализована в спектральном интервале 2030-2100 нм.

Исследована возможность нелинейно-оптического преобразования излучения лазера на керамике Tm:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в средний ИК диапазон. В ПГС на основе нелинейно-оптического элемента ZnGeP<sub>2</sub> при накачке излучением лазера на керамике Tm:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> получена генерация излучения, перестраиваемого в интервале 3,5-3,9 мкм (сигнальная волна) и 4,4-5,0 мкм (холостая волна).

1. P. Koopmann, S. Lamrini, K. Scholle, P. Fuhrberg, K. Petermann, and G. Huber, "Efficient diode-pumped laser operation of Tm:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> around 2 μm," Opt. Lett. **36**, 948-950 (2011).

2. M. Tokurakawa, A. Shirakawa, K. Ueda, H. Yagi, T. Yanagitani, A. A. Kaminskii, "Diode-pumped sub-100 fs Kerr-lens mode-locked Yb<sup>3+</sup>:Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic laser," Opt. Lett. **32**, 3382-3384 (2007).

3. G. A. Newburgh, A. Word-Daniels, A. Michael, L. D. Merkle, A. Ikesue, and M. Dubinskii, "Resonantly diode-pumped Ho<sup>3+</sup>:Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic 2.1 μm laser," *Opt. Express***19**, 3604–3611 (2011).

4. О.Л. Антипов, С.Ю. Головкин, О.Н. Горшков и др., "Структурные, оптические и спектроскопические свойства и эффективная двухмикронная лазерная генерация в новой лазерной керамике Тm:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>", *Квантовая электроника*, Том 41, № 10, 863-868 (2011).

5. O.L. Antipov, A.A. Novikov, N.G. Zakharov, and A.P. Zinoviev, "Optical properties and efficient laser oscillation at 2066 nm of novel Tm:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramics," *Optical Material Express*, v. **2**, 183-189 (2012).

6. A.A. Lagatsky, O.L. Antipov, W. Sibbett, "Broadly tunable femtosecond Tm:Lu<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic laser operating around 2070 nm," *Optics Express* (will be published in 2012)

# ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕРХЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПЕРЕХОДОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ИОНОВ В ОКСИДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Ц.А. Рябочкина

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

Работы по выявлению связи между спектроскопическими интегральными характеристиками примесного редкоземельного иона активатора (силами осцилляторов f-f переходов, параметрами интенсивности) и особенностями его локального окружения в кристаллической матрице известны ещё с 60-х годов прошлого столетия [1-5]. В этих работах отмечается, что в различных соединениях (кристаллах, стеклах, растворах) имеются внутрицентровые межмультиплетные f-f переходы РЗ ионов, которые в большей степени по сравнению с другими f-f переходами, чувствительны к окружению РЗ иона и типу лигандов. Соответствующие переходы, получившие название сверхчувствительных, удовлетворяют следующим условиям: 1) для них справедливы правила отбора  $\Delta J \leq 2$ ,  $\Delta L \leq 2$ ; 2) матричный элемент  $U^{(2)}$  для этих переходов отличен от нуля и значительно выше аналогичных значений для других переходов данного РЗ иона. При этом следует отметить, что систематический анализ интенсивностей переходов РЗ ионов в различных классах лазерных кристаллов с целью выявления физических механизмов, обеспечивающих наиболее высокие значения интенсивностей сверхчувствительных внутрицентровых межмультиплетных f-f переходов РЗ ионов в этих материалах, в настоящее время не проводился.

В данной работе представлены результаты систематического исследования и сравнительного анализа интенсивностей сверхчувствительных переходов РЗ ионов в оксидных лазерных кристаллах со структурой граната, двойных вольфраматов (молибдатов), ортованадатов, активированных РЗ ионами. Предложены и обсуждаются механизмы, обеспечивающие высокие значения внутрицентровых межмультиплетных сверхчувствительных f-f переходов РЗ ионов в данных классах лазерных кристаллов.

1. Judd B.R. // Phys. Rev. 1962. V. 127. № 3. P 750-761.
2. Judd B.R.// Lanthanide and actinide chemistry and spectroscopy. 1980. №7. P. 267-274.
3. Krupke W. // Phys. Rev. 1966. V.145. №1. P.325.
4. Н.А. Казанская. Оптика и спектроскопия. 1970. Т. 29. 1100.  
By Robert D. Peacock// J. Chem. Soc. 1972. V.68. № 1.P.169-173

## ПАРАМАГНИТНЫЕ ЦЕНТРЫ В ГРАНАТАХ И ОРТОАЛЮМИНАТАХ: ЭПР-ИССЛЕДОВАНИЯ

Г.Р. Асатрян

*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург*

В работе приведены основные результаты исследования методом электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) лазерных материалов и сцинтилляторов, полученные автором в течение длительного времени. Это, монокристаллы гранатов,  $Y_3Al_5O_{12}:Zr^{3+}$ ,  $Dy^{3+}$ ,  $Er^{3+}$ ,  $Ce^{3+}$ ,  $Eu^{2+}$ ,  $Y_3Sc_2Al_3O_{12}:Mo^{3+}$ ,  $Ca_3(NbGa)_5O_{12}:Er^{3+}$ , смешанные гранаты  $(Y_{1-x}Lu_x)_3Al_5O_{12}:Mo^{3+}$ ,  $Er^{3+}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ),  $YAlO_3:Er^{3+}$ ,  $Nd^{3+}$ ,  $Ce^{3+}$  и смешанные ортоалюминаты  $Y_{(1-x)}Lu_xAlO_3:Ce^{3+}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ).

$Y_3Al_5O_{12}:Zr^{3+}$ . Ионы  $Zr^{3+}$  замещают  $Y^{3+}$  в додекаэдрических узлах решетки, образуя при этом молекулярный комплекс  $ZrO_8$ . Определены параметры кристаллического поля и спинового гамильтониана. Вычислены также значения факторов редукции орбитального момента, указывающие на значительный вклад ковалентности.

$YAlO_3:Er^{3+}$ ,  $Nd^{3+}$  и  $Ce^{3+}$ . Определена локализация ионов, найдены главные значения  $g$  – тензора и константы сверхтонкого взаимодействия для нечетных изотопов для  $Nd^{3+}$  и  $Er^{3+}$  в исследованных соединениях. Обнаружено, что ориентации локальных магнитных осей парамагнитных центров относительно кристаллографических направлений в монокристаллах  $YAlO_3$  зависят от типа редкоземельного иона.

$YLuAG$ ,  $YScAG$ ,  $YLuAP$ . Обнаружен ряд новых, по сравнению с  $YAG$  и  $YAP$ , парамагнитных центров  $Mo^{3+}$ ,  $Er^{3+}$  и  $Ce^{3+}$ , обусловленных изменением симметрии и величины кристаллического поля при изоморфных замещениях в иттриевой подрешетке этих материалов. Показано, что в  $Y_3Sc_2Al_3O_{12}$  ионы  $Sc^{3+}$ , помимо октаэдрических,  $a$  – узлов, замещают также ионы  $Y^{3+}$  в додекаэдрических узлах.

$Y_3Al_5O_{12}$ ,  $Ca_3(NbGa)_5O_{12}:Er^{3+}$ . Исследованы спектры ЭПР от основного и термически заселенного первого возбужденного состояния ионов  $Er^{3+}$ . При переходе от  $YAG$  к КНГГ два нижних дублета меняются местами. В КНГГ обнаружено нарушение симметрии додекаэдрического узла ( $Ca^{2+} \rightarrow Y^{3+}$ ) из-за разупорядочения структуры.

$Y_3Al_5O_{12}:Dy^{3+}$ ,  $Eu^{2+}$ . В монокристаллах иттрий алюминиевого граната зарегистрированы спектры ЭПР ионов  $Dy^{3+}$  и  $Eu^{2+}$  и однозначно интерпретированы на основании четко наблюдаемой магнитной сверхтонкой структуры от нечетных изотопов  $^{161}Dy$ ,  $^{163}Dy$ ,  $^{151}Eu$  и  $^{153}Eu$ .

$Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ . Обнаружены новые, по сравнению с  $YAG$ , линии ЭПР ионов  $Ce^{3+}$  малой интенсивности, примерно на 2 – 3 порядка. Эти сигналы обусловлены теми ионами церия в  $c$  – узлах, в окружении которых нарушена регулярность решетки. В  $YAG$  стехиометрического состава такими нарушениями могут быть несвойственные замещения ионов  $Al^{3+}$  ионами  $Y^{3+}$  в октаэдрических узлах, так называемые “антисайт” дефекты.

# СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ НЕЛИНЕЙНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

П.Г. Зверев

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

Нелинейное преобразование в твердотельных средах позволяет получать лазерное излучение в новых спектральных областях, которые недоступны для стандартных лазерных источников. Генерация второй и высших частот лазерного излучения, параметрическое преобразование света [1], вынужденное комбинационное рассеяние [2] позволяют перекрыть спектральный диапазон от ультрафиолетового до инфракрасного. В первых двух случаях для эффективного преобразования требуется выполнение условий фазового синхронизма. Разработка материалов с периодической модуляцией показателя преломления позволили упростить создание генераторов частот для конкретных длин волн и упростить конструкции нелинейных преобразователей.

Широкий выбор кристаллических материалов для вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) позволяет получать стоксовы сдвиги кратные фиксированным значениям энергии ВКР-активных фононных мод. Различные спектральные параметры ВКР-активных комбинационных мод позволяют выбирать среды для получения эффективного ВКР преобразования в нано и микросекундном диапазоне длительностей импульсов (стационарный ВКР), а так же для пикосекундных импульсов (нестационарный ВКР), перекрыть спектральную область от ближнего УФ до среднего ИК спектральных диапазонов.

Твердотельные среды обладают высокими нелинейными и тепловыми свойствами, поэтому твердотельные нелинейные преобразователи могут работать с высокими средними и пиковыми мощностями. В докладе обсуждаются схемные решения и представлены параметры созданных твердотельных нелинейных преобразователей. Представлено сравнение различных нелинейных методов нелинейного преобразования частоты лазерного излучения.

1. R. W. Boyd, *Nonlinear Optics*, 2<sup>nd</sup> ed., Academic press, (2003).
2. Т. Т. Басиев, В. В. Осико, *Успехи химии*, **75**, (10) (2006).

# НЕЛАЗЕРНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ И СПЕКТРОСКОПИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ КРИСТАЛЛОВ ДВОЙНЫХ ФТОРИДОВ С РЕДКИМИ ЗЕМЛЯМИ

Д.С. Пыталев

*Институт спектроскопии РАН, Троицк, Московская обл.*

В первой части доклада проводится обзор кристаллов двойных фторидов, активированных редкоземельными ионами, с точки зрения их новых применений в науке и технике: лазерное охлаждение твердых тел [1], источники белого цвета [2], преобразователи частоты излучения для солнечных батарей [3] и квантовая память на сверхтонких подуровнях энергии редкоземельного иона [4].

Во второй части на конкретном примере кристалла двойного фторида  $\text{KYF}_{10}:\text{Ho}^{3+}$  рассматривается использование метода широкодиапазонной фурье-спектроскопии высокого разрешения в исследовании особенностей структуры штарковских уровней редкоземельного иона, играющей важную роль в упомянутых выше применениях.

1. Seletskiy D., Melgaard S., Bigotta S., Lieto A., Tonelli M., Sheik-Bahaе M. *Nature Photonics* **4** 161 (2010).
2. Toncelli A., Bonelli L., Faoro R., Parisi D., Tonelli M. *Opt. Mater.* **31** 1205(2009).
3. Serrano D., Braud A., Doualana J.-L., Camy P., Benayad A., Ménard V., Moncorgé R. *Opt. Mater.* **33** 1028 (2011).
4. Ohlsson N., Mohan R.K., Kröll S. *Opt. Commun.* **201** 71 (2002).

## ПРИМЕНЕНИЕ НАНОПОРИСТЫХ СТЕКОЛ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНАРНЫХ ВОЛНОВОДОВ

М.А. Гирсова<sup>1</sup>, Т.В. Антропова<sup>1</sup>, И.Н. Анфимова<sup>1</sup>, Г.К. Костюк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт химии силикатов им. И.В.Гребенщикова*

*Российской академии наук (ИХС РАН), Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург*

Пористое стекло (ПС) – это высококремнеземный стеклообразный материал с губчато-корпускулярной структурой, получаемый из двухфазных щелочноборосиликатных оксидных стекол путем их сквозного химического травления. ПС обладают термической устойчивостью, прозрачностью в видимой области спектра, лучевой прочностью в сочетании с регулируемыми характеристиками структуры пор нанометрового диапазона. Управление пространственным распределением пор ПС, а также характеристиками каркаса ПС, и, вследствие этого, их оптическими свойствами, позволяет получать планарные волноводы (ПВ) с заданными характеристиками [1, 2], которые могут найти применение в интегральной оптике, микроэлектронике, оптоэлектронике. Технология изготовления ПВ на базе ПС основана на локальном термоуплотнении ПС при воздействии лазерного излучения [3, 4].

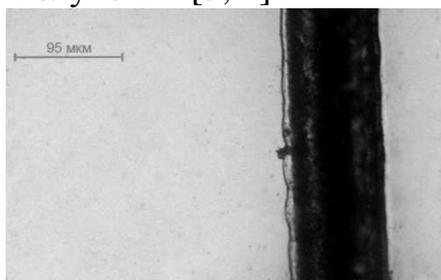


Рис. 1. Планарный волновод на подложке из пористого стекла.

В работе было исследовано формирование ПВ при воздействии излучения СО<sub>2</sub>лазера на поверхности и в объеме пластин ПС(рис. 1). Для стабилизации характеристик ПВ проводили спекание ПС в печи до полного схлопывания пор и получения кварцоподобного стекла.

Работа выполняется в рамках проектов ПФИ Президиума РАН № 24 и ОХНМ-02 РАН.

1. Антропова Т.В., Вейко В.П., Костюк Г.К., Гирсова М.А., Анфимова И.Н., Чуйко В.А., Яковлев Е.Б. Физика и химия стекла, **38** (5) 2012 (в печати).

2. Антропова Т.В., Анфимова И.Н., Вейко В.П., Гирсова М.А., Костюк Г.К., Яковлев Е.Б. Заявка 2011 131639 от 27.07.2011.

3. Вейко В.П., Костюк Г.К., Роскова Г.П., Цехомская Т.С., Чуйко В.А., Яковлев Е.Б. Л.: Изд. ЛДНТП, 1988. – 20 с.

4. Streltsov A., Borrelli N., Dickinson J., et.al. Proceedings of SPIE, **7366**, 73661I (2009).

## ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕКОЛ СОСТАВА $(2-x)\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 2x\text{Bi} \cdot 3\text{SiO}_2$

Е.Л. Егорова, Н.Г. Горащенко, М.Е. Ворончихина  
*Российский химико-технологический университет  
им. Д.И. Менделеева, Москва*

Стекла на основе оксида висмута, наряду с высокими плотностью, показателем преломления и радиационной стойкостью обладают фоторефрактивными, сцинтилляционными и другими уникальными свойствами, сочетание которых делает их перспективными для использования во многих областях техники [1, 2]. Кроме того, после восстановления в водороде в висмутсиликатных стеклах развивается высокая поверхностная проводимость. Поскольку проводимость таких стекол сильно зависит от температуры, их используют в криогенных датчиках [3].

Целью данной работы является получение и исследование стёкол состава, соответствующего составу силикоэвлитина  $2\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ , но с частичной заменой оксида висмута на металлический висмут. Добавление металлического висмута может способствовать созданию восстановительных условий непосредственно в процессе варки стекла на воздухе.

В качестве исходных компонентов были использованы  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  и металлический  $\text{Bi}$  в следующих соотношениях:  $(2-x)\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 2x\text{Bi} \cdot 3\text{SiO}_2$ , где  $x=0$ ; 0,01; 0,05; 0,1; 0,5. Навески исходных реактивов перетирали в агатовой ступке, и проводили твердофазный синтез при температуре  $760^\circ\text{C}$ . Полученную шихту плавил при температуре  $1100^\circ\text{C}$ . После варки расплав выливали на металлическую подложку.

Полученные стекла не имели видимых включений кристаллической фазы. Стекла состава  $(2-x)\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 2x\text{Bi} \cdot 3\text{SiO}_2$ , где  $x=0,05$  и меньше, были прозрачными и имели более светлую окраску по сравнению со стеклами, не содержащими металлический висмут. При дальнейшем увеличении концентрации висмута получались более темные и непрозрачные стекла. Непрозрачность этих стекол связана с образованием включений металлического висмута, равномерно распределенных в объеме и наблюдаемых с помощью оптического микроскопа.

Исследованы некоторые физико-химические свойства полученных стёкол: показатель преломления, микротвёрдость, плотность, электрические свойства и оптические спектры поглощения стёкол (измерение проводилось на оборудовании Центра коллективного пользования РХТУ им. Д.И. Менделеева).

Установлено, что добавление металлического висмута приводит к изменению исследованных свойств, свидетельствующему о прохождении именно восстановительных процессов в системе. Например, с увеличением концентрации металлического висмута показатель преломления и плотность уменьшаются. На спектрах поглощения стекол присутствует полоса поглощения в области 450-500 нм, интенсивность которой с увеличением концентрации металлического висмута уменьшается.

1. М. Е. Ворончихина, Н. Г. Горащенко, В. Б. Цветков. Техника и технология силикатов. № 4. 2010.

2. M. Ishii, K. Harada, Y. Hirose et al. Optical Materials. 19. 2002.

3. V. Kusz, K. Trezebiatowski. J. Non-Cryst. Solids. 319. 2003.

## ЛОКАЛЬНАЯ МОДИФИКАЦИЯ ПОРИСТЫХ СИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СЛАБО ПОГЛОЩАЕМОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Г.К. Костюк<sup>1</sup>, М.М. Сергеев<sup>1</sup>, Т.В. Антропова<sup>2</sup>, И.Н. Анфимова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург*

<sup>2</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Трудового Красного Знамени Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова Российской академии наук, Санкт-Петербург*

Обработка оптически прозрачных материалов под действием лазерного излучения получила интенсивное развитие в последние десятилетия. Широкое применение находит локальная модификация стекла, как на поверхности, так и в его объеме, которая является следствием физико-химических и структурно-фазовых изменений (в том числе, изменения оптических свойств) стекла в области фокусировки лазерного излучения.

В настоящем докладе представлены результаты исследования возможности получения различных модифицированных областей (МО) с измененными оптическими свойствами на поверхности и в объеме нанопористого силикатного стекла, по своим характеристикам близкого к плавленому кварцу, при лазерном облучении с различной интенсивностью и длинами волн излучения, которые слабо поглощаются, не вызывая нагрев стекла в области воздействия.

Методы формирования МО, предложенные в экспериментальной части исследований, позволяют получать:

- сферические микрообласти с отличным от пластины стекла показателем преломления, способные рассеивать, преломлять и фокусировать падающее излучение;
- локальное спекание на поверхности стекла, обусловленное формированием спеченного и переходного слоев в области фокусировки лазерного излучения.

На заключительной стадии обработки все пористые стекла вместе с МО подвергались спеканию в печи до получения кварцоидного стекла, что необходимо для сохранения и стабилизации оптических характеристик и МО, и пластины стекла. В связи с этим не менее важным является сохранение как самих МО, так и их основных оптических характеристик.

В зависимости от параметров лазерного облучения и метода формирования МО размер последних может варьироваться от нескольких десятков до нескольких сотен мкм.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного контракта № 11.519.11.4017, ПФИ Президиума РАН № 24 и ОХНМ-02 РАН.

## ЛИНЕЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ТАРТРАТОВ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ

А.П. Гажулина, Н.Ю. Иванов, М.Л. Лабутина, М.О. Марычев  
*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород*

Самосогласованные вычисления электронной структуры и линейных оптических свойств кристаллов  $\text{SnC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ ,  $\text{MnC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SrC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{BaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ ,  $\text{CaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CoC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_4\text{HC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ ,  $\text{FeC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{PbC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ , базирующиеся на FP-LAPW методе [1, 2], были проведены с использованием пакета WIEN2k [3]. Элементарная ячейка разбивалась на две области. Разложение по сферическим гармоникам использовалось внутри непересекающихся сфер с радиусом  $R_{\text{MT}}$  (MT-сфер), в промежуточной же области использовался базисный набор плоских волн. Уравнения Кона-Шема [4] решались с использованием базиса линейных присоединенных плоских волн (LAPW). Для достижения сходимости собственных значений энергии волновые функции в промежуточных областях разлагались по плоским волнам с границей  $K_{\text{max}}=7/R_{\text{MT}}$ , где через  $R_{\text{MT}}$  обозначен наименьший радиус атомной MT-сферы, а  $K_{\text{max}}$  дает максимальное значение модуля вектора  $\mathbf{K}$  в разложении плоских волн. Для обменно-корреляционного потенциала использовали обобщенное градиентное приближение в виде, предложенном Perdew – Burke – Einzenhof [5]. Условием сходимости самосогласованных вычислений являлась неизменность полной энергии системы с точностью до  $10^{-4}\text{Ry}$  (Ry – энергия Ридберга). Получены спектры мнимой и действительной части диэлектрической проницаемости, спектр отражательной способности  $R(\omega)$ , спектр коэффициентов поглощения  $I(\omega)$ , спектр коэффициентов экстинкции  $k(\omega)$ , показатели преломления  $n(\omega)$ , функция потерь энергии электронов  $L(\omega)$  и оптическая проводимость  $\sigma(\omega)$ . Спектры оптических констант для полученных кристаллов тартратов ряда металлов были рассчитаны в интервале от 0 до 14 эВ.

1. Abt R., Ambrosch-Draxl C., Knoll P. // PhysicaB. 1994. P. 194—196.
2. Ambrosch-Draxl C., Sofo J. // Comp. Phys. Comm. 2006. V. 175. 1.
3. Blaha P., Schwarz K., Madsen G., Kvasnicka D., Luitz J., WIEN2k, An Augmented Plane Wave + Local Orbitals Program for Calculating Crystal Properties (Karlheinz Schwarz, Techn. Universität Wien, Austria), 2001. ISBN 3-9501031-1-2.
4. Kohn W., Sham L. J. // Physical Review. 1965. V. 140(4A). P. 1133.
5. Perdew J.P., Burke S., Ernzerhof M. Phys. Rev. Lett. 1996. V. 77. N. 18. P. 3865-3868.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО ЛАЗЕРА СО СВЕРХКОРОТКОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ ИМПУЛЬСОВ

О.А. Образцова, О.Р. Ахтямов, Э.К. Кучаев, Е.Ю. Гордеев,  
А.С. Низамутдинов, В.В. Семашко

*Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Казань*

Генерация пикосекундных импульсов УФ излучения на межконфигурационных  $4f^{n-1}5d-4f^n$ -переходах редкоземельных ионов в широкозонных диэлектрических кристаллах наиболее просто реализуется путем использования переходных процессов в лазерных генераторах [1]. Длительность и период следования импульсов определяется динамическим равновесием между инверсной населенностью и плотностью фотонов, циркулирующих в лазерном резонаторе, и могут управляться путем изменения времени жизни фотонов в резонаторе.

В настоящей работе реализована схема низкодобротного лазерного генератора и регенеративного усилителя. Эксперименты по получению последовательности ультракоротких импульсов были проведены на образце кристалла  $\text{LiLu}_{0,7}\text{Y}_{0,3}\text{F}_4$  активированном ионами  $\text{Ce}^{3+}$  и  $\text{Yb}^{3+}$ . В качестве источника излучения накачки образца  $\text{LiLu}_{0,7}\text{Y}_{0,3}\text{F}_4:\text{Ce}^{3+}+\text{Yb}^{3+}$  использовался лазер на кристалле  $\text{LiCaAlF}_6:\text{Ce}^{3+}$ . Был получен цуг субпикосекундных импульсов длительностью порядка 750-800пс. Период следования импульсов в цуге составлял 1,59нс, что соответствует времени двойного обхода резонатора. Дальнейшие исследования, вероятно, позволят добиться лазерной генерации одиночного импульса пикосекундной длительности.

1. Sarukura, N. Direct Passive Subnanosecond-Pulse Train Generation from a Self-Injection-Seeded Ultraviolet Solid-State Laser / N.Sarukura, Z.Liu, Y.Segawa, V.V.Semashko, A.K.Naumov, S.L.Korableva, R.Yu.Abdulsabirov, and M.A.Dubinskii // Opt.Lett. – 1995. - V.20, N.6. - P.599-602.

## СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДВОЙНЫХ МОЛИБДАТОВ И ВОЛЬФРАМАТОВ СО СТРУКТУРОЙ ШЕЕЛИТА

Г.М. Кузьмичева<sup>1</sup>, А.В. Еремин<sup>1</sup>, В.Б. Рыбаков<sup>2</sup>, К.А. Субботин<sup>3</sup>,  
Е.В. Жариков<sup>3</sup>, Д.А. Лис<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Московская государственная академия тонкой химической технологии

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

<sup>3</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук

Одним из важных преимуществ кристаллов со структурой шеелита является высокая вероятность электродипольных межштарковских переходов в этих кристаллах, в результате которых повышается интенсивность полос люминесценции и оптического поглощения. Анализ известных значений, доступных для прямых измерений параметров (пиковое сечение поглощения и время жизни люминесценции) позволяет проследить тенденцию к заметному увеличению вероятности таких переходов в двойных шеелитоподобных молибдатах по сравнению с соответствующими вольфрамиатами. Причиной такой тенденции может быть более высокая интенсивность электронно-колебательного взаимодействия между редкоземельным ионом и ближайшим окружением – тетраэдрами молибдена – по сравнению с тетраэдрами вольфрама и/или более высокая степень искажения координационных полиэдров, окружающих редкоземельный активатор. Выявление степени искажения координационных полиэдров в двойных вольфрамиатах и молибдатах различного состава и сопоставление их между собой позволит остановиться на одной из предложенных причин.

Цель настоящей работы – исследование специфики строения фаз  $\text{NaR}(\text{MO}_4)_2$ , где  $\text{R}^{3+}$  – редкоземельные ионы,  $\text{M}^{6+}$  –  $\text{W}^{6+}$ ,  $\text{Mo}^{6+}$ .

В работе проанализированы структурные характеристики как номинально чистых кристаллов  $\text{NaGd}(\text{WO}_4)_2$ ,  $\text{NaGd}(\text{MoO}_4)_2$ ,  $\text{NaLa}(\text{WO}_4)_2$ ,  $\text{NaLa}(\text{MoO}_4)_2$ , так и активированных ионами редкоземельных элементов (как известные из литературных данных, так и полученные нами). Полученные результаты показали, что степень искажения координационных полиэдров зависит не только от вида катиона в тетраэдрической позиции (ионы  $\text{W}^{6+}$  и  $\text{Mo}^{6+}$ ), но и от катиона  $\text{R}^{3+}$  в додекаэдрической позиции. Отсюда следует, что нельзя сделать общий вывод, что у молибдатов с разными катионами  $\text{R}^{3+}$  в додекаэдрической позиции степень искажения полиэдров больше, чем у аналогичных вольфрамиатов, т.е. разная величина удельной интенсивности люминесценции не может быть объяснена только различиями в степенях искажения полиэдров. Сопоставляя структурные характеристики  $\text{AMoO}_4$  ( $\text{A}^{2+}=\text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$ ) и  $\text{NaR}(\text{MO}_4)_2$  можно сделать вывод об отсутствии полной аналогии в их кристаллохимическом поведении, т.е. замена катиона А на «катион» ( $\text{NaR}$ ), даже если средневзвешенный радиус катионов в додекаэдрической позиции одинакового размера с А, неравнозначна.

## СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И ГЕНЕРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЛАЗЕРНОЙ ФТОРИДНОЙ КЕРАМИКИ $\text{CaF}_2:\text{Tm}$

А.А. Ляпин<sup>1</sup>, П.А. Рябочкина<sup>1</sup>, С.Н. Ушаков<sup>2</sup>, П.П. Федоров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

<sup>2</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова, Москва

В последние десятилетия разработали технологию получения оксидной керамики высокого оптического качества [1]. Данный материал имеет ряд преимуществ по сравнению с аналогичным по составу монокристаллу, которые заключаются в возможности создания образцов больших размеров с равномерным распределением иона активатора, образцов с градиентом концентрации ионов активаторов, а также получения лазерных материалов из тех веществ, для которых выращивание монокристаллов затруднено.

В настоящее время актуальной задачей является разработка технологии получения фторидной лазерной керамики. Имеется ряд публикаций, в которых исследовались структурные и спектрально-люминесцентные свойства фторидной керамики активированной редкоземельными ионами, полученной методом горячего формования (метод глубокой пластической деформации) [2, 3].

Целью настоящей работы является исследование спектрально-люминесцентных и генерационных свойств фторидной керамики  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$ . Был выполнен сравнительный анализ спектрально-люминесцентных характеристик монокристаллов и керамики соответствующего состава, в ходе которого выявлено, что они аналогичны друг другу.

На рисунке 1 представлена оптическая схема лазера для получения и исследования генерации на переходе  ${}^3\text{F}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$  ионов  $\text{Tm}^{3+}$  в керамике  $\text{CaF}_2$ -4 мол. %  $\text{TmF}_3$ .

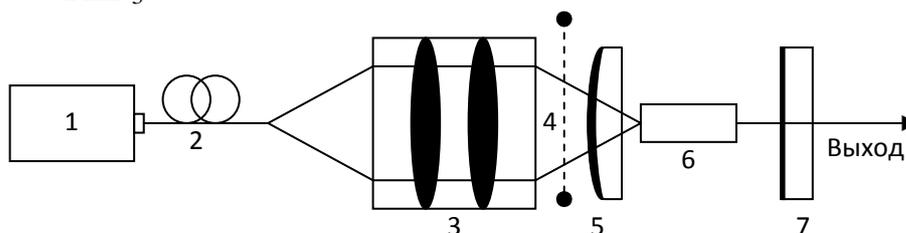


Рис.1. Оптическая схема лазера на керамике  $\text{CaF}_2$ -4 мол. %  $\text{TmF}_3$ . 1-линейка лазерных диодов, 2-оптическое волокно, 3-объектив, 4-обтюратор, 5-входное зеркало, 6-активный элемент, 7-выходное зеркало.

Лазерная генерация на переходе  ${}^3\text{F}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$  ионов  $\text{Tm}^{3+}$  в керамике  $\text{CaF}_2$ -4 мол. %  $\text{TmF}_3$  была получена на длине волны  $\lambda_{\text{ген.}}=1898$  нм.

1. Takaichi K., Lu J.R., Murai T. et al. Japanese Journal of Applied physics part 2-letters. 41 (2A), L96, (2002).

2. Акчурун М.Ш., Гайнутдинов Р.В., Гарибин Е.А. Перспективные материалы. 5, 5-12 (2010).

3. Большиков Ф.А, Гарибин Е.А, Гусев П.Е. и др. Квантовая электроника. 41(3) , 193–197 (2011).

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В СЛОЖНЫХ МОЛИБДАТАХ, АКТИВИРОВАННЫХ ТРЕХВАЛЕНТНЫМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ

М.Д. Зимин, Е.В. Милютина, Н.М. Кожевникова, Е.Ф. Мартынович  
*Иркутский филиал Института лазерной физики СО РАН, Иркутск*  
*Иркутский государственный университет, Иркутск*  
*Байкальский институт природопользования СО РАН, Улан-Удэ*

В данной работе были измерены спектры люминесценции трёхвалентных редкоземельных ионов Nd, Er и Yb в новых образцах, синтезированных в Байкальском институте природопользования СО РАН.

Для проведения эксперимента была собрана установка (рис. 1), в которой основным прибором был спектрометр OceanOpticsQE65000 (область измерений 200-1000 нм). Время интегрирования было установлено на 500 мс. Образцы были в виде монокристаллов или порошка.

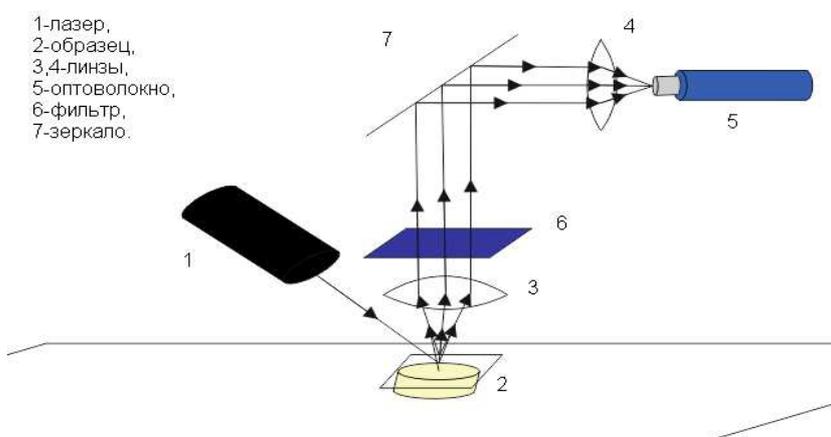


Рис.1. Схема эксперимента

В результате исследования спектров люминесценции были построены схемы

энергетических уровней ионов в изучаемых матрицах и идентифицированы квантовые переходы, ответственные за люминесценцию. В ходе работы было также обнаружено свечение ионов, которые не входят в состав матрицы или активирующей добавки и рассматривались как неконтролируемая примесь при синтезе соединений. Спектры порошков с похожим составом заметно отличаются друг от друга. Это явление может быть объяснено взаимодействием энергетических уровней различных редкоземельных элементов, что говорит об интересных свойствах, полезных при создании лазерных сред, с учётом того, что эти элементы способны входить в состав матрицы.

1. Бабушкин А.А. и др. Методы спектрального анализа. М.: Изд-во МГУ. - 1962. –510 с.
2. Качмарек Ф. Введение в физику лазеров. М.: Мир. - 1981. – 540 с.
3. Кожевникова Н.М., Мохосоев М.В. Тройныемолибдаты. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского гос. ун-та, 2000. – 298 с.

ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРЫ ВЫРАЩИВАНИЯ НА КОНЦЕНТРАЦИИ  
ОПТИЧЕСКИ-АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ В МОНОКРИСТАЛЛАХ  
 $Mg_2SiO_4:Cr$

О.Н. Зайцева<sup>1</sup>, В.Ф. Тарасов<sup>2</sup>, В.Б. Дудникова<sup>1</sup>, Е.В. Жариков<sup>1</sup>, К.А. Субботин<sup>1</sup>,  
Д.А. Лис<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва*

<sup>2</sup>*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского  
Казанского научного центра Российской академии наук, Казань*

Монокристаллы  $Mg_2SiO_4:Cr$  применяются в качестве активной среды перестраиваемых лазеров ближнего ИК-диапазона. Уменьшение концентрации ионов  $Cr^{2+}$  (присутствие которых вызывает нежелательное поглощение на рабочих длинах волн) и изменение соотношения концентрации ионов  $Cr^{4+}/Cr^{3+}$ , сказывающееся на спектрально-люминесцентных характеристиках данного материала, позволяет реализовывать различные диапазоны перестройки лазерного излучения на форстерите [1]. В работе оценивается влияние парциального давления кислорода ( $P_{O_2}$ ) на концентрацию ионов хрома в форстерите на основании результатов исследований монокристаллических образцов  $Mg_2SiO_4:Cr$  и  $Mg_2SiO_4:^{53}Cr$  методами рентгеноспектрального микроанализа и многочастотной ЭПР спектроскопии.

Кристаллы выращивали из иридиевых тиглей на затравку, ориентированную вдоль оси а (установка Рbnm) по методу Чохральского на установке «Кристалл-2». Содержание хрома в расплаве составляло 0,14 вес.%. Скорость вытягивания 1 мм/час, вращения 12 об./мин. В качестве ростовой атмосферы использовался аргон с добавлением кислорода. Парциальное давление кислорода изменялось в диапазоне от 0.03 до 0.78 кПа и контролировалось в режиме реального времени анализатором кислорода АКПМ-01. Установлено, что при  $P_{O_2}$  от 0.03 до 0.09 кПа концентрация  $Cr^{2+}$  уменьшается  $\approx$  в 2.5 раза, а при дальнейшем увеличении  $P_{O_2}$  до 0.78 не меняется. Содержание  $Cr^{3+}$  при  $P_{O_2}$  от 0.03 до 0.09 кПа увеличивается в 1.4 раза, с дальнейшим ростом  $P_{O_2}$  не меняется. Концентрация  $Cr^{4+}$  увеличивается в 6 раз при увеличении  $P_{O_2}$  до 0.23 кПа, а при дальнейшем увеличении  $P_{O_2}$  уменьшается в 2 раза.

1. А.В. Гайстер, Е.В. Жариков, В.Ф. Лебедев и др., КЭ, 34, №8, 693-694, (2004).

# ГЕНЕРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ $ZrO_2-Y_2O_3-Tm_2O_3$

А.Н. Чабушкин<sup>1</sup>, П.А. Рябочкина<sup>1</sup>, С.Н. Ушаков<sup>2</sup>, Е.В. Ломонова<sup>2</sup>,  
А.В. Малов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск

<sup>2</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова, Москва

Интерес к двухмикронному лазерному излучению обусловлен практическим применением этого излучения в медицине и при дистанционном зондировании атмосферы лидарами. Эффективная накачка кристаллов, легированных ионами  $Tm^{3+}$ , может быть осуществлена широко распространёнными лазерными диодами на основе AlGaAsc длиной волны излучения  $\sim 800$  нм.

Лазерная генерация на кристаллах  $ZrO_2-12mol\%Y_2O_3-2mol\%Tm_2O_3$  была получена в условиях продольной накачки. Схема лазерного эксперимента представлена на рис. 1.

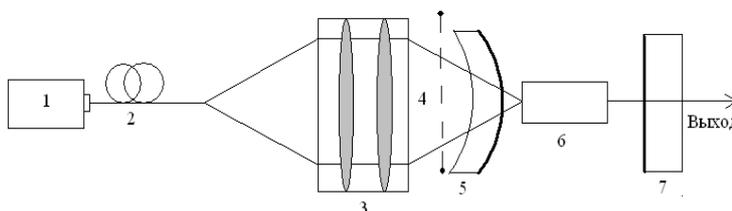


Рис. 1. Схема лазера на кристаллах  $ZrO_2-12mol\%Y_2O_3-2mol\%Tm_2O_3$

В качестве источника накачки использовалась линейка лазерных диодов (1) с длиной волны излучения 798 нм. Активный элемент (6), вырезанный из кристалла  $ZrO_2-12mol\%Y_2O_3-2mol\%Tm_2O_3$ , помещался в неустойчивый резонатор, образованный сферическим зеркалом (5), с радиусом кривизны рабочей поверхности 600 мм, и плоским зеркалом (7). В результате наведения положительной термолинзы с фокусным расстоянием 13 мм в активном элементе излучением накачки, резонатор становится устойчивым. Для исследуемых кристаллов длина волны лазерного излучения в режиме свободной генерации составила 2046 нм. Порог генерации составил 5 Вт. Спектр лазерного излучения показан на рис. 2.

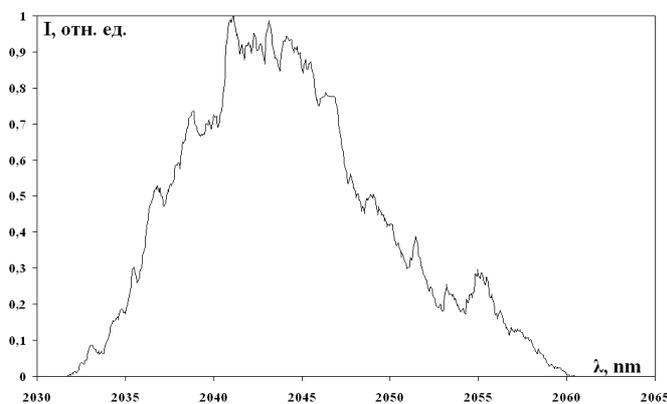


Рис. 2. Спектр лазерного излучения ионов  $Tm^{3+}$  на переходе  ${}^3F_4 \rightarrow {}^3H_6$  в кристаллах  $ZrO_2-Y_2O_3-Tm_2O_3$ .

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ  
БОР-КИСЛОРОДНЫХ ФРАГМЕНТОВ В КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ,  
РАСПЛАВЛЕННЫХ И СТЕКЛООБРАЗНЫХ МЕТАБОРАТАХ  
ЩЕЛОЧНЫХ И ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ  
МЕТОДОМ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ  
КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

Ю.К. Воронько, А.А. Соболев, В.Е. Шукшин

*Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва*

Соединения на основе боратов находят применение в качестве нелинейных оптических материалов и до сих пор остаются перспективным классом материалов лазерной техники УФ-диапазона [1]. Получение монокристаллов боратов для практического применения осуществляется различными методами высокотемпературного синтеза, поэтому любые исследования, связанные с изучением структуры и фазовых переходов в таких системах представляют как практический, так и академический интерес.

В настоящей работе методами спектроскопии комбинационного рассеяния свет, в том числе, разработанным в нашей лаборатории высокотемпературной спектроскопии комбинационного рассеяния света (ВКРС) [2] было изучено строение бор-кислородных фрагментов в метаборатах с составами  $\text{Li}_2\text{O}\cdot\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cs}_2\text{O}\cdot\text{B}_2\text{O}_3$  и  $\text{BaO}\cdot\text{B}_2\text{O}_3$  в кристаллическом, расплавленном и стеклообразном состояниях.

Установлено, что в расплавах  $\text{NaBO}_2$  и  $\text{CsBO}_2$  построение основных бор-кислородных фрагментов, т.н. метаборатных колец  $[\text{B}_3\text{O}_6]^{3-}$ , аналогичного тому, что наблюдается в кристаллах. Для  $\text{LiBO}_2$  характерно цепочечное строение бор-кислородных анионов как для кристалла, так и для расплава. Разрушение метаборатных колец с последующей трансформацией в длинные цепи наблюдалось в расплаве метабората бария.

При перегреве расплавов метаборатов цезия, натрия, лития и бария формируются мономерные трёхатомные анионы  $[\text{BO}_2]^-$ , концентрация которых растёт с увеличением степени перегрева расплава. В стеклообразных метаборатах лития и бария помимо исходных фрагментов из бор-кислородных треугольников зарегистрированы сложные образования, содержащие как трёх-, так и четырёх-координированный бор.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 10-02-00401).

1. Блистанов А.А. Кристаллы квантовой и нелинейной оптики. Учебное пособие для вузов. – М.: МИСИС, 2000. –432 с.
2. Воронько Ю.К., Кудрявцев А.Б., Осико В.В., Соболев А.А. Сб. Рост кристаллов. **16**, 178 (1988).

# ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПРИСТЕНОЧНОМ СЛОЕ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ НПВО

И.Н. Павлов, Б.С. Ринкевичюс

*Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва*

Метод нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) света от границы раздела измерительной призмы с жидкостью позволяет исследовать её пограничный слой толщиной менее половины длины волны излучения и обладает хорошей чувствительностью по показателю преломления (порядка  $10^{-4}$ ). В установке используется широкий параллельный лазерный пучок для визуализации изменения показателя преломления исследуемой жидкости по всей площади ее контакта со стеклянной призмой с пространственным разрешением 0.01 мм.

Исследования проводились на экспериментальной установке, принцип работы которой состоит в следующем [1]. Излучение от лазера попадает в оптическую систему расширителя пучка, далее сколлимированный пучок попадает под определенным углом на внутреннее основание стеклянной призмы. Этот угол подбирается таким, чтобы условие ПВО соблюдалось для границы раздела призма-воздух и нарушалось для границы раздела призма-жидкость. Отраженный пучок попадает на экран или напрямую на цифровую видеокамеру. Полученные рефракционные или интерференционные изображения записываются и обрабатываются на компьютере по специальной программе.

С помощью данной установки были проведены эксперименты по визуализации испарения капель различных жидкостей (дистиллированная вода, этанол, изопропил, ацетон, водные растворы соли и сахара, эмульсия латекса и др.) разного объема (10-30 мкл) с поверхности стеклянной призмы при различных температурах и при разных углах падения излучения; по визуализации остывания горячих капель воды на поверхности призмы комнатной температуры; по визуализации растекания капли воды объемом десятки мкл с различной температурой по поверхностям с разной шероховатостью, капель коллоидных жидкостей. Также были проведены эксперименты по визуализации кристаллизации соли из водного раствора при испарении и кристаллизации дистиллированной воды при ее охлаждении. Обработка результатов экспериментов показала, что созданная установка позволяет различить изменение показателя преломления исследуемой жидкости на  $10^{-3}$ . Проведенный анализ показал, что существуют пути для повышения ее чувствительности.

1. Павлов И.Н., Ринкевичюс Б.С., Толкачев А.В. Лазерный визуализатор неоднородности пристеночных слоев жидкости. // «Измерительная техника», 2010, №10. С. 33-35.

## ГАЛОГЕНИДЫ ТАЛЛИЯ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМ

И.С. Лисицкий, М.С. Кузнецов, К.С. Зараменских,  
Г.В. Полякова, В.Ф. Голованов

*ОАО Государственный научно-исследовательский и проектный  
институт редкометаллической промышленности «Гиредмет», Москва*

Для эксплуатации газовых СО/СО<sub>2</sub> лазеров, излучающих в 5 и 10 микронном диапазоне спектра, необходимы оптические материалы, обладающие высоким пропусканием, низким поглощением и удовлетворительными физико-химическими и механическими характеристиками. Таким материалом являются кристаллы КРС-5 (TlBr-TlI) и КРС-6 (TlCl-TlBr), разработанные в 1942-1943 годах в Германии [1] и с 1960-х годов производимые в СССР для нужд космической техники [2].

Возможность получать крупногабаритные монокристаллические образцы (диаметром до 350 мм), обладающие низким поглощением и высокой лучевой прочностью позволяет использовать кристаллы КРС в качестве окон газовых лазеров [3].

В данной работе кристаллы галогенидов таллия выращены методом Стокбаргера из солей, прошедших комплексную очистку методами направленной кристаллизации и вакуумной дистилляции. На изготовленных из кристаллов оптических элементах достигнуто спектральное пропускание более 65 % (на длине волны 0,63 мкм) и более 72 % (в диапазоне 2-25 мкм). Объемный коэффициент поглощения лазерного излучения составил менее  $3 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-1}$  (на длине волны 10,6 мкм), коэффициент светорассеяния, измеренный для  $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$  -  $2 \cdot 10^{-5} \text{ см}^{-1}$ .

Низкая блочность и однородная полигонизация получаемых кристаллов позволяет применить их в качестве акустооптических дефлекторов. Зависимость структурного совершенства, оптических и лазерных характеристик кристаллов от способа и глубины предварительной очистки материала, а также условий выращивания кристаллов будут представлены в докладе.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке ГК «Росатом», госконтракт № Н.4ф.45.90.11.1041.

1. Koops R. Optische Baustoffe aus bierem Mischkristallen // Optik. 1948. V. 4. P. 298-304.

2. Морозов Е.Г., Дарвойд Т.И., Лисицкий И.С., В сб. «Исследование процессов получения солей и выращивания монокристаллов галогенидов таллия», М: Металлургия, 1970. Т. 29. С. 75-79.

3. Бычков Ю.И., Карлова Е.К., Карлов Н.В., Ковальчук Б.М., Кузьмин Г.П., Курбатов Ю.А., Манылов В.И., Месяц Г.А., Орловский В.М., Прохоров А.М., Рыбалов А.М. Импульсный СО<sub>2</sub> лазер с энергией излучения 5 кДж // Письма в ЖТФ. 1976. Т. 2 (5). С. 212-215.

## ПСЕВДОСИММЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛОВ СТРУКТУРНЫХ ТИПОВ ВЮРЦИТА, WС, NbAs

А.П. Гажулина, Ю.А. Гусева, М.О. Марычев

*Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского,  
Нижний Новгород*

Работа продолжает исследование псевдосимметрических особенностей структурных типов [1]. В исследовании рассмотрен 41 кристалл структурного типа вюрцита, 22 кристалла типа WС и 3 кристалла типа NbAs. Структуры исследованных кристаллов характеризуются наличием трех типов центров псевдоинверсии  $\eta$  (степень инвариантности электронной плотности кристаллов относительно операции инверсии [2]). Первый тип, условно обозначенный  $pC$ , соответствует случаю, когда атомы  $Z_1$  при действии операции инверсии накладываются на атомы  $Z_2$ , а атомы  $Z_2$ , соответственно, на атомы  $Z_1$ . Центры псевдоинверсии типа  $pC$  лежат на серединах связей  $Z_1$ - $Z_2$ . Второго типа, условно обозначенный  $Cz_1$ , соответствует центру инверсии подрешетки атомов  $Z_1$ , и для кристаллов типа WС совпадает с атомами  $Z_1$ , а для кристаллов типа вюрцита и NbAs лежит на серединах отрезков, соединяющих атомы  $Z_1$ . Аналогично второму типу, третий тип псевдоинверсии  $Cz_2$  соответствует центру инверсии подрешетки атомов  $Z_2$ .

Для 66 кристаллов, указанных выше, рассчитана [3]  $\eta$  в точках,  $pC$ ,  $Cz_1$ ,  $Cz_2$ . Все рассмотренные структуры кристаллов могут считаться псевдоцентросимметричными.

1. Каткова М.Р., Крутов А.И., Чупрунов Е.В. // Кристаллография. 1995. Т. 40. С. 70.
2. Чупрунов Е.В. // Кристаллография. 2007. Т. 52. № 1. С. 5–16.
3. Программа «Псевдосимметрия» (С) 2006г. Сомов Н.В. Кафедра КЭФ физического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского.

# РАСЧЁТ ОРИЕНТАЦИИ ВЕКТОРА ДИПОЛЬНОГО МОМЕНТА МОЛЕКУЛЫ В КРИСТАЛЛЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ

Д.С. Нуждин, В.А. Иванов

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород*

Исследование новых пирозлектрических материалов носит как фундаментальный, так и прикладной характер. Пирозлектрический эффект широко используется для обнаружения инфракрасного излучения. В [1] показано, что пирозлектрический коэффициент, связывающий изменение поляризации с изменением температуры, возрастает при приближении значения угла  $\theta$  между вектором дипольного момента молекулы кристалла и вектором поляризации всей элементарной ячейки (полярной осью кристалла) к  $90^\circ$ .

Целью работы является разработка алгоритма, позволяющего вычислять угол наклона вектора дипольного момента молекулы кристалла к вектору поляризации всей элементарной ячейки. С помощью данного алгоритма можно выявлять кристаллические структуры, обладающие значением угла  $\theta$  близким к  $90^\circ$ .

Чтобы рассчитать величину угла наклона вектора дипольного момента, необходимо знать распределение заряда вследствие межатомного взаимодействия.

Для оценки заряда, вносимого электронами атомов в вектор дипольного момента молекулы, использовалась функция распределения электронной плотности. Вклад электронов в вектор дипольного момента молекулы можно вычислить, проинтегрировав функцию распределения электронной плотности молекулы по объему элементарной ячейки.

Для вычисления вклада зарядов атомных ядер в величину дипольного момента полагаем, что заряд ядра равен порядковому номеру химического элемента в таблице Менделеева.

В соответствии с разработанным алгоритмом была написана компьютерная программа для расчета угла наклона вектора дипольного момента к полярной оси кристалла. Было проведено исследование структуры кристалла тартрата олова и выяснено, что он является потенциальным пирозлектриком.

1. В.А. Иванов, М.А. Фаддеев, Е.В. Чупрунов // Кристаллография. 2000. Т.45. №5. С.911-914.

# ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ КРИСТАЛЛОВ ДИГИДРОФОСФАТА КАЛИЯ С ДОБАВЛЕНИЕМ ХЛОРИДА АЛЮМИНИЯ

В.А. Лыков, М.А. Фаддеев

*Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород*

Настоящая работа посвящена исследованию особенностей встраивания примесей в кристаллы дигидрофосфата калия (KDP). В работе рассматривалось встраивание в KDP хлорида алюминия. Для определения концентраций алюминия и хлора в выращенных кристаллах использовался рентгенофлуоресцентный количественный анализ.

Исследуемые кристаллы выращивались при комнатной температуре из водного раствора с добавлением едкого кали для создания щелочной среды. Была получена серия кристаллов при одинаковых исходных концентрациях компонент раствора:  $C_{\text{KDP}}=0,33\text{г/мл}$ ,  $C_{\text{AlCl}_3}=0,8\text{ г/мл}$ ,  $C_{\text{кон}}=0,01\text{г/мл}$ . Полученные примесные кристаллы имели габитус обычный для чистых кристаллов KDP – комбинация тетрагональной призмы и бипирамиды. Длина образцов не превышала 20 мм, поперечный размер – 5 мм.

Для проведения элементного анализа использовался рентгенофлуоресцентный спектрометр последовательного типа ShimadzuLabCenterXRF-1800. Количественный анализ проводился методом фундаментальных параметров. Концентрация химических элементов К, Р, Al, Cl определялась по интенсивности спектральных линий  $K\alpha$  характеристического рентгеновского излучения (ХРИ).

В связи с возможной неоднородностью встраивания хлорида алюминия в кристаллы KDP проводился локальный элементный анализ выращенных образцов. Интенсивность линий ХРИ измерялась в различных точках на поверхности кристалла, полученные значения концентраций элементов подвергались стандартной статистической обработке.

В результате работы было обнаружено, что концентрации алюминия и хлора в исследованных образцах имеют следующие значения:  $C_{\text{Al}}=0,02\pm 0,01\text{ ат.}\%$ ,  $C_{\text{Cl}}=0,03\pm 0,01\text{ ат.}\%$ . Полученные результаты свидетельствуют, что при выбранных условиях выращивания хлорид алюминия встраивается в кристаллы KDP в малом количестве.

# РОСТ КРИСТАЛЛОВ СЕГНЕТОВОЙ СОЛИ И KDP С ПРИМЕСЬЮ ТАРТРАТА МЕДИ И ПЕРМАНГАНАТА КАЛИЯ СООТВЕТСТВЕННО

А.Е. Егорова, В.Н. Портнов

*Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород*

Существенное изменение свойств кристаллов в желаемом направлении может быть достигнуто их легированием в процессе роста молекулами красителей, комплексными ионами и наночастицами [1].

В настоящей работе изучено влияние примесей с целью управления скоростью роста кристаллов, изменения их свойств, установления механизма воздействия примеси.

Введение в раствор сегнетовой соли тартрата меди  $\text{CuC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$  и щёлочи NaOH сильно тормозит рост граней {001}. Сектор роста грани {001} захватывает ионы меди и приобретает голубую окраску. Легирование медью не сказывается на нелинейно оптических свойствах кристаллов. Активной примесью является комплекс  $\text{Cu}(\text{OH})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6^- \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , который адсорбируется на гранях {001}. Малое содержание примеси при наличии сильного эффекта укрепляют мнение об её адсорбционном действии.

Топологическое сравнение структур  $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CuC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$  показало, что они неизоморфны, структурного соответствия каких-либо атомных сеток этих кристаллов не имеется. Однако сходны структурные фрагменты сегнетовой соли и тартрататригидрата меди, содержащие окружение ионов металлов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cu}^{2+}$  соответственно. В растворе сегнетовой соли у комплекса  $\text{Cu}(\text{OH})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6^- \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  возможен поворот кислотного остатка так, что комплекс может адсорбироваться на гранях {001} в местах структурных групп  $\text{NaC}_4\text{H}_4\text{O}_6^- \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ .

В кислом фосфатном растворе, используемом для выращивания легированных марганцем монокристаллов KDP, могут присутствовать следующие химические формы марганца:  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{MnHPO}_4^+$ ,  $\text{MnO}_2$  [2]. Действующей примесью является комплексный ион  $\text{MnHPO}_4^+$ . При вхождении в кристалл ион  $\text{Mn}^{3+}$  попадает в позицию  $\text{K}^+$ . При адсорбции комплекс  $\text{MnHPO}_4^+$  занимает место группы  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . Локальная перестройка поверхностной структуры ведет к торможению роста.

На образцах кристаллов KDP, легированных марганцем, обнаружено, что с увеличением содержания ионов марганца в кристаллах сначала наблюдается повышение эффективных значений квадратичной нелинейной восприимчивости на 5%, а затем их понижение на 20%

1. Yu. Velikhov, I. Pritula, I. Ganina, M. Kolybayva, V. Puzikov, A. N. Levchenko. CrystRes. Technol. v.42, №1, 27-33 (2007).

2. Крешков А.П. Основы аналитической химии. М.: Госхимиздат, 1961.

# СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ КАЛЬЦИЙ-НИОБИЙ-ГАЛЛИЕВОГО ГРАНАТА, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ $\text{Pr}^{3+}$

Е.В. Глушкин<sup>1</sup>, С.А. Антошкина<sup>1</sup>, А.В. Малов<sup>1</sup>, П.А. Рябочкина<sup>1</sup>,  
С.Н. Ушаков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

<sup>2</sup>Институт общей физики им. А. Н. Прохорова РАН, Москва

Кристаллы  $\text{Ca}_3(\text{NbGa})_5\text{O}_{12}$ , активированные ионами  $\text{Pr}^{3+}$ , представляют научный интерес с точки зрения исследования их спектроскопических характеристик в фундаментальной спектроскопии, а также они могут рассматриваться как потенциальные активные среды для твердотельных лазеров в видимом диапазоне спектра.

В настоящей работе представлены результаты исследований спектроскопических характеристик кристаллов  $\text{Ca}_3(\text{NbGa})_5\text{O}_{12}:\text{Pr}$ . Получены спектры поглощения и люминесценции образцов  $\text{Ca}_3(\text{NbGa})_5\text{O}_{12}$ , активированных ионами  $\text{Pr}^{3+}$ , и выполнен сравнительный анализ спектроскопических характеристик кристаллов  $\text{Ca}_3(\text{NbGa})_5\text{O}_{12}:\text{Pr}$  и  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Pr}$ .

В ходе сравнительного анализа спектроскопических характеристик данных образцов установлено, что сила осциллятора для сверхчувствительного перехода  $^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{F}_2$  ионов  $\text{Pr}^{3+}$  в кристаллах  $\text{Ca}_3(\text{NbGa})_5\text{O}_{12}:\text{Pr}$  выше аналогичной величины в кристаллах  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Pr}$ . В качестве иллюстрации этого факта на рисунке 1 представлен спектр поглощения в единицах сечения сверхчувствительного перехода  $^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{F}_2$  ионов  $\text{Pr}^{3+}$  для кристаллов  $\text{Ca}_3(\text{NbGa})_5\text{O}_{12}:\text{Pr}$  и  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Pr}$ , соответственно.

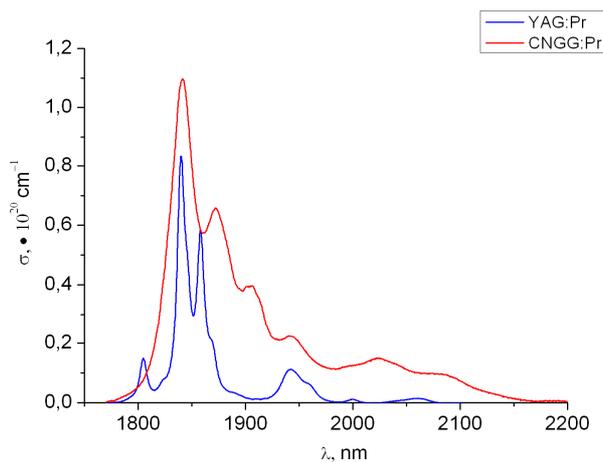


Рис.1 Спектр поглощения для кристаллов  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Pr}$ ,  $\text{Ca}_3(\text{NbGa})_5\text{O}_{12}:\text{Pr}$  ( $T=300\text{K}$ ) для перехода  $^3\text{H}_4 \rightarrow ^3\text{F}_2$



# **НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ**

# МОЛЕКУЛЯРНОЕ НАСЛАИВАНИЕ (ATOMIC LAYER DEPOSITION) – ТОНКОПЛЕНОЧНАЯ НАНОТЕХНОЛОГИЯ ШИРОКОЙ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

В.Е. Дрозд

*С-Петербургский государственный университет, С-Петербург*

Метод молекулярной химической сборки был впервые разработан в ленинградской научной школе в 60-х годах. Под названием Молекулярное Наслаивание (МН) его авторы постулировали ранее неизвестный, принципиально новый процесс необратимой многократной химической реакции поверхности твердого тела, приводящий к последовательному росту тонких пленок заданного состава и толщины. Этот метод позднее получил развитие за рубежом под именем Atomic Layer Deposition (ALD). Одним из важных достоинств метода являлось то, что сплошные равномерные по толщине покрытия можно было получать на подложках произвольной формы, в том числе внутри тонкопористых матриц, в том числе новейших полупроводниковых структур с трехмерной топологией и глубоко субмикронными размерами элементов. Молекулярное Наслаивание (МН) – ALD – это метод нанесения тонких пленок из парообразного состояния, основан на последовательных, самозавершающихся реакциях газ - твердое тело. Материалы, выращенные методом МН, имеют широкое применение, от катализаторов до электролюминесцентных дисплеев и микроэлектроники. Использование самозавершающихся реакций приводит к тому, что метод МН является поверхностно-контролируемым процессом, где параметры процесса кроме реагентов, подложки и температуры имеют второстепенное значение, и выращенные по методу МН пленки являются крайне однородными и одинаковыми по толщине. В сообщении будет подробно освещены основы метода МН-ALD, показаны его особенности и дано сравнение с другими методами нанотехнологии. Будут приведены наиболее характерные и важные практические примеры использования метода МН-ALD.

# СЕНСИБИЛИЗАЦИЯ И ТУШЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ $\text{Ln}^{3+}$ ИОНАМИ И КЛАСТЕРАМИ СЕРЕБРА В ОКСИДНЫХ МАТРИЦАХ

Г.Е. Малашкевич<sup>1</sup>, Г.П. Шевченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова*

*Национальной академии наук Беларуси, Минск*

<sup>2</sup>*НИИ физико-химических проблем Белорусского государственного университета, Минск*

Причины увеличения интенсивности люминесценции  $\text{Ln}^{3+}$  при наличии в матрице наночастиц серебра дискутируются с середины 80-х годов прошлого века. В подавляющем большинстве публикаций подобный эффект объясняют увеличением вблизи металлических наночастиц вероятности оптических переходов активатора в полосах, находящихся в резонансе с полосой поверхностного плазмонного поглощения. Нами проведено исследование структурных и спектрально-люминесцентных свойств серии полученных золь-гель методом  $\text{Ln-Ag}$ -содержащих оксидных пленок и стекол, в которых сформированы наночастицы серебра  $(\text{Ag}^0)_m$  [1–3]. Показано, что наблюдаемое для этих сред увеличение интенсивности люминесценции  $\text{Ln}^{3+}$  обусловлено главным образом сенсibilизацией простыми и сложными ионами серебра, а также его олигомерными кластерами  $\text{Ag}_m^{n+}$ , которые стабилизируются на поверхности таких наночастиц. Установлено, что эффективность указанной сенсibilизации может приближаться к 100% благодаря реализации химических связей  $\text{Ln-O-Ag}$ , однако по мере фотовосстановления ионов серебра она заметно снижается. Непосредственная роль  $(\text{Ag}^0)_m$  в увеличении интенсивности люминесценции  $\text{Ln}^{3+}$ , очевидно, ограничена повышением длины оптического пути возбуждающего излучения в веществе из-за высокого сечения светорассеяния серебряными наночастицами на частотах плазмонного резонанса. В остальных случаях они являются эффективными тушителями возбужденных состояний  $\text{Ln}^{3+}$  с частотами, резонансными либо превышающими частоту полосы поверхностного плазмонного поглощения [2]. Роль тушителей люминесценции  $\text{Ln}^{3+}$  способны выполнять и многомеры окисленного серебра, характеризующиеся относительно низкой энергией триплетного состояния [1].

Обзор наших публикаций по данной тематике, дополненный последними результатами, и представлен в настоящей работе.

1. Малашкевич Г.Е., Шевченко Г.П., Сержкина С.В. и др. Изв. РАН, серия физическая **70**, 1662 (2006).

2. Малашкевич Г.Е., Шевченко Г.П., Сержкина С.В. и др. ФТТ **49**, 1804 (2007).

3. Малашкевич Г.Е., Семченко А.В., Суходола А.А. и др. ФТТ **50**, 1408 (2008).

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ НАНОСТРУКТУР

Н.Л. Шварц

*Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН,  
Новосибирск*

Интерес к таким структурам, как нановискеры (НВ) Si и GaAs, кремниевые нанокластеры покрытые окисной оболочкой, связан с их возможными применениями в опто- и наноэлектронике. В работе представлены результаты исследования с помощью имитационного моделирования процессов роста нановискеров (НВ) по механизму пар-жидкость-кристалл и формирования нанокластеров кремния (Si-нк) при отжиге слоев диоксида кремния обогащенного кремнием. Расчеты проводились с помощью вычислительного комплекса SilSim3D [1] на базе решеточной Монте-Карло модели.

Рост НВ осуществлялся на кристаллических подложках с алмазоподобной решеткой, активированных каплей катализатора. Исследованы зависимости скорости роста НВ от температуры, интенсивности потока и диаметра капли катализатора. Изучен процесс формирования радиальных и аксиальных гетероструктур Si-Ge на основе нановискеров. Рассмотрены различные варианты создания НВ Ge покрытых оболочкой Si. Найдено, что размытость аксиальных гетеропереходов Si-Ge, связана с постепенным изменением состава капли катализатора при переключении потоков. Показано, что при уменьшении диаметра нановискера резкие гетеропереходы в системе Ge-Si можно получить только при CVD росте, когда не существенна диффузионная составляющая роста [2].

Изучен процесс формирования нанокластеров кремния при отжиге одиночных  $\text{SiO}_x$  ( $1 \leq x < 2$ ) слоёв и слоистых структур  $\text{SiO}_2$ -SiO-SiO<sub>2</sub>. Получены зависимости размеров нанокластеров от температуры, длительности отжигов и состава  $\text{SiO}_x$  слоя. В модели наряду с диффузионными перемещениями частиц учитываются процессы образования и распада подвижных молекул монооксида кремния. Показано, что учёт переноса кремния при высокотемпературных отжигах за счёт перемещения SiO ускоряет процесс формирования Si-нк [3].

Работа проведена при поддержке гранта РФФИ (11-02-00045), программы Президиума СО РАН №24 и интеграционного проекта № 47.

1. Зверев А.В., Зинченко К.Ю., Шварц Н.Л., Яновицкая З.Ш. Российские нанотехнологии. № 3–4, 85 (2009).

2. Shwartz N.L., Nastovjak A.G., Neizvestny I.G. Pure Appl. Chem. (2012 in print).

3. Михантьев Е.А., Неизвестный И.Г., Усенков С.В., Шварц Н.Л. Автометрия. 47, №5, 88 (2011).

## МИКРОВОЛНОВЫЙ СИНТЕЗ МОНОДИСПЕРСНЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЧАСТИЦ ОКСИДОВ РЗЭ

А.С. Ванецев<sup>1,2</sup>, И.Г. Чувашова<sup>2</sup>, Г.П. Копица<sup>3</sup>, О.М. Гайтко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН,  
Москва*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва*

<sup>3</sup>*Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова,  
Гатчина*

Монодисперсные порошки оксида иттрия, допированного ионами РЗЭ, являются одними из наиболее перспективных прекурсоров для создания люминесцентных покрытий плазменных панелей, дисплеев с автоэлектронной эмиссией и высокоэффективных источников света нового поколения. В последнее время для синтеза данных материалов все большее число исследователей пытается использовать простые в реализации методы «мягкой химии». Особенно привлекательным для получения монодисперсных порошков оксидов является высокотемпературный гомогенный гидролиз соответствующих нитратов в водных растворах в присутствии мочевины с последующим отжигом осажденных монодисперсных порошков гидрокарбонатов. В нашей группе была разработана модификация данного метода, связанная с применением микроволнового воздействия для нагревания исходных растворов. Благодаря этому удалось существенно снизить продолжительность синтеза и увеличить выход продукта.

Главной целью настоящей работы являлось исследование механизма формирования монодисперсных порошков допированных гидрокарбонатов иттрия и гадолиния, а также влияния основных параметров синтеза, включая концентрацию нитрата иттрия в растворе, продолжительность гидролиза, рН раствора и соотношение «осаждаемое вещество:мочевина», на микро- и мезоструктуру осаждающихся сферических монодисперсных частиц  $Y_{1-x}RE_x(OH)CO_3 \cdot xH_2O$  и  $Gd_{1-x}RE_x(OH)CO_3 \cdot xH_2O$  ( $RE = Nd, Eu, Er$ ) и соответствующих оксидов, получаемых термическим разложением данных соединений.

В ходе работы было установлено, что варьирование указанных параметров позволяет направлено формировать монодисперсные частицы заданного размера в диапазоне 50-500 нм. Методом малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН) исследована мезоструктура синтезируемых сферических частиц  $Y_{1-x}RE_x(OH)CO_3 \cdot xH_2O$  и  $Gd_{1-x}RE_x(OH)CO_3 \cdot xH_2O$  ( $RE = Nd, Eu, Er$ ). Установлены закономерности влияния параметров синтеза на структуру поверхности сферических частиц и размер формирующих их первичных зародышей.

Данная работа была выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для поддержки российских молодых ученых (МК-2607.2011.3).

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАНОЧАСТИЦ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ СЕРЕБРЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ПО ОПТИЧЕСКИМ СПЕКТРАМ ПРОПУСКАНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ

А.В. Крайский<sup>1</sup>, В.А. Постников<sup>2</sup>, Т.Т. Султанов<sup>1</sup>, Т.В. Миронова<sup>1</sup>,  
А.А. Крайский<sup>1</sup>, М.А. Шевченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*ФГБУН Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва,  
kraiski@sci.lebedev.ru*

<sup>2</sup>*ФГБУН «НИИ физико-химической медицины», ФМБА России, Москва*

Голографические сенсоры (ГС) на основе серебряных эмульсий предназначены для анализа компонентов растворов [1]. Они представляет собой пленку гидрогелевой полимерной матрицы толщиной до десятков мкм, находящуюся на подложке и изменяющие набухание при присутствии в растворе определенных веществ. Голографические свойства создаются периодическими слоями нанозерен серебра, размер которых составляет десятки нм, и расстояние между ними также десятки нм. Оптические свойства их как светорассеивающими свойствами самих частиц, так и свойствами их окружения. Поскольку сенсоры предназначены для работы в изменяющихся условиях, необходимо уметь определять в рабочих условиях эти свойства. Кроме того, такие слои представляют интересный объект для исследования светорассеяния ансамблем наночастиц, поскольку мы можем изменять окружение этих частиц, сохраняя, в основном неизменным их взаимное расположение. При этом в стационарных условиях все параметры слоя стабильны. Частицу в слое окружают электрически нейтральные и заряженные элементы матрицы и молекулы и ионы раствора. Составом их мы можем управлять в значительных пределах. Из изменяемых свойств частиц при заданном материале основными является размер частиц и их концентрация. В работе излагаются первые тестовые результаты определения этих параметров с помощью компьютерной модели [2]. Были проведены обработки спектров отражения и пропускания реальных сенсоров в различных растворах, как в стационарных условиях, так и в переходных процессах. Прежде всего, установлено в различных условиях, что спектр пропускания слоев хорошо описывается однократным рассеянием рэлеевского типа в модели эффективной среды. Проблема определения размеров и концентраций пока требует тщательного исследования. Предварительные результаты показывают, что размер частиц в большинстве случаев заключен в интервале 20-50 нм, а средние расстояние между ними – 50-100 нм.

Работа поддержана грантом в рамках программы фундаментальных исследований Президиума РАН “Фундаментальные науки - медицине”.

1. А.В. Крайский, В.А. Постников, Т.Т. Султанов, А.В. Хамидулин. Квантовая электроника, 40, №2 (2010), с.178-182.

2. А.В. Крайский, В.А. Постников и др. В сб. 10-й Всеросс. Конф. «Материалы ...», Саранск, 4-7 октября 2011, стр. 69.

## МОНО-, НАНО- И ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ФТОРИДЫ ДЛЯ ФОТОНИКИ

С.В. Кузнецов<sup>1</sup>, М.Ш. Акчурина<sup>2</sup>, Г.Т. Басиев<sup>1</sup>, В.В. Воронов<sup>1</sup>,  
Е.А. Гарибин<sup>3</sup>, М.Е. Дорошенко<sup>1</sup>, Д.С. Лось<sup>1</sup>, В.А. Конюшкин<sup>1</sup>,  
А.А. Лугинина<sup>1</sup>, М.Н. Маякова<sup>1</sup>, И.А. Миронов<sup>3</sup>, В.В. Осико<sup>1</sup>,  
А.А. Овсянникова<sup>1</sup>, А.В. Рябова<sup>1</sup>, Е.А. Тупицына<sup>1</sup>, П.П. Федоров<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

<sup>2</sup>*Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН*

<sup>3</sup>*ФГУП "НИТИОМ ВНЦ "ГОИ им. С.И. Вавилова"*

Неорганические фториды являются весьма привлекательным для фотоники классом химических веществ. В работе фториды были получены в виде монокристаллов бинарного и трехкомпонентного состава, нанокерамики и порошков различного химического состава.

Для применения монокристаллов в фотонике необходимо выращивать монокристаллы без такого вредного ростового дефекта, как ячеистая субструктура, который появляется при нарушении устойчивости плоского фронта кристаллизации из-за явления концентрационного переохлаждения. Были построены номограммы функций устойчивости плоского фронта кристаллизации для 55 твердых растворов  $M_{1-x}R_xF_{2+x}$  ( $M = Ca, Sr, Ba, Cd$ ;  $R - PЗЭ$ ) и оценены коэффициенты взаимодиффузии катионов в расплаве для ряда систем. В результате стало возможным выращивание широкого спектра монокристаллов без ячеистой субструктуры [1].

Несмотря на широкий диапазон изменения физико-химических свойств, возможности двухкомпонентных систем типа  $MF_2-RF_3$  ограничены, когда требуется вариация одновременно нескольких параметров. Больше возможностей в этом отношении дает использование многокомпонентных твердых растворов со структурой флюорита. Для ряда систем типа  $MF_2-M'F_2-RF_3$ , в частности для систем  $CaF_2-SrF_2-RF_3$  была выращена серия безъячеистых монокристаллов твердых растворов, что явилось экспериментальной проверкой существования точек конгруэнтного плавления на поверхностях плавкости.

Несмотря на отработанную технологию выращивания монокристаллов, не всегда является возможным получение прозрачной оптической среды заданного размера и состава как по физико-химическим так и технологическим проблемам. Вдобавок монокристаллы фторидов обладают совершенной спайностью, невысокими величинами микротвердости и вязкости разрушения, что приводит к затруднениям при эксплуатации. Учитывая эти проблемы, перспектива получения оптической керамики, обладающей повышенными механическими свойствами при сохранении спектрально-генерационных характеристик является весьма заманчивой.

В результате проведенной работы для систем  $CaF_2:Yb$ ,  $CaF_2:Er$ ,  $BaF_2:Ce$  были определены условия синтеза оптической керамики методами

горячего прессования порошков и горячего деформирования монокристаллов. Показано, что при горячем деформировании монокристаллов получают образцы, механические характеристики которых лишь немного увеличиваются по сравнению с монокристаллами аналогичного состава, в то время как генерационные характеристики сравнимы. Для получения оптической нанокерамики методом горячего деформирования необходимо использование совершенных монокристаллов без ячеистой субструктуры. Использование термина «нанокерамика» обусловлено наличием двойниковой структуры на наноразмерном масштабе. Метод горячего прессования порошка приводит к получению нанокерамики с улучшенными механическими характеристиками, при этом возникает иная задача по получению высокочистых прекурсоров – исходных порошков однородного гранулометрического состава.

В последние годы сформировалось новое научное направление – нанофториды [2, 3]. Одним из таких направлений является создание веществ, которые можно использовать как в различных методах медицинской диагностики так и терапии. Одними из таких материалов являются наночастицы на основе порошков фторидов для фотодинамической терапии и диагностики рака. По данному направлению были проведены работы по определению условий синтеза  $\text{NaYF}_4$  (гексагональной и кубической фаз),  $\text{LaF}_3$ ,  $\text{NaGdF}_4$  и  $\text{NaLuF}_4$ , легированных иттербием и эрбием. Также были проведены работы по определению условий получения однофазных образцов для систем  $\text{NaF-LaF}_3\text{-GdF}_3$ ,  $\text{NaF-GdF}_3\text{-LuF}_3$ ,  $\text{NaF-YF}_3\text{-LuF}_3$ . Для ряда образцов были измерены спектры люминесценции и рассчитаны квантовые выходы апконверсионной люминесценции.

Нами исследованы физико-химические основы синтеза многокомпонентных фторидных систем (в том числе  $\text{MF}_2\text{-RF}_3$ ) методом соосаждения из водных растворов. В результате следует отметить, что для получения функциональных фторидов в моно-, нано- и поликристаллическом состоянии необходимо умение синтезировать образцы в каждом из состояний, т.к. зачастую для получения высококачественных моно-, нано- и поликристаллических образцов необходимо использование высококачественного прекурсора из другого типа кристаллического состояния.

1. Kuznetsov S.V., Fedorov P.P. *Inorganic Materials*. 44, 1434 (2008)
2. Кузнецов С.В., Осико В.В., Ткаченко Е.А., Федоров П.П. *Успехи химии*. 75, С.1193 (2006).
3. Fedorov P.P., Luginina A.A., Kuznetsov S.V., Osiko V.V. *J. Fluorine Chem.* 132, 1012 (2011)

# ЛЕВИТАЦИОННО-СТРУЙНЫЙ СИНТЕЗ АЭРОЗОЛЬНЫХ НАНОЧАСТИЦ Ni/NiO С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Ю.Г. Морозов, О.В. Белоусова, М.В. Кузнецов

*Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения  
РАН (ИСМАН), Черноголовка, Московская область*

*Электронная почта: [morozov@ism.ac.ru](mailto:morozov@ism.ac.ru); [maxim1968@mail.ru](mailto:maxim1968@mail.ru)*

Порошки наночастиц Ni/NiO со средними размерами 10-30 нм были получены левитационно-струйным методом, который заключается в конденсации паров металлического Ni в потоке смеси газообразного гелия с добавлением различных количеств воздуха или кислорода. Процесс был осуществлен в отсутствие поля, а также с применением постоянного электрического поля с напряженностью до 6.5 кВ/см. Все частицы были охарактеризованы с помощью рентгеновской дифракции, просвечивающей электронной микроскопии, физической адсорбции азота (БЭТ), а также вибрационной магнитометрии.

Полученные результаты показывают, что напряженность поля и парциальное давление кислорода могут оказывать влияние на средний размер наночастиц, их удельную поверхность и степень окисления в процессе синтеза. Таким образом, с помощью магнитного поля можно также изменять магнитные характеристики наночастиц, такие как остаточное содержание никеля, коэрцитивная сила и максимальная намагниченность. Петли гистерезиса слабо окисленных наночастиц при комнатной температуре демонстрируют поведение полностью подобное ферромагнетику, тогда как сильно окисленные частицы в слабых полях содержат ферромагнитную составляющую, которая накладывается на парамагнитный сигнал вне зависимости от размера частиц. Магнитные измерения позволили оценить остаточное содержание металлического Ni в порошках наночастиц, которое может достигать 0.04 ат. % в зависимости от парциального давления кислорода и напряженности внешнего электрического поля. Удельная поверхность частиц также коррелировала с напряженностью внешнего электрического поля. Наибольшую роль в формировании свойств наночастиц играли экспериментальные режимы и парциальное давление кислорода, хотя напряженность внешнего электрического поля во время процесса формирования частиц также оказывала сильное воздействие на свойства продуктов синтеза. При использовании газового потока из чистого гелия (He) не наблюдалось никаких заметных изменений величины удельной поверхности, в то время как при синтезе в комбинированном режиме, с добавлением кислорода или воздуха в газовую смесь, с увеличением напряженности приложенного электрического поля удельная поверхность полученных наночастиц имела тенденцию к уменьшению. При раздельном режиме окисления увеличение напряженности электрического поля также приводило к формированию частиц меньших размеров и к их более однородному распределению по

размерам. Также было обнаружено, что напряженность приложенного электрического поля коррелировала со средним размером частиц и остаточным содержанием никеля при использовании смеси гелий/воздух в комбинированном режиме. Более высокая напряженность электрического поля приводила к более высокому остаточному содержанию Ni и большему среднему размеру частиц, причем последний был однозначно связан с уменьшением величины удельной поверхности. Самое заметное изменение в морфологии частиц наблюдалось в серии экспериментов, выполненных в потоке чистого гелия, когда увеличение напряженности электрического поля способствовало переходу наночастиц из сферической формы в кубическую. Кроме того, возникновение устойчивой конфигурации ядро-оболочка в частично окисленных частицах нашло свое подтверждение при анализе интерференционных полос, наблюдаемых на микрофотографиях, полученных с помощью просвечивающей электронной микроскопии (ТЕМ). Таким образом, можно сделать заключение о том, что окисление в исследованных образцах – поверхностно регулируемый процесс. Способность управлять морфологией, фазовым составом и средними размерами наночастиц Ni/NiO важна для разработки будущих устройств, действие которых основано на использовании таких наночастиц.

Данная принципиально новая методика показывает возможность использования внешнего постоянного электрического поля при получении наночастиц Ni/NiO с учетом контроля над основными параметрами процесса при одинаковом газовом потоке, такими как удельная поверхность, размер частиц и содержание Ni.

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ МАГНИТНЫХ ЭКРАНОВ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОЧНЫХ НАНОСТРУКТУР

С.А. Гришин, А.Н. Буй, Н.С. Недвецкий,  
А.Л. Петюк, С.С. Грабчиков, В.Н. Ильин, С.С. Гришин  
*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск*  
*ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Минск*

Бортовая космическая аппаратура для регистрации потоков заряженных и нейтральных частиц, как правило, имеет в своем составе детекторные модули на основе сцинтилляторов и фотоэлектронных множителей (ФЭУ). ФЭУ по своей природе являются достаточно чувствительными устройствами по отношению к внешним магнитным полям, поэтому для правильного их функционирования необходимо применять магнитные экраны в виде цилиндров. Особенно эффективны для этих целей многослойные магнитные экраны, состоящие из чередующихся слоев с высокой магнитной проницаемостью и слоев с высокой электрической проводимостью.

Для проведения экспериментальных исследований свойств магнитных экранов в Институте физики НАН Беларуси был создан аппаратно-программный комплекс (АПК) в составе: компьютер; цифровой трехкомпонентный магнитометр (диапазон измерения - + 300 А/м, разрешение - 0.05 А/м); устройство автоматического линейного сканирования (диапазон сканирования 0-150 мм или любой другой по требованию заказчика), блок сбора и обработки информации с каналами управления и приема информации от магнитометра, ФЭУ и датчиков температуры. Электронные модули блока сбора и обработки информации выполнены в формате РС 104 и имеют ISA шину.

АПК позволяет измерять в режиме автоматического сканирования три компоненты магнитного поля внутри и вне цилиндрических экранов; задавать внешние воздействующие магнитные поля с помощью токовых катушек; проводить намагничивание и размагничивание исследуемых образцов экранов; снимать и обрабатывать сигналы с ФЭУ и датчиков температуры, осуществлять сбор, накопление и передачу массивов информации на компьютер; отображать информацию на экране монитора и бумажных носителях в цифровой и графической формах; выдавать результаты тестирования в виде протоколов испытаний. Разработаны программы и методики проведения испытаний магнитных экранов и ФЭУ.

С помощью АПК возможно определение эффективности экранирования и рабочих зон магнитных экранов, изучение влияния экранов, внешних переменных и постоянных магнитных полей и температурных воздействий на показания ФЭУ.

В качестве объектов исследований нами брались экраны на основе пленочных наноструктур электролитически осажденных сплавов *Fe-Ni* (8НМА, 79НМ) и меди, изготовленные в Научно-практическом центре НАН Беларуси по материаловедению [1]. Проведено сравнение эффективности применения многослойных пленочных и обычных магнитных экранов для экранирования ФЭУ.

1. Грабчиков С.С. Аморфные электролитически осажденные металлические сплавы.- Минск: Изд. центр БГУ, 2006.-186 с.

# МОЛЕКУЛЯРНО-ДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АТОМНОЙ СТРУКТУРЫ ТРОЙНЫХ СТЫКОВ ЗЕРЕН

Г.М. Полетаев, Д.В. Дмитриенко, М.Д. Старостенков  
*Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова, Барнаул*

Тройной стык зерен представляет собой линейный дефект, вдоль которого сопрягаются три различно ориентированных зерна или три зернограничные поверхности. Свойства нанокристаллических материалов в значительной степени обусловлены высокой долей границ зерен и тройных стыков. В настоящее время остается много вопросов, касающихся как структуры и структурно-энергетических параметров тройных стыков, так и кинетики процессов, происходящих с их участием.

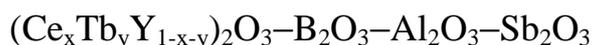
Настоящая работа посвящена исследованию методом молекулярной динамики атомной структуры и энергии тройных стыков зерен в ГЦК металлах Ni, Cu, Al. Тройной стык создавался в центре расчетного блока путем сопряжения трех зерен, разориентированных относительно друг друга с помощью поворота вокруг оси параллельной линии тройного стыка. Рассматривались две оси разориентации:  $\langle 111 \rangle$  и  $\langle 100 \rangle$ . Таким образом, границы зерен, сходящиеся в тройном стыке, являлись границами наклона. После процедуры сопряжения проводилась динамическая релаксация структуры, после которой расчетный блок охлаждался до 0 К. Количество атомов в расчетном блоке составляло около 30000. Шаг интегрирования по времени в методе молекулярной динамики варьировался от 5 до 10 фс. Межатомные взаимодействия описывались для сравнения двумя типами потенциалов: многочастичными потенциалами Клери-Розато [1] и парными Морза [2].

В работе было проведено исследование атомной структуры полученных в модели тройных стыков, изучалось распределение локальной энергии и свободного объема вблизи них. При использовании потенциалов Клери-Розато и Морза были получены аналогичные результаты. В зависимости от углов между границами зерен в стыке и углов разориентации зерен в работе найдены значения энергии тройных стыков. Значения, полученные при использовании потенциалов сильной связи Клери-Розато, оказались меньше, чем при использовании потенциалов Морза. Однако, в целом, характер зависимостей энергии тройных стыков от углов разориентации зерен и углов между границами в стыке оказался аналогичным для двух типов потенциалов.

1. Cleri F., Rosato V. Physical Review B. 48, 22 (1993).

2. Полетаев Г.М., Юрьев А.Б., Громов В.Е., Старостенков М.Д. Атомные механизмы структурно-энергетических превращений вблизи границ зерен наклона в ГЦК металлах и интерметаллиде Ni<sub>3</sub>Al. - Новокузнецк: изд-во СибГИУ, 2008. - 160 с.

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ СТЕКЛАМИ СИСТЕМЫ



Г.Е. Малашкевич<sup>1,2</sup>, В.Н. Сигаев<sup>2</sup>, Н.В. Голубев<sup>2</sup>, Е.Х. Мамаджанова<sup>2</sup>,  
Т.Г. Хотченкова<sup>1</sup>, И.В. Прусова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси, Минск*

<sup>2</sup>*Международная лаборатория функциональных материалов на основе стекла РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва*

Ионы  $\text{Tb}^{3+}$  и  $\text{Ce}^{3+}$ , по-видимому, являются оптимальной парой активаторов для создания визуализаторов УФ-изображений благодаря широким и интенсивным межконфигурационным полосам поглощения при  $\lambda \leq 350$  нм и возможности эффективной сенсбилизации люминесценции первых вторыми [1]. Естественно, для обеспечения четкости получаемых изображений необходимо поглощение визуализируемого излучения в слое  $\leq 100$  мкм, что требует использования высоких концентраций таких соактиваторов. Однако люминесценция ионов  $\text{Tb}^{3+}$  подвержена концентрационному тушению по схеме  $\text{Tb}^{3+}({}^5D_4 \rightarrow {}^7F_3) : 3\text{Tb}^{3+}({}^7F_6 \rightarrow {}^7F_1)$ . Поэтому возникает необходимость поиска матриц с таким минимальным расстоянием между ионами активатора, которое было бы достаточно велико для обеспечения слабого концентрационного тушения люминесценции  $\text{Tb}^{3+}$  и достаточно мало для реализации эффективной сенсбилизации этой люминесценции ионами  $\text{Ce}^{3+}$ . Недавно [2] нами было показано, что в стеклах состава (мол. %)  $12,5(\text{Sm}_x\text{Y}_{1-x})_2\text{O}_3-37,5\text{Al}_2\text{O}_3-50,0\text{B}_2\text{O}_3$ , идентичного составу хантитоподобного кристалла, минимальное расстояние между ионами  $\text{Sm}^{3+}$  составляет около  $6,7\text{\AA}$ . Это стимулировало исследование пригодности подобной матрицы для решения рассматриваемой задачи. Оказалось, что стекла системы  $(\text{Ce}_x\text{Tb}_y\text{Y}_{1-x-y})_2\text{O}_3-\text{B}_2\text{O}_3-\text{Al}_2\text{O}_3$  при синтезе на воздухе характеризуются слабой люминесценцией из-за присутствия тушащих её ионов  $\text{Tb}^{4+}$  и  $\text{Ce}^{4+}$ , однако при введении в качестве восстановителя сурьмы возможен полный перевод этих ионов в люминесцирующее трёхзарядное состояние. На основе исследования спектральных и кинетических характеристик люминесценции установлено, что после такого восстановления при оптимальных концентрациях соактиваторов эффективность передачи возбуждений от  $\text{Ce}^{3+}$  на  $\text{Tb}^{3+}$  может превышать 90%. При этом коэффициент линейного поглощения в УФ-области ( $\lambda \leq 330$  нм), обусловленный ионами-соактиваторами, значительно превышает  $200\text{ см}^{-1}$ , а концентрационное тушение люминесценции  $\text{Tb}^{3+}$  практически отсутствует.

1. Малашкевич Г.Е., Семкова Г.И., Ступак А.П., Суходолов А.В. ФТТ **46**, 1386 (2004).

2. Malashkevich G.E., Sigaev V.N., Golubev N.V. et al. Materials Chemistry and Physics. 2012 (Submitted).

## НАНОМЕТРОВЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ В СЛАБЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА

А.В. Крайский, Н.Н. Мельник

*ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва*

В работе приводятся данные исследований низкочастотных спектров комбинационного рассеяния света в слабых водных растворах перекиси водорода. Для проверки моделей описывающих свойства воды обычно работают со спектром динамической восприимчивости (ДВ), получаемой из спектра КР [1]. В спектре ДВ воды наблюдаются 2 горба с максимумами  $180\text{ см}^{-1}$  (мода растяжения водородной связи) и  $50\text{ см}^{-1}$  (изгибная мода этой связи), обычно описываемыми двумя лоренцианами. Особенность спектра в низкочастотной его области (излом около  $10\text{ см}^{-1}$ ) связывается с хаотическим поворотным движением молекулы в сетке ее 4-х соседей. Мы учли его с помощью лоренциана и учли постоянный фон, регистрируемый в спектрах. Аппроксимирующая спектр функция имеет 9 варьируемых параметров [1]. Такая модель позволила хорошо аппроксимировать спектр в области от 4 до  $320\text{ см}^{-1}$ . Были исследованы концентрационные зависимости спектральных параметров в растворах перекиси водорода от 3.00% до 0.04%. Обнаружено, что при переходе от больших концентраций к малым вначале происходит изменение параметров, а затем при определенной концентрации все параметры перестают изменяться. Это связывается с изменением геометрии водородных связей молекул воды в окрестности молекулы перекиси. Соответствующее среднее расстояние между молекулами перекиси в растворе, выраженному в средних расстояниях между молекулами воды (0.31 нм) 5-6, что соответствует значениям области измененной сетки водородных связей размером в 1.5 – 1.8 нм. Максимумы НЧ колебаний меньше частот ИК поглощения. К тому же частоты и ширины каждого лоренциана изменяются коррелированно. Это было объяснено исходя из модели свободных колебаний затухающего классического осциллятора. Далее выявилась спектральная неоднородность наблюдаемых контуров и были определены однородные ширины колебаний, связанные с временами затухания колебаний. Из полученных значений удалось определить резонансные частоты межмолекулярных колебаний воды, которые в пределах ошибки измерений совпали с табличными значениями частот ИК поглощения. Значение полученной нами собственной частоты ВЧ колебания составляет  $183.6\text{ см}^{-1}$  с дисперсией  $0.5\text{ см}^{-1}$  (табличное значение  $183.4\text{ см}^{-1}$ ), однородная ширина ее -  $105.0\text{ см}^{-1}$  с дисперсией  $4.6\text{ см}^{-1}$  (полная ширина контура  $173.4\text{ см}^{-1}$ ). Собственная частота изгибной моды -  $51.3\text{ см}^{-1}$  с дисперсией  $1.3\text{ см}^{-1}$  (табличное значение  $50\text{ см}^{-1}$ ), однородная ширина -  $36.0\text{ см}^{-1}$  с дисперсией  $2.4\text{ см}^{-1}$  (полная ширина контура  $104.7\text{ см}^{-1}$ ).

1. А.В.Крайский, Н.Н.Мельник, Краткие сообщения по физике ФИАН, М., 2006, №1, с.42-48.

## ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ СОЗДАНИЯ КЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

П.П. Файков<sup>1</sup>, Е.А. Данилов<sup>2</sup>, Е.В. Жариков<sup>1</sup>, К.С. Зараменских<sup>1</sup>,  
Э.М. Кольцова<sup>1</sup>, Н.А. Попова<sup>1</sup>, Д.Н. Совык<sup>1</sup>, Н.А. Федосова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Российский химико-технологический университет  
им. Д.И. Менделеева, Москва*

<sup>2</sup>*ОАО Государственный научно-исследовательский институт  
конструкционных материалов на основе графита, Москва*

Корундовая керамика успешно используется в изделиях, подвергаемых воздействию абразивного износа, высоких температур или ударов с высокой скоростью. Однако чтобы полностью реализовать ее потенциальные возможности, необходимо увеличить ее трещиностойкость, что достигается путем создания керамических композитов. Перспективный способ увеличения ударной вязкости заключается во введении в керамическую матрицу тонких переплетенных волокон, в частности, углеродных нанотрубок (УНТ), что позволяет существенно повысить трещиностойкость, а также проводимость материала [1, 2], в том числе при получении композита по технологии вакуумного обжига без приложения давления [3, 4].

Однако увеличение содержания нанотрубок в материале приводит к сложностям определения оптимальных режимов спекания, в связи с чем целью данной работы являлась отработка условий обжига для получения плотного керамического материала с улучшенной трещиностойкостью при повышении содержания армирующих УНТ до 8 % об.

Варьирование различных комбинаций вводимой концентрации УНТ и режимов вакуумного обжига (скорость нагрева, температура и длительность промежуточной и конечной выдержки) позволило получить плотные беспористые композиты  $Al_2O_3$  – УНТ с сетчато-каркасным распределением нанотрубок в равнокристаллитной матрице.

Разработанный керамический композиционный материал имеет достаточно высокий предел прочности при изгибе и повышенную трещиностойкость (до  $8,4 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ ), что наряду с относительно низкой плотностью (от  $3,42 \text{ г/см}^3$ ) позволяют в перспективе широко использовать его для изготовления конструкций в различных областях техники.

1. Yamamoto G., Omori M., et al. // Nanotechnology. 2008. V.19. P. 1-7.
2. Ueda N., Yamakami T., Yamaguchi T., Kitajima K., Usui Y., Aoki K., et al. // Journal of the Ceramic Society of Japan. 2010. V. 118 (9). P. 847-854.
3. Zhang S.C., Fahrenholtz W.G., Hilmas G.E., Yadlowsky E.J. // Journal of the European Ceramic Society. 2010. V. 30. P. 1373–1380.
4. Жариков Е.В., Зараменских К.С., Попова Н.А., Файков П.П., Исхакова Л.Д., Герке М.Н., др. // Стекло и керамика. 2011. № 3. С. 12-16.

## ОСОБЕННОСТИ РАДИАЦИОННОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ НАНОКРИСТАЛЛОВ КРЕМНИЯ В ОКСИДНЫХ МАТРИЦАХ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ

Д.С. Королев, А.Б. Костюк, А.И. Белов, И.А. Чугров, А.В. Ершов,  
А.Н. Михайлов, Д.И. Тетельбаум

*Научно-исследовательский физико-технический институт  
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского,  
Н. Новгород*

Поиск путей повышения эффективности излучения кремниевых нанокластеров (НК) актуален в связи с их возможным применением в новых материалах и устройствах оптоэлектроники. Ионно-лучевой синтез – наиболее воспроизводимый, «чистый» и совместимый с современной электронной технологией способ формирования кремниевых НК. На фоне других подходов выделяется также метод осаждения многослойных нанопериодических структур (МНС) НК Si/оксид, важным достоинством которого является возможность независимого изменения расположения, размера и плотности формируемых НК Si. Один из возможных способов увеличения интенсивности люминесценции НК Si, погруженных в диэлектрические слои, основан на резонансном энергообмене между возбуждаемыми экситонами и поверхностными плазмонами, который может быть реализован при встраивании металлических НК. Однако при имплантации ионов металлов неизбежно возникают радиационные дефекты. В данной работе исследовано влияние облучения ионами металлов на оптические и светоизлучающие свойства НК Si.

В качестве исходных объектов использовались массивы НК Si, сформированные путем высокотемпературного отжига (1100 °С, N<sub>2</sub>) слоев SiO<sub>2</sub>, имплантированных ионами Si<sup>+</sup> (40 кэВ, 7·10<sup>16</sup> см<sup>-2</sup>), а также осажденных многослойных нанопериодических структур (МНС) SiO/SiO<sub>2</sub> (4 нм / 3 нм), SiO/SiO<sub>2</sub> (4 нм / 6 нм) и SiO/ZrO<sub>2</sub> (8 нм / 3 нм). Для изучения особенностей радиационного повреждения массивов НК Si при внедрении ионов металлов однослойные и многослойные структуры подвергались облучению ионами Au, Zr и Er при ускоряющем напряжении 80 кВ в широком интервале доз 1·10<sup>12</sup>-2·10<sup>17</sup> см<sup>-2</sup> и отжигу при 700 - 1100 °С (N<sub>2</sub>). Для исследования применялись методы оптического пропускания и фотолюминесценции (ФЛ).

Исследование оптических свойств НК Si показало, что ФЛ испытывает гашение в результате ионного облучения, но частично восстанавливается после отжига. Методами оптической спектроскопии установлена возможность формирования систем, содержащих одновременно металлические и кремниевые НК. Обсуждается влияние имплантации указанных ионов на оптические свойства НК Si, а также особенности радиационного повреждения однослойных и многослойных массивов НК Si в зависимости от типа оксидного слоя и геометрии структуры.

## ВЛИЯНИЕ ХАЛЬКОГЕНОВ (S И Se) НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ УГЛЕРОДНОЙ НАНОТРУБКИ (7,7)

С.А. Созыкин, В.П. Бескачко

*Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск*

В связи с перспективами использования углеродных нанотрубок (УНТ) в микроэлектронике [1] важное значение приобретает возможность управления электрическими свойствами как индивидуальных нанотрубок, так и их ансамблей, например, пучков. В последнем случае в пучке могут присутствовать УНТ с различным типом проводимости, как металлическим, так и полупроводниковым. В связи с этим представляет интерес возможность изменения эффективной проводимости пучка за счет его интеркалирования соединениями серы [2, 3]. В работе [4] эта возможность теоретически продемонстрирована для индивидуальной УНТ (8,0) с полупроводниковой проводимостью. Неизвестно, однако, как влияет сера (и другие халькогены) на УНТ с металлическим типом проводимости. В данной работе делается попытка это выяснить на примере УНТ (7,7) с адсорбированными на ее поверхности (внутри и снаружи) одиночными атомами серы и селена, используя для этого метод неравновесных функций Грина, реализованный в пакете SIESTA.

Расчеты показывают, что сопротивление индивидуальной нанотрубки постоянно в интервале напряжений 0-0,7 В и имеет величину 6.55 кОм, что хорошо согласуется с предсказаниями теории Ландауэра-Буттикера для проводника с четырьмя каналами проводимости. В присутствии серы или селена сопротивление УНТ заметно увеличивается. Так, внедрение атома селена в полость УНТ приводит к увеличению сопротивления на 2%. Адсорбирование атома серы на внешней поверхности нанотрубки увеличивает сопротивление на 11-15% (в зависимости от напряжения). Внедрение серы в полость УНТ и адсорбирование атома селена на внешней поверхности нанотрубки увеличивает сопротивление на величину 15-19%. Эти результаты показывают, что акцепторные атомы даже в малых концентрациях могут заметно увеличить электрическое сопротивление углеродных нанотрубок.

Работа выполнена в рамках ФЦП "Научные и научно - педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 гг. (ГК № 14.740.11.1420 от 02 ноября 2011 г.).

1. Artukovic E., Kaempgen M., Hecht D. S., Roth S., Gruner G. *Nano Lett.* **5**, 757-760 (2005).

2. Wang Y., Di C.A., Liu Y.Q., Kajiura H., Ye S.H., Cao L.C., Wei D.C., Zhang H.L., Li Y.M., Noda K. *Adv. Mater.* **20**, 4442-4449 (2008).

3 Dettlaff-Weglikowska U., Skakalova V., et al., *J. Am. Chem. Soc.* **127**, 5125-5131 (2005).

4. Xu B., Feng Y.P. *Solid State Comm.* **150**, 2015–2019 (2010).

## СТРУКТУРНЫЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЛОЕВ ГЕРМАНИЯ, ВЫРАЩЕННЫХ МЕТОДОМ МЛЭ НА Si(100)

О.С. Косарева<sup>1</sup>, В.Ю. Чалков<sup>2</sup>, С.А. Денисов<sup>2</sup>, С.А. Матвеев<sup>2</sup>,  
В.Г. Шенгуров<sup>2</sup>, В.В. Карзанов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Н. Новгород*

<sup>2</sup>*Научно-исследовательский физико-технический институт  
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского,  
Н. Новгород*

Низкотемпературный эпитаксиальный рост Ge на Si вызывает большой интерес в связи с использованием этих слоев в электронных и оптоэлектронных приборах. Ранее [1] сообщалось о выращивании эпитаксиальных слоев Ge на Si при низкой температуре и низкой скорости роста методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Однако процесс роста эпитаксиальных слоев методом МЛЭ является достаточно сложным и требует дорогостоящего оборудования. Поэтому ведется поиск более простых методов осаждения.

В работе приводятся результаты исследования структурных и электрофизических свойств слоев Ge на Si(100), выращенных методом разложения газа германа на горячей проволоке в установке МЛЭ. Слои Ge толщиной 0,2-3 мкм выращивали при температуре подложки Si  $T_S=350-450^\circ\text{C}$  и давлении германа  $P_{\text{GeH}_4}=(2-9)\cdot 10^{-4}$  торр и температуре танталовой проволоки  $T_{\text{Ta}}=1200-1350^\circ\text{C}$ . Часть образцов затем была легирована ионами  $P^+$ . Облучение образцов проводили с энергией 100 кэВ и дозой  $=(4-6)\cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup>, затем они отжигались при 500°C в течение 15-30 минут в атмосфере аргона.

Исследования структурного совершенства показали, что в выбранном интервале температур подложки слои Ge имеют мозаичную структуру. По данным рентгеновской дифракции ширина кривой качания на половине максимума рентгеновского пика интенсивности (FWHM) составляла 0,18-0,24°. Плотность дислокаций в выращенных слоях Ge толщиной ~3 мкм, выявленных химическим травлением, составляла  $\sim 5\cdot 10^5$  см<sup>-2</sup>. Поверхность слоев Ge достаточно гладкая: при толщине 3 мкм шероховатость поверхности слоя (RMS) составляла 4 нм.

В работе приводится также обсуждение электрофизических параметров (удельное сопротивление, концентрация и подвижность носителей заряда) слоев Ge после ионного легирования фосфором.

1. Bramblett T.R., Lu Q., Lee N.E. et al. J. Appl. Phys. **77**, 1504 (1995).

## СИНТЕЗ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУБМИКРОННЫХ ПОРОШКОВ $\text{NaYF}_4:\text{Yb:Er}$

Д.С. Лось, С.В. Кузнецов, А.В. Рябова, В.В. Воронов,

Р.П. Ермаков, П.П. Федоров, В.В. Осико

*Учреждение Российской академии наук*

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

В настоящее время одним из перспективных направлений диагностики и лечения рака является фотодинамическая терапия, которая при использовании препарата ФОТОСЕНС разрешена к применению в РФ.

Среди люминофоров, преобразующих ИК-излучение видимый свет по механизму ап-конверсии,  $\text{NaYF}_4$ , солегированный Yb-Er, Yb-Tm, Yb-No, является одним из самых эффективных люминофоров [1]. В работе использовали метод соосаждения из водных растворов, подробно описанный в [2].

Нами был исследован синтез порошков  $\text{NaYF}_4:\text{Yb:Er}$  и определены условия получения субмикронных частиц как кубической, так и гексагональной фаз. Определено влияние pH на фазовый состав образцов, а также на размер частиц кубической фазы. Было установлено влияние времени перемешивания исходных растворов на формирование частиц кубической и гексагональной фаз при использовании т.н. «быстрого метода синтеза», позволяющего в разы сокращать время эксперимента. Оптимальное время перемешивания, за которое происходит вызревание частиц гексагональной фазы, составляет около 90 минут. При «быстром синтезе» также были получены аморфные порошки, состоящие из первичных наночастиц с размером около 1 нм.

Одной из значительных трудностей при получении однофазных порошков гексагональной фазы является синтез двухфазных образцов, а также процессы кристаллизации второй фазы (кубической) при сушке образцов. Нами были получены устойчивые однофазные образцы гексагональной модификации, которые при сушке (250 °С - оптимальная температура высушивания образцов) сохраняли однофазность.

Были синтезированы образцы с различным процентным соотношением Y-Yb-Er и исследованы их люминесцентные характеристики, что позволило выявить новые перспективные составы для дальнейших исследований.

1. Fedorov P.P., Luginina A.A., Kuznetsov S.V., Osiko V.V. Nanofluorides. // J. Fluorine Chemistry. 2011. V.132. Is.12. P.1012-1039.

2. Кузнецов С.В., Рябова А.В., Лось Д.С. и др. Синтез и люминесцентные характеристики субмикронных порошков на основе фторидов натрия и иттрия, легированных редкоземельными элементами. // Российские нанотехнологии. 2012. В печати.

Благодарности. Работа поддержана грантами МК-4408.2011.2 и РФФИ 12-02-00851-а, госконтрактом 14.740.12.1343.

## СИНТЕЗ НЕОРГАНИЧЕСКИХ НАНОФТОРИДОВ ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.

М.Н. Маякова, П.П. Фёдоров, С.В. Кузнецов, В.В. Воронов, А.В. Рябова  
*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии наук,  
Москва, ул. Вавилова, 38  
e-mail: mayakova@lst.gpi.ru*

В последние годы сформировалась новая область исследований – синтез и изучение нанофторидов. Свойства, проявляемые наноматериалами, а также уникальный набор физико-химических свойств фторидов обуславливают возможности использования нанопорошков фторидов в различных областях науки и техники. Порошки фторидов интересны как компоненты просветляющих оптических покрытий, перспективны для создания нового поколения сцинтилляторов, источников белого света, в качестве шихты для получения лазерной керамики и монокристаллов и т.д. Фторидные частицы сложного состава перспективны для биомедицинских приложений.

Целью данной работы было исследование синтеза порошков в бинарных системах  $MF_2-RF_3$  ( $M = Ca, Sr, Ba$ ;  $R = Sc, Y, Bi$ ), подбор матриц и последующее их легирование в двух основных направлениях: ионы  $Ce^{3+}$  и пары  $Yb^{3+}-R^{3+}$  ( $R = Ho, Er, Tm$ ). Легирование парами  $Yb^{3+}-R^{3+}$  проводилось с целью создания люминофора обладающего, высокой ап-конверсионной эффективностью преобразования излучения ИК диапазона в видимый. Матрицы, легированные ионами  $Ce^{3+}$ , перспективны в качестве материалов, генерирующих излучение в среднем ИК диапазоне.

Проведено исследование синтеза фторидов в системах  $MF_2-YF_3$  ( $M = Ca, Sr, Ba$ ),  $NaF-RF_3$  и  $BaF_2-RF_3$  ( $R = Sc, Bi$ ). Были выявлены области осаждения однофазных образцов. В некоторых системах гидролиз образцов протекает уже при комнатных температурах. Ряд образцов был исследован с помощью рентгеноспектрального микроанализа. Результаты этих исследований позволяют говорить о получении бескислородных однофазных порошков в изученных системах, а так же о высоком соответствии в исследованных образцах номинального состава с составом полученных порошков. Исследование образцов методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) позволило получить представление о морфологии частиц и строгой иерархии в образовании агломератов частиц в некоторых системах. В результате были выявлены наиболее перспективные матрицы для последующего легирования РЗЭ.

На основе выбранных матриц получены однофазные образцы. Методом СЭМ исследована морфология частиц. Проведены исследования квантового выхода люминесценции частиц легированных парами  $Yb^{3+}-Ho^{3+}$ ,  $Yb^{3+}-Tm^{3+}$  и  $Yb^{3+}-Er^{3+}$  при возбуждении полупроводниковым лазером с длиной волны 974 нм.

# ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ , ВЫРАЩЕННЫЕ МЕТОДОМ МЛЭ С СУБЛИМАЦИОННЫМ КРЕМНИЕВЫМ И ГАЗОВЫМ ГЕРМАНИЕВЫМ ИСТОЧНИКАМИ НА КНС-ПОДЛОЖКАХ

С.А. Матвеев, С.А. Денисов, В.Ю. Чалков, В.Г. Шенгуров  
*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород*

Гетероструктуры твердого раствора SiGe на Si(100), существенно расширяют функциональные возможности и область применения традиционной кремниевой электроники за счет большей подвижности носителей заряда в SiGe по сравнению с Si. С другой стороны большие преимущества при изготовлении интегральных схем имеют структуры кремний на сапфире (КНС), по сравнению с объемным кремнием. Объединение этих двух технологий позволит улучшить характеристики интегральных схем, включая и их радиационную стойкость.

Целью данной работы являлось исследование влияния условий эпитаксиального роста слоев твердого раствора SiGe на КНС-подложках на их структурное совершенство и морфологию поверхности.

Для эпитаксиального выращивания гетероструктур SiGe на КНС-подложках в одном технологическом цикле применялся метод молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ), в котором кремний испаряли из сублимирующего источника, а поток атомов Ge формировался при разложении германа ( $\text{GeH}_4$ ), напускаемого в камеру роста до давления  $2\div 4 \cdot 10^{-4}$  Торр. Процесс роста включал предэпитаксиальный высокотемпературный ( $1400^\circ\text{C}$ ) отжиг подложки сапфира ( $1\bar{1}02$ ) при давлении остаточных газов  $< 10^{-7}$  Торр в течение 30 минут, снижение ее температуры до  $\sim 520^\circ\text{C}$  и выращивание тонкого (50-300 нм) слоя кремния, последующее снижение температуры до  $350\div 520^\circ\text{C}$  и выращивание слоя  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  с  $x = 12\div 25\%$  и толщиной 100 $\div$ 500 нм.

Установлено, что при толщине буферного слоя Si равной 50 $\div$ 300 нм, слой SiGe имеет структуру монокристалла, причем структурное совершенство улучшается с уменьшением толщины буферного слоя Si.

Исследование структурного совершенства слоев SiGe методами электронографии и рентгеновской дифракции показало, что слои растут монокристаллическими в диапазоне температур  $360\div 410^\circ\text{C}$ . Выше и ниже указанного интервала температур слои SiGe имели структуру текстурированного поликристалла. При температуре роста  $T_s=410^\circ\text{C}$  в слоях SiGe наблюдаются двойники, в остальных случаях они отсутствуют. Наилучшее структурное совершенство достигается при  $T_s=390^\circ\text{C}$ . Ширина кривой качания на половине максимума рентгеновского пика интенсивности (FWHM) от слоев SiGe(100) составляет 18 $\div$ 30 угл. мин. Слои SiGe по данным атомно-силовой микроскопии были достаточно гладкими:  $\text{RMS} \approx 1,0\div 7,8$  нм. Слои SiGe, легированные Er, при температуре измерений 77 К проявляют достаточно интенсивный сигнал фотолюминесценции в области длин волн 1,54 мкм.

# ФОРМИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СТРУКТУР В ГАЛЛИЕВО-ГЕРМАНО-СИЛИКАТНЫХ СТЕКЛАХ, ДОПИРОВАННЫХ ОКСИДОМ НИКЕЛЯ

А.С. Липатьев<sup>1</sup>, С.В. Лотарев<sup>1</sup>, Н.В. Голубев<sup>1</sup>, Ю.С. Присеко<sup>2</sup>,  
Н.М. Лепёхин<sup>2</sup>, В.Н. Сигаев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Международная лаборатория функциональных материалов на основе стекла РХТУ им Д.И. Менделеева, Москва  
<sup>2</sup>НПП «ВЭЛИТ», Московская обл., Истра

Развитие фотоники вызывает рост интереса к прозрачной стеклокерамике с ионами переходных металлов, проявляющей широкополосную люминесценцию в ближней ИК-области и перспективных для изготовления широкополосных оптических усилителей [1,2]. Благодаря прогрессу в лазерной технике все большее внимание уделяется методам формирования локальных кристаллических нано- и микроструктур в стеклах с помощью лазерного облучения [3].

В данной работе показана возможность локального наноструктурирования стекла состава  $7,5\text{Li}_2\text{O}-2,5\text{Na}_2\text{O}-20\text{Ga}_2\text{O}_3-35\text{GeO}_2-35\text{SiO}_2$ , допированного ионами  $\text{Ni}^{2+}$ , с помощью лазерного излучения. Данный состав позволяет получать стекла оптического качества с высокими люминесцентными характеристиками [4]. Образцы стекла облучали импульсным лазером на парах меди, (линии 510,6 и 578,2 нм) со средней мощностью 5,5 Вт. Для уменьшения термических напряжений образец облучали в электропечи при температуре  $80\pm 10^\circ\text{C}$ . Печь с образцом перемещали относительно сфокусированного на поверхность стекла лазерного пучка со скоростью от 25 до 200 мкм/с. Лазерное облучение вызывало изменение цвета образцов с 0,1-0,3 мол.% NiO с желто-коричневого на синевато-зеленый при сохранении прозрачности. Спектры поглощения и люминесценции модифицированных лазером участков аналогичны спектрам стеклокерамики, полученной термообработкой в печи, при которой ионы  $\text{Ni}^{2+}$  меняли координационное число, полностью мигрируя в сформировавшиеся нанокристаллы [4]. Рентгенофазовый анализ показывает наличие нанокристаллов  $\gamma\text{-Ga}_2\text{O}_3$  в облученных лазером участках стекла.

Предложенный в работе метод локальной нанокристаллизации галлиево-силикогерманатного стекла с 0,1-0,3 мол.% NiO открывает новые возможности для разработки активных волноводных элементов, люминесцирующих в ближней ИК области для интегральной оптики.

1. Wu B., Jiang N., Zhou S., et al. *Opt. Mater.* 2008. V. 30. P. 1900–1904.
2. Deng D., Ma H., Xu Sh., et al. *J. Non-Crystalline Solids.* 2011. V. 357. P. 1426–1429.
3. D. M. da Silva, L. R. P. Kassab et al. *Opt. Mater.* 2011. V. 33. P. 1902–1906.
4. Sigaev V. N., Golubev N. V., Ignat'eva E. S. et al. *Nanotechnology.* 2012. V. 23. P. 15708–15715.

## ЭВОЛЮЦИЯ ДЕФЕКТОВ В КРЕМНИИ, ИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ПРИ НАЛИЧИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

А.О. Тимофеева, А.И. Белов, А.Н. Михайлов, Д.И. Тетельбаум

*Научно-исследовательский физико-технический институт  
Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского,  
Н. Новгород*

Дефекты, формирующиеся в кремнии в процессе ионного облучения, могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на свойства полупроводниковых приборов. Примерами положительного влияния дефектов служат подавление эффекта каналирования, формирование и последующая термическая кристаллизация аморфного слоя. Важное практическое значение имеет использование системы дислокаций (образующихся при отжиге ионно-нарушенного кремния) в качестве источников люминесценции в окне прозрачности кварцевого стекла (1,4-1,6 мкм).

Устойчивые при комнатной температуре комплексы дефектов (типа дивакансий и димеждоузлий) образуются при облучении преимущественно в результате реакций между простейшими точечными дефектами (компонентами пар Френкеля – КПФ). При отжиге комплексы преобразуются в протяженные дефекты типа стержней, дислокационных петель, линейных дислокаций. Необходимость контролировать процесс дефектообразования в процессе ионного облучения требует учета и поддержания плотности ионного тока и температуры образца, так как процесс образования вторичных дефектов сильно зависит от этих параметров. Одним из способов регулирования процесса дефектообразования может являться наложение силовых полей на полупроводник во время облучения, в частности, путем создания барьера Шоттки или *p-n*-перехода и подачи смещения на него. Если хотя бы часть КПФ имеют электрический заряд, то достаточно сильное поле будет перемещать генерируемые КПФ вдоль силовых линий. Чтобы приложенное напряжение создавало поле, проникающее в кремний на достаточно большую глубину и сохранялось в течение времени облучения оно не должно существенно экранироваться заряженными радиационными дефектами и носителями заряда, генерируемыми ионным пучком.

Выполненный расчет позволил установить условия облучения, при которых указанное экранирование не играет существенной роли. Показано, что это выполняется для определенных интервалов плотностей ионного тока и зависит от массы иона, а также рекомбинационных свойств КПФ. Выполнены предварительные эксперименты по влиянию наложения электрического поля при ионном облучении на ВАХ и *C-V*-характеристики барьера Шоттки.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 12-02-00980).

# ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОКРИСТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ $A^{II}B^{VI}$

В.Е. Мешков, И.Х. Аветисов

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
Москва*

Нанокристаллы полупроводников группы  $A^{II}B^{VI}$  (квантовые точки) являются перспективными материалами для современной оптоэлектроники и биологии [1, 2]. Люминесцентные свойства квантовых точек зависят от различных факторов, основными из которых являются размер и фазовый состав поверхности.

В работе исследовали зависимость спектра и времени затухания фотолюминесценции нанокристаллов от концентрации и состава поверхностно-активных веществ.

Водорастворимые квантовые точки CdSe, CdTe, ZnSe и ZnTe получали по методике [3]. Экспериментально определена зависимость увеличения времени затухания люминесценции при увеличении размера частиц, который в свою очередь, возрастает при увеличении длительности синтеза (таблица 1). Показано, что предельный размер синтезируемых нанокристаллов зависит от химической природы поверхностно-активного вещества.

Таблица 1.

Спектрально-кинетические характеристики фотолюминесценции нанокристаллов CdTe при возбуждении длиной волны 325 нм. ПАВ — тиогликолевая кислота

Время синтеза, мин	Размер нанокристаллов, нм	Параметры пика фотолюминесценции			Время затухания, нс
		Максимум, нм	FWHM, нм	Центр массы, нм	
1	3,71	528	45.864	517.85	6,9
10	4,11	536	53.215	541.39	11,7
30	4,51	543	64.103	549.79	12,1
60	4,64	547	74.171	556.36	12,7
90	4,65	547	79.054	557.66	12,7
120	4,67	550	83.717	560.50	12,8

1. P.O. Anikeeva et al. NANO LETTERS 2009, Vol. 9, No. 7, 2532-2536
2. Irati Ugarte et al. Quantum Dots - A Variety of New Applications, 2012
3. Rong He et al. Front. Chem. China 2008, 3(3):325–329

О ПОЛУЧЕНИИ И ИССЛЕДОВАНИИ НАНОРАЗМЕРНЫХ  
ФЕРОМАГНИТНЫХ СЛОЕВ КРЕМНИЕВОГО СПЛАВА ГЕЙСЛЕРА  
 $\text{Co}_2\text{MnSi}$

Е.С. Демидов, Ю.И. Чигиринский, В.В. Сдобняков, Д.С. Бовкун  
*Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского,  
Нижний Новгород*

Многие приборы спинтроники оказываются неработоспособными при комнатной температуре в силу того, что ферромагнитные слои теряют свои свойства. Кремниевые сплавы Гейслера не только имеют точку Кюри выше комнатной температуры но и обладают постоянной решетки близкой к кремнию, что открывает перспективы получения новейших приборов на кремниевой технологии.

Для получения наноразмерных пленок использовались методы импульсно-лазерного и магнетронного распыления. Определяющей характеристикой получаемых пленок является стехиометрия структуры. Мы проводили распыление отдельных компонентов с целью нахождения необходимых параметров мощности, давления и продолжительности процесса.

На сегодняшний день получены тонкие пленки  $\text{Co}_2\text{MnSi}$  исследование которых мы планируем в дальнейшем. Интересны, в первую очередь, электрофизические свойства – проводимость и гистерезис. Качество полученной пленки отслеживается при помощи атомно-силовой микроскопии и рентгенографического анализа.

Работа выполнялась при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы и аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2011 годы)».

## ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ПИРОЛИТИЧЕСКИХ ПЛЕНОК НИТРИДА КРЕМНИЯ, ОБОГАЩЕННЫХ КРЕМНИЕМ

Д.В. Рябов, В.В. Карзанов, Н.А. Добычин

*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород*

Неспособность кремния излучать в видимом диапазоне заставляет вести поиск материалов, пригодных для создания светоизлучающих структур совместимых с традиционной кремниевой технологией, одним из таких перспективных в этом плане материалов является нитрид кремния.

В докладе изложены результаты исследования фотолюминесценции (ФЛ) пленок нитрида кремния, обогащенных кремнием методом ионной имплантации. Все испытываемые образцы сравнивались с «исходником». В качестве исходного материала служили аморфные пленки  $\text{Si}_3\text{N}_4$  толщиной около 100 нм, полученные методом пиролиза. На них наблюдалась широкая полоса ФЛ в интервале длин волн  $\lambda=400 - 600$  нм с максимумом в районе  $\lambda_0=470$  нм.

Обогащение кремнием выполнялось методом ионной имплантации. Использовались ионы  $\text{SiH}_2^+$  (на ускорителе ИЛУ-3, энергия –  $E=40$  кэВ), интервал доз внедрения лежал в пределах  $\Phi=10^{15}-10^{17}$   $\text{см}^{-2}$ . После облучения выполнялись отжиги в потоке молекулярного азота в трубчатой печи при температуре  $800$  °С, длительностью от 30 до 180 минут.

В результате проведенных многочисленных измерений для пленок, обогащенных кремнием и прошедших термообработку, было установлено:

Максимум исходной полосы сдвигался в «красную» сторону (до 570 нм), этот сдвиг монотонно увеличивался с ростом дозы внедренного кремния. Спектры на пропускание также показывали смещение края поглощения в «красную» сторону с ростом дозы кремния. Данная корреляция между ФЛ и спектрами пропускания указывает на то, что внедренный кремний увеличивает беспорядок в матрице аморфного нитрида кремния, что расширяет «хвосты» плотности состояний зоны проводимости и валентной зоны и сужает оптическую щель. Следствием этого является сдвиг края поглощения и полосы ФЛ.

Появилась широкая полоса с  $\lambda > 600$  нм, которой не было на исходных пленках. Максимальная интенсивность этой полосы достигалась на образцах, облученных с дозами  $3 \cdot 10^{16}$   $\text{см}^{-2}$ . С ростом дозы внедренного кремния максимум интенсивности смещался от 630 до 750 нм. Отжиги при  $T > 900$  °С приводили к ее гашению, причем чем выше была доза кремния, тем при меньших температурах отжига достигался максимум интенсивности. Сопоставляя эти данные с литературными, сделан вывод, что полоса ФЛ с  $\lambda > 600$  нм связана с нанокристаллами кремния. Они формируются при дозах внедрения  $(3-7) \cdot 10^{16}$   $\text{см}^{-2}$  и последующих отжигах  $700-900$  °С. При более высоких температурах (или при большой продолжительности термообработки) возникают более крупные выделения кремния, которые уже не способны люминесцировать.

# ВЛИЯНИЕ ДВУСТОРОННЕЙ ДЕФОРМАЦИИ СЖАТИЯ НА ОБРАЗОВАНИЕ АТОМИСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ Au-Ag, Cu-Au И Cu-Ag НАНОПЛЁНОК

В.С. Мясниченко, М.Д. Старостенков

*Алтайский государственный технический университет, Барнаул*

Применение биметаллических наноплёнок становится все более важным, однако структура наноразмерных плёнок из атомов нескольких металлов изучена недостаточно в настоящее время. С помощью многочастичного tight-binding потенциала в компьютерном молекулярно-динамическом эксперименте было изучено влияние двумерной деформации сжатие на формирование атомистических структур плёнок в двойных металлических системах: Au-Ag, Cu-Au и Cu-Ag.

Рассмотрены биметаллические плёнки различного состава, близкого к эквиатому. В ходе сверхбыстрого охлаждения от 300К были найдены наиболее устойчивые конфигурации атомов системы. Модельный блок имел прямоугольную форму, на две противоположные стороны которого были наложены свободные граничные условия. Расстояние данными сторонами (толщина пленки) составляло 1,6–2 нм. Величина двумерной деформации сжатия не превышала 3%.

В плёнках Au-Ag формировались атомные слои ГПУ (68% от общего числа внутренних атомов) и ГЦК (до 32%) фазы. Образование двойниковых границ наблюдалось при увеличении доли атомов Au в модельной системе. Конечные структуры плёнок Cu-Au также состояли из чередующихся слоев ГПУ (38%) и ГЦК (62%) атомных упаковок. При увеличении доли атомов меди структура плёнок становилась более аморфной, без значительных изменений числа ГЦК атомов. Конечные структуры плёнок Cu-Ag содержали ГПУ (24%), ГЦК (37%) и аморфную фазы. Увеличение содержания атомов меди приводило к увеличению количества атомов с ГЦК упаковкой, за счёт уменьшения количества атомов ГПУ фазы.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ ЧСЦ С ЦЕЛЬЮ СОЗДАНИЯ ИННОВАЦИОННОГО МЕДИЦИНСКОГО ИНСТРУМЕНТА.

М.А. Борик, М.А. Вишнякова, А.В. Кулебякин, Е.Е. Ломонова,  
В.А. Мызина, В.В. Осико, С.Н. Ушаков

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

Сочетание таких свойств как, повышенная прочность, вязкость разрушения, твердость, износостойкость, малые коэффициенты трения, химическая и биологическая инертность, отсутствие границ зерен делает кристаллы частично стабилизированного диоксида циркония (ЧСЦ) перспективным материалом для изготовления сверхострого износостойкого хирургического инструмента (скальпелей, микрохирургических ножниц, сверла и долота для операций на кости и т.д.).

Большие размеры кристаллов ЧСЦ позволяют изготавливать из них режущий хирургический инструмент любых размеров, который можно использовать для широкого круга операций, требующих высокой точности резания и минимального травматизма.

В настоящее время ведется разработка технологии кристаллов ЧСЦ, и изготовление из них режущих элементов инновационных электрохирургических инструментов с высокими эксплуатационными и функциональными характеристиками. Для создания таких инструментов кристаллы ЧСЦ является идеальным конструкционным материалом. Во-первых, это связано с его механическими свойствами, позволяющими изготовить высокопрочное, износостойкое острое лезвие с низкой адгезией к составляющим биологических тканей. Во-вторых, с его хорошими изоляционными свойствами, низким уровнем диэлектрических потерь, электрохимической и плазмохимической стойкостью, хорошими антипригарными свойствами, являющимися чрезвычайно важными для электрохирургического инструмента.

В данной работе поставлена задача оптимизации химического состава кристаллов ЧСЦ, которые будут использоваться для изготовления режущих элементов электрохирургического инструмента. С этой целью были проведены исследования структурных и прочностных характеристик кристаллов ЧСЦ в зависимости от содержания стабилизирующей примеси ( $Y_2O_3$ ) а также влияние дополнительных легирующих примесей на эти свойства материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для поддержки молодых ученых МК-2035.2011.2 и Президиума РАН по Программе фундаментальных исследований № 24П “Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов”.

# СТРУКТУРА И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОРОШКОВ $\text{NaYb}_x\text{Er}_{1-x}\text{F}_4$

М.А. Земскова<sup>1</sup>, А.А. Ляпин<sup>1</sup>, А.В. Малов<sup>1</sup>, В.П. Мишкин<sup>1</sup>,  
А.А. Пыненков<sup>1</sup>, П.А. Рябочкина<sup>1</sup>, П.П. Федоров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

<sup>2</sup>Учреждение Российской академии наук

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва

Получение нанопорошков является важной областью нанотехнологий. Благодаря сверхмалым размерам частиц, они обладают новыми физическими свойствами, которые обеспечивают различные практические применения. В ближайшем будущем нанопорошки будут неотъемлемым компонентом успешного развития и конкурентоспособности многих отраслей, включая нанoeлектронику и медицину.

В настоящей работе представлены результаты исследований структуры и спектрально-люминисцентных свойств фторидных порошков:  $\text{NaY}_{0.6}\text{Yb}_{0.3}\text{Er}_{0.1}\text{F}_4$  и  $\text{NaYb}_{0.9}\text{Er}_{0.1}\text{F}_4$ . В результате исследования порошков состава  $\text{NaY}_{0.6}\text{Yb}_{0.3}\text{Er}_{0.1}\text{F}_4$  методами лазерного гранулометрического анализа на установке SALD-3101 и сканирующей электронной микроскопии с помощью электронного микроскопа Quanta 200 i 3D установлено, что они содержат частицы субмикронных размеров (несколько сотен нм). Однако большая часть частиц в порошках данных составов объединена в агломераты, размеры которых варьируются от 10 мкм до 500 мкм. Электронные фотографии порошка данного состава, полученные методом сканирующей электронной микроскопии при разных увеличениях, представлены на рисунке 1.

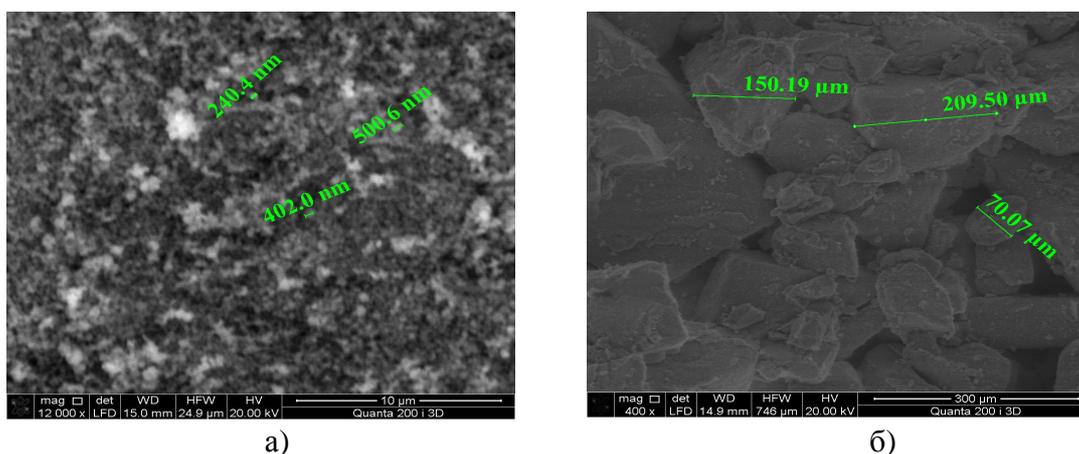


Рис.1 Электронные фотографии порошка состава  $\text{NaY}_{0.6}\text{Yb}_{0.3}\text{Er}_{0.1}\text{F}_4$  при увеличениях а) 12000х и б) 400х

В ходе исследований порошков состава  $\text{NaYb}_{0.9}\text{Er}_{0.1}\text{F}_4$  установлено, что структура и размеры частиц этих порошков аналогичны таковым для порошков  $\text{NaY}_{0.6}\text{Yb}_{0.3}\text{Er}_{0.1}\text{F}_4$ .

В работе также представлены результаты спектрально-люминисцентных исследований фторидных порошков состава  $\text{NaY}_{0.6}\text{Yb}_{0.3}\text{Er}_{0.1}\text{F}_4$  и  $\text{NaYb}_{0.9}\text{Er}_{0.1}\text{F}_4$ .

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНИСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ПОРОШКОВ $\text{SrF}_2 - \text{NdF}_3$

Т.В. Волкова<sup>1</sup>, А.А. Ляпин<sup>1</sup>, А.В. Малов<sup>1</sup>, В.П. Мишкин<sup>1</sup>, А.А. Пыненков<sup>1</sup>,  
П.А. Рябочкина<sup>1</sup>, П.П. Федоров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

<sup>2</sup>Учреждение Российской академии наук

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва

В последнее время значительный научный и практический интерес представляют порошки фторидов с РЗ элементами. Данные материалы потенциально могут быть использованы для создания нового поколения сцинтилляторов, источников белого света, а также в биомедицине для диагностики и терапии рака.

В данной работе представлены результаты исследований структуры и спектрально-люминесцентных свойств фторидных порошков  $\text{SrF}_2\text{-NdF}_3$ , различающихся условиями термообработки. Исследования проводились на двух образцах одинакового состава  $\text{SrF}_2\text{-NdF}_3$ : для образца №1 осуществлялась прокалка при  $500\text{ C}^0$ , образец №2 подвергался сушке при  $40\text{ C}^0$ .

Исследования размеров частиц порошков проводились методами гранулометрического анализа на установке SALD- 3101. В результате исследований было установлено, что средний размер частиц образца №1 составляет 5 мкм. Гранулометрический анализ размеров частиц в образце №2 свидетельствует о том, что размер частиц варьируется в диапазоне от 1 мкм до 20 мкм. Структура порошков исследовалась методом электронной сканирующей микроскопии с помощью электронного микроскопа Quanta 200i3DFEI. Фотографии структуры порошков для образцов №1 и №2 представлены ниже на рис.1. Из рис.1 видно, что частицы порошка образца №2 более склонны к образованию агломератов по сравнению с частицами порошка образца №1.

В настоящей работе также представлены результаты спектрально-люминесцентных исследований порошка состава  $\text{SrF}_2\text{-NdF}_3$ .

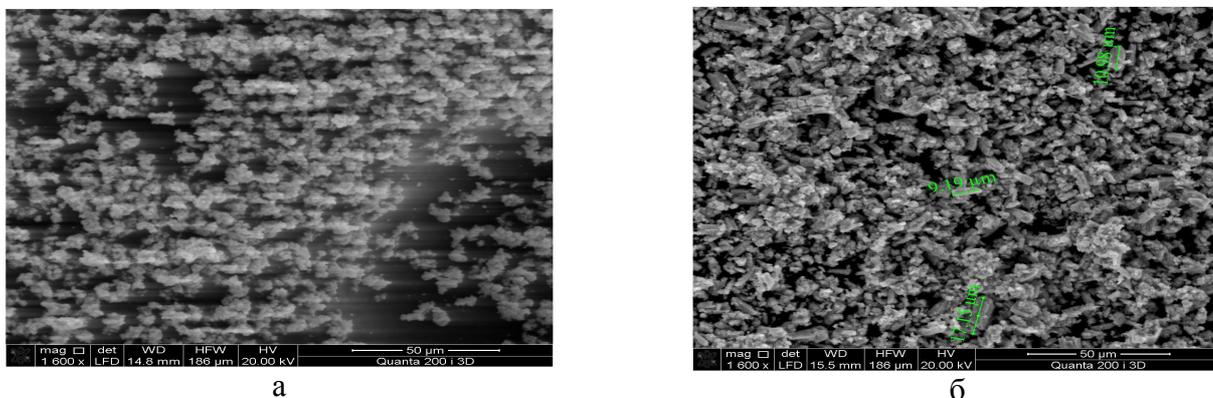


Рис.1. Фотографии структуры порошка состава  $\text{SrF}_2\text{-NdF}_3$  образцов №1 (а) и №2(б).

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОФТОРИДОВ В СИСТЕМАХ  
 $\text{MF}_2\text{-YF}_3$  (M = Ca, Sr, Ba)

М.Н. Маякова<sup>1</sup>, П.П. Федоров<sup>1</sup>, К.Н. Болдырев<sup>2</sup>, С.В. Кузнецов<sup>1</sup>,  
В.В. Воронов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской Академии наук  
Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт Спектроскопии Российской Академии наук  
Россия, 142190 Троицк, ул. Физическая, 5  
e-mail: [mayakova@lst.gpi.ru](mailto:mayakova@lst.gpi.ru)

Интерес к исследованию нанофторидов стремительно возрос за последние несколько лет. Это объясняется их уникальным набором физико-химических свойств, а также свойствами, проявляемыми наноматериалами. Нанофториды перспективны для создания нового поколения сцинтилляторов, источников белого света и в биомедицинских приложениях. Целью данной работы был синтез порошков бинарных фторидов в системах  $\text{MF}_2\text{-YF}_3$  (M = Ca, Sr, Ba) методом соосаждения из водных растворов и их исследование.

В системе  $\text{BaF}_2\text{-YF}_3$  однофазные бескислородные порошки получены в интервале от 30 до 80 мол.% иттрия в исходном растворе. Флюоритовые образцы, осажденные из раствора с относительным содержанием иттрия 50-75 мол.%, по-видимому, соответствуют структурному типу  $\text{KY}_3\text{F}_{10}$  и состоят из кластеров  $\text{Y}_6\text{F}_{36}$  без прослоек флюоритовой матрицы. Рентгеноспектральный микроанализ показал соответствие номинального состава с составом полученных порошков. В системе  $\text{SrF}_2\text{-YF}_3$  область осаждения однофазных образцов твердого раствора  $\text{Sr}_{1-x}\text{Y}_x\text{F}_{2+x}$  составила от 30 до 70 мол.% иттрия в исходном растворе. В системе  $\text{CaF}_2\text{-YF}_3$  следы второй фазы наблюдаются на рентгенограммах образцов синтезированных из растворов с содержанием иттрия 30 мол.% и выше. Во всех системах в области высоких концентраций иттрия в исходном растворе получены двухфазные образцы, содержащие помимо основной образующей фазы кристаллогидрат  $(\text{H}_3\text{O})\text{Y}_3\text{F}_{10} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

Для образца номинального состава  $\text{Ba}_4\text{Y}_3\text{F}_{17}$  со структурой флюорита проведены исследования ИК спектров в спектральном диапазоне от 400 до 5000  $\text{cm}^{-1}$  и температурном диапазоне от 300 до 830 К. Данный образец получен с применением мягких режимов сушки ( $T < 100$  °С) и представляет собой так называемый «прозрачный компакт». В спектрах ИК-поглощения при комнатной температуре наблюдались сильные полосы, обусловленные поглощением воды. При нагревании образцов выше 300 К эти полосы уходят. Стоит отметить, что при отжиге на воздухе при температуре выше 670 К образцы теряют свою прозрачность, что по-видимому, связано с процессами пирогидролиза. При нагревании в вакууме до 770 К образцы остаются прозрачными.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ В Fe-Co ОКСИДНЫХ НАНОСИСТЕМАХ

В.И. Беглов<sup>1</sup>, М.А. Голубьев<sup>1</sup>, Ю.В. Максимов<sup>2</sup>, К.Н. Нищев<sup>1</sup>, А.А. Панов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

<sup>2</sup>Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва

В технологии производства катализаторов широко используются поликристаллические порошки, полученные из химически соосаженных смесей оксалатов металлов. В процессе каталитической реакции, в результате воздействия различных модифицирующих обработок, структура катализатора и его фазовый состав изменяются. Для выяснения механизма каталитических реакций в каждом случае необходимы знания о фазовом составе, структуре и дисперсности катализатора, его изменении при различных термохимических обработках и в ходе самой реакции.

В данной работе методами гамма-резонансной спектроскопии (ГРС), рентгеновской дифракции (РД), малоуглового рентгеновского рассеяния (МРР) и рентгенофлуоресцентного анализа исследованы структурные превращения в железокобальтовых окисных системах, полученных совместным соосаждением оксалатов Fe и Co. По данным ГРС и РД соосаженный продукт имеет орторомбическую модификацию кристаллической структуры оксалата, но не является механической смесью оксалата железа и кобальта. Содержание углерода в образце составляло 14%. Термообработка продукта при 500 °С приводит к образованию однофазного состава феррита  $Co_{0,9}Fe_{2,1}O_4$ , минуя стадию кристаллизации отдельных окислов и уменьшением содержания углерода до 0,25%. После проведения высокотемпературной адсорбции бутенов ( $C_4H_8$ ), основным продуктом топохимического превращения феррита по данным ГРС является  $Fe_{1-x}Co_x$  и  $(FeCo)_3C$ . Однако рентгенограмма образца показала наличие только  $Co_{0,9}Fe_{2,1}O_4$  и  $Fe_{1-x}Co_x$ . Из этого следует, что верхняя граница размера частиц  $(FeCo)_3C$  5 нм. Содержание углерода в образце при этом увеличивается до 4,9%. Росту размеров частиц  $(FeCo)_3C$  препятствует наличие избыточного углерода, который располагаясь по границам зерен, препятствует свободному укрупнению частиц. В процессе реакции происходит восстановление феррита до бинарного Fe-Co сплава. Образование  $(FeCo)_3C$  на поверхности сплава происходит при термическом разложении бутена. По данным проведенных исследований средний размер кристаллитов в соосаженных, прокаленных и после реакции с бутеном образцах составляет примерно 20 нм.

## СВЯЗЬ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДНО-КЕРАМИЧЕСКОГО КОМПОЗИТА С УСЛОВИЯМИ СИНТЕЗА АРМИРУЮЩИХ НАНОТРУБОК

К.С. Зараменских<sup>1</sup>, Е.А. Данилов<sup>2</sup>, Е.В. Жариков<sup>1</sup>, Э.М. Кольцова<sup>1</sup>,  
Н.А. Попова<sup>1</sup>, Д.Н. Сovyк<sup>1</sup>, П.П. Файков<sup>1</sup>, Н.А. Федосова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Российский химико-технологический университет  
им. Д.И. Менделеева, Москва*

<sup>2</sup>*ОАО Государственный научно-исследовательский институт  
конструкционных материалов на основе графита, Москва*

Углеродные нанотрубки (УНТ), введенные в керамику, позволяют существенно увеличить прочность и трещиностойкость материала. При этом однослойные УНТ хотя и обладают лучшими механическими характеристиками, но из-за недостаточной термической стабильности не выдерживают используемых для создания керамических материалов процессов длительного нагрева и высокотемпературного прессования. В то же время структурно менее совершенные многослойные УНТ позволяют осуществить их гомогенное распределение после соответствующей обработки. Также есть данные о необходимости внедрения нанодфектов в стенки трубок для улучшения их «сцепления» с матрицей [1].

В данной работе проведен анализ микроструктуры получаемой корундовой керамики в зависимости от типа применяемых УНТ. Многослойные нанотрубки двух типов были получены путем каталитического пиролиза метана и пропана на Fe и Co-содержащих оксидномагниевого катализаторах. После ультразвуковой диспергации суспензию УНТ вводили в шихту состава  $Al_2O_3$  (MgO) в количестве 3 % об. по методике, описанной в [2]. Вакуумный обжиг сформованных керамических заготовок проводили при остаточном давлении  $10^{-4}$  мм рт. ст. до температуры  $1700^\circ C$  с выдержкой при  $1470^\circ C$  в течение 3 часов.

Методами оптической и сканирующей электронной микроскопии показано, что при использовании нанотрубок, полученных из пропана, отличающихся более дефектной структурой – наличием включений на поверхности УНТ и неоднородностью внешних слоев, происходит изменение их расположения при высокотемпературном обжиге. В результате композит приобретает неоднородную структуру, остаточную пористость и низкую прочность. Структурно более совершенные УНТ - с вдвое меньшим количеством слоев (от 15), полученные пиролизом метана, образуют в спекшихся образцах керамики сетчатый каркас строго по граням кристаллов матрицы, что способствует удалению закрытой пористости и получению плотного равнокристаллитного материала.

1. Yamamoto G., Omori M., et al. // Nanotechnology. 2008. V. 19. P. 1-7.
2. Жариков Е.В., Зараменских К.С., Попова Н.А., Файков П.П., Исхакова Л.Д., Герке М.Н., др. // Стекло и керамика. 2011. № 3. С. 12-16.



# **ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА**

# ГАМИЛЬТониан ФОТОНОВ В ОДНОМОДОВОМ, СТОХАСТИЧЕСКОМ, АНИЗОТРОПНОМ ОПТОВОЛОКНЕ В ПРИБЛИЖЕНИИ ПЛАВНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Г.П. Мирошниченко

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург*

Получен гамильтониан фотонов в одномодовом оптическом волокне (ОВ) с учетом малой, анизотропной, неоднородной, плавно изменяющейся (вдоль ОВ) добавки к тензору диэлектрической проницаемости. Фотоны определены по отношению к нормальным модам идеального одномодового ОВ. Тензор проницаемости параметризован тремя феноменологическими стохастическими параметрами, определяющими “взаимодействие” ортогонально поляризованных компонент моды одномодового ОВ. Дается сравнение введенных параметров с параметрами, учитывающими закручивание, деформирование, изгиб ОВ. Влияние этих и других причин на двулучепреломление в ОВ подробно исследованы с помощью классического метода связанных волн в работах [1 - 4]. В нашей работе задача взаимодействия мод в стохастическом ОВ решена методом квантовой оптики в правильно выбранной калибровке, обеспечивающей свойство поперечности вектора электрического смещения. Гамильтониан сохраняет число фотонов. Это свойство стало возможным, благодаря использованию приближения плавных возмущений (по аналогии с классическим методом связанных волн). В этом приближении пренебрегают взаимодействием противоположно направленных волн. Для учета стохастичности отрезок ОВ разбит на случайные сегменты, оптические параметры которых случайны и подчиняются винеровскому процессу по продольной координате. Рассмотрена динамика во времени матрицы плотности фотонов в базисе состояний с ортогональными поляризациями с учетом поглощения и деполяризации. Статистика параметров ОВ предполагается гауссовской и по разбросу параметров произведено усреднение величин, характеризующих качество распределяемого по ОВ квантового ключа.

1. R. Ulrich, A. Simon. Polarization optics of twisted single-mode fibers. Applied Opt. V. 18, p. 2241, (1979)
2. D. Gloge. Weakly Guiding Fibers. Appl.Opt. V.10, p. 2252, (1971)
3. M.Monerie, L.Jeunhomme. Polarization mode coupling in long single-mode fibres. Optical and Quantum Electronics, v. 12, p.449, (1980)
4. C.R.Menyuk, P.K.A.Wai. Polarisation evolution and dispersion in fibers with spatially varying birefringence. J. Opt.Sos.Am.B.v.11, p.1288, (1994)

# ПРОГРЕСС В ОБЛАСТИ ГОЛЬМИЕВЫХ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ

А.С. Курков

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

Гольмиевые волоконные лазеры, излучающие в спектральном диапазоне 2-2.2 мкм, представляют интерес по ряду причин, среди которых наличие локального окна прозрачности атмосферы в этой области, что делает их перспективными для лазерной локации и связи по атмосфере. В то же время, достаточно большое поглощение такого излучения биотканями позволяет предполагать медицинские применения таких источников. Кроме того, такое излучение может использоваться для дальнейшего преобразования в средний ИК-диапазон.

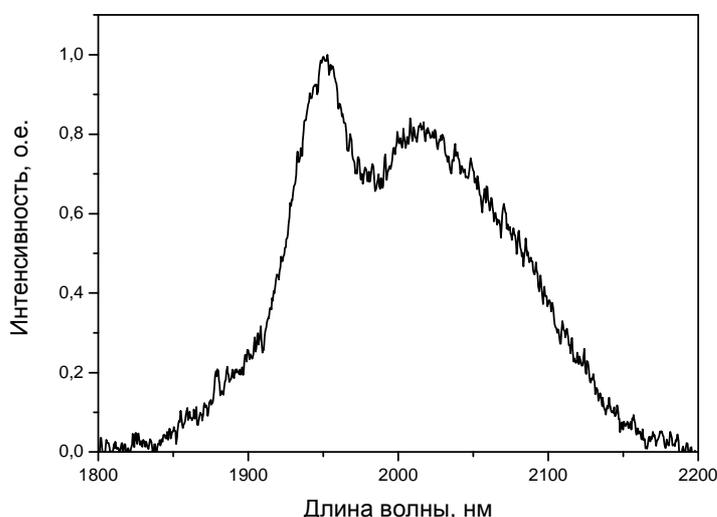


Рис.1. Спектр люминесценции ионов гольмия.

иттербиевого лазера.

На рис. 1 представлена схема уровней ионов гольмия в кварцевом стекле. Из рисунка видно, данный элемент обладает оптическими переходами, обуславливающими излучение в области 2 мкм. Для накачки может быть использован источник с длиной волны излучения в области 1.15 мкм. На рис.2 представлена схема гольмиевого волоконного лазера с накачкой от

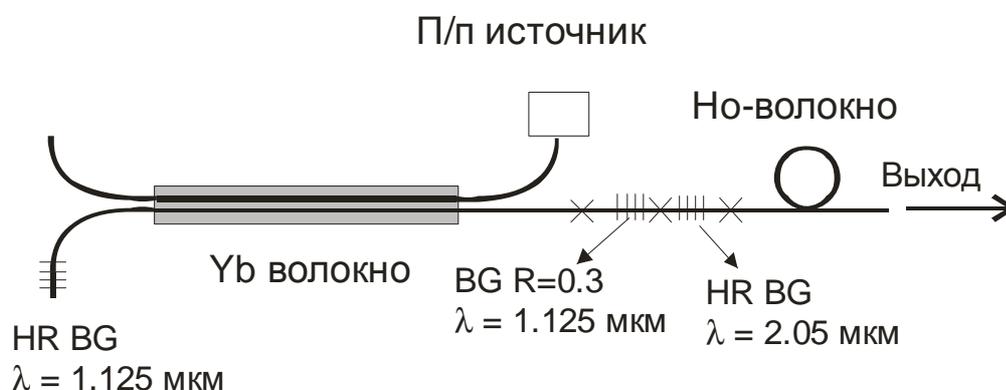


Рис.2. Схема волоконного лазера.

Одним из основных направлений исследований в области гольмиевых лазеров является увеличение эффективности накачки. Фундаментальным фактором, ограничивающим эффективность волоконных лазеров двухмикронного диапазона, являются оптические потери, обусловленные краем колебательной полосы поглощения молекул  $\text{SiO}_2$ . Оптические потери в диапазоне 2-2.2 микрона экспоненциально возрастают от 0.07 до 0.33 дБ/м. Такой уровень потерь должен заметно сказываться на эффективности генерации при длине активного волокна порядка 10 м и выше. Уменьшение длины активного волокна может быть достигнуто путем увеличения концентрации ионов гольмия. Однако для высококонцентрированных активных волокон характерна кластеризация активных ионов, приводящая к тому, что значительная их часть безизлучательно релаксирует на основной уровень, влияя на эффективность генерации, которая уменьшается с ростом концентрации активных ионов. Поэтому, существует оптимум по концентрации активной примеси. На рис. 3 показана зависимость эффективности генерации от концентрации активных ионов при накачке на длине волны 1.125 мкм.

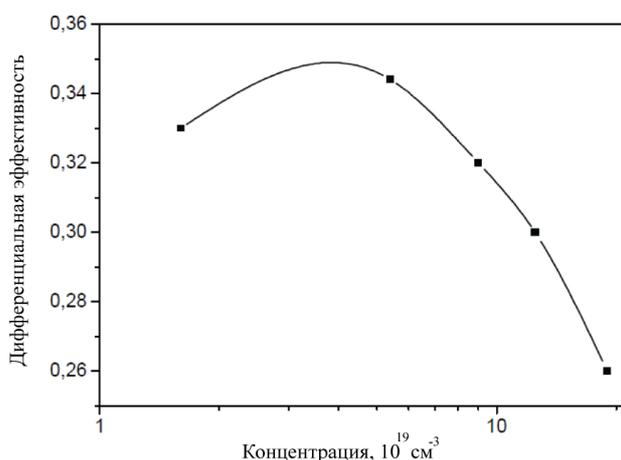


Рис.3. Зависимость эффективности от концентрации ионов гольмия.

Падение эффективности при концентрации  $1.6 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  обусловлено возрастанием длины волокна в резонаторе до 10 м. Для уменьшения длины был использован иттербиевый лазер с длиной волны генерации 1.15 мкм, соответствующий максимуму поглощения ионов гольмия. В этом случае эффективность генерации составила 0.45, что соответствует квантовой эффективности 0.8.

Другим направлением исследований является получение импульсной генерации гольмиевых волоконных лазеров. Для этого может использоваться режим самомодуляции добротности. Возникновение самомодуляции объясняется кластеризацией активных ионов в высококонцентрированных волокнах, приводящая к тому, что значительная их часть безизлучательно релаксирует на основной уровень и играют роль насыщающегося поглотителя, приводя к появлению импульсного режима генерации. Исследование характеристик самомодуляции добротности для волокон с различной концентрацией активных ионов и длиной показало, что максимальная пиковая мощность составила 38 Вт. При этом длительность импульса составила 160 нс, а частота повторения - 410 кГц.

Большая ширина спектра люминесценции позволяет использовать гольмиевые волокна для получения генерации ультракоротких импульсов в режиме синхронизации мод. Для реализации режима синхронизации мод в резонатор лазера могут вводиться элементы с нелинейным поглощением, в частности, зеркало на основе насыщающегося полупроводникового поглотителя SESAM. В нашем случае поглотитель, содержащий 15 квантовых ям на основе GaInSb, был выращен методом молекулярно-лучевой эпитаксии в едином процессе монолитно с брэгговским отражателем, состоящим из 18-пар AlAsSb–GaSb. Время релаксации поглотителя было снижено до нескольких пикосекунд за счет ионного облучения.

В реализованном лазере частота повторения импульсов определялась общей длиной резонатора и составила 34 МГц. Средняя выходная мощность составила 6.6 мВт. На рис. 6 показана осциллограмма одиночного импульса, полученная с использованием фотодетектора с временным разрешением 0.4 нс. Для определения реальной длительности импульса использовался автокорреляционный метод. На рис. 4 показана автокорреляционная функция и ее аппроксимация. Полагая, что форма импульса описывается функцией  $sech^2$ , его длительность составляет 830 фс. На рис. 5 представлен спектр выходного излучения импульсного лазера, имеющий ярко выраженные спектральные компоненты. Они указывают на солитонную природу генерируемых импульсов. Произведение спектральной ширины на длительность импульса составляет 0.41.

Также для получения режима синхронизации мод использовалось зеркало с покрытием из углеродных нанотрубок. В этом случае длительность импульсов составила 890 фс.

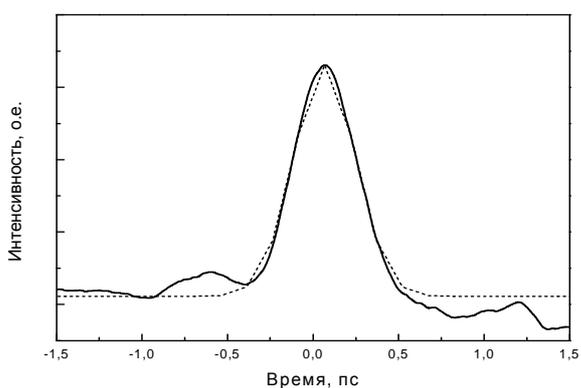


Рис.4. Автокорреляционная функция.

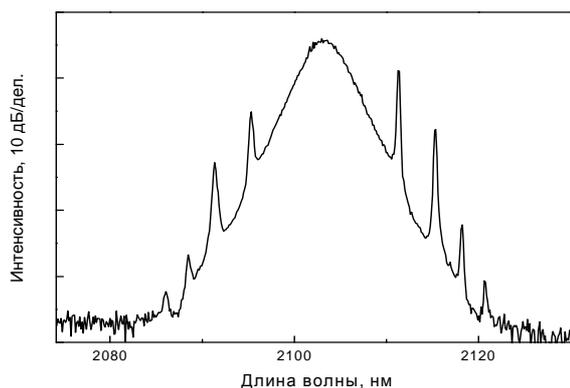


Рис.5. Спектр излучения.

## ПЛАЗМОХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ SPCVD

К.М. Голант

*Институт Радиотехники и Электроники им. В.А. Котельникова РАН,  
Москва*

Ключевая идея технологии SPCVD (surface-plasma chemical vapor deposition) состоит в создании протяженного плазменного столба в трубке из кварцевого стекла с возможностью периодической вариации его длины посредством изменения микроволновой мощности, подводимой к плазме. При непрерывной прокачке паров галогенидов металлов в смеси с кислородом через такой сканирующий плазменный столб, в объеме плазмы генерируются оксиды, которые адсорбируются стенками трубки. Весь процесс генерации оксидов и их осаждения начинается при входе газовой смеси в столб и завершается внутри столба на участке плазмы длиной несколько см. Этот головной, сравнительно короткий (3-8 см) участок плазменного столба является зоной осаждения стекла. Периодическое сканирование зоны осаждения вдоль трубки позволяет формировать на ее внутренней поверхности слои стекла на отрезке трубки длиной до 1 м.

Существенным отличием SPCVD от плазмохимических процессов в микроэлектронике является в 100 раз более высокая производительность синтеза оксидов, достигающая 0,5 г/мин. Предложенная 25 лет назад [1] как альтернативная технология изготовления заготовок для вытяжки обычного телекоммуникационного оптоволокна, технология SPCVD за прошедшее время приобрела много дополнительных полезных качеств. С ее помощью были синтезированы новые материалы и структуры, актуальные для современной оптоэлектроники, волоконной оптики и лазерной физики. Были получены, в частности, радиационно-стойкие оптические волокна с сердцевиной из кварцевого стекла, легированного азотом [2], волокна для лазеров и усилителей, активированные различными активаторами, включая висмут [3]. С помощью SPCVD были изготовлены френелевские линзы для фокусировки жесткого рентгеновского излучения [4].

Вместе с тем, потенциал этой технологии еще далеко не исчерпан, и поэтому можно ожидать новых, интересных результатов в области создания оптических материалов с применением технологии SPCVD.

1. D. Pavy, M. Moisan, S. Saada, P. Chollet, P. Leprince, J. Marrec in 12th European Conf. on Optical Commun., 1986, Barcelona, p.19
2. K. M. Golant, E. M. Dianov, R. R. Khrapko and A. L. Tomashuk, Proc. SPIE vol. 4083 p. 2–11 (2000)
3. K.M. Golant, A.P. Bazakutsa, O.V. Butov, Yu.K. Chamorovskij, A.V. Lanin, S.A. Nikitov, in 36th European Conf. on Optical Commun., 2010, Torino, p. 1.02
4. K. M. Golant, S. V. Lavrishchev, A. V. Popov, I. A. Artyukov, R. M. Feshchenko, A. N. Mitrofanov, and A. V. Vinogradov, Appl. Opt., Vol. 46, No. 23, pp. 5964-5966, (2007)

# МОНОКРИСТАЛЛЫ ГАЛОГЕНИДОВ СЕРЕБРА ДЛЯ ЭКСТРУЗИИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СВЕТОВОДОВ

Г.В. Полякова, В.Ф. Голованов, И.С. Лисицкий,  
М.С. Кузнецов, К.С. Зараменских

*ОАО Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности «Гиредмет», Москва*

Интерес к галогенидам серебра возник как к перспективному материалу для изготовления оптического волокна для приборов лазерной хирургии. Теоретическая оценка минимума оптических потерь в кристаллах КРС-13 (AgCl-AgBr) составляет  $1 \cdot 10^{-4}$  дБ/км [1], практически полученный коэффициент поглощения лазерного излучения ( $\lambda=10,6$  мкм) в лучших из выращиваемых кристаллов составляет  $1-1,5 \cdot 10^{-4}$  см<sup>-1</sup>, а оптические потери в изготовленных волокнах 100 дБ/км (работы проводились в ИОФ АН под руководством Е.М. Дианова).

Однако до последнего времени материал не находил серьезного практического применения из-за низких механических характеристик и высокой светочувствительности. Поглощение со временем быстро возрастает и уже через 6 месяцев выводит оптическое волокно из строя. При этом катализатором фотолиза являются примеси, а продукты разложения лавинообразно усиливают процесс [2].

Кристаллы КРС-13, КРС-36 и КРС-63 в разных сочетаниях используют при изготовлении оболочечных волокон. Поэтому была поставлена задача практического определения пар кристаллов сердцевина-оболочка, отличающихся показателем преломления и имеющих минимальную неоднородность по длине, для проведения экструзии.

Проведенные исследования позволили предложить способ косвенной оценки показателя преломления каждой заготовки, поступающей на экструзию, и разработать технологию выращивания кристаллов составов, отличающихся от точки минимума с допустимым отклонением химического состава по длине слитка.

Достигнуто повышение стабильности оптических характеристик галогенидов серебра, используя твердые растворы хлорида-бромиды и выращивая кристаллы из предварительно глубоко очищенных солей. Волокна, изготовленные из таких кристаллов, сохраняют оптическую стабильность в течение трех лет.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке ГК «Росатом», госконтракт № Н.4ф.45.90.11.1041.

1. Дианов Е.М., Лисицкий И.С., Плотниченко В.Г. Оптика и спектроскопия. 1984. т. 56 (3). С. 457 – 460.

2. Мейкляр П.В. Успехи физических наук. 1949. Т. 38 (1). С. 43-76.

# ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ИНЖЕНЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ КОМБИНИРОВАННЫХ МЕТОДОВ

А.И. Низовцев, А.Ю. Торошин  
*ФГБОУ ВПО "Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет", Пермь*

Разрабатываемая система предполагает ее применение на протяженных объектах: участках газо- и нефтепроводов, мостах и др.

В чувствительных элементах ВОСМ в основном используются следующие принципы:

1. Упругое рассеяние (интерферометрические датчики, рассеяние Рэлея);
2. Неупругое рассеяние (брэгговские решетки, рассеяние Мандельштама-Бриллюэна);

В ходе работы было проведено математическое моделирование изменения некоторых параметров трубопровода. В качестве инструмента использовался программный комплекс ANSYS.

Дальнейшей поставленной задачей является проведение натурных испытаний на объекте и получение реальных значений исследуемых параметров. Заключительным этапом работы будет сравнение полученных в результате трех предыдущих этапов данных, оценка погрешности их расхождения, причин ее появления, а также выдача практических рекомендаций по применению волоконно-оптических систем мониторинга.

1. W. Ecke «Applications of Fibre Bragg Grating Sensors», IPHT Jena, April 12, 2008.

2. R. Kashyap «Fiber Bragg Gratings», «Academic press», USA, 1999.

3. A. Othonos, K. Kalli «Fiber Bragg Gratings: Fundamentals and Applications in Telecommunications and Sensing», Artech House, 1999.

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ВОЛОКОННЫЙ Но-ЛАЗЕР  
С.О. Антипов<sup>1</sup>, В.А. Камынин<sup>2</sup>, А.С. Курков<sup>2</sup>, С.И. Каблуков<sup>3</sup>,  
К.С. Распопин<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Физический факультет, Москва

<sup>2</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва

<sup>3</sup>Институт автоматики и электрометрии, Новосибирск

<sup>4</sup>Inversion FiberCo. Ltd, Новосибирск

Гольмиевый волоконный лазер является эффективным и компактным источником излучения в среднем ИК диапазоне. Реализованная возможность динамической перестройки длины волны генерации существенно расширяет диапазон применения Но лазера, в частности, для задач спектроскопии.

В данной работе выполнена перестройка периода входной брэгговской решетки, составляющей резонатор лазера и записанной непосредственно в сердцевине волокна, что позволило динамически менять длину волны генерации. В качестве выходного отражателя выступал торец волокна. Аксиальные нагрузки, приложенные к волокну, приводят к изменению резонансной длины волны на  $\Delta\lambda = \lambda_0(1 - P_e)\epsilon$ , где  $P_e = 0.22$  фотоупругий коэффициент. Диапазон деформации волокна существенно ограничен его прочностью. Наибольший диапазон достигается при сжатии решетки. Для этого отрезок волокна с брэгговской решеткой был помещен между двумя зажимами. Линейное смещение зажимов навстречу вызывает аксиальное сжатие волокна, что приводит к уменьшению периода решетки и резонансной длины волны. При деформации 800  $\mu\text{m}$  длина волны генерации была перестроена с 2,1 мкм до 2,045 мкм. Таким образом, диапазон перестройки составил 55 мкм.

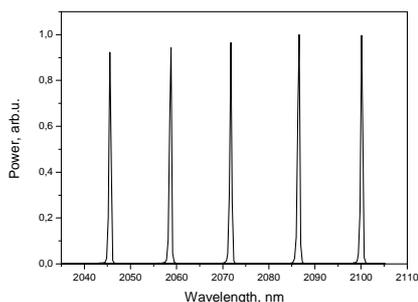


Рис.1. Спектры излучения при перестройке решетки.

Максимальная мощность излучения составила 2 Вт, ее изменение составило 0,15 Вт или 7,5%.

## ИМПУЛЬСНЫЙ ВОЛОКОННЫЙ Er-Tm-ЛАЗЕР В ПРИБОРНОМ ИСПОЛНЕНИИ

Я.Э. Садовникова<sup>1,2</sup>, В.А.Камынин<sup>2</sup>, А.С. Курков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет приборостроения и информатики

<sup>2</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН

Исследован и собран в приборном исполнении эрбиевый волоконный лазер с тулиевым волоконным затвором, схема которого представлена на рис.1. В качестве активной среды лазера использовалось Er-волокно длиной 10 метров с диаметром сердцевины 20 мкм с накачкой в оболочку. Был реализован режим модуляции добротности за счет введения в резонатор лазера насыщающегося поглотителя на основе волокна, легированного ионами Tm с концентрацией  $2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ , длина которого менялась от 4 до 17 см. Резонатор лазера был образован парой брэгговских решеток с резонансом на 1.6 мкм.

Реализованный лазер работал в импульсном режиме. Исследуемые образцы разной длины приваривались к выходному отрезку волоконного лазера с ВБР. Оптимальная длина поглотителя составила 4,5 см, так как при ней получены наилучшие выходные характеристики

Частота повторения импульсов зависела от мощности накачки и длины поглотителя и при оптимальной длине достигала 4.5 кГц. Максимальная средняя мощность составила 0.9 Вт. Длительность импульсов менялась от 25 до 80 нс. На оптимальной длине поглотителя длительность составила около 35 нс. Энергия импульса составила около



Рис. 1. Схема лазера

0.2 мДж, пиковая мощность – 5.7 кВт. На рисунке 2 представлена фотография лазера в приборном исполнении.

Прибор передан в Ульяновский государственный университет для биомедицинских исследований.

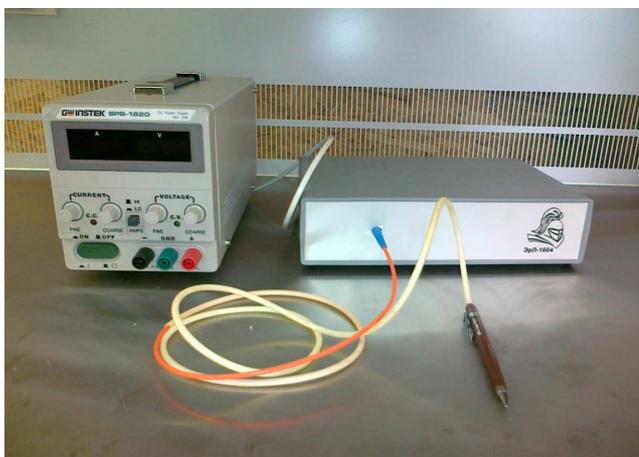


Рис. 2. Лазер в приборном исполнении

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕИДЕАЛЬНОГО КВАНТОВОГО ОПТОВОЛОКОННОГО КАНАЛА, ПОДВЕРЖЕННОГО АТАКЕ ТИПА «ПЕРЕХВАТ – ПОСЫЛКА»

А.А. Сотникова, Г.П. Мирошниченко  
*Санкт-Петербургский Государственный Университет  
Информационных Технологий, Механики и Оптики, С.-Петербург*

Современные квантовые сети, по которым осуществляются квантовые коммуникации [1,2], используют в качестве канала одномодовое оптическое волокно (ОВ). Неидеальность ОВ является причиной ошибок в просеянном квантовом ключе, кодированном на поляризационных состояниях фотонов. В шредингеровском представлении для описания развития во времени матрицы плотности фотонов необходим гамильтониан оптических мод (фотонов) в одномодовом ОВ. Стохастичность среды и квантовые шумы в канале приводят к декогеренции (деполяризации) квантовых состояний и поглощению фотонов. В работе использован гамильтониан, содержащий стохастические феноменологические параметры, учитывающие искажения формы ОВ и приводящие к эффекту двулучепреломления и оптической активности ОВ канала. В оператор релаксации в уравнении Лиувилля введены параметры, учитывающие эффекты поглощения и декогеренции. В результате найдена матрица плотности передаваемых по ОВ фотонов на входе в анализатор приемника. С помощью матрицы плотности вычислены информационные характеристики распределяемого просеянного ключа, такие, как QBER, пропускная способность и другие [3,4,5]. Проанализирован простейший протокол перехвата квантовой информации “перехват - посылка” в присутствии неидеального шумящего канала и оценена длительность канала, на которой перехватчик может быть обнаружен в результате статистического анализа.

1. M Sasaki, M Fujiwara, et al. Field test of quantum key distribution in the Tokyo qkd network. *Optics Express*, 19(11):10387–10409, 2011
2. D Stucki, M Legre, et al. [arXiv:1203.4940](https://arxiv.org/abs/1203.4940). Long term performance of the SwissQuantum quantum key distribution network in a field environment. 2012
3. S. Castelletto, I. P. Degiovanni, M. L. Rastello. Quantum and classical noise in practical quantum-cryptography systems based on polarization-entangled photons. *Phys. Rev. A* 67, 022305, (2003)
4. Nicolas Gisin, Gregoire Ribordy, Wolfgang Tittel, Hugo Zbinden. Quantum cryptography // *Rev. Mod. Phys.* V.74, P.145 -195, (2002)
5. Valerio Scarani, Helle Bechmann-Pasquinucci, Nicolas J. Cerf, Miloslav Dušek, Norbert Lütkenhaus, Momtchil Peev. The security of practical quantum key distribution. *Rev. Mod. Phys.*, V. 81, 1301, (2009)

## ИСТОЧНИКИ СУПЕРКОНТИНУУМА ДВУХМИКРОННОГО ДИАПАЗОНА

В.А. Камынин<sup>1</sup>, А.С. Курков<sup>1</sup>, Я.Э. Садовникова<sup>2</sup>, В.Б. Цветков<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
<sup>2</sup>Московский государственный университет приборостроения и информатики, Москва

Генерации суперконтинуума посвящено большое количество работ. Такой интерес вызван широким применением широкополосного излучения в самых различных областях. Особый интерес представляет получение широкополосного излучения на длинах волн более 2 мкм.

Задающим генератором в данной работе является эрбиевый волоконный лазер в режиме модуляции добротности. Длительность импульса эрбиевого лазера составляла 35 нс, энергия импульса - 210 мкДж, пиковая мощность – 6 кВт.

В роли нелинейных сред использовались как пассивные волокна, так и волоконные усилители. Среди пассивных световодов наибольшая эффективность нелинейного преобразования излучения достигается в волокнах, легированных германием (рис. 1, а). Это вызвано низкими потерями в области более 2 мкм и большим, по сравнению со стандартными волокнами, нелинейным коэффициентом.

Кроме того, интерес представляют активные среды усилителей, в которых происходит частичное усиление нелинейно преобразованного излучения. Использование тулиевых и гольмиевых волоконных усилителей в качестве среды для генерации суперконтинуума позволило получить более высокую концентрацию мощности на длинах волн более 2 мкм (рис. 1, б).

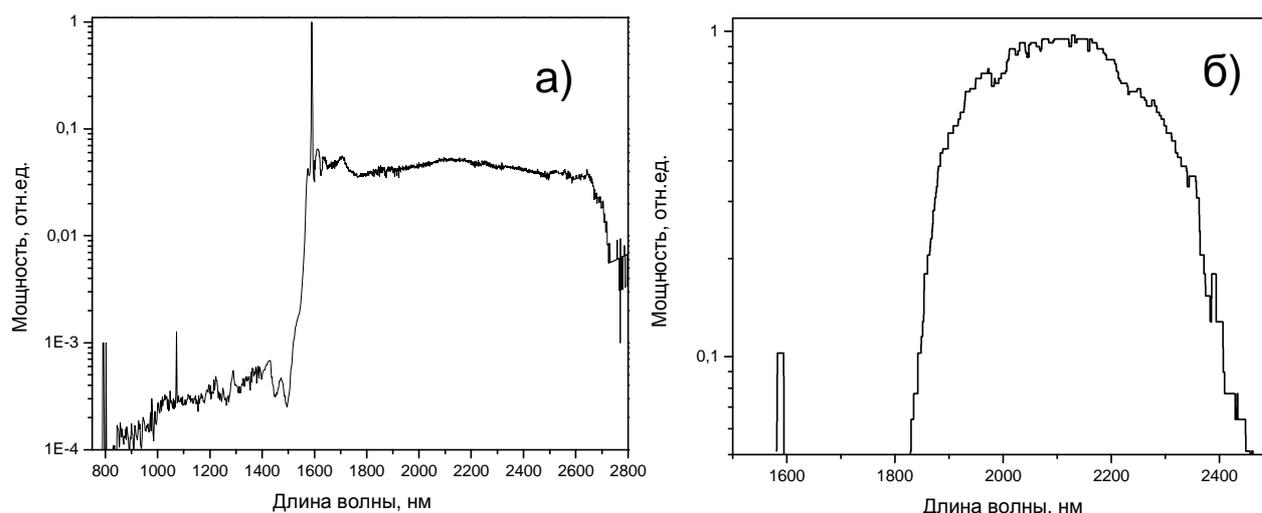


Рис.1 Спектры суперконтинуума.

# ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ВИСМУТОВЫХ АКТИВНЫХ ЦЕНТРОВ В СВЕТОВОДАХ ИЗ $v\text{-SiO}_2$ И $v\text{-GeO}_2$ ПРИ КАСКАДНОМ ДВУХКВАНТОВОМ ВОЗБУЖДЕНИИ

С.В. Фирстов<sup>1</sup>, Г.К. Алагашев<sup>3</sup>, Е.Г. Фирстова<sup>1</sup>, В.Ф. Хопин<sup>2</sup>,  
В.В. Вельмискин<sup>1</sup>, И.А. Буфетов<sup>1</sup>, А.Н. Гурьянов<sup>2</sup>, Е.М. Дианов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научный центр волоконной оптики РАН, Москва

<sup>2</sup>Институт высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород

<sup>3</sup>Московский физико-технический институт, Долгопрудный

Волоконные световоды, легированные висмутом, являются новыми активными средами, обладающими широкими полосами люминесценции в ближней ИК области. К настоящему времени на основе таких материалов созданы эффективные лазеры и усилители оптических сигналов, работающие в диапазоне 1300-1530 нм [1]. Дальнейшее повышение КПД висмутовых лазеров и усилителей неразрывно связано с определением физической природы висмутовых активных центров (ВАЦ) и структуры их энергетических уровней, которые до сих пор мало изучены.

В данной работе в качестве экспериментальными образцов были выбраны световоды с сердцевиной из кварцевого стекла и германатного стекла с висмутом. Изучение люминесцентных свойств ВАЦ в таких световодах проводилось путем измерения спектров люминесценции при одновременном возбуждении на двух длинах волн. Возможность каскадного возбуждения ИК люминесценции в световодах с висмутом исследовалась впервые. Длина волны одного излучения оставалась неизменной ( $\lambda_{\text{const}}$ ), а другого – изменялась с шагом 10 нм ( $\lambda_{\text{var}}$ ). Источником возбуждающего излучения был источник суперконтинуума (Fianium SC450). Регистрация спектров ИК люминесценции в диапазоне 700-1000 нм осуществлялась с помощью спектроанализатора (Ocean Optics QE65000).

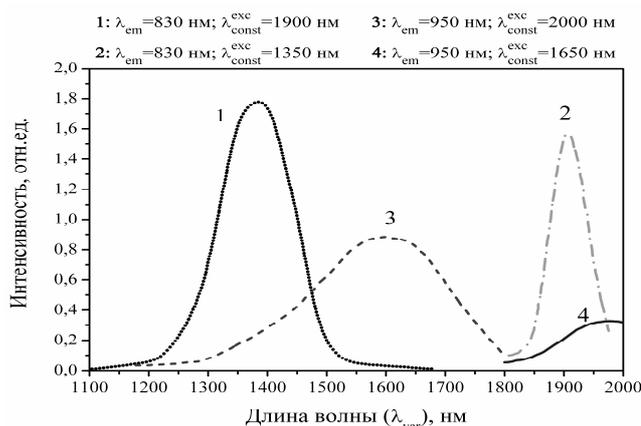


Рис. 1. Зависимость интенсивности люминесценции на 830 нм для  $\text{SiO}_2$  световода (1 и 2) и 950 нм для  $\text{GeO}_2$  световода (3 и 4) от  $\lambda_{\text{var}}$ .

При каскадном двухквантовом возбуждении наблюдались полосы люминесценции с максимумами на 830 нм и 950 нм, характерные для ВАЦ в световодах из  $v\text{-SiO}_2$  и  $v\text{-GeO}_2$ , соответственно.

По полученным данным были построены зависимости интенсивности люминесценции на 830 нм и 950 нм от длин волн возбуждения в ИК области - спектры возбуждения ВАЦ, находящихся на лазерном уровне.

Ранее данные полосы люминесценции наблюдались только при одноквантовом возбуждении на длинах волн 800, 420 нм ( $v\text{-SiO}_2$ ) и 925, 460 нм

( $v\text{-GeO}_2$ ). Возникновение ИК люминесценции при каскадном возбуждении является дополнительным подтверждением существования различных ВАЦ в германатных и кварцевых световодах со схемами энергетических уровней, определенных в работе [2].

Данная работа была выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант 11-02-01318-а) и гранта Президента РФ (МК-2380.2012.2)

1. A.V. Shubin, et al., *Optics Letters* (статья отправлена в редакцию (2012))
2. S.V. Firstov, et al., *Optics Express*, Vol. 19, Issue 20, pp. 19551-19561 (2011)

# ПОЛЫЕ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ СВЕТОВОДЫ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ КРИВИЗНОЙ ПОВЕРХНОСТИ СЕРДЦЕВИНЫ ДЛЯ СРЕДНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА

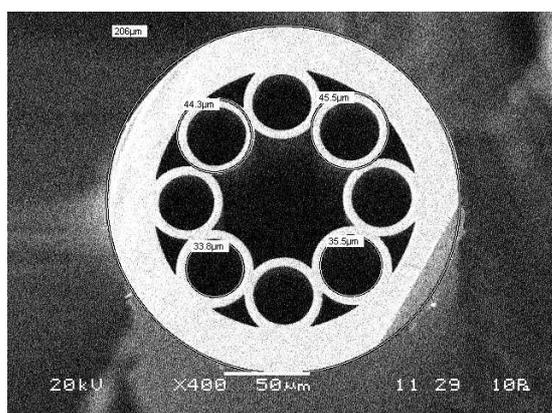
А.Н. Колядин, А.Ф. Косолапов, А.Д. Прямиков, А.С. Бирюков

*Научный центр волоконной оптики Российской академии наук, Москва*

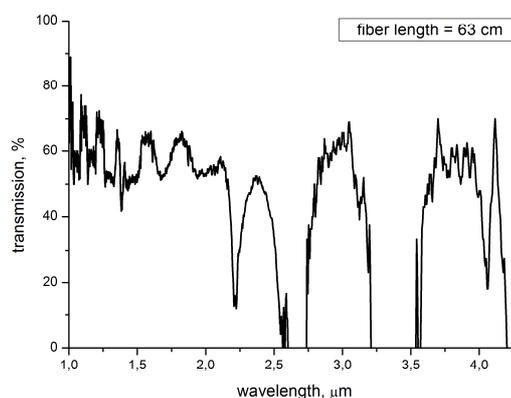
Благодаря своим уникальным свойствам полые микроструктурированные световоды могут использоваться как в телекоммуникационных задачах, так и в задачах, где требуется передача излучения с высокой плотностью мощности. В связи с этим оптимизация их структуры и снижение потерь на вытекание является важной и перспективной задачей.

Мы демонстрируем теоретически и экспериментально передачу излучения в широком спектральном диапазоне с малыми потерями в полых микроструктурированных световодах с отрицательной кривизной поверхности сердцевины[1]. Показано, что относительно простая оболочка состоящая из одного ряда кварцевых капилляров позволяет передавать излучение в среднем ИК диапазоне, несмотря на высокие материальные потери в кварцевом стекле. Данный результат получен во многом из-за изменения «знака» кривизны оболочки. Оболочка с «отрицательной» кривизной приводит к усилению локализации мод сердцевины и снижает их взаимодействие с модами оболочки, что, в свою очередь, приводит к снижению потерь на вытекание.

Профиль световода и измеренное пропускание через 63 см волокна представлены на рис. 1.



а)



б)

Рис. 1. а) профиль световода; б) измеренное пропускание в световоде длиной 63 см.

# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ, ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ ВИСМУТА

Д. Ю. Ерин, К.Н. Нищев, А.А. Панов, А.А. Пынинков

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

Актуальной задачей оптического материаловедения и телекоммуникационных технологий, является создание широкополосных волоконных усилителей для второго окна прозрачности (1.26-1.36 мкм) телекоммуникационных волоконных световодов. Значительный прогресс в освоении данного спектрального диапазона возможен при использовании в усилителях волоконных световодов, активированных ионами висмута. Однако практическое применение висмутовых световодов сдерживается тем, что до настоящего времени окончательно не установлена физическая природа активных висмутовых центров в стеклах и световодах. Решению этой задачи, в частности, могут способствовать результаты исследования зависимости спектрально-люминесцентных свойств ионов висмута от химического состава стеклянной матрицы.

В настоящей работе синтезированы висмутсодержащие германатные, германатно-силикатные и германатно-фосфатные стекла различных составов, изучены их спектрально-люминесцентные свойства. Стекла получали путем плавления шихты в муфельной печи на воздухе в температурном диапазоне 1550-1630 °С.

В спектрах поглощения стекол зафиксированы четыре широкие полосы поглощения с максимумами вблизи 500, 700, 800 и 1000 нм. Не отмечено существенных изменений в спектре поглощения стекла при замене компонентов шихты ( $\text{Na}_2\text{O}$  на  $\text{BaO}$  или  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ).

Для синтезированных составов наблюдалась люминесценция в области 1-1,6 мкм с разной полушириной спектра (рис. 1). Сложный контур люминесценции связывается с присутствием в стекле нескольких типов активных висмутовых центров.

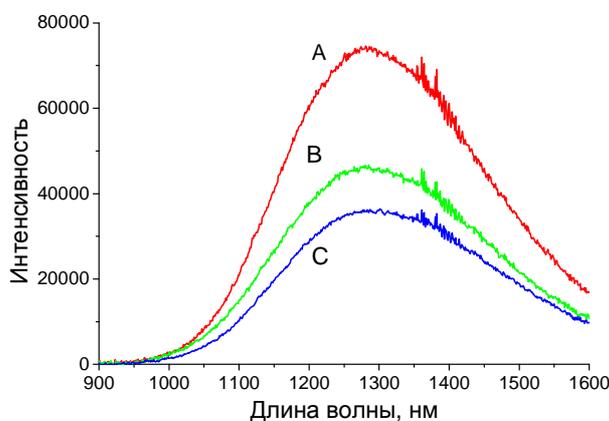


Рис. 1 Спектры люминесценции оптических стекол состава:  
А -  $96\text{GeO}_2-2.5\text{Al}_2\text{O}_3-1\text{Na}_2\text{O}-0.5\text{Bi}_2\text{O}_3$ ; В -  $96\text{GeO}_2-2.5\text{Al}_2\text{O}_3-1\text{BaO}-0.5\text{Bi}_2\text{O}_3$ ;  
С -  $96\text{GeO}_2-2.5\text{Al}_2\text{O}_3-1\text{Y}_2\text{O}_3-0.5\text{Bi}_2\text{O}_3$ .

# СИНТЕЗ И ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТЕКЛООБРАЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ Ni<sup>2+</sup>

П.А. Кашайкин, К.Н. Нищев, А.А. Панов

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

Перспективным материалом для создания активных световодов, используемых в волоконных лазерах и волоконных оптических усилителях, может быть прозрачная стеклокерамика, содержащая наноразмерные кристаллиты, активированные ионами переходных металлов (Ni, Cr).

Целью работы являлся синтез и исследование физических свойств никельсодержащей стеклокерамики. В качестве основы для получения стеклокерамики использовалось магний-алюмо-силикатное стекло, синтезированное из шихты состава: 28MgO-10Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8TiO<sub>2</sub>-54SiO<sub>2</sub> с добавками оксида галлия в различной концентрации. Синтез стекол проводился в корундовых тиглях в температурном интервале 1500-1550 °С.

Методами термического анализа и рентгеновской дифрактометрии исследовано влияние оксида галлия на процессы кристаллизации исследуемого стекла. При этом установлено, что введение оксида галлия в состав магний-алюмо-силикатных стекол меняет кинетику выпадения кристаллических фаз при вторичной термообработке. Установлено, что введение в шихту стекла Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в концентрации 8 мол. % приводит к выпадению в процессе термообработки стекла кристаллической фазы MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (алюмомагнезиевая шпинель).

Методом малоугловой рентгеновской дифрактометрии исследовалось влияние температурно-временных режимов вторичной термообработки стекол на процесс формирования в них кристаллической фазы. Отмечены существенные различия кривых МУР для образцов исследуемого стекла, подвергнутых различной термообработке (рис 1).

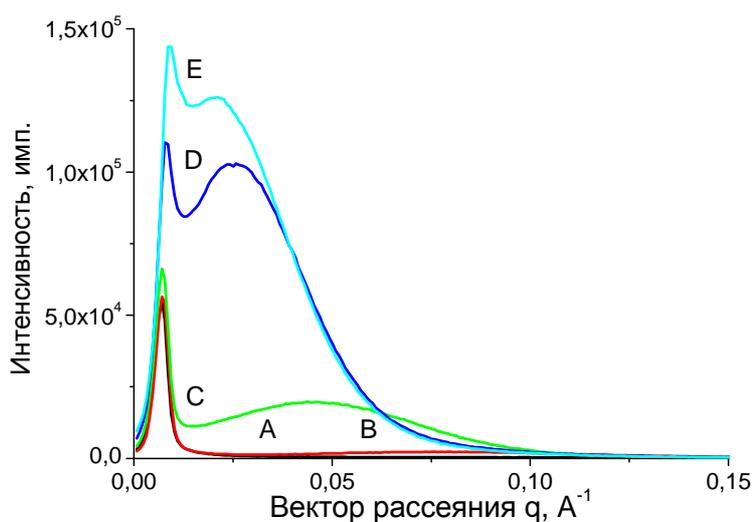


Рис 1. Кривые МУР для образцов состава 28MgO-10Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-8TiO<sub>2</sub>-54SiO<sub>2</sub>  
А – исходное стекло; В – отжиг при 725 °С 2 ч.; С – отжиг при 750 °С 2 ч.;  
D – отжиг при 775 °С 2 ч.; E – отжиг при 800 °С 2 ч.

# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ВИСМУТ-ГЕРМАНАТНЫХ СТЕКОЛ, ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ ВИСМУТА

К.Н. Нищев, А.А. Панов, А.А. Пыntenков

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

Перспективным материалом, который может быть использован в качестве основы активных волоконных световодов для новых типов волоконных лазеров и оптических усилителей ближнего ИК-диапазона (1,1-1,6 мкм), являются висмутсодержащие оптические стекла.

Целью работы являлось исследование влияния концентрации висмута и технологических параметров синтеза на спектрально-люминесцентные свойства висмут-германатных оптических стекол.

Путем плавления твердофазной шихты на воздухе в корундовых и платиновых тиглях в температурном интервале 1200-1600°C были синтезированы несколько серий висмут-германатных стекол с различным содержанием оксида висмута (100-х)  $\text{GeO}_2\text{-xBi}_2\text{O}_3$  мол. %, где  $x=0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10, 30$ .

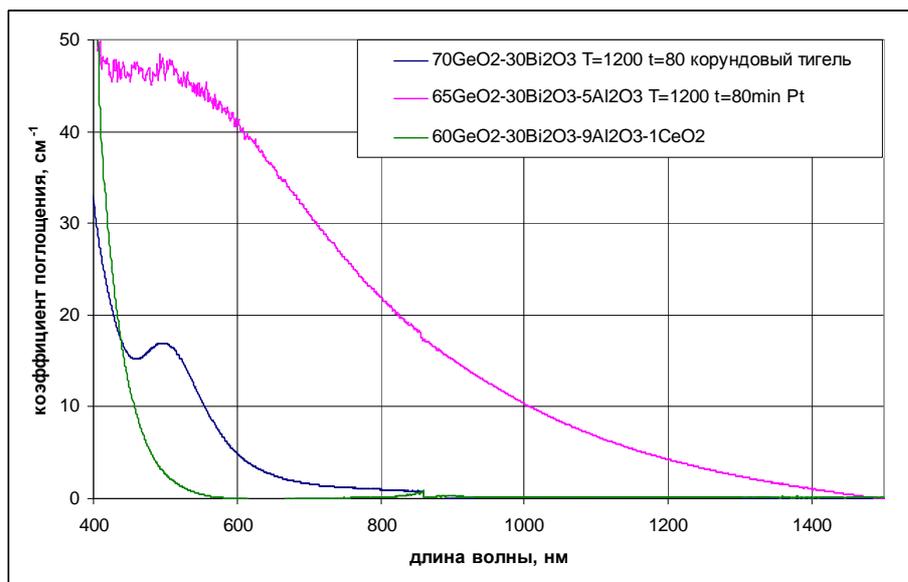


Рис.1. Спектры поглощения исследуемых стекол, сваренных в корундовом и платиновом тигле, а также в Pt тигле с добавкой оксида церия.

Как видно из спектров, приведенных на рис.1, синтез стекол в платиновом тигле приводит к резкому увеличению поглощения во всем исследованном спектральном интервале. Введение в шихту оксида церия в количестве 1 мол.% приводило к полному просветлению стекла в диапазоне длин волн от 580 нм до 1,5 мкм. На основании сравнения спектров поглощения стекол сделан вывод о каталитической активности платины в окислительно-восстановительных процессах в расплаве висмут-германатного стекла.

Для стекла состава  $70\text{GeO}_2\text{-}30\text{Bi}_2\text{O}_3$  отмечено значительное влияние времени выдержки расплава на окраску полученных стекол. При температуре синтеза  $1200^\circ\text{C}$  цвет стекла изменялся от светло-желтого (при выдержке расплава в течение 10 мин.) до темно-красного для 80 мин. варки. На рис.2. приведены спектры поглощения стекол состава  $70\text{GeO}_2\text{-}30\text{Bi}_2\text{O}_3$  в зависимости от времени выдержки расплава.

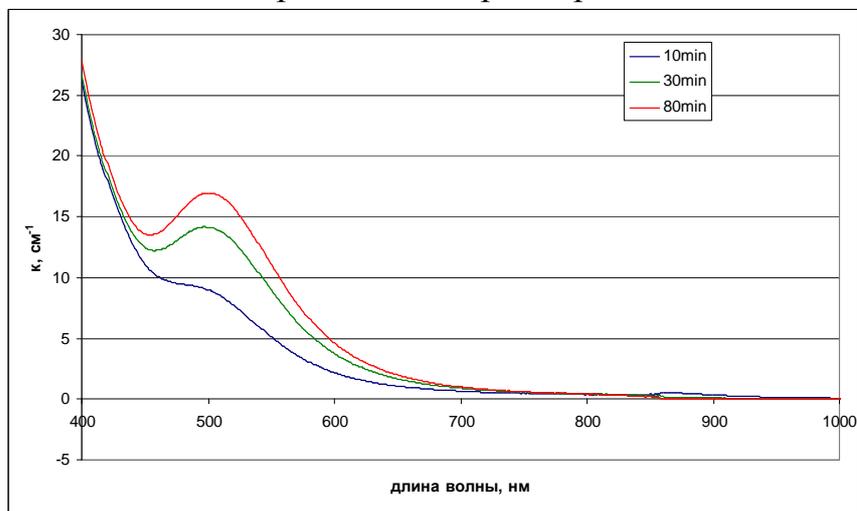


Рис.2.Спектры поглощения стекол состава  $70\text{GeO}_2\text{-}30\text{Bi}_2\text{O}_3$  в зависимости от времени выдержки расплава.

Повышение температуры расплава до  $1600^\circ\text{C}$  для серии стекол  $(100-x)\text{GeO}_2\text{-}x\text{Bi}_2\text{O}_3$  мол. %, где  $x=0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10$  приводило к практически полной потере прозрачности стекол в видимом диапазоне длин волн.

Для синтезированных стекол наблюдалась люминесценция в области 1-1,6 мкм с разной полушириной спектра и положением максимума люминесценции (рис. 3). При этом было отмечено изменение контура спектра люминесценции и смещение максимума люминесценции при увеличении концентрации висмута в стекле.

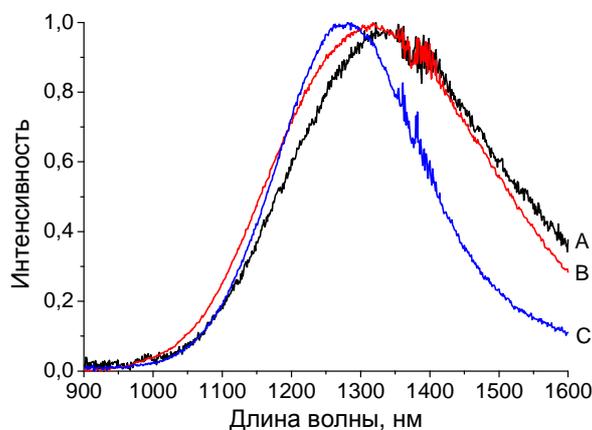


Рис. 3 Спектры люминесценции оптических стекол составов: А -  $99\text{GeO}_2\text{-}1\text{Bi}_2\text{O}_3$ ; В -  $99.9\text{GeO}_2\text{-}0.1\text{Bi}_2\text{O}_3$ ; С -  $70\text{GeO}_2\text{-}30\text{Bi}_2\text{O}_3$ .

# ИЗГОТОВЛЕНИЕ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ С СЕРДЦЕВИНОЙ НА ОСНОВЕ СТЕКОЛ СИСТЕМЫ $\text{Er}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ МЕТОДОМ MCVD

А.Н. Гурьянов, Д.С. Липатов

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Деятовых Российской академии наук, Нижний Новгород*

Фосфороалюмосиликатные (ФАС) стекла представляют большой интерес в качестве материала сердцевины активных световодов, поскольку имеют близкие к кварцевому стеклу показатель преломления и КТР, и при этом высокий концентрационный предел вхождения оксидов РЗЭ. Высокая концентрация активной добавки и одновременно большой диаметр поля моды ФАС световодов, позволяют создавать на их основе мощные волоконные лазеры и усилители. Цель работы – исследование газофазного способа введения  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Er}_2\text{O}_3$  в кварцевое стекло, установление особенностей и оптимизация условий процесса легирования.

Преформы изготавливались методом MCVD. В качестве исходного соединения эрбия и алюминия использовались трис(дипивалоилметанат) эрбия ( $\text{Er}(\text{thd})_3$ ) и  $\text{AlCl}_3$  соответственно. Транспортировка паров данных соединений в зону реакции осуществлялось по отдельным подогреваемым магистралям. Легирование осуществлялось по двум методикам: стандартным методом и методом пропитки пористого слоя.

В стандартном методе при прямом проходе горелки происходило одновременное осаждение и остекловывание всех осаждаемых оксидов, включая  $\text{Er}_2\text{O}_3$ . Данный метод не позволил ввести в ФАС стекла более 1 мас. % эрбия вследствие взаимодействия паров  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{POCl}_3$  и  $\text{Er}(\text{thd})_3$  в зоне опорной трубы.

В методе газофазной пропитки пористого слоя сначала при обратном проходе горелки создавался пористый слой состава  $\text{P}_2\text{O}_5\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ , который затем пропитывался парами  $\text{Er}_2\text{O}_3$  и в дальнейшем остекловывался при прямом проходе горелки. Данная методика позволила ввести в ФАС стекла  $\text{Er}_2\text{O}_3$  на уровне нескольких массовых процентов за счет простого увеличения времени пропитки каждого отдельно наносимого пористого слоя. Установлено влияние состава ФАС стекла на степень вхождения  $\text{Er}_2\text{O}_3$ . Проведены исследования по влиянию температуры и эффективности термофоретического осаждения на концентрацию  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Er}_2\text{O}_3$  в стекле и равномерность распределения легирующих оксидов по длине преформы. По данной методике были изготовлены преформы с различным соотношением концентраций  $\text{P}_2\text{O}_5$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , с  $\Delta n = 0.0005\text{-}0.002$ , содержащие от 1 до 4 мас. % эрбия, характеризующиеся равномерным распределением легирующих добавок как по длине, так и по сечению преформы. Световоды вытянутые из полученных преформ имеют высокие оптические характеристики (низкие оптические потери, высокая эффективность усиления и т.д.).

# ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОЧИСТЫХ СТЁКОЛ СИСТЕМЫ $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-Bi}$ И СВЕТОВОДОВ НА ИХ ОСНОВЕ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО MCVD ТЕХНОЛОГИИ

Ф.В. Афанасьев, В.Ф. Хопин, А.Н. Абрамов, А.Н. Гурьянов

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых Российской академии наук, Нижний Новгород*

Стёкла, легированные висмутом, привлекают к себе огромное внимание как возможная основа для широкополосных оптических усилителей в системах волоконной связи. Среди всех возможных вариантов составов стёкол, легированных висмутом, фосфоргерманосилкатные стёкла обладают рядом преимуществ, а именно: более низкими оптическими потерями в диапазоне 1-1.3 мкм, наличием широкополосной люминесценции с центром на 1.3 мкм, а также широкополосным усилением по сравнению с другими стёклами.

Цель данной работы заключается в изучении оптических свойств фосфоргерманосиликатных стёкол, легированных висмутом, и определении оптимальной концентрации оксида фосфора в сердцевине материала, обладающего высокой интенсивностью люминесценции (с центром на 1.3 мкм при накачке от LD на 800 нм) и низкими потерями.

Образцы высокочистых стёкол системы  $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ , легированных висмутом, были получены по стандартной MCVD технологии. В качестве изменяемого параметра при получении заготовок была выбрана относительная концентрация  $\text{POCl}_3$  (ОСЧ) в исходной парогазовой смеси. Подача висмута в сердцевину контролировалась потоком инертного газа (гелия, ОСЧ) через термостатируемую ампулу, содержащую трибромид висмута, и оставалась постоянной для всех образцов. Из полученных заготовок были вытянуты многомодовые световоды.

Концентрация каждого из компонентов стёкол определялась методом масс-спектропии. Измерение распределения легирующей добавки по длине заготовок осуществлялось на специальном приборе с накачкой от лазерного диода на 800 нм. Спектры поглощения световодов ( $L=50\text{м}$ ), вытянутых из заготовок, были измерены в диапазоне длин волн 800-1700 нм.

На основании проведённых исследований было показано, что увеличение концентрации оксида фосфора приводит к увеличению концентрации осаждаемого висмута в сердцевинах световодов, которое в свою очередь ведёт к росту интенсивности люминесценции при накачке от LD на 800 нм, достигая максимума при пороговой концентрации висмута 0,13 масс.% (для данной матрицы), а также к более быстрому росту оптических потерь (механизм которых на данный момент не удалось установить) в диапазоне 800-1600 нм.

# СВЕТОВОДЫ ИЗ ГАЛОГЕНИДОВ СЕРЕБРА ДЛЯ СРЕДНЕГО ИК ДИАПАЗОНА, АКТИВИРОВАННЫЕ ИОНАМИ $Dy^{3+}$

А.Г. Охримчук<sup>1</sup>, Л.Н. Бутвина<sup>1</sup>, А.Л. Бутвина<sup>1</sup>, Н.В. Личкова<sup>2</sup>,  
В.Н. Загороднев<sup>2</sup>, Е.М. Дианов<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>ИЦВО РАН, Москва

<sup>2</sup>ИПТМ РАН Черноголовка Московской обл.

Яркие волоконные источники для среднего ИК диапазона востребованы для многих применений. В качестве материала для таких источников исследованы спектрально-люминесцентные свойства монокристаллов и поликристаллических световодов из  $AgCl_{0.5}Br_{0.5}:Dy^{3+}$ . Выращена и изучена концентрационная серия этих кристаллов с концентрацией диспрозия в образцах в диапазоне от  $2 \cdot 10^{18}$  до  $7 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  (контролировалось методом ICP-MS).

При возбуждении в наиболее сильную полосу поглощения  $f-f$  переходов ионов диспрозия с максимумом на 1.3 мкм наблюдается 6 полос люминесценции с максимумами на 1.3, 1.7, 2.4, 3, 4.4 и 5.5 мкм, соответствующие переходам  ${}^6F_{11/2}+{}^6H_{9/2}-{}^6H_{15/2}$ ,  ${}^6H_{11/2}-{}^6H_{15/2}$ ,  ${}^6F_{11/2}+{}^6H_{9/2}-{}^6H_{13/2}$ ,  ${}^6H_{13/2}-{}^6H_{15/2}$ ,  ${}^6H_{11/2}-{}^6H_{13/2}$  и  ${}^6F_{11/2}+{}^6H_{9/2}-{}^6H_{11/2}$ . Существенно неэкспоненциальный характер затухания люминесценции на 1.3, 3 и 5.5 мкм (Рис.1) свидетельствует о многоцентровом характере вхождения ионов  $Dy^{3+}$  в кристаллическую решетку, и о возможном вкладе кросс-релаксации в распад мультиплета  ${}^6F_{11/2}+{}^6H_{9/2}$ . О многоцентровости свидетельствует также и зависимость соотношений интенсивностей полос поглощения, соответствующих  $f-f$  переходам, и их форм от концентрации диспрозия в кристалле (Рис.2). Кроме того обнаружена нелинейная зависимость интегрального коэффициента поглощения полосы на 1.3 мкм от концентрации диспрозия.

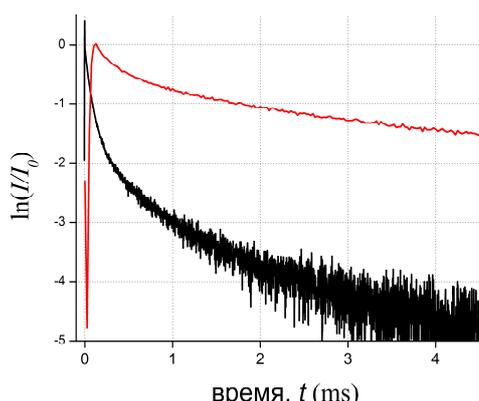


Рис.1. Кинетика затухания люминесценции на 1.3 мкм (черная, для 5.5 мкм кривая аналогична) и 3 мкм (красная) при возбуждении на 1.318 мкм.

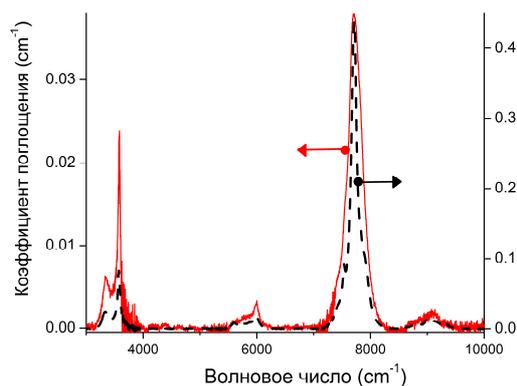


Рис. 2. Спектры поглощения кристалла  $AgCl_{0.5}Br_{0.5}:Dy^{3+}$  при концентрации диспрозия  $2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  (сплошная линия) и  $7 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$  (пунктир).

Сравнительный анализ интенсивности люминесценции в образцах с различным уровнем легирования позволяет сделать вывод, что квантовая эффективность люминесценции в полосе 5.5 мкм увеличивается при уменьшении концентрации диспрозия в кристалле.

# СТЁКЛА $\text{TeO}_2 - \text{WO}_3 - \text{La}_2\text{O}_3$ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ГИДРОКСИЛЬНЫХ ГРУПП ДЛЯ ВОЛОКОННОЙ ОПТИКИ

В.В. Дорофеев<sup>1</sup>, А.Н. Моисеев<sup>1</sup>, И.А. Краев<sup>1</sup>, С.Е. Моторин<sup>1</sup>,  
А.Ф. Косолапов<sup>2</sup>, Д.В. Филипповский<sup>2</sup>, В.Г. Плотниченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Десятых РАН,  
Н. Новгород

<sup>2</sup>Научный центр волоконной оптики РАН, Москва

Стёкла на основе диоксида теллура характеризуются широким диапазоном прозрачности (0.4 до 5 мкм), химической устойчивостью, высокими нелинейностью оптических свойств и растворимостью редкоземельных элементов. Однако работы, посвященные исследованиям теллуридных стёкол и оптических волокон на их основе, представляют результаты только для диапазона 0.4-2 мкм. Оптические потери составляют в этой области от десятых до нескольких дБ/м [1,2].

В этой работе мы представляем результаты исследований высокочистых вольфрамат-теллуридных стёкол и первых оптических волокон с низкими потерями вплоть до длины волны 3 мкм.

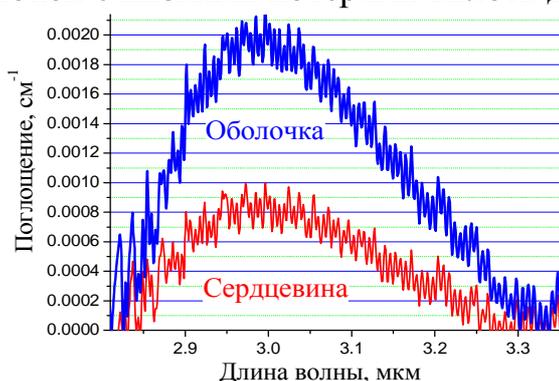


Рис. 1 Спектр коэффициента поглощения исходной преформы в области ~3 мкм

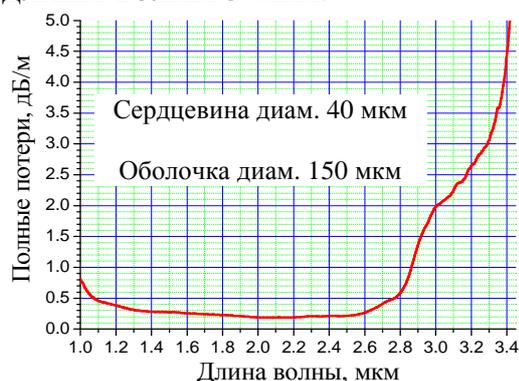


Рис. 2 Спектр оптических потерь многомодового световода

Суммарное содержание примесей 3d-переходных металлов в исходных оксидах и стёклах не превышало 0.1-2 ppm вес. [3]. Исходные оксиды плавил в золотом или платиновом тиглях внутри кварцевого реактора в потоке очищенного кислорода, затем формовали двухслойную стеклянную преформу, состоящую из стёкол составов сердцевин (TeO<sub>2</sub>-WO<sub>3</sub>-La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и оболочки (TeO<sub>2</sub>-WO<sub>3</sub>-La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Лучшие образцы преформ характеризуются резкой границей сердцевина-оболочка и отсутствием видимых дефектов в объёме стекла. Коэффициент поглощения гидроксильными группами в лучших образцах составлял до  $n \times 0.001 \text{ см}^{-1}$  в максимуме поглощения ~3 мкм (Рис. 1). Из преформ были изготовлены оптические волокна с потерями менее 0.5 дБ/м в области длин волн 1.2-2.8 мкм и 2 дБ/м около 3 мкм (Рис. 2).

1. J. Massera, A. Haldeman et al., Opt. Mat. 32 (2010) 582–588
2. Lin A., Zhang A. et al., Opt. exp., Vol. 17, № 19 (2009) 16716-16721
3. V.V. Dorofeev et al., J. of Non-Cryst. Sol., 357 (2011) 2366–2370

ПРИМЕНЕНИЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ  
ТЕЛЛУРИТНЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

М.В. Вилкова<sup>1</sup>, М.В. Мишкин<sup>1</sup>, В.В. Дорофеев<sup>2</sup>, А.Ф. Косолапов<sup>3</sup>,  
К.Н. Нищев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

<sup>2</sup>*Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девятовых РАН,  
Н. Новгород*

<sup>3</sup>*Научный центр волоконной оптики РАН, Москва*

Теллуритные стекла являются перспективным материалом для волоконной оптики благодаря широкой области прозрачности, высокой оптической нелинейности, высокой растворимости редкоземельных элементов и низкой энергии фононов. Одним из ограничений широкого применения волоконных световодов на основе оксида теллура являются высокие оптические потери, обусловленные рассеянием на неоднородностях, в особенности, расположенных на границе раздела сердцевина-оболочка.

В настоящей работе исследовались одномодовые и многомодовые волоконные световоды, изготовленные из теллуриного стекла состава  $72\text{TeO}_2 - 24\text{WO}_3 - 4\text{La}_2\text{O}_3$ . Для создания необходимого профиля показателя преломления материал сердцевины световодов дополнительно легировался оксидом висмута в концентрациях от 0.5% ат. до 7% ат. Образцы световодов изготавливались тремя различными методами: штабик-трубка, двойной тигель и вытяжка из монолитной преформы.

Для исследования на атомно-силовом микроскопе сколы световодов протравливались 10% растворе плавиковой кислоты, а затем промывались дистиллированной водой и ацетоном. Поскольку скорость травления стекла зависит от элементного состава и наличия напряжений, атомно-силовая микроскопия позволяет с хорошей точностью проводить измерения элементов структуры световодов и обнаруживать включения и неоднородности в световодах.

В световодах изготовленных методом штабик-трубка обнаружены значительные включения на границе раздела сердцевина-оболочка, что объясняет большой уровень оптических потерь в таких световодах по сравнению со световодами изготовленными из монолитной преформы. Также в световоде с большим содержанием оксида висмута в материале сердцевины (7% ат.) обнаружена ликвация, которая произошла на этапе отливки штабика.

## ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОЧИСТОЙ МОНОИЗОТОПНОЙ СЕРЫ

А.С. Лобанов

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых  
российской академии наук, Нижний Новгород*

Получение высокочистой моноизотопной серы является актуальной задачей в рамках создания халькогенидных стекол для ИК-оптики с высокой степенью атомарной однородности для изучения влияния изотопного состава стекол из сульфидов германия и мышьяка на их оптические и теплофизические свойства.

Осуществлен процесс синтеза серы путем ее восстановления из  $^{32}\text{SF}_6$  в присутствии водорода в разряде низкотемпературной плазмы. Зависимость выхода серы от величины избытка водорода относительно объема водорода, необходимого для протекания реакции по схеме:  $\text{SF}_6 + 3\text{H}_2 = \text{S} + 6\text{HF}$ , показала, что максимальный выход серы составляет 70% при двукратном избытке водорода. Исследовано влияние материала реактора на примесный состав серы. Установлено, что при использовании реактора из лейкосапфира содержание Al в образцах находится ниже предела обнаружения атомно-эмиссионного метода анализа.

Результаты анализа пробы серы  $\text{S}^{32}_{99.6\%}$  методом атомно-эмиссионной спектроскопии

Элемент	C, % мас, (n=4, p=0.95)
Si	$3 \cdot 10^{-5}$
Mg	$\leq 2 \cdot 10^{-6}$
Al	$< 4 \cdot 10^{-5}$
Ca	$< 6 \cdot 10^{-4}$
Co	$< 7 \cdot 10^{-5}$
Bi	$< 4 \cdot 10^{-5}$
Cu	$< 4 \cdot 10^{-5}$
Fe	$< 6 \cdot 10^{-5}$
Mn	$< 3 \cdot 10^{-6}$

# ДВУХЧАСТОТНЫЕ УЗКОПОЛОСНЫЕ ВОЛОКОННЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ОСНОВЕ ВЫНУЖДЕННОГО БРИЛЛЮЭНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ

А.А. Фотиади<sup>1,3,4</sup>, В.В. Спириин<sup>1,2</sup>, И.О.Золотовский<sup>3</sup>, Р. Mégret<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Mons, blvd.Dolez, 31, Mons, B-7000 Belgium

<sup>2</sup>CICESE, 22860 Ensenada, B.C., México

<sup>3</sup>Ульяновский государственный университет, Ульяновск

<sup>4</sup>Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, С. Петербург

В основе настоящего доклада лежат недавние эксперименты по изучению кольцевых волоконных лазеров, способных генерировать узкополосное излучение одновременно на двух отдельных продольных модах резонатора, сдвинутых относительно друг друга на величину Бриллюэновского сдвига. Такие лазеры представляют большой интерес для различных приложений, в частности, для использования в сенсорных системах распределенного мониторинга температуры и напряжения на основе вынужденного рассеяния Мандельштамма-Бриллюэна. В основе работы лазеров лежит комбинация сразу нескольких физических механизмов. Известные механизмы инверсной населенности в эрбиевых оптических волокнах и Бриллюэновского усиления ответственны за развитие генерации в волоконном резонаторе. Другие механизмы: эффекты индуцированного изменения показателя преломления в активном волокне и самозахвата частоты в полупроводниковом лазере накачки [1] - в комбинации со сложным связанным волоконным резонатором обеспечивают пассивную селекцию мод для генерации на двух отдельных оптических частотах. В докладе обсуждается динамика этих механизмов в условиях лазерной генерации и представлены две конфигурации лазеров, обеспечивающие синхронную генерацию на длинах волн накачки и Стокса с шириной линии генерации менее ~500Гц каждая (Рис.1).

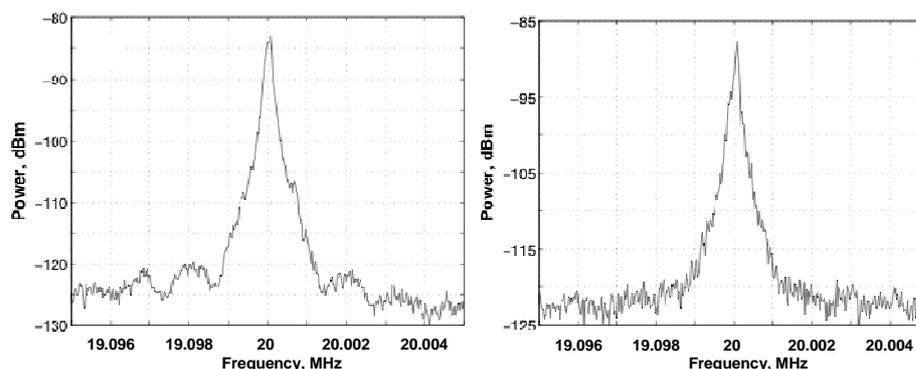


Рис.1 Самогетера-динные спектры лазерного излучения на двух длинах волн - накачки (слева) и Стокса (справа)

This work was supported by the European Regional Development Fund and the Walloon Region, the Interuniversity Attraction Pole program IAP PVII-35 of the Belgian Science Policy and program “Scientific and Research-Educational Cadres for Innovation Russia” of Russian Federal Agency on Science and Innovation.

1. V.V. Spirin et al., *Las.Phys.Lett.* **9**, 377-379 (2012)

**РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ  
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ**

## ИЗЛУЧАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СВАРОЧНОГО КАБЕЛЯ

В.М. Бардин, А.В. Пивкин

*Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, Саранск*

Современная электросварочная техника становится все более «электронной», т.е. традиционные трансформаторно-дроссельные аппараты успешно вытесняются малогабаритными сварочными инверторами с широкими сервисными возможностями. Однако, абсолютное большинство представленных на рынке сварочных инверторов предназначены для осуществления дуговой сварки металла только постоянным током. В тоже время как отмечено в [1], сварка переменным током частоты ультразвукового диапазона позволяет повысить качество сварных соединений и увеличить КПД сварочных устройств. Но при переходе на такую технологию сварки возникает вопрос, связанный с обеспечением ЭМС. Сварочный ток в таких аппаратах с учетом специфики ШИМ регулирования имеет форму знакопеременных импульсов с изменяющейся скважностью. Известно, что последовательность периодических импульсов имеет широкий гармонический состав тока. Все эти гармоники тока протекают через сварочный кабель. Значительная величина сварочного тока (160-300 А) с учетом широкого спектра его составляющих могут привести к излучению сварочным кабелем электромагнитных волн. Из теории антенн известно, что проволочная антенна при определенном соотношении её длины и частоты источника тока может являться источником электромагнитных волн. В данном случае сварочной кабель можно считать рамочной антенной, поскольку с одного конца он замыкается сварочной дугой, а ширина рамки пренебрежимо мала по сравнению с длиной. То есть кабель может стать своеобразной передающей антенной передатчика (в данном случае сварочного инвертора). Если такое излучение будет иметь место, то насколько оно будет опасно для окружающей техники и будут ли при выполнении сварочных работ обеспечены требования стандартов по электромагнитной совместимости. Эти вопросы пока остаются без ответа.

1. Бардин В. М., Борисов Д. А., Земсков А. В., Пивкин А. В. Новый класс сварочных инверторов, *Электротехника*, № 6, 2012 С. 60-65

## МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СВАРОЧНОЕ УСТРОЙСТВО

Д.А. Борисов, А.В. Земсков

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск*

Известно, что техника развивается по вполне определённым законам, один из которых предполагает расширение функциональных возможностей технических устройств. Примеры действия этой закономерности можно привести во многих областях техники. Однако есть сферы техники, где многофункциональность выражена не так ярко. Одной из таких областей является электросварочная техника. Основная задача этих устройств - осуществление сварки металлов и не более того. Однако, и здесь есть скрытые возможности, которые можно исследовать.

Гармонический состав тока инверторного аппарата для сварки переменным током высокой частоты позволяет дополнительно использовать его в качестве источника индукционного нагрева. Для этого к выходным клеммам аппарата достаточно подключить последовательный LC контур индуктора, настроенный в резонанс на одну из высших гармоник спектра. При введении в катушку индуктора нагреваемого изделия, резонансная частота контура снижается и его амплитудно-частотная характеристика смещается в область более низких (и соответственно больших по амплитуде) гармоник, что позволяет без специальной системы автоподстройки частоты контура индуктора обеспечить быстрый нагрев изделия. Заменяя цилиндрическую форму катушки индуктора на плоскую форму можно осуществлять индукционный нагрев плоских металлических поверхностей (например, для ускорения их сушки после окрашивания).

Обладая такими многофункциональными возможностями, сварочный аппарат может найти широкое применение, например, в сфере ремонта сельхозтехники, в системе автосервисных мастерских и в других областях.

С учётом всех этих функциональных возможностей инверторный сварочный аппарат превратился в многофункциональное сварочно-пускозарядное устройство с дополнительными возможностями для индукционного нагрева металлов. Это позволяет использовать его в различных организациях, связанных с ремонтом автотранспортной, сельскохозяйственной и иной техники. Все основные технические решения защищены патентами Российской Федерации.

# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ОТРАСЛИ: ЛОГИСТИКА И КОНСТРУИРОВАНИЕ

Ю.А. Алексеев<sup>1,2</sup>, М.Л. Антонов<sup>1</sup>, С.Ф. Боев<sup>2,3</sup>,  
А.Р. Милославский<sup>1</sup>, Д.Д. Ступин<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Саранский телевизионный завод», Саранск

<sup>2</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

<sup>3</sup>ОАО «РТИ», Москва

Ключевыми факторами успеха в современном наукоемком промышленном производстве являются уменьшение срока выхода продукции на рынок, снижение ее себестоимости и повышение качества. В свою очередь, для успешного ведения производства предприятию необходим современный уровень информационной поддержки всех проектно-технологических и производственных процессов на базе передовых ИТ-решений. К числу технологий, позволяющих значительно снизить временные затраты в процессе проектирования, конструирования и сопровождения изделия, относятся системы управления проектными и инженерными данными предприятия, так называемые PDM-системы.

Особенностью предприятий радиоэлектронной отрасли является широкий спектр номенклатуры используемых в производстве материалов и компонентов, число которых может достигать до десятков тысяч наименований. В этом случае PDM-системы и системы для управления жизненным циклом изделия (PLM) должны использоваться совместно с системами автоматизации бухгалтерского и финансового учета, корпоративного управления, логистики.

Сегодня существуют и непрерывно совершенствуются эффективные отечественные информационные продукты, например, АСКОН [1] и 1С [2], обеспечивающие единую систему управления проектированием, инженерными данными и жизненным циклом проекта во всех службах предприятия. Важной особенностью программных продуктов АСКОН и 1С является то, что они ориентированы на действующие правила отечественной финансовой и корпоративной отчетности, позволяют осуществлять постоянный мониторинг происходящих в этой области изменений и своевременно вносить необходимые коррективы. В то же время, при внедрении комплексных ИТ-решений на предприятии радиоэлектронной отрасли необходимо решить ряд задач по интеграции с различными радиотехническими CAD/CAM/CAE системами, уже используемыми на этом предприятии. Как показывает опыт работы ОАО «СТЗ», важнейшее условие успешного внедрения, настройки и адаптации комплексных решений – учёт особенностей процессов управления, а также движения, изменения и взаимодействия различной документации на конкретном предприятии.

1. <http://construction.ascon.ru/solutions>

2. [http://www.1cbit.ru/1csoft/index.php?SECTION\\_ID=54](http://www.1cbit.ru/1csoft/index.php?SECTION_ID=54)

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ МОЗАИЧНАЯ МИКРОСКОПИЯ И ДЕФЕКТОСКОПИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СТРУКТУР

А.В. Балясов<sup>1</sup>, М.В. Герасимов<sup>1</sup>, М.В. Логунов<sup>1</sup>, Д.Д. Ступин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

<sup>2</sup>ОАО «РТИ», Москва

Современные технологии оптической микроскопии позволяют проводить детальные автоматизированные исследования микроструктур с разрешением до 200 нм. В работе для изучения полупроводниковых и магнитных структур использован прямой микроскоп Axio Imager Vario Z2 и система обработки изображений Axio Vision [1].

Микроскоп предназначен для исследований по методу светлого и темного поля, с использованием фазового и поляризационного контраста, в проходящем и отраженном свете. Фотографирование изображений объектов исследования ведется с помощью встроенной камеры, работающей совместно с системой обработки изображений Axio Vision. Интересной особенностью микроскопа является возможность получения интегрального изображения с помощью панорамного и мозаичного режимов съемки. Панорамный режим позволяет получить обзорное изображение объекта из нескольких отдельных изображений, а мозаичный режим предназначен для проведения сканирования всей поверхности образца.

Микроскоп оптимизирован для исследования крупных объектов размером до 300 мм, с заданием параметров автоматического сканирования по площади образца, и для дефектоскопии структур совместно с системой обработки изображений Axio Vision. При этом достигается максимальная точность и воспроизводимость результатов с помощью прецизионных моторизованных компонентов.

В работе представлены результаты освоения методик исследования: крупных полупроводниковых структур (рис.); исследования доменных структур магнитных материалов в проходящем свете с помощью эффекта Фарадея и в отраженном свете с помощью эффекта Керра; использования камеры ORCA-R2 с высокой чувствительностью в УФ и ближнем ИК диапазонах, с динамическим диапазоном 6000/1.

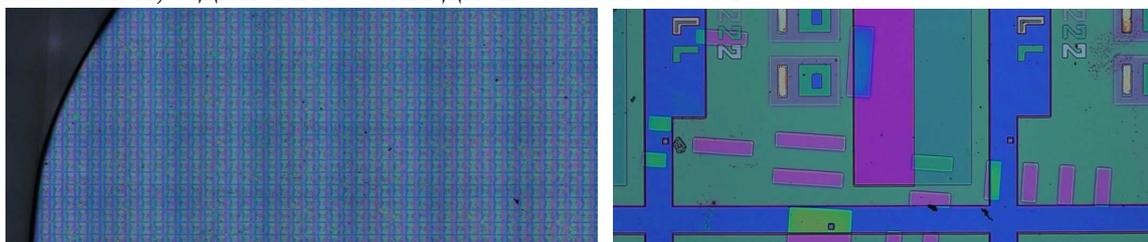


Рис. Подложка с эпитаксиальной структурой: общий вид (слева, использованы панорамный и мозаичный режимы съемки; виден край подложки) и увеличенное изображение фрагмента структуры (справа).

1. Axio Vision. Руководство пользователя. Версия 4.6.3// Carl Zeiss. 50 с.

## ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ УПОРЯДОЧЕННЫХ ДОМЕННЫХ СТРУКТУР В ЭЛЕМЕНТАХ МАГНИТОФОТОНИКИ

М.В. Герасимов, Д.С. Кашкин, Н.Н. Логинов, М.В. Логунов, А.В. Спиринов  
*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

Фотонные кристаллы, структуры с периодом порядка длины волны света, являются предметом интенсивных исследований в связи с перспективами использования в оптоэлектронике и СВЧ технике. Использование магнитных материалов в качестве элементов фотонного кристалла позволяет получить новые возможности в управлении свойствами фотонных кристаллов, повысить на порядок и более магнитооптические эффекты [1,2].

В настоящей работе изучены области устойчивости двумерных упорядоченных доменных структур с различной симметрией ( $C_{6h}$ ,  $P6$ ,  $Pab2$ ) в прозрачных магнитных материалах (рис.) Толщина магнитной пленки, которая определяет размеры структур, сравнима с диаметром световодов. Такие структуры могут быть использованы в качестве элементов магнитофотонных устройств.

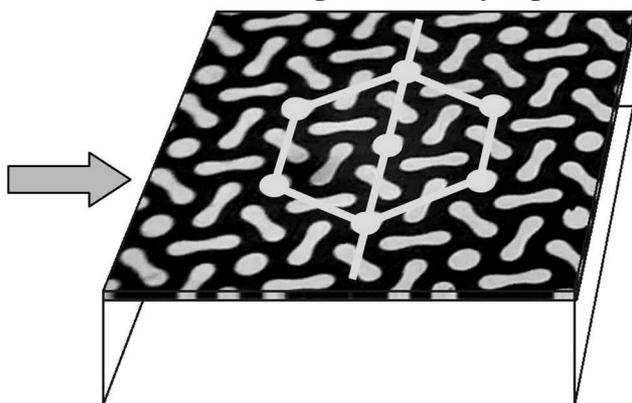


Рис. Структура с симметрией  $P6$ .

Показано, что области устойчивости упорядоченных двумерных доменных структур по управляющему магнитному полю могут быть значительно шире областей формирования доменных структур. В частности, долговременная устойчивость

структуры с симметрией  $Pab2$  возможна в нулевом поле смещения, что расширяет возможности применения двумерных доменных структур в магнитооптических устройствах.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ и фонда У.М.Н.И.К.

1. Inoue M., Fujikawa R., Baryshev A., e.a. J. Phys. D.: Applied Physics. 2006. V. 39, R 151.

2. Wang Z., Chong Y.D., Joannopoulos J.D., Soljacic M. Phys. Rev. Lett. 2008. V. 100, 013905.

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ MATLAB И LABVIEW ПРИ АНАЛИЗЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.В. Брагин, М.В. Логунов, Д.В. Пьянзин, А.А. Трифонов

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

К настоящему времени разработано разнообразное программное обеспечение в области обработки, анализа и распознавания изображений [1,2]. При разработке систем компьютерного зрения для решения конкретных задач широкое применение находят системы MATLAB и LABVIEW. Они включают большое количество встроенных функций (блоков), реализующих наиболее распространенные методы обработки изображений.

В настоящей работе представлено программное обеспечение, разработанное для распознавания и анализа объектов в лабиринтных доменных структурах магнитооптических материалов. Такие структуры могут содержать до нескольких тысяч доменов различной формы.

Программа была реализована в среде MATLAB, а затем для связи с исследовательским оборудованием была откомпилирована в библиотеку среды C#, которую подключили к проекту в среде LABVIEW.

Совместное использование нескольких программных сред позволило реализовать систему компьютерного зрения, выполняющую последовательно ряд задач: захват изображения, его распознавание и управление магнитооптической установкой.

Программное обеспечение позволяет распознавать изображения доменных структур, содержащих круглые, эллиптические, гантелеобразные, полосовые и ветвистые объекты. Алгоритмом предусмотрены следующие функции: захват исходного изображения и его предварительная обработка; подсчет количества объектов на изображении; классификация объектов по форме; статистический анализ объектов; создание отчета с результатами анализа.

Рассмотрены дальнейшие этапы развития представленного программного обеспечения для увеличения функциональных возможностей в плане расширения базы знаний программы и использования ее для решения подобных задач в других сферах обработки и анализа многокомпонентных изображений.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ и фонда У.М.Н.И.К.

1. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MatLAB. – М.: Техносфера, 2006. 616 с.

2. Визельтер Ю.В. и др. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQVision. – М.: ДМК Пресс, 2007. 464 с.

## ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕЧЕТКОГО КЛАССИФИКАТОРА ДОМЕННЫХ СТРУКТУР

А.В. Брагин, М.В. Логунов, Д.В. Пьянзин

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

Использование систем компьютерного зрения в научных экспериментах позволяет автоматизировать процесс проведения исследований, повысить точность, сократить временные затраты и т.д. Одной из основных задач данных систем является распознавание исследуемых объектов на изображениях с целью их последующего анализа [1].

В данной работе рассмотрены этапы проектирования математической модели нечеткого классификатора лабиринтных доменных структур магнитооптических материалов. Математическая модель необходима для дальнейшей разработки программного обеспечения, позволяющего анализировать многокомпонентные доменные структуры [2].

Основные этапы проектирования нечеткого классификатора [3] рассмотрены в следующей последовательности:

1. Генерация признаков объектов анализа, которые позволяют достаточно полно описать образы.

2. Селекция признаков: выбор наиболее информативных признаков для классификатора.

3. Построение математической модели классификатора и его обучение.

4. Количественная оценка классификатора.

При распознавании лабиринтных доменных структур применяли статистический подход анализа на основе морфологических признаков объекта. В качестве информативных признаков использовали коэффициент округлости, коэффициент заполнения. Селекцию признаков выполняли на основе анализа нескольких сотен фотографий с исследуемыми объектами. Для разработки использовали программную среду MATLAB.

В результате построена нечеткая база знаний для классификации объектов и выполнено обучение классификатора. Обучение проводилось на основе порядка двухсот экспериментов. На базе предложенного классификатора разработано программное обеспечение, позволяющее распознавать и классифицировать тысячи содержащихся на изображении доменов.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ и фонда У.М.Н.И.К.

1. Gonzalez R.C., Woods R.E., Eddins S.L. Digital Image Processing using MATLAB. - Pearson Education. 2004. 609 p.

2. Логунов М.В., Герасимов М.В. Формирование и эволюция гигантских динамических доменов в гармоническом магнитном поле. ФТТ. 2003. Т. 45. С. 1031-1036.

3. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 288 с.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРНО-РЕАКТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РАБОТЫ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ЧАСТОТАХ ТРАНСФОРМАЦИИ

И.А. Пьянзина<sup>1,2</sup>, М.В. Логунов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «Электровыпрямитель», Саранск,

<sup>2</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

В связи с освоением производства силовых полупроводниковых модулей, работающих на повышенных частотах коммутации, возникает необходимость оптимизации соответствующего силового трансформаторно-реакторного оборудования для работы при повышенных частотах трансформации.

Для решения задач оптимизации, в частности минимизации массогабаритных параметров, необходимо рассмотреть комплекс вопросов, включающий в себя электромагнитные процессы как в магнитопроводе с учётом использования новых магнитных материалов, так и в обмотках для учета скин-эффекта.

В настоящей работе представлен опыт моделирования линейных и нелинейных трансформаторов в среде MatLAB с расчётом активных потерь в сердечнике и учётом насыщения сердечника трансформатора. Нелинейная характеристика в модели задается как кусочно-линейная зависимость между магнитным потоком сердечника и током намагничивания. Для создания гистерезисной характеристики, соответствующей реальным кривым намагничивания, использовали интерфейс Powergui. Кроме моделей трансформаторов, рассмотрены модели насыщающихся реакторов. Выбор параметров моделирования проводили на основе потребностей в новом трансформаторно-реакторном оборудовании на ОАО «Электровыпрямитель».

Для моделирования схемы замещения нелинейного трансформатора использовали библиотеку блоков SimPowerSystems. Библиотека достаточно обширна, тем не менее требуемая пользователю модель устройства может и отсутствовать. Это касается, например, нелинейных резисторов, насыщающихся реакторов и т.п. В этом случае создавали нужную модель на основе блоков Simulink и блоков SPS. Общая структура модели на примере нелинейной нагрузки показана на рис.

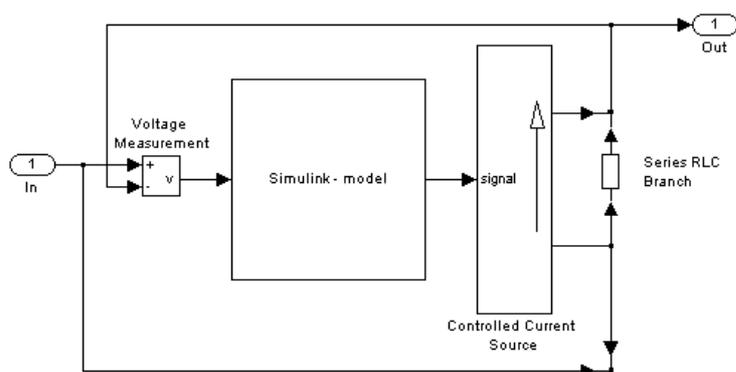


Рис.

## РАЗРАБОТКА МОДУЛЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ РАДИОМАТЕРИАЛОВ

Д.А. Алексин<sup>1</sup>, А.В. Брагин<sup>1</sup>, А.С. Кузин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

<sup>2</sup>ОАО «Саранский телевизионный завод», Саранск

Активное развитие компьютерных технологий позволяет создавать системы автоматизированного измерения параметров в исследовательских установках, в которых вывод снимаемых с датчиков показаний и сценариев управления с использованием разработанного и внешнего программного обеспечения, а данные пересылаются в персональный компьютер и подвергаются обработке [1].

Для решения задач автоматизации измерений при исследовании магнитных материалов разработан модуль, реализующий функции терморегулирования исследуемого образца, контроль и управление магнитным полем, поворот образца по заданному сценарию.

Модуль разработан на базе бюджетного 8-разрядного RISC микроконтроллера архитектуры AVR (Atmega16). Модуль содержит следующие блоки: термостат, состоящий из термопары и блока регулировки, позволяющий вводить задержку в инерционных тепловых системах для поддержания температуры; блок измерения магнитных полей; блок управления шаговым двигателем, с ручным вводом параметров согласно выбранному сценарию эксперимента; управляемая широтно-импульсная модуляция для задания временного изменения (формы сигнала) магнитного поля по выбранному сценарию эксперимента.

Система управления и внешний интерфейс модуля реализованы на языке программирования Delphi. Для связи с ПК использован USB-интерфейс. В разработанном модуле реализованы: программный USB с использованием HID драйвера; подключение 2-х датчиков Холла; подключение датчика температуры в системе термостата; возможность подключения дополнительно до 5 датчиков; 2 управляемых ШИМ для создания магнитных полей; управление униполярным шаговым двигателем.

Благодаря использованию в качестве устройства отображения ПК установка обладает гибкими возможностями записи результатов измерения в режиме самописца. Разработанный модуль может применяться как самостоятельное средство измерения, так и как часть более сложной системы.

1. Баранов В.Н. Применение микроконтроллеров AVR: схемы, алгоритмы, программы. – М.: Мирская электроника, 2004. 288 с.

# ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПРИЕМНИК ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДОВ В ГАЗОВОМ РАЗРЯДЕ

А.М. Майоров, М.И. Майоров, В.А. Горюнов

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск*

Измерение температуры электродов работающих в газовом разряде по тепловому излучению затруднено присутствием излучения разряда. Эта погрешность была преодолена использованием, в качестве фотоприёмника, германиевого фотодиода, работающего в вентильном режиме, с германиевым светофильтром. В результате область fotocувствительности этой системы оказалась достаточно узкой с максимумом в 1,6 мкм. На рис.1 представлены спектральные распределения: 1 – fotocувствительности  $S_i$  фотоприемника; 2 – плотности излучения  $\varphi$  абсолютно черного тела при  $T=1200\text{K}$ ; 3 - показателя поглощения  $K$  германия; 4 – fotocувствительности  $S_i$  германиевого фотоприемника с германиевым светофильтром толщиной 100 мкм.

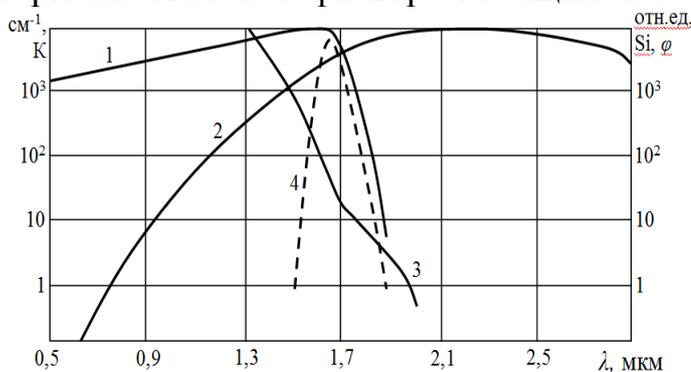


Рис.1

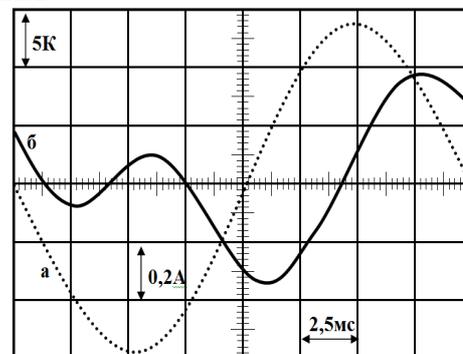


Рис.2

Благодаря высокому быстродействию фотоприёмника ( $\sim 10^{-5}\text{c}$ ) удалось наблюдать в динамике изменение температуры электродов работающих в сетях переменного тока с разрешением по координате около 0,1 мм. В качестве примера на рис. 2 представлены осциллограммы тока через люминесцентную лампу (ЛЛ) (а) и тока фотоприёмника (б), вызванного излучением зоны катодного пятна электрода ЛЛ работающей на переменном токе. По ранее описанной методике изменению тока фотоприёмника поставлено в соответствие изменение температуры электрода, поэтому зависимость (б) на рис.2 представлена как распределение изменения температуры от времени. Распределение аппроксимировали некоторой функцией, работая с которой, определяли характеристики как электрода, так и разряда, такие как теплоемкость исследуемой области электрода, мощность теплоотвода, изменение доли ионного тока и др.

Предлагаемый прибор и разработанная методика, могут быть применены для контроля за технологическими процессами при нанесении покрытий и выращивании пленок с использованием плазменных технологий.

## ОПТРОННЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Я.А. Зазулин, Б.Н. Денисов

*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

На сегодняшний день практически все логические элементы изготавливаются на основе полупроводниковых транзисторов различных видов: биполярных, полевых, КМОП и т.п. В этом случае возникает проблема гальванического разделения входных и выходных цепей. Реализация гальванической развязки электрических сигналов является важной технической задачей. Обработка электрических сигналов с помощью оптических сигналов позволяет реализовать идеальную гальваническую развязку. Создание оптронного аналога транзистора, который реализует прямое аналоговое перемножение электрических и оптических сигналов, обеспечит физические принципы интеграции оптики и электроники. О создании такого перемножителя сообщалось в работе [1]. Корпорация IBM разработала устройство, которое может сыграть решающую роль в появлении компьютеров нового поколения. Речь идет об электрооптическом модуляторе, способном преобразовывать электрические сигналы в световые и Intel создали смартлинки – соединения, осуществляющие коммутацию микросхем по средствам световых потоков. Но непосредственная обработка информации производится полупроводниковыми устройствами. В данных тезисах рассматривается принцип работы логических элементов на основе оптронов.

Основой конструкции является резистивный делитель с переменным коэффициентом деления, на основе фоторезистора. Уровнем выходного сигнала резистивного делителя можно управлять, варьируя интенсивность оптического сигнала, поступающего на фоторезистор. В алгебре логики присутствуют только два уровня сигнала: высокий и низкий, что сильно упрощает конструкцию оптронных логических элементов (ЛЭ). Разработаны и протестированы некоторые оптронные аналоги применяющихся в радиотехнике ЛЭ (НЕ, И, ИЛИ, ИЛИ-НЕ, И-НЕ, И-ИЛИ-НЕ) и выявлено совпадение их таблиц истинности.

Внедрение оптронных ЛЭ в вычислительную технику позволит резко уменьшить размеры элементов НЕ, И, ИЛИ ..., а также обеспечить гальваническую развязку входных и выходных сигналов.

1. Денисов Б.Н. Фоторезистор как многофункциональный элемент оптоэлектроники. Радиотехника и электроника, 2007, т.52, №4, с. 509–512.

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Мégret P.	150
Абрамов А.Н.	145
Авалиани К.С.	35
Аветисов И.Х.	50, 114
Аветисов Р.И.	50
Акчурин М.Ш.	97
Алагашев Г.К.	137
Алексеев Ю.А.	154
Алексин Д.А.	160
Антипов О.Л.	65
Антипов С.О.	133
Антонов М.Л.	154
Антошкина С.А.	89
Антропова Т.В.	42, 53, 72, 74
Анфимова И.Н.	72, 74
Асатрян Г.Р.	69
Афанасьев Ф.В.	145
Ахтямов О.Р.	76
Балясов А.В.	155
Бардин В.М.	152
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Басиев Т.Т.</span>	97
Беглов В.И.	122
Белов А.И.	106, 113
Белоусова О.В.	99
Бескачко В.П.	107
Бирюков А.С.	139
Бовкун Л.С.	115
Боев С.Ф.	154
Болдырев К.Н.	43, 121
Борик М.А.	118
Борисов Д.А.	153
Брагин А.В.	157, 158, 160
Буй А.Н.	101
Бурдов В.А.	23
Бутвина А.Л.	146
Бутвина Л.Н.	146

Буфетов И.А.	137
Ванецев А.С.	95
Васильева Н.В.	49
Великанова Э.Ю.	60
Вельмискин В.В.	137
Вилкова М.В.	148
Вишнякова М.А.	118
Волкова Т.В.	120
Воронов В.В.	49, 97, 109, 110, 121
Ворончихина М.Е.	73
Воронько Ю.К.	82
Гажулина А.П.	75, 85
Гайтко О.М.	95
Галкин А.С.	57
Гарибин Е.А.	97
Герасимов М.В.	155, 156
Гирсова М.А.	72
Глушкин Е.В.	89
Голант К.М.	130
Голованов В.Ф.	84, 131
Голубев Н.В.	103, 112
Голубьев М.А.	122
Горащенко Н.Г.	51, 52, 60, 73
Гордеев Е.Ю.	76
Гортинская А.Д.	58
Горюнов В.А.	161
Гребчиков С.С.	101
Григорькин А.А.	37
Гришин С.А.	101
Гришин С.С.	101
Грунин А.Б.	26
Губин Т.А.	35
Гурьянов А.Н.	137, 144, 145
Гусева Ю.А.	85
Данилов Е.А.	105, 123
Демидов Е.С.	115
Денисов Б.Н.	162
Денисов С.А.	108, 111

Дианов Е.М.	137, 146
Дмитриенко Д.В.	102
Добычин Н.А.	34, 116
Дорофеев В.В.	147, 148
Дорошенко М.Е.	97
Дрозд В.Е.	92
Дроздова И.А.	53
Дудникова В.Б.	80
Дунаева Е.Э.	47
Егоров И.А.	31
Егорова А.Е.	88
Егорова Е.Л.	73
Еремин А.В.	77
Ерин Д.Ю.	140
Ермаков Р.П.	109
Ерофеев Д.А.	44
Ершов А.В.	106
Жариков Е.В.	64, 77, 80, 105, 123
Загороднев В.Н.	146
Зазулин Я.А.	162
Зайцев Р.В.	31
Зайцева О.Н.	80
Закутайлов К.В.	47
Запорожец Д.Д.	35
Зараменских К.С.	84, 105, 123, 131
Зверев П.Г.	70
Земсков А.В.	153
Земскова М.А.	119
Зимин М.Д.	79
Зиновьев А.П.	65
Золотовский И.О.	150
Иванов В.А.	86
Иванов Н.Ю.	75
Ивлева Л.И.	47
Ильин В.Н.	101
Илюшкин В.Ю.	61
Каблуков С.И.	133
Калинин В.Н.	38

Камынин В.А.	133, 134, 136
Карзанов В.В.	34, 108, 116
Карпунин В.В.	25
Кашайкин П.А.	141
Кашкин Д.С.	156
Кащенко М.А.	45
Климин С.А.	41, 45, 46, 57
Ковгар В.В.	54
Кожевникова Н.М.	79
Козенко С.Е.	32
Кокорева М.А.	36
Кольцова Э.М.	105, 123
Колядин А.Н.	139
Конюшкин В.А.	97
Копица Г.П.	95
Королев Д.С.	106
Косарева О.С.	108
Косолапов А.Ф.	139, 147, 148
Костюк А.Б.	106
Костюк Г.К.	72, 74
Краев И.А.	147
Крайский А.А.	96
Крайский А.В.	96, 104
Красильников С.В.	52
Кревчик В.Д.	26, 28, 31, 32, 38
Кревчик П.В.	31
Кузин А.С.	160
Кузнецов М.В.	99
Кузнецов М.С.	84, 131
Кузнецов С.В.	97, 109, 110, 121
Кузьмичева Г.М.	77
Кулебякин А.В.	118
Курков А.С.	127, 133, 134, 136
Кучаев Э.К.	76
Лабутина М.Л.	75
Лагатский А.А.	65
Лакомкин С.А.	38
Левашов А.В.	28

Лепёхин Н.М.	112
Липатов Д.С.	144
Липатъев А.С.	112
Лис Д.А.	77, 80
Лисицкий И.С.	84, 131
Личкова Н.В.	146
Лобанов А.С.	149
Логинов Н.Н.	156
Логунов М.В.	155, 156, 157, 158, 159
Ломонова Е.В.	81
Ломонова Е.Е.	49, 118
Лось Д.С.	97, 109
Лотарев С.В.	112
Лугинина А.А.	97
Лыков В.А.	87
Ляпин А.А.	78, 119, 120
Майоров А.М.	161
Майоров М.И.	161
Максимов Ю.В.	122
Малашкевич Г.Е.	54, 93, 103
Малов А.В.	81, 89, 119, 120
Мамаджанова Е.Х.	103
Маргулис В.А.	25
Марков А.В.	59
Мартынович Е.Ф.	79
Марычев М.О.	75, 85
Матвеев С.А.	108, 111
Маякова М.Н.	97, 110, 121
Мельник Н.Н.	104
Мешков В.Е.	114
Милославский А.Р.	154
Милютина Е.В.	79
Миронов И.А.	97
Миронова Т.В.	96
Мирошниченко Г.П.	126, 135
Митина А.В.	35
Михайлов А.Н.	106, 113
Мишкин В.П.	56, 61, 119, 120

Мишкин М.В.	148
Моисеев А.Н.	147
Моисеев С.Г.	48
Морозов Ю.Г.	99
Моторин С.Е.	147
Мушкало О.А.	50
Мызина В.А.	118
Мясниченко В.С.	117
Нарожный М.В.	46
Недвецкий Н.С.	101
Низамутдинов А.С.	76
Низовцев А.И.	132
Нищев К.Н.	56, 61, 122, 140, 141, 142, 148
Новиков А.А.	65
Новопольцев М.И.	56
Ногтев И.А.	34
Нуждин Д.С.	86
Образцова О.А.	76
Обухов А.Е.	24
Овсянникова А.А.	97
Осико В.В.	47, 97, 109, 118
Охримчук А.Г.	146
Павлов И.Н.	83
Панов А.А.	122, 140, 141, 142
Пестряков Е.В.	54
Петров В.С.	47
Петрова О.Б.	50, 55
Петюк А.Л.	101
Пивкин А.В.	152
Плотниченко В.Г.	147
Полетаев Г.М.	102
Ползунов К.С.	28
Полякова Г.В.	84, 131
Полякова И.Г.	53
Попова М.Н.	40
Попова Н.А.	105, 123
Портнов В.Н.	58, 88
Постников В.А.	96

Присеко Ю.С.	112
Прудских Н.С.	33
Прусова И.В.	103
Прямиков А.Д.	139
Пшенко О.А.	53
Пыненков А.А.	119, 120, 140, 142
Пыталев Д.С.	71
Пьянзин Д.В.	157, 158
Пьянзина И.А.	159
Пятаев М.А.	36, 37
Разумов А.В.	32, 38
Рандошкин И.В.	49
Распопин К.С.	133
Ринкевичюс Б.С.	83
Рудин В.А.	26, 31
Рыбаков В.Б.	77
Рябов Д.В.	116
Рябова А.В.	97, 109, 110
Рябочкина П.А.	68, 78, 81, 89, 119, 120
Садовникова Я.Э.	134, 136
Сдобняков В.В.	115
Семашко В.В.	76
Семёнов М.Б.	31
Сергеев М.М.	74
Сигаев В.Н.	103, 112
Соболь А.А.	82
Совык Д.Н.	105, 123
Созыкин С.А.	107
Сотникова А.А.	135
Спирин А.В.	156
Спирин В.В.	150
Старостенков М.Д.	102, 117
Степанова И.В.	51
Ступин Д.Д.	154, 155
Субботин К.А.	77, 80
Султанов Т.Т.	96
Суходола А.А.	54
Тарасенко С.А.	22

Тарасов В.Ф.	80
Тареева Ю.А.	35
Тетельбаум Д.И.	106, 113
Тимофеева А.О.	113
Торошин А.Ю.	132
Трифонов А.А.	157
Трушин В.Н.	59
Тупицына Е.А.	97
Ушаков С.Н.	78, 81, 89, 118
Фаддеев М.А.	87
Файков П.П.	105, 123
Федоров П.П.	78, 97, 109, 110, 119, 120, 121
Федосова Н.А.	105, 123
Филипповский Д.В.	147
Фирстов С.В.	137
Фирстова Е.Г.	137
Фотиади А.А.	150
Ходасевич И.А.	54
Хомяков А.В.	50, 55
Хопин В.Ф.	137, 145
Хотченкова Т.Г.	103
Цветков В.Б.	136
Чабушкин А.Н.	81
Чалков В.Ю.	108, 111
Чередниченко А.Г.	50
Чигиринский Ю.И.	115
Чувашова И.Г.	95
Чугров И.А.	106
Чукалина Е.П.	44
Шварц Н.Л.	94
Шевченко Г.П.	93
Шевченко М.А.	96
Шенгуров В.Г.	108, 111
Шорохов А.В.	33
Шукшин В.Е.	55, 82

*Научное издание*

**МАТЕРИАЛЫ НАНО-, МИКРО-, ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ  
И ВОЛОКОННОЙ ОПТИКИ:  
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ**

**Сборник трудов 11-й Всероссийской с международным участием  
конференции-школы**

*Печатается в авторской редакции в соответствии  
с представленным оригинал-макетом*

Подписано в печать 17.09.12. Формат 60 × 84 1/16. Усл. печ. л. 10,70.  
Тираж 140 экз. Заказ № 1149.

Издательство Мордовского университета  
Типография Издательства Мордовского университета  
430005, Саранск, ул. Советская, 24