

Министерство образования и науки Российской Федерации
Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
им. Н. П. Огарёва

Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН

Научный центр волоконной оптики РАН

Институт химии высокочистых веществ РАН

Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н. И. Лобачевского

АУ «Технопарк-Мордовия»

Российский фонд фундаментальных исследований

Фонд инфраструктурных и образовательных программ ОАО РОСНАНО

**МАТЕРИАЛЫ НАНО-, МИКРО-, ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ И ВОЛОКОННОЙ
ОПТИКИ:**

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ

Программа и материалы

14-й Международной научной конференции-школы

Саранск, 29 сентября – 2 октября 2015 г.



МИНИСТЕРСТВО
ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет
имени Н. П. Огарёва



Нижегородский
государственный
университет
им. Н. И. Лобачевского



Технопарк-Мордовия



РОСНАНО

Саранск

Издательство Мордовского университета

2015

УДК 537.533.3:621.3.049.77

ББК В3

М341

Редакционная коллегия:

Нищев К. Н. (отв. ред.), Рябочкина П. А. (отв. секр.),

Попова М. Н., Тарасенко С. А, Семашко В. В.

М341

Материалы нано-, микро-, оптоэлектроники и волоконной оптики: физические свойства и применение : прогр. и материалы 14-й Междунар. науч. конф.-шк., Саранск, 29 сен. – 2 окт. 2015 г. / редкол.: К. Н. Нищев (отв. ред.) [и др.]. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. – 232 с.
ISBN 978-5-7103-3126-2

В сборник включены конспекты лекций и тезисы докладов 14-й Международной научной конференции-школы «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 978-5-7103-3126-2

© Коллектив авторов, 2015

© Оформление Издательство

Мордовского университета, 2015

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ УЧАСТНИКОВ

Конференция проводится Институтом физики и химии МГУ им. Н. П. Огарева в период с 29 сентября по 2 октября 2015 года.

Место проведения пленарных заседаний – Дворец культуры и искусств МГУ им. Н. П. Огарева.

Место проведения секционных заседаний и проживания участников конференции – санаторий «Надежда» (расположен в 30 км от г. Саранска).

Программой конференции предусмотрены:

- обзорные доклады-лекции ведущих ученых по тематике конференции;
- выступления участников с устными и стендовыми докладами.

Оргкомитетом установлена следующая продолжительность докладов: лекции – 45 мин, приглашенные доклады – 30 мин, устные сообщения – 10 – 20 мин.

Для демонстрации иллюстративных материалов лекторам и докладчикам будут предоставлены средства визуальной и компьютерной презентации. В последнем случае информация должна быть подготовлена в электронном виде с помощью Microsoft PowerPoint или в виде графических файлов: .jpg, .tif, .bmp.

Размеры щитов для размещения стендовых докладов – 90×120 см² (ширина, высота).

РЕГИСТРАЦИЯ участников конференции будет проводиться 28 сентября с 15.00 до 18.00 в фойе главного корпуса МГУ им. Н. П. Огарева (ул. Большевистская, 68), 29 сентября с 9.00 до 10.00 в санатории «Надежда». До места проведения участники конференции будут отправлены транспортом оргкомитета.

О времени прибытия в Саранск просим заблаговременно сообщить по электронной почте: ryabochkina@freemail.mrsu.ru. При наличии такой информации оргкомитетом будет организована встреча участников конференции по месту прибытия в любое время суток.

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Адрес: 430005, г. Саранск, ул. Большевистская, 68а,
МГУ им. Н. П. Огарева, ИФХ

Тел./факс: (8342) 24-24-44

E-mail: ryabochkina@freemail.mrsu.ru
ryabochkina@mail.ru

<http://www.vnksh.mrsu.ru>

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ И ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТЫ
14-Й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ-ШКОЛЫ
«МАТЕРИАЛЫ НАНО-, МИКРО-, ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ И ВОЛОКОННОЙ
ОПТИКИ:
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ»

Саранск, 29 сентября – 2 октября 2015 г.

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., Институт химии силикатов им. И.В. Гребенщикова РАН, Санкт-Петербург, Россия;

Yu. Barnakov – Ph.D., Norfolk State University, Norfolk, USA;

О. Н. Горшков – к.ф.-м.н., ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород, Россия;

Е. В. Жариков – д.т.н., РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия;

А. М. Зюзин – д.ф.-м.н., МГУ им. Н.П. Огарева, Саранск, Россия;

В. Д. Кревчик – д.ф.-м.н., Пензенский ГУ, Пенза, Россия;

А. С. Курков – д.ф.-м.н., ИОФ РАН, Москва, Россия;

F. Kuzmartsev – Ph.D., Loughborough University, Loughborough, UK;

Г. Е. Малашкевич – д.ф.-м.н., Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Республики Беларусь, Минск, Беларусь;

К. Н. Нищев – к.ф.-м.н., МГУ им. Н.П. Огарева, Саранск, Россия;

М. Н. Попова – д.ф.-м.н., Институт спектроскопии РАН, Москва, Россия;

П. А. Рябочкина – д.ф.-м.н., МГУ им. Н.П. Огарева, Саранск, Россия;

I. Sildos – Ph.D., Tartu University, Tartu, Estonia;

В. В. Семашко – д.ф.-м.н., Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия;

В. Н. Сигаев – д.х.н., РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия;

С. Н. Ушаков – к.ф.-м.н., ИОФ РАН, Москва, Россия;

С. А. Тарасенко – д.ф.-м.н., ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия;

П. П. Федоров – д.х.н., ИОФ РАН, Москва, Россия;

А. В. Шорохов – д.ф.-м.н., МГУ им. Н.П. Огарева, Саранск, Россия.

Рабочая группа:

Т. В. Волкова
А. В. Голубьев
И. Н. Евтеева
Л. А. Куликов
О. П. Лазарева
А. А. Ляпин

Н. В. Моисеев
Д. В. Мялков
М. А. Пятаев
Н. В. Сидорова
С. А. Хрущалина
А. Н. Чабушкин
Н. В. Янцен

Спонсоры и партнеры



Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) создан Указом Президента Российской Федерации № 426 от 27 апреля 1992 года по инициативе крупнейших ученых страны. Российский фонд фундаментальных исследований – самоуправляемая государственная некоммерческая организация в форме федерального учреждения, находящегося в ведении Правительства Российской Федерации, основной целью которой является поддержка научно-исследовательских работ по всем направлениям фундаментальной науки на конкурсной основе, и которая призвана построить новые отношения между учеными и государством.

Основная задача Фонда в соответствии с Уставом – это проведение конкурсного отбора лучших научных проектов из числа тех, что представлены Фонду учеными в инициативном порядке, и последующее организационно-финансовое обеспечение поддержанных проектов.

К настоящему времени в структуре деятельности РФФИ можно выделить следующие основные направления:

- проведение конкурсного отбора лучших научных проектов из числа тех, что представлены Фонду учеными в инициативном порядке, и последующее организационно-финансовое обеспечение поддержанных проектов;
- обобщение результатов завершенных проектов РФФИ;
- мониторинг науки–многоаспектный анализ состояния и тенденций развития комплекса российской науки на основе оригинальной системы конкурсных индикаторов, экспертных и других данных о ходе выполнения проектов;
- доведение результатов исследований, поддержанных Фондом, до потенциальных пользователей;
- программы общего назначения.



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». Одобренная в ноябре 2013 года «Стратегия Фонда инфраструктурных и образовательных программ» определяет его место в Группе РОСНАНО как института, способствующего развитию инфраструктуры в сфере нанотехнологий для всех российских предприятий nanoиндустрии, исключая портфельные компании РОСНАНО. Кроме того, Фонд является частью системы российских институтов развития («инновационного лифта»), формируемой в рамках государственной программы «Экономическое развитие и инновационная экономика».

В целях создания оптимальных условий для развития nanoиндустрии Фонд инфраструктурных и образовательных программ ведет работу в семи основных направлениях:

- развитие технологической инфраструктуры;
- создание кадрового потенциала отрасли;
- развитие рынков инновационной продукции;
- стандартизация, сертификация и оценка безопасности нанотехнологической продукции;
- метрологическое обеспечение nanoиндустрии;
- совершенствование законодательства в области инноваций;
- популяризация нанотехнологий.



Журнал «Фотоника» посвящен оптическим системам любого типа (электрооптическим, оптоволоконным, лазерным, полностью оптическим), их элементам и технологиям. Цель издания – глубокое и подробное освещение вопросов, связанных с оптическими системами передачи, оптическими технологиями, оптическими материалами и элементами, оборудованием и станками, используемыми в оптических системах.

ГРАФИК ПРОВЕДЕНИЯ КОНФЕРЕНЦИИ-ШКОЛЫ

29 сентября 2015, вторник

07:00– 08:00	ЗАЕЗД УЧАСТНИКОВ
08:00– 09:00	РЕГИСТРАЦИЯ
09:00– 10:00	ЗАВТРАК
12:00– 13:00	ОБЕД
13:30– 14:00	ТОРЖЕСТВЕННОЕ ОТКРЫТИЕ КОНФЕРЕНЦИИ (Зал Дворца культуры и искусств (ДКИ) МГУ им. Н.П. Огарёва)
14:00– 16:15	ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ <i>Сопредседатели: академик РАН Е.М. Дианов, академик РАН В.В. Осико</i>
14:00– 14:45	<u>Е.М. Дианов</u> <i>Научный центр волоконной оптики РАН, Москва</i> НА ПОРОГЕ ПЕТАЭРЫ
14:45– 15:30	<u>В.В. Осико</u> <i>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва</i> ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ
15:30– 16:15	<u>М.Ф. Чурбанов</u> <i>Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых, Нижний Новгород</i> ХИМИЯ ВЫСОКОЧИСТЫХ ВЕЩЕСТВ
16:15-16:30	ПЕРЕРЫВ
16:30– 18:20	ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ <i>Председатель: д.ф.-м.н. С.А. Тарасенко</i>
16:30– 17:15	<u>I. Sildos</u> <i>Tartu University, Tartu, Estonia</i> PERSISTANT LUMINESENCE AND UV RADIATION DOSIMETRY ON BASIS OF ZrO₂ (P. 121)
17:15– 18:00	<u>Л.Я. Карачинский</u> <i>ООО "Коннектор Оптикс"</i> <i>Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербурга</i> АКТИВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ НА ОСНОВЕ ВЕРТИКАЛЬНО ИЗЛУЧАЮЩИХ ЛАЗЕРОВ ДЛЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ И ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ (С. 52)
18:20– 18:45	<u>В.Н. Жмерик</u> <i>Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербурга</i> ОПТОЭЛЕКТРОНИКА НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР АЗН: ТЕХНОЛОГИЯ, ФИЗИКА И ПРИМЕНЕНИЕ (С. 78) OPTOELECTRONICS BASED ON III-N HETEROSTRUCTURES: TECHNOLOGY, PHYSICS AND APPLICATIONS (P.122)
19:00	ТОВАРИЩЕСКИЙ УЖИН

30 сентября 2015, среда

08:00– 09:00	ЗАВТРАК	
	ДКИ МГУ им. Н.П. Огарёва	
09:00– 10:30	ЛЕКЦИИ <i>Председатель: д.ф. - м.н. С.А. Тарасенко</i>	
09:00– 09:45	<p><u>В.В. Семашко</u> <i>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань</i> ЭФФЕКТЫ СВЕТОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ФИЗИКЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ (С. 140)</p> <p>LIGHT PRESSURE EFFECTS IN PHYSICS OF SOLID-STATE LASERS (P. 175)</p>	
09:45– 10:30	<p><u>М.Н. Попова</u> <i>Институт спектроскопии РАН, Троицк</i> МУЛЬТИФЕРРОИКИ (С. 79)</p>	
10:30– 11:15	<p><u>Е.Е. Ломонова</u> <i>Институт общей физики РАН, Москва</i> СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ – КРИСТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ (С. 80)</p>	
11:15– 12:00	<p><u>А.С. Cefalas</u> <i>National Hellenic Research Foundation. Theoretical and Physical Chemistry Institute, Athens, Greece Kazan Federal University, Kazan, Russia</i> SIZE DEPENDENT SEMICONDUCTING BEHAVIOR IN METAL NITRIDE NANODOMAINS (P. 42)</p>	
12:00– 14:00	ОБЕД	
14:00– 15:30	ЛЕКЦИИ <i>Председатель: д.ф.-м.н. П.А. Рябочкина</i>	
14:00– 14:45	<p><u>Н.Ю. Табачкова</u> <i>Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»</i> РЕНТГЕНОВСКАЯ ДИФРАКТОМЕТРИЯ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ (С. 85)</p>	
14:45– 15:30	<p><u>Ю.Л. Копылов</u> <i>Фрязинский филиал Института радиоэлектроники РАН, Москва</i> ОКСИДНАЯ ЛАЗЕРНАЯ КЕРАМИКА (С. 141)</p>	
15:30–17.30	КУЛЬТУРНАЯ ПРОГРАММА	
18:00– 19:00	УЖИН	
19:00– 20:30	СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (холл перед ауд. №1)	

1 октября 2015, четверг

08:00–09:00	ЗАВТРАК	
9:00–10:30	Ауд. 1	Ауд. 2
ЗАСЕДАНИЯ СЕКЦИЙ	ЛАЗЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ Председатель: д.ф.-м.н. В.В. Семашко	ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА Председатель: к.ф.-м.н. К.Н. Нищев
9:00–9:30	<p>Приглашенный доклад Г.Е. Малашкевич¹, Е.Н. Подденежный², А.А. Бойко², К.Н. Нищев³, Т.Г. Хотченкова¹, И.В. Прусова¹, И.И. Сергеев¹, П.П. Першукевич¹, А.А. Суходола¹ ¹ Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь ² Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Беларусь ³ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск</p> <p>ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ ХРОМА НА СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ (С. 145)</p> <p>INFLUENCE OF CHROMIUM IMPURITIES ON THE SPECTRAL-LUMINESCENT PROPERTIES OF CERAMICS BASED ON $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ (P. 176)</p>	<p>Приглашенный доклад И.А. Буфетов, А.С. Бирюков Научный центр волоконной оптики РАН, Москва</p> <p>ВОЛОКОННЫЕ СВЕТОВОДЫ С ПОЛОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ: ОТ ПРОСТЫХ КАПИЛЛЯРОВ К СВЕТОВОДАМ СО СТРУКТУРИРОВАННОЙ ОБОЛОЧКОЙ (С. 53)</p>
9:30–9:50	<p>А.В. Крайский¹, Т.В. Миронова¹, В.А. Постников², М.А. Шевченко¹ ¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва ² НИИ физико-химической медицины ФМБА России, Москва</p> <p>ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ ПРИ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ОТРАЖЕННОГО СВЕТА (С. 147)</p> <p>FEATURES OF HOLOGRAPHIC SENSOR OPERATION AND THE COLORIMETRIC DETERMINATION OF THE WAVELENGTH CHANGE OF THE REFLECTED LIGHT (P. 178)</p>	<p>В.Ф. Хопин, Ф.В. Афанасьев Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Деятовых РАН, Нижний Новгород</p> <p>СИНТЕЗ ВЫСОКОЧИСТЫХ СТЕКЛОЛ СИСТЕМЫ $SiO_2-GeO_2-P_2O_5$, ЛЕГИРОВАННЫХ ВИСМУТОМ, И СВЕТОВОДОВ НА ИХ ОСНОВЕ МЕТОДОМ МСVD (С. 62)</p>
9:50–10:10	<p>А.А. Ляпин¹, А.П. Меркулов¹, П.А. Рябочкина¹, П.П. Федоров² ¹ Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск ² Институт общей физики им. А.М. Прохорова, Москва</p> <p>АНТИСТОКСОВА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В КРИСТАЛЛАХ $MF_3-\text{HoF}_3$ (M= Ca, Ba, Cd) ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ НА УРОВНИ 5I_7 И 5I_5 ИОНОВ Ho^{3+} (С. 148)</p>	<p>А.Н. Гурьянов, Д.С. Липатов Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Деятовых РАН, Нижний Новгород</p> <p>ПОЛНОСТЬЮ ГАЗОФАЗНЫЙ МСVD-МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ АКТИВНЫХ СВЕТОВОДОВ С МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СИЛИКАТНОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ (С. 63)</p>

	ANTI-STOKES LUMINESCENCE IN CRYSTALS MF_3-HoF_3 ($M=Ca, Ba, Cd$) UPON EXCITATION at 5I_7 and 5I_5 LEVELS of Ho^{3+} IONS (P. 179)	
10:10–10:20	<u>И.И. Фарухшин</u>, А.С. Низамутдинов, В.В. Семашко, С.Л. Кораблева Казанский (Приволжский) федеральный университет ЛАЗЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНОЙ СРЕДЫ $LiLu_{0.7}Y_{0.3}F_4:Ce^{3+}$ В РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ ИМПУЛЬСОВ УЛЬТРАКОРОТКОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ (С. 149)	<u>А.Н. Абрамов</u>¹, <u>А.Н. Гурьянов</u>¹, <u>М.В. Яшков</u>¹, <u>Л.Д. Исхакова</u>², <u>В.В. Колташев</u>² ¹ Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Десятых РАН, Нижний Новгород. ² Научный центр волоконной оптики РАН, Москва ФОРМИРОВАНИЕ НАНОФАЗЫ β-Ga_2O_3 В СЕРДЦЕВИНЕ ГАЛЛИЙСИЛИКАТНЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ ХРОМОМ (С. 64)
10:20–10:30	А.Н. Беляев, О.А. Кузнецова, А.А. Ляпин, К.С. Романов, П.А. Рябочкина, А.Н. Чабушкин, <u>А.С. Хрущалина</u> Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХМИКРОННОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССА ЭНДОВАЗАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБЛИТЕРАЦИИ ВАРИКОЗНЫХ ВЕН IN-VITRO (С. 150)	<u>А.В. Гладышев</u>, <u>А.Н. Колядин</u>, <u>А.Ф. Косолапов</u>, <u>Ю.П. Яценко</u>, <u>А.Д. Прямыков</u>, <u>А.С. Бирюков</u>, <u>И.А. Буфетов</u> Научный центр волоконной оптики РАН, Москва ЭФФЕКТИВНАЯ РАМАНОВСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ НА 1,9 мкм В ПОЛОМ СВЕТОВОДЕ, ЗАПОЛНЕННОМ ВОДОРОДОМ (С. 65) EFFICIENT RAMAN GENERATION OF 1.9 μm RADIATION IN HYDROGEN-FILLED HOLLOW-CORE FIBER (P. 72)
10:30–10:40	<u>Т.О. Липатьева</u>, <u>А.С. Липатьев</u>, <u>С.В. Лотарев</u>, <u>В.Н. Сигаев</u>. Международный центр лазерных технологий РХТУ им Д.И. Менделеева, Москва ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ КВАЗИМОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КАНАЛОВ В ЛАНТАНОБОРОГЕРМАНАТНОМ СТЕКЛЕ ЛАЗЕРНЫМ ПУЧКОМ (С. 151)	<u>С.А. Филатова</u>¹, <u>В.А. Камынин</u>^{1,2}, <u>А.В. Рябова</u>¹, <u>В.Б. Лощенов</u>¹, <u>П.В. Зеленков</u>³, <u>И.О. Золотовский</u>⁴, <u>В.Б. Цветков</u>¹, <u>А.С. Курков</u>^{1,2} ¹ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва ² Лаборатория фотоники Пермского научного центра УрО РАН, Пермь ³ НИИ нейрохирургии им. Н.Н.Бурденко РАМН, Москва ⁴ Ульяновский государственный университет, Ульяновск ВОЗДЕЙСТВИЕ ГОЛЬМИЕВОГО ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ 2,1 мкм НА РАЗЛИЧНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТКАНИ (С. 66) IMPACT OF HOLMIUM FIBER LASER AT WAVELENGTH OF 2.1 MICRONS ON DIFFERENT BIOLOGICAL TISSUES (P. 73)
10:40–10:50	<u>Д.М. Шевякина</u>, <u>С.В. Лотарев</u>, <u>Т.О. Липатьева</u>, <u>В.Н. Сигаев</u>	<u>А.Н. Колядин</u>¹, <u>Л. Мурадян</u>², <u>А. Зейтунян</u>², <u>Г. Тонян</u>²,

	<p>Международный центр лазерных технологий, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва</p> <p>ЛОКАЛЬНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ЛИТИЕВОНИОБИЕВОСИЛИКАТНОГО СТЕКЛА ИЗЛУЧЕНИЕМ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРА (С. 152)</p>	<p>А.Ф. Косолапов¹, А.Д. Прямиков¹</p> <p>¹ Научный центр волоконной оптики Российской академии наук, Москва</p> <p>² Ереванский государственный университет, Ереван, Армения</p> <p>ДИСПЕРСИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА В ПОЛОМ СВЕТОВОДЕ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ КРИВИЗНОЙ ГРАНИЦЫ СЕРДЦЕВИНА-ОБОЛОЧКА (С. 67)</p> <p>DISPERSION AND FEMTOSECOND PULSE DELIVERY IN HOLLOW-CORE MICROSTRUCTURED OPTICAL FIBER WITH A NEGATIVE CURVATURE OF THE CORE BOUNDARY (P. 74)</p>
10:50–11:00	<p>С.С. Федотов¹, А.С. Липатьев¹, С.В. Лотарев¹, М. Бересна², П.Г. Казанский^{1,2}, В.Н. Сигаев¹</p> <p>¹ Международный центр лазерных технологий РХТУ им Д.И. Менделеева, Москва</p> <p>² Университет Саутгемптона, Саутгемптон, Великобритания</p> <p>ФОРМИРОВАНИЕ ДВЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СТЕКЛАХ ФЕМТОСЕКУНДНЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ (С. 153)</p>	<p>А.А. Поносова^{1,2}, О.Л. Кель², А.И. Семерикова², А.С. Курков³</p> <p>¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь</p> <p>² Пермская научно-производственная приборостроительная компания, Пермь</p> <p>³ Пермский научный центр УрО РАН, Пермь</p> <p>ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ВОЛОКОННЫЙ ЭРБИЕВЫЙ ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ (С. 68)</p>
11:00–11:10	<p>Н.Ф. Рахимов, А.И. Любимов, А.С. Низамутдинов, В.В. Семашко</p> <p>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань</p> <p>ФОТОИНДУЦИРУЕМЫЕ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ В КРИСТАЛЛАХ CaF₂-LuF₃, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ Ce³⁺ И Yb³⁺ (С.154)</p>	<p>К.Н. Нищев, А.А. Пыненков, В.П. Мишкин</p> <p>Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск</p> <p>ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОСТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН (С. 69)</p>
11:10–11:20	<p>А.А. Ляпин¹, Е.Е. Ломонова², П.А. Рябочкина¹, Н.В. Сидорова¹, А.Н. Чабушкин¹</p> <p>¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск</p> <p>² Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва</p> <p>СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И ГЕНЕРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ZrO₂-Y₂O₃-Er₂O₃ (С. 155)</p>	
11:20–11:40	ПЕРЕРЫВ	

11:00–12:30	Ауд. 1	Ауд. 2
ЗАСЕДАНИЯ СЕКЦИЙ	ЛАЗЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ Председатель: д.ф.-м.н. П.Г. Зверев	
11:40–11:50	О.Р. Ахтямов, В.В. Семашко, А.С. Низамутдинов, М.А. Марисов Казанский (Приволжский) федеральный университет УФ-ЛАЗЕРЫ УЛЬТРАКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ $Ce^{3+}:LiCaAlF_6$ и $Ce^{3+}:LiLuYF_4$ (С. 156) ULTRASHORT PULSED UV LASERS BASED ON THE $Ce^{3+}:LiCaAlF_6$ AND $Ce^{3+}:LiLuYF_4$ CRYSTALS (P. 180)	
11:50–12:00	Д.А. Напрасников¹, В.В. Мальцев¹, Н.И. Леонюк¹, К.Н. Горбаченя² ¹ Кафедра кристаллографии и кристаллохимии, геологический факультет, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва; ² Белорусский национальный технический университет, Минск МИКРО- И НАНОКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ В РАСПЛАВАХ $YAl_3(BO_3)_4$ И $GdAl_3(BO_3)_4$ (С. 157) MICRO- AND NANOCRYSTALLIZATION IN $YAl_3(BO_3)_4$ И $GdAl_3(BO_3)_4$ MELTS (P. 181)	
12:10–12:20	Б.Н. Казаков, О.Г. Гориев, В.В. Семашко Казанский (Приволжский) федеральный университет МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ПАДАЮЩЕГО НА ОБРАЗЦЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАЗЕРНО- СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ (С. 158)	
12:20–12:30	О.Г. Гориев, Б.Н. Казаков, С.Л. Кораблева, В.В. Семашко Казанский (Приволжский) Федеральныи Университет СПЕКТРАЛЬНО-КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛА $LiYF_4:Yb^{3+}, Tm^{3+}$ (С. 160)	
12:40–12:50	Д.А. Савочкин, М.М. Сергеев, В.П. Вейко Университет ИТМО, Санкт-Петербурга ОБРАТИМАЯ ФАЗОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО СТЕКЛА ИЗЛУЧЕНИЕМ CO_2-ЛАЗЕРА (С. 162)	
12:50–13:00	С.Н. Ушаков^{1,2}, М.А. Усламина¹, П.П. Федоров², С.В. Кузнецов², К.Н. Нищев¹, В.В. Осико²	

	¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск ² Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ФРОНТА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ, ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КРИСТАЛЛОВ CaF₂-RF₃ И CaF₂-SrF₂ МЕТОДОМ СТОКБАРГЕРА (С. 163)	
13:00–13:30	ОБЕД	
13:30–15:00	Ауд. 1	Ауд. 2
ЗАСЕДАНИЯ СЕКЦИЙ	ЭЛЕКТРОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В НАНОСТРУКТУРАХ Председатель: д.ф.-м.н. С.А. Тарасенко,	НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ Председатель: Ph. D. I.Sildos
13:30–14:00	Приглашенный доклад <u>А.В. Пошакинский</u> Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ КРАЕВЫЕ МОДЫ В ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛАХ (С. 191)	Приглашенный доклад <u>F.V. Kusmartsev¹, W.M. Wu^{1,2}, M.P. Pierpoint^{1,3}, K.C. Yung²</u> ¹ Loughborough University, Loughborough, Leicestershire, UK ² The Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong, China ³ Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia IN THE SPOTLIGHT – GRAPHENE-BASED OPTOELECTRONICS AND TRANSISTORS (P. 43)
14:00–14:10	<u>А.А. Григорькин</u> ФГБУ Петербургский институт ядерной физики имени Б.П.Константинова ФОТОИНДУЦИРОВАННЫЙ ТОК В КВАНТОВОМ КОЛЬЦЕ СО СПИН-ОРБИТАЛЬНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ (С. 194) PHOTOINDUCED CURRENT IN A QUANTUM RING WITH SPIN-ORBIT INTERACTION (P. 210)	<u>Д.А. Грачев, А.В. Пирогов, А.В. Нежданов, Ю.А. Дудин, Д.А. Павлов, А.В. Ершов</u> Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРНЫХ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОПЕРИОДИЧЕСКИХ СИСТЕМ Ge/Al₂O₃ ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИОНАМИ КИСЛОРОДА И ОТЖИГОМ (С. 30) MODIFICATION of STRUCTURAL and LUMINESCENT PROPERTIES of MULTILAYER NANOPERIODIC SYSTEMS Ge/Al₂O₃ by OXYGEN ION IMPLANTATION AND ANNEALING (P. 44)
14:10–14:20	<u>С.А. Созыкин, В.П. Бескачко, Г.П. Вяткин</u> Южно-Уральский государственный университет, Челябинск АВ ИНИТЮ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ И ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕФЕКТНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК (С. 195)	<u>О.А. Беляков¹, Ю.Г. Морозов², О.В. Белоусова², М.В. Кузнецов¹</u> ¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск ² Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения РАН, Черноголовка

	AB INITIO STUDY OF THE ELECTRONIC AND OPTICAL PROPERTIES OF DEFECTIVE CARBON NANOTUBES (P. 211)	ЛЕВИТАЦИОННО-СТРУЙНЫЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ТИТАНА (С.31) LEVITATION-JET SYNTYESIS OF TITANIA NANOPARTICLES (P. 45)
14:20–14:30	Е.С. Азарова, Г.М. Максимова Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород ЛОКАЛИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ ЩЕЛЕВЫХ ГРАФЕНОВЫХ СВЕРХРЕШЕТОК (С. 196) LOCALIZATION PRIPERTIES OF DISORDERED GAPPED GRAPHENE SUPERLATTICES (P. 212)	С.А. Хрущалина¹, А.С. Ванецев², О.М. Гайтко³, В.М. Кяшкин¹, П.А. Рябочкина¹, И. Силдос², Н.Ю. Табачкова⁴ ¹ Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск ² Институт физики, Тарту, Эстония ³ Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва ⁴ Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ $Y_{1-x}Yb_xPO_4:Er$ (С. 32)
14:30–14:40	А.В. Шорохов¹, К.Н. Алексеев², М.А. Пятаев¹, Н.Н. Хвастунов^{1,3} ¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск ² Институт физики, Университет Лафборо, Лестершир, Великобритания ³ Мордовский государственный педагогический институт им. М.Е. Евсевьева, Саранск ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ УСИЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СВЕРХРЕШЕТКОЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СТАТИЧЕСКОЙ ВАХ (С. 197) DETERMINATION OF AMPLIFICATION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION BY SEMICONDUCTOR SUPERLATTICE BASED ON ANALYSIS OF STATIC CVC (P. 213)	М.С. Пудовкин, П.В. Зеленихин, С.Л. Кораблева, А.С. Низамутдинов, А.О. Крашенникова, В.В. Семашко Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань ИНДУЦИРОВАННАЯ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ТОКСИЧНОСТЬ НАНОЧАСТИЦ PrF_3 И LaF_3 ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ (БАКТЕРИЙ, РАКОВЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ ТКАНЕЙ) (С. 33)
14:40–14:50	А.В. Шорохов¹, Н.С. Прудских¹, К.Н. Алексеев² ¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск ² Институт физики, Университет Лафборо, Великобритания ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЯ НАЙКВИСТА ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ	М.А. Василенко¹, Н.Л. Шварц^{1,2} ¹ Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск ² Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА GaAs-НАНОСТРУКТУР МЕТОДОМ КАПЕЛЬНОЙ ЭПИТАКСИИ (С. 34) SIMULATION OF GaAs-NANOSTRUCTURE GROWTH BY

	СВЕРХРЕШЕТКАХ (С. 198) USING THE NYQUIST CRITERION FOR ANALYSIS OF AN ELECTRICAL STABILITY IN SEMICONDUCTOR SUPERLATTICES (P. 214)	DROPLET EPITAXY (P. 46)
14:50–15:00		Н.В. Мусеев, В.С. Храмов, Б.Н. Денисов Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТО- И ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СВЕРХТОНКИХ СЛОЕВ ZnS:Mn (С. 35)
15:00–15:20	ПЕРЕРЫВ	
15:20–17:00	Ауд. 1	Ауд. 2
ЗАСЕДАНИЯ СЕКЦИЙ	ЭЛЕКТРОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В НАНОСТРУКТУРАХ Председатель: д.ф.-м.н. А.В. Шорохов	ЛАЗЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ Председатель д.ф.-м.н. П.А. Рябочкина
15:20–15:50	Приглашенный доклад Н.С. Аверкиев Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург ОРИЕНТАЦИЯ СПИНОВ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА ТОКОМ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ (С. 192)	Приглашенный доклад Л.И. Излева Институт общей физики РАН, Москва ПРОЦЕССЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОКСИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ (С. 146) CRYSTALLIZATION AND SHAPING PROCESSES OF OXIDE CRYSTALS (P. 177)
15:50–16:00	А.И. Малышев, Г.Г. Исупова Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород СПИНОВЫЙ ФИЛЬТР НА ОСНОВЕ ОТКРЫТОЙ КВАНТОВОЙ ТОЧКИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ (С. 199) SPIN FILTER BASED ON THE OPEN QUANTUM DOT IN MAGNETIC FIELD (P. 215)	А.А. Шавельев, А.С. Низамутдинов, М.А. Марисов, В.В. Семашко Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА АКТИВНОЙ СРЕДЫ УФ-ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СО СТРУКТУРОЙ КОЛЬКВИРИИТА $LiCa_{1-x}Sr_xAlF_6:Ce^{3+}$ (С. 164)
16:00–16:10	М.А. Пятаев¹, А.В. Шорохов¹, К.Н. Алексеев² ¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск ² Институт физики, Университет Лафборо, Великобритания ПОГЛОЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СВЕРХРЕШЕТКОЙ В НАКЛОННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ (С. 200) ABSORPTION OF ELECTROMAGNETIC	А.П. Гажулина, Е.А. Исупова, М.О. Марычев Физический факультет, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород ИССЛЕДОВАНИЕ ПСЕВДОСИММЕТРИИ КРИСТАЛЛОВ КТР С РАЗЛИЧНЫМИ ЛЕГИРУЮЩИМИ ПРИМЕСЯМИ (С. 165) THE STUDY OF

	RADIATION BY A SEMICONDUCTOR SUPERLATTICE PLACED IN A TILTED MAGNETIC FIELD (P. 216)	PSEUDOSYMMETRY OF KTP CRYSTALS WITH SUBSTITUTIONS (P. 182)
16:10–16:20	<u>Н.С. Прудских¹, А.В. Шорохов¹, К.Н. Алексеев²</u> ¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск ² Институт физики, Университет Лафборо, Великобритания КРИТЕРИЙ СТАБИЛЬНОСТИ ВОЛН ЗАРЯДОВОЙ ПЛОТНОСТИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СВЕРХРЕШЕТКЕ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ (С. 201) STABILITY CRITERIA FOR A SEMICONDUCTOR SUPERLATTICE WITH VARIOUS TYPES OF CONTACTS (P. 217)	<u>В.Г. Гориева, В.В. Семашко, С.Л. Кораблева, М.А. Марисов, В.В. Павлов</u> Казанский (Приволжский) федеральный университет ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛА $Ce^{3+}, Pr^{3+}:LiY_{0.3}Lu_{0.7}F_4$ В КАЧЕСТВЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ АКТИВНОЙ СРЕДЫ ЛАЗЕРА УФ-ДИАПАЗОНА (С. 166) $LiY_{0.3}Lu_{0.7}F_4: Ce^{3+}, Pr^{3+}$ MIXED CRYSTAL AS A PERSPECTIVE UP-CONVERSIONALLY PUMPED UV ACTIVE MEDIUM (P. 183)
16:20–16:30	<u>О.Д. Позднякова, А.В. Шорохов</u> Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ УСИЛЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МАССИВАМИ КОНТАКТОВ ДЖОЗЕФСОНА (С. 202)	<u>О.Ю. Биткина^{1,2}, А.П. Савикин¹, О.Н. Еремейкин^{1,2,3}, А.С. Егоров^{1,2}</u> ¹ Нижегородский государственный университет им.Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород ² ООО «Интеллектуальные системы НН», Дзержинск ³ Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород АКТИВНОЕ ЗЕРКАЛО НА ОСНОВЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО $Cr^{2+}:ZnSe$ (С. 167) ACTIVE MIRROR ON POLYCRYSTALLINE $Cr^{2+}:ZnSe$ (P. 184)
16:30–16:40	<u>И.А. Кокурин</u> Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск ВЛИЯНИЕ СПИН-ОРБИТАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА $InAs$ НАНОПРОВОЛОК (С. 203)	<u>К.А. Мартынова^{1,2}, О.К. Алимов², М.Е. Дорошенко², В.А. Конюшкин², А.Н. Накладов², В.В. Осико²</u> ¹ Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва ² Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ И ГЕНЕРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОПТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ ИОНОВ Tm^{3+} В КРИСТАЛЛАХ ФТОРИДА КАЛЬЦИЯ (С. 168) INVESTIGATION OF Tm^{3+} IONS OPTICAL CENTERS SPECTROSCOPIC AND LASER PROPERTIES IN CaF_2 FLUORIDE CRYSTALS (P. 185)
16:40–16:50	<u>А.А. Перов, А.С. Рульков</u> Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,	<u>В.А. Постников¹, А.В. Крайский², М.А. Шевченко², В.И. Сергиенко¹</u>

	<p>Нижний Новгород КВАЗИКЛАССИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА ЭЛЕКТРОНА В МОДЕЛИ ХАРПЕРА-ХОВШТАДТЕРА С УЧЕТОМ СПИНОРБИТАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАШБА И ДРЕССЕЛЬХАУЗА (С. 204)</p> <p>SEMICLASSICAL DYNAMICS OF ELECTRON IN HARPER-HOFSTADTER MODEL INCLUDING RASHBA AND DRESSELHAUS SPIN-ORBIT INTERACTION (P. 218)</p>	<p>¹ НИИ физико-химической медицины ФМБА России, Москва ² Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ГЛЮКОЗЫ (С. 169)</p> <p>HOLOGRAPHIC GLUCOSE SENSORS (P. 186)</p>
16:50–17:00	<p>В.Д. Кревчик, А.В. Разумов, П.С. Будянский Пензенский государственный университет ЭФФЕКТ ДВОЙНОЙ ФОТОИОНИЗАЦИИ ДВУХЭЛЕКТРОННЫХ ПРИМЕСНЫХ ЦЕНТРОВ В КВАЗИНУЛЬМЕРНОЙ СТРУКТУРЕ (С. 205)</p>	
18:00–19:00	УЖИН	

2 октября 2015, пятница

08:00–09:00	ЗАВТРАК	
9:00–10:30	Ауд. 1	
ЗАСЕДАНИЯ СЕКЦИЙ	НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ <i>Председатель д.ф.-м.н. М.Н. Попова</i>	
9:00–9:30	<p>Приглашенный доклад <u>К.Н. Нищее</u> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск КОМПЛЕКСНЫЙ ПРОЕКТ «ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ БАЗОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТРУКТУР «КРЕМНИЙ НА МОЛИБДЕНЕ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ»: ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НИОКТР (С. 86)</p>	
9:30–9:40	<p><u>И.В. Степанова, А.Н. Чибескова</u> Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКСИДА ВИСМУТА НА ОПТИЧЕСКИЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВИСМУТГЕРМАНАТНЫХ СТЕКОЛ (С. 88)</p> <p>THE INFLUENCE OF BISMUTH OXIDE CONCENTRATION ON OPTICAL AND DIELECTRIC PROPERTIES OF BISMUTH- GERMANIUM GLASSES (P. 123)</p>	
9:40–9:50	<p><u>М.А. Борик¹, В.Т. Бублик², Т.В. Волкова³, А.В. Кулебякин¹, Е.Е. Ломонова¹, Ф.О. Милович², В.А. Мызина¹, В.В. Осико¹, П.А. Рябочкина³, Н.Ю. Табачкова¹</u> ¹ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва ² Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва ³ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ФАЗОВОГО СОСТАВА И СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ЧСЦ, ЛЕГИРОВАННЫХ Ce и Nd (С. 89)</p> <p>EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE PHASE COMPOSITION AND PROPERTIES STABILITY OF PSZ CRYSTALS DOPED Ce AND Nd (P. 124)</p>	

9:50–10:00	<p><u>М.О. Анурова, А.В. Хомяков, О.Б. Петрова, И.В. Тайдаков</u> Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва</p> <p>СИНТЕЗ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ГИБРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ Eu В СТЕКЛЯННЫХ МАТРИЦАХ (С. 90)</p> <p>SYNTHESIS AND LUMINESCENT PROPERTIES OF HYBRID MATERIALS BASED ON METAL-ORGANIC COMPLEXES Eu IN GLASS MATRIX (P. 125)</p>	
10:00–10:10	<p><u>Т.В. Волкова¹, М.А. Борик², А.В. Кулебякин², Е.Е. Ломонова², В.А. Мызина², П.А. Рябочкина¹, А.Н. Чабушкин¹, Д.В. Мягков¹</u></p> <p>¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск ² Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва</p> <p>ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ ЧАСТИЧНО СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ, ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ Eu³⁺ (С. 91)</p> <p>FEATURES OF STRUCTURE AND SPECTRAL-LUMINESCENCE PROPERTIES OF CRYSTALS OF PARTIALLY STABILIZED DIOXIDE ZIRCONIA DOPED IONS Eu³⁺ (P. 126)</p>	
10:10–10:20	<p><u>Е.А. Добрецова, К.Н. Болдырев, Д.А. Ерофеев</u> Институт спектроскопии РАН, Москва, Троицк</p> <p>КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ САМАРИЕВЫХ ДВОЙНЫХ ОРТОБОРАТОВ СО СТРУКТУРНЫМ ТИПОМ ХАНТИТА (С. 92)</p>	
10:20–10:30	<p><u>А.М. Пак^{1,2}, Ю.А. Рожнова², С.В. Кузнецов²</u></p> <p>¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва ² Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва</p> <p>СИНТЕЗ ЛЮМИНОФОРОВ НА ОСНОВЕ SrF₂:Yb:Er и SrF₂:Yb:Tm (С. 93)</p>	
10:30–10:50	ПЕРЕРЫВ	
10:50–13:00	Ауд. 1	

ЗАСЕДАНИЯ СЕКЦИЙ	НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ <i>Председатель д.т.н. Е.Е. Ломонова</i>	
10:50–11:10	<p><u>В.А. Крутько</u>¹, М.Г. Комова¹, Д.И. Поминова², А.В. Попов² ¹ Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва ² Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва ПИРОГИДРОЛИТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СЛОЖНЫХ БОРАТОВ $Ln_{14}O_8(GeO_4)_2(BO_3)_6$ – ОСНОВЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЮМИНОФОРОВ ШИРОКОГО СПЕКТРА (ОТ ИК- ДО УФ-ОБЛАСТИ) (С. 94)</p> <p>COMPLEX BORATES $Ln_{14}O_8(GeO_4)_2(BO_3)_6$ – THE BASE OF THE BROAD SPECTRUM PHOSPHORS (FROM IR TO UV REGION). SYNTHESIS BY COMBUSTION METHOD (P. 127)</p>	
11:10–11:30	<p><u>А.А. Соболев</u>¹, В.Е. Шукшин¹, <u>Ю.К. Воронько</u>¹, Я.В. Герасимов² ¹ Институт общей физики им. А.М. Прохорова, Москва ² Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины, г. Харьков, Украина СТРОЕНИЕ ПИРОСИЛИКАТОВ ГАДОЛИНИЯ И ЛЮТЕЦИЯ В КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ И РАСПЛАВЛЕННОМ СОСТОЯНИИ: ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ СПЕКТРОСКОПИИ КРС (С. 95)</p> <p>THE STRUCTURE OF CRYSTALLINE AND MELTING LUTETIUM AND GADOLINIUM PYROSILICATES BY MEANS OF RAMAN SPECTROSCOPY (P. 128)</p>	
11:30–11:50	<p><u>Е.С. Климов</u>, В.А. Сергеев ¹ Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск ² Ульяновский филиал института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, Ульяновск УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ: МОДИФИЦИРОВАНИЕ, НОВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ (С. 96)</p>	
11:50–12:10	<p><u>С.В. Кузнецов</u>¹, Ю.А. Рожнова¹, М.Н. Маякова¹, Д.С. Ясыркина¹, А.М. Пак^{1,2}, Р.Г. Вахренев^{1,2}, В.В. Воронов¹, А.В. Рябова¹, Д.В. Поминова¹, А.А. Лугинина³, А.Е. Баранчиков⁴, В.К. Иванов⁴, П.П. Федоров¹ ¹ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва ² Московский государственный</p>	

	<p>университет им. М.В. Ломоносова, Москва</p> <p>³ Всероссийский институт научной и технической информации РАН, Москва</p> <p>⁴ Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва</p> <p>ПОРОШКИ ФТОРИДОВ $M_{1-x}R_xF_{2+x}$, RF_3 И $NaRF_4$ ($M=Ca, Sr, Ba$; $R - PЗЭ$) ДЛЯ ФОТОНИКИ (С. 101)</p> <p>FLUORIDE POWDERS $M_{1-x}R_xF_{2+x}$, RF_3 AND $NaRF_4$ ($M=Ca, Sr, Ba$; <math>R - RARE- EARTH ELEMENTS</math>) FOR PHOTONICS (P. 129)</p>	
12:10–12:20	<p>С.Г. Мусеев, В.А. Остаточников Ульяновский государственный университет, Ульяновск</p> <p>СПЕКТРЫ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ФИЛЬТРА С ЗЕРКАЛАМИ, РАЗДЕЛЕННЫМИ СЛОЕМ НАНОКОМПОЗИТА С РЕЗОНАНСНОЙ ДИСПЕРСИЕЙ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ (С. 102)</p> <p>SPECTRUM OF THE INTERFERENCE FILTER WITH MIRRORS SEPARATED BY LAYER WITH RESONANCE DISPERSION OF THE REFRACTIVE INDEX (P. 130)</p>	
12:20–12:30	<p>М.А. Бакулин¹, К.Н. Нищев¹, М.И. Новопольцев¹, В.А. Мартыненко² ¹ Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск ² ОАО «Электровыпрямитель», Саранск</p> <p>КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТРУКТУРАХ «КРЕМНИЙ НА МОЛИБДЕНЕ» (С. 103)</p>	
12:30–12:40	<p>М.А. Борик¹, А.В. Кулебякин¹, Е.Е. Ломонова¹, В.А. Мызина¹, В.В. Осико¹, П.А. Рябочкина², Н.В. Сидорова², Н.Ю. Табачкова³ ¹ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва ² Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск ³ Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва</p> <p>СТРУКТУРА, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ЧАСТИЧНО СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ, ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ Yb^{3+} (С. 104)</p>	
12:40–12:50	<p>М.В. Демкин, А.В. Стожаров, М.И. Новопольцев, Б.Ф. Мамин, К.Н. Нищев Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск</p>	

	ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ МИКРОТОМОГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ (С. 105)	
12:50–13:00	М.А.Борик¹, С.И.Бредихин², В.Т. Бублик², А.В.Кулебякин¹, И.Е.Курицына³, Е.Е.Ломонова¹, Ф.О.Милович², В.А.Мызина¹, С.В.Серяков^{1,3}, Н.Ю.Табачкова² ¹ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва ² Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва ³ Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ ТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ ZrO₂ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ПРИМЕСИ Y₂O₃ (С. 106)	
13:00–13:10	А.А. Аккузина, Р.И. Аветисов, И.В. Тайдаков, А.В. Хомяков, Е.Н. Можевитина, И.Х. Аветисов Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва НЕСТЕХИОМЕТРИЯ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ – ВОЗМОЖНО ЛИ ЭТО? (С. 107) NONSTOICHIOMETRY OF METAL ORGANIC COMPLEXES - HOW CAN IT BE? (P. 131)	
13:10–13:20	М.Н. Маякова, П.П. Федоров, В.В. Воронов Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ В СИСТЕМАХ BaF₂:RF₃ (R=La, Ce) ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ (С. 108) SYNTHESIS AND STUDY OF SOLID SOLUTIONS IN BaF₂:RF₃ (R = La, Ce) SYSTEMS FOR ELECTROCHEMICAL DEVICES (P. 132)	
13:20–13:30	А.Н. Редькин, М.В. Рыжова, Е.Е. Якимов Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН, Черноголовка СИНТЕЗ ТОЛСТЫХ ПЛЕНОК НИТРИДА АЛЮМИНИЯ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЧИСТЫХ АЛЮМИНИЯ И ХЛОРИСТОГО АММОНИЯ (С. 109)	

	<i>GAS-PHASE SYNTHESIS OF AIN THICK FILMS USING A HIGH PURITY ALUMINUM AND AMMONIUM CHLORIDE (P. 133)</i>	
13:30–14:00	ОБЕД	
15:00	ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ КОНФЕРЕНЦИИ	

30.09
19:00

СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ (холл перед ауд. № 1 сан. «Надежда»)

1. **В.А. Лыков, М.А. Фаддеев**
Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород
ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МАЛОГО КОЛИЧЕСТВА ПРИМЕСЕЙ В КРИСТАЛЛАХ МЕТОДОМ ОПТИКО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ (С. 110)
2. **Т.А. Грачева, М.Ю. Щербань, А.Е. Огородников, Т.А. Кузьмичева**
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород
ВЛИЯНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ 1420 И 1421 (С. 111)
3. **А.Н. Носкова, В.Н. Портнов, А.Е. Егорова**
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород
ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА РОСТА КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МЕТАСТРУКТУР НА ОСНОВЕ KDP (С. 112)

GROWTH OF TERAHERTZ PHOTONIC CRYSTALS (P. 134)
4. **А.С. Абрамов, С.А. Афанасьев, Д.И. Семенцов**
Ульяновский государственный университет, Ульяновск
ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОГЛОЩАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ УЛЬТРАТОНКИХ СЛОЕВ МЕТАЛЛА (С. 36)

INTERFERENCE ABSORPTION CONTROL IN METAL NANOLAYERS (P. 47)
5. **А.И. Малышев, А.С. Козулин**
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород
МНОГОМОДОВЫЙ ТРАНСПОРТ В КВАЗИОДНОМЕРНЫХ СВЕРХРЕШЕТКАХ СО СПИН-ОРБИТАЛЬНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ (С. 206)

MULTIMODE TRANSPORT IN QUASI-1D SUPERLATTICES WITH SPIN-ORBIT INTERACTION (P. 219)
6. **М.В. Бузаева, О.А. Давыдова, И.А. Макарова, Е.С. Ваганова, Е.С. Климов**
Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск
ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ (С. 37)
7. **А.С. Козулин, А.А. Конаков**
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород
СПЕКТРОСКОПИЯ УРОВНЕЙ ЛАНДАУ КАК СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ ТРЕХМЕРНОГО ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ИЗОЛЯТОРА (С. 207)

LANDAU-LEVEL SPECTROSCOPY AS METHOD FOR DETERMINING BAND PARAMETERS OF THE 3D TOPOLOGICAL INSULATOR SURFACE STATES (P. 220)

8. **В.В. Грибко, А.С. Маркелов, В.Н. Трушин, В.Е. Котомина, И.Н. Антонов, Л.П. Веселова, Е.В. Чупрунов**
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород
ФОРМИРОВАНИЕ МАССИВА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОСТРОВКОВ С МАЛОЙ УГЛОВОЙ ДИСПЕРСИЕЙ (С. 113)
- GENERATION OF AN ARRAY OF MONOCRYSTALLINE ISLANDS WITH SMALL ANGULAR DISPERSION (P. 135)**
9. **Д.В. Симаковский, В.А. Иванов, М.О. Марычев, В.С. Николов**
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород
ВЫРАЩИВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ $Ca_{2x}Li_{2-x}GeO_4$ (С. 170)
- THE GROWTH OF $Ca_{2-x}Li_{2x}GeO_4$ SINGLE CRYSTALS (P. 187)**
10. **Т.С. Севостьянова, Е.В. Жукова, А.В. Хомяков, О.Б. Петрова**
Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Москва
ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ АКТИВАТОРОВ НА СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА СВИНЦОВЫХ ОКСИФТОРИДНЫХ СТЕКОЛ И СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ (С. 114)
- INFLUENCE OF CONCENTRATION OF RARE-EARTH ACTIVATORS TO THE SPECTRAL AND LUMINESCENT PROPERTIES LEAD OXYFLUORIDE GLASSES AND GLASS-CERAMICS (P. 136)**
11. **А.М. Легков, М.А. Кудряшов, Д.А. Грачев, А.В. Ершов**
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород
ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОСТРУКТУР «НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ КРЕМНИЙ/ОКСИД АЛЮМИНИЯ», ПОДВЕРГНУТЫХ ТЕРМООБРАБОТКЕ В ВОДОРОДЕ (С. 38)
- LUMINESCENT PROPERTIES OF «NANOCRYSTALLINE SILICON/ALUMINIA» MULTILAYERED NANOSTRUCTURES ANNEALED IN AMBIENT HYDROGEN (P. 48)**
12. **М.Л. Лаптева, Д.С. Нуждин, П.В. Андреев, Е.С. Старостина**
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород
ЭЛЕМЕНТНЫЙ И ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ СМЕШАННЫХ КРИСТАЛЛОВ ТАРТРАТОВ $Ca_xSn_{1-x}C_4H_4O_6 \cdot nH_2O$ (С. 115)
- ELEMENTAL AND PHASE ANALYSIS of MIXED CRYSTALS OF TARTRATE $Ca_xSn_{1-x}C_4H_4O_6 \cdot nH_2O$ (P. 137)**
13. **С.А. Гарахин, Д.А. Грачев, А.В. Нежданов, А.В. Ершов**
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород
ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛОВ Ge ПУТЕМ НАПРАВЛЕННОГО ОТЖИГА ТОНКИХ ПЛЕНОК GeO_x (С. 39)
- Ge NANOCRYSTALS OBTAINING BY CONTROLLED ANNEALING OF THIN GeO_x FILMS (P. 49)**

14. **А.М. Зюзин, М.А. Бакулин, С.В. Безбородов, В.В. Радайкин, С.Н. Сабеев**
 Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
 им. Н.П. Огарёва, Саранск
**ВЛИЯНИЕ ЗАТУХАНИЯ НА ЗАКРЕПЛЕНИЯ СПИНОВ В ДВУСЛОЙНЫХ ПЛЕНКАХ
 ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ (С. 208)**
**THE INFLUENCE OF THE GILBERT DAMPING PARAMETER ON THE SPIN PINNING
 DEGREE (P. 221)**
15. **А.А. Ляпин¹, Д.В. Мягков¹, М. Парм², И. Силдос², Т. Тамме², П.А. Рябочкина¹,
 В.М. Кяшкин¹**
¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
 им. Н.П. Огарёва, Саранск
² Институт физики, Тарту, Эстония
**ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА
 МИКРОТРУБОК ZrO_2 - Yb_2O_3 (С. 116)**
**THE PHASE COMPOSITION AND SPECTRAL-LUMINESCENT PROPERTIES OF
 MICROTUBES ZrO_2 - Y_2O_3 - Yb_2O_3 (P. 138)**
16. **М.А. Фаддеев, Д.А. Семиков, А.В. Рябинин**
 Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
 Нижний Новгород
**ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ
 СИСТЕМЫ K_2SO_4 - H_2SO_4 - H_2O (С. 117)**
17. **Ю.А. Рожнова¹, С.В. Кузнецов¹, А.А. Лугинина², В.В. Воронов¹, П.П. Федоров¹**
¹ Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва
² Всероссийский институт научной и технической информации РАН, г. Москва
СИНТЕЗ ПОРОШКОВ $Sr_{1-x}R_xF_{2+x}$ ($R = Nd, Yb$) ДЛЯ ФОТОНИКИ (С. 40)
SYNTHESIS OF THE POWDERS $Sr_{1-x}R_xF_{2+x}$ ($R = Nd, Yb$) FOR PHOTONICS (P. 50)
18. **П.Ф.Кашайкин^{1,2}, М.Ю. Салганский³, К.Н. Нищев², А.Л. Томашук¹,
 А.Н. Гурьянов³, Е.М. Дианов¹**
¹ Научный центр волоконной оптики РАН, г. Москва
² Мордовский государственный университет
 им. Н.П. Огарёва, г. Саранск
³ Институт химии высокочистых веществ им. Г. Г. Девярых РАН
**РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ ПРИ НИЗКИХ
 ТЕМПЕРАТУРАХ (С. 70)**
LOW-TEMPERATURE RADIATION RESISTANCE OF OPTICAL FIBERS (P. 76)
19. **А.П. Меркулов¹, А.А. Ляпин¹, П.А. Рябочкина¹, П.П. Федоров², С.В. Кузнецов²**
¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
 им. Н.П. Огарёва, г. Саранск
² Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва
**АНТИСТОКСОВА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В КРИСТАЛЛАХ $CaF_2:Ho$, $BaF_2:Ho$ ПРИ
 ВОЗБУЖДЕНИИ НА УРОВЕНЬ 5I_5 ИОНОВ Ho^{3+} (С. 171)**
20. **М.Г. Циндяйкин¹, С.А. Хрущалина¹, П.А. Рябочкина¹, В.А. Крутько²**
¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет
 им. Н.П. Огарёва, г. Саранск
² Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва
**СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА Y И Gd -
 СИЛИКАТОФОСФАТОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ Yb^{3+} , Er^{3+} (С. 118)**

21. **В.Г. Иванова**^{1,2}, **П.Г. Зверев**², **Е.Э. Дунаева**², **А.В. Нехороших**², **Л.И. Излева**²,
М.Е. Дорошенко²

¹ Московский энергетический институт, Москва

² Институт общей физики РАН, Москва

**СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИСТАЛЛА SrMoO_4 ,
АКТИВИРОВАННОГО ИОНАМИ Ho^{3+} (С. 172)**

**SPECTRAL AND LUMINESCENT INVESTIGATION OF SrMoO_4 CRYSTAL, DOPED
WITH Ho^{3+} IONS (P. 188)**

НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

МОДИФИКАЦИЯ СТРУКТУРНЫХ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ
МНОГОСЛОЙНЫХ НАНОПЕРИОДИЧЕСКИХ СИСТЕМ Ge/Al₂O₃
ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИОНАМИ КИСЛОРОДА И ОТЖИГОМ

Д.А. Грачев, А.В. Пирогов, А.В. Нежданов, Ю.А. Дудин, Д.А. Павлов,
А.В. Ершов

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

E-mail: grachov@phys.unn.ru

В последнее время проявляется повышенный интерес к изучению свойств нанокристаллов германия, перспективных в качестве источников излучения при комнатной температуре, ячеек долговременного хранения заряда. Для их получения часто используется подход формирования многослойной нанопериодической структуры (МНС) и последующего отжига, что позволяет контролировать плотность, размеры и порядок нанокристаллов. Интерес представляет модификация структурных и оптических свойств ансамблей наночастиц германия в матрице оксида алюминия имплантацией ионами кислорода и высокотемпературным отжигом.

Многослойные нанопериодические (5–10 нм) структуры Ge/Al₂O₃, содержащие 10–30 периодов, были получены методом вакуумного испарения из отдельных источников по методике [1]. Структуры были облучены ионами кислорода (20 кэВ) дозами от $1 \cdot 10^{16}$ до $1 \cdot 10^{17}$ см⁻². Отжиг проводили в диапазоне 500–800 °С в атмосфере азота. Структурно-фазовые переходы были изучены методами комбинационного рассеяния света и Фурье ИК-спектроскопии пропускания, также по снимкам просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения. Спектры фотолюминесценции измерялись в диапазоне 550–1100 нм при комнатной температуре при возбуждении Nd:YAG (532 нм) лазером.

В докладе сообщается, что в зависимости условий модификации на спектрах ФЛ наблюдаются несколько полос фотолюминесценции при 2.2, 1.8 и 1.0 эВ. Для полос 2.2 и 1.8 эВ [2] наблюдается корреляция положения и интенсивности с температурой отжига и дозой имплантации. Однако бездефектная полоса ФЛ нанокристаллов Ge при 1.0 эВ [3] наблюдалась лишь при дозе кислорода $1 \cdot 10^{16}$ см⁻² для МНС, отожженных при температурах 700–800 °С. Переход германия из аморфной фазы в кристаллическую при данных температурах подтверждается данными комбинационного рассеяния света и Фурье ИК-спектроскопии.

1. Д. А. Грачев и др., Вестник ННГУ им. Н.И. Лобачевского **1**(2), 59 (2014).
2. А.-М. Lepadatu et al., J Nanopart. Res. **15**, 1981 (2013).
3. Т. Kanno et al., J. Mater. Chem. C **2**, 5644 (2014).

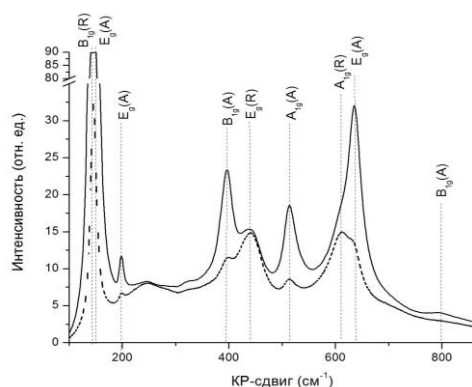
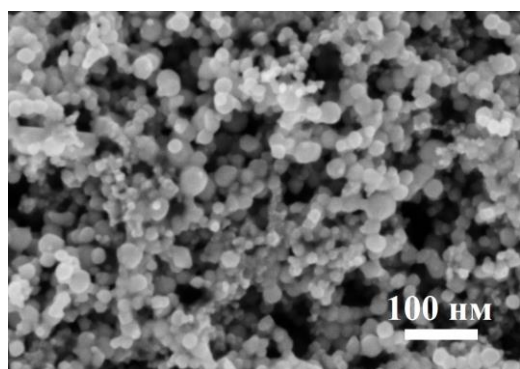
ЛЕВИТАЦИОННО-СТРУЙНЫЙ СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ДИОКСИДА ТИТАНА

О.А. Беляков¹, Ю.Г. Морозов², О.В. Белоусова², М.В. Кузнецов¹
¹ *Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

² *Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения
РАН, Черноголовка*
E-mail: al12fool@gmail.com

Наночастицы состава TiO_2 были получены модифицированным левитационно-струйным методом М.Я. Гена [1]. Заготовка металлического титана подвешивалась внутри кварцевой трубки и нагревалась до плавления и начала испарения в ВЧ индукционной установке. Образовавшаяся капля металла обдувалась регулируемым потоком газообразного аргона/гелия, формируя зону конденсации, которая определяла средний размер получаемых частиц. Капля непрерывно подпитывалась титановой проволокой диаметром 0.4 мм. Для получения оксида в поток газа-носителя добавлялось дозированное количество газообразного кислорода. Синтезированные наночастицы были охарактеризованы с помощью сканирующей электронной микроскопии; рентгенофазового анализа; метода БЭТ; оптической спектроскопии в УФ, видимом, ИК диапазонах, а также спектроскопии КРС.

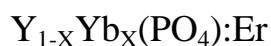
Образцы наночастиц имели заданные средние размеры в области 20÷120 нм с лог-нормальным распределением по размеру. Дифракционные картины РФА показали наличие анатаза (JCPDS 73-1764) и рутила (JCPDS 72-1148) в синтезированных частицах, причем содержание рутила было от 1 до 20 ат. %. По данным спектров диффузного отражения в УФ и видимой области была оценена непрягая ширина запрещенной зоны на уровне 3.0-3.1 эВ. В спектре КРС наночастиц были обнаружены все основные линии, принадлежащие активным оптическим модам анатаза и рутила, уширенные за счет размерного эффекта.



Микрофото и спектры КРС наночастиц с разным фазовым составом

1. М.Я. Ген, А.В. Миллер, Поверхность **2**(150), (1983).

СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОРАЗМЕРНЫХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ



С.А. Хрущалина¹, А.С. Ванцев², О.М. Гайтко³, В.М. Кяшкин¹,
П.А. Рябочкина¹, И. Силдос², Н.Ю. Табачкова⁴

¹*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

²*Институт физики, Тарту, Эстония*

³*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН,
Москва*

⁴*НИТУ «МИСИС», Москва*

E-mail: anabel-2005@yandex.ru

Исследования физических характеристик наноразмерных кристаллических соединений, легированных редкоземельными (РЗ) ионами, проводятся уже достаточно давно. Интерес к данным объектам обусловлен их спектрально-люминесцентными свойствами, обеспечивающими возможность широкого практического применения. Несмотря на большое количество публикаций, посвященных изучению данной темы, ряд фундаментальных вопросов остается открытым. Так, интерес для исследователей представляет выяснение природы возникновения широкополосной люминесценции в области длин волн 370-900 нм в нанокристаллических соединениях, активированных ионами Yb^{3+} , при возбуждении лазерным излучением с $\lambda=972$ нм. Согласно результатам исследований, проведенных авторами работ [1-3], механизмы, ответственные за данное явление, в различных материалах проявляются в разной степени.

Целью настоящей работы является изучение спектрально-люминесцентных характеристик наноразмерных кристаллов ортофосфатов, активированных ионами Er^{3+} и Yb^{3+} , и выявление возможных причин возникновения широкополосной люминесценции в данном типе материала при возбуждении излучением с $\lambda=972$ нм. Для достижения поставленной цели было проведено исследование концентрационного ряда нанокристаллов ортофосфатов $Y_{1-x}Yb_xPO_4:Er$ ($x=0; 0,25; 0,5; 0,75, 1$), а также их гидратов – $Y_{1-x}Yb_xPO_4 \cdot 0,8H_2O:Er$. Для указанных образцов зарегистрированы спектры люминесценции при различных способах возбуждения и плотности мощности, изучены процессы фотопроводимости. На основе полученных результатов сделаны предположения о возможных механизмах возникновения широкополосной люминесценции в данных соединениях в области длин волн 370-900 нм при возбуждении излучением с $\lambda=972$ нм.

1. W. Streck, L. Marciniak, A. Bednarkiewicz et al., *Opt. Expr.* **19**, 14083 (2011).
2. J. Wang, J.H. Hao, P.A. Tanner, *Opt. Lett.* **35**(23), 3922 (2010).
3. P. Redmond, S.C. Rand, X.L. Ruan et al., *J. Appl. Phys.* **95**(8), 4069 (2004).

ИНДУЦИРОВАННАЯ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ТОКСИЧНОСТЬ НАНОЧАСТИЦ PrF₃ И LaF₃ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ (БАКТЕРИЙ, РАКОВЫХ КЛЕТОК ЧЕЛОВЕЧЕСКИХ ТКАНЕЙ)

М.С. Пудовкин, П.В. Зеленихин, С.Л. Кораблева, А.О. Крашенникова,
А.С. Низамутдиннов, В.В. Семашко

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань,

E-mail: jaz7778@list.ru

Благодаря уникальным свойствам, наноматериалы успешно применяются в таких областях, как очистка воды. Также наноматериалы имеют уникальный биоактивный потенциал и могут быть использованы в медицине [1]. Исследование посвящено токсичности наноматериалов под действием лазерного излучения для биологических объектов. Целями данного исследования являются синтез наночастиц PrF₃ и LaF₃ и проверка гипотезы токсичности этих наночастиц под действием лазерного излучения для биологических объектов: *Salmonella typhimurium* TA 98, а также проверка гипотезы апоптозирующего действия наночастиц PrF₃ под действием лазерного излучения для раковых клеток *lung carcinoma A549*.

Наночастицы PrF₃ и LaF₃ синтезировались методом осаждения в растворе, описанном в статье [2]. Исследование распределения по размерам наночастиц в полученном коллоидном растворе осуществлялось методом фотонной корреляционной спектроскопии (прибор фирмы «Photocor-FC»). Измерение показали присутствие наночастиц со средним радиусом 63 нм. При исследовании токсичности наночастиц смесь коллоидного раствора наночастиц и взвесь исследуемых клеток облучались непрерывными лазерами с длинами волн 532 нм и 473 нм и мощностями 30 мВт каждый. Концентрация клеток сальмонеллы в физрастворе 10⁶ клеток/мл, концентрация наночастиц 0,1 мг/л. В эксперименте определялись оптимальное значение плотности мощности лазерного излучения и оптимальное время экспозиции клеток. При значении плотности мощности лазерного излучения (532 нм) 0,4 В/см² и временах экспозиции: 5, 10 и 15 минут выживаемость клеток (по сравнению с контрольными образцами) составила 39%, 34%, 20% соответственно. Было выявлено апоптозирующее действие наночастиц PrF₃ под действием лазерного излучения для раковых клеток *lung carcinoma A549*. Доля клеток, находящихся в состоянии апоптоза для времен облучения 5 мин, 15 мин и 30 мин составляла 23%, 33% и 45%, соответственно (излучение 532 нм). Также выяснилось, что наночастицы LaF₃ не обладают апоптозирующим действием.

1. V. Apalanga, V. Rangari, B. Tiimob et al., Applied Surface Science **295**, 108–114 (2014).
2. L. Ma, W. Zheng, Y. Chen et al., Materials Letters **61**, 2765 (2007).

МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА GaAs-НАНОСТРУКТУР МЕТОДОМ КАПЕЛЬНОЙ ЭПИТАКСИИ

М.А. Василенко¹, Н.Л. Шварц^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск

²Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН,
Новосибирск

E-mail: vasilenkonsk1992@gmail.com

Предложена и реализована Монте-Карло (МК) модель формирования GaAs-наноструктур методом капельной эпитаксии (КЭ) [1]. Основой МК модели капельной эпитаксии является классический механизм пар-жидкость-кристалл. При КЭ компоненты третьей и пятой групп поступают на поверхность последовательно: сначала галлий, потом молекулярный мышьяк. При изменении температуры и потока As_2 в диапазонах 470 – 670 К и 0.01 – 10 МС/с соответственно был получен ряд структур: компактные трехмерные кристаллы, нанокристаллы с жидким ядром галлия внутри, нанокольца и наноотверстия. Была продемонстрирована зависимость морфологии GaAs-наноструктур от ориентации подложки. Показано, что образование наноотверстий и нанокольцев в модельной системе возможно только на подложках с ориентацией поверхности (001). Проанализированы кинетика формирования нанокольцев. Морфология поверхности в процессе КЭ может контролироваться как температурой, так и потоком As_2 (Рис.1).

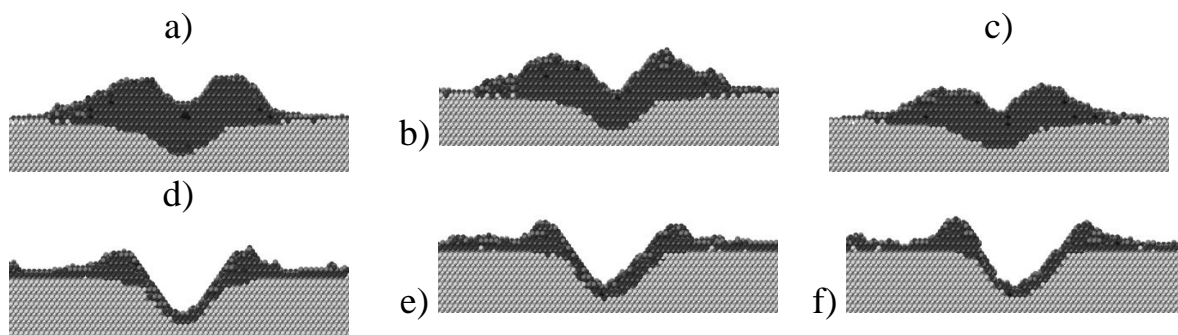


Рис. 1. Сечения GaAs-наноструктур после кристаллизации капли галлия на поверхности GaAs(001) при разных температурах и потоках мышьяка:

- a) $T = 570$ К, $F_{As_2} = 0.1$ МС/с; б) $T = 620$ К, $F_{As_2} = 0.5$ МС/с; в) $T = 670$ К, $F_{As_2} = 3$ МС/с;
д) $T = 570$ К, $F_{As_2} = 0.01$ МС/с; е) $T = 620$ К, $F_{As_2} = 0.05$ МС/с; ф) $T = 670$ К,
 $F_{As_2} = 0.5$ МС/с. Атомы Ga отмечены темно-серым, атомы As – серым цветом. Ga и As исходной подложки изображены более светлыми оттенками

Эффекты и зависимости, наблюдаемые в модельной системе, качественно согласуются с экспериментальными данными по росту GaAs-наноструктур методом капельной эпитаксии [2].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (№ 14-02-00776-а) и программ РАН.

1. M.A. Vasilenko, I.G. Neizvestny, N. L. Shwartz, *Comput. Mater. Sci.*, **102**, 286-292 (2015).
2. K. Reyes, P. Smereka, D. Nothorn, et al., *Phys. Rev.* **87**, 165406 (2013).

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТО- И ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СВЕРХТОНКИХ СЛОЕВ ZnS:Mn

Денисов Б.Н., Моисеев Н.В., Храмов В.С.

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

E-mail: boris117@mail.ru

В работе приводятся результаты моделирования фото- и электролюминесценции слоев люминофора ZnS:Mn толщиной 200 нм, полученных методом ALD-осаждения на установке TFS200. Метод ALD осаждения является одним из основных в получении наноразмерных пленок [1]. Нами были получены выражения для интенсивности свечения слоя в зависимости от толщины слоя при фотовозбуждении (наблюдении со стороны возбуждающего излучения) (1) и электролюминесценции (эффект Лосева) в зависимости от числа (n) примесных слоев марганца, (2).

$$I_{л} = \beta I_{ос} (1 - e^{-(\alpha_1 + \alpha_2)d}), \quad (1)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \beta$ – коэффициенты поглощения возбуждающего излучения, люминесценции и квантовый выход соответственно, $I_{ос}$ – интенсивность возбуждающего излучения.

$$I_{эл} = I_0 (1 - r^{n+1}) / (1 - r), \quad (2)$$

где I_0 – интенсивность свечения одного слоя атомов примеси марганца, n – число слоев примеси марганца, r – вероятность поглощения света люминесценции одним примесным слоем, n – число атомных слоев примеси. На рис.1 приведены зависимости интенсивности свечения от толщины слоя $x = (\alpha_1 + \alpha_2)d$ при фотовозбуждении и интенсивности электролюминесценции в зависимости от числа слоев примеси (n). Расчеты приведены в относительных единицах, $I(x) = I_k / \beta I_{ос}$ и $I(n) = I_{эл} / I_0$ соответственно. При $r=0,9$ оптимальное число слоев при пороговом напряжении, равном 110 В, равно 50, что совпадает с экспериментом. При этом падения напряжения между двумя слоями равным 2,2 В. Энергия приобретаемая электроном при прохождении этой разности потенциалов соответствует энергии кванта света с длиной волны равной 0,56 мкм в максимуме спектра излучения ZnS:Mn.

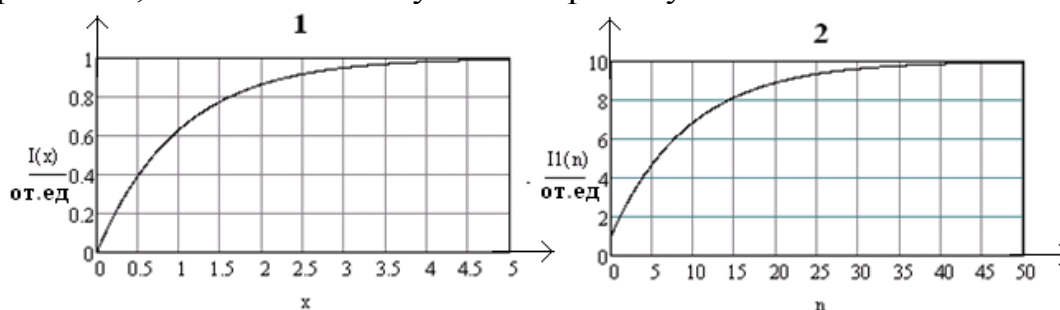


Рис.1

1. R.L. Puurunen, J. Appl. Phys. **97**, 121301 (2005).

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОГЛОЩАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТЬЮ УЛЬТРАТОНКИХ СЛОЕВ МЕТАЛЛА

А.С. Абрамов, С.А. Афанасьев, Д.И. Семенцов

Ульяновский государственный университет, Ульяновск, Россия

E-mail: aleksei_abramov@mail.ru

В настоящей работе проанализировано интерференционное управление поглотительной способностью ультратонких металлических пленок при наклонном падении двух встречных когерентных волн СВЧ диапазона. Изменяя амплитудно-фазовые характеристики между волнами, можно добиться практически полного поглощения падающей мощности. Определены углы падения и толщины пленки, при которых описанный эффект может наблюдаться.

На рис. 1 представлена зависимость коэффициента поглощения от толщины для пленок меди и хрома (а, б) при наличии волны «подсветки» с амплитудой $B = A$, начальной разностью фаз $\delta = 0$ и $\pi/2$ и угла падения $\theta_0 = 0^\circ, 77^\circ$. Анализ показывает, что максимумы коэффициента поглощения у пленок с большей проводимостью находятся в области меньших толщин. Так, при наклонном падении для пленки меди максимум поглощения отвечает пленкам с $d = 2$ нм, а для пленки хрома максимум приходится на интервал (11...14) нм. Величина коэффициента поглощения в случае одиночной волны (что соответствует разности фаз $\delta = \pi/2$) не превышает значения $D = 0.5$, в режиме встречных волн при условии $\delta = 0$ максимум коэффициента поглощения может достигать значения, практически равного единице. Таким образом, в указанном режиме для пленки определенной толщины может достигаться практически полное поглощение падающей мощности излучения.

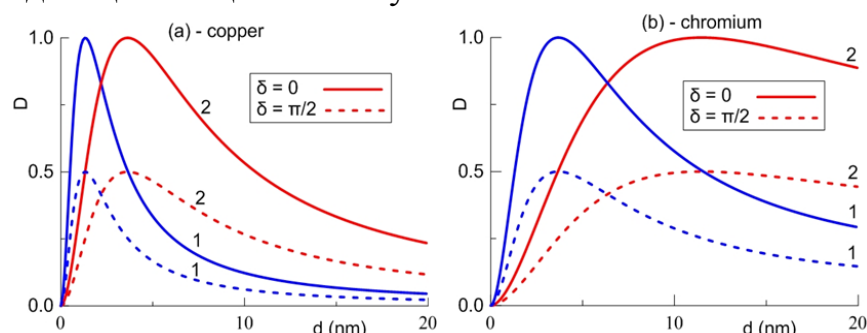


Рис. 1. Зависимости $D(d)$ для углов падения $\theta_0 = 0, 80^\circ$ (кривые 1,2)

Таким образом, нанометровые металлические пленки могут быть использованы в качестве поглотителей микроволн. Наиболее эффективное поглощение энергии в пленках наблюдается при равенстве амплитуд прямой и встречной волн, причем пленки меньшей толщины служат лучшими поглотителями.

Работа поддержана Министерством образования и науки РФ (назначение №3.175.2014К от 18.07.2014) и проект №14.Z50.31.0015 .

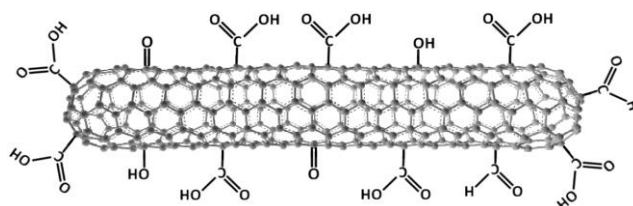
ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.В. Бузаева, О.А. Давыдова, И.А. Макарова, Е.С. Ваганова, Е.С. Климов
Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск
E-mail: m.buzaeva@mail.ru

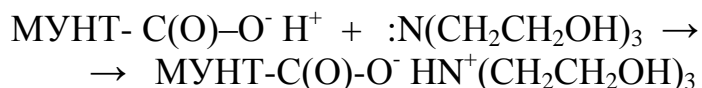
Существенным достижением последних лет в производстве полимерных материалов является введение в них наноразмерных компонентов, например углеродных нанотрубок. Введение нескольких процентов наноуглеродных структур в полимеры позволяет создать новые композиционные материалы с улучшенными механическими и электрофизическими свойствами. В качестве полимерной матрицы обычно используются полиолефины, полиэфирсы, эпоксидные смолы.

Для модифицирования использовали многостенные углеродные нанотрубки (МУНТ), полученные нами методом МOCVD с использованием прекурсоров толуола и ферроцена.

МУНТ достаточно инертны по отношению к материалам и их поверхность необходимо функционализировать прививкой полярных групп (-COOH, -CO, -OH). При обработке МУНТ смесью концентрированных серной и азотной кислот при 90 °С в течение часа массовая доля карбоксильных групп, привитых к поверхности, составила 4,1 % (ф-МУНТ).



Кроме того, на основе ф-МУНТ возможно модифицирование поверхности нанотрубок четвертичными аммониевыми солями, которые образуются по реакции карбоксильных групп ф-МУНТ с аминами, в частности с триэтаноломином.



Прививка полярных групп способствует более лучшему совмещению МУНТ с полярными акриловыми мономерами.

Значительной проблемой при использовании наноматериалов является высокая адгезия МУНТ друг к другу. Поэтому для получения полимерного композита на основе ф-МУНТ и акриловых мономеров используется ультразвуковая обработка смеси в вязкой среде, полученной растворением полимера в собственном мономере.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ
НАНОСТРУКТУР «НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ КРЕМНИЙ/ОКСИД
АЛЮМИНИЯ», ПОДВЕРГНУТЫХ ТЕРМООБРАБОТКЕ В ВОДОРОДЕ

А.М. Легков, М.А. Кудряшов, Д.А. Грачев, А.В. Ершов
*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород*
E-mail: legkov_a_m@mail.ru

Цель работы была в изучении влияния отжига и постгидрогенизации многослойных нанопериодических структур (МНС) $a\text{-Si}/\text{Al}_2\text{O}_3$ и $a\text{-SiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$, на фотолюминесценцию (ФЛ), и микрорельеф их поверхности.

МНС $a\text{-Si}/\text{Al}_2\text{O}_3$ и $a\text{-SiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ периодами 8–20 нм и числом слоев 18 были получены электроннолучевым испарением. Постгидрогенизация МНС проводилась отжигом в водороде (1 атм.) при 350 – 550 °С. Отжиг образцов в безводородной среде проводился в азоте при 1100 °С. Спектры ФЛ измерялись на монохроматоре SP-150 (350 – 900 нм) при накачке N_2 -лазером (337 нм), Ar_2 -лазером (488 нм) и синим светодиодом (378 нм). Морфология поверхности образцов изучалась на сканирующем зондовом атомно-силовом микроскопе (АСМ) «SolverPro» (NTM-MDT) в неконтактной моде.

По данным ФЛ МНС $a\text{-Si}/\text{Al}_2\text{O}_3$ и $a\text{-SiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$, отожженных при 1100 °С, следует наличие полос: при 550–600 нм, связываемая с излучательными F -центрами в Al_2O_3 и вакансионными дефектами SiO_x ($x < 2$), образующимися в процессе отжига на границах «нановключение - матрица»; и при 850–900 нм, связываемая нами с образованием Si нанокристаллов (НК) в Al_2O_3 при высокотемпературном отжиге.

Термообработка в водороде при 350–500 °С отожженных при 1100 °С МНС $a\text{-SiO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ повышает ФЛ от НК и уменьшает интенсивность дефектных полос, что мы связываем с насыщением дефектов типа оборванной связи в результате пассивации МНС водородом.

Максимальное увеличение интенсивности ФЛ достигается после гидрогенизации при температуре 400 °С, выше которой пассивация становится менее эффективной вследствие нарастания эффузии водорода из образцов МНС. Последующий отжиг в безводородной среде при температурах 600–900 °С приводит к значительному уменьшению интенсивности люминесценции от нанокристаллов кремния из-за эффузии водорода.

По АСМ-данным отжиг при 1100 °С МНС $a\text{-Si}/\text{Al}_2\text{O}_3$ приводит к увеличению высоты неровностей в виде холмиков на порядок (40 – 80 нм), что было связано с образованием НК при высокотемпературном отжиге.

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОКРИСТАЛЛОВ Ge ПУТЕМ НАПРАВЛЕННОГО ОТЖИГА ТОНКИХ ПЛЕНОК GeO_x

С.А. Гарахин, Д.А. Грачев, А.В. Нежданов, А.В. Ершов

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

E-mail: GarakhinS@yandex.ru

Непрямозонные полупроводниковые материалы, такие как Si и Ge, в объемном состоянии не позволяют сформировать эффективный излучатель света. Однако в нанокристаллическом состоянии полупроводниковые материалы IV группы проявляют интенсивную люминесценцию. По сравнению с кремниевыми нанокристаллы (НК) Ge [1] интересны из-за более низкой теплопроводности и более высокой электропроводности, а также термоэлектрических свойств. Использование тонких пленок с НК Ge позволяет удешевить изготовление приборов и производить их на гибких подложках. В данной работе предпринята попытка получения и последующего анализа свойств систем с массивами НК Ge, полученных путем высокотемпературного отжига тонких пленок.

Исследуемые структуры, представляющие собой пленки GeO_x толщиной 40 – 350 нм, получены методом электронно-лучевого испарения в вакууме. Была изготовлена серия образцов, отличающихся температурой подложки 35 – 560 °С в процессе осаждения. Последующий отжиг проводился в диапазоне температур 400 – 600 °С в течение 30 мин в атмосфере азота. Структурные исследования были выполнены методами ИК-поглощения и комбинационного рассеяния света. Спектры фотолюминесценции (ФЛ) были измерены при комнатной температуре в диапазоне 550 – 1000 нм при накачке Nd:YAG лазером.

В исследуемых структурах, по данным спектроскопии ИК-поглощения, отжиг приводит к распаду [2] нестехиометрического субоксида германия на GeO₂ и Ge, где по данным комбинационного рассеяния света, последний кристаллизуется при температуре выше 500 °С [3]. На спектрах ФЛ наблюдается несколько полос свечения при 1.8 и 1.4 эВ, сложным образом зависящих от температуры отжига.

1. S. Agan et al., J. Phys. **18**, 5037 (2006).
2. Е.Б. Горохов и др., Поверхность **10**, 82 (1990).
3. P.K. Giri et al., J. of Nanomaterials **2012**, 905178 (2002).

СИНТЕЗ ПОРОШКОВ $Sr_{1-x}R_xF_{2+x}$ ($R = Nd, Yb$) ДЛЯ ФОТОНИКИ

Ю.А. Рожнова¹, С.В. Кузнецов¹, А.А. Лугинина², В.В. Воронов¹,
П.П. Федоров¹

¹*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва*

²*Всероссийский институт научной и технической информации РАН,
г. Москва*

E-mail: julia.r89@mail.ru

В последние годы интерес к синтезу и изучению неорганических фторидов значительно увеличился из-за их уникального набора физико-химических свойств и различных областей применения в науке и технике. Порошки фторидов перспективны для использования в качестве шихты для изготовления лазерной керамики, источников белого света, при разработке нового поколения солнечных батарей, в биомедицинских исследованиях для фотодинамической диагностики и терапии рака.

Целью данной работы является исследование процесса получения однофазных порошков $Sr_{1-x}Nd_xF_{2+x}$ и $Sr_{1-x}Yb_xF_{2+x}$, включающего синтез шихты заданного состава из водных нитратных растворов с использованием в качестве фторирующего агента фторида аммония, взятого с избытком от стехиометрии, и ступенчатую термообработку.

Методом соосаждения из водных растворов при использовании нитрата стронция, нитратов редкоземельных элементов и фторида аммония, взятом в избытке 7 – 120% от стехиометрического количества были синтезированы однофазные порошки $Sr_{1-x}Nd_xF_{2+x}$ и $Sr_{1-x}Yb_xF_{2+x}$ со структурой флюорита. Содержание редкоземельных элементов варьировалась в широком диапазоне концентраций (0.3 – 20 мол.%).

В результате работы было выявлено, что в зависимости от условий осаждения и избытка фторида аммония, размер и форма частиц изменяются от нано- и микрокубов размером 50÷350 нм до частиц пластинчатой формы длиной 50÷200 нм.

Методом искрового плазменного спекания из синтезированной шихты были получены керамические образцы $Sr_{1-x}Nd_xF_{2+x}$ с 97% плотностью по сравнению с теоретической величиной.

**NANOMATERIALS
AND NANOTECHNOLOGIES**

SIZE DEPENDENT SEMICONDUCTING BEHAVIOR IN METAL NITRIDE NANODOMAINS

C. Cefalas^{1,2}, V.V. Pavlov², Z. Kollia¹, V.V. Semashko², E. Sarantopoulou¹

¹*National Hellenic Research Foundation, Theoretical and Physical Chemistry Institute, Athens, Greece.*

²*Kazan Federal University, Institute of Physics, Kazan, Russia*

Size dependent electric properties of gold, indium and tantalum nitride nanodomains (metal nitrides), grown by pulsed laser deposition with a molecular fluorine laser at 157 nm are verified experimentally. Metal nitride nanodomains, either crystalline or amorphous, exhibit semiconducting behavior and the metal-semiconductor-metal contact can be modeled with a back-to-back Schottky barrier model. From the experimental I-V curves via conductive atomic force microscopy, the main charge carrier transport process in crystalline nanodomains is thermionic field emission via electron tunneling, while conductivity in amorphous nanodomains is mainly via interactive trapping sites (Poole effect). The rectifying, near symmetric and asymmetric current response of nanocontacts is related to the size of nanodomains, as structures with a few nanometers thickness are conductive. Current rectification, charge memory effects and electron scattering at boundaries are also observed in “quite small” conductive nanodomains (6-10 nm) due to stored charges near the surface for crystalline materials. On the contrary amorphous metal nitrides indicate a non-surface polarization. Surface charges are identified as inversion domains via electrostatic force microscopy.

IN THE SPOTLIGHT – GRAPHENE-BASED OPTOELECTRONICS AND TRANSISTORS

F.V. Kusmartsev¹, W.M. Wu^{1,2}, M.P. Pierpoint^{1,3}, K.C. Yung²

¹*Loughborough University, Loughborough, Leicestershire, UK*

²*The Hong Kong Polytechnic University, Kowloon, Hong Kong, China*

³*Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia*

E-mail: m.pierpoint@lboro.ac.uk

In recent years, the use of graphene within optoelectronic and semiconducting devices has been gaining an ever increasing momentum. The two-dimensional material exhibits some truly unique properties, which can be useful for many practical applications.

Although highly transparent (absorbing a mere 2.3% of light), graphene exhibits a strong interaction with photons. Together with its superior values of both electrical conductivity and Young's modulus, it is often considered an ideal replacement to existing materials such as Indium-Tin-Oxide (ITO), which can be used in displays, touch screens, and photo-voltaic cells. Graphene is also finding its place within plasmonic devices. The material may be used to capture light, and alter the incident wavelength – typically one or two orders of magnitude. Furthermore, the graphene plasmonic waveguide has become an essential component for integration within logical circuits, delivering fast operating speeds with minimal optical loss. Some other key features, including saturable absorption and optical excitation, pave the way developments in health and safety. This is achieved by adjusting the wavefront of incoming light, and preventing the absorption of photons at higher intensity. Although this effect is exhibited by many semiconductors already, none are as sensitive as graphene. The material's transmittance is inversely proportional to the intensity of incident light, and thus may also be used as a photonic limiter.

Whilst there do exist high-frequency devices which do not require a logical OFF state, the generation of a discernable band-gap for graphene will be crucial to its later application within semiconducting devices. Existing methods include the use of carbon nanotubes (CNTs), bilayer graphene, deformed structures, chemical doping, and more. In the context of optoelectronic devices, a tuneable band-gap will isolate the range of frequencies that can be absorbed. Amongst other examples, we shall discuss the graphene photodiode and photodetector. Various designs of transistors also exist, including those which make use of CNTs, and others which harness the phenomena of quantum tunneling. The merit of a CNT transistor resides in ballistic transport occurring throughout the CNT channel, with minimisation of the short channel effect. We finally consider the working mechanism and physical principles behind the graphene tunneling transistor.

1. F.V. Kusmartsev, W.M. Wu, M.P. Pierpoint, et al., *Applied Spectroscopy and the science of nanomaterials* **2**, 191-221 (2015).

MODIFICATION of STRUCTURAL and LUMINESCENT
PROPERTIES of MULTILAYER NANOPERIODIC SYSTEMS
Ge/Al₂O₃ by OXYGEN ION IMPLANTATION AND ANNEALING

D.A. Grachev, A.V. Pirogov, A.V. Nezhdanov, Y.A. Dudid, D.A. Pavlov,
A.V. Ershov¹

Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

E-mail: grachov@phys.unn.ru

Last decade there is an increasing interest in property studying of germanium nanocrystals promising as a source of radiation at room temperature and effective charge cells. A way to obtain Ge nanocrystals is annealing of multilayer nanoperiodic systems (MNS). In this case it is possible to control the density, size and its order. We have studied the structural and optical properties of Ge nanocrystals in alumina matrix modified by oxygen ion implantation and high-temperature annealing.

Multilayer nanoperiodic (5–10 nm) structures Ge/Al₂O₃ containing 10–30 bilayers were prepared by vacuum evaporation from separate sources as described in [1]. Structures were implanted with oxygen ions (20 KeV) in the dose range $1 \cdot 10^{16} - 1 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-2}$. Annealing was carried out in the range 500–800 °C in a nitrogen atmosphere. Structural phase transitions were studied by Raman and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), as well by high resolution transmission electron microscopy. Photoluminescence spectra were measured in the range of 550–1100 nm at room temperature with Nd:YAG (532 nm) laser excitation.

We report that for studied structures few photoluminescence bands at 2.2, 1.8 and 1.0 eV are observed depending on the modification conditions. There is a correlation of position and intensity with annealing temperature and implantation dose for bands 2.2 and 1.8 eV [2]. However, defect-free Ge nanocrystals PL band at 1.0 eV [3] is observed only for structures with $1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ oxygen dose and annealed 700–800 °C. The germanium phase transition from amorphous to crystalline under given temperatures is confirmed by Raman and FTIR spectroscopy.

1. D. A. Grachev et al., Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod **1**(2), 59 (2014).
2. A.-M. Lepadatu et al., J Nanopart. Res. **15**, 1981 (2013).
3. T. Kanno et al., J. Mater. Chem. C **2**, 5644 (2014).

LEVITATION-JET SYNTHESIS OF TITANIA NANOPARTICLES

O.A. Belyakov¹, Iu.G. Morozov², O.V. Belousova², M.V. Kuznetsov¹

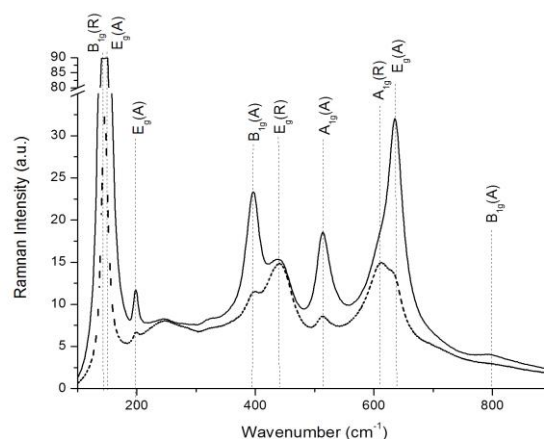
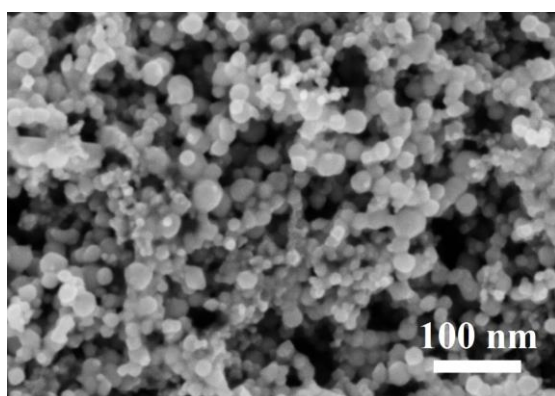
¹*Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia*

²*Institute of Structural Macrokinetics and Materials Science, RAS,
Chernogolovka, Russia*

E-mail: al12fool@gmail.com

The nanoparticles of TiO₂ composition were obtained with a modified levitation-jet M.J. Gen method [1]. Billet metallic titanium was suspended inside a quartz tube and heated upto melting and the beginning of the evaporation in the high-frequency induction setup. The resulting droplet was blown by adjustable flow of gaseous argon/helium, forming the condensation zone, which determined the average size of the obtained particles. The droplet was permanent fed by titanium wire with diameter of 0.4 mm. To obtain oxide nanoparticles in the carrier-gas stream was added to the desired quantity of gaseous oxygen. The synthesized nanoparticles were characterized using a scanning electron microscopy; X-ray diffraction; BET method; optical spectroscopy in the UV-Vis, FTIR, and Raman spectroscopy.

The samples of nanoparticles have predicted average sizes in the region of 20÷120 nm with log-normal size particle distribution. XRD diffraction pattern show the presence of anatase (JCPDS 73-1764) and rutile (JCPDS 72-1148) in the synthesized particles, the phase content of rutile was from 1 to 20 at. %. According to the diffuse reflectance spectra in the UV and visible regions was estimated indirect bandgap value at the level of 3.0-3.1 eV. In the Raman spectrum of nanoparticles were found all the main lines belonging to the active optical modes of anatase and rutile, broadened due to the particle-size effect.



Microphoto and Raman spectra of nanoparticles with different phase composition.

1. M.Ya. Gen, A.V. Miller, *Poverkhnost* **2**(150), (1983).

SIMULATION OF GaAs NANOSTRUCTURE GROWTH BY DROPLET EPITAXY

M.A. Vasilenko¹, N.L. Shwartz^{1,2}

¹*Novosibirsk State Technical University, 630073, Novosibirsk, Russia*

²*A.V. Rzhanov Institute of Semiconductor Physics SB RAS, Novosibirsk, Russia*
E-mail: vasilenkonsk1992@gmail.com

A Monte Carlo (MC) model of GaAs nanostructure formation by droplet epitaxy (DE) is suggested and realized [1]. A basis for the Monte Carlo model is the vapor-liquid-solid mechanism. DE growth of GaAs nanostructures is based on the successive supply of elements of third and fifth groups on the surface: firstly gallium and then molecular arsenic. As temperature and arsenic flux intensity changing in the range of 470 – 670 K and 0.01 – 10 ML/s, respectively, series of nanostructures was obtained: compact three-dimensional crystals, core-shell nanoclusters with liquid gallium core, nanorings, and nanoholes. The dependence of GaAs nanostructure morphology on surface orientation was analyzed. It was demonstrated that the formation of nanoholes and nanorings was possible only on the substrates with (001) surface orientation. The kinetics of nanoring formation was examined. Surface morphology in the DE process can be controlled both by temperature and by arsenic flux intensity (Fig. 1).

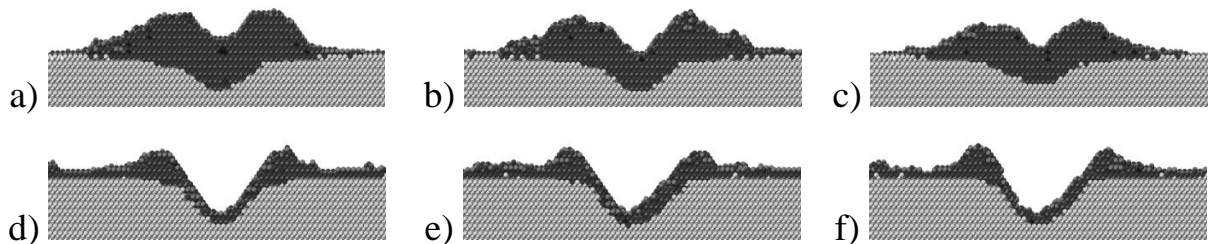


Fig. 1. Cross-sections of GaAs nanostructures after Ga drop crystallization on GaAs(001) surface at different temperatures and arsenic fluxes: a) $T = 570$ K, $F_{As_2} = 0.1$ ML/s; b) $T = 620$ K, $F_{As_2} = 0.5$ ML/s; c) $T = 670$ K, $F_{As_2} = 3$ ML/s; d) $T = 570$ K, $F_{As_2} = 0.01$ ML/s; e) $T = 620$ K, $F_{As_2} = 0.05$ ML/s, f) $T = 670$ K, $F_{As_2} = 0.5$ ML/s. Ga atoms are marked in dark-gray and As atoms in gray colors. Ga and As of initial substrate are marked in lighter colors, than those created during crystallization process.

The effects and dependences observed in the model system qualitatively correspond to the experimental data of GaAs nanostructure DE growth.

This work was supported by RFBR (project № 14-02-00776-a) and by the Russian Academy of Sciences Programs.

1. M.A. Vasilenko, I.G. Neizvestny, N. L. Shwartz, *Comput. Mater. Sci.* **102**, 286-292 (2015).
2. K. Reyes, P. Smereka, D. Nothorn, et al., *Phys. Rev.* **87**, 165406 (2013).

INTERFERENCE ABSORPTION CONTROL IN METAL NANOLAYERS

A.S. Abramov, S.A. Afanas'ev, D.I. Sementsov
 Ulyanovsk state university, Ulyanovsk, Russia
 E-mail: aleksei_abramov@mail.ru

In this work, we study the specific features of absorption of ultrathin metal films under the oblique incidence of two counter-propagating coherent waves of the microwave frequency range. We use the examples of two metals: copper and chromium. The presence of a counter-propagating wave (CPW) makes it possible to realize significant interference effects – almost complete absorption of the incident power. Similar effects are significantly dependent on the phase difference of the incident waves. We determine the angles of incidence and the film thickness at which these effects can be observed.

Fig. 1 shows the thickness dependencies $D(d)$ in the presence of “illuminating” wave of amplitude $B = A$. The analysis shows that under the incidence of a single wave and two CPW of fixed frequency the maxima of the absorption coefficient in films with higher conductivity are shifted to smaller thicknesses. So, at oblique incidence for copper film the maximum absorbance corresponds to films of thickness $d = 2$ nm (Fig. 1a, solid curve 2), while for chromium the maximum is in the range of $d = (10 - 12)$ nm (Fig 1b, solid curve 2). Absorption coefficient in the case of a single wave (which corresponds to the phase difference $\delta = \pi/2$) does not exceed $D = 0.5$ (dashed curves). In the case of CPW, upon meeting the condition of $\delta = 0$, the absorbance can reach a value almost equal to unity (solid curves). Thus, for a film of definite thickness almost complete absorption of the incident radiation power can be achieved.

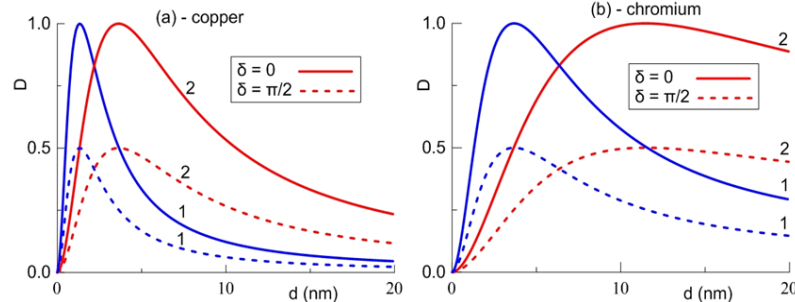


Fig. 1. Thickness dependencies $D(d)$ at the angle of incidence $\theta_0 = 0, 80^\circ$ (curves 1, 2).

Our analysis also showed that the interference effects in the presence of CPW can both increase and decrease the absorption, i.e. the heat emission in the metal film. The integral heat emission may be effectively controlled by varying the phase difference of the incident waves and the angle of incidence. Thus, the metal films of nanometer thickness can be used as absorbers of microwaves. The most effective energy absorption in the films is observed at equal amplitudes of the forward and backward waves. We established that the films of lesser thickness are the best absorbers.

This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (assignment #3.175.2014K from July 18, 2014) and project #14.Z50.31.0015.

LUMINESCENT PROPERTIES OF «NANOCRYSTALLINE
SILICON/ALUMINIA» MULTILAYERED NANOSTRUCTURES
ANNEALED IN AMBIENT HYDROGEN

A.M. Legkov, M.A. Kudryashov, D.A. Grachev, A.V. Ershov
Lobachevsky State University of Nizhniy Novgorod, Nizhniy Novgorod, Russia
E-mail: legkov_a_m@mail.ru

We have studied photoluminescence (PL) and surface microtopography of annealed and post-hydrogenized nanoperiodic multilayer structures (MNS) *a*-Si/Al₂O₃ and *a*-SiO/Al₂O₃.

MNS *a*-Si/ Al₂O₃ and *a*-SiO/Al₂O₃ consists of 8 – 20 nm, count of layers is 18. MNS were obtained by electron beam evaporation. To post-hydrogenize MNS were annealed in hydrogen (1 atm.) at 350 – 550 °C. Following annealing of the samples was carried out in nonhydrogen environment in nitrogen at 1100 °C. PL spectra were measured with monochromator SP-150 (350 – 900 nm), the samples were pumped by N₂-laser (337 nm), Ar₂-laser (488 nm) and blue light-emitting diode (378 nm). The surface morphology was examined with scanning probe atomic force microscope (AFM) «SolverPro» (NTM-MDT) in non-contact mode.

According to PL data MNS *a*-Si/Al₂O₃ and *a*-SiO/Al₂O₃, annealed at 1100 °C have bands. The one is at 550 - 600 nm bind to *F*-radiative centers in Al₂O₃, and vacancy defects SiO_x (x < 2) formed in the annealing process on the borders «nanoinclusions/matrix». The other is at 850 – 900 nm which explained with the formation of Si nanocrystals (NC) in Al₂O₃ at high temperature annealing.

NC PL of annealed 1100 °C MNS increases after heat treatment in hydrogen at 350 – 500 °C and reduces the intensity of defect bands associated with the saturation of defects such as dangling bond as a result of hydrogen passivation MNS.

Maximum increase of PL intensity is reached which after hydrogenation at 400 °C. For higher temperatures the passivation is less effective causes by hydrogen effusion rising. Annealing in nonhydrogen environment in a range of 600–900 °C leads to a significant decrease intensity of luminescence of silicon nanocrystals due to hydrogen effusion.

AFM data shows annealing at 1100 °C MNS *a*-Si/Al₂O₃ leads to increasing the mounds height irregularities increases (40 – 80 nm). It was associated with the NC formation in the process high-temperature annealing.

Ge NANOCRYSTALS OBTAINING by CONTROLLED ANNEALING OF THIN GeO_x FILMS

S.A. Garahin, D.A. Grachev, A.V. Nezhdanov, A.V. Ershov
Lobachevsky State University of Nizhniy Novgorod, Nizhniy Novgorod

E-mail: GarakhinS@yandex.ru

Process materials such as Si and Ge, in a bulk state is not possible to form an effective emitter. However, in the nanocrystalline state group IV semiconductor materials exhibit intense luminescence. According to the comparison with silicon nanocrystals (NCs) Ge [1] have been studying due to the low thermal conductivity and higher electrical conductivity, as well as the thermoelectric properties. Thin films with the NC Ge usage allows reducing manufacturing devices and to make them flexible substrates. In this paper we attempt to obtain and analysis of the properties of systems with arrays NC Ge, formed by high-temperature anneal of thin films.

The structures are 40-350nm GeO_x films, prepared by electron-beam evaporation in vacuum. A series of samples was made with different substrate temperature 35 – 510 °C during the deposition process. Subsequent anneal was carried out in a temperature range of 400 – 600 °C 30 min under nitrogen. Structural studies have done with Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and Raman spectroscopy. The photoluminescence (PL) spectra were measured at room temperature in the range 550 – 1000 nm pumped Nd: YAG laser.

According to the FTIR effect of annealing leads to the disintegration [2] non-stoichiometric suboxide germanium to GeO_2 and Ge, where according to Raman latter Ge crystallizes at temperatures above 500 °C [3]. On the PL spectra are observed few emission bands, 1.8 and 1.4 eV, depending on the anneal temperature in a complex manner.

1. S. Agan et al., J. Phys. **18**, 5037 (2006).
2. Е.Б. Горохов и др., Поверхность, **10**, 82 (1990)
3. P.K. Giri et al., J. of Nanomaterials, **2012**, 905178 (2002).

SYNTHESIS OF THE POWDERS $\text{Sr}_{1-x}\text{R}_x\text{F}_{2+x}$ (R = Nd, Yb) FOR PHOTONICS

Yu.A. Rozhnova¹, S.V. Kuznetsov¹, A.A. Luginina², V.V. Voronov¹,
P.P. Fedorov¹

¹*Prokhorov General Physics Institute, RAS, Moscow, Russia*

²*All-Russian Institute for Scientific and Technical Information (VINITI),
Moscow, Russia*

E-mail: julia.r89@mail.ru

In recent years, interest in the synthesis and study of inorganic fluorides has increased significantly due to their unique set of physical and chemical properties and a variety of applications in science and engineering. Powders fluorides are promising for use as furnace charge for production of laser ceramics, white light sources, when designing a new generation of solar cells, in biomedical research for the photodynamic diagnosis and therapy of cancer.

The purpose of this work is research the process of obtaining single-phase powders $\text{Sr}_{1-x}\text{Nd}_x\text{F}_{2+x}$ and $\text{Sr}_{1-x}\text{Yb}_x\text{F}_{2+x}$ including synthesis of furnace charge of a given composition from aqueous nitrate solution using as a fluorinating agent ammonium fluoride, taken with an excess of the stoichiometry and heat treatment step.

Co-precipitation method from aqueous solutions using strontium nitrate, nitrates of rare-earth elements and ammonium fluoride, taken in an excess of 7 – 120% of the stoichiometric amount of synthesized single-phase powder $\text{Sr}_{1-x}\text{Nd}_x\text{F}_{2+x}$ and $\text{Sr}_{1-x}\text{Yb}_x\text{F}_{2+x}$ with the fluorite structure. The content of the rare earth element was varied within a wide concentration range (0.3 – 20 mol.%).

As a result of work it was revealed that depending on the deposition conditions, and an excess of ammonium fluoride, the size and a form of particles change from nano- and microcubes size 50÷350 nm to particles of a lamellar form length of 50÷200 nm.

The method of spark plasma sintering from the synthesized furnace charge of ceramic samples were obtained $\text{Sr}_{1-x}\text{Nd}_x\text{F}_{2+x}$ with a density of 97% in comparison with theoretical value.

ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА

АКТИВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ НА ОСНОВЕ ВЕРТИКАЛЬНО ИЗЛУЧАЮЩИХ ЛАЗЕРОВ ДЛЯ СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ И ЦЕНТРОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Л.Я. Карачинский

ООО «Коннектор Оптикс», Санкт-Петербург

E-mail: leonid.karachinsky@connector-optics.com

В настоящее время вопрос увеличения быстродействия оптических межсоединений, используемых при создании суперкомпьютеров и центров обработки данных (ЦОД), является крайне актуальным. Одной из ключевых проблем медных кабелей, традиционно используемых при передаче информации, является относительно быстрое затухание электромагнитной волны с расстоянием при повышении скорости передачи данных. Активный оптический кабель (АОК) позволяет при сохранении электрических интерфейсов увеличить дальность и скорость передачи данных.

В качестве оптических межсоединений на короткие дистанции (до 100 м) в основном используются АОК на основе вертикально излучающих лазеров (ВИЛ) спектрального диапазона 850 нм и соответствующих p-i-n фотодиодов (ФД) на основе GaAs, способных передавать данные со скоростью до 25 Гбит/с на канал [1]. В рамках этого подхода увеличение скорости передачи информации на канал достигается за счет повышения полосы модуляции ВИЛ и ФД за счет применения специальных конструкций лазеров/фотодиодов, уменьшения размеров приборов и оптимизации схемы процессирования оптических компонент, создания соответствующих высокочастотных управляющих интегральных микросхем. Данного подхода придерживаются крупные производители АОК, такие как Finisar Corporation, Sumitomo, Avago Technologies. Альтернативный подход – это гибридная интеграция лазера с распределенной обратной связью (РОС-лазер) и монолитного многоканального оптоэлектронного чипа, сформированного в рамках кремний-германиевой технологии (SOI, CMOS). В таком чипе планарные волноводы и делители, фазовые модуляторы и фотодетекторы, а также управляющие микросхемы интегрированы в единую систему. Данный подход был разработан и реализован компанией Luxtera, которая впоследствии была приобретена компанией Molex.

В докладе будет представлен обзор современного состояния технологий высокоскоростной передачи данных в суперкомпьютерах и ЦОД, представлены результаты наших исследований, демонстрирующие возможность создания надежных вертикально излучающих лазеров со скоростью передачи данных до 25 Гбит/с [2] и АОК на их основе.

1. R. King, S. Intemann, S. Wabra, Proc. SPIE **8276**, 82760G (2012).
2. L.Ya.Karachinsky et al., Semicond. Sci. Technol., **28** (2013).

ВОЛОКОННЫЕ СВЕТОВОДЫ С ПОЛОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ: ОТ ПРОСТЫХ КАПИЛЛЯРОВ К СВЕТОВОДАМ СО СТРУКТУРИРОВАННОЙ ОБОЛОЧКОЙ

И.А. Буфетов, А.С. Бирюков

Научный центр волоконной оптики РАН, Москва

E-mail: iabuf@fo.gpi.ru

В настоящее время хорошо развиты технологии изготовления волоконных световодов на основе кварцевого стекла, по которым можно передавать излучение от видимого диапазона до ~ 2 мкм. Такие волоконные световоды создавались в первую очередь для передачи видимого и ИК излучения. Спектральные зависимости оптических потерь световодов ограничивают рабочий диапазон длин волн. Для передачи излучения на длинах волн более 2 мкм созданы волоконные световоды на основе других материалов: флюоридные и халькогенидные волоконные, а также поли- (например, из AgBrCl) и монокристаллические (из сапфира).

Другим подходом к расширению возможностей волоконных световодов явилась разработка волоконных световодов с поллой газонаполненной (например, воздухом) сердцевинной [1, 2]. В таких световодах большая часть мощности излучения распространяется по поллой сердцевине, и меньшая – по материалу, из которого изготовлен световод. Это существенно снижает влияние спектральных характеристик материала на свойства световода. Переход к поллой сердцевине ведет к снижению оптических потерь (они в газе ниже по сравнению с твердым телом) и к снижению нелинейности примерно на 3 порядка (т.к. плотность газа при атмосферном давлении примерно на 3 порядка ниже плотности твердого тела). Но поллые световоды не имеют нормальных мод из-за того, что в них показатель преломления сердцевинной ниже, чем показатель преломления оболочки. Все интересующие нас моды в таких световодах - вытекающие. В последние полтора десятилетия получили развитие микроструктурированные волоконные световоды с поллой сердцевинной (МВСПС), в которых световедущие свойства обеспечиваются наличием большого количества границ воздух-стекло в оболочке световода.

Механизмы локализации излучения в поллой сердцевинной в МВСПС различны для различных типов микроструктурированной оболочки световода. Удержание излучения в сердцевинной световода со сложной структурой отражающей оболочки достигается за счет конструктивной интерференции, возникающей при рассеянии света на одно- и двумерных фотонно-кристаллических структурах оболочки. Диапазоны длин волн, в которых излучение не может распространяться в радиальном направлении по оболочке, по аналогии с кристаллами называются фотонными запрещенными зонами. Области пропускания и высоких потерь излучения определяются условиями резонанса или антирезонанса отдельных элементов отражающей оболочки световода. Соответствующая модель, получившая название ARROW (AntiResonant Reflecting Optical Waveguide),

рассмотрена в [3, 4]. Поперечные сечения реализованных к настоящему времени МВСПС достаточно разнообразны (см. рис.1).

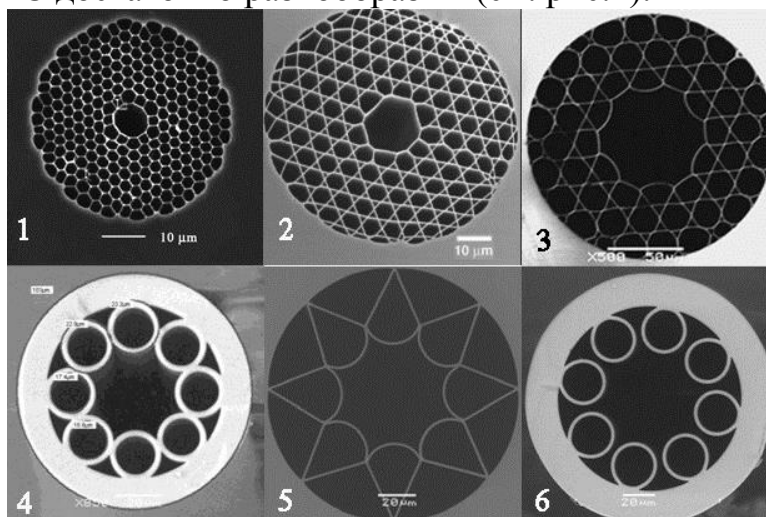


Рис.1. Изображения поперечных сечений различных типов волоконных световодов с полой сердцевинной. 1 – фотонно-кристаллический световод [5]; 2 – фотонно-кристаллический световод типа Kagome [6]; 3 – фотонно-кристаллический световод типа Kagome с границей полый сердцевинной в форме гипоциклоиды [7]; 4 – револьверный волоконный световод с полый сердцевинной и с соединенными капиллярами [8]; 5 – волоконный световод с полый сердцевинной и с элементами оболочки в форме «парашютиков» [9]; 6 – револьверный волоконный световод с полый сердцевинной с отдельными капиллярами в оболочке [10]

Известно, что большинство СВЧ-световодов изготавливались в виде полых трубок различного сечения с хорошо проводящими (отражающими) стенками. Поэтому неудивительно, что еще до решения вопроса о снижении оптических потерь в кварцевом стекле до уровня ~ 10 дБ/км была рассмотрена возможность создания полых волоконных световодов в виде полых пустых цилиндров в объемном материале (рис.2) – диэлектрике или металле.

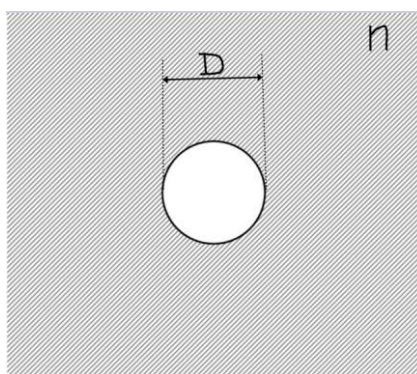


Рис.2. Схема поперечного сечения полого световода в виде полого цилиндра диаметром D в объеме стекла с показателем преломления n

Такая задача была в достаточно полном виде решена в [11], где было показано, что выражение для оптических потерь основной моды в таких световодах может быть представлено в виде

$$\alpha \left[\frac{dB}{km} \right] = 14.8 \cdot \frac{(\lambda[\mu m])^2}{(D[mm])^3}, \quad (1)$$

то есть потери в таком световоде пропорциональны второй степени длины волны и обратно пропорциональны третьей степени диаметра полой сердцевины. Здесь используется высокий коэффициент отражения света при скользющем падении на границу раздела двух сред с различными показателями преломления, например, воздуха и стекла, что описывается формулами Френеля [12](см. рис. 3):

$$R_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_0 - \theta_2)}{\sin^2(\theta_0 + \theta_2)}; R_{\parallel} = \frac{\tan^2(\theta_0 - \theta_2)}{\tan^2(\theta_0 + \theta_2)}. \quad (2)$$

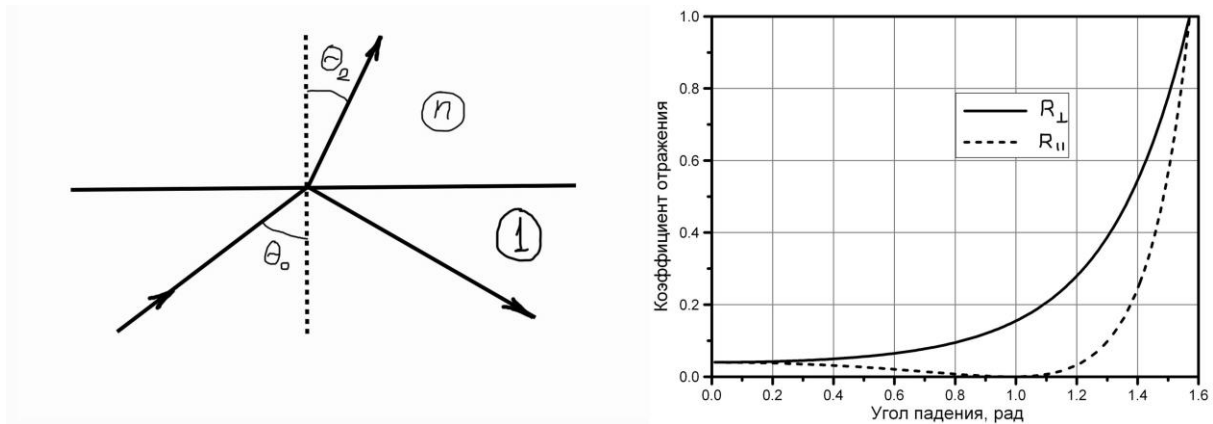


Рис.3. Схема отражения и преломления светового луча на границе двух прозрачных сред с различными показателями преломления (слева). Зависимость коэффициента отражения излучения различной поляризации от угла падения луча на границу раздела (справа)

В (2) первое выражение соответствует отражению излучения, электрический вектор которого лежит в плоскости падения, а второе – излучению с электрическим вектором, параллельным плоскости падения.

Оптические потери в таких световодах (рис.2) можно оценить, используя очень простую плоскую модель световода (рис.4): будем считать, что цилиндрический световод на рис.2 имеет примерно такие же потери, как и плоский световод на рис.4. Если предположить, что угол падения луча на плоскую границу воздух–стекло близок к скользющему, то есть (см. рис.3)

$$\theta_0 = \pi/2 - \delta, \delta \rightarrow 0 \quad (3)$$

то раскладывая формулы Френеля в ряд по степеням δ , получим:

$$R_{\perp} = R_{\perp}(\delta) = 1 - \frac{4}{\sqrt{n^2 - 1}} \cdot \delta \approx 1 - 3.86 \cdot \delta; \quad (4)$$

$$R_{\parallel} = R_{\parallel}(\delta) = 1 - \frac{4 \cdot n^2}{\sqrt{n^2 - 1}} \cdot \delta \approx 1 - 8.05 \cdot \delta. \quad (5)$$

Таким образом, мы видим, что отличие коэффициента отражения от единицы (т.е. коэффициент пропускания) изменяется линейно с углом скольжения при малой величине последнего. Численные выражения здесь указаны для $n=1.44$ (как у кварцевого стекла в ближнем ИК). Если же мы знаем коэффициент отражения от поверхности, то в лучевом приближении можно оценить коэффициент оптических потерь (см. рис. 4).

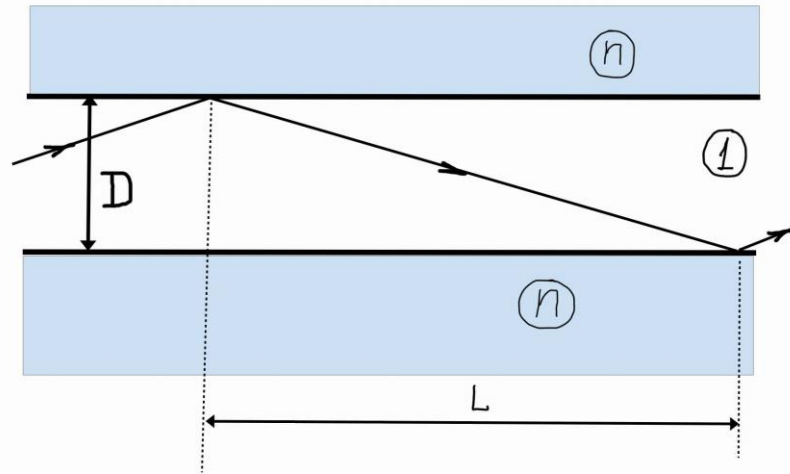


Рис.4. К расчету коэффициента оптических потерь в лучевом приближении

Если предположить, что интенсивность излучения в световоде изменяется по закону $I = I_0 \cdot \exp(-\alpha l)$, то, считая, что изменение интенсивности за одно отражение можно отнести к изменению на расстоянии между двумя отражениями, получим:

$$dI = I \cdot \alpha \cdot dl; \frac{dI}{I} = (1 - R) = \alpha \cdot dl; dl = L = \frac{D}{\delta} \quad (6)$$

$$\alpha = (1 - R) \cdot \frac{\delta}{D}$$

В качестве оценки разумно, по-видимому, принять, что излучение основной моды в таком световоде (и в цилиндрическом световоде тоже) под углом к оси световода, соответствующем углу дифракции на диафрагме, размер которой совпадает с поперечным размером световода:

$\delta \approx \lambda/D$. В результате получим следующие выражения для потерь в плоском световоде для двух взаимно перпендикулярных поляризаций:

$$\alpha_{\perp} = \frac{4}{\sqrt{n^2 - 1}} \cdot \frac{\lambda^2}{D^3}; \quad \alpha \left[\frac{dB}{km} \right] = 16.8 \cdot \frac{(\lambda[\mu m])^2}{(D[mm])^3} \quad (7)$$

$$\alpha_{\parallel} = \frac{4 \cdot n^2}{\sqrt{n^2 - 1}} \cdot \frac{\lambda^2}{D^3}; \quad \alpha \left[\frac{dB}{km} \right] = 34.9 \cdot \frac{(\lambda[\mu m])^2}{(D[mm])^3} \quad (8)$$

Сравнение с работой [11] (выражения (7) и (8) с выражением (1)) показывает, что такая сравнительно грубая аппроксимация дает вполне удовлетворительное согласие с точным решением задачи. Если не принимать во внимание возрастание оптических потерь при изгибе световодов, то их уровень вполне удовлетворительный при диаметре световода около 1 мм. Но если уменьшить диаметр полой сердцевины до обычного значения порядка 100 мкм, то потери возрастают на 3 порядка и составляют неприемлемые в большинстве случаев ~15 дБ/м.

В световоде, схема которого показана на рис.3, коэффициент отражения на границе полой сердцевины стремится к единице с уменьшением δ линейно (см. формулы (4), (5) и рис.7). Увеличить коэффициент отражения можно, использовав отражение от двух

поверхностей, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга, то есть сделав световод из тонкой стеклянной трубки с толщиной стенки порядка длины волны (рис.5).

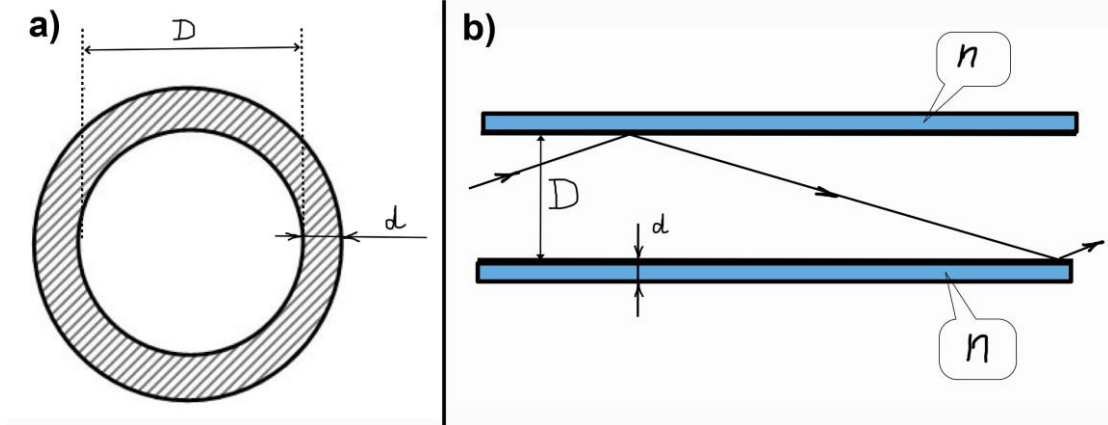


Рис. 5

Тогда мы имеем на границе сердцевины две поверхности с высоким коэффициентом отражения на каждой. В этом случае суммарный коэффициент отражения будет зависеть от отражения на первой поверхности, на второй поверхности и интерференции между отраженными пучками (подобные схемы рассматривались в [3, 4]). Если коэффициент отражения от одной поверхности трубки известен (см. формулы (4), (5)), то результат процесса многократного отражения и интерференции (см. рис. 6) может быть сравнительно просто вычислен в том же приближении малого δ с помощью алгоритма, использованного в [13]. Доля отраженного излучения в этом случае может быть записана, как:

$$I_r = \frac{4 \cdot R \cdot \sin^2(\Phi/2)}{(1 - R)^2 + 4 \cdot R \cdot \sin^2(\Phi/2)} I_0 \quad (9)$$

где R – коэффициент однократного отражения от поверхности, а

$$\Phi = \frac{4 \cdot \pi \cdot d \cdot n \cdot \cos \theta_2}{\lambda} + \pi \quad (10)$$

разность фаз между лучами, отраженными от первой и второй поверхностей. В случае конструктивной интерференции ($\Phi = (2m + 1)\pi$, где m -целое неотрицательное число) при отражении от пластинки соответствующей толщины, мы получим (см. также рис.7):

$$R_{\perp} = 1 - \frac{4}{n^2 - 1} \cdot \delta^2 \quad (11)$$

$$R_{\parallel} = \frac{4 \cdot n^4}{n^2 - 1} \cdot \delta^2 \quad (12)$$

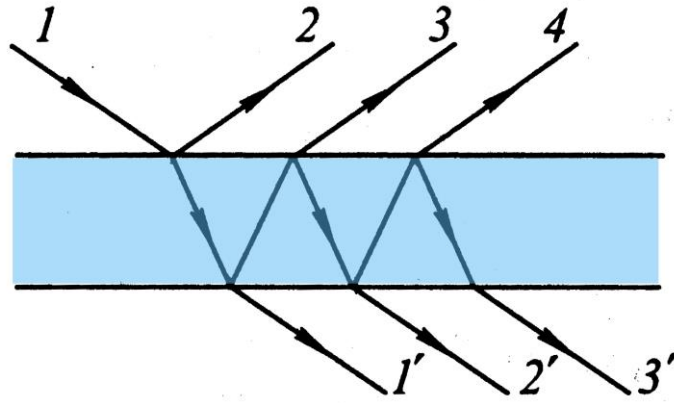


Рис.6.

Соответствующие выражения для оптических потерь в таком световоде будут:

$$\alpha_{\perp} = \frac{4}{n^2 - 1} \cdot \frac{\lambda^3}{D^4} \quad (13)$$

$$\alpha_{\parallel} = \frac{4 \cdot n^4}{n^2 - 1} \cdot \frac{\lambda^3}{D^4} \quad (14)$$

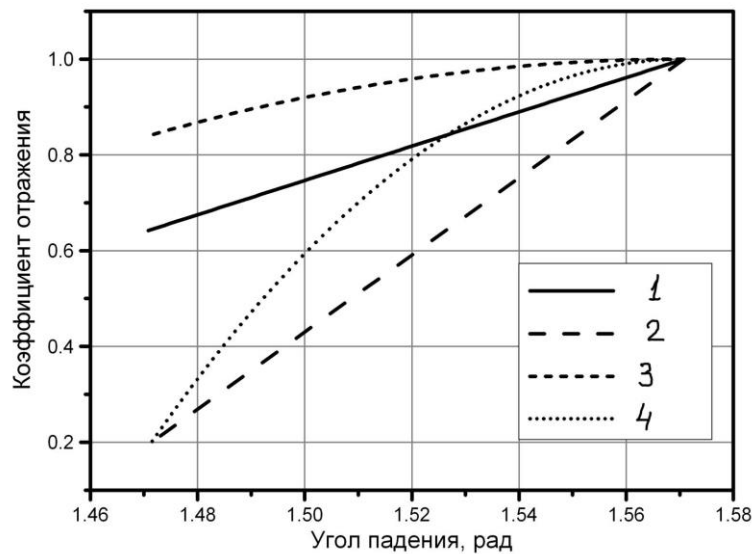


Рис. 7. Зависимость коэффициентов отражения от угла падения $\theta_0 = \pi/2 - \delta$: 1- R_{\perp} для одной поверхности воздух-стекло; 2- R_{\parallel} для одной поверхности; 3- R_{\perp} для стеклянной пластинки при условии резонанса; 4- R_{\parallel} для стеклянной пластинки при условии резонанса. $n=1.44$

Соответствующие численные оценки (см. (15) и (16)) показывают, что оптические потери в таких тонкостенных стеклянных световодах (пока не будем обсуждать возможности практической реализации такой конструкции. Здесь есть проблема: любое прикосновение к поверхности

трубки нарушает ее отражающие свойства) пропорциональны не λ^2/D^3 , а λ^3/D^4 , что позволяет существенно снизить потери:

$$\alpha_{\perp} \left[\frac{dB}{km} \right] = 0.016 \cdot (\lambda[\mu m])^3 / (D[mm])^4 \quad (15)$$

$$\alpha_{\parallel} \left[\frac{dB}{km} \right] = 0.07 \cdot (\lambda[\mu m])^3 / (D[mm])^4 \quad (16)$$

Но при диаметрах световода около 100 мкм потери приближаются к единице дБ/м.

Если обратить внимание на границу полой сердцевины в различных типах волоконных световодов, представленных на рис.1, то мы увидим, что во всех типах световодов присутствует стеклянный капилляр той или иной формы, ограничивающий пустую область сердцевины. Но для его крепления и увеличения коэффициента отражения используются различные механизмы, и, разумеется, различные конструкции. В фотонно-кристаллических световодах (рис.1.1) капилляр окружен двумерной периодической структурой, которая имеет свои запрещенные зоны для распространения излучения в определенных диапазонах длин волн в направлении поперек световода. В результате взаимодействия излучения с такой структурой свет отражается обратно в сердцевину, и оптические потери его при распространении по полой сердцевине на длинах волн, соответствующих запрещенной зоне, существенно снижаются. Именно на таких структурах получены рекордные на сегодняшний день малые потери в световоде с полой сердцевиной на уровне 1.2 дБ/км [14].

Исследования световодов со структурой, представленной на рис. 1.3 показали, что изменение кривизны границы полой сердцевины ведет к снижению оптических потерь. Считая кривизну цилиндрического капилляра положительной, кривизна границы сердцевины световодов рис.1.3-б отрицательна, поэтому их часто называют световодами с отрицательной кривизной границы сердцевина-оболочка. Разумеется, кривизна не может быть отрицательной на всем протяжении границы и имеет разрывы в углах–точках соединения различных элементов.

Как известно из электродинамики [12] величина поля излучения в сердцевине при приближении к этим углам снижается, тем самым уменьшая оптические потери и снижая долю излучения, распространяющегося по материалу сердцевины. Более того, разделение капилляров, образующих отражающую оболочку световода (см. рис. 1.6) приводит еще большему снижению оптических потерь в световоде, поскольку из оболочки убираются элементы, способные поддерживать моды оболочки, излучение которых быстро затухает.

В настоящее время уже экспериментально продемонстрировано, что световоды с полой сердцевиной достигли того уровня развития, когда они уже могут применяться в различных областях науки и техники. Такие

световоды, обеспечивая большие длины взаимодействия излучения с газами, открывают новую область нелинейной оптики газов. Уже созданы рамановские лазеры на водороде, позволяющие с высоким КПД осуществлять сдвиг частоты лазерного излучения на очень большую величину, недоступную для твердого тела: 4155 см^{-1} (рис. 8).

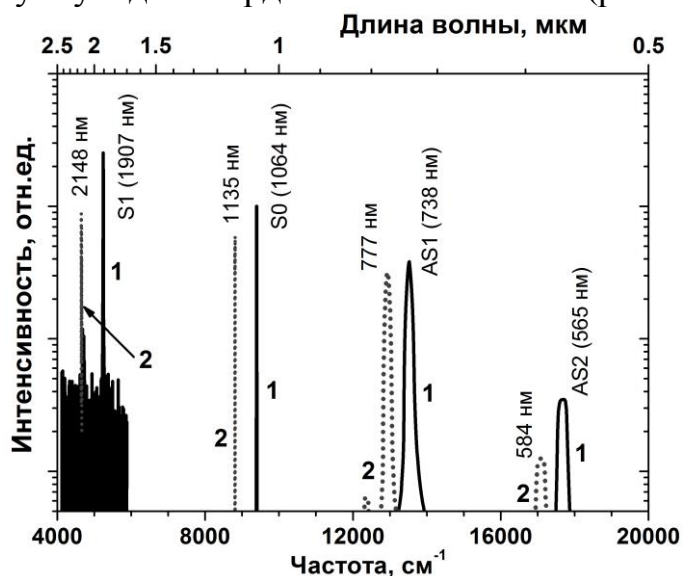


Рис.8. Спектры излучения на выходе револьверного световода с полый сердцевиной, заполненного молекулярным водородом, при двукратном превышении порога ВКР.

Давление водорода в сердцевине $p=31$ атм. Спектры регистрировались как при линейной (линия 1) так и круговой (линии 1 и 2) поляризации накачки [15]. S0 – линия накачки, S1 – первый колебательный стокс, AS1 и 2 – первый и второй колебательные антистоксы. При круговой поляризации накачки наблюдаются стоксовы компоненты, связанные с вращательными переходами в молекуле водорода

Созданы газовые лазеры на инверсии населенностей на световодах с полый сердцевиной (мы привыкли уже, что газовые лазеры содержат длинный жесткий капилляр с рабочим газом, а теперь в ряде случаев его можно заменить волоконным световодом). В таких световодах можно генерировать широкополосное излучение опять же за счет нелинейных взаимодействий. Следует особо отметить, что потенциально световоды с полый сердцевиной могут иметь оптические потери существенно более низкие, чем существующие кварцевые коммуникационные световоды. Что может еще больше расширить области их применения.

1. R.F. Cregan, B.J. Mangan, J.C. Knight et al., *Science* **285**, 1537-1539 (1999).
2. Russell, *Science* **299**, 358-362 (2003).
3. T.P. White, R.C. McPhedran, C. Martijn de Sterke et al., *Opt. Lett.* **27**, 1977 (2002).
4. N. M. Litchinitser, A. K. Abeeluck, C. Headley et al., *Opt.Lett.* **27**, 1592 (2002).
5. F. Benabid, et al., *Phys. Rev. Lett.* **93**, 123903 (2004).
6. F. Benabid, et al., *Science* **298**(5592), 399–402 (2002).

7. Y. Y. Wang, N. V. Wheeler, F. Couny, et al., *Opt. Lett.* **36**, 669 (2011).
8. A.D. Pryamikov, A. S. Biriukov, A. F. Kosolapov et al., *Optics Express* **19**, 1441 (2011)
9. F. Yu, W. J. Wadsworth, J. C. Knight, *Optics Express* **20**, 11153 (2012).
10. A. N. Kolyadin, A. F. Kosolapov, A. D. Pryamikov et al., *Opt. Express* **21**, 9514 (2013).
11. E.A.J. Marcatili, R.A. Schmelzter, *Bell Syst. Tech. J.*, **43**, 1783 (1964).
12. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, *Электродинамика сплошных сред*, М.: Наука, 1982.
13. Д.В. Сивухин. *Общий курс физики, том IV, Оптика*, М.:Физматлит, 2006.
14. P. J. Roberts, F. Couny, H. Sabert et al., *Optics Express*, **13**, 236 (2005).
15. А.В. Гладышев, А.Н. Колядин, А.Ф. Косолапов и др. *Квантовая электроника* **45**, (2015) (в печати).

СИНТЕЗ ВЫСОКОЧИСТЫХ СТЕКОЛ СИСТЕМЫ $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$,
ЛЕГИРОВАННЫХ ВИСМУТОМ, И СВЕТОВОДОВ НА ИХ ОСНОВЕ
МЕТОДОМ MCVD

В.Ф. Хопин, Ф.В. Афанасьев

*Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН,
Нижний Новгород*

E-mail: khopin@ihps.nnov.ru

Среди большого разнообразия составов кислородных стёкол, легированных висмутом, стёкла состава $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2\text{-P}_2\text{O}_5$ обладают рядом преимуществ, а именно: более низкими оптическими потерями в диапазоне 1–1.3 мкм, наличием более широкополосной люминесценции с центром на 1.3 мкм [1], по сравнению с другими стёклами.

Цель данной работы заключается в получении фосфорогерманосиликатных (ФГС) стёкол, легированных висмутом методом MCVD, используя в качестве исходного соединения ViBr_3 , и определении оптимальной концентрации оксида висмута в сердцевине материала, обладающего высокой интенсивностью люминесценции и низкими оптическими 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 трибромид висмута (ОСЧ) в исходной парогазовой смеси. Подача висмута в сердцевину контролировалась потоком инертного газа (аргона, СВЧ) через термостатируемую ампулу, содержащую трибромид висмута. Из полученных заготовок были вытянуты световоды.

Состав полученных стёкол определялся методом масс спектроскопии. Измерение распределения легирующей добавки по длине заготовок осуществлялось на специальном приборе с накачкой от лазерного диода на 800 нм. Спектры поглощения и усиления световодов ($L \sim 150\text{--}200$ метров), вытянутых из заготовок, были измерены в диапазоне длин волн 800 – 1700 нм.

Разработана методика получения высокочистых ФГС стёкол и световодов на их основе, легированных висмутом, изготовленных по MCVD-технологии, с использованием в качестве прекурсора ViBr_3 .

Результаты указывают на то, что увеличение концентрации висмута в сердцевинах световодов приводит быстрому росту оптических потерь в диапазоне 400–1600 нм. Показано, что для получения стёкол системы $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2\text{-P}_2\text{O}_5\text{-Vi}$ с низкими оптическими потерями и активными ИК-центрами необходимо введение висмута порядка (0,1–0,2 масс.%).

1. В. Ф. Хопин, И. А. Буфетов и др., Квантовая электроника **38** (7), (2008).

ПОЛНОСТЬЮ ГАЗОФАЗНЫЙ MCVD-МЕТОД ИЗГОТОВЛЕНИЯ АКТИВНЫХ СВЕТОВОДОВ С МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ СИЛИКАТНОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ

А.Н. Гурьянов, Д.С. Липатов

*Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девятовых РАН,
Нижний Новгород*

E-mail: lidenis@yandex.ru

Для создания мощных одномодовых источников излучения требуются активные световоды с высоким порогом нелинейных эффектов, имеющих Δn 0.001 - 0.002 и высокую концентрацию оксидов редкоземельных элементов (1 -4 мас.%). В качестве материала сердцевины таких световодов выбрана алюмофосфоросиликатная матрица.

Заготовки световодов изготавливались MCVD-методом, легирование кварцевого стекла всеми добавками осуществлялось из газовой фазы. Стекло сердцевины осаждалось 2 методами: стандартной MCVD-методикой и осаждением пористого слоя стекла $Al_2O_3-P_2O_5-SiO_2$, с последующей его пропиткой оксидами РЗЭ и сплавлением в прозрачный слой стекла.

Исследован процесс газофазного легирования алюмофосфоросиликатного стекла оксидом эрбия с использованием трис(дипивалоилметаната) эрбия ($Er(thd)_3$). Установлено влияние состава алюмофосфоросиликатного стекла на степень вхождения Er_2O_3 . Проведены исследования по влиянию температуры и эффективности термофореза на состав и однородность стекла сердцевины.

Проведены сравнительные исследования показателя преломления, оптических потерь, спектров поглощения и люминесценции ионов Yb^{3+} , устойчивости к фотопотемнению высоколегированных Yb_2O_3 световодов на основе алюмофосфоросиликатной и бороалюмофосфоросиликатной матрицы. Обнаружено, усилительные свойства данных световодов определяются соотношением концентраций Yb_2O_3 , Al_2O_3 и P_2O_5 . Добавка B_2O_3 оказывает существенное влияние только на показатель преломления многокомпонентного стекла и не влияет на спектральный диапазон работы иттербиевых волоконных лазеров и усилителей (900–1100 нм).

Максимальная концентрация РЗЭ в алюмофосфоросиликатном стекле составляет 2 мас.% при Δn 0,002. Проведены исследования по введению в алюмофосфоросиликатную матрицу F и B_2O_3 с целью снижения показателя преломления стекла сердцевины и увеличения содержания активной добавки свыше 2 мас.% (при Δn не более 0,002).

На основе разработанных световодов были созданы эрбиевые волоконный лазер (7,5 Вт) и усилитель (7,2 Вт) с рекордной эффективностью 35% и 31% соответственно (относительно поглощенной мощности) с накачкой в оболочку, с использованием дешевых и доступных одномодовых диодов на 980 нм. Мощный импульсный иттербиевый конусный усилитель пикосекундной длительности с рекордной выходной мощностью 500 кВт без развития нелинейных эффектов.

ФОРМИРОВАНИЕ НАНОФАЗЫ β -Ga₂O₃ В СЕРДЦЕВИНЕ ГАЛЛИЙСИЛИКАТНЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ ХРОМОМ

А.Н. Абрамов¹, А.Н. Гурьянов¹, М.В. Яшков¹, Л.Д. Исхакова²,
В.В. Колташев²

¹*Институт химии высокочистых веществ им. Г.Г. Девярых РАН,
Нижний Новгород.*

²*Научный центр волоконной оптики РАН, Москва.
E-mail: abramovan84@mail.ru*

Проведено исследование оптических и структурных свойств волоконных световодов (ВС) с сердцевиной из галлийсиликатного стекла, легированного ионами хрома с перспективой создания на их основе перестраиваемых лазеров и широкополосных усилителей, работающих в диапазоне длин волн 600–900 нм. С учетом низкого квантового выхода люминесценции ионов переходных металлов в силикатных стеклах, представляет большой интерес получение Cr³⁺ в стеклообразной матрице в кристаллическом окружении. Один из возможных способов формирования кристаллической фазы в стекле – температурная обработка образцов при температуре выше температуры стеклования.

С целью поиска наиболее оптимального состава стекла сердцевины ВС для выделения кристаллической фазы исследовано несколько матриц:

- SiO₂-Ga₂O₃:Cr³⁺
- SiO₂-Ga₂O₃-TiO₂:Cr³⁺
- SiO₂-Ga₂O₃-Al₂O₃:Cr³⁺
- SiO₂-Ga₂O₃-Al₂O₃-TiO₂:Cr³⁺.

Дополнительное легирование оксидом алюминия не являлось обязательным и апробировалось для уменьшения оптических потерь волоконных световодов. Добавка TiO₂ использовалась как нуклеатор для более эффективного выделения кристаллической фазы.

Определение температур стеклования и кристаллизации стекол методом дифференциально-сканирующей калориметрии в силу малого теплового эффекта (объекта исследования – сердцевина заготовки волоконного световода) на термограммах имеет неявный вид. Поэтому подбор режимов температурного отжига образцов осуществлялся экспериментально и на основе литературных данных.

Показано, что тепловая обработка образцов ВС приводит к сильному увеличению интенсивности люминесценции (~2-3 порядка) по сравнению с исходными. Наибольшую интенсивность люминесценции показали ВС с добавкой нуклеатора (TiO₂).

Методом спектроскопии комбинационного рассеяния установлено, что высокотемпературная обработка приводит к образованию кристаллической фазы β -Ga₂O₃ в сердцевиной ВС, а методом рентгенофазового анализа подтверждено образование кристаллической фазы β -Ga₂O₃ в сердцевиной заготовки ВС.

ЭФФЕКТИВНАЯ РАМАНОВСКАЯ ГЕНЕРАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ НА 1,9 мкм В ПОЛОМ СВЕТОВОДЕ, ЗАПОЛНЕННОМ ВОДОРОДОМ

А.В. Гладышев, А.Н. Колядин, .Ф. Косолапов, Ю.П. Яценко,
А.Д. Прямиков, А.С. Бирюков, И.А. Буфетов
Научный центр волоконной оптики РАН, Москва
E-mail: alexglad@fo.gpi.ru

Волоконные световоды с полой сердцевиной, заполненной различными газами, открывают новые возможности для генерации ИК-излучения с помощью рамановского рассеяния. Использование световода позволяет значительно увеличить длину взаимодействия и существенно снизить пороговые мощности накачки. Особый интерес представляет рассеяние в молекулярном водороде, где сдвиг частоты на колебательном переходе очень велик (4155 см^{-1}), что позволяет существенно продвинуться в ИК-область спектра даже при однокаскадном преобразовании. Недавно [1] впервые было продемонстрировано эффективное рамановское преобразование $1,06 \text{ мкм} \rightarrow 1,9 \text{ мкм}$ в нестационарном режиме (длительность импульса накачки $\tau=0,7 \text{ нс}$) в световоде, заполненном водородом, с квантовым КПД 48% и средней выходной мощностью $\sim 7,5 \text{ мВт}$.

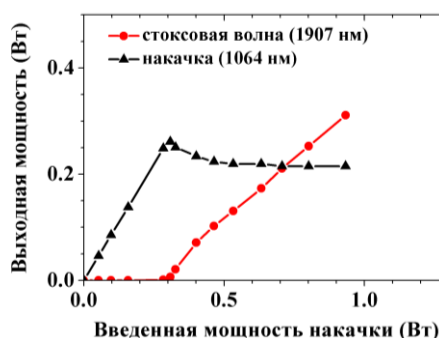
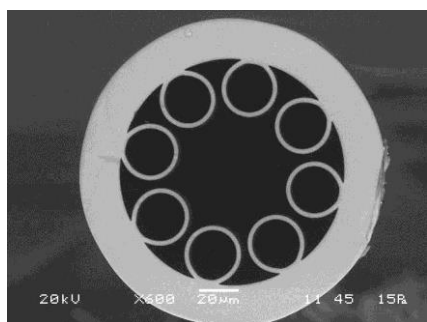


Рис. 1. (Слева) Фотография торца полого световода, использованного в данной работе. (Справа) Зависимость средней выходной мощности стоксовой волны и прошедшей мощности накачки от мощности накачки, введенной в световод

В данной работе исследован стационарный режим ($\tau=125 \text{ нс}$) рамановского преобразования в специальном световоде (рис. 1), заполненном водородом. Конструкция световода [2] отличается простотой и позволяет реализовать низкие оптические потери: $0,25 \text{ дБ/м}$ на длине волны накачки (1064 нм) и $0,1 \text{ дБ/м}$ на стоксовой длине волны (1907 нм). Квантовая эффективность преобразования составила 60% при средней выходной мощности 300 мВт . Исследованы спектральные и временные характеристики рамановского лазера. Измерена зависимость порога генерации от давления водорода.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 15-02-08840-А.

1. Z. Wang et al., *Laser Phys. Lett.* **11**, 105807 (2014).
2. A. Pryamikov et al., *Opt. Exp.* **19**, 1441 (2011).

ВОЗДЕЙСТВИЕ ГОЛЬМИЕВОГО ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ 2,1 мкм НА РАЗЛИЧНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТКАНИ

С.А. Филатова¹, В.А. Камынин^{1,2}, А.В. Рябова¹, В.Б. Лощенов¹,
П.В. Зеленков³, И.О. Золотовский⁴, В.Б. Цветков¹, А.С. Курков

¹*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

²*Лаборатория фотоники Пермского научного центра УрО РАН, Пермь*

³*НИИ нейрохирургии им. Н.Н.Бурденко РАМН, Москва*

⁴*Ульяновский государственный университет, Ульяновск*

E-mail: filsim2910@gmail.com

Растущий интерес к источникам излучения 2-микронного диапазона обусловлен широкой областью их применения, как в научных исследованиях, так и в прикладных сферах, а также для медицинских целей [1]. В настоящее время широко используются гольмиевые твердотельные лазеры [2]. Однако можно отметить ряд их недостатков. Они работают только в импульсном режиме с генерацией высокоэнергетичных длинных импульсов с частотой повторения до 20 Гц. Очевидно, что при существующем разнообразии патологий в ряде случаев требуются другие режимы работы, которые могут обеспечить волоконные гольмиевые лазеры. Кроме того, в этом случае следует ожидать снижения стоимости лазера и его обслуживания.

Мы представляем гольмиевый волоконный лазер с длиной волны излучения 2.1 мкм и результаты по воздействию лазерного излучения на жировые и мышечные ткани, а также твердую мозговую оболочку спинного мозга бесконтактным методом. Максимальная выходная мощность лазера составила 8.5 Вт в непрерывном режиме.

Оценка экспериментов осуществлялась по следующим параметрам: величина зон карбонизации и коагуляционного некроза. Расстояние от торца излучающего волокна до образца, мощность излучения и длительность облучения варьировались (3 – 5 мм, 3 – 8 Вт, 25 – 60 с). После 25 с воздействия на образцы твердой мозговой оболочки размер зоны коагуляционного некроза лежал в пределах 125 – 250 мкм, а зоны карбонизации в пределах 10 мкм. После 50 сек воздействия на жировую ткань, размер зоны коагуляционного некроза составил 800 – 1200 мкм, а зоны карбонизации 20 – 35 мкм. Полученные результаты весьма отличаются друг от друга. Это, прежде всего, обусловлено различными термическими и оптическими свойствами биологических тканей (коэффициентами поглощения, рассеяния и их плотностью) [3].

1. T. Bilici, S. Mutlu, H. Kalaycioglu, et al., *Lasers Med. Sci.* **26**(5), 699 (2011).
2. T.A.Wollin, and J.D. Denstedt, *Journal of clinical laser medicine & surgery* **16**(1), 13 (1998).
3. S.L. Jacques, *Phys. Med. Biol.* **58**(11), 37 (2013).

ДИСПЕРСИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА В ПОЛОМ СВЕТОВОДЕ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ КРИВИЗНОЙ ГРАНИЦЫ СЕРДЦЕВИНА–ОБОЛОЧКА

А.Н. Колядин¹, Л. Мурадян², А. Зейтунян², Г. Тоняян², А.Ф. Косолапов¹, А.Д. Пряников¹

¹Научный центр волоконной оптики Российской академии наук, Москва

²Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

E-mail: kolyadin@fo.gpi.ru

Впервые выполнены измерения дисперсии полого световода с отрицательной кривизной границы сердцевина-оболочка (рис.1). Исследован процесс передачи фемтосекундных лазерных импульсов по такому световоду.

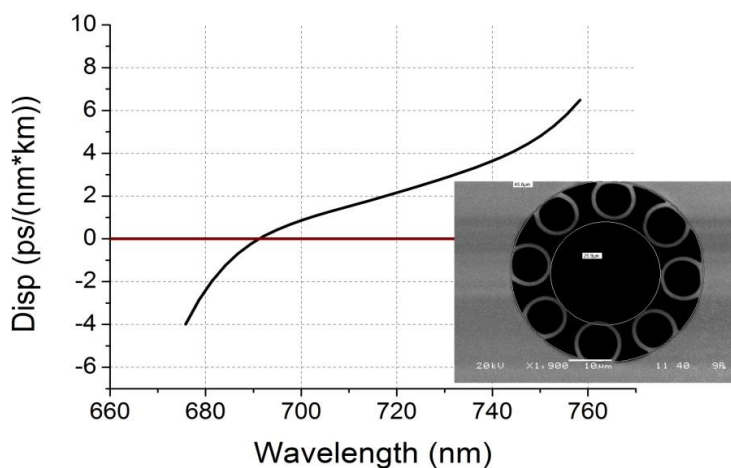


Рис.1 Зависимость дисперсии в пологом световоде от длины волны. Вставка – поперечный срез световода (фото со сканирующего электронного микроскопа)

Измерения дисперсии проводились интерференционным методом в световоде длиной 8,6 м с диаметром сердцевины 26 мкм. В качестве источника использовался источник суперконтинуума. Полученная зависимость аппроксимировалась полиномом шестой степени и дифференцировалась. Полученные результаты представлены на рис.1.

Были проведены автокорреляционные измерения длительности фемтосекундных импульсов излучения до и после прохождения такого световода. В качестве источника использовалась лазерная система Coherent Verdi V10 + Mira 900F со следующими параметрами излучения: > 1 Вт средней мощности при частоте повторения 76 МГц, центральная длина волны 748 нм, спектральная ширина импульса 4 нм. При прохождении импульсов через 10 м отрезка световода длительность импульсов существенно возросла с 255 до 514 фс, что соответствует значению дисперсии $\beta_2 = -2290 \text{ фс}^2/\text{м}$ или $D = 7,7 \text{ пс}/(\text{нм} \cdot \text{км})$, что хорошо согласуется со значением дисперсии, полученным интерференционным методом.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-29-07176 офи_м.

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ВОЛОКОННЫЙ ЭРБИЕВЫЙ ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ

А.А. Поносова^{1,2}, О.Л. Кель², А.И. Семерикова², А.С. Курков³

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь

²Пермская научно-производственная приборостроительная компания, Пермь

³Пермский научный центр УрО РАН, Пермь
E-mail: nastya-aleksi@mail.ru

Общепризнанна перспективность волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) для систем управления и навигации движущимися объектами различного рода. Одним из ключевых элементов ВОГ являются широкополосные источники излучения на основе эрбиевых оптических волокон (ОВ). В гироскопах, производимых в Пермской научно-производственной компании (ПНППК), в течение ряда лет используются эрбиевые волокна зарубежного производства.

Целью настоящей работы является реализация и оптимизация широкополосных источников на основе образцов промышленных оптических волокон производства ПНППК. Основные параметры разрабатываемого источника – ширина спектра излучения, выходная мощность и температурная стабильность данных параметров.

В качестве источника накачки был использован полупроводниковый лазер (980 нм). В качестве активной среды использовались ОВ с концентрациями Er^{3+} от $5 \cdot 10^{18}$ до 10^{19} см^{-3} . Было проведено измерение спектра излучения в зависимости от длины волокна. При сравнении источников на основе как импортного, так и отечественного волокна ширина спектра излучения составила около 7 нм; выходная мощность – 35 мВт. Было показано, что использование волокон с повышенной концентрацией позволяет снизить длину активного волокна.

Разработанные источники исследовались в температурной камере в диапазоне температур от -50 до 60 °С. Было показано, что выходная мощность и средневзвешенная длина волны изменяются не более чем на 5% и 0,1% соответственно. По данным параметрам разработанный источник практически не уступает аналогу на зарубежном волокне.

Таким образом, было установлено, что возможно использование волокна отечественного производства для эффективных широкополосных источников в волоконно-оптических гироскопах.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОСТОЙКОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН

К.Н. Нищев, А.А. Пыntenков, В.П. Мишкин

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

E-mail: alekspyn@yandex.ru

Ключевой характеристикой оптических волокон (ОВ), применяемых в нефтегазовой и химической промышленности, является их термическая стойкость. Термостойкость ОВ прежде всего зависит от свойств защитного покрытия, которое предназначено для предохранения поверхности волокна от механических повреждений и прямых контактов с окружающей средой. Стандартные ОВ с защитным акрилатным покрытием могут эксплуатироваться при температурах не выше 85°C. Наиболее термостойкими являются ОВ с полиимидной защитной оболочкой [1]. В докладе представлены результаты исследования термостойкости оптических волокон методами термического анализа (ТМА и ДСК). В исследованиях методом термомеханического анализа (ТМА) термостойкость ОВ нами определялась из температурных зависимостей значения деформации dL защитной оболочки ОВ, обусловленной действием локальной тестовой механической нагрузки, приложенной в направлении перпендикулярном оси волокна, нагреваемого с заданной скоростью в выбранном интервале температур.

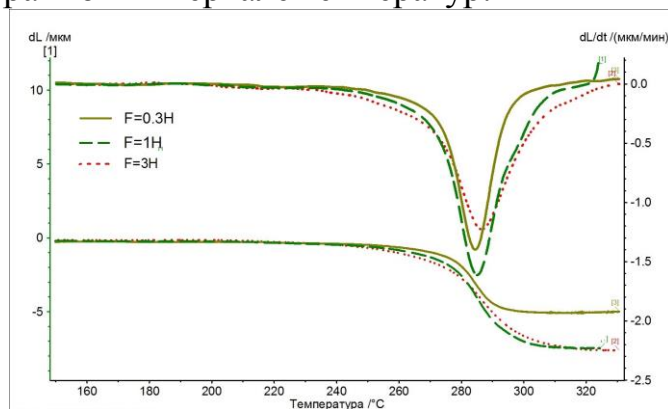


Рис 1. Температурные зависимости локальной деформации dL защитной оболочки ОВ под действием различных тестовых нагрузок.

Скорость нагрева ВС - 5⁰С/мин

Из зависимостей $dL(T)$ и $dL/dT(T)$, представленных на рис.1, были определены температуры начала размягчения защитных оболочек, характеризующие термостойкость исследуемых ОВ. Для измерений использовался термомеханический анализатор ТМА402F3 Netzsch.

1. S.L.Semenov, D.A.Sapozhnikov, D.Yu.Erin, et al., Quantum Electronics, **45**(4), pp.330-332 (2015).

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

П.Ф. Кашайкин^{1,2}, М.Ю. Салганский³, К.Н. Нищев², А.Л. Томашук¹,
А.Н. Гурьянов³, Е.М. Дианов¹

¹ Научный центр волоконной оптики РАН, г. Москва

² Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва, г. Саранск

³ Институт химии высокочистых веществ им. Г. Г. Десятых РАН,
г. Нижний Новгород

E-mail: kpf@fo.gpi.ru

Для работы в условиях повышенного уровня радиации (космос, атомная энергетика, научно-технические применения) необходимы специальные радиационно-стойкие световоды (РСС). Известно, что уменьшение температуры приводит к росту радиационно-наведенных потерь (РНП) в волоконных световодах (ВС). При этом, для космических применений, работа в широком диапазоне температур является необходимым условием. Поэтому, целью данной работы было исследование температурной зависимости РНП в ВС, разработанных в НЦВО-ИХВВ РАН, а также в некоторых коммерческих ВС.

В настоящей работе были проведены исследования РНП в ВС с сердцевиной из нелегированного и легированного германием кварцевого стекла температурном интервале от -60 до $+60$ °С. Световоды облучались на γ -источнике Co^{60} в течение 15 минут; в течение 45 минут после завершения облучения измерялись наведенные потери при релаксации, при этом поглощенная доза составила ~ 1 кГр.

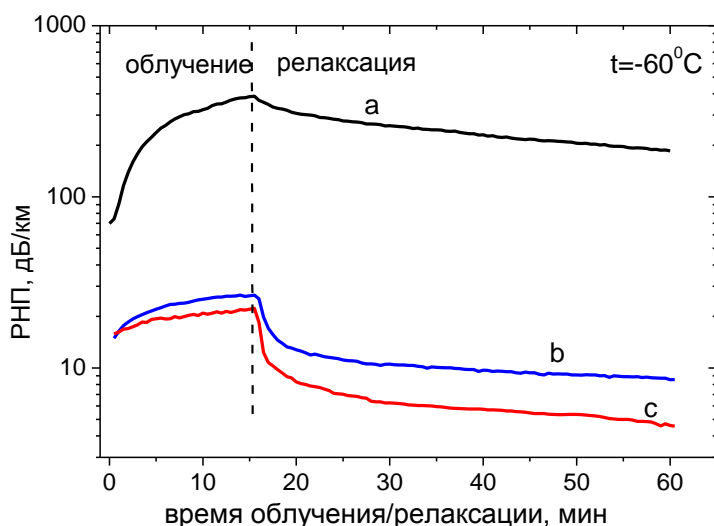


Рис. 1. Зависимость РНП от времени облучения и релаксации на длине волны 1.31 мкм при мощности дозы 1,1 гр/с, $t = -60$ °С.
а – радиационно-стойкий световод фирмы J-fiber;
б, с – световоды, изготовленные НЦВО РАН совместно с ИХВВ РАН

На рис.1 представлена эволюция РНП от времени облучения для коммерческого радиационно-стойкого световода: а) и световодов, разработанных в НЦВО-ИХВВ РАН; б), с) при $t = -60$ °С. Для всех световодов заметен монотонный рост РНП с поглощенной дозой, однако, уровень РНП в световодах б) и с) существенно меньше РНП световода а).

FIBER OPTICS

EFFICIENT RAMAN GENERATION OF 1.9 μm RADIATION IN HYDROGEN-FILLED HOLLOW-CORE FIBER

A.V. Gladyshev, A.N. Kolyadin, A.F. Kosolapov, Yu.P. Yatsenko,
A.D. Pryamikov, A.S. Biriukov, I.A. Bufetov
Fiber Optics Research Center RAS, Moscow
E-mail: alexglad@fo.gpi.ru

Gas-filled hollow-core fibers (HCF) enable a new route for in-fiber generation at IR wavelengths by stimulated Raman scattering (SRS). The waveguide structure results in enlarged length of nonlinear interaction and essential reduction of threshold pump power. In particular, vibrational SRS in molecular hydrogen is of great interest, because it provides a large Raman shift of $\Omega_R=4155\text{ cm}^{-1}$.

HCF-laser emitting at 1.9 μm has been recently developed using pure vibrational SRS in molecular hydrogen [1]. The laser operated in transient SRS regime (pump pulse duration $\tau=0.7\text{ ns}$) with quantum efficiency up to 48 % and average output power of $\sim 7.5\text{ mW}$.

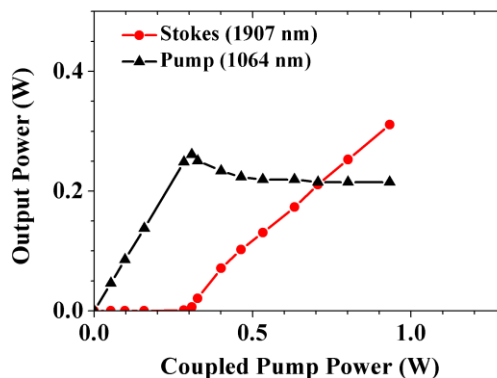
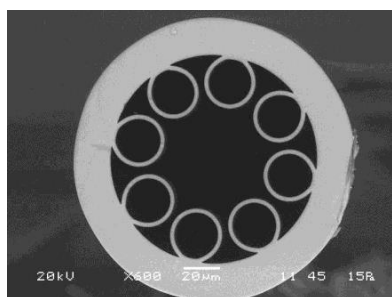


Fig. 1 (Left): SEM image of HCF used in our experiments. (Right): Average output power at both stokes and pump wavelength as a function of the pump power coupled to H_2 -filled HCF

In this paper the steady-state ($\tau=125\text{ ns}$) SRS in special hydrogen filled HCF (fig.1) was investigated. The fiber has simple design (fig. 1) proposed in [2], which enables us to achieve optical losses as low as 0.25 dB/m at the pump wavelength ($\lambda=1064\text{ nm}$) and 0.1 dB/m at the Stokes wavelength ($\lambda=1907\text{ nm}$). Quantum efficiency as high as 60 % has been achieved at the average output power of 300 mW. Both spectral and temporal characteristics of the laser are studied. Threshold dependence on H_2 pressure is measured and compared with data published earlier.

This work was supported by RFBR grant number 15-02-08840-A.

1. Z. Wang et al., *Laser Phys. Lett.* **11**, 105807 (2014).
2. A. Pryamikov et al., *Opt. Exp.* **19**, 1441 (2011).

IMPACT OF HOLMIUM FIBER LASER AT WAVELENGTH OF 2.1 MICRONS ON DIFFERENT BIOLOGICAL TISSUES

S.A. Filatova¹, V.A. Kamynin^{1,2}, A.V. Ryabova¹, V.B. Loschenov¹,
P.V. Zelenkov³, I.O. Zolotovskiy⁴, V.B. Tsvetkov¹, A.S. Kurkov^{1,2}

¹*General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²*Photonics Laboratory of Perm Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm, Russia*

³*N.N. Burdenko Institute of Neurosurgery RAMS, Moscow, Russia*

⁴*Ulyanovsk state university, Ulyanovsk, Russia*

E-mail: filmsim2910@gmail.com

The interest in lasers with radiation wavelength of 2 μm is growing, because of very broad application area, both in research and in applied fields, in particular for medical purposes [1]. So holmium solid-state lasers are widely used [2]. However, we can note a number of their disadvantages. They operate only in a pulse mode with high-energy long pulse generation and with repetition frequency of 20 Hz. Obviously that under the existing diversity of pathologies in some cases different modes of laser operation are required. That can be provided by holmium fiber lasers. Furthermore in this case to be expected reduce of cost of laser and its maintenance.

We present Ho-doped fiber laser and results of laser radiation effect on biological tissues, such as adipose, muscle tissues, dura mater of spinal cord of porcine. We have used continuous-wave Ho-doped fiber laser with maximum output power around 8.5 W, which was pumped by Yb-doped fiber laser that emits at 1.125 μm with maximum output power around 30 W.

Evaluation of experiments was carried out on the following parameters: the size of zones of carbonization and coagulation necrosis. Before conducting the experiments, all samples were placed in water environment to simulate natural conditions. Laser influenced in a contactless manner on all samples of biological tissues. The distance from the end of the fiber to the sample was varied from 3 to 5 mm. Laser power varied from 3 to 8 W. Time of exposure ranged from 25 to 60 seconds. After 25 seconds of laser exposure on samples of dura mater the size of coagulation necrosis area was 125 - 250 μm , and size of carbonization zone was 10 μm . After 50 seconds of laser exposure on samples of adipose tissue the size of coagulation necrosis zone was 800 – 1200 μm , and zone of carbonization was 20-35 μm . The obtained results of laser irradiation effect on various samples of biological tissues are different. This is primarily due to differences in their thermal and optical properties, namely the absorption coefficient, scattering coefficient and density of the tissue [3].

1. T. Bilici, S. Mutlu, H. Kalaycioglu, et al., *Lasers Med. Sci.* **26**(5), 699 (2011).
2. T.A.Wollin, and J.D. Denstedt, *Journal of clinical laser medicine & surgery* **16**(1), 13 (1998).
3. S.L. Jacques, *Phys. Med. Biol.* **58**(11), 37 (2013).

DISPERSION AND FEMTOSECOND PULSE DELIVERY IN HOLLOW-CORE MICROSTRUCTURED OPTICAL FIBER WITH A NEGATIVE CURVATURE OF THE CORE BOUNDARY

A.N. Kolyadin¹, L. Mouradian², A. Zeytunyan², H. Toneyan², A.F. Kosolapov¹,
A.D. Pryamikov¹

¹*Fiber Optics Research Center of Russian Academy of Sciences, Moscow*

²*Ultrafast Optics Laboratory, Yerevan State University, Yerevan, Armenia*

E-mail: kolyadin@fo.gpi.ru

The dispersion of hollow core microstructured optical fiber with negative curvature of the core boundary was measured for the first time. The process of femtosecond pulse propagation through such fibers was investigated.

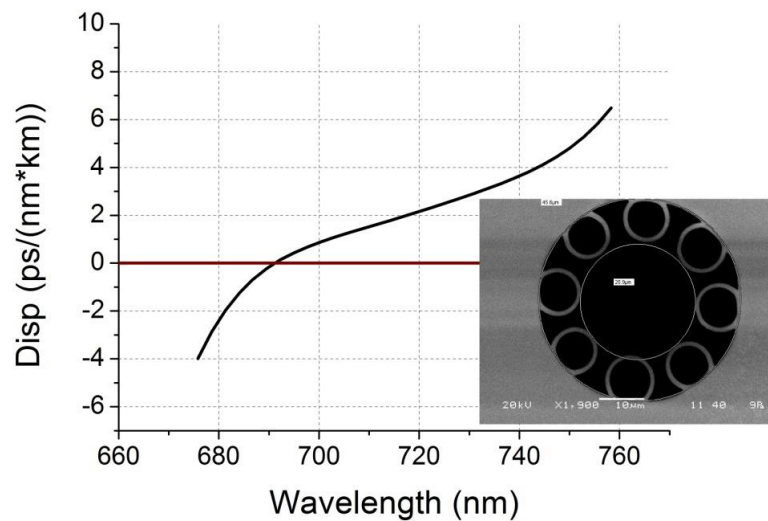


Fig.1 Dispersion in hollow core fiber. Inset: cross-section of the fiber with a core diameter 26 μm (SEM picture)

Dispersion measurements were carried out by interferometric method using the 8.6 m fiber with core diameter of 26 μm . Supercontinuum generator was used as a light source. The data obtained were approximated by the 6th degree polynomial with consequent differentiation.

We carried out autocorrelation measurements of femtosecond pulses before and after propagation along such a fiber. As a source of pulses laser system Coherent Verdi V10 + Mira 900F with the following parameters of radiation: >1 W average power at 76 MHz repetition rate, 748 nm central wavelength, 4 nm spectral bandwidth was used. After propagation through a 10 m fiber the pulse duration was essentially increased from 255 fs to 514 fs corresponding to the value of dispersion $\beta_2 = -2290 \text{ fs}^2/\text{m}$ or $D = 7.7 \text{ ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})$. This result is in good agreement with the measured value.

This work was supported by the grant RFFI 14-29-07176 ofi_m

LOW-TEMPERATURE RADIATION RESISTANCE OF OPTICAL FIBERS

P.F. Kashaykin^{1,2}, A.L. Tomashuk¹, M.Yu. Salgansky³, K.N. Nishchev²,
A.N. Guryanov³, E.M. Dianov¹

¹Fiber Optics Research Center of the Russian Academy of Sciences, Moscow

²P.N.Ogarev Mordovia State University, Saransk

³G.G.Devyatykh Institute of Chemistry of High-Purity Substances of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod

E-mail: kpf@fo.gpi.ru

Special radiation resistant optical fibers are required for operation in radiation environments (space, nuclear industry, some special scientific and technical applications). As is well-known, temperature decreasing lead to an increase of radiation-induced attenuation (RIA) of light in optical fibers [1]. At the same time, operation over a wide temperature range is a prerequisite for space applications. For this reason, the purpose of our work was to investigate the RIA temperature dependence in radiation-resistant optical fibers recently developed at the Fiber Optics Research Center (FORC) of the Russian Academy of Sciences (RAS) in association with the G.G.Devyatykh Institute of Chemistry of High-Purity Substances of RAS and also in commercial optical fibers.

RIA was investigated in fibers with an undoped and Ge-doped-silica core under gamma-irradiation from a ⁶⁰Co-source to a dose of ~ 1 kGy at temperatures in the range -60 - +60 C. The RIA was measured in the process of irradiation (during 15 min.) and in the process of post-irradiation recovery (during 45 min.)

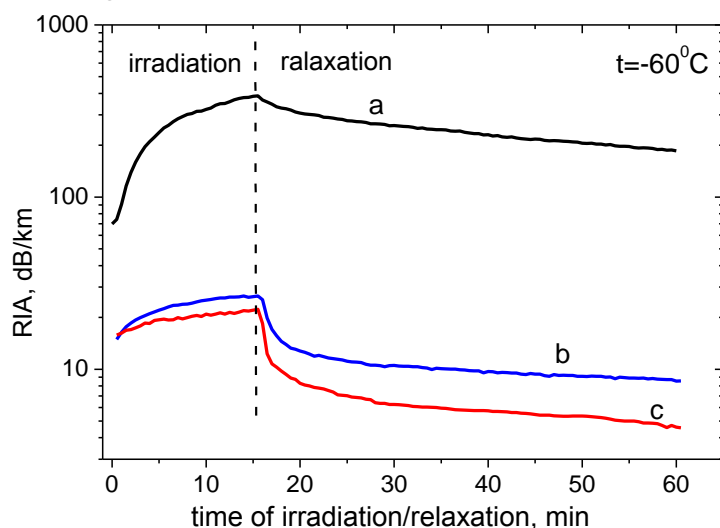


Fig. 1. RIA evolution in the course of γ -irradiation (0–15 min.) and post-irradiation recovery (15–60 min) at $\lambda = 1.31 \mu\text{m}$. The dose rate is 1.1 Gy/s, $T = -60^\circ\text{C}$

a) – a commercial German radiation resistant fiber;
b,c) – fibers, developed at FORC RAS

Fig. 1 shows the RIA dependences on time of irradiation and post-irradiation recovery for the commercial German radiation resistant fiber (*fiber a*) and the fibers developed in FORC RAS (*fibers b* and *c*) at $t = -60^\circ\text{C}$, $\lambda = 1.31 \mu\text{m}$. All the fibers demonstrate monotonic RIA variation with dose, however, RIA level of *fibers b*) and *c*) is essential less than that of the *fiber a*).

1. E.J. Friebele, M.E. Gingerich, and D.L. Griscom, Optical Materials Reliability and Testing **1791**, (1992).

НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ОПТОЭЛЕКТРОНИКА НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР АЗN: ТЕХНОЛОГИЯ, ФИЗИКА И ПРИМЕНЕНИЕ

В.Н. Жмерик, С.В. Иванов

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

E-mail: jmerik@pls.ioffe.ru

Присуждение Нобелевской премии по физике 2014 года японским исследователям И. Акасаки, Х. Аmano и Ш. Накамура (I. Akasaki, H. Amano and Sh. Nakamura) за создание эффективных синих светодиодов на основе широкозонных полупроводниковых соединений – нитридов третьей группы (Al,Ga,In)N – отразило важность для человечества научно-технологических усилий по созданию «ярких и энергосберегающих источников освещения» [1]. Сегодняшний успех Нобелевских лауреатов базируется на труде нескольких поколений ученых и технологов XX века. Поэтому во вводной части доклада будет дан краткий исторический обзор развития физических основ полупроводниковой оптоэлектроники и гетероэпитаксиальных технологий. Затем будут описаны развитые лауреатами новые подходы к росту гетероструктур на основе АЗN-соединений, позволившие решить критические проблемы высокой дефектности и получения *p-n* переходов в этих материалах.

В основной части доклада будет дан обзор работ, проводимых в лаборатории квантоворазмерных гетероструктур ФТИ им. А.Ф. Иоффе по развитию технологии роста методом плазменно-активированной молекулярно-пучковой эпитаксии (ПА МПЭ) гетероструктур широкозонных соединений III-N с высоким содержанием индия и алюминия и исследованию их физических свойств. Так, комплексные исследования эпитаксиального роста, структурных, оптических и электрофизических свойств соединений $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x=0-1$) позволили не только скорректировать зависимость фундаментального края поглощения этих материалов от состава, но и выявить различные физические явления, связанные с формированием в них композитных структур металл/полупроводник при $x>0.4$ [2]. Основное внимание в докладе будет уделено ПА МПЭ гетероструктур $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ с $y>0.4$, их свойствам и практическим приложениям. Будут рассмотрены основные стадии процесса ПА МПЭ: рост буферных слоев AlN на подложках *c*-сапфира с концентрацией прорастающих дислокаций $10^8 - 10^9 \text{ см}^{-2}$, формирование квантовых ям AlGaN с помощью субмонослойной дискретной эпитаксии, получение *n*- и *p*-легированных слоев AlGaN. Эти разработки в итоге привели к демонстрации прототипов солнечно-слепых фотоприемников различного типа, а также источников спонтанного и лазерного излучения среднего УФ-диапазона с длиной волны $\lambda < 300 \text{ нм}$ [3,4].

1. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2014/
2. S.V. Ivanov *et al.*, J. Crystal Growth **403**, 83 (2014).
3. В.Н. Жмерик *и др.*, ФТП **42**(12), 1452 (2008).
4. S.V. Ivanov *et al.*, Semicond. Sci. Technol. **29**, 084008 (2014).

МУЛЬТИФЕРРОИКИ

М.Н. Попова

Институт спектроскопии РАН, Троицк, Москва

E-mail: popova@isan.troitsk.ru

Мультиферроики, т. е. материалы, в которых сосуществуют по крайней мере два из нескольких параметров порядка, интересны как для фундаментальной физики твердого тела, так и с точки зрения возможных практических применений. План моей лекции следующий:

1. Введение. Краткая история магнитоэлектрического эффекта и мультиферроиков. Роль симметрии.

2. Эффекты в магнитоэлектрических мультиферроиках.

а) Магнитоэлектрический эффект (индуцированные магнитным полем поляризация или электрическим полем магнитный момент).

б) Магнитодиелектрический эффект (изменение s под действием H).

в) Магнитоэлектрический контроль (переключение P с помощью H или M с помощью E). Применения в сенсорной технике, микроэлектронике, системах магнитной памяти, спинтронике и др.

г) Высокочастотные свойства: электромагноны.

3. Что может сделать оптическая спектроскопия в физике мультиферроиков?

4. Мультиферроики из семейства редкоземельных (PЗ) боратов с общей формулой $RM_3(BO_3)_4$, $R = Pr - Er, Y$; $M = Al, Ga, Fe, Cr$.

а) Структура. Структурный фазовый переход в $RFe_3(BO_3)_4$.

б) Магнитные свойства PЗ ферроборатов.

в) Магнитоэлектрические и магнитодиелектрические свойства.

5. Спектроскопия мультиферроиков $RFe_3(BO_3)_4$ в ИСАН.

а) Люди и оборудование.

б) Магнитные фазовые переходы в $SmFe_3(BO_3)_4$: расщепления крамерсовских дублетов [1].

в) Спектроскопия структурного фазового перехода в $EuFe_3(BO_3)_4$.

г) Спектры в далекой ИК области и спин-фононное взаимодействие в $RFe_3(BO_3)_4$. Механизмы спин-фононного взаимодействия [2].

д) Взаимодействие между фононом и электронным возбуждением PЗ иона в $PrFe_3(BO_3)_4$. Связанная электрон-фононная мода [3].

Автор благодарит РНФ за финансовую поддержку по гранту № 14-12-01033.

1. М.Н. Попова, Е.П. Чукалина, Б.З. Малкин, и др., ЖЭТФ, **145**, 128 (2014).

2. K.N. Boldyrev, T.N. Stanislavchuk, S.A. Klimin, et al., Physics Letters A **376**, 2562 (2012).

3. K.N. Boldyrev, T.N. Stanislavchuk, A.A. Sirenko, et al., Phys. Rev. B Rapid Comm. **90**, 121101(R) (2014).

СИНТЕЗ И СВОЙСТВА ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ – КРИСТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ

Е.Е. Ломонова

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва, Россия
E-mail: elomonova@mail.ru*

Более сорока лет тому назад в Физическом институте им. П.Н. Лебедева АН СССР были начаты работы по технологии высокотемпературных материалов методом прямого высокочастотного плавления. В результате этих работ были разработаны основы метода, создана аппаратура, проведены систематические исследования условий плавления и кристаллизации различных химических соединений, были получены крупные монокристаллы твердых растворов на основе оксидов циркония и гафния, получены монокристаллы оксидов редкоземельных элементов, скандия, иттрия и алюминия.

Технология основана на прямом высокочастотном плавлении диэлектрика в холодном тигле. Расплав тугоплавкого диэлектрика находится в оболочке твердой фазы того же химического состава, что и расплав. Энергия к расплаву подводится с помощью индуктора высокочастотного генератора. Физической основой этой технологии послужило обнаруженное резкое скачкообразное (на 2 – 3 порядка) понижение электросопротивления тугоплавких диэлектриков при их плавлении. В результате такого характера зависимости удельного электросопротивления диэлектриков от температуры расплав оказывается хорошей нагрузкой для ВЧ-генератора, а твердая фаза остается прозрачной для высокочастотного поля и не нагревается.

За истекшие годы эта технология получила широкое распространение как у нас в стране, так и в мире. С ее помощью остекловывают радиоактивные отходы, компактируют тугоплавкие порошки, варят тугоплавкие стекла, ситаллы, получают поликристаллический кремний для солнечных элементов.

Однако наиболее ярким результатом развития технологии прямого ВЧ плавления в холодном контейнере является промышленная технология кристаллов на основе диоксида циркония. Разработанный метод является единственным промышленным методом получения таких кристаллов. Ювелирные свойства кубических твердых растворов на основе диоксида циркония – фианитов давно оценены, и объемы производства являются одними из самых больших в мире, однако до сих пор открываются все новые возможности использования этих монокристаллов в технике: оптике, лазерной технике, микро- и оптоэлектронике, энергетике, высокотемпературной технике. Промышленное производство этих кристаллов достигает нескольких сотен тонн в месяц и сосредоточено главным образом в США, Китае, Южной Корее, России и на Тайване. Более 90% производимых кристаллов применяется в ювелирной промышленности, а оставшаяся часть используется для ряда технических

применений. Сейчас мировое производство этих кристаллов составляет около 3000 т в год.

Исследования некоторых свойств монокристаллов кубических твердых растворов на основе диоксида циркония (фианитов) показали, что они обладают уникальными оптическими, механическими и электрическими характеристиками: это – изотропная оптическая среда с высоким показателем преломления (2,15 – 2,2) и широкой спектральной областью пропускания (250 – 7500 нм), обладающая большой твердостью (8,5 по Моосу), тугоплавкостью (2700 – 2800⁰С), ионной проводимостью при повышении температуры выше 300⁰С. Это сочетание свойств сделало фианиты перспективным материалом для многих областей техники и промышленности: оптики, электроники, приборостроения, высокотемпературной техники.

В середине 70-х годов, возник повышенный интерес к высокопрочным и высоковязким материалам из диоксида циркония. К таким материалам относится частично стабилизированный диоксид циркония (ЧСЦ), представляющий собой твердый раствор диоксида циркония с небольшими добавками оксида иттрия либо оксидов других редкоземельных и щелочноземельных металлов. Метод прямого ВЧ-плавления в холодном контейнере дает возможность получения этого высокопрочного, трещиностойкого материала с нулевой пористостью, без фазовых границ, направленной кристаллизацией из расплава. Синтез на воздухе, отсутствие специальных требований к гранулометрическому составу и однородности исходного материала, а также практически безотходный характер технологии (использование для повторного переплава кристаллических отходов), делает этот метод более весьма перспективным для получения высокопрочных и высоковязких конструкционных материалов, устойчивых в агрессивных, в частности окислительных, средах в широком температурном интервале.

Методами рентгеновской дифрактометрии, и просвечивающей электронной микроскопии исследована структура кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония (ЧСЦ). Исследования показали, что кристаллы ЧСЦ, полученные направленной кристаллизацией расплава, характеризуются наличием двух тетрагональных фаз (t и t'), различающихся степенью тетрагональности (c/a), причем увеличение концентрации Y_2O_3 в кристаллах приводит к увеличению содержания нетрансформируемой t' фазы. Кристаллы обладают развитой доменно-двойниковой структурой в диапазоне концентраций оксида иттрия от 2 до 7 мол%. Двойниковые домены образуются при охлаждении монокристалла в процессе фазового перехода кубической структуры в тетрагональную. Фазовый переход генерирует напряжения, которые релаксируют за счет двойникования. Вид и дисперсность двойниковых доменов определяется, главным образом, видом и концентрацией стабилизирующей примеси. Такая структура материала, полученная в результате процесса

наноструктурирования при фазовом переходе, не может не отразиться на свойствах этих кристаллов.

Физико-химические свойства кристаллов на основе диоксида циркония условно можно разбить на две группы. Первая группа – это те свойства, которые определяются в основном химическим составом и в равной степени присущи и кристаллам ЧСЦ, и фианитам. Прежде всего, следует отметить высокую температуру плавления 2800°C , электропроводность при повышенных температурах, причем эта электропроводность ионного типа. Особенно следует отметить такие свойства, как исключительно высокая химическая стойкость к кислотам, щелочам, расплавам щелочных металлов; стойкость в окислительной атмосфере во всем интервале температур вплоть до температуры плавления; биоинертность, что является неременным условием биосовместимости; отсутствие адгезии к биотканям и высокая рентгеноконтрастность.

Вторая группа – свойства, которые определяются в основном наноструктурой кристаллов ЧСЦ. Следствием наноструктурирования является появление исключительных механических свойств материала. Прежде всего, эти кристаллы обладают очень высокой трещиностойкостью, пределами прочности на изгиб, сжатие, высокими модулями упругости. Следует отметить повышенную износостойкость этого материала в сочетании с низкими коэффициентами трения. Сочетание таких прочностных и триботехнических характеристик со свойствами, перечисленными в первой группе, делает кристаллы ЧСЦ весьма перспективным конструкционным материалом для многих отраслей техники и медицины.

Большие перспективы имеют эти материалы для применения в качестве конструкционного материала для изготовления деталей триботехнического назначения, компонентов измерительных приборов, инструментов для обработки материалов резанием и давлением. Для применения керамических конструкционных материалов в качестве деталей триботехнического назначения для работы в условиях повышенных температур и агрессивных сред большое значение имеет возможность работы их в сочетании с металлическими деталями конструкций. В этой связи большую роль играет близость значений коэффициентов термического расширения кристаллов ЧСЦ и стали.

Интенсивно развиваются работы по использованию кристаллов ЧСЦ в медицине. В настоящее время наиболее активно используются материалы на основе диоксида циркония в реконструктивно-восстановительной стоматологии. Керамика из диоксида циркония признана наиболее прочным и биологически совместимым с организмом человека материалом для реставрации зубов. Чем меньше остаточная пористость керамики, тем более прочный, трещиностойкий материал и меньше степень его деградации в агрессивных средах. Эти характеристики

определяется способом изготовления материала. Кристаллы частично стабилизированного диоксида циркония (ЧСЦ), синтезированные из расплава в холодном контейнере, являются биосовместимыми, обладают нулевой пористостью и отсутствием границ зерен. Их механические характеристики выше, а степень деградации существенно ниже, чем керамики того же состава.

До некоторого времени существовало одно обстоятельство, которое ограничивало спектр применений диоксида циркония в стоматологии – технологически сложная обработка заготовок из оксида циркония. Созданная в настоящее время система обработки таких материалов во многом способствовала широкому использованию этого материала для стоматологии. Современная система реставрации и протезирования— CAD/CAM (первый ее образец создан фирмой Siemens) позволяет сделать вкладку, коронку или искусственные зубы, практически меньше чем за три часа.

Наряду с уже отмеченными свойствами, такими как химическая стойкость, биоинертность, отсутствие адгезии к биотканям этот материал обладает способностью к сверхострой заточке благодаря высокой трещиностойкости, твердости и прочности. Сверхострая заточка, повышенная износостойкость и биологическая инертность позволяет использовать кристаллы ЧСЦ для хирургических режущих инструментов. Их используют в глазной, эмбриональной, нейрохирургии и в общей хирургии. Эти скальпели отличаются очень хорошими эксплуатационными характеристиками. Они дают очень чистый рез и быстро заживающую рану.

Кристаллы частично стабилизированного диоксида циркония (ЧСЦ) при комнатной температуре являются типичными диэлектриками и обладают высокими антипригарными свойствами, высокой электрохимической стойкостью и износостойкостью, что позволяет использовать его в качестве идеального конструкционного материала для режущих рабочих частей инновационного электрохирургического инструмента, который обеспечивает бескровное проведение самых сложных операций.

Одним из перспективных направлений использования кристаллов на основе диоксида циркония является использование в качестве твердых электролитов в твердооксидных топливных элементах, датчиках кислорода в агрессивных средах при повышенных температурах в и других подобных электрохимических устройствах. В настоящее время используются керамические твердые электролиты на основе диоксида. Структурные, механические и электрические свойства таких керамических материалов в значительной степени зависят от их микроструктуры (размеров зерен, характера распределения компонентов твердого раствора по объему и границам зерен, межзеренных напряжений, наличия пор и т.д.), которые в свою очередь определяются технологическими условиями синтеза. В

отличие от керамики, при получении материалов в виде монокристаллов, влияние этих факторов можно исключить, что существенно повышает их стабильность и ресурс работы. Одной из проблем твердых электролитов является стабильность характеристик при рабочих температурах в течение длительного времени, что может быть связано как с фазовыми превращениями, так и с высокотемпературной рекристаллизацией керамики при рабочих температурах. Для монокристаллов стабильность определяется лишь фазовой устойчивостью твердого раствора.

Разработанная технология синтеза кристаллов методом прямого высокочастотного плавления и материалы, полученные по этой технологии, защищены целым рядом авторских свидетельств и патентов в России и за рубежом.

РЕНТГЕНОВСКАЯ ДИФРАКТОМЕТРИЯ ПОЛИКРИСТАЛЛОВ

Н.Ю.Табачкова

*Национальный исследовательский технологический университет
«МИСИС», Москва*

E-mail: ntabachkova@gmail.com

Исследование атомной структуры веществ современными дифракционными методами позволяет выявить ресурсы улучшения физических свойств материалов и возможности улучшения эксплуатационных характеристик материалов. Требования технологии получения материалов и структур электронной техники приводят к тому, что методы анализа структуры становятся не только методами исследования, но и методами контроля качества заданных объектов. В данной работе рассмотрены физические основы дифракционных методов изучения атомного строения вещества и основные приложения рентгеноструктурных исследований в материаловедении.

Наиболее распространенной задачей структурного анализа является установление фазового состава и прецизионное определение периодов решетки. Параметры элементарной ячейки являются фундаментальными характеристиками решетки кристалла. Они зависят от температуры, концентрации примеси и структурного типа раствора, также от упругих напряжений, действующих на данный объект. Эти зависимости могут быть использованы для решения ряда прикладных задач физики твердого тела и материаловедения. При этом во многих случаях требуются прецизионные измерения. Одним из достаточно широко распространенных приложений прецизионных измерений межплоскостных расстояний является определение остаточных макроскопических упругих напряжений.

Другими важными результатами, которые можно получить с помощью рентгеновской дифрактометрии и интерпретировать на основе теории метода являются: анализ тонкой кристаллической структуры и ее изменения в процессе технологических воздействий, изучение кристаллической структуры, исследование твердых растворов и анализ текстур. С помощью дифракционных методов определения текстур можно получить представление об ориентировках в поликристаллических объектах. Анализ уширения дифракционных максимумов на дифрактограммах поликристаллов – широко применяется для изучения дефектной структуры кристаллитов и определения размеров областей когерентного рассеяния.

Таким образом, в работе наряду с определением атомной структуры вещества методом рентгеновской дифрактометрии рассмотрим вопрос об установлении различных дополнительных структурных характеристик поликристаллических объектов – текстуры, внутренних напряжений, дисперсности областей когерентного рассеяния, концентрации твердых растворов и т.д.

КОМПЛЕКСНЫЙ ПРОЕКТ «ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ
НА ОСНОВЕ СОЗДАНИЯ БАЗОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
СТРУКТУР «КРЕМНИЙ НА МОЛИБДЕНЕ» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ»:
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НИОКТР

В.В. Елисеев¹, В.А. Мартыненко¹, К.Н. Нищев², М.И. Новопольцев²
¹ОАО «Электровыпрямитель», Саранск

²Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск
E-mail: nishchev@inbox.ru

В докладе представлены результаты четвертого и пятого отчетных периодов проекта «Организация производства полупроводниковых приборов силовой электроники нового поколения на основе создания базовой технологии изготовления структур «кремний на молибдене» с использованием низкотемпературных соединений», выполняемого в рамках Постановления Правительства РФ №218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства».

Целью проекта является разработка новой технологии изготовления структур «кремний на молибдене» (КНМ), основанной на применении серебряносодержащих паст (СП) для низкотемпературного соединения элементов структур силовых полупроводниковых приборов. На базе данной технологии на ОАО «Электровыпрямитель» создается высокотехнологичное промышленное производство полупроводниковых приборов силовой электроники с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Основной задачей четвертого отчетного периода комплексного проекта являлось завершение разработки предварительного проекта технологического процесса изготовления структур КНМ (ТП КНМ). В ходе выполнения проекта исполнителями проведены патентные исследования, разработана предварительная технологическая документация, разработаны программы и методики исследовательских испытаний (ПИ), проведены исследовательские испытания макетов структур КНМ и ТП КНМ.

В пятом периоде проекта:

- определены показатели технологичности и ресурсосбережения структур КНМ.
- разработана рабочая конструкторская, технологическая и эксплуатационная документация КНМ, в том числе проект ТУ.
- проведена метрологическая экспертиза РКД и РТД на структуры КНМ.
- разработана программа и методики предварительных испытаний опытных образцов структур КНМ и технологического процесса их изготовления.
- в рамках первого этапа предварительных испытаний ТП КНМ изготовлены опытные образцы структур КНМ.

В ходе выполнения НИОКТР четвертого и пятого отчетных периодов проекта получены следующие РИД:

1. Каблов Е.Н., Лукин В.И., Рыльников В.С., Афанасьев-Ходыкин А.Н., Нищев К.Н. Способ определения прочности сцепления покрытия с кремниевой подложкой. Патент RU 2548393 МПК G01N19/04.
2. Нищев К.Н., Новопольцев М.И., Беглов В.И., Окин М.А., Степнов Д.А. Способ определения коэффициента температуропроводности тонких слоев материалов. Заявка на получение патента на изобретение №2015119944 от 28.05.2015 г.
3. Мартыненко В.А., Елисеев В.В., Гришанин А.В., Хапугин А.А., Нищев К.Н., Новопольцев М.И. Силовой полупроводниковый прибор с повышенной устойчивостью к динамической лавине. Заявка на получение патента на полезную модель №2015125231 от 29.06. 2015 г.

Полученные результаты НИОКТР опубликованы:

1. V.I.Lukin, V.S.Rylnikov, A.N.Afanasyev-Khodykin, K.E.Kutsevich, K.N.Nishchev. A method of determining the Strength of silver-coating adhesion to a silicon support using glue.// Polimer Science. Series D. Glues and Sealing materials.2014,vol.7,No.4, pp.313-315.
2. Нищев К. Н., Новопольцев М. И., Мишкин В.П., Саврасов К.В., Елисеев В.В. , Мартыненко В.А., Гришанин А.В. Исследование процесса низкотемпературного спекания серебрясодержащих паст методом РЭМ . Труды XXV Российской конференции по электронной микроскопии и 2-й Школы молодых ученых «Современные методы электронной и зондовой микроскопии в исследованиях наноструктур и наноматериалов», РКЭМ-2014 .Том №2, ИПТМ РАН, 2014 ISBN 978-5-89589-069-1 2014. С.468-469
3. Горбунов Д.С., Нищев К. Н., Новопольцев М. И., Мишкин В.П., Ускова Е.Н. Исследование структуры многослойных металлических покрытий на кремнии методами РЭМ и СЗМ. Огарев-online. "Физико-математические науки". – 2014. – №19. Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 – 52910 от 20.02.2013. ISSN 2311-2468 №19, июнь, 2014– URL: <http://journal.mrsu.ru/arts/issledovanie-struktury-mnogoslojnykh-metallicheskih-pokrytij-na-kremnii-metodami-rehm-i-szm>. С.1-5.
4. Лукин В.И., Рыльников В.С., Афанасьев-Ходыкин А.Н., Лощинин Ю. В., Нищев К.Н. Особенности низкотемпературного спекания серебрясодержащей пасты для деталей силовой электроники. Технология машиностроения. №5, 2015. С. 313-315.
5. Нищев К. Н., Новопольцев М.И., Мишкин В.П., Гришанин А.В., Сигачев А.Ф., Саврасов К. В., Елисеев В. В., Мартыненко В.А. Исследование низкотемпературного спекания серебрясодержащих паст методом растровой электронной микроскопии. Прикладная физика, №5, 2015.С. 10-14.

Работа выполнена в рамках договора №02.G25.31.0051 между ОАО «Электровыпрямитель» и Министерством образования и науки Российской Федерации об условиях предоставления и использования субсидии на реализацию комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, выполняемого с участием российского высшего учебного заведения.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ОКСИДА ВИСМУТА НА ОПТИЧЕСКИЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВИСМУТГЕРМАНАТНЫХ СТЕКОЛ

И.В. Степанова, А.Н. Чибескова

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

E-mail: stir@inbox.ru

В системе $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2$ существуют несколько соединений, обладающих ценными практическими свойствами: электрооптическими ($\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$), сцинтилляционными ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) или сегнетоэлектрическими (Bi_2GeO_5). В интервале концентраций оксидов, включающем в себя составы $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ и Bi_2GeO_5 , возможно получить стекла хорошего качества, которые можно эффективно легировать переходными и редкоземельными ионами и использовать для синтеза в них соответствующих кристаллических фаз. В данной работе было изучено влияние концентрации оксида висмута на оптические и диэлектрические свойства висмутгерманатных стекол различных составов.

Для экспериментов были выбраны составы со следующими соотношениями: $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{:GeO}_2$: 40:60, 45:55 и 50:50; стекла получали плавлением смеси исходных оксидов при температурах 1075 и 1100°C и последующей отливкой на подложку. Спектры поглощения полученных образцов снимали на спектрофотометре UNICO 2800 (UV/VIS) в диапазоне 190–1100 нм. Диэлектрические характеристики измеряли с помощью мостовой схемы E7-12 с частотой 1 МГц в диапазоне 25–620°C.

На спектрах поглощения всех образцов присутствует плечо поглощения в области 500 нм, которое связано с наличием в стеклах оптических дефектных Bi-центров [1]. Интенсивность плеча поглощения увеличивается как с ростом концентрации Bi_2O_3 , так и с ростом температуры синтеза стекол.

Увеличение содержания оксида висмута приводит к снижению характеристических температур образцов и к уменьшению удельного сопротивления. В области температур выше температур стеклования диэлектрическая проницаемость образцов $50\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-}50\text{GeO}_2$ в большей степени зависит от температуры, чем у образцов других составов. Вероятно, это связано с образованием в данном стекле сегнетоэлектрической фазы Bi_2GeO_5 . Характер температурной кривой тангенса угла диэлектрических потерь при охлаждении образцов показывает, что стекла состава $40\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-}60\text{GeO}_2$ в меньшей степени подвержены кристаллизации по сравнению с другими составами. Все спектральные и диэлектрические кривые образцов «промежуточного» состава $45\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-}55\text{GeO}_2$ лежат между значениями для других образцов, что показывает явную связь изученных свойств стекол с концентрацией Bi_2O_3 .

1. Е.М. Дианов. Квантовая электроника **40**(4), 283-285 (2010).

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ФАЗОВОГО
СОСТАВА И СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ЧСЦ,
ЛЕГИРОВАННЫХ Ce И Nd

М.А. Борик¹, В.Т. Бублик², Т.В. Волкова³, А.В. Кулебякин¹, Е.Е. Ломонова¹,
Ф.О. Милович², В.А. Мызина¹, В.В. Осико¹, П.А. Рябочкина³,
Н.Ю. Табачкова²

¹*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

²*Национальный исследовательский технологический университет
“МИСиС”, Москва*

³*Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н.П.Огарева, Саранск*

E-mail: kulebyakin@lst.gpi.ru

Кристаллы на основе диоксида циркония известны тем, что обладают уникальным сочетанием физико-химических свойств, благодаря чему являются весьма перспективным материалом для широкой области применений. В качестве конструкционного материала используют частично стабилизированный диоксид циркония (ЧСЦ), обладающий высокими прочностными характеристиками. Для таких материалов важна стабильность свойств при разных режимах эксплуатации.

В настоящей работе представлены результаты исследования влияния термообработки в разных средах на кристаллы ЧСЦ, легированные совместно ионами церия и неодима. Ранее было показано, что добавление к системе $ZrO_2 - Y_2O_3$ оксида церия и неодима может существенно улучшать механические свойства кристаллов, такие как микротвердость и трещиностойкость. Отмечено, что фазовый состав и свойства кристаллов зависят как от концентрации стабилизирующего оксида иттрия, так и от концентрации легирующих примесей. Поскольку ион церия имеет переменную валентность, то переход оксида церия из 3-х валентного в 4-х валентное состояние при отжиге на воздухе приводит к уменьшению его ионного радиуса и сокращает число кислородных вакансий, необходимых для зарядовой компенсации Ce^{3+} . В этом случае, при малых концентрациях стабилизирующего оксида иттрия (≈ 2 мол.%) плотность кристаллов снижается, ухудшаются механические характеристики материала, что обусловлено появлением моноклинной фазы в кристалле. При отжиге в вакууме плотность увеличивается и в кристаллах присутствует только тетрагональная фаза, о чем свидетельствуют данные по спектроскопии комбинационного рассеяния. Показано, что совместное легирование церием и неодимом помогает избежать появления моноклинной фазы даже при малых концентрациях оксида иттрия.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 13-02-12051 офи_м и Президиума РАН по программе фундаментальных исследований №1 "Наноструктуры: физика, химия, биология, основы технологий"

СИНТЕЗ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ГИБРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ Eu В СТЕКЛЯННЫХ МАТРИЦАХ

М.О. Анурова, А.В. Хомяков, О.Б. Петрова, И.В. Тайдаков

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

E-mail: maria_anurova93@mail.ru

Гибридные материалы (ГМ) на основе металлоорганических люминофоров и неорганических стекол могут оказаться перспективными материалами для создания новых светоизлучающих устройств [1]. ГМ синтезировали путем проведения высокотемпературной гетерофазной реакции, в качестве люминофора использовали комплекс три (4,4,4-трифторо-1-(2нафтил) бутан-1,3-дионато-(1,10-фенонтролин) европия (EuNaphphen), в качестве стеклообразных матриц – оксид бора разной степени обезвоживания и легкоплавкое оксифторидное стекло состава $80\text{PbF}_2\text{-}20\text{B}_2\text{O}_3$. Все полученные ГМ представляли собой стекловидные пластины и демонстрировали фотолюминесценцию (PL) различной интенсивности в интервале цветов свечения от красного до зеленого при возбуждении диодом с длиной волны 377 нм.

На спектре PL ГМ на основе проплавленного оксида бора присутствуют только полосы, соответствующие энергетическим переходам иона Eu^{3+} ($\lambda_{\text{max}}=611$ нм), при этом спектр близок к спектру порошкового препарата EuNaphphen. В ГМ, полученных на основе непроплавленного оксида бора, наблюдается широкая полоса люминесценции в зеленой области спектра ($\lambda_{\text{max}}=503$ нм). В ГМ на основе свинцового фтороборатного стекла широкая полоса PL ($\lambda_{\text{max}}=480$ нм) оказывается значительно более интенсивной, чем узкие линии, связанные с Eu^{3+} . Можно предположить, что в стеклянной матрице происходит гетерофазная обменная реакция. При этом ионы Eu^{3+} переходят в неорганическое окружение, что приводит к снижению интенсивности их люминесценции до типичной для стекол, активированных Eu^{3+} , а лиганды частично связываются в комплексы со свинцом [2], обладающие более интенсивной люминесценцией. Таким образом, возможно формирование новых люминесцентных материалов путем проведения обменной гетерофазной реакции между компонентами стеклокристаллической матрицы и металлоорганическими координационными соединениями без использования растворителей в неокислительной атмосфере.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, грант № 14-13-01074.

1. R. Avetisov, O. Petrova, A. Khomyakov et al., J. Crystal Growth. **401**, 449 (2014).
2. F. Marandi, R. Rutvand, M. Rafiee et al., Inorg. Chim. Acta. **363**, 4000 (2010).

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И СПЕКТРАЛЬНО-
ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ ЧАСТИЧНО
СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ,
ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ Eu^{3+}

Т.В. Волкова¹, М.А. Борик², А.В. Кулебякин², Е.Е. Ломонова²,
В.А. Мызина², П.А. Рябочкина¹, А.Н. Чабушкин¹, Д.В. Мягков¹

¹Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарёва, Саранск

²Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва

E-mail: sendboxvv@mail.ru

Исследованию спектрально-люминесцентных характеристик твердых растворов $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-Eu}_2\text{O}_3$ с тетрагональной и кубической структурой посвящено значительное количество научных публикаций [1-4]. Однако использование кристаллов на основе диоксида циркония, легированных редкоземельными ионами, в практических приложениях по-прежнему привлекает к ним большой интерес исследователей.

В настоящей работе исследованы спектрально-люминесцентные характеристики кристаллов составов 97.2 мол.% ZrO_2 –2.7 мол.% Y_2O_3 –0.1 мол.% Eu_2O_3 , 96.3 мол.% ZrO_2 –3.6 мол.% Y_2O_3 –0.1 мол.% Eu_2O_3 , 91.8 мол.% ZrO_2 –8 мол.% Y_2O_3 –0.1 мол.% Eu_2O_3 , 85.9 мол.% ZrO_2 –14 мол.% Y_2O_3 –0.1 мол.% Eu_2O_3 , синтезированных методом направленной кристаллизации расплава с использованием прямого индуцированного нагрева в холодном тигле.

При исследовании данных кристаллов методом спектроскопии комбинационного рассеяния в их спектрах выявлены особенности, которые не наблюдались ранее в спектрах КРС кристаллов ZrO_2 , стабилизированных Y_2O_3 с примесями ионов Nd^{3+} и Yb^{3+} .

С помощью селективной лазерной спектроскопии показано, что выявленные особенности в спектрах КРС кристаллов 97.2 мол.% ZrO_2 –2.7 мол.% Y_2O_3 –0.1 мол.% Eu_2O_3 , 96.3 мол.% ZrO_2 –3.6 мол.% Y_2O_3 –0.1 мол.% Eu_2O_3 , 91.8 мол.% ZrO_2 –8 мол.% Y_2O_3 –0.1 мол.% Eu_2O_3 , 85.9 мол.% ZrO_2 –14 мол.% Y_2O_3 –0.1 мол.% Eu_2O_3 обусловлены наличием в них оптических центров ионов Eu^{3+} , аналогичных по кристаллографическому окружению примесным центрам ионов Eu^{3+} в структуре $\text{Y}_2\text{O}_3\text{:Eu}$.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ офи_м, № проекта 13-02-051.

1. J. Dexpert-Ghys, M. Faucher, P. Caro, Journal of Solid State Chemistry **54**, 179 (1984).
2. H. Yugami, A. Koike, M. Ishigame, Phys. Rev. **44**, 9214 (1991).
3. Ю.К. Воронько, М.А. Зуфаров, А.А. Соболев, Л.И. Цымбал, Оптика и спектроскопия **81**, 814 (1996).
4. Ю.К. Воронько, М.А. Зуфаров, А.А. Соболев, С.Н. Ушаков, Л.И. Цымбал, Неорганические материалы **33**, 452 (1997).

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ САМАРИЕВЫХ ДВОЙНЫХ ОРТОБОРАТОВ СО СТРУКТУРНЫМ ТИПОМ ХАНТИТА

Е.А. Добрецова¹, К.Н. Болдырев¹, Д.А. Ерофеев¹
¹*Институт спектроскопии РАН, Москва, Троицк*
E-mail: elena-dobrecova@yandex.ru

Нами был рассмотрен ряд самариевых двойных ортоборатов с различными M -катионами ($M = \text{Al}, \text{Cr}, \text{Fe}, \text{Ga}$). Известно, что кристаллы $\text{YAl}_3(\text{BO}_3)_4:\text{Sm}^{3+}$ проявляют хорошие флюоресцентные свойства в видимой и ближней инфракрасной области. Ион Sm^{3+} особо чувствителен к энергетическим переходам, поскольку его возбужденный уровень $^4G_{5/2}$ имеет довольно высокую квантовую эффективность и малое концентрационное тушение люминесценции [1]. Исследования редкоземельных галлиевых боратов показали, что они схожи с алюмоборатами по структурным и физическим свойствам.

Особый интерес представляют бораты с магнитными M -катионами, такими как Fe и Cr. В структуре этих соединений присутствуют две магнитные подсистемы (R и M -катионов), причем обменное взаимодействие в системе железа (хрома) носит квазиодномерный характер. В $\text{SmFe}_3(\text{BO}_3)_4$ наблюдается спонтанная поляризация [2] и большой магнитоэлектрический эффект, максимальное значение которого достигает -520 мкКл/м² при $V = 50$ кЭ [3]. В [4] опубликованы результаты исследования кристаллов $\text{SmCr}_3(\text{BO}_3)_4$, как номинального состава, так и легированного 1% эрбия. Установлено, что самариевый хромовый борат испытывает каскад фазовых переходов при температурах $T_1 = 7.8 \pm 0.5$ К, $T_2 = 6.7 \pm 0.5$ К и $T_3 = 4.3 \pm 0.2$ К, связанных с упорядочением подсистемы хрома и спин-переориентацией магнитного момента хрома.

В настоящей работе исследована штарковская структура энергетическим уровнем Sm^{3+} в самариевых двойных ортоборатах с различными M -катионами ($M = \text{Al}, \text{Cr}, \text{Fe}, \text{Ga}$). Эти данные позволят предсказать ранее не открытые свойства соединений с использованием теоретических моделей.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант РНФ № 14-12-01033) и стипендии Президента РФ (СП-754.2015.1)

1. I. Kebaili, M. Dammak, J. Lum. **132**, 2092 (2012).
2. Ю. Ф. Попов, А.П. Пятаков, А.М. Кадомцева и др., ЖТЭФ **138**, 226 (2010).
3. А.А. Мухин, Г.П. Воробьев, В.Ю. Иванов и др., Письма в ЖЭТФ **93**(5), 305 (2011).
4. К. Н. Болдырев, Е. А. Добрецова, С. Ю. Гаврилкин и др., Вестник НИЯУ «МИФИ» **3**(4), 484 (2014).

СИНТЕЗ ЛЮМИНОФОРОВ НА ОСНОВЕ $\text{SrF}_2:\text{Yb}:\text{Er}$ и $\text{SrF}_2:\text{Yb}:\text{Tm}$

А.М. Пак^{1,2}, Ю.А. Рожнова², С.В. Кузнецов²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

²Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва

E-mail: alexunnipark@gmail.com

Неорганические фториды, а в особенности фториды щелочных и щелочноземельных металлов, в течение последних нескольких лет являются предметом активных исследований. Такой интерес обуславливается уникальными физико-химическими свойствами этих соединений, которые во многом превосходят свойства аналогичных халькогенидов и хлоридов.

Фториды нашли свое применение во многих областях науки и техники. Одним из наиболее перспективных и относительно новых направлений является исследование ап-конверсионных люминофоров, позволяющих переводить ближнее инфракрасное излучение накачки в видимый диапазон света. Важно также отметить возможность использования таких люминофоров для получения источников белого света.

Целью настоящей работы является разработка методики синтеза порошков фторида стронция, легированного сочетаниями $\text{Yb}^{3+}:\text{Er}^{3+}$ и $\text{Yb}^{3+}:\text{Tm}^{3+}$, а также их физико-химическая и люминесцентная характеристика.

В работе использовался метод соосаждения из водных растворов: производилось по капельному добавлению раствора нитратов стронция и РЗЭ (0,08 М) к раствору фторида аммония (0,16 М), взятого в 7% и 114% избытке. В результате были синтезированы образцы составов $\text{Sr}_{1-x-y}\text{Yb}_x\text{Er}_y\text{F}_{2+x+y}$ и $\text{Sr}_{1-x-y}\text{Yb}_x\text{Tm}_y\text{F}_{2+x+y}$ с различным содержанием РЗЭ.

По данным рентгенофазового анализа было определено, что все образцы являются однофазными с гранцентрированной кубической решеткой (структурный тип флюорита), а также были рассчитаны параметры решетки и размер областей когерентного рассеяния.

По данным дифференциальной сканирующей калориметрии были определены режимы термообработки (более 400 °С) и размеры частиц до и после термообработки методом сканирующей электронной микроскопии.

Для термообработанных образцов при накачке на длине волны 974 нм были зарегистрированы спектры люминесценции, рассчитаны координаты цветности, которые были нанесены на диаграмму цветности МКО.

В результате работы была отработана методика синтеза и охарактеризованы порошки люминофоров $\text{Sr}_{1-x-y}\text{Yb}_x\text{Er}_y\text{F}_{2+x+y}$ и $\text{Sr}_{1-x-y}\text{Yb}_x\text{Tm}_y\text{F}_{2+x+y}$ для широкого круга применений в фотонике.

ПИРОГИДРОЛИТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СЛОЖНЫХ БОРАТОВ
 $\text{Ln}_{14}\text{O}_8(\text{GeO}_4)_2(\text{VO}_3)_6$ – ОСНОВЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЮМИНОФОРОВ
ШИРОКОГО СПЕКТРА (ОТ ИК- ДО УФ-ОБЛАСТИ)

В.А. Крутько¹, М.Г. Комова¹, Д.И. Поминова², А.В. Попов²

¹*Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН,
Москва*

²*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва
E-mail: kroutko@igic.ras.ru*

Германатобораты состава $\text{Ln}_{14}\text{O}_8(\text{GeO}_4)_2(\text{VO}_3)_6$, где Ln – Gd₁₄ и La_xGd_{14-x} – смешаноанионные химически и термостойкие соединения, которые кристаллизуются в тригональной сингонии (пр.гр. R3₁) и имеют нецентросимметричное строение. Сложные бораты La_xGd_{14-x}Ge₂B₆O₃₄, активированные ионами Eu³⁺ (5,15,20 ат.%) – эффективные многоцентровые красные люминофоры, как в кристаллическом, так и стеклообразном состоянии [1]. Допированные ионами Nd³⁺, Yb³⁺, Er³⁺ и Tm³⁺, Ln₁₄Ge₂B₆O₃₄ (Ln – Gd, La_xGd_{14-x}) – люминофоры видимого и ИК диапазонов [2,3].

Как правило, сложные бораты синтезируют методом твердофазного взаимодействия [1-3], при этом в конечном продукте могут присутствовать неконтролируемые примеси ортоборатов R3Э. В работе показана возможность получения люминофоров Gd₁₄Ge₂B₆O₃₄:Nd и La_xGd_{14-x}Ge₂B₆O₃₄:Yb:Er (где x=3,4) без посторонних примесей методом горения. Зарегистрированы спектры люминесценции ионов Nd³⁺ на электронном переходе ⁴F_{3/2}–⁴I_{9/2} в Gd_{13,02}Nd_{0,98}B₆GeO₃₄, а также спектр ап-конверсионной люминесценции бората La_{3,16}Gd₁₀Yb_{0,7}Er_{0,14}Ge₂B₆O₃₄ (Рис.1.)

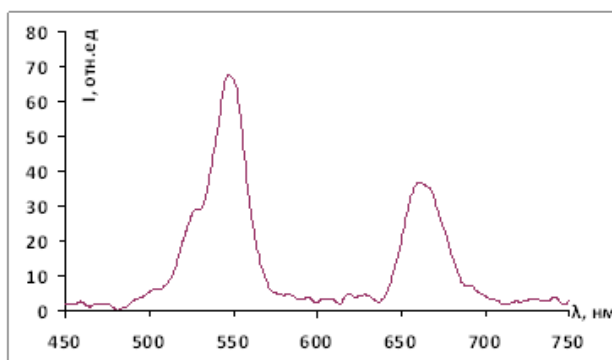


Рис.1

Авторы благодарны РФФИ за финансовую поддержку (грант №15-08-08467).

1. В.А. Крутько, Г.В. Лысанова, В.И. Бурков и др., Неорган. матер. **38**, 1364 (2002).
2. А.В. Попов, А.В. Рябова, М.Г. Комова и др., Квант. электроника. **40**, 1097 (2010).
3. A. Ryabova, D. Pominova, V. Krut'ko et al., Photonics & Lasers in Med. **2**, 117 (2013).

СТРОЕНИЕ ПИРОСИЛИКАТОВ ГАДОЛИНИЯ И ЛЮТЕЦИЯ
В КРИСТАЛЛИЧЕСКОМ И РАСПЛАВЛЕННОМ СОСТОЯНИЯХ:
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДАМИ СПЕКТРОСКОПИИ КРС

А.А. Соболев¹, В.Е. Шукшин¹, Ю.К. Воронько¹, Я.В. Герасимов²

¹Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г. Москва, Россия

²Институт сициллиационных материалов НАН Украины, г. Харьков,
Украина

E-mail: shukshinve@lst.gpi.ru

Пиросиликаты редкоземельных элементов, такие как $\text{Lu}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ и $\text{Gd}_2\text{Si}_2\text{O}_7$, активированные ионами Ce^{3+} , находят применение как детекторы ионизирующего излучения. Целью настоящей работы являлось получение информации об особенностях структуры и её трансформации в процессе фазовых превращений ряда пиросиликатов РЗЭ с помощью методов спектроскопии КРС, в том числе при высоких температурах.

Исследованы колебательные спектры разных структурных типов пиросиликатов редкоземельных элементов. Установлено, что фазовый переход из структуры А в структуру F в $\text{Gd}_2\text{Si}_2\text{O}_7:\text{La}$ (11 моль%) происходит в интервале температур 1 723 – 1 773 К и в нашем эксперименте растянут по времени до 40 мин.

Впервые идентифицированы полный набор и симметрия как внутренних колебаний $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ -аниона, так и колебаний кристаллической решётки в монокристаллах пиросиликата лютеция. Для этого были проведены детальные исследования поляризованных спектров КРС этого соединения в широком (20 – 1500 К) интервале температур. Исследованы спектры КРС пиросиликата лютеция в областях температур, предшествующих плавлению, соответствующих расплавленному состоянию и перегретому расплаву до 2 173 К. Обнаружен эффект сильного испарения оксида кремния из расплавленного пиросиликата лютеция.

Идентифицирована природа дефектных включений в монокристаллах пиросиликата лютеция. Обнаружено, что объём монокристалла $\text{Lu}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ перпендикулярно плоскости спайности разделён на пластины шириной около 1 мм, появление которых связано с явлением двойникования. Границы между двойниками декорируются включениями из микрокристаллитов со структурой Lu_2SiO_5 .

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-02-00707 а.

УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ: МОДИФИЦИРОВАНИЕ, НОВЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Е.С. Климов¹, В.А. Сергеев²

¹Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск

²Ульяновский филиал института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук, г. Ульяновск

E-mail: eugen1947@mail.ru

Кроме фуллерена и графена углерод может образовывать и так называемые углеродные нанотрубки, имеющие внутренние каналы. Впервые их охарактеризовал Сумио Ииджима при исследовании осадка, образующегося на катоде при распылении графита в электрической дуге. В углеродных нанотрубках связь между углеродными атомами имеет в основном sp^2 -характер. Идеальная одностенная нанотрубка представляет собой свернутую в цилиндр графеновую плоскость, поверхность которой выложена правильными шестиугольниками, в вершинах которых расположены атомы углерода. Углеродные нанотрубки могут содержать не одну, а несколько стенок. Такие трубки называются многостенными (МУНТ). Они отличаются от одностенных широким разнообразием форм и конфигураций.

Углеродные нанотрубки стоят в ряду наиболее перспективных наноматериалов благодаря своим уникальным свойствам, обеспечивающим возможность их применения в различных областях науки и техники. Введение нескольких процентов (или долей процента) наноуглеродных структур в полимеры позволяет создать новые композиционные материалы с улучшенными механическими и электрофизическими свойствами.

Синтез многостенных углеродных нанотрубок проводили в токе аргона методом химического осаждения из паровой фазы с использованием металлоорганических соединений (метод МОСVD) на разработанной нами экспериментальной установке. В качестве прекурсоров использовали толуол и ферроцен [1].

Исходные МУНТ обрабатывали в металлическом гомогенизаторе для получения мелкодисперсного продукта. Для приготовления образцов проводили ультразвуковую обработку (лабораторная установка погружного типа «ИЛ 100-6/4», частота 22 кГц) в изопропиловом спирте с последующим высушиванием при 100 °С в течение 6 ч.

Углеродные нанотрубки химически инертны вследствие сильного сопряжения электронов в sp^2 -гибридизированной конденсированной ароматической системе. Это сопряжение значительно понижает химическую реакционную способность системы. Энергия ароматизации (резонанса) на одно бензольное кольцо составляет около 150 кДж/моль, однако это значение не увеличивается кратно при конденсировании 2 колец (нафталин – 225 кДж/моль), или образовании 3-членных структур (антрацен и фенантрен 350 и 385 кДж/моль).

Для придания МУНТ технологических свойств их модифицируют различными способами. Наиболее распространенными являются термообработка на воздухе (отжиг) и химическая обработка кислотами [2].

При термообработке (450 °С, 40 мин) вскрываются закрытые торцы трубок и происходит их разлом на дефектах решетки. При синтезе МУНТ катализатором является ферроцен – железосодержащее соединение. Поэтому, при отжиге образуется оксид железа, который удаляется обработкой соляной кислотой.

Широко развито модифицирование нанотрубок обработкой сильными кислотами при нагревании. Мы проводили функционализацию МУНТ обработкой смесью концентрированных серной и азотной кислот в объемном соотношении (3:1) при 90 °С в течение 70 мин.

При окислительной функционализации на поверхности МУНТ прививаются полярные группы (-ОН, -С=О, -СООН). Процесс контролируется по максимальному накоплению карбоксильных групп (потенциометрическое титрование) на поверхности трубок (рис. 1, 2). Массовая доля карбоксильных групп, привитых к поверхности, составила 4.0 % (ф-МУНТ).

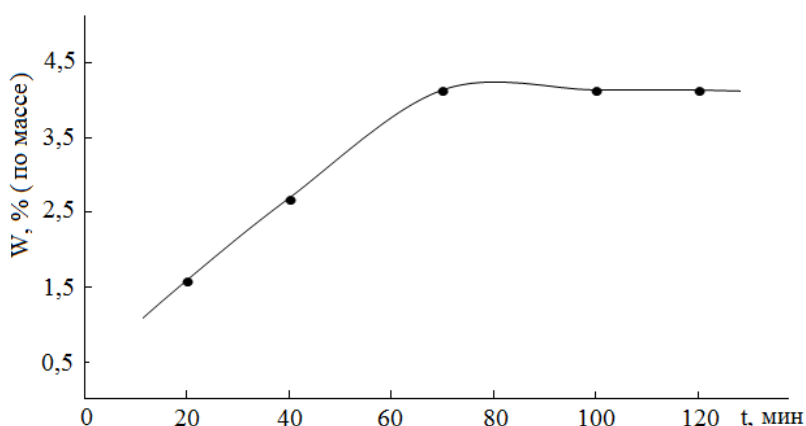


Рис. 1. Содержание карбоксильных групп (W, % масс.) в МУНТ в зависимости от времени функционализации

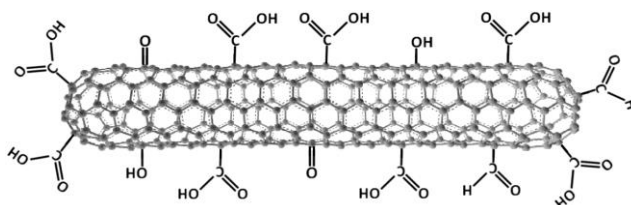


Рис. 2. Схематическое изображение функционализированных МУНТ

Для идентификации функциональных групп использовали метод ИК-спектроскопии. В спектрах исходных МУНТ наблюдается широкая полоса поглощения в области 3000 – 3700 см⁻¹ (колебания гидроксильных групп

абсорбированной воды). Полосы поглощения 2921, 2851 cm^{-1} относятся к колебаниям С–Н групп, полоса 1600 cm^{-1} характерна для связи С=С углеродного скелета нанотрубок. После функционализации эти полосы сохраняются и появляются новые пики 1653, 1700, 1734 cm^{-1} , соответствующие колебаниям связи С=О. Небольшая интенсивность новых пиков поглощения связана с большой поверхностью МУНТ относительно привитых групп (рис. 3).

Наличие множества узких линий поглощения в ИК-спектрах связано, вероятно, с проявлением колебаний адсорбированных на поверхности нанотрубок молекул газа из воздуха.

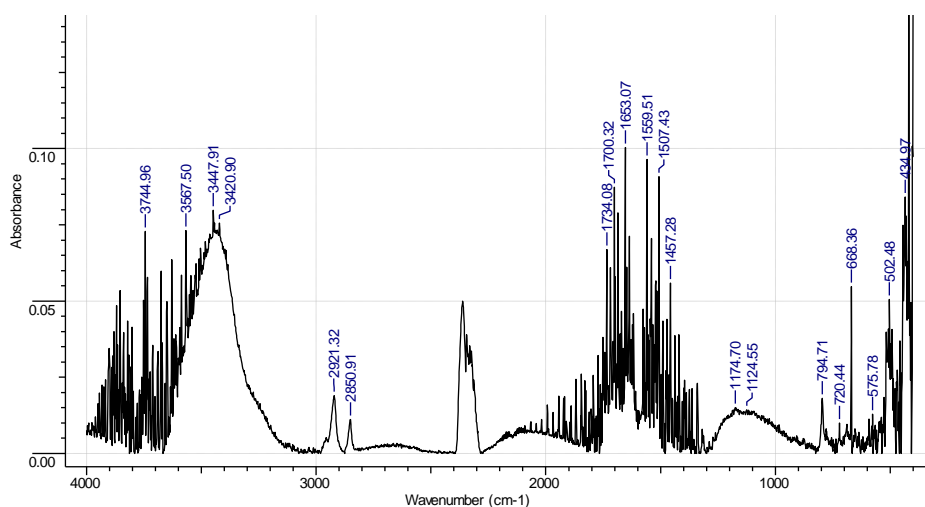


Рис. 3. ИК-спектр МУНТ после обработки смесью серной и азотной кислот (IRAffinity-1)

Механизм образования ковалентной химической связи между углеродом карбонильной и карбоксильной групп с углеродом поверхности МУНТ в настоящее время не описан, поскольку образование связи возможно только при разрушении решетки МУНТ. Есть основания предполагать, что связь образуется на дефектах трубки с уже разорванными химическими связями.

Наличие дефектов в МУНТ хорошо проявляется в спектрах комбинационного рассеяния (рис. 4). Спектры комбинационного рассеяния имеют характерные особенности [3]. В спектре отчетливо проявляется линия G с частотами 1597 и 1617 cm^{-1} , соответствующая колебаниям sp^2 -гибридизированного углерода в графеновых слоях. Линия G расщепляется на две, что является характерным признаком многостенных трубок. Сильная линия D на 1316 cm^{-1} и ее вторая гармоника 2D на 2623 cm^{-1} указывает на наличие дефектов в нанотрубках. Большая интенсивность D, сравнимая с G, также характерна для МУНТ.

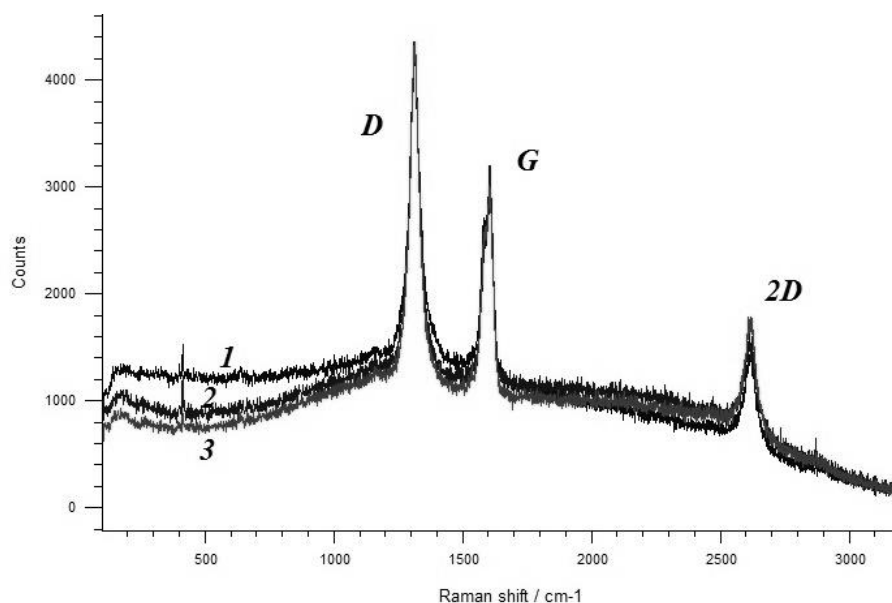


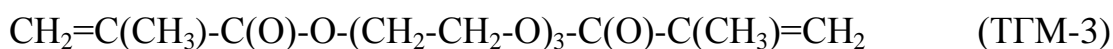
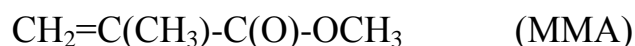
Рис. 4. Спектры комбинационного рассеяния МУНТ: 1 – исходные; 2 – после отжига и обработки соляной кислотой; 3 – после обработки смесью азотной и серной кислот (система Renishaw in Via)

Обращает на себя внимание тот факт, что при различных видах обработки трубок (отжиг, обработка кислотами) количество дефектов практически не меняется, что свидетельствует в пользу того, что химическая связь при функционализации образуется на уже имеющихся изначально дефектах.

Наиболее перспективными для диспергирования углеродных нанотрубок в акриловые мономеры являются МУНТ, функционализированные смесью азотной и серной кислот. В этом случае полярные карбоксильные группы обеспечивают совместимость с мономером и матрицей полимера.

При синтезе полимерных композитов в качестве термоинициатора наиболее удобен динитрил азо-изомасляной кислоты (ДАК). Его преимущество заключается в более низкой (50-70 °С) температурой распада по сравнению с пероксидами (80-130 °С). При распаде ДАК образуется молекулярный азот и цианизопропильный радикал $(\text{CH}_3)_2\text{CN}\cdot$, ведущий процесс полимеризации.

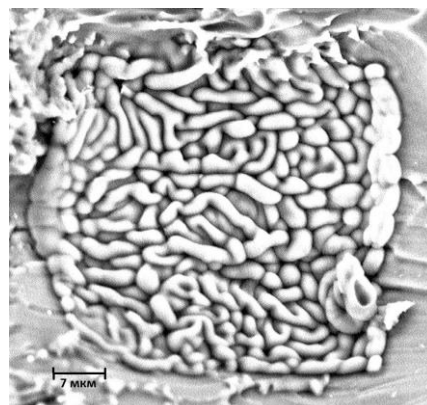
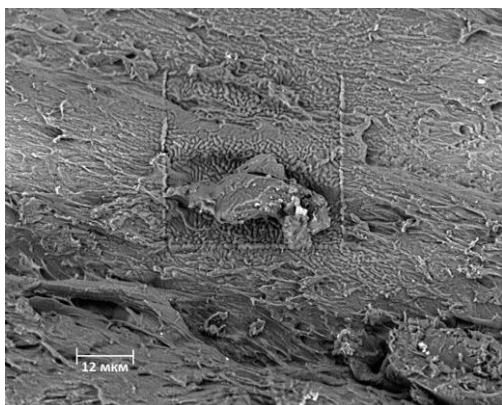
В качестве мономеров использовали метилметакрилат (ММА) и диметакрилат триэтиленгликоля (ТГМ-3):



Значительной проблемой при использовании МУНТ является образование агломератов, что затрудняет их равномерное распределение при введении в различные матрицы. Для получения устойчивой дисперсионной среды в мономере (ММА) использовали растворы порошка

полимера ПММА в собственном мономере и ультразвуковое воздействие (30-60 с). Концентрация ДАК для получения полимерных стекол составляет 0.5 %. Время отверждения при 50-70 °С в течение 3 ч.

При изучении структуры полимерных композитов на основе ПММА и МУНТ с помощью сканирующего электронного микроскопа нами обнаружен уникальный эффект структурирования полимерной матрицы под действием пучка электронов от микроскопа (Phenom pro X, ускоряющее напряжение 5, 10 кВ), рис. 5.



а)

б)

Рис. 5. Структурирование полимерной матрицы: а) исходный ПММА с МУНТ 0.005 %; б) структурирование ПММА

Для изучения систем с МУНТ возможно использование различных матриц. Изучались спектры оптического пропускания дисперсий МУНТ в бисфенол-А эпоксивинилэфирной смоле. Сравнение спектров показывает, что для нанотрубок после отжига на воздухе и обработки соляной кислотой пропускание излучения на порядок больше, чем для той же концентрации исходных МУНТ.

За помощь, оказанную при съемке спектров комбинационного рассеяния благодарим сотрудников Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского д.х.н. Горина Д.А. и к.ф.-м.н. Браташова Д.П.

1. Е.С. Климов, М.В. Бузаева, О.А.Давыдова и др., ЖПХ **87**, 1128 (2014).
2. Е.С. Климов, М.В. Бузаева, О.А.Давыдова и др., БХЖ, **21**, 109 (2014).
3. М.М. Rahman, Natural Science **3**, 208 (2011).

ПОРОШКИ ФТОРИДОВ $M_{1-x}R_xF_{2+x}$, RF_3 И $NaRF_4$ ($M=Ca, Sr, Ba$; $R - PЗЭ$)
ДЛЯ ФОТониКИ

С.В. Кузнецов¹, Ю.А. Рожнова¹, М.Н. Маякова¹, Д.С. Ясыркина¹,
А.М. Пак^{1,2}, Р.Г. Вахренев^{1,2}, В.В. Воронов¹, А.В. Рябова¹, Д.В. Поминова¹,
А.А. Лугинина³, А.Е. Баранчиков⁴, В.К. Иванов⁴, П.П. Федоров¹

¹Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва

³Всероссийский институт научной и технической информации РАН,
Москва

⁴Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН,
Москва

E-mail: kouznetzovsv@gmail.com

Неорганические нанофториды являются уникальным классом веществ для применения в фотонике. В настоящее время широко обсуждается применение нанофторидов для нужд солнечной энергетики для увеличения КПД солнечных батарей, для медицины за счет ап-конверсионной передачи энергии накачки из ближней инфракрасной области спектра в видимый диапазон спектра и для создания высокотемпературных электрохимических устройств. Целью данной работы являлись синтез порошков неорганических фторидов широкого круга составов и анализ эффективности различных фторидных матриц применительно к использованию их в качестве ап-конверсионных люминофоров.

Порошки фторидов были синтезированы методом соосаждения из водных растворов при варьировании различных условий синтеза: тип фторирующего агента (HF , NaF , NH_4F), порядок смешения реагентов, использование органических модификаторов и концентраций исходных веществ. В работе представлены результаты по отработке методик синтеза нанопорошков $NaRF_4:Yb:Er$ ($R=Gd, Y, Lu$), $CaF_2:Yb:Er$, $SrF_2:Yb:Er$ и $LaF_3:Yb:Er$. Для систем $LaF_3-NaGdF_4$, $NaGdF_4-NaLuF_4$, $NaYF_4-NaLuF_4$, CaF_2-YF_3 , SrF_2-YF_3 определены области существования однофазных твердых растворов. Проведен анализ зависимости энергетического выхода ап-конверсионной люминесценции от концентрации иттербия и эрбия для различных матриц ($NaYF_4:Yb:Er$ – кубическая фаза), $CaF_2:Yb:Er$, $SrF_2:Yb:Er$ и $LaF_3:Yb:Er$). Определены перспективные составы и показано, что существуют несколько областей составов с высокими величинами ап-конверсионной люминесценции.

Для образцов $SrF_2:Yb:Er:Tm$ и $(SrF_2:Yb:Er+ SrF_2:Yb:Tm)$ определены области составов и плотности мощности накачки для получения люминофоров, координаты цветности которых близки к белому свету.

При конъюгации фотосенсибилизатора и полиэтиленimina к наночастицам $NaYF_4:Yb:Er$ продемонстрирована генерация синглетного кислорода и его фотодинамическая активность.

Работа поддержана грантами МК-3133-2014-2, РФФИ-13-02-12162-офи-м, РФФИ-15-32-21152.

СПЕКТРЫ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННОГО ФИЛЬТРА С ЗЕРКАЛАМИ, РАЗДЕЛЕННЫМИ СЛОЕМ НАНОКОМПОЗИТА С РЕЗОНАНСНОЙ ДИСПЕРСИЕЙ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ

С.Г. Моисеев, В.А. Остаточников

Ульяновский государственный университет, Ульяновск

E-mail: ost.vld@yandex.ru

Дисперсия показателя преломления n_{nk} металл-диэлектрических нанокompозитов (НК) имеет резонансный характер в оптической области спектра, что отражается на спектральных характеристиках структур, частью которых они являются. При совпадении области резонанса с фотонной запрещенной зоной одномерного интерференционного фильтра (ИФ), наблюдается расщепление области пропускания. В работе [1] предлагалось для прогнозирования положение областей пропускания в фотонной запрещенной зоне условие резонанса Фабри-Перо:

$$\lambda m_{od} / 2L_d = n_d,$$

где n_d и L_d – показатель преломления дефектного слоя между зеркалами на соответствующей длине волны, $m=(1, 2, \dots)$ – порядок интерференции. Однако, использование условие Фабри-Перо дает приемлемую точность только при малых отклонениях показателя преломления

$$N = (n_{nk} - n_d) / n_d.$$

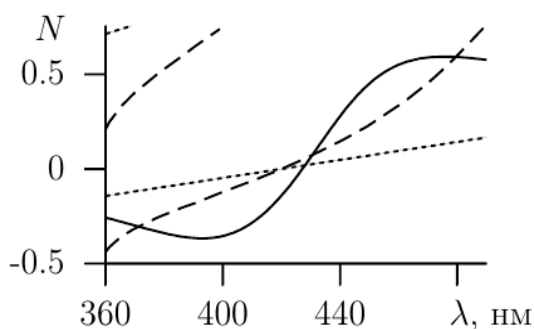


Рис.1

На рис. 1. показаны дисперсия показателя преломления НК (сплошные) при объемной доле металла 10% и радиусе наночастиц 2 нм, моды резонатора Фабри-Перро (пунктир), изменение положения максимумов пропускания ИФ без слоев НК (штрих) при изменении длины волны. Пересечения кривых дисперсии показателя преломления нанокompозита и зависимостей максимумов пропускания ИФ дают возможность определить длины волн на которых будет наблюдаться снижение отражения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 14.Z50.31.0015 и ГЗ № 3.2202.2014/К).

1. С. Я. Ветров, А. Ю. Авдеева, И. В. Тимофеев. ЖЭТФ **140(5):871–878**, 2011.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТРУКТУРАХ «КРЕМНИЙ НА МОЛИБДЕНЕ»

М.А. Бакулин¹, К.Н. Нищев¹, М.И. Новопольцев¹, В.А. Мартыненко²
¹Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск
²ОАО «Электровыпрямитель», Саранск

E-mail: bakulinma@yandex.ru

Исследованию термических напряжений в многослойных структурах, в том числе полупроводниковых, посвящено значительное количество работ, например [1-3].

В настоящей работе методом математического моделирования исследовались термомеханические напряжения в структуре «кремний на молибдене» (КНМ), представляющей собой систему трех жестко соединенных слоев в виде дисков диаметром 56 мм. Верхний кремниевый и нижний молибденовый диски имели фиксированные толщины 1,1 и 2 мм соответственно. Состав, толщина и физические характеристики промежуточного слоя, соединяющего кремниевый и молибденовый диски, варьировались. Расчеты проводились методом конечных элементов для соединений по стандартной технологии сплавления силумином и по технологии низкотемпературного спекания серебрясодержащих паст. Для математического моделирования использовался программный комплекс ANSYS.

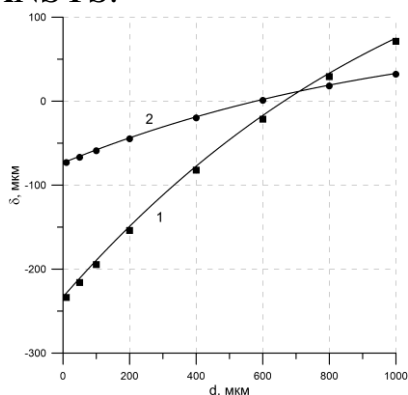


Рис. 1. Зависимость прогиба структуры КНМ от толщины промежуточного слоя: 1 – силумина, 2 – серебра. Сплошные линии – результаты расчета по формулам [1] для дисков бесконечного диаметра

На рис. 1 представлены рассчитанные нами зависимости прогиба структуры КНМ (возникающего при ее охлаждении от температуры процесса соединения до комнатной) от толщины промежуточного слоя.

Из графиков следует, что при малых значениях толщин промежуточного слоя с ростом толщины слоя прогиб уменьшается. При определенных толщинах слоев силумина (680 мкм) и серебра (590 мкм) прогиб структуры КНМ принимает нулевое значение. При этом соединяемые поверхности кремния и молибдена становятся практически плоскими. При дальнейшем увеличении толщины промежуточного слоя прогиб структуры КНМ изменяет знак и растет практически линейно.

1. M. Vasudevan, W. Johnson, Appl. Sci. Res. Section B **9**, 420-430 (1961).
2. E. Suhir, Journal of Applied Mechanics, **56**, 595-600 (1989).
3. T. Lackner, Journal of Electronic Materials, **8**(1), 19-24 (1989)

СТРУКТУРА, ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И СПЕКТРАЛЬНО-
ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ЧАСТИЧНО
СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ,
ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ Yb^{3+}

М.А. Борик¹, А.В. Кулебякин¹, Е.Е. Ломонова¹, В.А. Мызина¹, В.В. Осико¹,
П.А. Рябочкина², Н.В. Сидорова², Н.Ю. Табачкова³

¹*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

²*Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарёва, Саранск*

³*Национальный исследовательский технологический университет
«МИСИС», Москва*

E-mail: ya.natalka2112@yandex.ru

Кристаллы диоксида циркония, стабилизированные иттрием, легированные редкоземельными (РЗ) ионами, представляют потенциальный интерес для твердотельных лазеров с полупроводниковой накачкой. Кристаллы диоксида циркония, частично стабилизированные иттрием (ЧСЦ), обладают уникальными механическими свойствами и представляют большой интерес для триботехнических приложений. Физические свойства кристаллов ЧСЦ, легированных РЗ ионами, в настоящее время изучены в меньшей степени по сравнению с кристаллами ЧСЦ без примесей РЗ ионов.

В настоящей работе представлены результаты исследований структуры и фазового состава кристаллов диоксида циркония, частично стабилизированного иттрием с примесью ионов Yb^{3+} ($ZrO_2 - 1$ мол.% $Y_2O_3 - 1.8$ мол.% Yb_2O_3 , $ZrO_2 - 2.5$ мол.% $Y_2O_3 - 0.3$ мол.% Yb_2O_3 , $ZrO_2 - 2$ мол.% $Y_2O_3 - 0.8$ мол.% Yb_2O_3 , $ZrO_2 - 3.4$ мол.% $Y_2O_3 - 1.8$ мол.% Yb_2O_3), методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), рентгенофазового анализа (РФА) и спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС).

Для данных кристаллов получены спектры поглощения ионов Yb^{3+} , а также спектры люминесценции этих ионов при селективном лазерном возбуждении и временном разрешении. На основании анализа данных спектров и их сравнительного анализа с аналогичными спектрами для кристаллов диоксида циркония, стабилизированного иттрием, легированного ионами Yb^{3+} , сделан вывод об основных типах оптических центров ионов Yb^{3+} в кристаллах диоксида циркония, частично стабилизированного иттрием с примесью ионов Yb^{3+} .

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ офи_м, № проекта 13-02-051.

ПРИМЕНЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ МИКРОТОМОГРАФИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

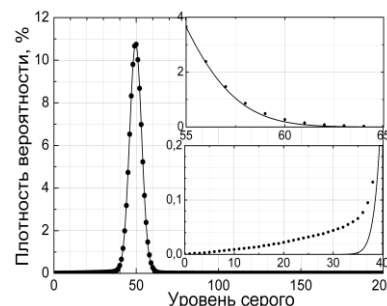
М.В. Демкин, А.В. Стожаров, М.И. Новопольцев, Б.Ф. Мамин, К.Н. Нищев
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск
E-mail: novopol@inbox.ru

Эффективным методом исследования пористой структуры образцов является рентгеновская компьютерная микротомография, в которой по наборам рентгеновских проекций исследуемого образца при его вращении реконструируют его объемное изображение. Современные рентгеновские микротомографы, имеющие разрешение порядка нескольких микрон, позволяют получать объемные изображения рентгеноконтрастных микрообъектов, расположенных внутри исследуемых образцов с размерами, превышающими предел разрешения прибора.

Реконструированное объемное изображение области сканирования исследуемого образца представляет собой набор вокселей с различными значениями уровня серого, соответствующими определенному значению рентгеновской плотности или линейного коэффициента ослабления (ЛКО) его материала. Для визуализации микропор в рентгеновской микротомографии чаще всего используют метод пороговой сегментации [1], в котором выбор порога не всегда является физически обоснованным.

Информация о равномерности распределения нанопор в исследуемом образце может быть получена из анализа формы распределения вокселей по значениям уровня серого. Если исследуемый образец состоит из однородного по рентгеновской плотности материала, содержащего внутри случайно распределенные нанопоры, то измеренная функция распределения вокселей по значениям уровня серого будет иметь форму распределения Гаусса. Причем ширина распределения характеризует равномерность распределения неоднородностей. Наличие микропор приведет к завышенным по отношению к распределению Гаусса значениям на левом склоне измеренной функции распределения, соответствующим объемной доле микропор. Аналогично, по правому склону функции распределения можно определять объемную долю беспористых микрообластей в исследуемом образце.

В настоящей работе данная методика применена для исследования пористости материала теплоотводящих оснований, изготовленных из ММКМ AlSiC, и материала заготовок танталовых электролитических конденсаторов. Эксперименты проводились с использованием рентгеновского микротомографа SkyScan 1172.



1. Sezgin M., Sankur B., Journal of Electronic Imaging, **13**(1), 146-165 (2004).

ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ ТВЕРДЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ НА ОСНОВЕ ZrO_2 ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ ПРИМЕСИ Y_2O_3

М.А.Борик¹, С.И.Бредихин², В.Т. Бублик³, А.В.Кулебякин¹,
И.Е.Курицына², Е.Е.Ломонова¹, Ф.О.Милович³, В.А.Мызина¹,
С.В.Серяков^{1,3}, Н.Ю.Табачкова³

¹*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

²*Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка*

³*Национальный исследовательский технологический университет
«МИСИС», Москва*

E-mail: germes.seyakov@yandex.ru

Кристаллические материалы с высокими механическими характеристиками и повышенной ионной проводимостью представляют значительный интерес, как с научной, так и с практической точки зрения. Актуальность создания таких материалов определяется перспективами их использования в качестве кислородообменных мембран в твердооксидных топливных элементах.

Настоящая работа посвящена разработке новых монокристаллических газонепроницаемых твердых электролитов на основе ZrO_2 и включает в себя: синтез и исследование физико-химических свойств монокристаллов твердых растворов на основе ZrO_2 стабилизированных Y_2O_3 в широком диапазоне составов для выбора оптимизированных составов монокристаллов.

В работе были получены кристаллы $ZrO_2 - (от\ 2\ до\ 12\ мол.\%)\ Y_2O_3$, которые позволили подробно проследить эволюцию структуры и фазового состава в зависимости от концентрации Y_2O_3 . Проведено исследование влияния концентрации Y_2O_3 на ионную проводимость кристаллов на основе ZrO_2 . Показано существование двух максимумов ионной проводимости в области температур 800-900°C для составов $ZrO_2 - 3,2\ мол.\% Y_2O_3$ и $ZrO_2 - 8\ мол.\% Y_2O_3$. Установлено, что влияние концентрации стабилизирующего оксида на величину проводимости в пределах однофазного поля составов во многом определяется внутренней структурой кристалла. Различие в структуре кристаллов для разных концентраций стабилизирующего оксида Y_2O_3 определяется условиями синтеза кристаллов.

Измерение механических свойств показало, что значение трещиностойкости уменьшается с ростом концентрации Y_2O_3 и это связано с уменьшением количества тетрагональной t-фазы.

Мы предполагаем, что проводимость в кристаллах $ZrO_2 - Y_2O_3$ связана со структурой, а изменение механических свойств – с фазовым составом.

НЕСТЕХИОМЕТРИЯ МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ КООРДИНАЦИОННЫХ СОЕДИНЕНИЙ – ВОЗМОЖНО ЛИ ЭТО?

А.А. Аккузина, Р.И. Аветисов, И.В. Тайдаков, А.В. Хомяков,
Е.Н. Можевитина, И.Х. Аветисов

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

E-mail: akkuzina@yandex.ru

Явление нестехиометрии хорошо известно применительно к неорганическим кристаллам при $T > 0$ К. Принято считать, что для органических соединений не свойственно явление нестехиометрии из-за молекулярного строения органических кристаллов.

В данном исследовании нами было изучены свойства кристаллов три-(8-оксихинолята) алюминия (III) (Alq_3) после термической обработки при различных давлениях пара лигандообразующего компонента (P_{Hq}). Alq_3 является известным органическим электролюминофором для OLED устройств, который существует в нескольких полиморфных модификациях. Схема полиморфных переходов в Alq_3 в зависимости от температуры была установлена в [1,2].

Впервые в настоящей работе было показано, что увеличение P_{Hq} приводит к следующим результатам: а) снижается интенсивность фотолюминесценции (ФЛ) при фиксированной $T_{отжига}$; б) уменьшается температура полиморфных переходов и температура плавления; в) наблюдается гипсохромный сдвиг максимума ФЛ от 517 до 508 нм (при $T_{отжига} = 580$ К для α - Alq_3). Все изменения носили обратимый характер, что указывает на термодинамическую природу наблюдаемых эффектов.

Обнаруженный эффект можно объяснить формированием термодинамически равновесной кристаллической структуры, которая в зависимости от P_{Hq} приводила к изменению числа атомов Al при постоянном количестве лигандов в кристаллической структуре. Подтверждением этому являются результаты рентгено-структурного определения параметров кристаллической решетки. При повышении P_{Hq} : объем элементарной ячейки кристалла Alq_3 увеличился с 1046,27 (18) до 1048,31 (16) Å^3 , в то время как рентгенографическая плотность снижалась с 1,458 до 1,455 г/см^3 . Наблюдаемый эффект можно объяснить в терминах нестехиометрии Al в металлокомплексе Alq_3 .

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ 14-13-01074.

1. M. Brinkmann et al., J. Am. Chem. Soc., **122**(21), 5147 (2000)–5157
2. R.I. Avetisov et al., Russian Microelectronics, **43**(8) 526 (2014).

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ
В СИСТЕМАХ $BaF_2:RF_3$ ($R=La, Ce$)
ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

М.Н. Маякова, П.П. Федоров, В.В. Воронов
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва
E-mail: mn.mayakova@gmail.com

В последние годы возрастает интерес к исследованиям нанофторидов. Уникальный набор физико-химических свойств, а также специфические особенности вещества в нанокристаллическом состоянии обуславливают возможности использования нанопорошков фторидов в различных областях науки и техники.

Большое внимание к себе привлекают фтор-ионные проводники как материалы для аккумуляторов нового поколения. Перенос заряда в таких аккумуляторах осуществляется при помощи анионов фтора. Фтор-ионные аккумуляторы имеют ряд преимуществ: высокая плотностью энергии (удельная емкость фтор-ионных аккумуляторов на порядок превышает аналогичную характеристику наиболее употребительных сейчас литий-ионных батарей), эффективная работа при повышенных температурах, пожаро- и взрывобезопасность, низкий саморазряд.

Одними из наиболее перспективных фтор-ионных электролитов являются твердые растворы со структурой флюорита и тисонита в системах $BaF_2:RF_3$ ($R = La, Ce$). Известны высокотемпературные методы синтеза данных материалов (рост монокристаллов, спекание механической смеси компонентов различными способами), однако применение таких методик сопряжено с рядом технологических трудностей.

В данной работе исследовано получение образцов в системах $BaF_2:R$ и $RF_3:Ba$ ($R = La, Ce$) путем соосаждения из нитратных растворов. Были получены образцы во всем концентрационном диапазоне исследуемых систем с варьированием режимов синтеза. Обнаружено, что при изменении условий синтеза резко меняется фазовый состав осадка. Область существования твердых растворов тисонитовой структуры $R_{1-y}Ba_yF_{3-y}$ увеличивается от $y = 0.23-0.21$, характерной для высокотемпературной равновесной фазы до $y = 0.80$ ($La_{0.2}Ba_{0.8}F_{2.2}$). Разработана методика синтеза перспективных составов $R_{0.9}Ba_{0.1}F_{2.9}$ ($R = La, Ce$).

СИНТЕЗ ТОЛСТЫХ ПЛЕНОК НИТРИДА АЛЮМИНИЯ ИЗ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЧИСТЫХ АЛЮМИНИЯ И ХЛОРИСТОГО АММОНИЯ

А.Н. Редькин, М.В. Рыжова, Е.Е. Якимов

Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН, Черноголовка

E-mail: ryzhova@iptm.ru

Плѐнки нитрида алюминия представляют большой интерес для применения в новых поколениях оптоэлектронных устройств, поверхностно-акустических волновых устройствах и пьезоэлектрических ультразвуковых преобразователей благодаря таким свойствам, как твёрдость, высокое электрическое удельное сопротивление, химическая инертность. Для получения плѐнок нитрида алюминия используются методы лазерной абляции, магнетронного распыления [1]. Методы химического синтеза позволяют вырастить плѐнки высокого качества при больших скоростях роста.

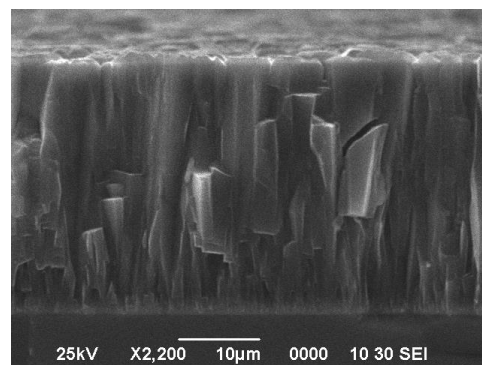


Рис. 1. РЭМ изображение поперечного скола толстой плѐнки AlN

В работе получены плѐнки нитрида алюминия на кремниевых подложках методом газофазного синтеза в трёхзонном кварцевом реакторе, с использованием особо чистого алюминия и хлорида аммония. Данный метод позволяет получать нитрид алюминия дешево, технологически просто с хорошей степенью воспроизводимости.

При синтезе нитрида алюминия наибольший прирост массы наблюдался на подложках, расположенных в начале зоны роста. Было установлено, что наилучший по кристалличности и стехиометрии материал получается в середине высокотемпературной зоны при умеренных скоростях роста (5–50 мкм/час). В зависимости от условий синтеза были получены как толстые плѐнки нитрида алюминия (рис. 1), так и массивы толстых стержней.

Полученные образцы исследовались методами растровой электронной микроскопии (РЭМ), катодолюминесценции, химического микроанализа, комбинационного рассеяния и рентгеновской дифрактометрии. На основании полученных результатов было установлено, что предложенный метод позволяет синтезировать материал, пригодный для изготовления пьезоэлектрических и оптоэлектронных устройств.

1. S. Strite, H. Morkoc, *Journal of Vacuum Science & Technology B* **10**(4), 1237-1266 (1992).

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ МАЛОГО КОЛИЧЕСТВА ПРИМЕСЕЙ В КРИСТАЛЛАХ МЕТОДОМ ОПТИКО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В.А. Лыков, М.А. Фаддеев

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород

E-mail: Vladimir.lyko@gmail.com

Объектами исследования являлись серии кристаллических образцов, выращенных из водных растворов, из раствора в расплаве и выращенных в геле. Цель исследования заключалась в измерении относительного содержания малых примесей, встроенных в кристаллическую структуру.

Количественный элементный анализ проводился оптико-эмиссионным методом на спектрометре с индуктивно связанной плазмой Varian 720-ES. Исходные образцы растворялись:

в деионизированной воде (KH_2PO_4 :Mn, $\text{K}_2\text{Ni}_x\text{Co}_{(1-x)}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaClO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4$);

в соляной кислоте ($\text{Ca}_{2-x}\text{Li}_{2x}\text{GeO}_4$:Cr);

в соленой воде ($\text{Ca}_x\text{Sn}_{1-x}\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$);

в смеси плавиковой кислоты, перекиси водорода и серной кислоты (KTiOPO_4 :Hf, KTiOPO_4 :Zr).

Для понижения порога обнаружения примеси с сохранением достаточной точности для каждой серии кристаллов проводилась оптимизация условий эксперимента. Важным этапом при пробоподготовке являлась оценка оптимальной степени разбавления подготовленных растворов на основе предварительных экспериментов.

Известно, что кислота понижает интенсивность аналитических линий, повышая тем самым пределы обнаружения анализируемых химических элементов.

Кроме того, предел обнаружения химического элемента определяется для каждой аналитической линии. В ходе экспериментов, проводился отбор спектральных линий аналитических элементов, позволяющий понизить порог их обнаружения. Оптимизация проводилась с учетом эмиссионного спектра всех химических элементов, входящих в состав исследуемого кристаллического образца.

В табл.1 указаны пределы обнаружения ряда примесных химических элементов, рассчитанные по результатам проведенных опытов.

Таблица 1. Рассчитанные пределы обнаружения для различных химических элементов

Химический элемент	Анализируемый образец	Растворитель	Длина волны, нм	Предел обнаружения, мкг/л
B	$\text{Ca}_{2-x}\text{Li}_{2x}\text{GeO}_4$:Cr	HCl	208.956	11.3
Ca	$\text{Ca}_{2-x}\text{Li}_{2x}\text{GeO}_4$:Cr	HCl	422.673	0.8
Co	$\text{K}_2\text{Ni}_x\text{Co}_{(1-x)}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	H ₂ O	228.615	8.1
Cr	$\text{Ca}_{2-x}\text{Li}_{2x}\text{GeO}_4$:Cr	HCl	267.716	17.1
Ge	$\text{Ca}_{2-x}\text{Li}_{2x}\text{GeO}_4$:Cr	HCl	265.117	15.6
Hf	KTiOPO_4 :Hf	H ₂ O ₂ , HF, H ₂ SO ₄	277.336	23.9
K	KTiOPO_4 :Hf	H ₂ O ₂ , HF, H ₂ SO ₄	766.472	11.6
Li	$\text{Ca}_{2-x}\text{Li}_{2x}\text{GeO}_4$:Cr	HCl	670.783	6.9
Mn	KH_2PO_4 :Mn	H ₂ O	260.568	0.9
Mo	$\text{Ca}_{2-x}\text{Li}_{2x}\text{GeO}_4$:Cr	HCl	204.598	7.6
Na	$\text{Ca}_{2-x}\text{Li}_{2x}\text{GeO}_4$:Cr	HCl	588.995	41.5
Ni	$\text{K}_2\text{Ni}_x\text{Co}_{(1-x)}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	H ₂ O	230.299	3.2
P	KTiOPO_4 :Hf	H ₂ O	213.618	56.6
S	$\text{NaClO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4$	H ₂ O	181.972	40.3
Sn	$\text{Ca}_x\text{Sn}_{1-x}\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$	H ₂ O, NaCl	283.998	3.6
Ti	KTiOPO_4 :Hf	H ₂ O ₂ , HF, H ₂ SO ₄	377.572	7.6
Zr	KTiOPO_4 :Zr	H ₂ O ₂ , HF, H ₂ SO ₄	349.619	1.3

ВЛИЯНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ 1420 И 1421

Т.А. Грачева, М.Ю. Щербань, А.Е. Огородников, Т.А. Кузьмичева

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

E-mail: ogorodnikov.a.e@yandex.ru

Данная работа посвящена исследованию влияния низкотемпературного отжига на микротвердость (H_v) и удельное электросопротивление ($\rho_{уд}$) субмикрокристаллических (СМК) алюминиевых сплавов, полученных методом равноканального углового прессования (РКУП).

В качестве объектов исследования были выбраны СМК алюминиевые сплавы 1420 (Al – 5,5% Mg – 2,2% Li – 0,1% Zr) и 1421 (Al – 5,5% Mg – 2,2% Li – 0,1% Zr – 0,2% Sc), полученные методом РКУП. Отжиг исследуемых образцов проводился при 100°C. Время отжига (t) менялось от 2 до 390 минут. Испытания на микротвердость проводились на цифровом микротвердомере HVS 1000. Удельное электросопротивление измерялось на переносном вихретоковом приборе SIGMATEST 2.069.

В ходе исследования обнаружен эффект немонотонного изменения H_v от t при малых временах (см. рис. 1), при дальнейшем отжиге значение микротвердости обоих сплавов не менялось в пределах погрешности.

Зависимости $\rho_{уд}$ от t при малых временах отжига также имеют немонотонный характер с локальными максимумами при 8 и 30 минутах (сплав 1420) и при 8 минутах (сплав 1421). При дальнейшем отжиге наблюдается монотонное снижение значения $\rho_{уд}$.

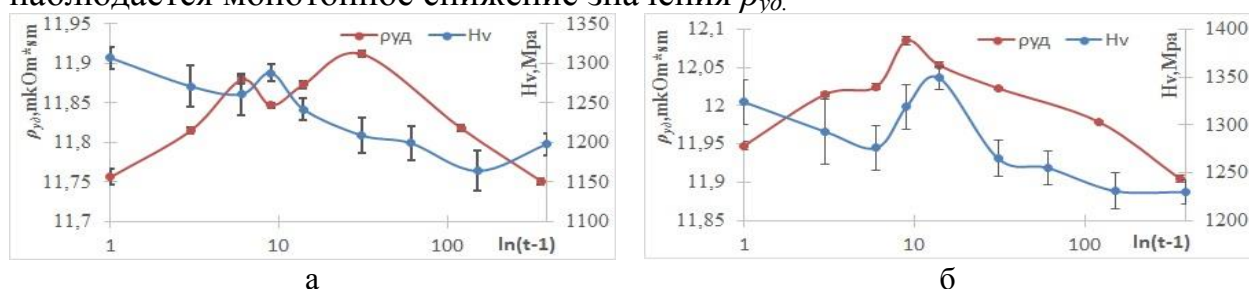


Рис. 1. Графики зависимости микротвердости и удельного электросопротивление от времени отжига при 100°C СМК алюминиевых сплавов 1420 (а) и 1421 (б).

В работах [1-2] установлено, что на физико-механические свойства материалов, полученных методом РКУП, сильное влияние оказывает наличие в неравновесных границах зерен данных материалов областей избыточного свободного объема (ИСО). Немонотонный характер зависимостей H_v и $\rho_{уд}$ от t может быть объяснен эволюцией областей ИСО при отжиге.

1. Бетехтин В.И., Кадомцев А.Г., Sklenicka V., и др. ФТТ **49**(10), 1787-1790 (2007).
2. Бетехтин В.И., Колобов Ю.Р., Нарыкова М.В., и др., ЖТФ **81**(11), 58-63 (2001).

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА РОСТА КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МЕТАСТРУКТУР НА ОСНОВЕ KDP

А.Н. Носкова, В.Н. Портнов, А.Е. Егорова
*Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород
E-mail: anna_13.08@mail.ru*

Фотонные кристаллы - это материалы с упорядоченной структурой, характеризующейся строго периодическим изменением коэффициента преломления в масштабах, сопоставимых с длинами волн излучений [1]. Фотонные кристаллы, благодаря периодическому изменению коэффициента преломления, позволяют получить разрешенные и запрещенные зоны для энергий фотонов, тем самым могут выполнять функцию фильтра. Как следует из литературы, фотонные кристаллы и устройства на их основе будут сравнимы по значимости с созданием, в свое время, интегральной микроэлектроники [2].

Целью данной работы является изучение роста 2D-фотонных кристаллов в виде кристаллических метаструктур на основе кристаллов KDP, и их дальнейшее исследование в области терагерцового радиоизлучения. Геометрия метаструктур подбиралась исходя из волновых параметров терагерцевых импульсов.

Выращивание фотонных кристаллов осуществлялось при помощи маски, которая была получена в результате фотолитографического процесса и пластинки Z-среза KDP размерами $2,5 \times 2,5$ см². Маска имела квадратные отверстия с ребром 100 мкм. Кристаллы KDP принадлежат к точечной группе симметрии $\bar{4}2m$ и являются оптически одноосными. Был проведен ряд опытов при разных условиях, с целью получить периодическую кристаллическую структуру (рис.1). Температура роста составляла 23°C. Относительное пересыщение было равным ≈ 0.1 .

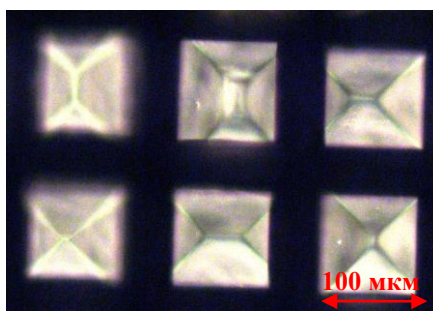


Рис.1. Фрагмент метаструктуры KDP

На снимке представлены кристаллы KDP, выросшие в отверстиях маски в направлении оси Z. На их вершинах видны грани бипирамиды. Высота кристаллов около 1 - 2 мм.

1. Н. Benisty, V. Berger, J.M. Gerard et al., Photonic Crystals, Springer VI, (2005).
2. Е.Л. Ивченко, А.Н. Поддубный, Физика твердого тела **48**(3), 540-547 (2005).

ФОРМИРОВАНИЕ МАССИВА МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ОСТРОВКОВ С МАЛОЙ УГЛОВОЙ ДИСПЕРСИЕЙ

В.В. Грибко, А.С. Маркелов, В.Н. Трушин, В.Е. Котомина,
И.Н. Антонов, Л.П. Веселова, Е.В. Чупрунов

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

E-mail: redfox-92@mail.ru

В работе решается задача формирования массивов монокристаллических островков (МО) с малой угловой дисперсией с целью использования их в качестве активных сред при решении задач управления параметрами (фокусировки и коллимации) рентгеновских пучков. При формировании массивов МО возникает ряд проблем, к числу которых относится их разориентировка, в результате которой полуширина кривой качания (КК) от полученного массива увеличивается, что осложняет задачу управления параметрами рентгеновского пучка.

Целью данной работы было исследование промежуточных стадий формирования массивов МО. Для этого проводилось исследование массива МО при температурном воздействии на него.

Методом высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии исследована разориентировка монокристаллических островков полученных методом плазмохимического травления. На наличие разориентировки указывает ширина исходной кривой качания, снятой при комнатной температуре, которая составляла 20 угловых минут.

На рис. 1а, б, с показаны профили КК снятой от массива МО Si (111) (в структуре подложка–клей–МО) от её температуры.

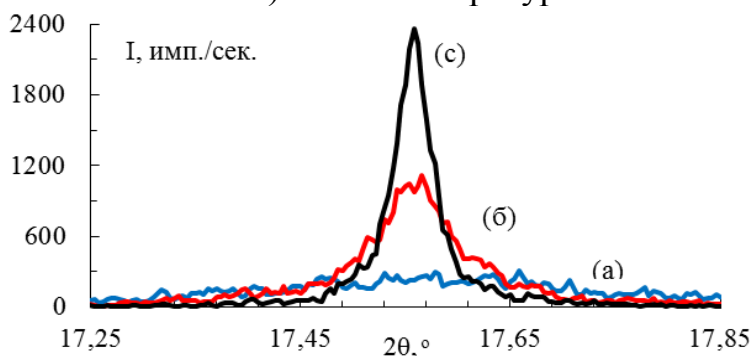


Рис. 1. Профили а,б,с КК снятые от массива МО Si (111) (в структуре подложка–клей–МО) при температурах 24.6 °С, 80 °С и 120 °С соответственно

О разориентировке МО можно судить из рис. 1б, где ширина наименьших осцилляций интенсивности на кривой снятой от массива МО равна ширине кривой качания снятой от исходной пластинки, которая составляла 20 угл. с. Из рис. 1 видно, что усадку клея в процессе его отвердевания можно компенсировать нагревом структуры, при котором происходит ее выпрямление, обусловленное разницей в значениях КТР клея и подложки.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ АКТИВАТОРОВ НА СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА СВИНЦОВЫХ ОКСИФТОРИДНЫХ СТЕКОЛ И СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Т.С. Севостьянова, Е.В. Жукова, А.В. Хомяков, О.Б. Петрова
*Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,
Москва*

E-mail: t.sevostjanova@mail.ru

Оксифторидные стекла и стеклокристаллические материалы (СКМ) в свинцо-фторо-боратной системе обладают уникальным сочетанием технологичности оксидных стекол с низкоэнергетическим фононным спектром, характерным для фторида свинца, что делает их перспективными материалами для введения в них редкоземельных ионов (РЗИ) с целью получения новых лазерных сред [1-2].

В настоящей работе синтезированы стёкла из шихты с содержанием фторида свинца до 90 мол%, активированные ионами Pr, Nd, Eu, Ho, Er и Yb в концентрациях от $2 \cdot 10^{19}$ до $3 \cdot 10^{21}$ см⁻³. Исследованы механические и оптические свойства стекол. Для стекол, активированных Er, определена предельная концентрация активатора, позволяющая получать стекла оптического качества. Проведена кристаллизация стёкол, получены СКМ, в которых выделяется одна кубическая кристаллическая фаза β -PbF₂. По данным РФА РЗИ эффективно входят (до 12 мол.%) в образующиеся кристаллиты β -PbF₂. Частичная кристаллизация приводит к увеличению твердости на 15 – 20% и снижению показателя преломления на 2-3%.

Исследованы спектры поглощения и люминесценции для образцов стекол и СКМ с различными РЗИ, проведены сравнения со спектрами кристаллических твердых растворов (PbF₂)_{1-x}(LnF₃)_x (где Ln= РЗИ; x от 0,05 до 0,2). Спектры люминесценции Er³⁺ в видимой области исследованы как при прямом (377 нм) так и при антистоксовом (975 нм) возбуждении. Показано, что спектры люминесценции эрбия в СКМ близки к спектрам эрбия в кристаллическом смешанном фториде Pb_{0,85}Er_{0,15}F_{2,15}. Картина распределения координат цветности свечения СКМ от концентрации кристаллитов β -PbF₂ позволяет с одной стороны определять по цвету свечения степень закристаллизованности материала, а с другой стороны использовать материал одного состава, но с разной обработкой в качестве люминофора разного цвета свечения. Такие материалы могут быть перспективны в качестве лазеров и антистоксовых люминофоров.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ грант № 14-13-01074.

1. D.R. Rao, G.S. Baskaran, R.V. Kumar at al., J. Non-Cryst. Sol. **378**, 265 (2013).

2. О.Б. Петрова, А.В. Попов, В.Е. Шукшин, Ю.К. Воронько, Опт.журн. **78**(10), 30 (2011).

ЭЛЕМЕНТНЫЙ И ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ СМЕШАННЫХ КРИСТАЛЛОВ ТАРТРАТОВ $\text{Ca}_x\text{Sn}_{1-x}\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$

М.Л. Лаптева, Д.С. Нуждин, П.В. Андреев, Е.С. Старостина
*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород*
E-mail: starostina2012e@yandex.ru

Одними из важных задач физики конденсированного состояния являются синтез, выращивание, изучение свойств нелинейно-оптических кристаллов и установление связи структурно зависимых свойств с составом, симметрией и атомной структурой [1]. В данной работе методом кристаллизации в геле были выращены и исследованы нелинейно-оптические смешанные кристаллы тартрата кальций-олово. Синтез кристаллов осуществлялся в метасиликатном геле на основе винной кислоты в условиях термостатирования при температуре $34 \pm 1^\circ\text{C}$ [2]. Были выращены восемь различных смешанных кристаллов тартрата Ca-Sn вида, в качестве питающего раствора были использованы растворы и. Молярное содержание варьировалось от 10 до 80% с шагом в 10%.

Элементный анализ проводился на оптико-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой VARIAN (AGILENT) 720-ES. По результатам измерений было определено, что концентрация ионов олова в кристаллах меняется не монотонно [3].

Фазовый анализ проводился на дифрактометре Shimadzu XRD-7000 на порошковых образцах. Обработка дифрактограмм проводилась в программных комплексах Bruker EVA и Bruker TOPAS. Из результатов фазового анализа следует, что для образцов, для которых молярное содержание в питающем растворе составляет от 10% до 50% система является однофазной, для образцов, содержащих в питающем растворе от 60 до 80% система двухфазна.

1. И.Р. Шен. *Принципы нелинейной оптики*, М.: Наука, 1989.
2. Г. Гениш. *Выращивание кристаллов в гелях*, М.: Мир, 1973.
3. В.В. Кафанова, *Справочник по растворимости*, Изд. Академии наук СССР, 1963.

ФАЗОВЫЙ СОСТАВ И СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА МИКРОТРУБОК ZrO_2 - Y_2O_3 - Yb_2O_3

А.А. Ляпин¹, Д.В. Мягков¹, И. Силдос², П.А. Рябочкина¹, В.М. Кяшкин¹,
Т. Татте², М. Парт²

¹Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

²Тартуский университет, Эстония, Тарту

E-mail: dimitry.myagkov@yandex.ru

Разработка и исследование физических свойств микрокристаллических трубок на основе диоксида циркония привлекают значительный интерес исследователей [1,2].

В настоящей работе представлены результаты исследований микрокристаллических трубок 92 мол% ZrO_2 – 4 мол% Y_2O_3 – 4 мол% Yb_2O_3 . Микрокристаллические трубки диаметром 30 мкм, длиной 1-2 см (рис. 1) были получены комбинацией процессов: экструзии жидких нитей из вязкого щелочноземельного оксида циркония и самосборки частиц из золя. После получения трубки отжигались при температуре 900° С.

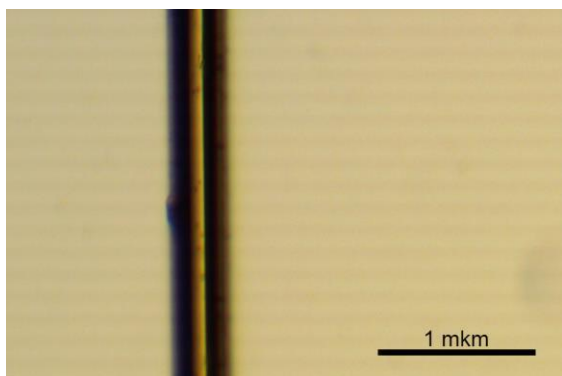


Рис 1. Фотография микрокристаллической трубки 92 мол% ZrO_2 – 4 мол% Y_2O_3 – 4 мол% Yb_2O_3 , полученная в белом свете с помощью оптического микроскопа

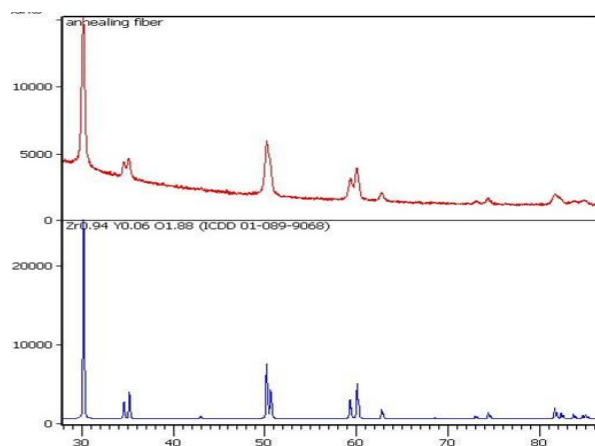


Рис 2. Рентгенограммы микрокристаллической трубки 92 мол% ZrO_2 – 4 мол% Y_2O_3 – 4 мол% Yb_2O_3 и кристалла $Zr_{0.94}Y_{0.06}O_{1.88}$ (ICDD 01-089-9068)

При исследовании данных трубок методом рентгенофазового анализа выявлено, что они характеризуются тетрагональной структурой (рис. 2).

В работе выполнены исследования спектрально-люминесцентных характеристик микрокристаллических трубок 92мол% ZrO_2 - 4мол% Y_2O_3 - 4мол% Yb_2O_3 и провели их сравнительный анализ с аналогичными характеристиками для монокристаллов частично стабилизированных иттрием диоксида циркония, активированных ионами Yb^{3+} .

1. T. Tätte, M. Part, Talviste, K. Hanschmidt, et al., RCS Adv. **4**, 17413 (2014).
2. K. Utt, M. Part, T. Tätte, et al., J. of Luminescence **152**, 125 (2014).

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ТРЕХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЫ $K_2SO_4-H_2SO_4-H_2O$

М.А. Фаддеев, Д.А. Семиков, А.В. Рябинин

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

E-mail: ryabinin.nn@yandex.ru

Важнейшей функциональной частью водородных топливных элементов является протонообменная мембрана. В качестве перспективных материалов мембран рассматриваются соединения семейства $Me_mH_n(AO_4)_{(m+n)/2} \cdot xH_2O$ ($Me = NH_4, K, Rb, Cs; A = S, Se, P, As$).

В данной работе проведено исследование условий кристаллизации гидросульфатов калия различного состава $K_mH_n(SO_4)_{(m+n)/2} \cdot xH_2O$ в трехкомпонентной системе $K_2SO_4-H_2SO_4-H_2O$.

Исследование фазовых равновесий в рассматриваемой системе проводили в изотермических равновесных условиях при $29.0^\circ C$ методом загрузок. Постоянство температуры обеспечивали с помощью термостата. Время установления динамического равновесия определялось для соединения K_2SO_4 .

Фазовый состав кристаллизующихся соединений определялся методом рентгеновского фазового анализа на дифрактометре Shimadzu XRD-7000.

Элементный состав кристаллизующихся соединений и насыщенных растворов определялся методом атомно-эмиссионной спектроскопии на спектрометре Varian 720-ES.

В ходе исследования получены области кристаллизации фаз K_2SO_4 , $K_3H(SO_4)_2$, $K_4H_2(SO_4)_3$, $KHSO_4$ трехкомпонентной системы $K_2SO_4-H_2SO_4-H_2O$.

СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА
СИЛИКАТОФОСФАТОВ $M_{11}(\text{SiO}_4)(\text{PO}_4)_3\text{O}_{10}$ ($M=\text{Y}, \text{Gd}$),
ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ Yb^{3+} И Er^{3+}

М.Г. Циндяйкин¹, С.А. Хрущалина¹, П.А. Рябочкина¹,
В.А. Крутько², М.Г. Комова²

¹МГУ им.Н.П.Огарева, Саранск

²Институт общей и неорганической химии им. Н.С.Курнакова РАН,
Москва

E-mail: Ma89520710742@yandex.ru

Соединения редкоземельных элементов со смешанными оксоанионами характеризуются высокой химической и термической стойкостью [1]. К данному классу соединений относятся силикатофосфаты $M_{11}(\text{SiO}_4)(\text{PO}_4)_3\text{O}_{10}$ (где $M=\text{Ln}, \text{Y}$), которые кристаллизуются в триклинной сингонии (пр.гр. P1) и имеют нецентросимметричное строение, что предполагает наличие у этих соединений оптических, пьезо-, пиро-, а также ферроэлектрических свойств и обеспечивает им различные практические применения.

Силикатофосфаты $\text{Ln}_{11}(\text{SiO}_4)(\text{PO}_4)_3\text{O}_{10}$ обладают высокой изоморфной емкостью по редкоземельным ионам, поскольку их структура не меняется по ряду РЗЭ от Pr до Er [2]. Эти соединения представляют интерес для их использования в качестве люминофоров, излучающих в различных спектральных диапазонах.

Настоящая работа посвящена исследованию спектрально-люминисцентных характеристик силикатофосфатов $\text{Y}_{11}(\text{SiO}_4)(\text{PO}_4)_3\text{O}_{10}$ и $\text{Gd}_{11}(\text{SiO}_4)(\text{PO}_4)_3\text{O}_{10}$, легированных ионами Yb^{3+} и Er^{3+} . Для этих соединений получены спектры апконверсионной люминесценции для переходов $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ и $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ ионов Er^{3+} при возбуждении на уровень $^2\text{F}_{5/2}$ ионов Yb^{3+} . Показано, что условия синтеза силикатофосфатов (твёрдофазный синтез или метод совместного соосаждения), а также соотношение концентраций легирующих ионов Yb^{3+} и Er^{3+} , оказывают существенное влияние на относительное перераспределение интенсивности люминесценции для переходов $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ и $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ ионов Er^{3+} .

Работа выполняется при финансовой поддержке бюджетного финансирования и Российского фонда фундаментальных исследований (грант №15-08-08467).

1. Б.Ф. Джурицкий, Г.В. Лысанова, Журнал неорганической химии **43** (12), 2065 (1998).
2. Б.Ф. Джурицкий, В.А.Крутько, Журнал неорганической химии **45** (8), 1276 (2000).

NEW FUNCTIONAL MATERIALS

PERSISTENT LUMINESCENCE AND UV RADIATION DOSIMETRY BASED ON ZrO₂ NANOMATERIALS

I. Sildos, L. Puust, V. Kiisk

Institute of Physics, University of Tartu, Tartu, Estonia

Energy shortage and pollution of the environment are two connected problems at the global scale. It is also believed that the excessive carbon emission due to the consumption of fossil fuels has led to noticeable global warming. Therefore, harvesting the energy of the “renewable” energy sources, most importantly solar energy and thermonuclear energy, are one of the most important challenges for the civilization on Earth. At the same time, continual monitoring of our living environment is needed.

In the solar cells, semiconducting materials transform the incident sunlight to electricity by separating the photocreated charge carriers. However, many dielectric materials exist which are able to store the photoelectrons in deep traps for a long time. The trapped charges are subsequently gradually released, as a result of thermal or photostimulation, and their energy is released in the form of light at a luminescence center. Such materials are potentially important components of sustainable energetics (due to persistent luminescence) or dosimetry of ionizing radiation (due to thermo-/photostimulated luminescence). Moreover, nanoparticles with persistent afterglow can be used as fluorescent biolabels for *in-vivo* medical research.

ZrO₂ and HfO₂ are attractive wide-gap materials with a multitude of applications. The monoclinic form of the material exhibits an intense photoluminescence (PL) at 490 nm, with promising persistent luminescence and thermoluminescence (TL) properties [1,2]. The aim of this investigation was to clarify the nature of the PL centre in ZrO₂ and the charge traps responsible for the afterglow and TL by applying heat treatment in reducing and oxidizing environment and more careful TL analysis. We also studied the temperature dependence of the PL and tested the optically stimulated luminescence (OSL). Implications for persistent phosphors and UV radiation dosimetry will be discussed.

1. J.M. Carvalho, L.C.V. Rodrigues, J. Hölsä, et al., *Optical Materials Express* **2**, 331–340 (2012).
2. L. Puust, V. Kiisk, K. Utt, H. Mändar, et al., *Central Eur. J. Phys.* **12**, 415-420 (2014).

OPTOELECTRONICS BASED ON III-N HETEROSTRUCTURES: TECHNOLOGY, PHYSICS AND APPLICATIONS

V.N. Jmerik, S.V. Ivanov
IOFFE Institute, Saint-Petersburg
E-mail: jmerik@pls.ioffe.ru

The awarding of the Nobel Prize in physics in 2014 I. Akasaki, H. Amano and Sh. Nakamura for "the creation of efficient blue light-emitting diodes" based on wide gap semiconductor compounds - group III nitrides (Al,Ga,In)N - demonstrated great importance for the mankind of scientific and technological efforts in development of "bright and energy-saving white light sources" [1]. Today's success of the Nobel winners is based on the work of several generations of scientists and technologists of XX century. Therefore a brief historical overview of the development of physical background of semiconductor optoelectronic heterostructures and their epitaxial growth technologies will be given in the introduction of the paper. Then, the key approaches in growth of III-N heterostructures elaborated by the Japanese scientists will be outlined which allowed them to solve the critical problems of these materials - high defect density and formation of *p-n* junctions.

The main part of the paper will provide an overview of the R&D activity carried out in the Laboratory of Quantum-size Heterostructures at the Ioffe Institute on the epitaxial growth of (Al,Ga,In)N compounds with high indium or aluminum contents by plasma-assisted molecular beam epitaxy (PA MBE), as well as the studies of their physical properties. Thus, complex investigation of the epitaxial growth, structural, optical and electrical properties of the $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x=0-1$) alloys allowed us to correct the compositional dependence of the fundamental absorption edge of this material, as well as to reveal various physical phenomena related to the formation of composite metal/semiconductor structures in these materials at $x>0.4$ [2]. The main attention will be paid to PA MBE of $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ -based heterostructures with $y>0.4$, their properties and practical applications. The main stages of the PA MBE: the growth of AlN buffer layers on *c*-sapphire substrates with the threading dislocation density of $10^8 - 10^9\text{cm}^{-2}$, the formation of quantum wells by using the sub-monolayer digital alloying technique, and the obtaining of both *n*-type and *p*-type conductivity of AlGaIn layers will be considered in detail. These developments resulted in fabrication of solar-blind photodetectors of different types as well as emitters of spontaneous and laser radiations within the mid-UV spectral range ($\lambda<300\text{ nm}$) [3,4].

1. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2014/
2. S.V. Ivanov et al., *J. of Crystal Growth* **403**, 83 (2014).
3. V.N. Jmerik et al., *Semiconductors* **42**(12), 1420 (2008).
4. S.V. Ivanov et al., *Semicond. Sci. Technol.* **29**, 084008 (2014).

THE INFLUENCE OF BISMUTH OXIDE CONCENTRATION ON OPTICAL AND DIELECTRIC PROPERTIES OF BISMUTH-GERMANIUM GLASSES

I.V. Stepanova, A.N. Chibeskova

The D.I.Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow
E-mail: stir@inbox.ru

The $\text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{GeO}_2$ system has some substances which possess very important practical properties such as electro-optical ($\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$), scintillation ($\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) or ferroelectric (Bi_2GeO_5). There is an oxide's concentration interval including the compositions $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ and Bi_2GeO_5 , where is possible to produce good-qualitative glasses for effective doping by transition or rare-earth ions and for synthesis the suitable crystal phases in them. The influence of Bi_2O_3 -concentration on optical and dielectric properties of different composed bismuth-germanium glasses was investigated in this research.

The compositions with ratio of $\text{Bi}_2\text{O}_3:\text{GeO}_2$ like 40:60, 45:55 and 50:50 were chosen for experiments; the glasses were produced by melting the mixture of initial oxides at 1075 и 1100°C and ensuing casting of the melt onto a substrate. The optical absorption spectra of glasses were studied using a UNICO 2800 (UV/VIS) spectrophotometer in the range from 190 nm to 1100 nm. The dielectric properties were measured by Resistance Bridge E7-12 with frequency 1 MHz, inside temperature range 25 – 620°C.

The optical absorption spectra of all samples have the absorption shoulder in the area around 500 nm which corresponds to optical defect Bi-centers in the glasses [1]. The intensity of absorption shoulder is increasing both through Bi_2O_3 -concentration and rising of glasses synthesis temperature.

The increasing of bismuth oxide content leads to decay of characteristic temperatures and resistivity. Dielectric constant of 50 Bi_2O_3 -50 GeO_2 samples at temperatures above glass-transition temperature is more affected by temperature than other samples' one. Probably it's due to the fact the ferroelectric phase Bi_2GeO_5 was formed in the glass. The character of dielectric loss tangent temperature curve while cooling process shows that 40 Bi_2O_3 -60 GeO_2 glasses have weaker crystallization in comparison with other analyzed compositions. All spectral and dielectric curves of "intermediate" composition 45 Bi_2O_3 - 55 GeO_2 lies between other samples values, so the glasses properties have clear relationship with Bi_2O_3 -concentration.

1. E.M. Dianov. Quantum Electronics **40** (4), 283-285 (2010).

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE PHASE COMPOSITION AND
PROPERTIES STABILITY OF PSZ CRYSTALS DOPED Ce AND Nd

M.A. Borik¹, V.T. Bublik², T.V. Volkova³, A.V. Kulebyakin¹, E.E. Lomonova¹,
F.O. Milovich², V.A. Myzina¹, V.V. Osiko¹, P.A. Ryabochkina³,
N.Y. Tabachkova²

¹*A.M. Prokhorov General Physics Institute, RAS, Moscow*

²*National University of Science and Technology «MISIS», Moscow*

³*N.P. Ogarev Mordovia State University, Saransk*

E-mail: kulebyakin@lst.gpi.ru

The structure and properties of partially yttria-stabilized zirconia crystals (PSZ) doped with Ce³⁺ and Nd³⁺ ions were investigated before and after annealing. The measurements of both microhardness and fracture toughness by microindentation have been carried out. The density of the crystals was determined by hydrostatic weighing.

Studies have shown that crystals of PSZ obtained by directional solidification of the melt consist of two tetragonal phases (t and t'), with varying degrees of tetragonality.

In the case of small concentrations of stabilizing yttrium oxide (≈ 2 mol.%), the transition from cerium oxide 3-valence in the 4-valent state after annealing in air reduces the number of stoichiometric oxygen vacancies, which leads to the monoclinic phase, and reduce the density of crystals degradation in mechanical characteristics of the material

SYNTHESIS AND LUMINESCENT PROPERTIES OF HYBRID MATERIALS BASED ON METAL-ORGANIC COMPLEXES Eu IN GLASS MATRIX

M.O. Anurova, A.V. Khomyakov, O.B. Petrova, I.V. Taydakov
D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow
E-mail: maria_anurova93@mail.ru

Hybrid materials (HM) based on metal-organic phosphors and inorganic glasses may be promising materials for creating new light emitting devices [1]. Hybrid materials were synthesized by a high temperature reaction. The organic phosphor was tris(4,4,4-trifluoro-1-(2-naphthyl) butane-1,3-dionato-(1,10-phenanthroline) Eu (EuNaphphen). As glassy matrix we used different degree of dehydration B₂O₃ and easy melting 80PbF₂-20B₂O₃ glass. The produced HM's were thin glassy plates. They showed photoluminescence (PL) of varying intensity in the range of emission colors from red to green when excited diode with a wavelength of 377 nm.

PL spectra of HM's based on fused B₂O₃ had only bands corresponding to the energy transitions of Eu³⁺ (λ_{\max} =611 nm). The spectra were similar to that of the EuNaphphen powders. For HM based on infused B₂O₃ we observed a broad PL band with 503 nm maximum corresponding to the ligand PL. For HM based on 80PbF₂-20B₂O₃ glass a broad PL band (λ_{\max} =480 nm) was more intense than the narrow lines of transitions of Eu³⁺. We supposed that an exchange reaction accompanied by a partial decomposition of organic complexes in a glass matrix took place. Eu³⁺ ion shifts towards an oxide-fluoride environment, which leads to PL intensity decrease to typical values attributed to glasses doped with Eu³⁺. Simultaneously the ligands are bonding into complexes with Pb [2], and the complex PL is more intense. So, we developed a cheap technique of making of new luminescent materials by conducting a high-temperature exchange reaction between the components of glass matrix and organic complex without the use of solvents in an non-oxidative atmosphere.

This research was financially supported by the Russian Scientific Foundation (grant number № 14-13-01074).

1. R. Avetisov, O. Petrova, A. Khomyakov et al., *J. Crystal Growth.* **401**, 449 (2014).
2. F. Marandi, R. Rutvand, M. Rafiee et al., *Inorg. Chim. Acta.* **363**, 4000 (2010).

FEATURES OF STRUCTURE AND SPECTRAL-LUMINESCENCE
PROPERTIES OF CRYSTALS OF PARTIALLY STABILIZED DIOXIDE
ZIRCONIA DOPED IONS Eu^{3+}

T.V. Volkova¹, M.A. Borik², A.V. Kulebyakin², E.E. Lomonova², V.A. Myzina²,
P.A. Ryabochkina¹, A.N. Chabushkin¹, D.V. Myagkov¹

¹*Ogarev Mordovia State University, Saransk*

²*A.M. Prokhorov General Physics Institute, Russian Academy of Sciences,
Moscow*

E-mail: sendboxvv@mail.ru

Significant amount of science publications are dedicated to the spectral-luminescence properties of solid solutions $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-Eu}_2\text{O}_3$ with tetragonal and cubic structure [1-4]. However, the use of crystals based on zirconia dioxide, doped with rare-earth ions, in practical applications still attracts the interest of researchers.

In this work the spectral-luminescence properties of crystals 97.2 mol% $\text{ZrO}_2\text{-2.7 mol% Y}_2\text{O}_3\text{-0.1 mol% Eu}_2\text{O}_3$, 96.3 mol% $\text{ZrO}_2\text{-3.6 mol% Y}_2\text{O}_3\text{-0.1 mol% Eu}_2\text{O}_3$, 91.8 mol% $\text{ZrO}_2\text{-8 mol% Y}_2\text{O}_3\text{-0.1 mol% Eu}_2\text{O}_3$, 85.9 mol% $\text{ZrO}_2\text{-14 mol% Y}_2\text{O}_3\text{-0.1 mol% Eu}_2\text{O}_3$ which were grown by directional melt crystallization with direct high-frequency heating in a cold container are investigated.

The results of the investigation of these crystals by Raman spectroscopy method indentified features in their spectra that were not observed before in the Raman spectra of crystals ZrO_2 , stabilized with Y_2O_3 doped with Nd^{3+} ions and Yb^{3+} .

The methods of selective laser spectroscopy detected that revealed features in Raman spectra of crystals 97.2 mol% $\text{ZrO}_2\text{-2.7 mol% Y}_2\text{O}_3\text{-0.1 mol% Eu}_2\text{O}_3$, 96.3 mol% $\text{ZrO}_2\text{-3.6 mol% Y}_2\text{O}_3\text{-0.1 mol% Eu}_2\text{O}_3$, 91.8 mol% $\text{ZrO}_2\text{-8 mol% Y}_2\text{O}_3\text{-0.1 mol% Eu}_2\text{O}_3$, 85.9 mol% $\text{ZrO}_2\text{-14 mol% Y}_2\text{O}_3\text{-0.1 mol% Eu}_2\text{O}_3$ are caused by the presence into them the optical centers of ions Eu^{3+} similar in crystallographic environment to impurity centers of ions Eu^{3+} in structure $\text{Y}_2\text{O}_3\text{:Eu}$.

This work was supported by the grant of the Russian Foundation for Basic Research ofi_m, No. 13-02-051 project.

1. J. Dexpert-Ghys, M. Faucher, P. Caro, *Journal of Solid State Chemistry* **54**, 179 (1984).
2. H. Yugami, A. Koike, M. Ishigame, *Phys. Rev.* **44**, 9214 (1991).
3. Yu.K. Voron'ko, M.A. Zufarov, A.A. Sobol', L.I. Tsymbal, *Optika i Spectroskopiya* **81**, 814 (1996).
4. Yu.K. Voron'ko, M.A. Zufarov, A.A. Sobol', et al., *Inorg. Mater.* **33**, 452 (1997).

COMPLEX BORATES $\text{Ln}_{14}\text{O}_8(\text{GeO}_4)_2(\text{BO}_3)_6$ – THE BASE OF THE BROAD SPECTRUM PHOSPHORS (FROM IR TO UV REGION). SYNTHESIS BY COMBUSTION METHOD

V.A. Krut'ko¹, M.G. Komova¹, D.V. Pominova², A.B. Popov²

¹*N.S.Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry RAS, Moscow*

²*A.M.Prochorov Institute of General Physics RAS, Moscow*

E-mail: kroutko@igic.ras.ru

Germanates borates $\text{Ln}_{14}\text{O}_8(\text{GeO}_4)_2(\text{BO}_3)_6$, where Ln - Gd₁₄ and La_xGd_{14-x} – complex oxide chemically and thermally stable compounds with mixed anions. They are crystallize in the trigonal crystal system (space group P3₁) and have noncentrosymmetric structure. Complex borates La_xGd_{14-x}Ge₂B₆O₃₄, doped with Eu³⁺ (5,15,20 at.%) - effective multi-center red phosphors in crystalline and glassy state [1]. Doped with Nd³⁺, Yb³⁺, Er³⁺ and Tm³⁺ ions, Ln₁₄Ge₂B₆O₃₄ (Ln - Gd, La_xGd_{14-x}) – phosphors of visible and IR ranges [2,3]. Usually, complex borates one synthesizes by solid-state reactions [1-3]. As synthesized, the final product may contain uncontrolled impurity of rare-earth orthoborates. This paper shows the possibility of obtaining borate phosphors Gd₁₄Ge₂B₆O₃₄:Nd and La_xGd_{14-x}Ge₂B₆O₃₄:Yb:Er (where x = 3,4) without impurities by combustion synthesis. Luminescence spectra of Nd³⁺ ions were recorded on the electronic transition $^4\text{F}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{9/2}$ in Gd_{13,02}Nd_{0,98}B₆GeO₃₄, as well as up-conversion luminescence spectra of La_{3,16}Gd₁₀Yb_{0,7}Er_{0,14}Ge₂B₆O₃₄ borate. (Fig.1.) More intensive band of the spectrum corresponds to the transition $^4\text{S}_{3/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$, and less intensive – to the $^4\text{F}_{9/2} \rightarrow ^4\text{I}_{15/2}$ transition of Er³⁺ ion.

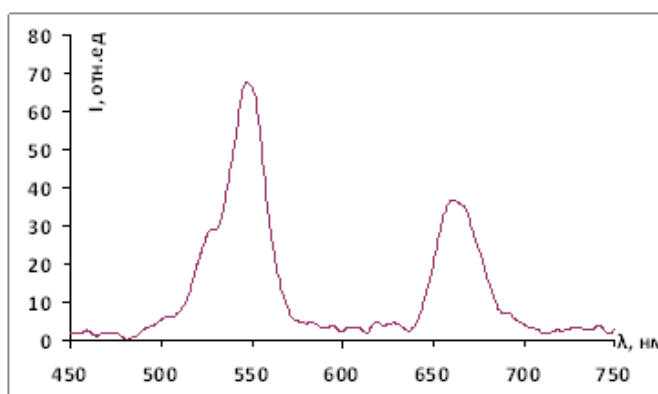


Fig.1. The luminescence spectrum of La_{3,16}Gd₁₀Yb_{0,7}Er_{0,14}Ge₂B₆O₃₄ ($\lambda_{\text{exc}} = 974 \text{ nm}$, P = 2.5 W)

The authors are grateful for the financial support of RFBR (grant №15-08-08467).

1. V.A.Krutko, G.V.Lysanova, V.I.Burkov et al., *Inorg. Mater.* **38**, 1364 (2002).
2. A.V.Popov, A.V.Ryabova, M.G.Komova et al., *Quant. Electronics.* **40**, 1097 (2010).
3. A.Ryabova, D.Pominova, V.Krut'ko et al., *Photonics & Lasers in Med.* **2**, 117 (2013).

THE STRUCTURE OF CRYSTALLINE AND MELTING
LUTETIUM AND GADOLINIUM PYROSILICATES
BY MEANS OF RAMAN SPECTROSCOPY

A.A. Sobol¹, V.E. Shukshin¹, Yu.K. Voronko¹, Ya.V. Gerasimov²

¹*Prokhorov General Physics Institute, RAS, Moscow, Russia*

²*Institute for Scintillation Materials, NASU, Kharkov, Ukraine*

E-mail: shukshinve@lst.gpi.ru

The Rare Earth pyrosilicates, e.g. $\text{Lu}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ и $\text{Gd}_2\text{Si}_2\text{O}_7$, doped with Ce^{3+} are used as detectors of ionizing radiation. To collect and detect data on the structure features and phase transition behavior of RE pyrosilicates the Raman spectroscopy technique (including High Temperature one) was used.

The vibrational spectra of various structure types RE-pyrosilicates were analyzed. It was found, that A- F-type structural phase transition in $\text{Gd}_2\text{Si}_2\text{O}_7:\text{La}(11\text{mol}\%)$ take place inside 1723-1773 K temperature range. Its duration is 40 minutes in our experiment.

At the first time the full number and symmetry assignment both internal $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ -anion and external lattice vibrations for Lutetium pyrosilicate (LPS) were assigned. To do these detailed investigations the polarized Raman spectra were recorded inside a wide (from 20 K up to 1500 K) temperature range. The Raman spectra of Lutetium pyrosilicate in various states (before melting point, melting state and superheated melt up to 2173 K) were examined. The intensive silicon oxide evaporation from Lutetium pyrosilicate melts was found.

The origin of imperfect inclusions in LPS single crystals was determined. It was found the twinning effect leads to origin of the layers with 1mm thickness, which divide the volume of the LPS single crystal normally toward its cleavage plane. The boundaries between twins were decorated by inclusions of Lu_2SiO_5 micro crystals.

The study was supported by RFBR project number 13-02-00707.

FLUORIDE POWDERS $M_{1-x}R_xF_{2+x}$, RF_3 AND $NaRF_4$ (M=Ca, Sr, Ba; R – RARE-EARTH ELEMENTS) FOR PHOTONICS

S.V. Kuznetsov¹, Yu.A. Rozhnova¹, M.N. Mayakova¹, D.S. Yasirkina¹,
A.M. Pak^{1,2}, R.G. Vahrenev^{1,2}, V.V. Voronov¹, A.V. Ryabova¹, D.V. Pominova¹,
A.A. Luginina³, A.E. Baranchikov⁴, V.K. Ivanov⁴, P.P. Fedorov¹

¹*Prokhorov General Physics Institute RAS, Moscow*

²*Lomonosov Moscow State University, Moscow*

³*All-Russian Institute for Scientific and Technical Information, Moscow*

⁴*Kurnakov General and Inorganic Institute RAS, Moscow*

E-mail: kouznetzovsv@gmail.com

Inorganic nanofluorides are a unique class of materials for use in photonics. It is now widely discussed nanofluorides application for the needs of the solar industry to increase the efficiency of solar cells, in medicine due to the up-conversion of energy transfer pumping of the near-infrared region of the spectrum in the visible range of the spectrum and to create high-temperature electrochemical devices. The aim of this work is the synthesis of inorganic fluoride powders of wide range of compositions and analysis of the efficiency of various fluoride matrices with respect to their use as up-conversion phosphors.

Fluoride powders were synthesized by co-precipitation from aqueous solutions by varying the different synthesis conditions: type fluorinating agent (HF, NaF, NH_4F), order of mixing reagents, the use of organic modifier and concentrations of the starting materials. The results to develop methods of synthesis of nanopowders $NaRF_4:Yb:Er$ (R = Gd, Y, Lu), $CaF_2:Yb:Er$, $SrF_2:Yb:Er$ and $LaF_3:Yb:Er$. For systems $LaF_3-NaGdF_4$, $NaGdF_4-NaLuF_4$, $NaYF_4-NaLuF_4$, CaF_2-YF_3 , SrF_2-YF_3 identified the region of existence of single-phase solid solutions. The dependence of the energy yield of up-conversion luminescence of ytterbium and erbium concentration for different matrices ($NaYF_4:Yb:Er$ - the cubic phase), $CaF_2:Yb:Er$, $SrF_2:Yb:Er$ and $LaF_3:Yb:Er$). The promising compounds and show that there are several areas of compounds with high values of up-conversion luminescence.

For samples $SrF_2:Yb:Er:Tm$ and ($SrF_2:Yb:Er + SrF_2:Yb:Tm$) identified areas of composition and density of the pumping power for the phosphors, the chromaticity coordinates are close to white light.

When the conjugation of a photosensitizer and a polyethyleneimine nanoparticles $NaYF_4:Yb:Er$ demonstrated the generation of singlet oxygen and its photodynamic activity.

This work was supported by grants from the MK-3133-2014-2, RFBR-13-02-12162-ofi-m, RFBR-15-32-21152.

SPECTRUM OF THE INTERFERENCE FILTER WITH MIRRORS SEPARATED BY LAYER WITH RESONANCE DISPERSION OF THE REFRACTIVE INDEX

S.G. Moiseev, V.A. Ostatochnikov
Ulyanovsk State University, Ulyanovsk
E-mail: ost.vld@yandex.ru

In the spectrum optical region the dispersion of the refractive index of the metal-dielectric nanocomposites (NC) has a resonance character. This feature is reflected in the spectral characteristics of the structures which the NCs are a part. If the resonance region coincides with the interference filter (IF) photonic band gap, the transmission region splits. To predict the position of the transmission areas in the photonic band gap, the following Fabry-Perot resonance condition is proposed in Ref. [1], where n and d are the refractive index and thickness of the defect layer between the mirrors at the appropriate wavelength, m is the interference order. However, the Fabry-Perot condition gives a satisfactory accuracy for small deviations of the refractive index only .

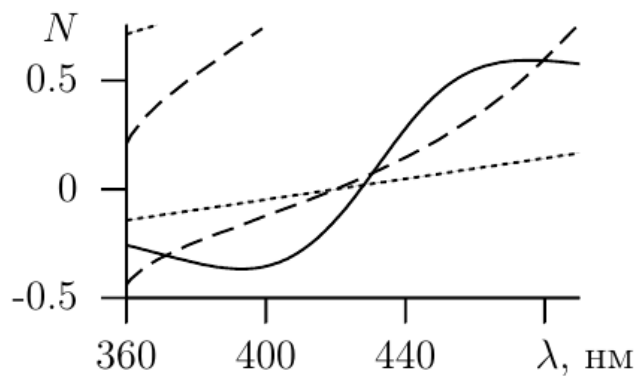


Fig.1

Fig. 1 shows the NC refractive index dispersion (solid lines) at the metal volume fraction of 10% and radius of nanoparticles of 2 nm, the Fabry-Perot resonance condition (dotted line), the change of position of the IF bandwidth maxima without NC layers with varying wavelength(dashed line). Curve intersections of the refractive index dispersion of the nanocomposite and the dependences of the IF bandwidth maxima allow to determine the wavelengths at which the reflection is reducing.

The work is supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (Project № 14.Z50.31.0015 and State Task № 3.2202.2014/K).

1. S. Ya. Vetrov, A. Yu. Avdeeva, I. V. Timofeev, Journal of Experimental and Theoretical Physics **113**(5), 755-761 (2011).

NONSTOICHIOMETRY OF METAL ORGANIC COMPLEXES – HOW CAN IT BE?

A.A. Akkuzina, R.I. Avetisov, I.V. Taydakov, A.V. Khomyakov,
E.N. Mozhevitina, I.Ch. Avetisov

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russia
E-mail: akkuzina@yandex.ru

The nonstoichiometry phenomenon is well known for inorganic crystals. The crystal nonstoichiometry results from general thermodynamic laws at $T > 0$ K. But in case of organic crystals it has been thought the nonstoichiometry is not valid due to a molecule structure of organic crystals.

In the research we have studied the crystals behavior of tris-(8-hydroxyquinoline) aluminum (III) (Alq_3) during heat treatment under ligand vapor (P_{Hq}). Alq_3 is a known organic phosphor for OLED devices. The scheme of Alq_3 polymorphic transitions vs temperature has been established in [1,2].

The first time it has been shown that P_{q} increase results to: a) reduction of photoluminescence (PL) intensity at a fixed $T_{\text{annealing}}$; b) reducing the temperatures of polymorphic transitions and melting; c) hypsochromic shift of PL maximum from 517 to 508 nm (at $T_{\text{ann}}=580$ K). All changes were reversible, indicating the thermodynamic nature of the observed effects.

We explained the effects by the formation of a thermodynamically equilibrium crystal structure, which depending on P_{Hq} resulted to the change of Al atom number at a constant amount of ligands in the crystal structure. The suggestion was proved by XRD analysis of the crystal lattice parameters. We have discovered the correlation between lattice parameters vs P_{Hq} . The unit cell volume has increased from 1046.27(18) to 1048.31(16) \AA^3 , while the X-ray density has decreased from 1.458 to 1.455 g/cm^3 . The observed phenomenon could be easily explained in terms of Al-nonstoichiometry in Alq_3 metal complex, whereas other explanations involve difficulties.

The research was financially supported by Russian Science Foundation grant 14-13-01074.

1. M. Brinkmann et al., J. Am. Chem. Soc., **122**(21), 5147–5157 (2000).
2. R.I. Avetisov et al., Russian Microelectronics, **43**(8) 526 (2014).

SYNTHESIS AND STUDY OF SOLID SOLUTIONS
IN $\text{BaF}_2\text{:RF}_3$ (R = La, Ce) SYSTEMS
FOR ELECTROCHEMICAL DEVICES

M.N. Mayakova¹, P.P. Fedorov¹, V.V. Voronov¹
¹*Prokhorov General Physics Institute, RAS, Moscow, Russia*
E-mail: mn.mayakova@gmail.com

Interest in synthesis and study of nanofluorides is rapidly increased recently. A unique set of physical and chemical properties of fluoride and specific behavior of matter in nanoscale objects cause the possibility of using nanofluorides in various fields of science and technology.

Much attention is attracted to the fluorine-ion conductors as materials for a new generation of batteries. The charge transfer in such batteries is produced by fluorine anions. Fluorine-ion batteries have several advantages: high energy density (specific capacity of fluorine ion batteries exceeds the 6 - 10 times the one of common lithium-ion devices), efficient operation at elevated temperatures, fire and explosion safety, low self-discharge.

There are solid solutions systems $\text{BaF}_2\text{:RF}_3$ (R = La, Ce) with a fluorite- and tysonite-structure may use as most promising fluorine-ion electrolytes. high-temperature synthesis methods of these materials (growth of single crystals, sintering mechanical mixture of components by various methods) are known, but the using of such techniques involves a lots of technical difficulties.

In this paper we are investigated to obtain samples in systems $\text{BaF}_2\text{:R}$ and $\text{RF}_3\text{:Ba}$ (R = La, Ce). We use coprecipitation technique from aqua solutions for synthesis powders. Samples were obtained during the entire concentration range investigated systems using different variations coprecipitation method from aqua solutions. It was found that the dramatic technique variation changes phase composition of precipitation. The region of existence of solid solutions tisonite structure $\text{R}_{1-y}\text{Ba}_y\text{F}_{3-y}$ increases from $y = 0.23$ – 0.21 , that is a feature for high temperature equilibrium phase, up to $y = 0.80$ ($\text{La}_{0.2}\text{Ba}_{0.8}\text{F}_{2.2}$). A method for the synthesis of promising compounds $\text{R}_{0.9}\text{Ba}_{0.1}\text{F}_{2.9}$ (R = La, Ce) is developed.

GAS-PHASE SYNTHESIS OF AlN THICK FILMS USING A HIGH PURITY ALUMINUM AND AMMONIUM CHLORIDE

A.N. Redkin, M.V. Ryzhova, E.E. Yakimov

*Institute of microelectronics technology and high purity materials RAS,
Chernogolovka*

E-mail: ryzhova@iptm.ru

Aluminum nitride films are of great interest for use in a new generations of optoelectronic devices, surface acoustic wave device and piezoelectric ultrasonic transducers due to their properties such as considerable hardness, high electrical resistivity, chemical inertness. AlN films are usually grown by laser ablation and magnetron sputtering [1]. Chemical synthesis methods allow growing high-quality films at high growth rates.

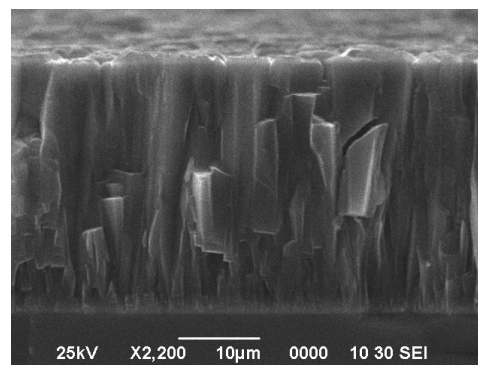


Fig. 1. SEM image of the cross cleavage thick AlN film.

In this work aluminum nitride films on silicon substrates were prepared by vapor-phase synthesis in three-zone quartz reactor using high purity aluminum and aluminum chloride. This method is inexpensive, technologically simple and obtaining aluminum nitride films with good reproducibility.

In the synthesis, the largest weight gain was observed in substrates positioned at the beginning of the growth zone. Material of best crystallinity and stoichiometry was obtained in the middle of the high temperature zone at reasonable growth rates (5 – 50 mkm/h). Depending on synthesis conditions, both thick films and rod arrays of aluminum nitride were deposited (Fig.1).

The samples were examined using scanning electron microscopy, chemical microanalysis, Raman scattering and X-ray diffraction methods. The results of the study show the proposed method allows synthesizing material suitable for piezoelectric and optoelectronic devices.

1. S. Strite, H. Morkoc, Journal of Vacuum Science & Technology B **10**(4), 1237-1266 (1992).

GROWTH OF TERAHERTZ PHOTONIC CRYSTALS

A.N. Noskova, V.N. Portnov, A.E. Egorova
Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod
E-mail: anna_13.08@mail.ru

Photonic crystal is a material with ordered structure, which is characterized by a strictly periodic changing of the refraction index on a scale comparable to the wavelength of the electromagnetic waves [1]. Photonic crystal allow to obtain permitted band and band gaps for photon energies, so they can use as a filter. According to previous researches, photonic crystals and devices based on them will be comparable with the creation of integral microelectronics in importance [2].

The aim of this work is to study the growth of 2D-photonic crystals as crystal metastructures which are based on crystal KDP, and further research for terahertz radiation radio emission. Using parameters of terahertz pulse signal the metastructures geometry was chosen.

The photonic crystals were growing using a mask, which was made by the photolithographic process and Z-cut KDP plate with size $2,5 \times 2,5 \text{ cm}^2$. The mask had square holes with a rib 100 microns. KDP crystals belong to the point group symmetry $\bar{4}2m$. KDP crystals are uniaxial optical crystal. A series of experiments was done in different conditions, to obtain a periodic crystal structure (Figure 1). The growth temperature was 23°C . Relative supersaturation was ≈ 0.1 .

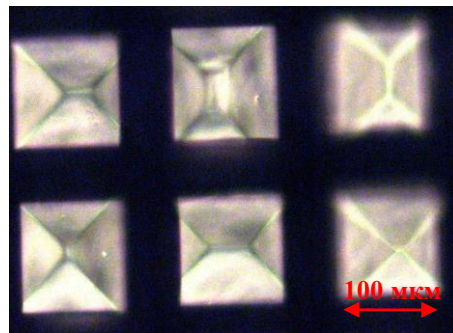


Fig.1. Fragment KDP metastructure

KDP crystals are presented in the picture, they was grown up in the holes of the mask in the direction of the axis Z. The bipyramid. faces are visible faces on their tops. The height of the crystals is about 1 - 2 mm.

1. H. Benisty, V. Berger, J.M. Gerard et al., Photonic Crystals **VI**, (2005)
2. E.L. Ivchenko, A.N. Poddubny, Solid State Physics **48**(3), 540-547 (2005)

GENERATION OF AN ARRAY OF MONOCRYSTALLINE ISLANDS WITH SMALL ANGULAR DISPERSION

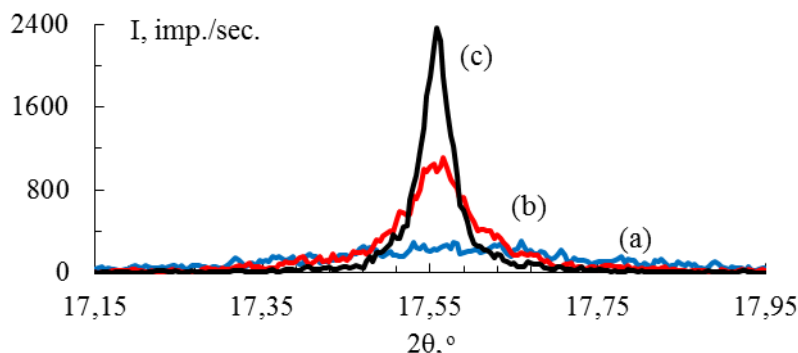
V.V. Gribko, A.S. Markelov, V.N. Trushin, V.E. Kotomina, I.N. Antonov,
L.P. Veselova, E.V. Chuprunov
Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod
E-mail: redfox-92@mail.ru

The work is aimed to solve the problem of generation of monocrystalline islands (MI) arrays with small angular dispersion for their usage as active media while solving problems of controlling parameters (focusing and collimation) of X-Ray beams. While MI arrays generation a number of problems appear, for example disorientation of MI arrays. It results in increase of FWHM of a rocking curve (RC) that makes it difficult to control the parameters of an X-Ray beam.

The aim of this work was to study intermediate phases of MI arrays generation. For that a research of an MI array under temperature effect conditions was made.

The disorientation of monocrystalline islands got by the method of plasma etch was researched with the help of the high resolution X-ray diffractometry. The width of the original rocking curve measured at room temperature (equal to 20 minutes of arc) shows at the presence of the disorientation.

In the picture 1a, b, c the profiles of RC taken from the array of MI Si (111) (in the structure substrate-gluе-MI) from its temperature are shown.



Pic. 1. The profiles a,b,c of RC taken from the array of MI Si (111) (in the structure substrate – glue - MI) at temperatures 24.6 °C, 80 °C и 120 °C correspondingly.

The picture 1b. makes it clear that disorientation takes place. Here the width of the oscillation intensity on the curve taken from the array of MI equals to the width of RC taken from the original plate that was equal to 20 minutes of arc. In the pic. 1 one can see that the shrinkage of the glue during the process of its solidification can be compensated with heating of the structure. Than the glue becomes strait due to the difference of the coefficient of thermal expansion of the glue and substrate.

INFLUENCE OF CONCENTRATION OF RARE-EARTH ACTIVATORS TO THE SPECTRAL AND LUMINESCENT PROPERTIES LEAD OXYFLUORIDE GLASSES AND GLASS-CERAMICS

T.S. Sevostjanova, E.V. Zhukova, A.V. Khomyakov, O.B. Petrova

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow

E-mail: t.sevostjanova@mail.ru

Oxyfluoride glass and glass-ceramic (GC) in the system $\text{PbF}_2\text{-PbO-B}_2\text{O}_3$ possesses a unique combination of adaptability oxide glasses with low-energy phonon spectrum characteristic of lead fluoride, which makes them promising materials for the introduction of these rare-earth ions (RE) in order to obtain new laser matrixes [1-2].

In the research, we synthesized glasses using charge with PbF_2 up to 90 mol.% doped by Nd, Pr, Eu, Ho, Er and Yb in concentrations from $2 \cdot 10^{19}$ to $3 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-3}$. The mechanical and optical properties of glasses were investigated. For glasses doped Er, defined limit concentration of activators to optical quality glass. The glasses were crystallized at different time-temperature conditions. We succeeded but to obtained GC's containing a single crystalline cubic phase $\beta\text{-PbF}_2$. According to XRD up to 12 mol.% of rare earth dopants could be efficiently be built in the cubic PbF_2 crystal lattice at crystal. It resulted to 15-20% hardness increase and 2-3% refractive index reduction.

The absorption and luminescence spectra for glasses and GC's samples the various RE and compared with spectra of crystalline solid $(\text{PbF}_2)_{1-x}(\text{LnF}_3)_x$ (where Ln = RE; x from 0.05 to 0.2).

We analyzed Er^{3+} luminescence spectra of glasses and GC's in the visible region at direct (377 nm) and anti-Stokes (975 nm) excitations. It was demonstrated that the GC's luminescence spectrum was identical to luminescence spectrum of $\text{Pb}_{0,85}\text{Er}_{0,15}\text{F}_{2,15}$ crystal. We found out the luminescence chromaticity coordinates of GC's laid on locus of CIE triangle between the glass and single crystal points. The distribution pattern of the chromaticity coordinates of the emission of GC's on the concentration of the crystallites $\beta\text{-PbF}_2$ allows one hand to determine the color of the emission level of crystallization of the material, on the other hand use the material of the same composition but with different heat-treatment as phosphor glow in different colors. Such materials may be promising as anti-Stokes lasers and phosphors.

This research was financially supported by the Russian Scientific Foundation (grant number № 14-13-01074).

1. D.R. Rao, G.S. Baskaran, R.V. Kumar et al., *J. Non-Cryst. Sol.* **378**, 265 (2013).
2. O.B. Petrova, A.V. Popov, V.E. Shukshin, Y.K. Voron'ko. *J. Optical Technol.* **78**(10), 30 (2011).

ELEMENTAL AND PHASE ANALYSIS OF MIXED CRYSTALS
OF TARTRATE $Ca_xSn_{1-x}C_4H_4O_6 \cdot nH_2O$

M.L. Lapteva, D.S. Nuzhdin, P.V. Andreev, E.S. Starostina
Nizhni Novgorod State University, Nizhni Novgorod
E-mail: starostina2012e@yandex.ru

One of the important tasks of condensed matter physics is the synthesis, growing, study the properties of nonlinear optical crystals, and communication structurally dependent properties to the composition, symmetry and atomic structure [1]. In this study, the nonlinear optical crystals of mixed tartrate calcium-tin were grown by the method of crystallization in the gel and investigated. The synthesis was carried out in metasilicate crystals gel based on tartaric acid in a thermostat at a temperature of $34 \pm 1^\circ\text{C}$ [2]. Eight tartrate *Ca-Sn* crystals $Ca_xSn_{1-x}C_4H_4O_6 \cdot nH_2O$ type were grown, solutions $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ and $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ were used as the feed solution. The molar $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ content ranged from 10% to 80% in increments of 10%.

Elemental analysis was performed on optical-emission spectrometer with inductively coupled plasma VARIAN (AGILENT) 720-ES. From the measurements, it was determined that the concentration of tin ions in the crystals does not change monotonously [3].

Phase analysis was carried out on a diffractometer Shimadzu XRD-7000 in powdered samples $Ca_xSn_{1-x}C_4H_4O_6 \cdot nH_2O$. Processing diffraction patterns was carried out in software systems Bruker EVA and Bruker TOPAS. From the results of the analysis phase follows that for the samples for which the molar content in the feed solution $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ is from 10% to 50% the system is single-phase, for samples containing in the feed solution $SnCl_2 \cdot 2H_2O$ from 60% to 80% of the biphasic system.

1. I.R. Shen, *The principles of nonlinear optics*, M.: Nauka, 1989.
2. G. Haenisch, *Crystal growth in gels*, M.: Mir, 1973.
3. V.V. Kovalev, *Handbook of solubility*, Ed. USSR Academy of Sciences, 1963.

THE PHASE COMPOSITION AND SPECTRAL-LUMINESCENT PROPERTIES OF MICROTUBES $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-Yb}_2\text{O}_3$

A.A. Lyapin¹, D.V. Miagkov¹, I. Sildos², P.A. Ryabochkina¹,
V.M. Kyashkin¹, T. Tätte², M. Part²

¹*Ogarev Mordovia State University, Saransk*

²*University of Tartu, Estonia, Tartu*

E-mail: dimitry.myagkov@yandex.ru

Development and investigation of physical properties of microcrystalline tubes based on zirconium dioxide attracted considerable interest of researchers [1, 2].

In this paper results of research of microcrystalline tubes 92mol% $\text{ZrO}_2\text{-4mol% Y}_2\text{O}_3\text{-4mol% Yb}_2\text{O}_3$ are presented. Microcrystalline tubes (diameter 30 μm , length 1 - 2 cm) (Fig. 1) were grown by a combination of processes of extrusion of the viscous liquid threads alkaline zirconium oxide and self-assembly of particles of the sol. Tubes annealed at 900° C.

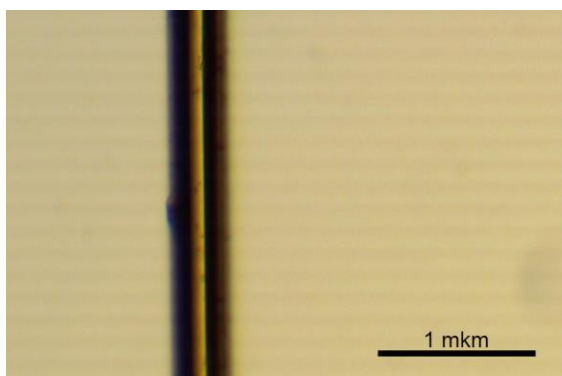


Fig. 1. Photo of microcrystalline tube 92mol% $\text{ZrO}_2\text{-4mol% Y}_2\text{O}_3\text{-4mol% Yb}_2\text{O}_3$ obtained in white light with an optical microscope

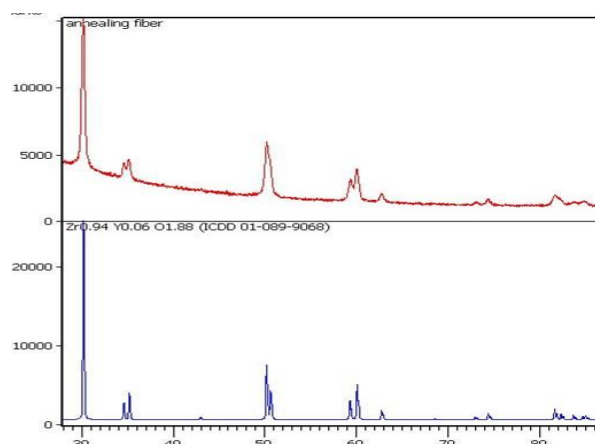


Fig 2. XRD patterns of microcrystalline tube 92mol% $\text{ZrO}_2\text{-4mol% Y}_2\text{O}_3\text{-4mol% Yb}_2\text{O}_3$ and crystal $\text{Zr}_{0.94}\text{Y}_{0.06}\text{O}_{1.88}$ (ICDD 01-089-9068)

Investigation of these tubes by using X-ray analysis is showed that they are characterized by a tetragonal structure (Fig. 2).

Spectral-luminescent characteristics of microcrystalline tubes 92mol% $\text{ZrO}_2\text{-4mol% Y}_2\text{O}_3\text{-4mol% Yb}_2\text{O}_3$ were investigated. Also comparative analysis of these characteristics was carried out with the same characteristics of single crystals of yttrium partially stabilized zirconium, doped with Yb^{3+} .

1. T. Tätte, M. Part, Talviste, K. Hanschmidt, et al., *RCS Adv.* **4**, 17413 (2014).
2. K. Utt, M. Part, T. Tätte, V. Kiisk, et al., *J. of Luminescence* **152**, 125 (2014).

ЛАЗЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

ЭФФЕКТЫ СВЕТОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ФИЗИКЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ

В.В. Семашко¹, О.Р. Ахтямов¹, А.С. Низамутдинов¹, Е. Сарантопоулоу^{1,2},
А.К. Кефалас^{1,2}

¹*Казанский федеральный университет, Казань*

²*Институт теоретической и физической химии, Национальный
исследовательский фонд Республики Греция, Афины*

E-mail: yadim.semashko@kpfu.ru

Давление света и пондеромоторные силы из экзотических явлений, которыми они были в начале XX века [1], в настоящее время с использованием лазерного излучения превратились в мощный инструмент технологических процессов. Так, например, они с успехом применяются в технологиях атомной оптики, разделения изотопов, лазерном охлаждении газов, нанотехнологиях и т.п. [2]. Также существуют работы, в которых рассматривались вопросы лазерно-индуцированной модификации поверхности твердых тел за счет диффузии в них атомов окружающей атмосферы и/или адсорбированных на их поверхности химических элементов [3]. В этой связи удивительным оказалось отсутствие литературных данных об исследовании влияния пондеромоторных сил на свойства твердотельных активных материалов или нелинейно-оптических элементов, подвергающихся накачке высокоинтенсивным когерентным лазерным излучением.

В данном докладе обсуждается пондеромоторное действие света на микро- и наночастицы, содержащиеся в атмосфере или адсорбированные на поверхности кристаллических активных элементов и приводятся экспериментальные данные влияния давления света на энергетические характеристики твердотельных лазеров УФ диапазона спектра, функционирующих на основе 5d-4f переходах ионов Ce^{3+} .

1. П.Н. Лебедев, *Собрание сочинений*, М.: Из-во АН СССР, 1963.
2. В.И. Балыкин, *Вестник РАН*, **81**, 291 (2011).
3. E. Sarantopoulou, et al., *Applied Surface Science* **254**, 804 (2007).

ОКСИДНАЯ ЛАЗЕРНАЯ КЕРАМИКА

Ю.Л. Копылов

*Фрязинский филиал Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института радиотехники и электроники
им.В.А.Котельникова РАН; Россия
E-mail: ylk215@ire216.msk.su, ylk215@yandex.ru*

За последние годы был достигнут значительный прогресс в создании высококачественных оксидных лазерных керамик на основе соединений со структурой граната и оксидов трехвалентных редкоземельных элементов, что отражено в целом ряде недавних обзоров (например, [1-9]). Оптическое качество таких керамик сейчас соответствует качеству лучших кристаллов аналогичного состава. Задачи в области технологии этих керамик сводятся к стабильному получению образцов с минимальными оптическими потерями (соответственно, с максимальным пропусканием) и оптимизации параметров процесса для получения таких образцов. Важнейшим элементом технологии здесь является выбор оптимальных спекающих добавок, которые должны обеспечивать хорошие оптические характеристики при наименьших температурах спекания и приемлемых размерах керамических зерен, что существенно для обеспечения термостойкости и долговечности работы активных лазерных элементов.

В лекции рассмотрены основные подходы и проблемы получения прозрачных, в том числе лазерных, керамик на основе иттрий-алюминиевого граната и оксида иттрия. В частности, приведены результаты детального сравнения влияния ряда спекающих добавок на технологию и характеристики образцов керамики иттрий-алюминиевого граната $Y_3Al_5O_{12}$ (ИАГ) и оксида иттрия. Такие добавки в ряде случаев являются решающими для достижения прозрачности керамик. Ранее в ряде работ (например, [10-16] и ссылки в этих работах) были изучены отдельные спекающие добавки, в основном, SiO_2 , MgO , $MgO-SiO_2$, ZrO_2 , $SiO_2-B_2O_3$, La_2O_3 но их сопоставление, как правило, не производилось. В данной работе изучено влияние на процесс спекания керамики ИАГ как этих добавок, так и некоторых других, например, CaO , Bi_2O_3 , и комбинаций всей совокупности добавок. В качестве добавок использовались оксиды, вводимые либо в виде порошка, либо в виде подходящего раствора. Образцы керамик готовились по обычной для реактивного спекания схеме – смешение-помол в планетарной мельнице, сухое прессование с холодным изостатическим прессованием на завершающей стадии и спекание в вакууме.

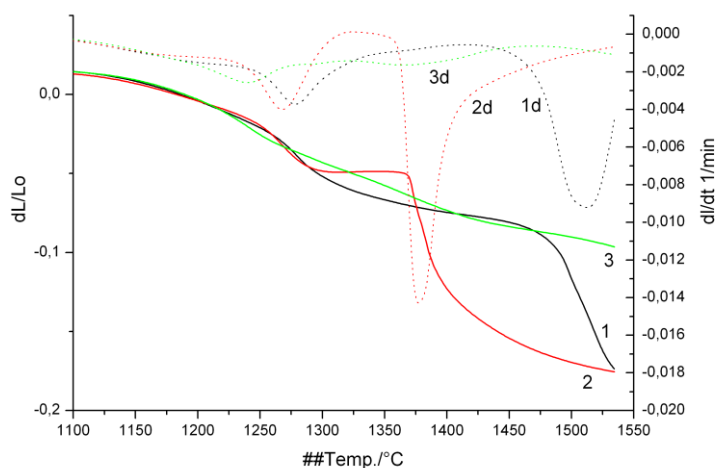


Рис.1. Дилатометрические характеристики спекания керамики YAG, Yb:YAG при использовании различных спекающих добавок. 1,2,3 – кривые усадки. 1d,2d,3d – производные по времени кривых усадки. 3 – керамика, содержащая только SiO₂, 1 и 2 – керамики, содержащие дополнительно ZrO₂ и B₂O₃

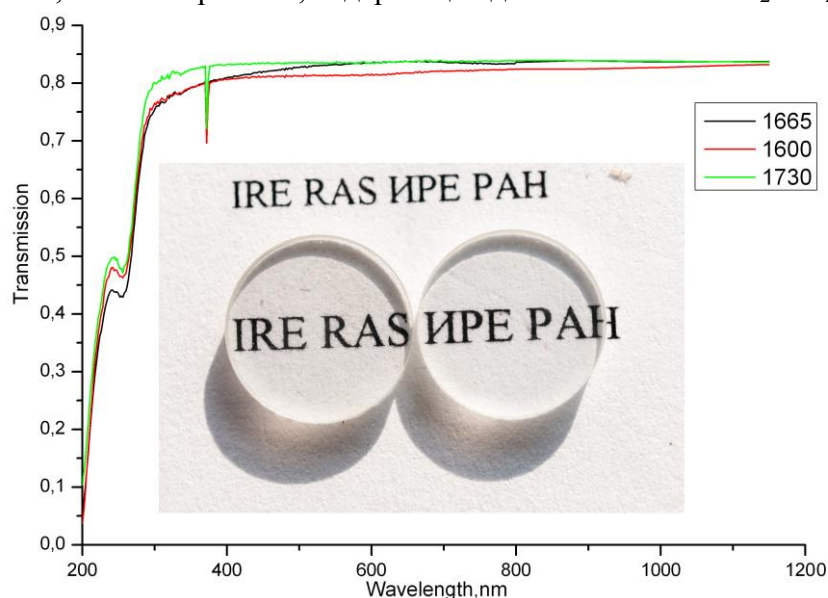


Рис.2. Внешний вид образцов керамик YAG (на вставке) и оптические спектры пропускания. На правой вставке приведены температуры выдержки при спекании

Изучались кинетика спекания по результатам дилатометрических измерений, рентгенофазовый состав керамик, спектры оптического пропускания/поглощения; спектры люминесценции.

Найдено, что возможна комбинация состава спекающих добавок, при которой достаточная для достижения 100% плотности температура спекания может быть снижена более чем 200°C по сравнению с традиционно используемой добавкой SiO₂. На рис.1, как пример, приведены кривые усадки образцов и их скорости. Видно, что для образца 3 (только SiO₂) максимальная скорость усадки приходится на диапазон температур выше 1600°C, а при температуре 1600°C фаза собственно граната составляет не более 85 объемных процента. В тоже время, в образцах содержащих дополнительно B₂O₃ и ZrO₂, уже при температуре 1550°C полностью завершается формирование фазы граната и практически

полностью заканчивается спекание. Тот факт, что спекание “стартует” при довольно низких температурах (особенно кривая 2,2d на рис.1) обеспечивает более полное устранение пор. В этом случае небольшие погрешности (неоднородности) при прессовании имеют полный шанс быть сглаженными. С другой стороны, относительно низкотемпературное завершение формирования фазы граната говорит о том, что диффузионные процессы идут быстрее, чем в случае SiO_2 , что дает возможность нивелировать гранулометрические погрешности приготовления порошковых смесей. Таким образом, можно сделать вывод, что найденные комбинации спекающих добавок действительно способствуют упрощению технологии и повышению ее воспроизводимости.

С использованием разработанных технологических методик получены образцы керамик YAG и Yb:YAG, Nd:YAG, Cr:YAG и композиты на их основе. В качестве примера качества полученных образцов на рис. 2 и 3 приведены общий вид и спектры пропускания образцов граната. Пропускание (in line) на обычной длине волны лазерной генерации (порядка 1 мкм) достигает величины 84.5 процента для толщин образцов 1 мм, что соответствует теоретически достижимому уровню.

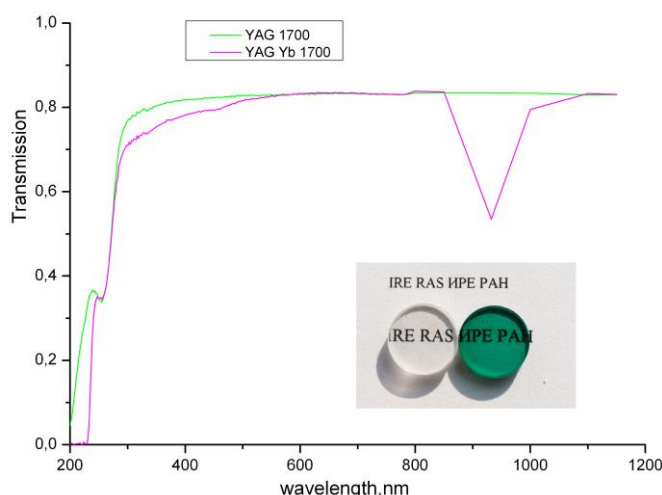


Рис.3. Общий вид и спектры пропускания образцов керамик YAG и Yb:YAG. На нижней вставке правый образец Yb:YAG сразу после спекания, левый после дополнительного отжига при температуре 1100°C. На вставке сверху температуры спекания

Работа поддержана грантом РФФИ № 14-02- 90446 а.

1. J. Sanghera, B. Shaw, W. Kim, et al., Proc. of SPIE **7912**, 7912 1Q-1-15 (2011).
2. J. Sanghera, W. Kim, G.Villalobos, et al., Proc. of SPIE **8039**, 8039 03-1-8 (2011).
3. С.Г.Гаранин, А.В.Дмитрюк, А.А.Жилин, и др., Оптический журнал **77(9)**, 52–68 (2010).

4. J. Sanghera, W. Kim, G. Villalobos, et al., *Opt. Mater.* **35**, 693-699 (2013).
5. V.B. Kravchenko, Yu.L. Kopylov, *Handbook of solid-state lasers, edited by Denker and Shklovsky. Chapter 3*, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2013.
6. J. Guo, J. Li, H. Kou, *Inorganic Synthetic Chemistry* **19**, 429-453 (2011).
7. S.F.Wang, J. Zhang, D.W. Luo, et al., *Progress in Solid State Chemistry* **41**, 20-54 (2013).
8. G. Boulon, *Opt. Mater.* **34**, 499-512 (2012).
9. С.Н.Багаев, А.А.Каминский, Ю.Л. Копылов, и др., *Квантовая электроника* **43**(3), 271-275 (2013).
10. R. Boulesteix, A. Maître, J.-F. Baumard, et al., *Opt. Mater.* **31**(5), 711-715 (2009).
11. A. Maître, C. Sallé, R. Boulesteix, et al., *J. Am. Ceram. Soc.* **91**(2), 406 – 413 (2008).
12. A.J. Stevenson, E.R. Kupp, G.L. Messing., *J. Mater. Res.* **26**(9), 1151-1158 (2011).
13. A. J. Stevenson, X. Li, M.A. Martinez, et al., *J. Am. Ceram. Soc.* **94**, 1380-1387 (2011).
14. H. Yang, X. Qin, J. Zhang, S. et al., *J. Alloys Compd.* **509**, 5274-5279 (2011).
15. H. Yang, X. Qin, J. Zhang, et al., *Opt. Mater.* **34**, 940-943 (2012).
16. W. Liu, W. Zhang, J. Li, et al., *J. Europ. Ceram. Soc.* **31**(4), 653-657 (2011).

**ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ ХРОМА НА СПЕКТРАЛЬНО-
ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ
 $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$**

Г.Е. Малашкевич¹, Е.Н. Подденежный², А.А. Бойко², К.Н. Нищев³,
Т.Г. Хотченкова¹, И.В. Прусова¹, И.И. Сергеев¹, П.П. Першукевич¹,
А.А. Суходола¹

¹Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь
²Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого,
Гомель, Беларусь

³Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск
E-mail: g.malashkevich@ifanbel.bas-net.by

С целью увеличения доли красной составляющей в спектре излучения двухкомпонентных (светодиод – люминофор) источников освещения исследованы спектрально-люминесцентные свойства полученной коллоидно-химическим методом керамики на основе $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$, дополнительно легированной из газовой фазы хромом.

Установлено, что синтезированная керамика включает $Y_3Al_5O_{12}$ пространственной группы $Ia\bar{3}d$ кубической сингонии при наличии незначительной примеси орторомбического $YAlO_3$ и характеризуется спектрами люминесценции и возбуждения люминесценции, приведенными на рис. 1. Отмечается высокая термостабильность её люминесцентных характеристик и радикальное различие мгновенных спектров люминесценции ионов Cr^{3+} , что позволяет сделать вывод о реализации этих ионов в двух различных подсистемах. При небольших концентрациях ионов Ce^{3+} и Cr^{3+} ($\approx 1 \cdot 10^{20}$ и менее $1 \cdot 10^{19}$ см⁻³ соответственно) отсутствует существенное тушение люминесценции Cr^{3+} и отмечается её заметная сенсibilизация ионами Ce^{3+} в подсистеме $Y_3Al_5O_{12}$.

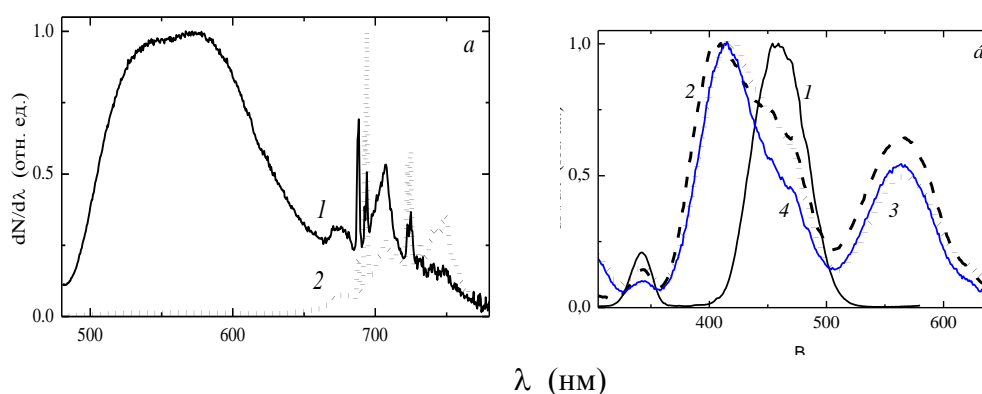


Рис. 1. Спектры люминесценции (а) и её возбуждения (б) керамики $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}, Cr^{3+}$.
 $\lambda_{воз}$, нм: 400 (2а) и 460 (1а), $\lambda_{пер}$, нм: 600 (1б), 694 (2б), 725 (3б) и 750 (4б)

Полученные результаты позволяют рассматривать соактивацию иттрий-алюминиевого граната ионами Ce^{3+} и Cr^{3+} как один из возможных путей увеличения доли красных квантов в спектре его люминесценции при возбуждении излучением светодиодов на основе кристалла InGaN.

ПРОЦЕССЫ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ И ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОКСИДНЫХ КРИСТАЛЛОВ

Л.И. Ивлева

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

E-mail: ivleva@lst.gpi.ru

Принцип формообразования, открытый и сформулированный С.В. Степановым позволяет получать изделия заданной геометрии из различных материалов непосредственно в процессе кристаллизации. В обзоре рассмотрены разработанные и осуществленные к сегодняшнему дню варианты и модификации способа, позволяющие получать монокристаллы не только в виде лент, стержней, труб, но и сложные профили кристаллов диэлектриков как постоянного, так и переменного сечения. Рассмотрены варианты управления процессами кристаллизации профилированных кристаллов. Приведены особенности формообразующих устройств (формообразователей) и параметры кристаллизационных процессов, определяющие стабильность процессов получения кристаллов заданной формы. Показаны возможности формирования структур постоянного и переменного составов. Исследованы особенности группового выращивания профилированных кристаллов. Рассмотрены причины образования ростовых дефектов и способы их устранения. Приведены достоинства и недостатки используемых вариантов способа Степанова, их применимость для отдельных кристаллических материалов и возможности использования профилированных кристаллов для различных применений.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ ПРИ КОЛОРИМЕТРИЧЕСКОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ИЗМЕНЕНИЯ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ОТРАЖАЕМОГО СВЕТА

А.В. Крайский¹, Т.В. Миронова¹, В.А. Постников², М.А. Шевченко¹,

¹*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва*

²*НИИ физико-химической медицины ФМБА России, Москва*

E-mail: kraiski@sci.lebedev.ru

Одним из существенных преимуществ голографических сенсоров перед многими другими является относительная простота использования их в качестве многоканальных. Это означает, что можно одновременно проводить различные измерения в разных точках его поверхности. Например, определять концентрацию одного компонента в различных растворах или концентрации разных компонентов одного и того же раствора, либо и то и другое. Для ускорения проведения большого количества анализов, например, для определения концентрации глюкозы во всех ячейках чипа одновременно, был разработан колориметрический способ измерения средней длины волны узкополосного излучения [1-2] по цветному цифровому изображению. Метод работает в видимом диапазоне 455 – 625 нм.

Суть способа состоит в том, что поскольку отраженное голограммой излучение узкополосно (спектральная ширина до 20 нм), то по соотношению сигналов в цветовых каналах изображения можно однозначно определить длину волны для каждого пикселя и построить карту длин волн изображения. Способ требует специальной калибровки цифрового регистратора.

Для одновременного проведения нескольких анализов была сконструирована кювета с микрофлюидными ячейками.

Однако при работе с голографическими сенсорами возникает ряд проблем, одна из которых – одномерное набухание слоя. При больших сдвигах волн это приводит к изменению угла отражения и длины волны. Для предотвращения этого был разработан специальный вид простой пространственной фильтрации излучения при записи голограммы.

Работа поддержана грантом программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине».

1. А.В. Крайский, Т.В. Миронова, Т.Т. Султанова, В.А. Постников, В.И. Сергиенко, В.Е. Тихонов. Способ измерения длины волны узкополосного светового излучения колориметрическим способом. Патент РФ № 2390738 21.05.2008.
2. А.В. Крайский, Т.В. Миронова, Т.Т. Султанова, Квантовая электроника **42**(12), 1137-1139 (2012).

АНТИСТОКСОВА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В КРИСТАЛЛАХ MF₂-HoF₃ (M= Ca, Ba, Cd) ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ НА УРОВНИ ⁵I₇ И ⁵I₅ ИОНОВ Ho³⁺

А.А. Ляпин¹, А.П. Меркулов¹, П.А. Рябочкина¹, П.П. Федоров²

¹Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

²Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва

E-mail: andrei_lyapin@mail.ru

Явление антистоксовой люминесценции редкоземельных ионов, легированных в различные матрицы, получило широкое применение во многих областях науки и техники.

В настоящей работе исследуется антистоксова люминесценция, возникающая во фторидных кристаллах (MF₂, где M=Ca, Ba, Cd) со структурой флюорита, легированных ионами Ho³⁺. Одной из особенностей данных материалов при легировании РЗ-ионами является образование в них кластеров из этих ионов, что влияет на характер механизмов, ответственных за возникновение антистоксовой люминесценции в этих материалах. Исследованию антистоксовой люминесценции ионов Ho³⁺ во фторидных кристаллах типа флюорита при возбуждении на уровни ⁵I₄, ⁵F₅, ⁵S₂, ⁵F₃ посвящено значительное количество публикаций [1-3]. Однако в настоящее время практически отсутствуют работы, в которых исследовалось коротковолновое свечение при возбуждении на энергетические уровни ⁵I₇ и ⁵I₅ ионов Ho³⁺ лазерным излучением. Ранее нами были исследованы механизмы антистоксовой люминесценции в кристаллах и керамиках CaF₂:Ho при возбуждении двухмикронным лазерным излучением на уровень ⁵I₇ ионов Ho³⁺ [4, 5]. Целью настоящей работы являлось изучение механизмов, ответственных за возникновение антистоксовой люминесценции в кристаллах CaF₂:Ho, BaF₂:Ho, CaF₂-SrF₂-HoF₃ при возбуждении на уровни ⁵I₇ и ⁵I₅ ионов Ho³⁺. При данных способах возбуждения исследованные кристаллы обладают интенсивным свечением в видимом диапазоне длин волн и могут быть использованы в качестве визуализаторов инфракрасного излучения. На основе полученных экспериментальных данных в работе предложены каналы заселения энергетических уровней ионов Ho³⁺ в кристаллах CaF₂:Ho, BaF₂:Ho, CaF₂-SrF₂-HoF₃ при возбуждении на уровни ⁵I₇ и ⁵I₅ этих ионов.

Работа выполнена при финансовой поддержке НИР в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности по заданию № 3.384.2014/К и государственного задания № 0708 0210059 611 («Организация проведения научных исследований»).

1. Brown M.R., Shand W.A., Physics Letters, **11**, 219 (1964).
2. S.R. Bullock, et al, J. Opt. Soc. Am. B., **14**, 553 (1997).
3. Mujaji M., Comins J.D., Phys. Stat. Sol. C, **9**, 2372 (2004).
4. A.A. Lyapin, et al, Quantum Electronics, **44**, 6, 602 (2014).
5. A.A. Lyapin, P.A. Ryabochkina, A.N. Chabushkin, S.N. Ushakov, P.P. Fedorov, Journal of Luminescence, **167**, 120 (2015).

ЛАЗЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АКТИВНОЙ СРЕДЫ $\text{LiLu}_{0.7}\text{Y}_{0.3}\text{F}_4:\text{Ce}^{3+}$ В РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ ИМПУЛЬСОВ УЛЬТРАКОРОТКОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

И.И. Фарухшин, А.С. Низамутдинов, В.В. Семашко, С.Л. Кораблева
Институт физики КФУ, Казань
E-mail: burusha16@gmail.com

Сегодня развитие технологий требует применения оптических квантовых генераторов со стабильными спектральными параметрами, которые работают в УФ диапазоне спектра с импульсами короткой и ультракороткой длительности [1]. Новым подходом к получению требуемых спектральных характеристик является прямое получение лазерной генерации УФ диапазона спектра на фторидных кристаллах, активированных Ce^{3+} , в частности в кристалле $\text{LiLu}_{0.7}\text{Y}_{0.3}\text{F}_4:\text{Ce}^{3+}$ [2].

Основными процессами, препятствующими получению лазерной генерации, в таких активных средах являются поглощение из возбужденного состояния активатора и образование центров окраски (ЦО). В кристалле $\text{LLYF}:\text{Ce}$ ЦО обладают полосой поглощения, перекрывающейся с полосой люминесценции. Проводя аналогию с методом пассивной модуляции добротности в насыщающихся поглотителях, мы получаем хорошую предпосылку для получения коротких импульсов в УФ диапазоне.

Нами была реализована экспериментальная установка для получения УК импульсов в УФ диапазоне. Лазерная генерация была получена в импульсном режиме с длиной волны $\lambda = 311$ нм и длительностью импульса $t_{\text{имп}} = 400$ пс, время жизни фотонов составило $\tau_c = 281$ пс.

Длительность импульса превышает время жизни фотона в резонаторе, что свидетельствует о многомодовом характере лазерной генерации. Но мы наблюдаем одиночный импульс, который не повторяет импульс накачки. Данный факт свидетельствует о возможной модуляции добротности внутри резонатора.

1. B. Wellmann, D. J. Spence and D.W. Coultts, *Opt. Lett.* **39**(5), (2014).
2. S. Nobuhiko, L. Zhenlin, S. Yusaburo, et al., *Opt. Lett.* **20**(6), (1995).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХМИКРОННОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССА ЭНДОВАЗАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБЛИТЕРАЦИИ ВАРИКОЗНЫХ ВЕН IN-VITRO

А.Н. Беляев, О.А. Кузнецова, А.А. Ляпин, К.С. Романов, П.А. Рябочкина,
А.Н. Чабушкин, С.А. Хрущалина

*Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарёва, Саранск*

E-mail: chabushkin@mail.ru

Эндовенозная лазерная облитерация широко применяется для ликвидации рефлюкса в магистральных подкожных венах. Для реализации данного процесса в клинической практике применяются лазеры, генерирующие излучение на длинах волн: 810, 970 и 1470 нм. Излучение с длинами волн 810 нм и 970 нм попадает в полосы поглощения гемоглобина, поэтому соответствующие лазеры классифицируются как «Н» лазеры. Излучение с длиной волны 1470 нм хорошо поглощается водой, и соответствующие лазеры относят к «W» лазерам.

Несмотря на то, что процесс лазерной облитерации активно применяется в ряде клиник для лечения варикозной болезни, однозначное представление о механизме действия энергии лазерного излучения на стенку вены отсутствует. Ряд авторов считает, что лучшее поглощение излучения водой приводит к поглощению излучения при прохождении им меньшего расстояния в биологической ткани. При этом повреждающий эффект венозной стенки обеспечивается при меньшей мощности подводимого в вену лазерного излучения.

В настоящей работе представлены результаты экспериментов по эндовазальной лазерной облитерации варикозных вен in-vitro, выполненные при использовании излучения с длиной волны 1.885 мкм. В первой серии экспериментов лазерное излучение с длиной волны 1.885 мкм вводилось в сегменты вен, удаленных интраоперационно, заполненных физиологическим раствором, через волокно с плоским торцом. Во второй серии экспериментов излучение вводилось в сегменты вен, заполненных цельной кровью.

Результаты гистологического анализа сегментов вен после воздействия лазерным излучением показывают, что значительные повреждения стенки вены с областями некроза в случае физиологического раствора происходят при значении мощности лазерного излучения 3 Вт и скорости извлечения световода 0.5 мм/с. При использовании цельной крови аналогичные повреждения характерны для мощности лазерного излучения 2.8 Вт и скорости извлечения световода 0.6 мм/с.

На основе элементного анализа торца световода, выполненного после экспериментов в физиологическом растворе и цельной крови, сделан вывод о влиянии горячего карбонизированного слоя на торце световода на повреждение внутренней стенки вены.

Работа выполнена при поддержке Государственного задания Министерства образования и науки РФ (Проект № 3.384.2014/К).

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ
КВАЗИМОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ КАНАЛОВ
В ЛАНТАНОБОРОГЕРМАНАТНОМ СТЕКЛЕ ЛАЗЕРНЫМ ПУЧКОМ

Т.О. Липатьева, А.С. Липатьев, С.В. Лотарев, В.Н. Сигаев

Международный центр лазерных технологий

РХТУ им Д.И. Менделеева, Москва

E-mail: t.lipatieva@yandex.ru

Формирование протяженных квазимонокристаллических каналов в объеме стекол с помощью фемтосекундных лазеров является одним из актуальных направлений исследований, связанных с разработкой активных элементов интегральной оптики. В рамках этого направления ведется поиск новых составов стекол и режимов модифицирования их свойств, позволяющих получать в стеклах сформированные лазером бездефектные волноводные каналы, в том числе кристаллические.

В данной работе проведен поиск оптимальных условий формирования квазимонокристаллических линий в лантаноборогерманатных стеклах вблизи состава сегнетоэлектрика LaBGeO_5 под действием фемтосекундных лазерных импульсов с длиной волны 1030 нм, длительностью до 340 фс в широком диапазоне частоты следования (5–500 кГц) и энергии импульсов (0,1–110 мкДж). Установлено, что оптимальная скорость перемещения лазерного пучка относительно образца лежит в интервале от 20 до 50 мкм/с и находится в прямой зависимости от энергии импульса – с повышением энергии импульса лазера для получения квазимонокристаллической структуры необходимо повышать эту скорость. В этом случае непрерывный рост однородной ориентированной кристаллической структуры – вдоль направления сканирования лазером. Показано, что энергия импульса лазерного пучка, которая обеспечивает формирование квазимонокристаллической линии, лежит в пределах от 0,3 до 38,8 мкДж. Снижение энергии импульса позволяет значительно уменьшить количество трещин и улучшить профиль кристаллической линии. Добиться существенного снижения энергии импульса можно, увеличивая частоту следования импульсов. Так, при частоте следования импульсов 300 кГц энергия импульса может быть снижена до 0,5 мкДж. Глубина фокусировки пучка относительно поверхности стекла также существенно влияет на профиль кристаллической линии: при ее увеличении свыше 100 мкм наблюдается значительное вытягивание профиля и образование протяженных трещин в структуре кристалла.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (грант 14.Z50.31.0009) и Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 14-03-00931 и 13-03-01018).

ЛОКАЛЬНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ
ЛИТИЕВОНИОБИЕВОСИЛИКАТНОГО СТЕКЛА ИЗЛУЧЕНИЕМ
ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРА

Д.М. Шевякина, С.В. Лотарев, Т.О. Липатьева, В.Н. Сигаев
*Международный центр лазерных технологий, Российский химико-
технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва*

E-mail: shevyakinadarya@bk.ru

В последнее время усиливается тенденция к миниатюризации различных устройств оптоэлектроники, интегральной и волоконной оптики, что влечет за собой потребность создания новых функциональных материалов. Это вызвало активное развитие методов локальной и направленной кристаллизации стекла, в том числе модифицирование структуры стекла пучком фемтосекундных лазеров с выделением кристаллов с особыми свойствами (спектрально-люминесцентными, пиро- и пьезоэлектрическими, нелинейно-оптическими и пр.). Данный способ наряду с локальным изменением показателя преломления позволяет получать трехмерные кристаллические структуры в объеме стекол.

Одним из наиболее перспективных кристаллов для формирования структур сложной архитектуры является сегнетоэлектрик LiNbO_3 с высокой оптической нелинейностью. В данной работе локальной лазерной обработке подвергнуто литиево ниобиево силикатное стекло состава $32,5\text{Li}_2\text{O}-27,5\text{Nb}_2\text{O}_5-40\text{SiO}_2$ (мол.%). Ранее для этого стекла исследовались условия формирования кристаллической фазы фемтосекундным лазерным излучением, частота которого составляла 200 кГц [1], а в работе [2] продемонстрирована кристаллизация LiNbO_3 в стекле близкого состава при частотах следования импульсов 200–500 кГц [2].

В настоящем исследовании впервые показана возможность образования кристаллов ниобата лития под действием фемтосекундного пучка с частотой следования импульсов 100 кГц и менее и определены соответствующие режимы облучения. В работе использовался фемтосекундный регенеративный лазерный усилитель ТЕТА, генерирующий импульсы длительностью 290 фс с энергией до 120 мкДж на длине волны 1030 нм. Исследован широкий диапазон режимов облучения стекла движущимся лазерным пучком: энергия в импульсе от 2 до 12 мкДж, скорость сканирования от 1 до 300 мкм/с. Для частоты следования импульсов 100 кГц: максимальная скорость сканирования лазерным пучком, позволяющая формировать сплошные каналы из ниобата лития в стекле выбранного состава, составила 10 мкм/с при энергии импульса 2 мкДж и 100 мкм/с при энергии импульса 4–6 мкДж. Образование фазы LiNbO_3 подтверждено данными конфокальной спектроскопии КР. Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (грант №14.Z50.31.0009) и РФФИ (гранты 14-03-00931 и 13-03-01018).

1. Yu B. *et al.* JOSA B, **21**(1), 83-87 (2004).
2. He X. *et al.* JOSA B, **31**(2), 376-381 (2014).

ФОРМИРОВАНИЕ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СТЕКЛАХ ФЕМТОСЕКУНДНЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

С.С. Федотов¹, А.С. Липатьев¹, С.В. Лотарев¹, М. Бересна²,
П.Г. Казанский^{1,2}, В.Н. Сигаев¹

¹*Международный центр лазерных технологий РХТУ им Д.И. Менделеева,
Москва*

²*Университет Саутгемптона, Саутгемптон, Великобритания
E-mail: monteske@mail.ru*

Явления анизотропного рассеяния света и двулучепреломления, которые возникают в кварцевом стекле, модифицированном фемтосекундными лазерными импульсами, в последние годы привлекли большое внимание исследователей. Было показано, что эти явления связаны с формированием так называемых нанорешеток [1]. Такие периодические наноструктуры уже применяются для создания устройств микрогидродинамики, конверторов поляризации лазерного излучения. Продемонстрирована возможность создания многоуровневой объемной оптической памяти на их основе [2]. К настоящему моменту нанорешетки были получены, помимо кварцевого стекла, в многокомпонентных стеклах марок ULE (Corning), Borofloat 33 (Schott) [3], а также в стеклообразном GeO₂ [4].

В нашей работе предпринята попытка сформировать двулучепреломление, зависящее от поляризации фемтосекундного пучка, в ряде многокомпонентных стекол, в том числе за пределами силикатной стеклообразующей системы. Для этой цели использовались два фемтосекундных регенеративных усилителя: Pharos (340 фс, 1030 нм, энергия импульса до 400 мкДж, частота следования импульсов до 500 кГц) и TETA (290 фс, 1030 нм, энергия импульса до 120 мкДж, частота следования до 100 кГц). Исследования модифицированных этими лазерами стекол с помощью системы количественного микроанализа двулучепреломления Abrio Microbirefringence впервые продемонстрировали возможность получения поляризационно-зависимого двулучепреломления в щелочносиликатных, натриевооборотных, натриевоалюмооборотных и стронциевооборотных стеклах, а также в промышленном бесщелочном стекле AF32 (Schott). Установлены диапазоны составов стекол и режимов лазерного облучения, для которого реализуется данный эффект.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (грант №14.Z50.31.0009).

1. Shimotsuma Y. et al., Phys. Rev. Lett., **91**, 247405 (2003)
2. Zhang J. et al., Phys. Rev. Lett., **112**, 33901 (2014)
3. Richter S. et al., Opt. Mat. Ex., **3**, 189607 (2013)
4. Zhang F. et al., J. Opt. Soc. Am. B, **31**, 860 – 864 (2014)

ФОТОИНДУЦИРУЕМЫЕ ПЕРИОДИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ В КРИСТАЛЛАХ $\text{CaF}_2\text{-LuF}_3$, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ Ce^{3+} и Yb^{3+}

Н.Ф. Рахимов, А.И. Любимов, А.С. Низамутдинов, В.В. Семашко
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань
E-mail: niyaz@mail.ru

В настоящее время ведется активное исследование материалов, в объеме которых можно было бы создавать пространственные периодические неоднородности оптических характеристик (показатель преломления, коэффициент поглощения) для целей реализации на их основе фотонных кристаллов [1,2,3]. Также ведутся поиски методик создания периодических структур на основе центров окраски. В работе [4] в кристалле LiF были созданы периодические структуры с периодом 1 мкм за счет обесцвечивания центров окраски, предварительно наведенных в кристаллическом материале. Существенным является то, что сейчас периодические структуры изготавливают посредством травления либо наведения дефектов в материалах жестким УФ-излучением или электронными пучками, т.е. они являются стационарными. При этом следует отметить, что существуют короткоживущие центры окраски, время жизни которых может принимать значения порядка 10^{-10} с [5].

Перспективным представляется создание материалов, оптическими свойствами которых можно было бы управлять с помощью внешнего лазерного излучения за счет управления равновесием динамических процессов в них при накачке УФ-излучением.

В настоящей работе обсуждаются результаты экспериментов по созданию периодических неоднородностей коэффициента поглощения центров окраски и коэффициента усиления в смешанных кристаллах со структурой флюорита $\text{CaF}_2\text{-LuF}_3$, активированных ионами Ce^{3+} и Yb^{3+} . Периодические неоднородности были созданы с помощью интерферометрических методов с использованием излучения 4-й гармоники лазера Nd:YAG с длиной когерентности 20 см. Представлены результаты исследований характеристик полученных периодических структур, а именно глубина модуляции, время жизни периодической структуры, спектральные характеристики.

1. L. Lu, A. Mock, M. Bagheri, J.-R. Cao, et al., IEEE Photonics Technology Letters **17**, (2009).
2. P. Barclay, K.-M. Fu, C. Santori, et al., OPTICS EXPRESS **12**, 9588-9601 (2009).
3. Y. Tanaka, J. Upham, T. Nagashima, et al., Nature materials **6**, 862-866 (2007).
4. F. Bonfigli, et. al., Applied Optics **31**, 38-43 (2009).
5. V. V. Semashko, A. K. Naumov, A. S. Nizamutdinov, et al., SPIE Proc **5402**, 421-429 (2004).

СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И ГЕНЕРАЦИОННЫЕ
СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ ZrO_2 - Y_2O_3 - Er_2O_3

А.А. Ляпин¹, Е.Е. Ломонова², П.А. Рябочкина¹, Н.В. Сидорова¹,
А.Н. Чабушкин¹

¹*Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет им. Н.П. Огарёва, Саранск*

²*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва
E-mail: chabuschkina@mail.ru*

Кристаллы стабилизированного иттрием диоксида циркония, активированные редкоземельными ионами, представляют интерес для лазеров с полупроводниковой накачкой.

В настоящей работе представлены результаты исследований спектрально-люминесцентных характеристик кристаллов ZrO_2 -13.4 мол.% Y_2O_3 -0.6 мол.% Er_2O_3 .

Получены спектральные зависимости сечений поглощения перехода ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$, люминесценции вынужденного перехода ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} в кристаллах ZrO_2 -13.4 мол.% Y_2O_3 -0.6 мол.% Er_2O_3 . Используя данные зависимости, для этих кристаллов получена спектральная зависимость сечения усиления лазерного перехода ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} при различных значениях параметра относительной инверсной населенности.

В кристаллах ZrO_2 -13.4 мол.% Y_2O_3 -0.6 мол.% Er_2O_3 при возбуждении на уровень ${}^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} обнаружена антистоксова люминесценция с уровней ${}^4S_{3/2}$ и ${}^4F_{9/2}$ ионов Er^{3+} . Исследованы механизмы возникновения этой люминесценции.

Представлены результаты генерационного эксперимента на переходе ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ ионов Er^{3+} при накачке на уровень ${}^4I_{13/2}$ кристаллов ZrO_2 -13.4 мол.% Y_2O_3 -0.6 мол.% Er_2O_3 волоконным лазером с длиной волны 532 нм.

Работа выполнена при поддержке Государственного задания Министерства образования и науки РФ (Проект № 3.384.2014/К).

УФ-ЛАЗЕРЫ УЛЬТРАКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛОВ $\text{Ce}^{3+}:\text{LiCaAlF}_6$ и $\text{Ce}^{3+}:\text{LiLuYF}_4$

О.Р. Ахтямов, В.В. Семашко, А.С. Низамутдинов, М.А. Марисов
Казанский федеральный университет, Казань, Россия
E-mail: akhtyamovo@mail.ru

Важной проблемой квантовой электроники является генерация ультракоротких лазерных импульсов (УКИ) в УФ-диапазоне спектра. Семейство церий-активированных кристаллов открывает возможность создания УФ твердотельных лазеров с перестройкой по длине волны [1]. В данной работе сообщается о генерации УКИ в УФ-диапазоне спектра с использованием активных сред на основе кристаллов колквириита $\text{Ce}^{3+}:\text{LiCaAlF}_6$ и смешанных кристаллов $\text{Ce}^{3+}:\text{LiLuYF}_4$ со структурой шеелита, накачиваемых на длинах волн 266 нм и 300 нм, соответственно [2]. Экспериментальные результаты представлены на рис. 1.

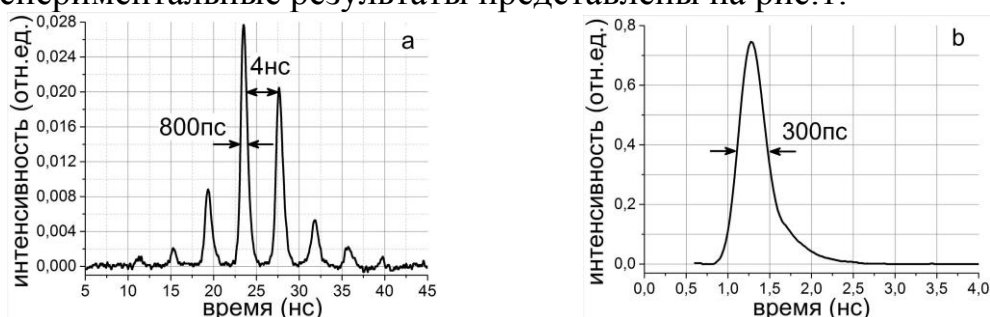


Рис. 1. Временное распределение интенсивности импульсов генерации лазеров на основе кристаллов $\text{Ce}^{3+}:\text{LiCaAlF}_6$ (a) и $\text{Ce}^{3+}:\text{LiLuYF}_4$ (b)

Активная среда $\text{Ce}^{3+}:\text{LiCaAlF}_6$ помещалась в сложный резонатор, состоящий из короткого низкодобротного и длинного резонаторов, как это было сделано ранее, например, в [2]. Короткий резонатор обеспечивал генерацию УФ лазерного излучения в пиковом режиме, в то время как длинный резонатор выделял первый из пиков и обеспечивал режим его регенеративного усиления. В результате была достигнута стабильная генерация последовательности УКИ длительностью 800 пс, периодом 4 нс.

Также обсуждается возможность модуляции внутррезонаторных потерь, используя фотодинамические процессы. Так индуцированные УФ накачкой потери в активной среде могут быть использованы для укорочения импульсов генерации. Для этого были выбраны кристаллы семейства $\text{Ce}^{3+}:\text{LiLuYF}_4$, так как в них достаточно сильно выражено формирование центров окраски [3]. Сообщается о генерации одиночного УКИ длительностью 300 пс в резонаторе Фабри-Перо на основе кристалла $\text{Ce}^{3+}:\text{LiLuYF}_4$ (рис.1b). Обсуждаются перспективы укорочения УФ лазерных импульсов и создания новых УКИ твердотельных УФ лазеров.

1. N. Sarukura, Z. Liu, M.A. Dubinski et al., IEEE J. STQE, **1**, 792 (1995).
2. N. Sarukura, Z. Liu, S. Izumida et al., J. Appl. Opt., **37**, 6446 (1998).
3. O.R. Akhtyamov, A.S. Nizamutdinov, V.V. Semashko et al., Proc. SPIE, **7994**, 79940I (2011).

МИКРО- И НАНОКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ В РАСПЛАВАХ $YAl_3(BO_3)_4$ И $GdAl_3(BO_3)_4$

Д.А. Напрасников¹, В.В. Мальцев¹, Н.И. Леонюк¹, К.Н. Горбаченя²
¹*Кафедра кристаллографии и кристаллохимии, геологический факультет,
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва;*

²*Белорусский национальный технический университет, Минск
E-mail: dante88152247711@mail.ru*

Изучение особенностей микро- и нанокристаллизации в вязких расплавах боратов актуально для создания сравнительно недорогих оптических стеклокристаллических материалов – элементной базы компактных лазерных систем [1,2]. В предлагаемом сообщении обсуждается синтез стеклокристаллических композитов на основе $YAl_3(BO_3)_4$ (YAB) и $GdAl_3(BO_3)_4$ (GdAB) с различными вариациями состава и температурных условий. При охлаждении соответствующих этим формулам расплавов формируется непрозрачная стеклокерамика (глазурь), а при 100%-ном избытке в них борного ангидрида и продолжительной выдержке при максимальной температуре (оптимальной 1250 и 1350°C для GdAB и YAB соответственно) материал становился прозрачным.

Для полученных образцов характерно два вида рентгенограмм: (1) аморфных веществ, без четких пиков и (2) с выделением интенсивных отражений, свидетельствующих о присутствии кристаллической фазы в стекловидной матрице. Часть их совпадает при наложении с пиками “эталонных” рентгенограмм кристаллов GdAB и YAB.

На электронномикроскопических снимках YAB-содержащих глазурей наблюдаются полости, возможно, связанные с удалением летучих компонентов при кристаллизации. Согласно микрозондовому анализу, в стеклянной матрице зачастую просматриваются отличающиеся по составу участки, что также может свидетельствовать о формировании в ней наноразмерных кристаллитов. В прозрачных GdAB-композитах фиксируются игольчатые микрокристаллы, в то время как в глазури обнаружено два их типа - удлиненные (до нескольких микрон), с отношением длины к ширине $\sim 10/1$, и идиоморфные призматические индивиды.

Методом объемной рентгеновской томографии в выбранном объеме (1мм³) стеклянной матрицы установлено, что содержание кристаллической фазы в ней достигает 32.5%, в то время как полости составляют 0.35%.

Получены спектры поглощения стеклокристаллических композитов на основе Er, Yb:YAB, форма которых схожа со спектрами фосфатных стекол.

1. G. Karlsson, et al., Appl. Phys., **В 75**, 41 (2002)
2. K.N. Gorbachenya, et al., Optics Letters, **38(14)**, 2446 (2013)
3. N.I. Leonyuk, J. Crystal Growth, **174(1-4)**, 301 (1997)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ПАДАЮЩЕГО НА ОБРАЗЦЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАЗЕРНО-СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Б.Н. Казаков, О.Г. Гориев, В.В. Семашко
Казанский федеральный университет, Казань
E-mail: bor300@yandex.ru

Оценка плотности мощности лазерного излучения, падающего на кристалл, необходима в подавляющем большинстве лазерно-спектроскопических экспериментов и проведении тестов, направленных на исследование характеристик лазерной генерации. При этом основной трудностью для таких оценок является измерение площади поперечного сечения лазерного луча непосредственно на поверхности образцов. Традиционно сечение пучка наиболее просто определяется путем регистрации размера радиационных повреждений какого-либо материала (фотобумага, копировальная бумага и пр.), а также по размерам его изображения на экране или люминофоре, наблюдаемого визуально, либо с применением камер [1]. Однако, насколько нам известно, не существует серийных приборов для измерения распределения интенсивности пучка возбуждения непосредственно на исследуемых объектах в перетяжке фокусирующей оптики, а имеющиеся на рынке приборы позволяют оценивать лишь характеристики пучков лазера, распространяющихся в свободном пространстве, по которым по известным формулам оптики гауссовых пучков рассчитываются поверхностная плотность мощности излучения. Естественно, что точность таких расчётов обычно оставляет желать лучшего, что неизбежно обуславливает ошибки последующих оценок параметров процессов, определяющих заселение возбужденных состояний в исследуемых образцов.

В настоящей работе представлена методика, позволяющая исследовать распределение интенсивности (мощности) лазерного пучка в области его перетяжки на поверхности кристаллического образца. Для этого нами предлагается использовать люминесценцию кристалла, проецируя ее изображение на плоскость ПЗС-матрицы. Для реализации этой идеи мы применили измерительный микроскоп МПБ-2 (24-х кратное увеличение, рабочее расстояние между объективом и объектом ~6 см, цена деления шкалы — 0,05 мм) и веб-камеру Logitech HD Webcam C525. Для осуществления измерений микроскоп настраивается на резкое изображение передней поверхности кристалла, в которую входит лазерный луч.

В качестве иллюстрации методики приводятся результаты измерения поверхностной плотности мощности лазерного излучения на поверхности кристалла $\text{LiYbF}_4:\text{Ho}^{3+}$ (0.2 мол.%), возбуждаемого излучением лазерного диода с длиной волны 935 нм (рис. 1).

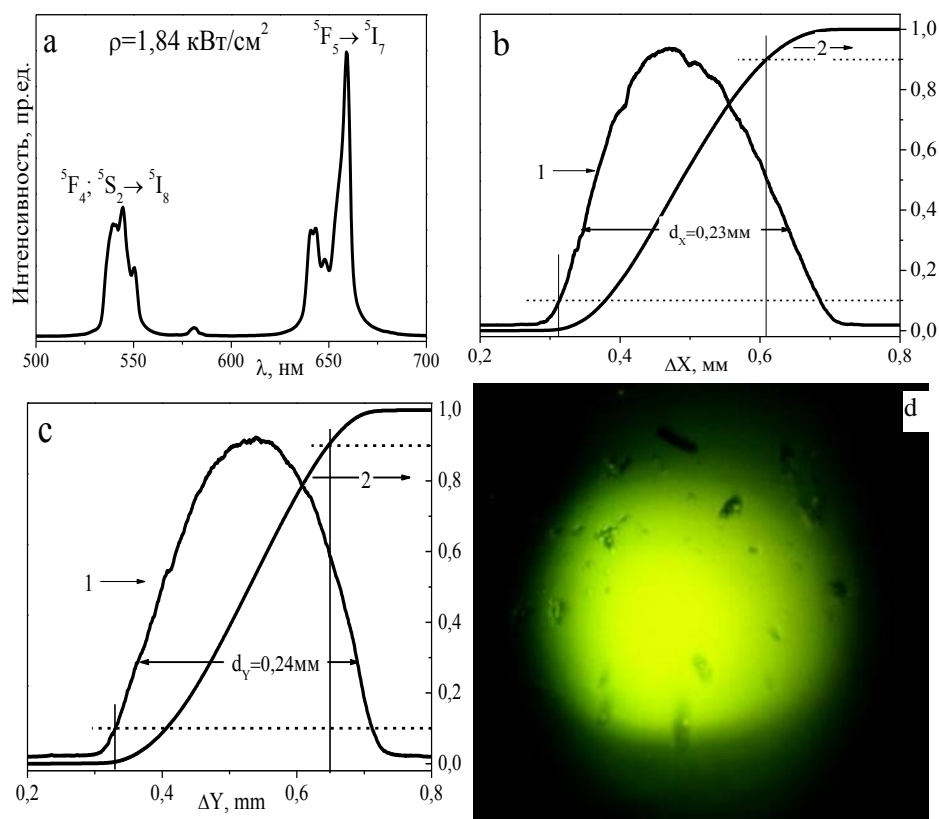


Рис. 1 Спектр люминесценции кристалла $\text{LiYbF}_4\text{Ho}^{3+}$ (0.2%) $\lambda_{\text{воз}} = 935\text{nm}$ –а; проекции распределения плотности мощности излучения по поверхности кристалла на плоскость X (b) и Y(c): проекции распределения — 1 и интегральные проекции распределения — 2; d — фотография излучения кристалла (фильтр СЗС-21)

Обсуждается методика анализа изображения сечения лазерного луча в области его перетяжки на поверхности кристалла, зарегистрированное в области возбуждаемой им зеленой люминесценции (рис.1 a,d). Приводятся результаты расчетов распределения интенсивности возбуждения (рис.1 b,c), а также оценивается поверхностная плотность мощности излучения возбуждения на образце в зависимости от степени фокусировки. Продемонстрирована адекватность получаемых с помощью данной методики результатов с результатами измерений, выполненными с использованием других методик, а также литературными данными по исследованию спектрально-люминесцентных характеристик кристаллов $\text{LiYbF}_4\text{:Ho}^{3+}$.

1. Г.Хирд, *Измерение лазерных параметров. (Экспериментальные методы оптической квантовой электроники)*, М.: Мир, 1970.

СПЕКТРАЛЬНО-КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛА $\text{LiYF}_4:\text{Yb}^{3+},\text{Tm}^{3+}$

О.Г. Гориев, Б.Н. Казаков, С.Л. Кораблева, В.В. Семашко
Казанский (Приволжский) Федеральный Университет
E-mail: goriev.o.g@gmail.com

В современной спектроскопии твердотельных лазерных сред, активированных РЗ-ионами, существует актуальная проблема повышения эффективности ап-конверсионной накачки высоко лежащих энергетических состояний. Благодаря эффективному преобразованию излучения инфракрасных лазерных диодов (ИК ЛД) в видимую и УФ люминесценцию, кристаллы с двойной активацией РЗ ионами нашли широкое применение в цветных дисплеях, солнечных батареях, ИК-индикаторах и т.д.[1,2]. Кроме того, важно знать характеристики переходных процессов, которые определяют установившийся динамический режим работы этих устройств. Длительность переходных процессов можно определить по реакции на внешние возмущения в виде дельта-импульса, единичного скачка или периодической последовательности прямоугольных импульсов.

В данной работе представлены результаты спектроскопических исследований кристалла $\text{LiYF}_4:\text{Yb}^{3+},\text{Tm}^{3+}$ при возбуждении лазерным излучением наносекундного диапазона длительностей и непрерывным излучением ИК ЛД (рис. 1).

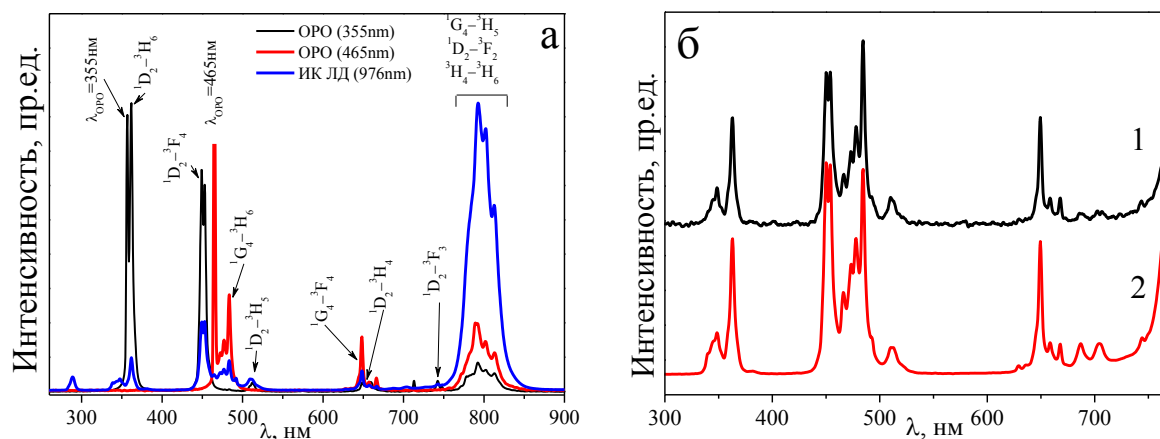


Рис. 1. Спектры люминесценции ионов Tm^{3+} в кристалле $\text{LiYF}_4:\text{Yb}^{3+},\text{Tm}^{3+}$:
(а) — возбуждаемые непрерывным излучением ИК ЛД ($\lambda_{\text{ЛД}}=976\text{нм}$, $P_{\text{ЛД}}=1,5\text{Вт}$) и оптическим параметрическим генератором (ОРО);
(б) — импульсно-периодическим ($t_{\text{ЛД}}=1\text{мс}$, $T_{\text{ЛД}}=16,67\text{мс}$) (1) и непрерывным (2) излучением ИК ЛД. В обоих случаях $\lambda_{\text{ЛД}}=976\text{нм}$, $P_{\text{ЛД}}=1,5\text{Вт}$

Исследованы зависимости спектров и кинетики люминесценции ионов Tm^{3+} в данном кристалле при воздействии излучения ИК ЛД, модулированного прямоугольными импульсами с периодом $T_{\text{ЛД}}=16,67\text{мс}$ и длительностью $t_{\text{ЛД}}=0,08\div 15\text{мс}$ по методике, предложенной в [3,4]. Показано, что, варьируя плотность мощности возбуждения, длительность и период следования импульсов возбуждения, удается существенно изменять

как вид спектров ап-конверсионной люминесценции, так и временные ее зависимости (рис.2).

Обнаружено, что при импульсном возбуждении излучением ИК ЛД длительностью $t_{\text{ЛД}}=0.1\text{мс}$ кинетика люминесценции ионов Tm^{3+} в области перехода ${}^1\text{G}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$ имеет вид, подобный пиковому режиму лазерной генерации, а при увеличении длительности импульса возбуждения сначала наблюдается немонотонное возрастание интенсивности люминесценции, достигающая максимума при $t_{\text{ЛД}}=2\text{мс}$, после которого она идет на спад. Кроме того, в начальной стадии кинетики люминесценции при длительностях импульсов возбуждения излучения ИК ЛД $t_{\text{ЛД}}=3\div 13\text{мс}$ обнаруживается четко выраженный экстремум, наблюдаемый спустя, примерно, 2мс после начала возбуждения. При дальнейшем увеличении $t_{\text{ЛД}} > 13\text{мс}$ экстремум отсутствует, что свидетельствует об установлении динамического равновесия между процессами заселения и распада возбужденных состояний ионов Tm^{3+} .

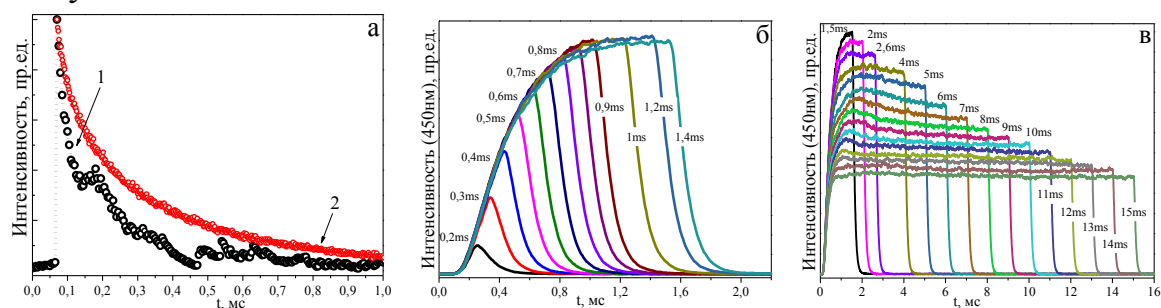


Рис. 2. Кинетика люминесценции ионов Tm^{3+} в кристалле $\text{LiYF}_4:\text{Yb}^{3+}, \text{Tm}^{3+}$: (а) — отклик люминесценции подобный «пиковому» лазерной генерации (переход ${}^1\text{G}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$) при $t_{\text{ЛД}}=0,1\text{мс}$, $T_{\text{ЛД}}=16,67\text{мс}$, $\lambda_{\text{ЛД}}=935\text{нм}$ (1) и кинетика люминесценции при $t_{\text{ЛД}}=10\text{нс}$, $\lambda_{\text{ЛД}}=465\text{нм}$ (2); (б,в) — кинетика люминесценции (переход ${}^1\text{D}_2 \rightarrow {}^3\text{F}_4$) при возбуждении излучением ИК ЛД: $t_{\text{ЛД}}=0,2\div 15\text{мс}$, $\lambda_{\text{ЛД}}=935\text{нм}$, $P_{\text{ЛД}}=1,44\text{Вт}$, $T_{\text{ЛД}}=16,67\text{мс}$, 300К

Значения интенсивностей отклика люминесценции по окончании импульса возбуждения уменьшаются по экспоненциальному закону с характеристическим временем $\tau \approx 10\text{мс}$, совпадающему по порядку величины с временем жизни иона $\text{Tm}^{3+} ({}^3\text{F}_4)$, равным 16 мс.

Результаты работы свидетельствуют, что удастся управлять населенностями ап-конверсионно возбужденных состояний, варьируя длительность и период следования импульсов возбуждения при фиксированной его интенсивности.

1. M. Wang, et al., Mater. Lett. **63**, 325 (2009).
2. Y. Huang, C.M. Lieber, Pure Appl. Chem. **76**, 2051 (2000).
3. V. V. Pavlov, et al., JETP Letters. **100**, 11(2014).
4. B.N. Kazakov, et al., J. of Physics:CS. **560**, 012003 (2014).

ОБРАТИМАЯ ФАЗОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО СТЕКЛА ИЗЛУЧЕНИЕМ СО₂-ЛАЗЕРА

Д.А. Савочкин, М.М. Сергеев, В.П. Вейко
Университет ИТМО, Санкт-Петербург
E-mail: denis-savochkin@mail.ru

Обработка фоточувствительных стекол (ФС) с использованием лазерных технологий активно применяется в течение последних десятилетий для создания различных микроструктур. Традиционные методы обработки состоят из двух этапов: процесса фотоактивации лазерным излучением и процесса необратимой кристаллизации при двух стадийной термообработке (ТО) в печи. Стадия ТО в печи, несмотря на большую длительность (от 4 до 8 ч), является необходимым условием для формирования кристаллической фазы в областях предварительной фотоактивации. Отжиг ФС излучением СО₂-лазера позволил отказаться от стадии ТО в печи и инициировать формирование кристаллической фазы на поверхности ФС в центре области воздействия прямо в процессе облучения [1, 2].

В настоящей работе исследовались структурно-фазовые переходы на поверхности ФС марки Foturan, находящемся в размягченном состоянии, под действием излучения с длиной волны 10.6 мкм. Проведенные исследования позволили определить оптимальные диапазоны температур при лазерном отжиге, приводящие к кристаллизации (470 – 575 °С) и обратной аморфизации (580 – 650 °С) поверхности ФС. Длительность отжига в процессе кристаллизации в зависимости от выбранного диапазона варьировалась в пределах от 5 до 25 мин. При этом было выявлено два типа кристаллической фазы, отличающиеся друг от друга по внешнему виду: остроконечной и многогранной формы, и структуре кристаллов, состав которых соответствовал дисиликату лития и метасиликату лития. Обратная аморфизация протекала от 5 до 25 с и сопровождалась заметным уменьшением шероховатости поверхности, а также восстановлением оптических свойств материала.

Определение режимов отжига ФС излучением СО₂-лазера позволило управлять процессами кристаллизации и обратной аморфизации в реальном времени и значительно сократить длительность обработки. Благодаря этому оказалось возможным создание на поверхности ФС областей с границей резкого перехода между кристаллической и аморфной фазами. Путем многократных структурно-фазовых переходов на поверхности ФС были получены области кристаллизации в форме кольца с размерами менее 1 мм, которые могут быть использованы как диафрагмы для лазерного излучения.

1. V.Veiko, E.Ageev, M.Sergeev et al., *Journal of Laser Micro/Nanoengineering* **8**, 155-160 (2013).
2. Э.И.Агеев, В.П.Вейко, *Оптический журнал* **79**, 86–94 (2012).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА УСТОЙЧИВОСТЬ
ФРОНТА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ, ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КРИСТАЛЛОВ
CaF₂-RF₃ И CaF₂-SrF₂ МЕТОДОМ БРИДЖМЕНА

С.Н. Ушаков^{1,2}, М.А. Усламина¹, П.П. Федоров², С.В. Кузнецов²,
К.Н. Нищев¹, В.В.Осико²

¹МГУ им.Н.П. Огарева, г.Саранск

²Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, г.Москва

E-mail: uslaminam@mail.ru

Для создания лазеров видимого и ближнего ИК-диапазона перспективны монокристаллы фторидов, активированные Tm, Er, Yb, Dy. Одной из проблем при выращивании кристаллов твердых растворов со структурой флюорита оптического качества является образование характерной неоднородности типа ячеистой субструктуры [1]. Целью работы являлось исследование процессов устойчивости фронта кристаллизации при выращивании ряда монокристаллов CaF₂, активированных РЗЭ, и кристаллов CaF₂ – SrF₂, различных составов. Монокристаллы выращиваются из расплава методом Бриджмена-Стокбаргера во фторирующей атмосфере на автоматизированной установке с индукционным нагревом Ника-3.

В бинарных системах устойчивость фронта кристаллизации к концентрационному переохлаждению может быть охарактеризована критерием: $(G/R) \cdot D \geq m \cdot \Delta x$, где G – температурный градиент, R – скорость кристаллизации, D – коэффициент диффузии, m – тангенс угла наклона ликвидуса, Δx – скачок концентрации на фронте кристаллизации. Этот критерий получается из граничного условия массопередачи на поверхности раздела кристалл – расплав, и может быть применен и к нестационарным процессам. Если процесс кристаллизации квазиравновесен, то правую часть неравенства, имеющую размерность температуры и названную функцией устойчивости [1], можно рассчитать из Т-фазовой диаграммы. Для подавления концентрационного переохлаждения отношение $(G/R) \cdot D$ должно превысить критическую величину, т.е. необходимо уменьшать скорость кристаллизации и (или) увеличивать температурный градиент.

В результате выращивания концентрационной серии кристаллов твердого раствора в системе CaF₂ - SrF₂ при $G = 25$ град/см, $V = 1.4 \cdot 10^{-4}$ см/с получена серия кристаллов оптического качества без ячеистой структуры. Проведена оценка коэффициента взаимодиффузии катионов в расплаве $D > 2.5 \cdot 10^{-5}$ см²/с. Известна эффективная генерация кристаллов твердых растворов CaF₂ – SrF₂:Yb³⁺ при диодной лазерной накачке [2]. Проведенные нами исследования показывают возможность широкого варьирования соотношения Ca:Sr в матрице без нарушения оптического качества кристаллов.

1. П.П. Федоров. Неорганические материалы **37**, 95 (2001).
2. Т.Т. Басиев, С.В. Васильев, М.Е. Дорошенко и др. Квантовая электроника **37**, 934 (2007).

СПЕКТРАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА АКТИВНОЙ СРЕДЫ УФ-ДИАПАЗОНА
НА ОСНОВЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ СО СТРУКТУРОЙ
КОЛЬКВИРИИТА $\text{Ce}^{3+}:\text{LiCa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{AlF}_6$

А.А. Шавельев, А.С. Низамутдинов, В.В. Семашко, М.М. Марисов
Казанский федеральный университет (ФГОУ ВПО КФУ)
E-mail: alexey.shavelev@gmail.com

Фторидные кристаллы со структурой кольквириита LiCaAlF_6 и LiSrAlF_6 , активированные различными ионами, известны как активные среды твердотельных лазеров и детекторов частиц [1,2]. Кристаллы, активированные Ce^{3+} , самые распространенные активные среды для наблюдения усиления и генерации света в УФ диапазоне. Однако их матрицы характеризуются низкой изоморфной емкостью кристаллической решетки по отношению к ионам Ce^{3+} , что приводит к низким значениям выходной энергии. С другой стороны, обнаружены 3 типа примесных центров ионов Ce^{3+} , что приводит к еще большему ухудшению лазерной эффективности [3]. В последние годы исследуются смешанные кристаллы $\text{LiCa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{AlF}_6$, активированные редкоземельными ионами, в поисках оптимального химического состава, а также улучшения лазерных характеристик [4]. Ранее было показано [5], что изменение химического состава позволяет контролировать коэффициент распределения примесных ионов, оптические свойства и фотохимическую стабильность. Здесь представлены данные спектральных свойств серии смешанных кристаллов $\text{Ce}^{3+}:\text{LiCa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{AlF}_6$, выращенных методом Бриджмена.

Спектры поглощения показали, что коэффициент поглощения в смешанных кристаллах $\text{LiCa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{AlF}_6:\text{Ce}^{3+}$ в 3 раза больше чем в $\text{LiCaAlF}_6:\text{Ce}^{3+}$. Спектры представлены в виде одной широкой полосы, представляющую свертку линий поглощения всех примесных центров Ce^{3+} . Также показаны время-разрешенные спектры люминесценции ионов церия в этих кристаллах при температурах 300К и 77К. Изучены спектрально-кинетические характеристики 5d-4f переходов церия в серии образцов и обнаружили 3 оптически-неэквивалентных примесных центров. Также смешанные кристаллы показывают высокую интенсивность люминесценции коротковолновых центров, которые являются, по большей части, активными лазерными центрами.

1. M. Dubinskii, V. Semashko, A. Naumov, et al., J. Modern Opt. **40**, 1-5 (1993).
2. S.Wakahara, T.Yanagida, Y.Fujimoto, et al, Rad. Meas. **56** 111-115 (2013).
3. V. Semashko, M. Dubinskii, R. Abdulsabirov, et al., Las. Phys. **5**, 69-72 (1995).
4. V. Castillo, G. Quarles, R. Chang, Proc. of SPIE **4970**, 22-34 (2003).
5. A. Nizamutdinov, V. Semashko, A. Naumov, et al., JETP Letters **91**, 21-23 (2010).

ИССЛЕДОВАНИЕ ПСЕВДОСИММЕТРИИ КРИСТАЛЛОВ КТР С РАЗЛИЧНЫМИ ЛЕГИРУЮЩИМИ ПРИМЕСЯМИ

А.П. Гажулина, Е.А. Исупова, М.О. Марычев
*Физический факультет, Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород*
E-mail: evgeniya.isupova@yandex.ru

На модельных структурах суперячеек кристаллов титанил-фосфата калия (КТР), легированных Zn, Ge, Zr, Nb, Sn, Sb, Hf, Ta, рассчитаны концентрационные зависимости степени инвариантности электронной плотности [1] относительно операции инверсии (псевдоинверсии). Диапазон изменения концентраций примесей от 0 до 30 ат.% с шагом в 1 %. Модельные примесные структуры содержат 64 исходных элементарных ячейки, для каждой концентрации примеси смоделировано по 1000 структур. Расчеты проводились для разной заселенности примесью титановых позиций. Для создания моделей примесных кристаллов и расчета псевдоинверсии их структуры использовалась программа PsAnalyser [2]. Были смоделированы структуры КТР:Nb с учетом калиевых вакансий [3]. Качественно концентрационные зависимости псевдоинверсии рассчитанные с учетом калиевых вакансий и без них совпадают, максимальное различие не превышает 0,3%, что согласуется с [4].

Проведено сравнение полученных концентрационных зависимостей псевдоинверсии с известным поведением интенсивности генерации второй гармоники лазерного излучения на порошковых образцах КТР:Zr [5], КТР:Sn [6], КТР:Hf [7], КТР:Nb [8], КТР:Sb [8]. Поведение концентрационных зависимостей псевдоинверсии и интенсивности генерации второй гармоники лазерного излучения качественно согласуются.

1. E.V. Churrunov, Crystallography Reports. **52**(1), 1 (2007).
2. И.Н. Лозгачев, Н.В. Сомов, Вестник ННГУ. **5**, 231-237 (2013).
3. Н.Е.Новикова, И.А. Верин, Н.И. Сорокина и др., Кристаллография. **53**(6), 999-1008 (2008).
4. А.П. Гажулина, М.О. Марычев., Материалы нано-, микро-, оптоэлектроники и волоконной оптики: физические свойства и применение: сб. тр. 12-й Междунар. науч. конф.-шк., 153 (2013).
5. В.И. Воронкова, В.К. Яновский, И.Н. Леонтьева и др., Неорган. Материалы. **40**(12), 1505-1507 (2004).
6. В.И. Воронкова, В.К. Яновский, Т.Ю. Лосевская и др., Кристаллография. **47**(1), 99-104 (2002).
7. Е.И. Орлова, Е.П. Харитонова, Н.Е. Новикова и др., Кристаллография **55**(3), 440-447 (2010).
8. В.А.Иванов, В.А. Бурдов, М.О. Марычев и др., Кристаллография **53**(4) 714-719 (2008).

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИСТАЛЛА $\text{Ce}^{3+}, \text{Pr}^{3+}: \text{LiY}_{0.3}\text{Lu}_{0.7}\text{F}_4$
В КАЧЕСТВЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ АКТИВНОЙ СРЕДЫ ЛАЗЕРА
УФ-ДИАПАЗОНА

В.Г. Гориева, В.В. Семашко, С.Л. Кораблева, М.А. Марисов, В.В. Павлов
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань
E-mail: ekorre_v@mail.ru

В настоящее время перестраиваемые по частоте твердотельные оптические квантовые генераторы (ОКГ, лазеры) УФ-диапазона наиболее просто реализуются с использованием в качестве рабочих лазерных переходов межконфигурационных $4f^{n-1}5d - 4f^n$ переходов редкоземельных ионов. При этом накачка таких ОКГ осуществляется УФ-излучением гармоник серийных лазеров, работающих в видимом и инфракрасном (ИК) диапазоне, либо излучением мощных эксимерных лазеров. Однако, использование УФ-накачки индуцирует в твердотельных активных элементах фотодинамические процессы (ФДП), которые обуславливают деградацию оптических свойств активных сред. Одним из способов, позволяющим избежать или значительно уменьшить вредное проявление ФДП, является использование апконверсионной накачки [1]. Поиск путей такого способа создания инверсной населенности также актуален и с точки зрения реализации эффективной накачки твердотельных УФ активных сред с использованием излучения полупроводниковых лазеров и создания компактных цельнотвердотельных устройств квантовой электроники УФ диапазона.

В настоящей работе исследуется возможность создания инверсной населенности между состояниями 5d- и 4f-конфигураций иона Ce^{3+} путем ступенчатого апконверсионного возбуждения состояний 4f5d-конфигурации ионов Pr^{3+} с последующей передачей энергии возбуждения от иона Pr^{3+} к иону Ce^{3+} . В качестве объекта исследований выбран кристалл $\text{LiY}_{0.3}\text{Lu}_{0.7}\text{F}_4: \text{Ce}^{3+}, \text{Pr}^{3+}$. В работе были определены абсолютные концентрации ионов Ce^{3+} и Pr^{3+} в кристаллах $\text{LiY}_{0.3}\text{Lu}_{0.7}\text{F}_4: \text{Ce}^{3+}, \text{Pr}^{3+}$, оценен коэффициент передачи энергии возбуждения от ионов Pr^{3+} к ионам Ce^{3+} , а также такие параметры, как сечения поглощения энергии накачки с возбужденного 4f5d состояния ионов Pr^{3+} в зону проводимости и с основного состояния ионов Ce^{3+} на возбужденное 5d состояние на длине волны 266 нм. Представлены результаты исследований «накачка-зондирование» 4f-5d переходов ионов Ce^{3+} в кристаллах LYLF. Путем математического моделирования определены оптимальные параметры для достижения максимального усиления на 5d-4f переходах ионов Ce^{3+} в LYLF кристаллах. Результаты исследований свидетельствуют о перспективности апконверсионной накачки для реализации кристаллических УФ лазеров на базе кристаллов $\text{LiY}_{0.3}\text{Lu}_{0.7}\text{F}_4: \text{Ce}^{3+}, \text{Pr}^{3+}$.

1. V.V. Semashko, M. F. Joubert et al., Proc. of SPIE. **4061**, 306 (2000).

АКТИВНОЕ ЗЕРКАЛО НА ОСНОВЕ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$

О.Ю. Биткина^{1,2}, А.П. Савикин¹, О.Н. Еремейкин^{1,2,3}, А.С.Егоров^{1,2}
¹Нижегородский государственный университет им.Н.И. Лобачевского,
Нижний Новгород

²ООО «Интеллектуальные системы НН», Дзержинск

³Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород
E-mail: bitkina@r-aingroup.com

Для создания компактных и мощных лазеров одним из возможных способов повышения выходной мощности является использование оптических усилителей. В настоящее время известны схемы с использованием «глухих» активных зеркал с отдельным источником накачки. В данной работе активное зеркало было совмещено с выходным зеркалом резонатора. Активное зеркало представляло собой поликристалл $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$, на одну поверхность которого было нанесено отражающее покрытие с коэффициентами пропускания $T \approx 30\%$ на длине волны 2,4 мкм (генерация) и $T \approx 99\%$ на длине волны 1,9 мкм (накачка), а на вторую сторону наносилось просветляющее покрытие на длине волны 2,4 мкм. Непоглощенная энергия накачки использовалась для возбуждения усилителя в активном зеркале. В ходе эксперимента активное зеркало сравнивалось с выходным зеркалом (классическим) на подложке из ZnSe с теми же характеристиками покрытия. В качестве источника накачки использовалось излучение $\text{Tm}:\text{YLF}$ – лазера 1 с длиной волны генерации 1,9 мкм (рис. 1). Излучение накачки было сфокусировано в активную среду генератора 4 в пятно диаметром ~ 600 мкм. Резонатор $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ -лазера на 2,4 мкм состоял из двух плоских зеркал – «глухое» 3 и выходное 5, которое в эксперименте заменялось на активное зеркало.

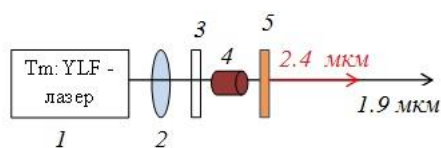


Рис.1. Блок-схема линейного резонатора (1- $\text{Tm}:\text{YLF}$ – лазер, 2 – Линза, 3- «глухое» зеркало, 4 – поликристалл $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$, 5- выходное зеркало)

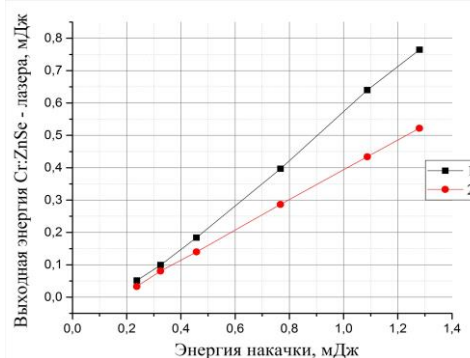


Рис.2. Зависимость выходной энергии $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ – лазера от энергии накачки (1- активное зеркало, 2 – классическое зеркало)

Использование активного зеркала, по сравнению с классическим, приводило к увеличению выходной энергии $\text{Cr}:\text{ZnSe}$ -лазера ~ 1.5 раза (рис.2).

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ И ГЕНЕРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОПТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ ИОНОВ Tm^{3+} В КРИСТАЛЛАХ ФТОРИДА КАЛЬЦИЯ

К.А. Мартынова^{1,2}, О.К.Алимов², М.Е. Дорошенко², В.А. Конюшкин²,
А.Н. Накладов², В.В.Осико²

¹ *Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва*

² *Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

E-mail: kmartynova@hetnet.ru

Целью исследований было определение типов оптических центров ионов тулия, образующихся в концентрационной серии кристаллов фторида кальция, динамика их формирования, положение, ширина и интенсивность линий поглощения и люминесценции, а также получение генерации на длинах волн, соответствующих разным оптическим центрам.

В измеренных спектрах поглощения были выделены линии, соответствующие линиям поглощения трех различных оптических центров ионов тулия. Показано, что концентрация тетрагональных центров при увеличении концентрации ионов тулия быстро уменьшается (рис.1). При низкой (77К) температуре были измерены кинетики затухания люминесценции для трех различных оптических центров, время жизни которых на переходе ${}^3F_4-{}^3H_6$ составило 6 мс, 19 мс и более 120 мс соответственно. Существенное различие во временах жизни различных оптических центров ионов тулия позволило во время-разрешенных низкотемпературных (77К) спектрах люминесценции при селективном возбуждении в области 795 нм выделить индивидуальные спектры люминесценции отдельных оптических центров. На рис.2 в качестве примера приведен выделенный спектр люминесценции тетрагональных центров ионов тулия в кристалле $CaF_2:Tm^{3+}(0.1\%)$.

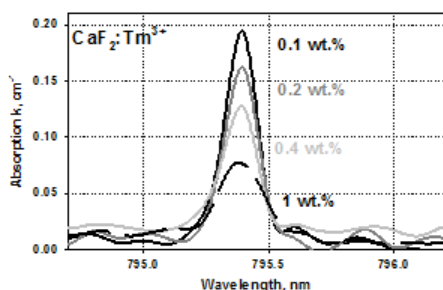


Рис.1 – Фрагмент спектра поглощения ионов тулия в кристалле CaF_2 на длине волны 795.4 нм для различных концентраций Tm^{3+} при температуре 77 К

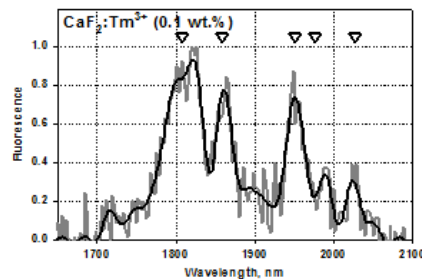


Рис.2 – Спектр люминесценции тетрагональных центров ионов тулия в кристалле $CaF_2:Tm^{3+}(0.1\%)$

При накачке лазерным диодом с длиной волны 795 нм при комнатной температуре была получена генерация в кристалле $CaF_2:Tm^{3+}(0.4\%)$. Для выходного зеркала с коэффициентом отражения 99.7% в измеренном спектре генерации наблюдались две линии, соответствующие локальным максимумам низкотемпературных спектров люминесценции различных оптических центров ионов тулия.

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ГЛЮКОЗЫ

В.А. Постников¹, А.В. Крайский², М.А. Шевченко², В.И. Сергиенко¹

¹ *НИИ физико-химической медицины ФМБА России, Москва*

² *Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва*

E-mail: vladpostnikov@mail.ru

Голографические сенсоры [1-2] представляют собой матрицу на основе полимерного гидрогеля (толщиной 10–50 мкм), закрепленную на поверхности стеклянной подложки, в которую регулярно внедрены слои наноразмерных твердотельных зерен Ag, среднее расстояние между которыми в пределах слоя много меньше длины волны видимого света. Такая структура при освещении белым светом отражает узкополосное излучение, длина волны которого близка к удвоенному периоду слоев. Изменение набухания гидрогелевой матрицы приводит к изменению периода слоев и сопровождается увеличением или уменьшением длины волны отраженного излучения. Для придания чувствительности сенсоров к глюкозе в пленку гидрогеля встроены производные аминокислоты, обеспечивающие селективное взаимодействие с глюкозой анализируемой смеси. Образование комплексов глюкозы сопровождается набуханием гидрогелевой матрицы, и изменением длины волны отраженного света, что определяется с помощью спектрального прибора, или даже визуально.

Отклик сенсоров глюкозы линейно зависит от содержания глюкозы (0-20 мМ) в модельных растворах. При увеличении ионной силы раствора (содержания NaCl) от 0 до 0,15 М чувствительность сенсоров снижается более чем на порядок. Это ограничивает возможности практического применения сенсоров в биологических жидкостях, как правило, содержащих заметное количество различных ионов. Определена чувствительность сенсоров к содержанию глюкозы в образцах сыворотки крови с известным содержанием глюкозы, обработанных модификатором для восстановления глюкозы до сорбита. Результаты определения содержания сорбита в модифицированных образцах сыворотки крови практически совпадают с определением сорбита в контрольных растворах сорбита в том же буфере. Чувствительность сенсора в этих условиях – более 400 нм/мМ, позволяет ожидать увеличения точности определения глюкозы в плазме крови до 0,02 мМ в области физиологически значимого содержания глюкозы 0-30 мМ, что в пять раз выше точности современных лабораторных методов определения глюкозы.

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

1. A.K Yetisen, I Naydenova, F. da Cruz Vasconcellos, et al., *Chemical reviews* **114**(20), 10654-10696.
2. А.В. Крайский, В.А. Постников и др. *Квантовая электроника* **40**, 178 (2010).

ВЫРАЩИВАНИЕ МОНОКРИСТАЛЛОВ $\text{Ca}_{2x}\text{Li}_{2-x}\text{GeO}_4$

Симановский Д.В., Иванов В.А., Марычев М.О., Николов В.С.

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,

г. Нижний Новгород

E-mail: egick1993@mail.ru

Известно, что кристаллы $\text{Li}_2\text{CaGeO}_4$ в настоящее время являются одними из наиболее перспективных соединений для использования в LED устройствах. Эмиссионный спектр кристаллов $\text{Li}_2\text{CaGeO}_4$, допированных некоторыми редкоземельными ионами, характеризуется яркими линиями на длинах волн 473 нм, 485 нм и 575 нм [1,2]. Целью нашей работы является выращивание монокристаллов $\text{Ca}_{2x}\text{Li}_{2-x}\text{GeO}_4$, пригодных для изучения их оптических свойств.

Кристаллы $\text{Ca}_{2x}\text{Li}_{2-x}\text{GeO}_4$ выращивались из высокотемпературного раствора (flux-метод). Кристаллы выращивались методом спонтанной кристаллизации на узкой платиновой палочке в цилиндрическом тигле диаметром 5 см и высотой 5 см. Масса высокотемпературного раствора составляла 150 г. В течение всего времени роста (6 суток) происходило равномерное вращение платиновой палочки. Температура изменялась от 952°C до 932°C. Про прошествии указанного времени на палочке образовалась друза, состоящая из нескольких кристаллов с размерами около 1 см (см. рис. 1). Предварительные исследования на оптическом микроскопе показали, что они имеют достаточное качество для того, чтобы проводить исследование их физических свойств.

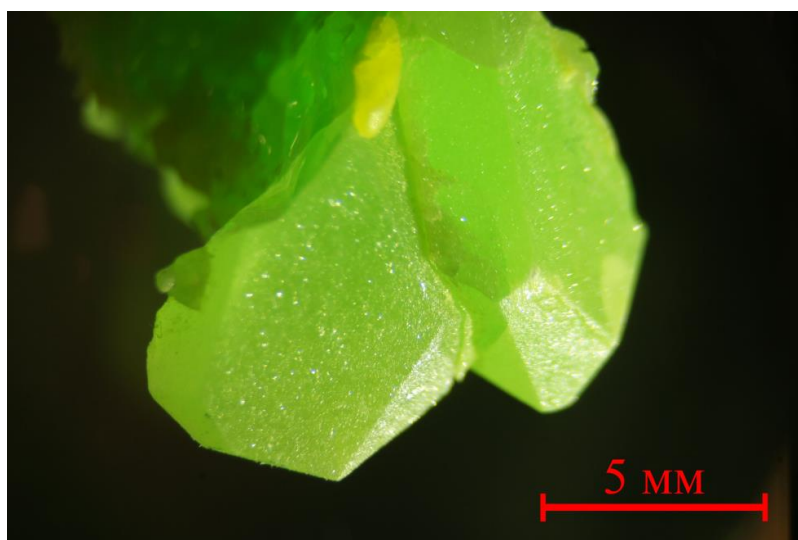


Рисунок 1 – Фотография выращенных кристаллов $\text{Ca}_{2x}\text{Li}_{2-x}\text{GeO}_4$

1. Meng Jian-Xin, Yang Chuang-Tao, Chen Qing-Qing, J. Lumin. **130**(7), 1320-1323 (2010).
2. I.V. Berezovskaya et al., Ceram. Int. **39**(6), 6835-6840(2013).

АНТИСТОКСОВА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ В КРИСТАЛЛАХ $\text{CaF}_2:\text{Ho}$,
 $\text{BaF}_2:\text{Ho}$ ПРИ ВОЗБУЖДЕНИИ НА УРОВЕНЬ $^5\text{I}_5$ ИОНОВ Ho^{3+}

А.А. Ляпин¹, А.П. Меркулов¹, П.А. Рябочкина¹, П.П. Федоров²

¹Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

²Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва

E-mail: merkulianskii@yandex.ru

Антистоксова люминесценция ионов Ho^{3+} во фторидных кристаллах со структурой флюорита изучается с 60-х годов прошлого века [1-3]. Интерес к данным исследованиям вызван возможным применением этих материалов в качестве визуализаторов инфракрасного излучения, квантовых счетчиков, активных сред для лазеров.

В настоящей работе представлены результаты исследования механизмов, ответственных за возникновение антистоксовой люминесценции ионов Ho^{3+} в кристаллах $\text{CaF}_2:\text{Ho}$ и $\text{BaF}_2:\text{Ho}$ при возбуждении на уровень $^5\text{I}_5$ ионов Ho^{3+} лазерным излучением. При данном способе возбуждения были зарегистрированы спектры антистоксовой люминесценции ионов Ho^{3+} соответствующие переходам $^5\text{F}_3 \rightarrow ^5\text{I}_8$, $^5\text{F}_4(^5\text{S}_2) \rightarrow ^5\text{I}_8$, $^5\text{F}_5 \rightarrow ^5\text{I}_8$ этих ионов в кристаллах $\text{CaF}_2:\text{Ho}$ и $\text{BaF}_2:\text{Ho}$.

Для выявления механизмов ответственных за возникновение антистоксовой люминесценции ионов Ho^{3+} в материалах CaF_2 были зарегистрированы кинетики разгорания и затухания люминесценции ионов Ho^{3+} с уровней $^5\text{F}_3$, $^5\text{S}_2$, $^5\text{F}_5$ этих ионов. На основе анализа экспериментальных данных в работе предложены каналы заселения энергетических уровней ионов Ho^{3+} в кристаллах $\text{CaF}_2:\text{Ho}$ и $\text{BaF}_2:\text{Ho}$ при возбуждении на уровень $^5\text{I}_5$ этих ионов. Проведен сравнительный анализ механизмов антистоксовой люминесценции в кристаллах $\text{CaF}_2:\text{Ho}$ и $\text{BaF}_2:\text{Ho}$.

Работа выполнена при финансовой поддержке НИР в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности по заданию № 3.384.2014/К и государственного задания № 0708 0210059 611 («Организация проведения научных исследований»).

1. Brown M.R., Shand W.A., Physics Letters, **11**, 219 (1964).
2. S.R. Bullock, et al, J. Opt. Soc. Am. B., **14**, 553 (1997).
3. A.A. Lyapin, et al, Journal of Luminescence, **167**, 120 (2015).

СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КРИСТАЛЛА SrMoO_4 , АКТИВИРОВАННОГО ИОНАМИ Ho^{3+}

В.Г. Иванова^{1,2}, П.Г. Зверев², Е.Э. Дунаева², А.В. Нехороших²,
Л.И. Ивлева², М.Е. Дорошенко²

¹*Московский энергетический институт, Москва*

²*Институт общей физики РАН, Москва*

E-mail: ivanovavg93@mail.ru

Твердотельные лазеры, работающие в ближней и средней ИК спектральной области, находят практическое применение в медицине, биологии, для экологического мониторинга окружающей среды. Поэтому в настоящее время большой фундаментальный интерес представляют двухмикронные лазеры на кристаллах и стеклах, активированные Ho^{3+} (переход ${}^5\text{I}_7 \rightarrow {}^5\text{I}_8$). Молибдат стронция обладает высоким коэффициентом ВКР усиления, поэтому полифункциональный кристалл $\text{Ho}^{3+}:\text{SrMoO}_4$ может одновременно работать как активная лазерная среда и нелинейная ВКР-активная среда [1].

В настоящей работе проведены исследования спектрально-люминесцентных свойств кристалла $\text{Ho}^{3+}:\text{SrMoO}_4$. Исследуемый образец толщиной 3 мм был изготовлен из кристалла, выращенного в ИОФ РАН методом Чохральского на воздухе. Концентрация примесных ионов Ho^{3+} составляла $8,04 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$.

С помощью двухканального спектрометра Cary-5000 были измерены поляризованные спектры поглощения кристалла в области 350-2300 нм. Для регистрации люминесценции в ближней ИК спектральной области использовался монохроматор МДР-23, фотодиод PbS и цифровой осциллограф Textronix TDS-2022. Для возбуждения использовался импульсный полупроводниковый диод с длиной волны генерации 445 нм.

Из значений интегральных коэффициентов поглощения были определены силы осцилляторов электронных переходов иона Ho^{3+} . С помощью метода Джадда-Офельта определены параметры интенсивности Ω_t ($t=2, 4, 6$) в этом кристалле, которые составили $\Omega_2 = 7,27 \times 10^{-20} \text{ см}^2$, $\Omega_4 = 1,9 \times 10^{-20} \text{ см}^2$, $\Omega_6 = 0,2 \times 10^{-20} \text{ см}^2$. Используя полученные значения параметров интенсивности, была определена вероятность спонтанного излучательного перехода с уровня ${}^5\text{I}_7$ в ионе Ho^{3+} . Рассчитанное значение времени жизни уровня ${}^5\text{I}_7$ составило 13 мс, что оказалось несколько больше экспериментально измеренного времени, которое составило 6 мс. Большое время жизни ионов Ho^{3+} на уровне ${}^5\text{I}_7$ в кристалле SrMoO_4 позволяет рассчитывать на создание эффективных лазеров в двухмикронном спектральном диапазоне с возможностью нелинейного ВКР самопреобразования излучения в самой активной лазерной среде.

1. L.I. Ivleva; T.T. Basiev; P.G. Zverev; V.V. Osiko; I.S. Voronina; N.M. Polozkov, *Optical Materials*. **23**, 439 (2002).

**LASER MATERIALS
AND TECHNOLOGY**

LIGHT PRESSURE EFFECTS IN PHYSICS OF SOLID-STATE LASERS

V.V. Semashko¹, O.R. Akhtyamov¹, A.S. Nizamutdiniov¹, E.Sarantopoulou^{1,2}
A.C. Cefalas^{1,2}

¹*Kazan Federal University, Kazan*

²*National Hellenic Research Foundation, TPCI, Athens*

E-mail: vadim.semashko@kpfu.ru

Light pressure and ponderomotor forces, which were perceived like as exotic effects at the beginning of XX century [1], at the recent time are became a powerful tool of technology due to advances in laser physics. For instance it is successfully applied in technology of atomic optics, isotopes separation, laser cooling of gases, nanotechnologies and etc. [2]. Also there are publications, which demonstrate a solid-state material surface modification because of laser radiation enhanced diffusion into the bulk of ambient atoms or molecules and/or adsorbed ones on its surface [3]. In this way the lack of literature data, to our knowledge, about ponderomotor forces impact on properties of solid-state active elements or nonlinear optics elements pumped by intensive and coherent laser radiation are seemed surprising.

Here ponderomotor effects impact on micro- and nanoparticles, situated into ambient air or adsorbed on the surface of crystalline active elements are discussed and, as we believe, experimental data of light pressure impact on energetic properties of UV solid-state laser based on 5d-4f transition of Ce³⁺ ions are presented.

1. P.N. Lebedev, *Collected works*, - Moskow: USSR Acad. Of Sci., 1963.
2. V.I. Balikin, *Vestnik RAN* **81**, 291 (2011).
3. E. Sarantopoulou, et al., *Applied Surface Science* **254**, 804 (2007).

INFLUENCE OF CHROMIUM IMPURITIES ON THE SPECTRAL-LUMINESCENT PROPERTIES OF CERAMICS BASED ON $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$

G.E. Malashkevich¹, E.N. Poddenezhny², A.A. Boiko², K.N. Nishchev³,
T.G. Khottchenkova¹, I.V. Prusova¹, I.I. Sergeev¹, P.P. Pershukevich¹,
A.A. Sukhodola¹

¹*B.I. Stepanov Institute of Physics, NAS of Belarus, Minsk, Belarus*

²*P.O. Sukhoi Gomel State Technical University, Gomel, Belarus*

³*N.P. Ogarev Mordovia State University, Saransk*

E-mail: g.malashkevich@ifanbel.bas-net.by

Spectral-luminescent properties of ceramics based on $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}$ obtained with colloid-chemical method and additionally doped with chromium from the gas phase were investigated in order to increase the proportion of the red component in the emission spectrum of the two-component (LED-phosphor) light sources.

The synthesized ceramics includes $Y_3Al_5O_{12}$ with space group $Ia\bar{3}d$ cubic system in the presence of minor impurities of orthorhombic $YAlO_3$ and is characterized by luminescence spectra and luminescence excitation spectra shown in Fig. 1. The lack of significant quenching of Cr^{3+} ions luminescence and its remarkable sensitization by Ce^{3+} ions occur at low concentrations of Ce^{3+} and Cr^{3+} ions ($\approx 1 \cdot 10^{20}$ and less than $1 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, respectively). There is a high thermal stability of the luminescent properties of the synthesized ceramics and radical difference in instantaneous spectra of luminescence of Cr^{3+} ions, which allows concluding that the realization of these ions in two different subsystems takes place.

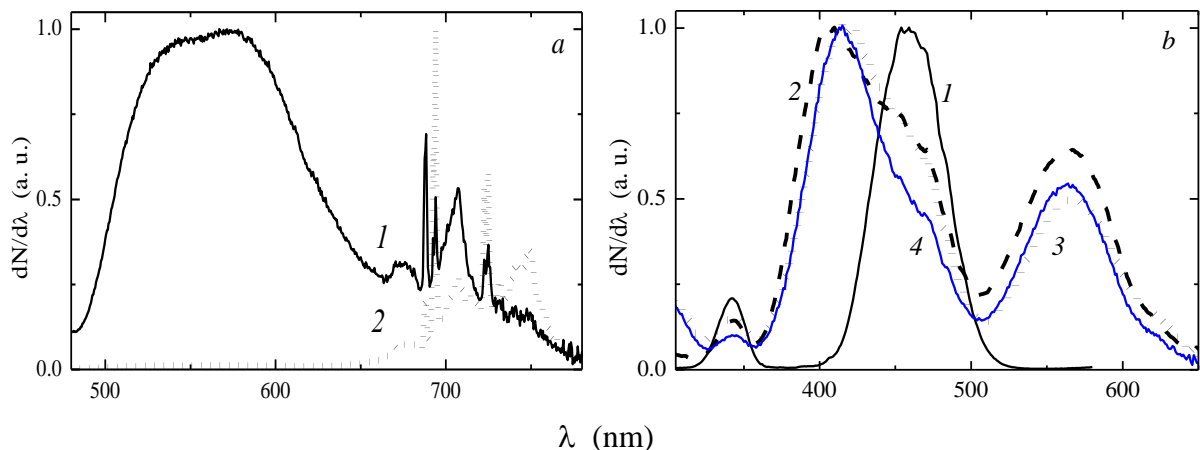


Fig. 1. Luminescence (a) and its excitation (b) spectra of $Y_3Al_5O_{12}:Ce^{3+}, Cr^{3+}$ ceramics. λ_{exc} , nm: 400 (2a) and 460 (1a), λ_{rec} , nm: 600 (1b), 694 (2b), 725 (3b) and 750 (4b)

The obtained results allow us to consider co-activation of yttrium-aluminum garnet with Ce^{3+} and Cr^{3+} ions as one of the possible ways of increasing the proportion of red photons in the spectrum of its luminescence excited by light-emitting diodes based on InGaN crystals.

CRYSTALLIZATION AND SHAPING PROCESSES OF OXIDE CRYSTALS

L.I. Ivleva

General Physics Institute RAS

E-mail: ivleva@gpi.ru

The main principles for continuous growth of controlled profiled single crystals from the melt were formulated by A.V. Stepanov. It allows to produce the samples of specific geometry from different materials: metals, semiconductors, dielectrics. A number of original variations and modifications of the Stepanov technique will be considered. The crystals of different configurations (ribbons, tubes, rods) and complex profiles can be grown with constant and variable cross-sections. The system "melt-crystal" peculiarities during the crystal growth process by Stepanov technique will be given. The types of dies for different variants of the technique will be shown. The technique can be used for production of profiled crystals of constant and varying compositions. The group of some ribbons can be grown simultaneously using special die construction and controlled growth parameters. Growth defects of profiled crystals and the reasons of their formations will be discussed. Advantages and disadvantages of the variants of the technique will be considered for different oxide materials. The fields of applications of profiled materials will be presented.

FEATURES OF HOLOGRAPHIC SENSOR OPERATION AND THE COLORIMETRIC DETERMINATION OF THE WAVELENGTH CHANGE OF THE REFLECTED LIGHT

A.V. Kraiski¹, T.V. Mironova¹, V.A. Postnikov², M.A. Shevchenko¹

¹*P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow*

²*Research Institute of Physical-Chemical Medicine FMBA of Russia, Moscow*

E-mail: kraiski@sci.lebedev.ru

One of significant advantages of holographic sensors is the possibility of their use as multi-channel ones. This allows simultaneous measurements at different points of the surface, for example, measurement of a component concentration in a set of test solutions, or determination of a set of components in the same solution, or both. To simplify the process of multi-channel analysis, for example to determine the glucose concentration in all cells of the sensor simultaneously, we developed the colorimetric method for measuring the mean wavelength of the narrow-band radiation [1-2] from color digital images. The method works in the visible range of 455 - 625 nm.

The idea of the method is that, since the light reflected by the hologram is narrowband (a spectral width of 20 nm), the mean wavelength can be uniquely determined from the ratio of signals in the color channels for every image pixel. This gives us the map of wavelengths of the image. The method requires a special camera calibration.

For multi-channel measurements a microfluidic cell array was designed.

However, a number of significant problems appear when working with holographic sensors. One of them is the one-dimensional swelling of the holographic layer, which leads to the change of the reflection angle and the wavelength under large wavelength shifts. To prevent this, we developed a special kind of simple spatial filtering of the radiation forming the hologram.

This work was supported by a grant program of the Presidium of RAS "Fundamental sciences for medicine."

1. A.V. Kraiski, T.V. Mironov, T.T. Sultanov, V.A. Postnikov, V.I. Sergienko, V.E. Tikhonov. A method for measuring the wavelength of the narrowband light colorimetric method. RF Patent number 2390738 21.05.2008.
2. A.V. Kraiski, T.V. Mironov, T.T. Sultanov, *Quantum Electronics* 42 (12), 1137-1139 (2012).

ANTI-STOKES LUMINESCENCE in CRYSTALS $\text{MF}_3\text{-HoF}_3$ (M=Ca, Ba, Cd)
UPON EXCITATION at $^5\text{I}_7$ and $^5\text{I}_5$ LEVELS of Ho^{3+} IONS

A.A. Lyapin¹, A.P. Merkulov¹, P.A. Ryabochkina¹, P.P. Fedorov²

¹*Ogarev Mordovia State University, Saransk*

²*General Physics Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow*

E-mail: andrei_lyapin@mail.ru

Anti-Stokes luminescence of rare earth ions doped in different matrices is widely used in many fields of science and technology.

In present paper we investigate anti-Stokes luminescence of Ho^{3+} ions in crystals with the fluorite structure (MF_2 , where M=Ca, Ba, Cd). One of the features of these materials is the formation of clusters of rare-earth ions which affect on the nature of the mechanisms responsible for the anti-Stokes luminescence in these materials. Anti-Stokes luminescence of Ho^{3+} -doped fluorite-type crystals upon excitation of $^5\text{I}_4$, $^5\text{F}_5$, $^5\text{S}_2$, $^5\text{F}_3$ levels has been extensively studied [1-3]. However, we have found no studies of anti-Stokes luminescence in $\text{MF}_3\text{-HoF}_3$ crystals excited by IR radiation to the $^5\text{I}_5$ and $^5\text{I}_7$ levels of Ho^{3+} ions. Previously we have investigated the mechanisms of anti-Stokes luminescence in $\text{CaF}_2\text{:Ho}$ crystals and ceramics upon excitation by laser two-micron radiation to the level $^5\text{I}_7$ [4, 5]. The goal of the present work is to study the mechanisms of upconversion luminescence in $\text{CaF}_2\text{:Ho}$, $\text{BaF}_2\text{:Ho}$, $\text{CaF}_2\text{-SrF}_2\text{-HoF}_3$ crystals upon excitation of the $^5\text{I}_7$ and $^5\text{I}_5$ levels. At these methods of excitation the investigated crystals possess an intense glow in the visible wavelength range and can be used as visualizers of IR radiation. On the basis of experimental data we suggested channels of populating of energy levels under excitation of $^5\text{I}_7$ and $^5\text{I}_5$ levels.

This work were supported by the The Ministry of Education and Science of the Russian Federation State Order for Research in 2014 (Project No. 3.384.2014/K and Project No. 07080210059611).

1. Brown M.R., Shand W.A., Physics Letters, **11**, 219 (1964).
2. S.R. Bullock, et al, J. Opt. Soc. Am. B., **14**, 553 (1997).
3. Mujaji M., Comins J.D., Phys. Stat. Sol. C, **9**, 2372 (2004).
4. A.A. Lyapin, et al, Quantum Electronics, **44**, 6, 602 (2014).
5. A.A. Lyapin, P.A. Ryabochkina, A.N. Chabushkin, S.N. Ushakov, P.P. Fedorov, Journal of Luminescence, **167**, 120 (2015).

ULTRASHORT PULSED UV LASERS BASED ON THE $Ce^{3+}:LiCaAlF_6$ AND $Ce^{3+}:LiLuYF_4$ CRYSTALS

O.R. Akhtyamov, V.V. Semashko, A.S. Nizamutdinov, M.A. Marisov

Kazan federal university, Kazan, Russia

E-mail: akhtyamovo@mail.ru

An important problem of quantum electronics is the generation of laser radiation in the form of ultrashort pulses in UV spectral range. The family of cerium-doped laser crystals offer an attractive all-solid-state route providing tunable laser oscillation directly in the UV [1]. Here we report on UV subnanosecond pulses lasing on colquiriite $Ce^{3+}:LiCaAlF_6$ and scheelite types structure mixture crystals of $Ce^{3+}:LiLuYF_4$ active media which were pumped at around 266 nm and 300 nm, correspondently. Experimental results are presented in fig.1.

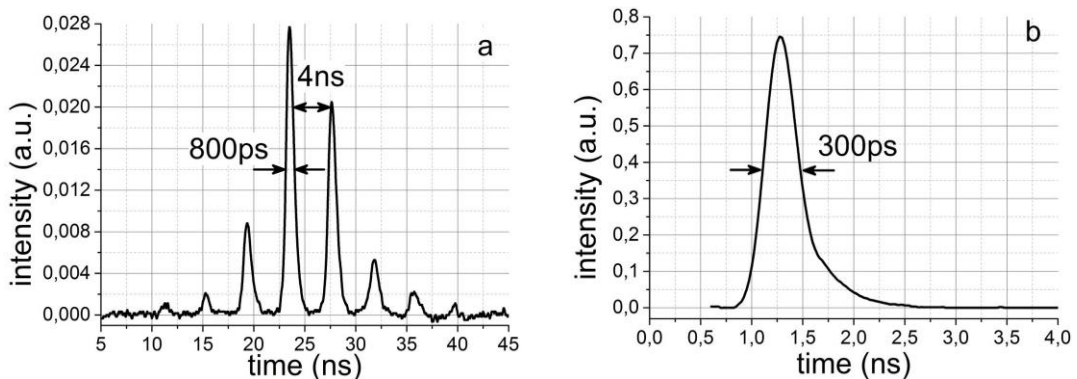


Fig.1. Temporal distribution $Ce^{3+}:LiCaAlF_6$ laser (with external mirror) (a); temporal distribution $Ce^{3+}:LiLuYF_4$ laser

The $Ce^{3+}:LiCaAlF_6$ active media were placed into composite laser cavity consist of a short length low Q-factor laser cavity and a long feedback laser cavity, as it was done early in [2]. The short laser cavity provide subnanosecond spiking pulses which seeded into long cavity to select the first pulse and organize its regenerative amplification. As a result the stable ultrashort “pulse-train” with pulse length at about 800 ps and the period at about 4 ns defined by the design of the cavity is observed (fig. 1a).

Also we discuss an opportunity of using photodynamic processes for intracavity losses modulation. For instance an internal UV pump induced losses in active medium could be utilized for shortening of laser pulse. To do that $Ce^{3+}:LiLuYF_4$ crystals family were selected because of color centers formation is well pronounced in it [3]. We report on single pulse generation of 300 ps duration from $Ce^{3+}:LiLuYF_4$ (fig. 1b) in Fabri-Perrot cavity. Further prospective of UV laser pulse shortening and design for new short-pulse solid-state UV lasers are discussed.

1. N. Sarukura, Z. Liu, M.A. Dubinski et al., *IEEE J. STQE*, **1**, 792 (1995).
2. N. Sarukura, Z. Liu, S. Izumida et al., *J. Appl. Opt.*, **37**, 6446 (1998).
3. O.R. Akhtyamov, A. S. Nizamutdinov, V. V. Semashko et al., *Proc. SPIE*, **7994**, 79940I (2011).

MICRO- AND NANOCRYSTALLIZATION IN $YAl_3(BO_3)_4$ И $GdAl_3(BO_3)_4$ MELTS

D.A. Naprasnikov¹, V.V. Maltsev¹, N.I. Leonyuk¹, K.N. Gorbachenya²
¹*Department of Crystallography and Crystal Chemistry, Geological Faculty,
MSU, Moscow;*

²*Belarusian National Technical University, Minsk
E-mail: dante88152247711@mail.ru*

Studying of features of micro- and nanocrystallization in viscous borates melts is important for creating a relatively inexpensive optical glass-crystalline materials - elemental base of compact laser systems [1,2]. In the proposed report the synthesis of glass-ceramic composites based on $YAl_3(BO_3)_4$ (YAB) and $GdAl_3(BO_3)_4$ (GdAB) with different variations in the composition and temperature conditions is discussed. Upon cooling melts, corresponding to these formulas, opaque glass ceramic (glaze) is formed. It becomes transparent with the addition of 100% excess of boric anhydride and prolonged exposure (выдержка?) at the maximum temperature (optimal 1250 and 1350°C for GdAB and YAB, respectively).

Obtained samples have two types of X-ray spectra: (1) of amorphous materials without clear peaks and (2) with intense reflections, indicating the presence of crystalline phase in a glassy matrix. Some of them coincide with X-ray spectra of GdAB and YAB crystals.

The electron microscope images of YAB-containing glazes demonstrate cavities, possibly associated with the removal of the volatile components during crystallization process. According to microprobe analysis, there are areas of different composition in glass matrix, that could also indicate the formation of nano-sized crystallites. In the transparent GdAB-composites needle microcrystals detected, while in the glaze there are two types of crystals - elongated (to several microns) with a ratio of length to width about 10/1 and idiomorphic prismatic ones.

In selected volume (1 mm³) of glass matrix, by the method of X-ray microtomography established that the content of crystalline phase therein reaches 32.5%, while the cavities are 0.35%.

Also obtained absorption spectra of glass-ceramic composites based on Er,Yb:YAB, the shape of which is similar to the spectra of phosphate glasses.

1. G. Karlsson, et al., *Appl. Phys.* **B 75**, 41 (2002).
2. K.N. Gorbachenya, et al., *Optics Letters* **38**(14), 2446 (2013).
3. N.I. Leonyuk, *J. Crystal Growth* **174**(1-4), 301 (1997).

THE STUDY OF PSEUDOSYMMETRY OF KTP CRYSTALS WITH SUBSTITUTIONS

A.P. Gazhulina, E.A. Isupova, M.O. Marychev

Physics department of the N.I. Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod (NNSU)

E-mail: evgeniya.isupova@yandex.ru

The dependences of the degree of the invariance of the electron density with respect to the operation of inversion [1] (pseudoinversion) on the concentration of the impurity were calculated using model supercells of the potassium titanyl phosphate (KTP) crystals doped with Zn, Ge, Zr, Nb, Sn, Sb, Hf, Ta. The concentration of the impurity varies from 0 to 30 at. % with a 1% step. Model impurity supercells contain 64 initial unit cells. 1000 structures were simulated for each impurity concentration. Calculations were performed for various occupations of both inequivalent titanium positions in KTP structure by impurities. Program PsAnalyser [2] was used to create supercells and to calculate the pseudoinversion of their structures. Structures of KTP:Nb were simulated subject to the potassium vacancies [3]. Concentration dependencies of pseudoinversion calculated using models with the potassium vacancies and without them agree within 0.3%, which conforms to [4].

A comparison of the dependencies of the pseudoinversion on the impurity concentration with the known behavior of the intensity of the SHG on powder samples KTP: Zr [5], KTP: Sn [6], KTP: Hf [7], KTP: Nb [8], KTP: Sb [8] was implemented. The behavior of the concentration dependencies of the pseudoinversion and intensity of the SHG agree qualitatively.

1. E.V. Chuprunov, Crystallography Reports. **52**(1), 1 (2007).
2. I.N. Lozgachev, N.V. Somov, Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod. **5**, 231-237 (2013)
3. N.E. Novikova, I.A. Verin, N.I. Sorokina et al., Crystallography. **53**(6), 999-1008 (2008).
4. A.P. Gazhulina, M.O. Marychev., Materials of nano-, micro-, optoelectronics and fiber optics: Physical properties and applications: collection of works of the 13th International Conference School, 153 (2013).
5. V.I. Voronkova, V.K. Yanovsky, I.N. Leontieva et al., Neorgan. Materials. **40**(12), 1505-1507 (2004).
6. V.I. Voronkova, V.K. Yanovsky, T.Y. Losevskaya et al., Crystallography. **47**(1), 99-104 (2002).
7. E.I. Orlova, E.P. Kharitonova, N.E. Novikova et al., Crystallography. **55**(3), 440–447 (2010).
8. V.A. Ivanov, V.A. Burdov, M.O. Marychev et al., Crystallography. **53**(4) 714-719 (2008).

LiY_{0.3}Lu_{0.7}F₄: Ce³⁺, Pr³⁺ MIXED CRYSTAL AS A PERSPECTIVE UP-
CONVERSIONALLY PUMPED UV ACTIVE MEDIUM

V.G. Gorieva, V.V. Semashko, S.L. Korableva, M.A. Marisov, V.V. Pavlov

Kazan Federal University, Kazan, Russia

E-mail: ekorre_v@mail.ru

Currently tunable solid-state optical quantum generators of UV range are most easily implemented on interconfigurational $4f^{n-1}5d - 4f^n$ transitions of rare-earth ions in wide-bandgap dielectric crystals. In this case the pumping of the laser is usually carried out by UV harmonics of visible and infrared radiation generated by of commercially available lasers, or powerful UV radiation of excimer lasers. However, UV pumping radiation induces in solid-state active elements various photodynamic processes (PDP), which cause degradation of the optical properties of active media. One of the ways to avoid or significantly reduce harmful manifestations of PDP is to use up-conversion pumping [1]. Finding ways to realize such up-conversion pumping is a topic problem in the view of future implementation of effective solid-state UV-active media with the use of semiconductor lasers as a pumping source and compact solid-state quantum electronics devices of UV range in general.

Here we investigate an opportunity of effective population of states of 5d-configuration of Ce³⁺ ions in LiY_{0.3}Lu_{0.7}F₄ (LYLF) crystals by stepwise ³H₄-4f5d up-conversion excitation of states of 4f5d-configuration of Pr³⁺ ions, followed by the transfer of excitation energy from Pr³⁺ to Ce³⁺ ions.

We determine the real concentrations of Pr³⁺ and Ce³⁺ ions in LYLF crystals. Such parameters as excited 4f5d state photoionization cross-section of Pr³⁺ ions, ground state cross-section of Ce³⁺ ions at 266 nm wavelengths and energy transfer coefficients of energy transfer from Pr³⁺ to Ce³⁺ ions were estimated. The results of pump-probe experiments on 5d-4f transitions of Ce³⁺ ions in LYLF crystals are presented. Due to non-optimal pumping conditions just small-signal gain was observed. The optimal parameters for getting maximal gain on 5d-4f transitions of Ce³⁺ ions were determined by mathematical modeling.

Obtained results of pump-probe experiments and results of mathematical modeling demonstrate good prospects of using crystal LiY_{0.3}Lu_{0.7}F₄:Ce³⁺, Pr³⁺ as an active medium of solid-state laser with up-conversion pumping.

1. V.V. Semashko, M. F. Joubert et al., Proc. of SPIE. **4061**, 306 (2000).

ACTIVE MIRROR ON POLYCRYSTALLINE $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$

O.Y. Bitkina^{1,2}, A.P. Savikin¹, O.N. Eremeykin^{1,2,3}, A.S. Egorov^{1,2}

¹Lobachevsky State University, Nizhni Novgorod

²OOO "Intellectualnye Systemy NN", Dzerzhinsk

³Institute of Chemistry of High Purity Substances RAS, Nizhni Novgorod

E-mail: bitkina@r-aingroup.com

Use of the optical amplifier is one of the possible ways to increase the power output of laser. Currently the experimental setup is known using HR active mirror with a separate pumping source. In this work, the active mirror was used as the output mirror of the cavity. The active mirror was a polycrystalline $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$. The one side of the polycrystalline had a reflective coating with the transmittance $T \approx 30\%$ at a wavelength of $2.4\ \mu\text{m}$ and $T \approx 99\%$ at a wavelength $1.9\ \mu\text{m}$. The other side had antireflection coating at a wavelength $2,4\ \mu\text{m}$. Unabsorbed pump energy was used to excite the amplifier in the active mirror.

During the experiment an active mirror was compared to the classic output mirror made on the ZnSe substrate with antireflection coating of the same characteristics. The Tm:YLF laser 1 (fig.1) emitting at a wavelength of $1.9\ \text{mkm}$ was used for pumping. The pump radiation was focused in the active medium 4 $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ laser. Beam diameter was $\sim 600\ \text{mkm}$. The laser cavity of $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ laser consisted of a plane dichroic mirror 3 and output mirror 5, which was replaced with the active mirror during the experiment.

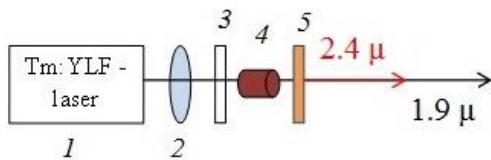


Fig.1. Block diagram of $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ laser (1- Tm:YLF laser, 2- lens, 3- dichroic mirror, 4 - polycrystalline $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$, 5 - output mirror)

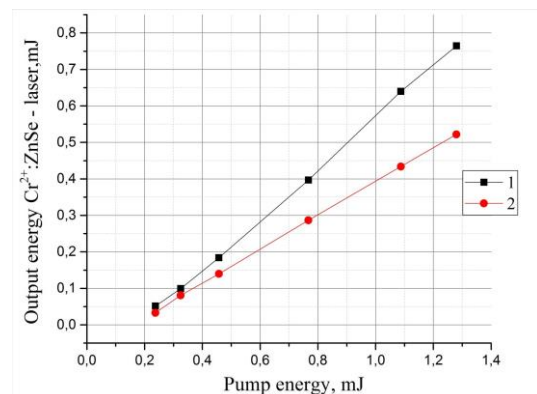


Fig.2. Output energy $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ laser as a function pump energy (1- active mirror, 2- classic mirror)

The use of active mirrors (fig.2), compared to classical mirrors, has led to an increase in output energy of the $\text{Cr}^{2+}:\text{ZnSe}$ laser for ~ 1.5 times.

INVESTIGATION OF Tm^{3+} IONS OPTICAL CENTERS SPECTROSCOPIC AND LASER PROPERTIES IN CaF_2 FLUORIDE CRYSTALS

K.A. Martynova^{1,2}; O.K. Alimov², M.E. Doroshenko², V.A. Konyushkin²,
A.N. Nakladov², V.V. Osiko²

¹National Research University "MEI", Moscow

²General Physics Institute. AM Prokhorov, Russian Academy of Sciences,
Moscow

E-mail: kmartynova@hetnet.ru

The aim of our research was to determine the properties of different types of thulium ion optical centers in the concentration series of calcium fluoride crystals, i.e. the dynamics of their formation, the position, the width and the intensity of the absorption and fluorescence lines and obtaining of different optical centers laser room temperature oscillations at wavelengths corresponding to their local fluorescence maxima.

In the measured absorption spectra lines corresponding to tetragonal ion optical centers were separated according to [1]. It was shown that for CaF_2 crystal tetragonal centers concentration decreases rapidly with increase of thulium ions concentration (see Fig.1). At low (77K) temperature fluorescence decay curves at ${}^3\text{F}_4\text{-}{}^3\text{H}_6$ Tm^{3+} transition for three different optical centers were measured with lifetimes of 6 ms, 19 ms and 120 ms respectively. A significant difference in the different thulium ions optical centers lifetimes allowed to obtain individual fluorescence spectra of the particular optical centers from measured time-resolved low-temperature (77 K) fluorescence spectra with selective excitation by temperature tunable 795 nm laser diode. Fig. 2 shows an example of the low temperature thulium ions tetragonal centers fluorescence spectrum in $\text{CaF}_2:\text{Tm}^{3+}$ (0.1%) crystal.

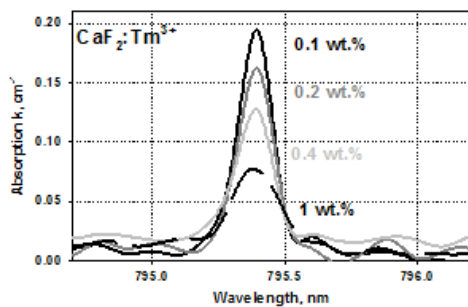


Fig.1 – Part of the of thulium ions absorption spectrum in CaF_2 crystal near 795.4 nm for different concentrations of Tm^{3+} at 77 K

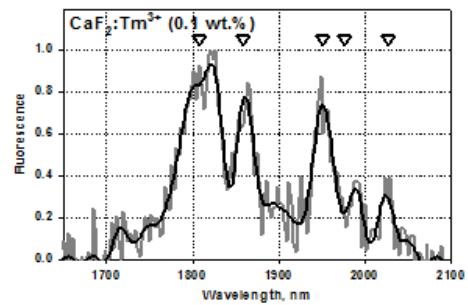


Fig.2 –Thulium ions tetragonal centers fluorescence spectrum in the $\text{CaF}_2:\text{Tm}^{3+}$ (0.1%) crystal at 77K

Under laser diode ($\lambda=795$ nm) pumping at room temperature lasing of $\text{CaF}_2:\text{Tm}^{3+}$ (0.4%) crystal was obtained. For the output mirror reflectivity of 99.7% the measured lasing spectrum was found to consist of two oscillation lines corresponding to local low-temperature fluorescence maxima of different thulium ions optical centers.

HOLOGRAPHIC GLUCOSE SENSORS

V.A. Postnikov¹, A.V. Krayskiy², M.A. Shevchenko², V.I. Sergienko¹
¹*Research Institute of Physico-Chemical Medicine FMBA of Russia, Moscow*
²*Physical Institute. Lebedev Russian Academy of Sciences, Moscow*
E-mail: vladpostnikov@mail.ru

Holographic sensors [1-2] are based on the hydrogel polymeric matrix (10-50 microns thick) fixed on a surface of a glass plate in which layers are regularly introduced nanoscale solid grains Ag, the average distance between them within the layer is much smaller than the length the wavelength of visible light. Such a structure is illuminated with white light reflects the narrow-band radiation whose wavelength is close to twice the period of the layers. Changing swelling hydrogel matrix leads to a change in the period of the layers is accompanied by increasing or decreasing the wavelength of the reflected radiation. For giving the sensitivity to the glucose sensor in a hydrogel film integrated aminophenylboronic acid derivatives that provide selective interaction with glucose assay mixture. The formation of glucose complex is accompanied by swelling of the hydrogel matrix and the variation of the wavelength of the reflected light, which is determined by the spectral device, or visually.

Responses of glucose sensors are linearly dependent on the glucose content (0-20 mM) in model solutions. With an increase in ionic strength (content NaCl) from 0 to 0.15 M sensor sensitivity is reduced by more than an order of magnitude. This limits the practical application of the sensor in biological fluids usually contain an appreciable amount of different ions. Sensors to determine the sensitivity of the glucose content in blood serum samples with known amounts of glucose, a modifier-treated for recovery of glucose to sorbitol. The results of determination of sorbitol-modified serum samples substantially coincide with the definition in the control sorbitol solution in the same buffer. The sensitivity of the sensor under these conditions - 400 nm /mm, allows to expect increasing the accuracy of determining blood glucose in plasma for 0, 02 mM in physiologically meaningful 0-30 mM glucose, which is five times higher than the accuracy of current laboratory methods for determining glucose.

This work was supported by a grant program of the Presidium of RAS "Fundamental sciences - medicine."

1. A.K. Yetisen, I. Naydenova, F. da Cruz Vasconcellos, et al., *Chemical reviews* **114**(20), 10654-10696 (2014)
2. A.V. Kraisky, V.A. Postnikov et al., *Quantum Electronics* **40**, 178 (2010).

THE GROWTH OF $\text{Ca}_{2-x}\text{Li}_{2x}\text{GeO}_4$ SINGLE CRYSTALS

D.V. Simanovsky, V.A. Ivanov, M.O. Marychev, V.S. Nikolov

Lobachevsky state university of Nizhni Novgorod

E-mail: egick1993@mail.ru

It is known that $\text{Li}_2\text{CaGeO}_4$ is among of the most perspective phosphors for LED (light emitting diode) applications. It is shown that $\text{Li}_2\text{CaGeO}_4$ doped with different rare earth elements emits intensely at 473 nm, at 485 nm and at 575 nm [1,2]. The main aim of this work is the growth of $\text{Ca}_{2-x}\text{Li}_{2x}\text{GeO}_4$ single crystals suitable for studying of their optical properties.

High temperature solutions (flux-method) were used for $\text{Ca}_{2-x}\text{Li}_{2x}\text{GeO}_4$ crystal growth by spontaneous crystallization on a narrow platinum stick in a cylindrical crucible with a diameter of 5 cm and a height of 5 cm.. The weight of the high-temperature solution was 150 g. During the whole time of growth (6 days) there was a uniform rotation of a platinum stick. Temperature was changing from 952 °C to 932 °C. After the expiration of the specified time it was formed the druse on a stick, that consist of a several crystals with sizes about 1 cm (see fig. 1). Preliminary researches with an optical microscope showed that they have sufficient quality to carry out researches of their physical properties.

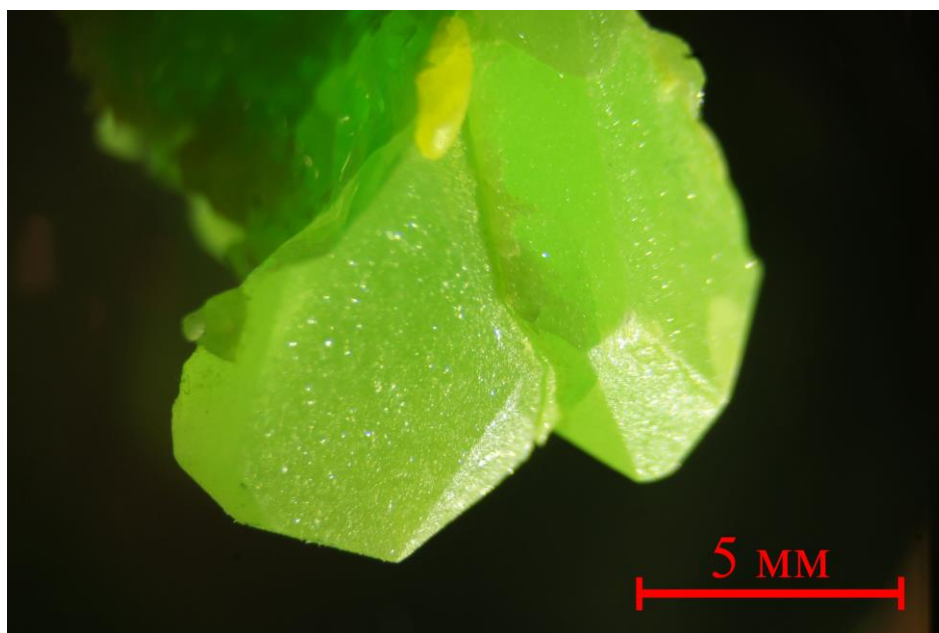


Fig. 1. Photo of grown crystals of $\text{Ca}_{2x}\text{Li}_{2-x}\text{GeO}_4$

1. Meng Jian-Xin, Yang Chuang-Tao, Chen Qing-Qing, J. Lumin. **130**(7), 1320-1323 (2010).
2. I.V. Berezovskaya at al., Ceram. Int. **39**(6), 6835-6840 (2013).

SPECTRAL AND LUMINESCENT INVESTIGATION OF SrMoO₄ CRYSTAL, DOPED WITH Ho³⁺ IONS

V.G. Ivanova^{1,2}, P.G. Zverev², E.E. Dunaeva²,
A.V. Nekhoroshih², L.I. Ivleva², M.E. Doroshenko²

¹*Moscow Power Engineering Institute, Moscow*

²*General Physics Institute RAS, Moscow*

E-mail: ivanovavg93@mail.ru

Solid-state lasers operating in the near and middle infrared spectral region find practical applications in medicine, biology, ecologic monitoring of natural environment. Two-micron lasers with crystals and glasses, activated with Ho³⁺ ions (transition ⁵I₇ → ⁵I₈) has a large fundamental interest. Strontium molybdate has a high Raman gain, therefore Ho³⁺:SrMoO₄ crystal can operate as an active laser medium and a nonlinear Raman medium simultaneously and can be a basis for the creation of compact solid-state lasers operating at new spectral components which are optimal for specific applications [1].

In the present work we investigated the spectral and the luminescent properties of Ho³⁺:SrMoO₄ crystal. The test sample was 3 mm thick and was prepared of a crystal grown by Czochralski method in GPI RAS. The concentration of Ho³⁺ impurity ions was 8.04x10¹⁹ cm⁻³.

Spectrometer Cary-5000 was used to measure polarized absorption spectra in the spectral region of 350-2300 nm. A monochromator MDR-23, a PbS photodiode and a digital oscilloscope Textronix TDS-2022 were used in fluorescence measurements in the near IR spectral region. A pulsed semiconductor diode with the output wavelength of 445 nm was used as an excitation source.

The oscillator strength values of electronic transitions in Ho³⁺ ion were determined from the values of the integrated absorption coefficients. By using the Judd-Ofelt procedure were determined the intensity parameters Ω_t (t=2, 4, 6) for Ho³⁺ ion in SrMoO₄ crystal, which equaled $\Omega_2 = 7.27 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_4 = 1.9 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$, $\Omega_6 = 0.2 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$. Using the obtained values of the intensity parameters the probability of spontaneous radiative transition from level ⁵I₇ in the ion Ho³⁺ was calculated. The lifetime value for ⁵I₇ energy level was found to be equal to 13 ms. This value is slightly longer than that obtained in the experiment which was 6 ms. Long lifetime value for ⁵I₇ energy level in Ho³⁺:SrMoO₄ crystal allows to consider it as a promising medium for developing efficient two micron lasers with the possibility of simultaneous Raman conversion of laser radiation.

1. L.I. Ivleva; T.T. Basiev; P.G. Zverev; V.V. Osiko; I.S. Voronina; N.M. Polozkov, *Optical Materials*. **23**, 439 (2002).

**ЭЛЕКТРОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ
В НАНОСТРУКТУРАХ**

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ КРАЕВЫЕ МОДЫ В ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛАХ

А.В. Пошакинский

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

E-mail: poshakinskiy@gmail.com

Топологическими изоляторами называют материалы, которые внутри объема представляют собой диэлектрик, а на поверхности имеют устойчивые проводящие состояния [1]. В настоящее время происходит бурное развитие физики фотонных топологических изоляторов – нового типа фотонных кристаллов, являющихся аналогами электронных топологических изоляторов. Основным свойством таких систем является наличие в них краевых топологически защищенных оптических мод [2]. В докладе будет сделан обзор различных реализаций одномерных [3-5] и двумерных [6-8] фотонных топологических изоляторов. Подробно будет описана теория излучающих топологических мод в структуре на основе периодической последовательности квантовых ям с несколькими ямами в элементарной ячейке [4]. Краевые моды в такой системе имеют конечное радиационное время жизни, вызванное уходом света из структуры через ее края, и поэтому проявляются в стационарных и разрешенных во времени спектрах отражения света от структуры.

Наличие или отсутствие у фотонного кристалла краевых топологических мод определяется структурой блоховских состояний, которая может быть охарактеризована некоторыми целыми числами – топологическими инвариантами. Отличные от нуля значения этих инвариантов свидетельствуют о топологической нетривиальности системы и, следовательно, о наличии у нее краевых мод. Важной задачей спектроскопии фотонных кристаллов является разработка методов измерения топологических инвариантов. В докладе будет описан способ измерения топологических инвариантов, основанный на анализе фазы коэффициента отражения, и продемонстрировано его применение для одномерных и двумерных фотонных кристаллов [9].

Работа выполнена при поддержке фонда «Династия».

1. M.Z. Hasan and C.L. Kane, Rev. Mod. Phys. **82**, 3045 (2010).
2. L. Lu, J.D. Joannopoulos and M. Soljačić, Nat. Photonics **8**, 821 (2014).
3. Y.E. Kraus, Y. Lahini et al., Phys. Rev. Lett. **109**, 106402 (2012).
4. A. Poshakinskiy, A. Poddubny et al., Phys. Rev. Lett. **112**, 107403 (2014).
5. A. Poddubny, A. Miroshnichenko et al., ACS Photonics **1**, 101 (2014).
6. A.B. Khanikaev, S.H. Mousavi et al., Nat. Mater. **12**, 233 (2012).
7. M.C. Rechtsman, J.M. Zeuner et al., Nature (London) **496**, 196 (2013).
8. M. Hafezi, S. Mittal et al., Nat. Photonics **7**, 1001 (2013).
9. A. Poshakinskiy, A. Poddubny et al., Phys. Rev. A **91**, 043830 (2015).

ОРИЕНТАЦИЯ СПИНОВ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА ТОКОМ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Н.С. Аверкиев

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

E-mail: averkiev@les.ioffe.ru

Линейная связь между спином носителей и электрическим полем возможна в средах специальной симметрии, в которых отсутствуют плоскости отражения, так что компоненты истинных и псевдовекторов преобразуются по одинаковым представлениям. Поскольку по отношению к обращению времени вектор спина изменяет знак, а вектор электрического поля нет, то коэффициент связи между ними должен менять знак при обращении времени, то есть микроскопический механизм такого эффекта должен быть диссипативным. Доклад представляет собой обзор теоретических и экспериментальных работ, посвященных этому явлению.

Связь между величиной спиновой поляризации и электрическим полем (током через образец) должна быть обусловлена спин-орбитальным взаимодействием. При этом может возникать два типа явлений: спиновый эффект Холла [1], представляющий собой пространственное разделение носителей с противоположно ориентированным спином и однородная по объему поляризация носителей [2,3]. Микроскопической причиной явлений может быть наличие нечетных по импульсу слагаемых в гамильтониане, описывающем спектр носителей. Такие вклады могут возникать в системах пониженной симметрии, например в гиротропных кристаллах или квантовых ямах или проволоках.

Впервые на возможность ориентации спинов электрическим полем было указано в [4] для гиротропного полупроводника теллура. В этом случае из-за особенностей энергетической структуры материала протекание тока вдоль тригональной оси приводило к возникновению среднего спина, также ориентированного вдоль этого направления. Эффект был обнаружен в [5] по дополнительному повороту плоскости поляризации света, распространяющегося вдоль оси третьего порядка. Для двумерных систем эффект теоретически рассмотрен в [2,3], где также обсуждался вопрос о способе его регистрации. Наиболее полное теоретическое исследование для деформированных объемных кристаллов и двумерных систем проведено [6], где предложено и два метода регистрации. Первый состоит в использовании метода магнитного резонанса, поскольку в системе возникает средний магнитный момент, который может быть зарегистрирован методами ЭПР или ЯМР. Второй, более подходящий для полупроводников, основан на измерении степени круговой поляризации фотолюминесценции, которая может возникать при дополнительном к приложенному электрическому полю межзонном фотовозбуждении [7]. Такой эффект был обнаружен [8] для квантовых ям GaAs/AlGaAs p-типа. Ориентация спинов при приложении поля в

квантовых ямах была также обнаружена по эффекту Фарадея для излучения в терагерцовой области спектра [9].

Однако, в обоих указанных экспериментах величина эффекта была меньше, чем предсказывает теория, так что возникает вопрос о поиске низкоразмерных структур, в которых эффект спиновой ориентации током может быть надежно установлен.

В этом смысле представляет интерес изучение этого явления в квази-одномерных структурах (квантовых проволоках), в которых из-за большей длины свободного пробега, величина среднего спина может быть велика. Детальное теоретическое исследование ориентации спинов током в квази-одномерных проволоках выполнено в [10] и показано, что в таких структурах степень ориентации может быть сравнимой с величиной эффекта в хорошо проводящих двумерных структурах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №14-12-00255).

1. M.I. Dyakonov, V.I. Perel, Phys. Lett. A **35**, 459 (1971).
2. А.Г. Аронов, Ю.Б. Лянда-Геллер, Письма в ЖЭТФ **50**, 398 (1989).
3. V.M. Edelstein, Solid State Commun. **73**, 233 (1990).
4. Е.Л. Ивченко, Г.Е. Пикус, Письма в ЖЭТФ **27**, 640 (1978).
5. Л.Е. Воробьев, Е.Л. Ивченко, Г.Е. Пикус, и др., **29**, 485(1979).
6. А.Г. Аронов, Ю.Б. Лянда-Геллер, Г.Е. Пикус, ЖЭТФ **100**, 973 (1991).
7. Н.С. Аверкиев, А.Ю. Силов, ФТП **39**, 1370 (2005).
8. A.Yu. Silov, P.A. Blajnov, J.H. Wolter, et al., Appl. Phys. Lett. **85**, 5929 (2004).
9. S.D. Ganichev, S.N. Danilov, P. Schneider, et al., J. Magn. Magn. Mater. **300**, 127 (2006).
10. И.А. Кокурин, Н.С. Аверкиев, Письма в ЖЭТФ **101**, 627 (2015).

ФОТОИНДУЦИРОВАННЫЙ ТОК В КВАНТОВОМ КОЛЬЦЕ СО СПИН-ОРБИТАЛЬНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

А.А. Григорькин

НИЦ «КИ» ФГБУ Петербургский институт ядерной физики

им.Б.П.Константинова, Санкт-Петербург

E-mail: ale-grig@yandex.ru

В данной работе рассматривается система, состоящая из квантового кольца, соединенного одномерными проводниками с двумя электронными резервуарами. Кольцо освещается монохроматическим циркулярно поляризованным излучением, поэтому его гамильтониан гармонически зависит от времени. В гамильтониан кольца входят слагаемые, отвечающие спин-орбитальному взаимодействию Рашбы, благодаря чему электрическое поле излучения может влиять на спиновые степени свободы электрона. Контакты кольца с проводниками рассматриваются как рассеивающие потенциалы нулевого радиуса.

Данная система не имеет центра инверсии в случае, когда провода подключены к кольцу несимметрично, или когда имеет место различие рассеивающих свойств «левого» и «правого» контактов. Следствием этого является фотогальванический эффект – возникновение в проводах постоянного тока под действием оптического возмущения.

В данной работе предложен метод расчета, позволяющий аналитически вычислить квазиэнергетические электронные состояния в системе с учетом упругого рассеяния на контактах и неупругого взаимодействия с излучением. Найден соответствующий фотоиндуцированный ток. Показано, что существуют два механизма возникновения фототока, которые можно охарактеризовать как линейный (ЛФГЭ) и циркулярный (ЦФГЭ) фотогальванические эффекты. При нулевом (либо целом) магнитном потоке ЛФГЭ не зависит от направления циркулярной поляризации падающего излучения, в то время как ток, обусловленный ЦФГЭ, меняет знак при смене направления поляризации.

В общем случае фототок обладает сложной зависимостью от параметров системы – частоты излучения, уровня Ферми, положения точек контактов на кольце и длин рассеяния контактов. Разумеется, для фототока характерна периодическая зависимость от магнитного потока через кольцо с периодом, равным кванту потока.

AB INITIO МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ И ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕФЕКТНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК

С.А. Созыкин, В.П. Бескачко, Г.П. Вяткин

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск

E-mail: sergey.sozykin@gmail.com

В работе изложены результаты исследования влияния дефектов каркаса одностенных углеродных нанотрубок (ОУНТ) на их электронную структуру и оптические свойства. Эти сведения важны для применения ОУНТ в микроэлектронике. Исследование проводилось с помощью неэмпирического квантово-механического подхода: метода псевдопотенциала в рамках теории функционала электронной плотности (DFT) в приближении локальной плотности (LDA).

В качестве объекта исследования из-за сравнительно малого радиуса и металлического типа проводимости была выбрана ОУНТ (7,7). Нанотрубки с металлическим типом проводимости представляют интерес, так как оказывают определяющее влияние на проводящие свойства пучков нанотрубок. Используемая для расчетов суперячейка представляла собой фрагмент УНТ длиной 1,5 нм (168 атомов углерода). Модели из меньшего числа атомов, которые мы использовали в предыдущих исследованиях [1,2], оказались недостаточно длинными для изучения дефектов.

Анализ свойств дефектных ОУНТ проводился в несколько этапов. На первом определялась наиболее стабильная атомная конфигурация идеальной (бездефектной) нанотрубки. Путем варьирования периода трансляции вдоль оси нанотрубки с последующей оптимизацией геометрии, определялась конфигурация, при которой полная энергия системы достигала минимума, а силы, действующие на атомы, равны нулю (с точностью до 0,4 эВ/нм). Такая конфигурация была стартовой для второго этапа вычислений, когда добавлялись дефекты структуры различных типов: одиночная и двойная вакансии, дефект Стоуна-Велса, дефект встраивания димера углерода в стенку нанотрубки, по одному за раз. После вставки дефекта, геометрия вновь оптимизировалась и рассчитывались электронная структура и оптические свойства.

Характерными особенностями электронной структуры бездефектной ОУНТ являются сингулярности Ван-Хова – пики на плотности электронных состояний (DOS) расположенные симметрично по отношению к уровню Ферми, разность энергий между которыми может быть измерена экспериментально. После добавления дефектов, появляется интенсивный пик на DOS вблизи уровня Ферми. Возникновение этого дополнительного пика (положение и форма пика зависят от типа дефекта) изменяет оптические спектры поглощения нанотрубок.

1. S. A. Sozykin, V. P. Beskachko, *Molecular Physics* **111**, 930–938 (2013).
2. S. A. Sozykin, V. P. Beskachko, *Advanced Materials Research* **1091**, 25–29 (2015).

ЛОКАЛИЗАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ ЩЕЛЕВЫХ ГРАФЕНОВЫХ СВЕРХРЕШЕТОК

Е.С. Азарова, Г.М. Максимова

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

E-mail: azarova.ekaterin@yandex.ru

В последние годы теоретически и экспериментально активно изучаются сверхрешетки (СР) на основе графена [1, 2]. Возможность формирования зонной структуры с помощью периодического потенциала, открывает пути для создания различных наноэлектронных устройств на основе графена. Однако в условиях реального эксперимента изготовление идеально периодической СР является невыполнимой задачей из-за случайных дефектов, обусловленных, например, флуктуациями параметров системы. Транспортные свойства неупорядоченных графеновых сверхрешеток исследовались ранее, например, авторами [3].

В данной работе изучается влияние слабого беспорядка на локализационные свойства щелевых графеновых сверхрешеток, сформированных периодически расположенными прямоугольными потенциальными барьерами. Нами рассмотрены два типа СР: СР с однородной щелью и СР, образованная полосками щелевого (барьеры) и бесщелевого (ямы) графенов. На основе теории возмущений нами получено аналитическое выражение для обратной длины локализации (ОДЛ) в случае флуктуаций геометрических (ширины графеновых слоев) и энергетических (величины потенциала и щели в барьерных областях) параметров. В первом случае, когда флуктуирует барьерная (ямная) ширина, соответствующее выражение для ОДЛ выявляет наличие резонансов Фабри-Перо, в условиях которых длина локализации бесконечна. Эти резонансы являются точными, т.е. сохраняются при любой степени беспорядка. В случае позиционного беспорядка, обусловленного флуктуациями ширин как барьеров, так и ям выражение для ОДЛ получено с учетом корреляций, которые приводят к увеличению (или уменьшению) длины локализации вблизи двойных резонансов. Флуктуации высоты потенциальных барьеров также приводят к делокализационным резонансам, которые возникают только в приближении слабого беспорядка. Нами установлено, что для СР с неоднородной щелью эти резонансы могут появляться только в случае нормального падения частиц на структуру. Это означает, в частности, что при слабом беспорядке в одномерном случае не все состояния массивных дираковских частиц локализованы.

1. S. Dubey, V. Singh, et.al., Nano. Let. **13**, 3990 (2013).
2. G.M. Maksimova, E.S. Azarova et.al., Phys. Rew. B **86**, 205422 (2012).
3. Q. Zhao, J. Gong, Phys. Rew. B **85**, 104201 (2012).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ УСИЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СВЕРХРЕШЕТКОЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СТАТИЧЕСКОЙ ВАХ

А.В. Шорохов¹, К.Н. Алексеев², М.А. Пятаев¹, Н.Н. Хвастунов^{1,3}

¹*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

²*Институт физики, Университет Лафборо, Лестершир, LE11 3TU, Великобритания*

³*Мордовский государственный педагогический институт*

им. М.Е. Евсевьева, Саранск

E-mail: khvastunovnn@mail.ru

В настоящее время экспериментальная реализация усилителя на основе полупроводниковой сверхрешетки в терагерцевом диапазоне не осуществлена из-за действующих в системе деструктивных факторов. В режиме усиления возникают неустойчивости, связанные с отрицательной дифференциальной проводимостью (ОДП). В качестве возможности избежать неустойчивостей рассматривается введение в систему магнитного поля. При взаимноперпендикулярных электрическом и магнитном поле (электрическое поле направлено вдоль оси сверхрешетки) теоретически возможно получение усиления сигнала полупроводниковой сверхрешеткой на отрицательных электронных массах (NEMAG) [1]. Однако, с точки зрения контроля и управления усиления более интересен случай наклонного магнитного поля. Численно возможность усиления в наклонном магнитном поле показана в работе [2].

В данной работе проводится аналитическое исследование возможности усиления высокочастотного электромагнитного излучения в случае наклонного магнитного поля и приводится простой геометрический путь определения коэффициента усиления, исходя из анализа только статической ВАХ сверхрешетки.

Установлено, что коэффициент поглощения (усиления), может быть выражен в виде конечной разности от плотности постоянного тока в окрестности блоховской частоты. Отметим, что наклонное магнитное поле способно формировать дополнительные области положительной дифференциальной проводимости, в которых возможно получение стабильного усиления излучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках госзадания (проект 2665)

1. А.В. Шорохов, М.А. Пятаев, Н.Н. Хвастунов и др., Письма в Журнал экспериментальной и теоретической физики **100**, 870 (2014).
2. T. Nyart, J. Mattas, K.N. Alekseev, Physical Review Letters **103**, 117401 (2009).

ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЯ НАЙКВИСТА ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАБИЛЬНОСТИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ СВЕРХРЕШЕТКАХ

А.В. Шорохов¹, Н.С. Прудских¹, К.Н. Алексеев²

¹*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

²*Университет Лафборо, Великобритания*

В теории эффекта Ганна важным вопросом является определение условий, при которых система становится нестабильной относительно флуктуаций внутреннего электрического поля. В случае контактов произвольного вида это условие может не совпадать с условием возникновения отрицательной дифференциальной проводимости (ОДП) [1]-[2], что меняет режим генерации. Одним из подходов к определению условий возникновения нестабильностей является критерий Найквиста, основанный на анализе высокочастотного импеданса системы. Преимуществом данного критерия является простота его использования, не требующая никаких аналитических вычислений, если известен импеданс системы как функция частоты.

Подобный подход может быть использован и при анализе электрической стабильности полупроводниковых сверхрешеток. Критерий Найквиста позволяет определить переход от режима генерации по принципу диодов Ганна [3] к другим режимам, в частности, параметрической генерации [4].

В частности, в случае омических контактов, критерий Найквиста дает условия возникновения нестабильностей, отличные от условий возникновения отрицательной дифференциальной проводимости. В результате области стабильности при не слишком высоких концентрациях электронов и не очень большой длине сверхрешетки может сдвинуться в область ОДП, что может говорить о возможности экспериментального обнаружения эффекта усиления высокочастотного излучения в классической схеме усиления, основанной на использовании для усиления режима ОДП.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках госзадания (проект 2665).

1. E. McCumber, A. G. Ghynoweth, IEEE Transactions of Electron Devices **Ed-13**, 4 (1966).
2. H. Zetsche, IEEE Transactions of Electron Devices **Ed-21**, 142 (1974).
3. E. Schomburg et al., Phys. Rev. B **65**, 155320 (2002).
4. T. Hyart, A. V. Shorokhov, and K. N. Alexeev, Phys. Rev. Lett. **98**, 2204041–2204044 (2007).

СПИНОВЫЙ ФИЛЬТР НА ОСНОВЕ ОТКРЫТОЙ КВАНТОВОЙ ТОЧКИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

А.И. Малышев, Г.Г. Исупова

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

E-mail: isupova@phys.unn.ru

Спин-орбитальное взаимодействие (далее СОВ) проявляется в физике твердого тела на фундаментальном уровне, определяя электронные квантовые состояния и приводя к многочисленным транспортным и оптическим эффектам, многие из которых имеют практический интерес. Одним из важных устройств современной полупроводниковой спинтроники является спиновый фильтр, используемый для отбора носителей с заданной спиновой поляризацией [1].

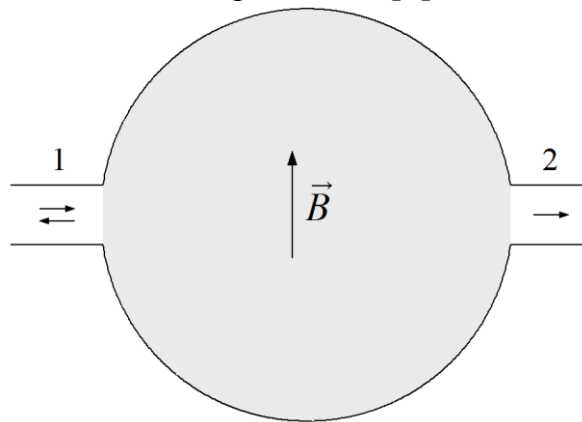


Рис. 1. Открытая квантовая точка с подведёнными к ней входным (1) и выходным (2) каналами

Перспективной представляется возможность построения спинового фильтра на основе резонансов Фано — асимметричных резонансов проводимости, возникающих в результате взаимодействия локализованных состояний и континуума. В данной работе речь идет о резонансах, обнаруженных ранее [2] и вызванных включением в системе СОВ.

Структура, на примере которой производится моделирование, — открытая квантовая точка с подведенными к ней квазиодномерными каналами с учетом СОВ. В присутствии слабого магнитного поля проводимость структуры становится зависимой от спиновой поляризации состояния во входном канале. Использование этого факта позволяет надлежащим подбором параметров системы реализовать спиновый фильтр, функционирующий на «нуле» и «единице» одного из упомянутых выше резонансов. Это в свою очередь открывает дополнительные возможности для манипулирования спиновыми степенями свободы носителей и, как следствие, для создания новых приборов спинтроники.

1. J.F. Song, Y. Ochiai, J.P. Bird, *Appl. Phys. Let.* **82**, 4561 (2003).
2. Г.Г. Исупова, А.И. Малышев, *Письма в ЖЭТФ*, **94** (7), 597 (2011).

ПОГЛОЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СВЕРХРЕШЕТКОЙ В НАКЛОННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

М.А. Пятаев¹, А.В. Шорохов¹, К.Н. Алексеев²

¹*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Саранск, Россия*

²*Институт физики, Университет Лафборо, Великобритания
E-mail: pyataevma@gmail.com*

В работе исследуется поглощение электромагнитного излучения в полупроводниковой сверхрешетке, помещенной в продольное электрическое и наклонное магнитное поля. Интерес к исследуемой системе связан с проблемой создания усилителя и генератора терагерцового излучения. Как известно, одним из препятствий в реализации режима усиления в сверхрешетке являются неустойчивости волн зарядовой плотности, которые формируются, когда дифференциальная проводимость системы становится отрицательной. Поэтому необходимыми условиями для использования сверхрешетки в качестве усилителя являются отрицательность высокочастотного коэффициента поглощения и положительность статической дифференциальной проводимости.

Как показано в работе [1], эти два условия могут быть одновременно выполнены при помещении сверхрешетки в перпендикулярное к ее оси магнитное поле. В таком случае в системе создаются условия для динамического накопления энергии при нелинейных квазициклотронных осцилляциях. Приложение малого пробного высокочастотного поля позволяет перевести часть накопленной энергии в излучение.

В работе [2] отмечается, что при малом наклоне магнитного поля к оси сверхрешетки на участке вольт-амперной характеристики (ВАХ) с отрицательным наклоном (в сильных электрических полях) появляются отрезки с положительной дифференциальной проводимостью, которые можно использовать для получения усиления высокочастотного сигнала.

В настоящей работе рассмотрен случай произвольного угла наклона магнитного поля. Изучено изменение формы ВАХ при увеличении наклона поля. Определены пределы углов наклона, при которых отрицательное поглощение может сочетаться с положительным наклоном ВАХ.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках госзадания (проект № 2.2665.2014).

1. А.В. Шорохов и др., Письма в ЖЭТФ **100**, 870 (2014).
2. Н.Н. Хвастунов и др. *Стабилизация усиления высокочастотного излучения в сверхрешетке в наклонном магнитном поле*. Огарев-online. Физико-математические науки. Спецвыпуск. 2014.

КРИТЕРИЙ СТАБИЛЬНОСТИ ВОЛН ЗАРЯДОВОЙ ПЛОТНОСТИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СВЕРХРЕШЕТКЕ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

К.Н. Алексеев¹, Н.С. Прудских², А.В. Шорохов²

¹Университет Лафборо, Великобритания

²Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

E-mail: prudskikh-ns@rambler.ru

Источники микроволнового и ТГц излучения, основанные на использовании сверхрешетки в качестве активной среды, могут работать как в доменном режиме ганновского типа [1], так и в бездоменном режиме [2]. В связи с этим, необходимо знать критерий стабильности, определяющий переход от одного режима к другому. В данной работе мы формулируем такой критерий для полупроводниковых сверхрешеток в случае как омических, так и неомических контактов, используя подход, развитый в теории эффекта Ганна [3]-[4] и основанный на анализе высокочастотного импеданса системы.

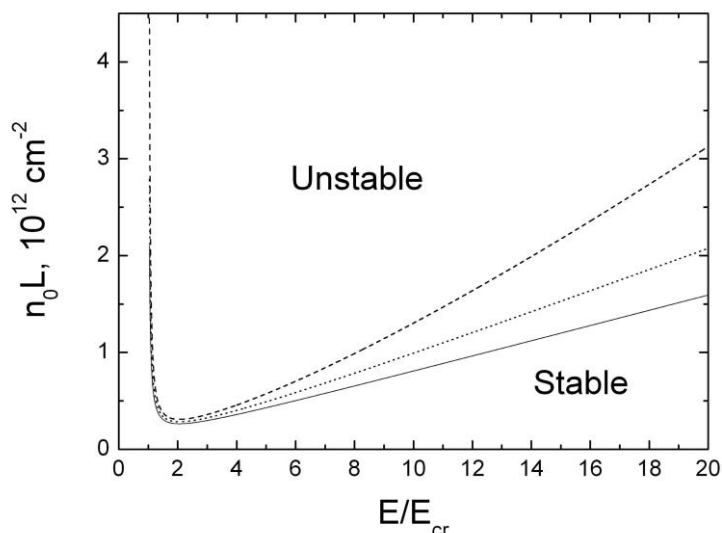


Рис.1. Изменение области неустойчивости в зависимости от свойства контакта.

Сплошная кривая соответствует омическому контакту, штриховая – чисто неомическому, пунктирная – промежуточному случаю. Выше кривых расположена область неустойчивости. E_{cr} – критическое поле, соответствующее максимуму статической ВАХ сверхрешетки, E – постоянное электрическое поле, приложенное к сверхрешетке, n_0 – концентрация электронов, L – длина сверхрешетки. Видно, что неомический контакт приводит к большей стабильности системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках госзадания (проект 2665).

1. E. Schomburg et al., Phys. Rev. B **65**, 155320 (2002).
2. В. И. Санкин и др., Письма в ЖЭТФ **94**, 393 (2011).
3. E. McCumber, A. G. Ghynoweth, IEEE Transactions of Electron Devices **Ed-13**, 4 (1966).
4. H. Zetsche, IEEE Transactions of Electron Devices **Ed-21**, 142 (1974).

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ УСИЛЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МАССИВАМИ КОНТАКТОВ ДЖОЗЕФСОНА В РЕЗОНАТОРЕ

О.Д. Позднякова, А.В. Шорохов

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

E-mail: Pozdn-olesya@yandex.ru

Известно, что если ток через джозефсоновский контакт превышает некоторое критическое значение, обусловленное свойствами самого контакта, на контакте возникает разность потенциалов, что приводит к нестационарному эффекту Джозефсона [1]. Вблизи критической температуры для анализа высокочастотных явлений удобно использовать резистивную модель [2], согласно которой джозефсоновский контакт может быть представлен в виде параллельного соединения идеального джозефсоновского контакта, через который течёт только бездиссипативный ток куперовских пар, и резистивного элемента с активным сопротивлением, через который течёт диссипативный ток одиночных электронов проводимости (нормальный ток). В рамках данной модели в [3] было найдено активное сопротивление точечного джозефсоновского контакта в слабосигнальном приближении и показано, что в такой системе возможно параметрическое усиление внешнего высокочастотного излучения, благодаря Джозефсоновскому излучению, выполняющему роль излучения накачки [3,4].

В данной работе мы продолжаем развивать идеи, высказанные в [3,4], применительно к массивам контактов Джозефсона в резонаторе. Прежде, чем перейти к массивам, нами были изучены высокочастотные свойства одиночного контакта Джозефсона в резонаторе при наличии внешнего пробного переменного сигнала произвольной амплитуды. Затем мы рассмотрели синхронизацию нескольких контактов в резонаторе, поскольку только синхронизированные контакты могут дать усиление, значительно превышающее усиление внешнего ВЧ излучения, полученного с помощью одного контакта. Затем, используя резистивную модель и численные методы, мы рассчитали поглощённую мощность (мощность усиления) внешнего ВЧ излучения в массиве контактов Джозефсона в резонаторе.

1. B.D. Josephson, Phys. Lett. **1**, 251 (1962).
2. Л.Г. Асламазов, А.И. Ларкин, Письма в ЖЭТФ **9**, 47 (1969).
3. А.Н. Выставкин, В.Н. Губанков, Л.С. Кузьмин, и др., Радиотехника и электроника **15**, 896 (1971).
4. F. Auracher and T. Van Duzer, J. Appl. Phys. **44**(2), 848 (1973).

ВЛИЯНИЕ СПИН-ОРБИТАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ СВОЙСТВА
InAs НАНОПРОВОЛОК

И.А. Кокурин

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск
E-mail: kokurinia@mail.ru

Нанопроволоки (НП) на основе узкощелевых полупроводников группы A_3B_5 , таких как InAs, в которых из-за приповерхностного изгиба зон и пиннинга уровня Ферми вблизи поверхности формируется так называемый тубулярный элетронный газ (ТЭГ) [1] с сильным спин-орбитальным взаимодействием (СОВ) Рашбы [2], являются перспективным кандидатом для применения в полупроводниковой спинтронике.

Недавно сообщалось о наблюдении баллистической проводимости в достаточно коротких InAs-НП [3], что долгое время не удавалось реализовать в силу низкой подвижности, обусловленной рассеянием на шероховатостях поверхности. Влияние СОВ Рашбы (СОВР) на энергетический спектр и баллистический транспорт НП было теоретически изучено в [4], однако, эффекты, связанные с отсутствием центра инверсии у материала НП (СОВ Дрессельхауза (СОВД)) [5], не рассматривались.

Для описания электронных состояний в ТЭГ мы использовали простую модель электронного газа, помещенного на цилиндрическую поверхность [6]. Нами построен гамильтониан СОВД на цилиндрической поверхности, учитывая, что ось роста НП совпадает с кристаллографическим направлением [111]. При этом специфика задачи заключается в том, что в каждой точке кругового сечения ТЭГ электрон подвержен действию различного СОВ, что не характерно для обычных планарных наноструктур.

Особенностью НП с сильным СОВ является наличие в спектре ряда подзон, имеющих более одного экстремума (два минимума и один максимум). Наличие таких подзон проявляется в баллистическом транспорте: так, картина квантования баллистической проводимости отличается немонотонностью от хорошо известной ступенчатой зависимости кондактанса от химического потенциала в структурах с простой параболической дисперсией.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 2665 в рамках госзадания вузам).

1. S. Estevez Hernandez et al, Phys. Rev. B **82**, 235303 (2010).
2. Ю.А. Бычков, Э.И. Рашба, Письма в ЖЭТФ **39**, 66 (1984).
3. S. Chuang et al, Nano Lett. **13**, 555 (2013).
4. I.A. Kokurin, Solid State Commun. **195**, 49 (2014).
5. G. Dresselhaus, Phys. Rev. **100**, 580 (1955).
6. Л.И. Магарилл, Д.А. Романов, А.В. Чаплик, Письма в ЖЭТФ **64**, 421 (1996).

КВАЗИКЛАССИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА ЭЛЕКТРОНА В МОДЕЛИ ХАРПЕРА–ХОВШТАДТЕРА С УЧЕТОМ СПИН-ОРБИТАЛЬНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАШБА И ДРЕССЕЛЬХАУЗА

А.С. Рульков, А.А. Перов

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

E-mail: aleksurban666@gmail.com

Изучение квантовых состояний электрона в сверхрешетках в магнитном и электрическом полях является актуальной задачей физики конденсированного состояния вещества [1]. Богатая структура спектра и топология квантовых состояний носителей определяют особенности магнитооптических [2], транспортных [3] и кинетических эффектов в электронном газе. В настоящее время экспериментально уже наблюдались эффекты, подтверждающие существование расщеплённой структуры уровней Ландау под действием двоякопериодического электростатического поля сверхрешётки [4]. Полупроводниковые сверхрешётки являются удобным объектом для исследования квантово-механического движения в них носителей заряда. Дело в том, что для наблюдения расщепленных структур спектра типа «бабочек Ховштадтера» в реальных кристаллических структурах необходимы магнитные поля с индукцией порядка 10-30 МГс.

Основной задачей данного исследования является изучение динамики электрона в скрещенных полях в двумерных сверхрешетках. В рамках решения задачи рассчитана зависимость положения магнитных блоховских подзон спектра электрона от числа квантов потока магнитного поля через элементарную ячейку решётки. Методика расчёта энергетического спектра позволяет вычислить закон дисперсии в магнитных подзонах как аналитически, так и численно. Численный расчёт электронного спектра проводился с использованием метода унитарных преобразований, сохраняющих норму волновой функции. Рассчитаны электронная плотность, спиновые плотности, а также топологическая кривизна Берри состояний магнитных подзон. На основе решения квазиклассических уравнений движения установлены закономерности поперечного транспорта носителей, обусловленные типом спин-орбитального взаимодействия в двумерном электронном газе.

1. D. R. Hofstadter, Phys. Rev. B **6**, 4 (1976).
2. A. A. Perov, L.V. Solnyshkova, and D. V. Khomitsky, Phys. Rev. B **82**, 165328 (2010).
3. В. Я. Демиховский, А. А. Перов, ЖЭТФ **76**, 10 (2002).
4. T. Schlosser et al., Semicond. Sci. Technol. **11**, 1582 (1996).

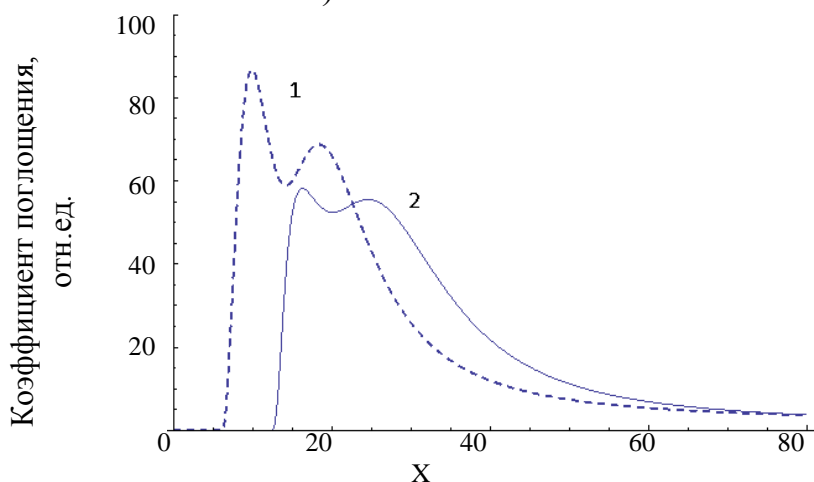
ЭФФЕКТ ДВОЙНОЙ ФОТОИОНИЗАЦИИ ДВУХЭЛЕКТРОННЫХ ПРИМЕСНЫХ ЦЕНТРОВ В КВАЗИНУЛЬМЕРНОЙ СТРУКТУРЕ

В.Д. Кревчик, А.В. Разумов, П.С. Будянский
Пензенский государственный университет, г. Пенза
E-mail: physics@pnzgu.ru

Проведено обобщение метода потенциала нулевого радиуса на случай двухэлектронных примесных центров в квантовых точках (КТ) с зарядом ядра равным нулю. Вариационным методом, в рамках полуэмпирической модели двухэлектронного примесного центра в сферически-симметричной КТ, рассчитан первый потенциал ионизации. Установлена связь между первым и вторым потенциалами ионизации двухэлектронного примесного центра с нулевым зарядом ядра. Показано, что в отличие от случая объемного полупроводника пространственное ограничение в квазинульмерных структурах способствует образованию двухэлектронных примесных центров и при нулевом заряде атомного остова.

В дипольном приближении получено аналитическое выражение для коэффициента примесного поглощения света в квазинульмерной структуре при фотоионизации двухэлектронной примеси с учетом дисперсии радиуса КТ.

На рисунке приведена спектральная зависимость коэффициента поглощения света при двойной фотоионизации двухэлектронной примеси в InSb КТ. Видно, что двойная фотоионизация примесей приводит к появлению на спектральной кривой поглощения характерного двугорбого профиля, положение пиков в котором существенно зависит от среднего радиуса КТ (на рис.: $X = \hbar\omega/E_a$ - энергия фотона в единицах эффективной боровской энергии; кривые 1 и 2 построены для среднего радиуса КТ 100 нм и 70 нм соответственно).



1. А.А. Гринберг, Е.Д. Белорусец, ФТТ, 1970-1978 (1978).
2. В. Д. Кревчик, А. В. Разумов, П. С. Будянский, Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки **3**(31), 228–240 (2014).

МНОГОМОДОВЫЙ ТРАНСПОРТ В КВАЗИОДНОМЕРНЫХ СВЕРХРЕШЕТКАХ СО СПИН-ОРБИТАЛЬНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

А.И. Малышев, А.С. Козулин

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

E-mail: SashaKozulin@yandex.ru

В последние годы активно исследуются системы, в которых совместное проявление спиновых и зарядовых степеней свободы имеет принципиальный характер. Этот интерес обусловлен, прежде всего, возможностью создания на основе спинтроники новых полупроводниковых устройств [1], при моделировании которых в свою очередь необходимо принимать во внимание эффекты, связанные с учетом нескольких мод размерного квантования. В данной работе изучается многомодовый транспорт в квазиодномерной структуре, состоящей из двух каналов без спин-орбитального взаимодействия (СОВ), разделенных рассеивателем – массивом из нескольких повторяющихся фрагментов, каждый из которых содержит область длины l_1 с ненулевым СОВ Рашба и Дрессельхауза, а также область длины l_2 без СОВ (см. рис. 1).

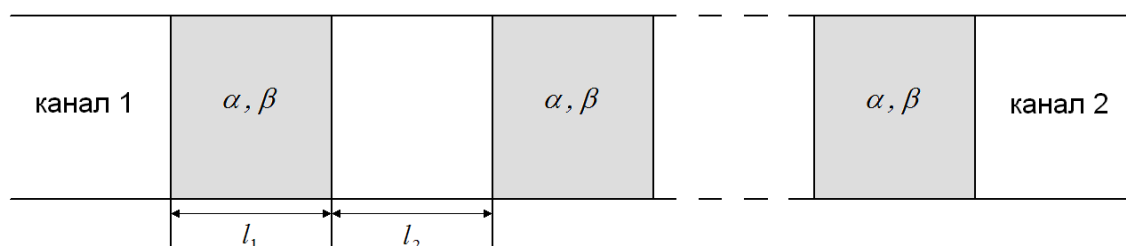


Рис. 1. Схематическое изображение квазиодномерной сверхрешетки. В областях со спин-орбитальным взаимодействием (серый цвет) либо α (параметр Рашба), либо β (параметр Дрессельхауза) отличны от нуля.

С использованием метода матрицы рассеяния [2-5] были проведены численные расчеты кондактанса и спиновой поляризации структуры при различных значениях параметра рассеивателя. На зависимостях как полного, так и спин-зависимого кондактанса от энергии носителей обнаружены провалы, обусловленные локализацией волн в областях с ненулевым СОВ. В работе также обсуждается спиновая прецессия в эффективном магнитном поле, связанном с СОВ, и влияние беспорядка в параметрах рассеивателя на транспортные характеристики исследуемой системы.

1. S. Datta, B. Das, Appl. Phys. Lett. **56**, 665 (1990).
2. L. Zhang, P. Brusheim, H.Q. Xu, Phys. Rev. B **72**, 045347 (2005).
3. P.M. Krstajic, E. Rezasoltani, P. Vasilopoulos, Phys. Rev. B **81**, 155325 (2010).
4. H. Xu, Phys. Rev. B, **52**, 5803 (1995).
5. H. Xu, Phys. Rev. B, **50**, 8469 (1994).

СПЕКТРОСКОПИЯ УРОВНЕЙ ЛАНДАУ КАК СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ ТРЕХМЕРНОГО ТОПОЛОГИЧЕСКОГО ИЗОЛЯТОРА

А.С. Козулин, А.А. Конаков

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

E-mail: SashaKozulin@yandex.ru

Известно, что электроны на поверхности трехмерных топологических изоляторов (ТИ) характеризуются бесщелевым линейным по квазиимпульсу законом дисперсии [1]. Однако в экспериментах по исследованию ТИ методом фотоэмиссионной спектроскопии с угловым разрешением (ARPES) наблюдаются отклонения закона дисперсии поверхностных состояний от линейного, обусловленные вкладами более высокого порядка по волновому вектору [2]. Спектроскопия уровней Ландау (УЛ) является альтернативным способом экспериментального изучения ТИ, позволяющим извлекать информацию о свойствах энергетического спектра как в объеме, так и на поверхности ТИ [3]. В настоящей работе предложен оригинальный способ определения зонных параметров поверхностных состояний по данным спектроскопии УЛ.

Нами решается стационарное уравнение Шредингера для огибающей волновой функции с гамильтонианом

$$\hat{H} = v \left[\hat{\sigma} \times \left(\hat{p} + e_0 \vec{A}/c \right) \right]_x + \frac{g\mu_B B}{2} \hat{\sigma}_z + \frac{\left(\hat{p} + e_0 \vec{A}/c \right)^2}{2m} \hat{\sigma}_0 + \frac{\lambda}{2} \left(\hat{p}_+^3 + \hat{p}_-^3 \right) \hat{\sigma}_z, \quad (1)$$

где e_0 – элементарный заряд, m – эффективная масса, v – скорость Ферми поверхностных состояний, g – спиновый фактор Ландэ, λ – параметр гофрировки, \mathbf{B} – внешнее магнитное поле, $\hat{p}_\pm = \hat{p}_x \pm i(\hat{p}_y + e_0 A_y/c)$, а векторный потенциал выбран в калибровке $A_x = A_z = 0$, $A_y = Bx$. При этом первые два слагаемых в гамильтониане (1) учитывались точно, а два последних, учитывающих кривизну и гексагональное искажение электронного спектра (гофрировку) [4] – по теории возмущений.

В отсутствие гексагонального искажения зависимости УЛ от величины внешнего магнитного поля имеют наклонные асимптоты, угловые коэффициенты и свободные члены которых являются линейными функциями номера уровня. Нахождение параметров функций по данным спектроскопии УЛ позволяет получить значения эффективной массы, g -фактора и скорости Ферми. В рамках данного подхода также исследовано влияние гексагонального искажения на структуру УЛ и предложен способ экспериментальной оценки параметра λ .

1. X.-L. Qi, S.-C. Zhang, *Reviews of Modern Physics* **83**, 1057 (2011).
2. M. Nomura, A. Takayama, T. Sato *et al*, *Phys. Rev. B* **89**, 045134 (2014).
3. A.A. Schafgans, K.W. Post *et al*, *Phys. Rev. B* **85**, 195440 (2012).
4. L. Fu, *Phys. Rev. Lett.* **103**, 266801 (2009).

ВЛИЯНИЕ ЗАТУХАНИЯ НА ЗАКРЕПЛЕНИЕ СПИНОВ В ДВУХСЛОЙНЫХ ПЛЁНКАХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ

А.М. Зюзин¹, М.А. Бакулин¹, С.В. Безбородов¹, В.В. Радайкин¹,
С.Н. Сабаев¹

¹Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск
E-mail: sergei2089@mail.ru

В настоящей работе теоретически исследовано влияния параметра затухания Гильберта α и частоты СВЧ-поля на степень закрепления спинов при перпендикулярной и параллельной ориентациях внешнего постоянного магнитного поля H относительно плоскости пленки.

Выполнен расчёт для двухслойной пленки со следующими значениями параметров слоев: первый слой имел толщину $h_1 = 0.42 \mu m$, намагниченность насыщения $4\pi M_1 = 1740 G$, эффективное поле одноосной анизотропии $H_1^{eff} = -1712 Oe$, параметр затухания Гильберта $\alpha = 0.003$; второй слой имел $h_2 = 2.5 \mu m$, $4\pi M_2 = 1330 G$, $H_2^{eff} = 96 Oe$. При расчете α варьировал от 0.1 до 0.9. Гиромагнитное отношение в обоих слоях принималось одинаковым и равным $\gamma = 1.76 \cdot 10^7 Oe^{-1} \cdot s^{-1}$. Постоянной поддерживалась разность полей однородного резонанса первого и второго слоев $H_{01} - H_{02} < 0$ и $H_{01} - H_{02} > 0$. В первом случае слой закрепления является дисперсивной средой, во втором – реактивной. В качестве параметра, определяющего степень закрепления использовался угловой коэффициент η дисперсионных кривых, поскольку данный параметр является чувствительным к степени закрепления спинов. От степени закрепления зависит конфигурация спин-волновых мод и значение пространственной фазы на границе слоев и соответственно значения волновых чисел СВ-мод определяющих наклон дисперсионных кривых. На рис. 1 представлены зависимости η от параметра затухания α во втором слое при параллельной ориентации H относительно плоскости пленки для двух значений частот $f_1 = 9.34 GHz$ и $f_2 = 34 GHz$.

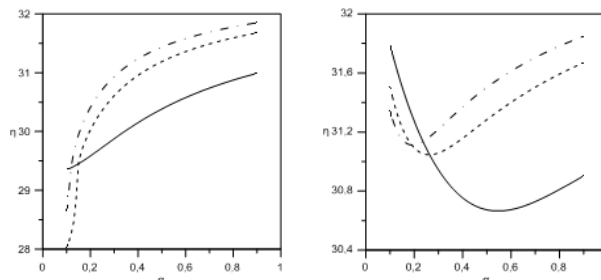


Рис. 1. Зависимость углового коэффициента η от параметра затухания α в слое закрепления а) $H_{01}-H_{02} = -700 Oe$, б) $H_{01}-H_{02} = -1700 Oe$, в) $H_{01}-H_{02} = -300 Oe$, д) $H_{01}-H_{02} = -1300 Oe$ (сплошные линии- $f_1=9.34 GHz$, штриховые $f_2=34 GHz$)

Из рис. 1 видно, что с увеличением частоты и α степень закрепления спинов возрастает. Если слой закрепления является дисперсивной средой наблюдается минимум степени закрепления. Однако, когда слой является реактивной средой степень закрепления монотонно увеличивается при возрастании α .

**ELECTRONIC PHENOMENA
IN NANOSTRUCTURES**

PHOTOINDUCED CURRENT IN A QUANTUM RING WITH SPIN-ORBIT INTERACTION

A.A. Grigor'kin

*NRC «KI» B.P. Konstantinov Peterburg Nuclear Physics Institute, St.Peterburg
E-mail: ale-grig@yandex.ru*

The system consisting of quantum ring connected with two electron reservoirs by one-dimensional conductors is considered in this research. The ring is illuminated by monochromatic circularly polarized radiation therefore its Hamiltonian has harmonically time-dependence. The ring's Hamiltonian includes summands correlated with Rashba spin-orbit coupling thus the radiation electric field may affect the electron spins. Contacts between the ring and conductors are modeled using the theory of zero-range potentials.

This system has not inversion center either when conductors connect to ring asymmetrically or when there is the difference between scattering properties of "left" and "right" contacts. As a consequence, the optically induced dc current appears in conductors - photogalvanic effect.

The method of analysis which allows analytically calculate quasi-energy electron states in system taking into account both elastic scattering on contacts and inelastic interaction with radiation is suggested in this report. The appropriate photo-induced current is calculated. It is shown there are two mechanisms of photocurrent generation which can be characterized as the linear (LPGE) and circular (CPGE) photogalvanic effects. The LPGE is independent of the direction of the circular polarization of the incident radiation at the zero (or integer) magnetic flux, while the current caused by the CPGE changes the sign with the change of the polarization direction.

Generally the photocurrent complexly depends on system parameters - radiation frequency, the Fermi level, arrangement of contacts on ring, scattering length of contacts. It is clear the photocurrent periodically depends on the magnetic flux through the ring.

AB INITIO STUDY OF THE ELECTRONIC AND OPTICAL PROPERTIES OF DEFECTIVE CARBON NANOTUBES

S.A. Sozykin, V.P. Beskachko, G.P. Vyatkin
South Ural State University, Chelyabinsk
E-mail: sergey.sozykin@gmail.com

In this work, we introduce the possibility of single-wall carbon nanotubes (SWNT) properties modification by insertion of different defects into the SWNT. Understanding of such effect on SWNT properties is important for possible microelectronics applications. Defective carbon nanotubes have been investigated by means of ab initio quantum mechanical methods. Pseudopotential approach within the framework of density functional theory (DFT) with local density approximation (LDA) is used for accurate description of equilibrium structures of SWNT as well as for assessment of the effect of the defects on the electronic and optical structure of SWNT.

We chose (7,7) single wall carbon nanotube for examination, as their electrical conductivity shows metallic behavior. Such nanotubes greatly influence on the conducting properties of nanotube bundles. The supercell used for calculations represented a CNT fragment approx. 1.5 nm long. It contained 168 carbon atoms. Models of fewer atoms, we used in previous studies [1,2], were not long enough to study defects.

The properties of defective CNTs were analyzed in several stages. First, the most stable atomic configuration of ideal (non - defective) CNT was determined. It was found by variation of CNT length with succeeding geometry optimization, providing total energy of the system reaches the minimum and forces acting on atoms are equal to zero (with accuracy to 0.4 eV/nm). This optimized configuration was taken as a starting point for the second step of calculations, when the CWNTs defects were made of various types: single and double vacancies, Stone–Wales defects, ad-dimer defects, one at a time. After the insertion of defect, geometry was again relaxed and then new properties were calculated. For the derived systems, equilibrium structure, corresponding electronic structure and optical properties were obtained.

Characteristic features of the electronic structure of every perfect CNT are van Hove singularities – sharp peaks on DOS positioned symmetrically relative to Fermi level, the difference between which can be measured experimentally. After adding defects, a sharp intensive peak appears on DOS near Fermi level. The occurrence of these additional peaks changes the optical absorption spectra of nanotubes that can be detected experimentally.

1. S. A. Sozykin, V. P. Beskachko, *Molecular Physics* **111**, 930–938 (2013).
2. S. A. Sozykin, V. P. Beskachko, *Advanced Materials Research* **1091**, 25–29 (2015).

LOCALIZATION PROPERTIES OF DISORDERED GAPPED GRAPHENE SUPERLATTICES

E.S. Azarova, G.M. Maksimova

Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod, Russia

E-mail: azarova.ekaterin@yandex.ru

In recent years much attention of both theoreticians and experimentalists has been paid to the graphene-based superlattices (SLs) [1, 2]. Such interest results from the prediction of possibly engineering the system band structure by the periodic potential, which opens different ways to fabricate graphene-based electronic devices. Meanwhile, real graphene SLs can not be perfectly periodic due to random imperfections resulting, for example, from the variations of medium parameters. The transport properties of disordered graphene SLs have been studied earlier [3].

We study the effect of weak disorder on the localization properties of gapped graphene SL formed of rectangular potential barriers located periodically. We consider two types of the SLs: the SLs with uniform gap and SLs consisting of alternating layers of gapped (barrier) and gapless (well) graphene regions. Using the perturbative approach, we obtain an analytical expression for the inverse localization length (ILL) derived for the case of randomly fluctuating as the geometric (widths of layers) and energetic (the potential height or the gap value in barrier regions) parameters. In the first case, when the barrier (well) width fluctuate around their mean value, the corresponding equation for the ILL reveals the presence of the Fabry-Perot resonances, at which the localization length diverges. These resonances are exact, i.e., stored in any degree of a disorder. For the case of weakly fluctuating both barrier and well widths we obtain the analytical expression for ILL taking into account correlations. The main effect of the correlations, leading to an increase (or decrease) in the localization length, was found close to double resonance, arising under the condition of coincidence of two Fabry-Perot resonances associated with barrier and well widths. The random fluctuations of the potential strength also lead to the delocalization resonances, but in this case, they exist only in weak-disorder approximation. We found, that unlike the SL with a uniform gap, for an array composed of alternating strips of gapless and gapped graphene modifications, these resonances can appear only for normally incident particles. For such particles, the delocalization resonances occur also for the purely random potential. This means, in particular, that in the one-dimensional case, not all the states of the massive Dirac particles are localized for the weak disorder.

1. S. Dubey, V. Singh *et.al*, Nano. Let. **13**, 3990 (2013).
2. G.M. Maksimova, E.S. Azarova *et.al.*, Phys. Rew. B **86**, 205422 (2012).
3. Q. Zhao, J. Gong, Phys. Rew. B **85**, 104201 (2012).

DETERMINATION OF AMPLIFICATION OF ELECTROMAGNETIC
RADIATION BY SEMICONDUCTOR SUPERLATTICE BASED
ON ANALYSIS OF STATIC CVC

A.V. Shorokhov¹, K.N. Alekseev², M.A. Pyataev¹, N.N. Khvastunov^{1,3}

¹ *Ogarev Mordovia State University, Saransk*

² *Department of Physics, Loughborough University, Leicestershire, LE11 3TU,
United Kingdom*

³ *Mordovia State Pedagogical Institute named after M. E. Evsevev, Saransk
E-mail: khvastunovnn@mail.ru*

Currently, experimental realization of the amplifier based on semiconductor superlattices in the THz range has not been performed because of the operating system, destructive factors. In the amplification arise instability associated with negative differential conductivity (NDC). As a way to avoid the of instabilities can be applied a magnetic field. When mutually perpendicular electric and magnetic field (electric field is directed along the superlattice axis) is theoretically possible to obtain a signal gain of the semiconductor superlattice on the negative electron mass (NEMAG) [1]. However, in terms of the gain control more interesting case is tilted magnetic field. Numerically, the possibility gain in a tilted magnetic field is shown in [2].

In this paper, an analytical study of the possibility of amplification of high-frequency electromagnetic radiation in the event of an tilted magnetic field and given a simple geometric way of determining gain coefficient, based on the analysis of only the static current-voltage characteristics of the superlattice.

It is found that the absorption (gain) coefficient can be expressed as a finite difference from the constant current density in the neighborhood of a Bloch frequency. Note that the tilted magnetic field capable generate additional positive differential conductivity region in which it is possible to obtain stable amplification of radiation.

This work was financially supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation in the framework of state order (Project 2665)

1. A.V. Shorokhov, M.A. Pyataev, N.N. Khvastunov et al., JETP Letters., **100**, 766 (2015).
2. T. Hyart, J. Mattas, K.N. Alekseev, Physical Review Letters **103**, 117401 (2009)

USING THE NYQUIST CRITERION FOR ANALYSIS OF AN ELECTRICAL STABILITY IN SEMICONDUCTOR SUPERLATTICES

A.V. Shorokhov¹, N.S. Prudskikh¹, K.N. Alekseev²

¹*Ogarev Mordovia State University, Saransk*

¹*Loughborough University, United Kingdom*

The important issue of the Gunn diode theory is to determine the conditions under which the system becomes unstable with respect to fluctuations of the internal electric field. For arbitrary contacts this condition can be different from the condition for the occurrence of negative differential conductivity (NDC) [1]-[2]. It changes the regime of generation. One approach to determining the conditions of instability is the Nyquist criterion based on the analysis of high-frequency impedance of the system. The advantage of this criterion is the ease of use. In the case when the impedance of the system as a function of frequency is known this criteria does not require any analytical calculations.

A similar approach can be used to analyze the electrical stability of semiconductor superlattices. Nyquist criterion allows determining the transition from the generation of Gunn diodes type [3] to the other regimes, in particular, to the parametric generation regime [4].

In particular, Nyquist criterion gives the instability criterion that differs from the conditions of negative differential conductivity criterion in the case of ohmic contacts. As a result, the region of stability can be shifted to the NDC region in the case of small concentrations of electrons and if the length of the superlattice is not very long. It can indicate the possibility of experimental obtaining of the high-frequency amplification effect in the classical scheme of amplification based on the use of NDC to get a gain.

This work was supported by Russian Ministry of Education and Science (project No. 2665).

1. E. McCumber, A. G. Ghynoweth, *IEEE Transactions of Electron Devices* **Ed-13**, 4 (1966).
2. H. Zetsche, *IEEE Transactions of Electron Devices* **Ed-21**, 142 (1974).
3. E. Schomburg et al., *Phys. Rev. B* **65**, 155320 (2002).
4. T. Hyart, A. V. Shorokhov, and K. N. Alexeev, *Phys. Rev. Lett.* **98**, 2204041–2204044 (2007).

SPIN FILTER BASED ON THE OPEN QUANTUM DOT IN MAGNETIC FIELD

A.I. Malyshev, G.G. Isupova

Lobachevsky state university of Nizhni Novgorod, Nizhni Novgorod, Russia

E-mail: isupova@phys.unn.ru

It is known that, in solid-state physics, the spin-orbit interaction (SOI) plays a fundamental role, because it determines the electron quantum states and leads to multiple transport and optical effects, many of which are of applied interest. One of the most important devices of modern semiconductor spintronics is the spin filter. It is used for the selection of carriers with a given spin polarization [1].

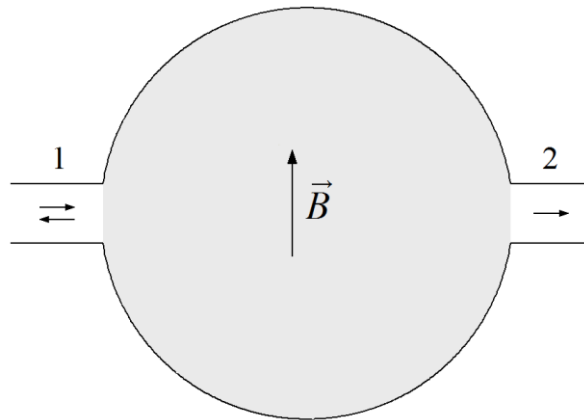


Fig. 1. Open quantum dot with the (1) input and (2) output channels

The possibility of using Fano-type resonances for the construction of the spin filter is very promising. Fano-type resonances – asymmetric conductivity resonances resulting from the interaction of localized states and the continuum. In this work we are talking about narrow resonances, that we discussed earlier [2], which caused by the inclusion of SOI to a system.

We study a quantum dot structure with attached input and output quasi-one-dimensional channels in the presence of the SOI. In the case of weak magnetic field, the conductance of the structure becomes dependent on the spin state of the carriers in the input channel. This property makes possible the construction of spin filter based on this system by the proper selection of its parameters. This spin filter operates on the “zero” and “maximum” of the one of these Fano-resonances. And this opens up additional possibilities for manipulation the spin degrees of freedom of the carriers and for the creation new spintronic devices.

1. J.F. Song, Y. Ochiai, J.P. Bird, *Appl. Phys. Lett.* **82**, 4561 (2003).
2. G.G. Isupova, A.I. Malyshev, *JETP Letters*, **94** (7), 556 (2011).

ABSORPTION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION
BY A SEMICONDUCTOR SUPERLATTICE PLACED
IN A TILTED MAGNETIC FIELD

M.A. Pyataev^{1,2}, A.V. Shorokhov¹, K.N. Alekseev²

¹ *Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia*

² *Loughborough University, Loughborough, United Kingdom*

E-mail: pyataevma@gmail.com

We study the absorption of electromagnetic radiation in the semiconductor superlattice placed in a longitudinal electric field and a tilted magnetic field. The interest to the system is associated with the problem of creation of an amplifier and generator of terahertz radiation. It is known that one of the obstacles in the implementation of the amplification regime in a superlattice is instability of charge density waves which arises when the differential conductivity of the system becomes negative. Therefore, the superlattice can be used as a high-frequency amplifier only if the high-frequency absorption coefficient is negative and the static differential conductivity is positive.

As shown in [1], both the conditions can be satisfied when the system is placed in the magnetic field perpendicular to the axis of the superlattice. In this case, the dynamic energy storage becomes possible at nonlinear quasi-cyclotron oscillations. The application of small probe high-frequency oscillating field allows one to transfer a part of the stored energy into radiation.

It is noted in paper [2] that positive differential conductivity appear at some areas on the part with negative slope of the current-voltage characteristic (in strong electric fields) in a magnetic field slightly inclined to the axis of the superlattice. This effect can be used for amplification of the high-frequency signal.

In this paper we consider the case of arbitrary angle between the magnetic field and the superlattice axis. The change in the form of the current-voltage characteristic with increasing in the angle of inclination is studied. The limits of angles at which the negative absorption can be combined with a positive slope of the current-voltage characteristic are determined.

The work is supported by Ministry of Education and Science of the Russian Federation (project no. 2.2665.2014).

1. A.V. Shorokhov et al., JETP Letters **100**, 766 (2014).
2. N.N. Khvastunov et al. *Stabilization gain of high-frequency radiation in superlattice in tilted magnetic field*. Ogarev-online. Physics and mathematics. Special Edition, 2014.

STABILITY CRITERIA FOR A SEMICONDUCTOR SUPERLATTICE WITH VARIOUS TYPES OF CONTACTS

K.N. Alekseev¹, N.S. Prudskikh², A.V. Shorokhov²

¹*Loughborough University, United Kingdom*

²*Ogarev Mordovia State University, Saransk*

E-mail: prudskikh-ns@rambler.ru

Sources of microwave and THz radiation based on a superlattice as the active medium can operate both in the regime of Gunn domains [1] and in the domainless regime [2]. In connection with this, it is necessary to know the stability criteria that determine the transition from one to other regime. In this paper we formulate such criteria for semiconductor superlattices with both ohmic and non-ohmic contacts using the well-established approach developed in the theory of Gunn diodes and based on the analyze of a high-frequency impedance of the system [3]-[4].

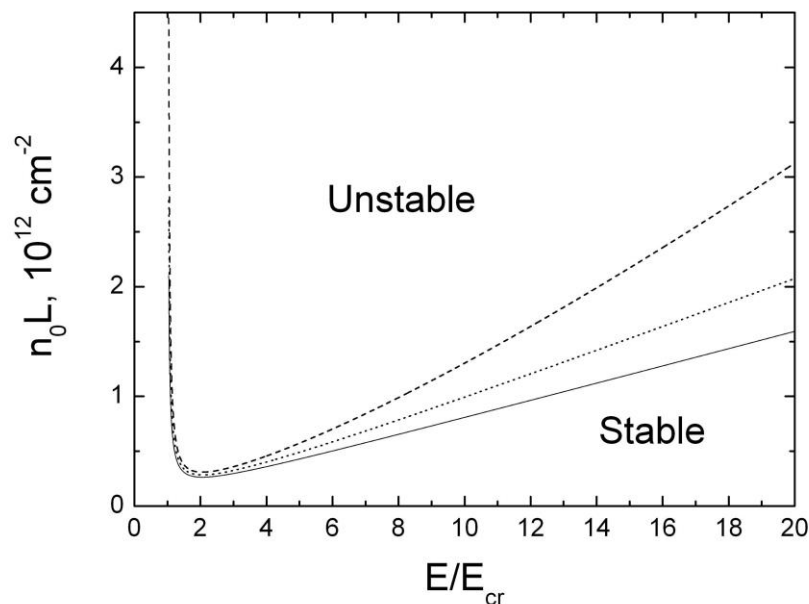


Fig.1. Changes of the instability regions depending on the properties of the contact. The solid curve corresponds to the ohmic contact, the dashed curve corresponds to the purely non-ohmic contact, the dotted curve corresponds to the intermediate case. A region of instability is above the each curve. E_{cr} is critical field corresponding to the maximum of static current-voltage characteristics of the superlattice, E is dc-bias, n_0 is the concentration of electrons, L is the length of the superlattice. One can see that non-ohmic contact leads to greater stability of the system.

This work was supported by Russian Ministry of Education and Science (project No. 2665).

1. E. Schomburg et al., Phys. Rev. B **65**, 155320 (2002).
2. V. I. Sankin et al., JETP Letters **94**, 362 (2011).
3. E. McCumber, A. G. Ghynoweth, IEEE Transactions of Electron Devices **Ed-13**, 4 (1966).
4. H. Zetsche, IEEE Transactions of Electron Devices **Ed-21**, 142 (1974).

SEMICLASSICAL DYNAMICS OF ELECTRON IN HARPER-HOFSTADTER MODEL INCLUDING RASHBA AND DRESSELHAUS SPIN-ORBIT INTERACTION

A.S. Rulkov, A.A. Perov

Lobachevsky state university of Nizhniy Novgorod, Nizhniy Novgorod

E-mail: aleksurban666@gmail.com

Investigation of quantum states of electron in superlattice in magnetic and electric fields is an actual problem of condensed matter physics [1]. Peculiarities of spectrum structure and topology of quantum states of particles define the particularities of magneto-optical [2], transport [3] and kinetic effects in two-dimensional electron gas. Nowadays, some effects, which confirm the existence of split structure of Landau levels under the action of 2D-periodically electrostatic field of superlattice are observed [4]. Semiconductor artificial superlattice is very convenient for the studying of quantum-mechanical motion of charged particles. The thing is that for the observing of split structure of spectrum that is called “Hofstadter butterfly” in real crystals the magnetic field with induction about 10 to 30 MGs is needed.

The main aim of this research is to learn more about dynamics of electron in crossed fields in 2D lattices. During this research we found the dependence of positions of magnet Bloch subbands of electron spectrum on ratio of flux through a lattice cell to one flux quantum. The method of calculation of energy spectrum allows to determine the dispersion relations in magnetic subbands both analytically and numerically. In order to calculate the electron spectrum a unitary transformation method, that provides the constancy of wave function’s norm was used. Electron density, spin densities, topologically Berry curvature of states of magnetic subbands were calculated. Due to the solution of semiclassical equations of motion, regularities in transverse transport of charged particles, caused by type of spin-orbit interaction in 2D electron gas, were determined.

1. D. R. Hofstadter, Phys. Rev. B **6**, 4 (1976).
2. A. A. Perov, L.V. Solnyshkova, and D. V. Khomitsky, Phys. Rev. B **82**, 165328 (2010).
3. V.Ya.Demikhovskii, A.A.Perov, Sov. Fiz. ZhETF **76**, 10 (2002).
4. T. Schlosser et al., Semicond. Sci. Technol. **11**, 1582 (1996).

MULTIMODE TRANSPORT IN QUASI-1D SUPERLATTICES WITH SPIN-ORBIT INTERACTION

A.I. Malyshev, A.S. Kozulin

University of Nizhniy Novgorod, Nizhniy Novgorod, Russia

E-mail: SashaKozulin@yandex.ru

There has been growing interest in the studies of physical systems in which the charge and spin degrees of freedom manifest themselves simultaneously. This topic has attracted much attention due to hopes of creating novel devices based on spin effects. Starting with the paradigm for spintronic Datta-Das spin field-effect transistor [1], there have been put forward many proposals of such devices. In this work we investigate transport properties of a system which contains a periodic array of N units in the quasi-one-dimensional superlattice connected with two leads without spin-orbit interaction (SOI). Each unit consist of a region length l_1 with nonzero either the Rashba and Dresselhaus SOI terms, and SOI-free region of length l_2 (see fig. 1). Similar systems have been previously studied in several papers in which either the Rashba term was included [2] or only the lowest two subbands were taken into account [3].

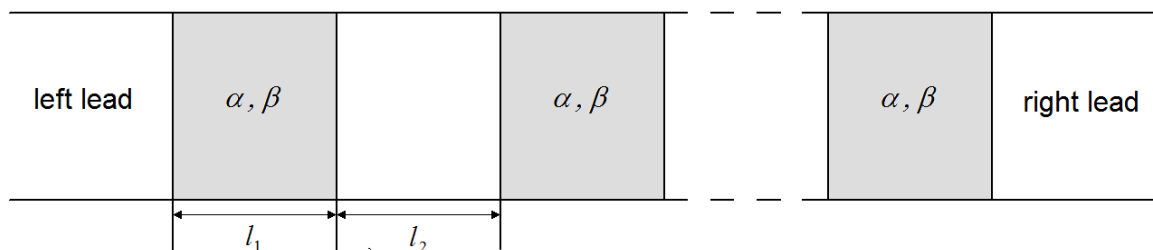


Fig. 1. The schematic illustration of the quasi-1D superlattice. In SOI regions (shaded) either α (the Rashba SOI strength) or β (the Dresselhaus SOI strength) is non-zero.

We have employed the multimode scattering matrix formalism [2,4,5] for numerical calculation of the total and spin-dependent conductances as well as spin-polarization of the structure for different ratios of the SOI strengths, regions lengths and number of the SOI units. We find dips both in the full and spin-dependent conductances appearing at different locations in energy and study the relations between them for various values of parameters of the structure. The spin precession in the effective SOI-induced magnetic field and the influence of disorder in the parameters of a SOI unit on spin-dependent transport through the structure are also investigated.

1. S. Datta, B. Das, *Appl. Phys. Lett.* **56**, 665 (1990).
2. L. Zhang, P. Brusheim, H.Q. Xu, *Phys. Rev. B* **72**, 045347 (2005).
3. P.M. Krstajic, E. Rezasoltani, P. Vasilopoulos, *Phys. Rev. B* **81**, 155325 (2010).
4. H. Xu, *Phys. Rev. B* **52**, 5803 (1995).
5. H. Xu, *Phys. Rev. B* **50**, 8469 (1994).

LANDAU-LEVEL SPECTROSCOPY AS METHOD FOR DETERMINING BAND PARAMETERS OF THE 3D TOPOLOGICAL INSULATOR SURFACE STATES

A.S. Kozulin, A.A. Konakov

University of Nizhniy Novgorod, Nizhniy Novgorod, Russia

E-mail: SashaKozulin@yandex.ru

It is well known that the electrons at the surface of three-dimensional topological insulators (TI) are characterized by the gapless linear in momentum dispersion relations (massless Dirac fermions) [1]. However, recent results of spin- and angle-resolved photoemission spectroscopy (SARPES) demonstrate deviation of the surface states dispersion from the linear-in- \mathbf{k} dependence due to the presence of the quadratic and cubic in momentum contributions [2]. Landau-level (LL) spectroscopy is an alternative technique of experimental study, which allows one to obtain the properties of the energy spectrum both in the bulk and at the surface of 3D TI [3]. In this work we propose an original method of the extraction the band parameters of 3D TI from LL spectroscopy experiments.

We solve the Schrödinger equation with the following Hamiltonian:

$$\hat{H} = v \left[\hat{\sigma} \times \left(\hat{\mathbf{p}} + e_0 \vec{A}/c \right) \right]_x + \frac{g\mu_B \mathbf{B}}{2} \hat{\sigma}_z + \frac{\left(\hat{\mathbf{p}} + e_0 \vec{A}/c \right)^2}{2m} \hat{\sigma}_0 + \frac{\lambda}{2} \left(\hat{p}_+^3 + \hat{p}_-^3 \right) \hat{\sigma}_z, \quad (1)$$

where e_0 and m stand for the elementary charge and the effective mass, respectively, v – is the Fermi velocity of the surface states, μ_B , \mathbf{B} , and g are the Bohr magneton, external magnetic field and spin g -factor, respectively, λ denotes the warping parameter, $\hat{p}_\pm = \hat{p}_x \pm i(\hat{p}_y + e_0 A_y/c)$, and $A_x = A_z = 0$, $A_y = Bx$ are the components of the vector potential. The first two terms in the Hamiltonian (1) are treated exactly, while the last two, describing the finite curvature and the hexagonal warping [4] of the surface states, are taken into account as perturbations.

In the absence of the hexagonal warping LLs as functions of the magnetic field have asymptotes which slope and intercept as linear functions of a LL number. Obtaining these functions parameters from LL spectroscopy experiments allows one to extract the values of the effective mass, g -factor and the Fermi velocity of the surface states.

In the frames of this approach we also investigate the influence of the hexagonal warping on the structure of LLs and suggest a way of experimental estimation the λ parameter.

1. X.-L. Qi, S.-C. Zhang, *Reviews of Modern Physics* **83**, 1057 (2011).
2. M. Nomura, A. Takayama, T. Sato *et al*, *Phys. Rev. B* **89**, 045134 (2014).
3. A.A Schafgans, K.W. Post *et al*, *Phys. Rev. B* **85**, 195440 (2012).
4. L. Fu, *Phys. Rev. Lett.* **103**, 266801 (2009).

INFLUENCE OF THE DAMPING PARAMETER ON PINNING OF THE SPINS IN TWO-LAYER GARNET-FERRITE FILMS

A. M. Zyuzin¹, M. A. Bakulin¹, S. V. Bezborodov¹, V.V. Radaikin¹,
B. S.N. Sabaev¹

¹*Mordovian State University, Saransk*
E-mail: sergei2089@mail.ru

This article contains theoretical investigations of the influence of the Gilbert damping parameter α and microwave field frequency on pinning of the spins at the perpendicular and parallel orientations of the external constant magnetic field H with respect to the film plane.

The calculations was made for the two-layer film with the following layers parameters: the first layer has been thickness $h_1 = 0.42 \mu m$, saturation magnetization $4\pi M_1 = 1740 G$, effective field of uniaxial anisotropy $H_1^{eff} = -1712 Oe$, Gilbert damping parameter $\alpha = 0.003$; second layer has been $h_2 = 2.5 \mu m$, $4\pi M_2 = 1330 G$, $H_2^{eff} = 96 Oe$. Parameter α has been varying from 0.1 to 0.9. Gyromagnetic ratio in both layers has been the same $\gamma = 1.76 \cdot 10^7 Oe^{-1} \cdot s^{-1}$. Constantly maintains the difference homogeneous resonance fields of the first and second layers $H_{01} - H_{02} < 0$ and $H_{01} - H_{02} > 0$. In the first case, the pinning layer is dispersive medium in the second - reactive. The parameter determines the degree of pinning is the slope η of the dispersion curves, since this parameter is sensitive to the spin pinning degree. The spin pinning degree determines the configuration of the spin-wave modes and phase at the boundary layers and therefore the wave numbers SW-modes determined by the slope of the dispersion curves. Fig. 1 shows the dependence of the η from the damping parameter α in the second layer in a parallel orientation relative to the film plane for the two frequency values $f_1 = 9.34 GHz$ and $f_2 = 34 GHz$.

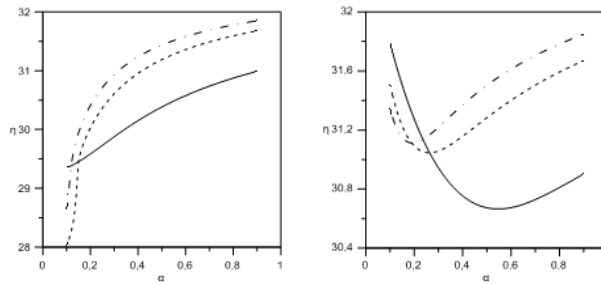


Fig. 1. The dependence of the slope η of the damping parameter α in the pinning layer: a) $H_{01} - H_{02} = -700 Oe$, b) $H_{01} - H_{02} = -1700 Oe$, c) $H_{01} - H_{02} = -300 Oe$, d) $H_{01} - H_{02} = -1300 Oe$ (solid lines – $f_1 = 9.34 GHz$, dashed lines – $f_2 = 34 GHz$)

Fig.1 shows the spin pinning degree increase by increasing frequency and α . If the pinning layer is dispersive medium was observed minimum pinning degree on dependence from damping parameter. However, if this layer is reactive medium, the pinning degree monotonous will increase with α .

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абрамов А.Н.	64
Абрамов А.С.	36
Аверкиев Н.С.	192
Аветисов И.Х.	107
Аветисов Р.И.	107
Азарова Е.С.	196
Аккузина А.А.	107
Алексеев К.Н.	197, 198, 200, 201
Алимов О.К.	168
Андреев П.В.	115
Антонов И.Н.	113
Анурова М.О.	90
Афанасьев С.А.	36
Афанасьев Ф.В.	62
Ахтямов О.Р.	140, 156
Бакулин М.А.	103, 208
Баранчиков А.Е.	101
Безбородов С.В.	208
Белоусов О.В.	31
Беляев А.Н.	150
Беляков О.А.	31
Бересна М.	153
Бескачко В.П.	195
Бирюков А.С.	53, 65
Биткина О.Ю.	167
Бойко А.А.	145
Болдырев К.Н.	92
Борик М.А.	89, 91, 104, 106
Бредихин С.И.	106
Бублик В.Т.	89, 106
Будянский П.С.	205
Бузаева М.В.	37
Буфетов И.А.	53, 65
Ваганова Е.С.	37
Ванецев А.С.	32
Василенко М.А.	34
Вахренев Р.Г.	101
Вейко В.П.	162
Веселова Л.П.	113
Волкова Т.В.	89, 91
Воронов В.В.	40, 101, 108
Воронько Ю.К.	95
Вяткин Г.П.	195
Гажулина А.П.	165
Гайтко О.М.	32
Гарахин С.А.	39
Герасимов Я.В.	95
Гладышев А.В.	65
Горбаченя К.Н.	157
Гориев О.Г.	158, 160
Гориева В.Г.	166
Грачев Д.А.	30, 38, 39
Грачева Т.А.	111
Грибко В.В.	113

Григорькин А.А.	194
Гурьянов А.Н.	63, 64, 70
Давыдова О.А.	37
Демкин М.В.	105
Денисов Б.Н.	35
Дианов Е.М.	70
Добрецова Е.А.	92
Дорошенко М.Е.	168, 172
Дудин Ю.А.	30
Дунаева Е.Э.	172
Егоров А.С.	167
Егорова А.Е.	112
Елисеев В.В.	86
Еремейкин О.Н.	167
Ерофеев Д.А.	92
Ершов А.В.	30, 38, 39
Жмерик В.Н.	78
Жукова Е.В.	114
Зверев П.Г.	172
Зейтунян А.	67
Зеленихин П.В.	33
Зеленков П.В.	66
Золотовский И.О.	66
Зюзин А.М.	208
Иванов В.А.	170
Иванов В.К.	101
Иванов С.В.	78
Иванова В.Г.	172
Ивлева Л.И.	146, 172
Исупова Г.Г.	199
Исупова Е.А.	165
Исхакова Л.Д.	64
Казаков Б.Н.	158, 160
Казанский П.Г.	153
Камынин В.А.	66
Карачинский Л.Я.	52
Кашайкин П.Ф.	70
Кель О.Л.	68
Кефалас А.К.	140
Климов Е.С.	37, 96
Козулин А.С.	206, 207
Кокурин И.А.	203
Колташев В.В.	64
Колядин А.Н.	65, 67
Комова М.Г.	94, 118
Конаков А.А.	207
Конюшкин В.А.	168
Копылов Ю.Л.	141
Кораблева С.Л.	33, 149, 160, 166
Косолапов А.Ф.	65, 67
Котомина В.Е.	113
Крайский А.В.	147, 169
Крашениникова А.О.	33
Кревчик В.Д.	205
Крутько В.А.	94, 118
Кудряшов М.А.	38
Кузнецов М.В.	31

Кузнецов С.В.	40, 93, 101, 163
Кузнецова О.А.	150
Кузьмичева Т.А.	111
Кулебякин А.В.	89, 91, 104, 106
Курицына И.Е.	106
Курков А.С.	66, 68
Кяшкин В.М.	32, 116
Лаптева М.Л.	115
Легков А.М.	38
Леонюк Н.И.	157
Липатов Д.С.	63
Липатьев А.С.	151, 153
Липатьев Т.О.	151, 152
Ломонова Е.Е.	80, 89, 91, 104, 106, 155
Лотарев С.В.	151, 152, 153
Лощенов В.Б.	66
Лугинина А.А.	40, 101
Лыков В.А.	110
Любимов А.И.	154
Ляпин А.А.	116, 148, 150, 155, 171
Макарова И.А.	37
Максимова Г.М.	196
Малашкевич Г.Е.	145
Мальшев А.И.	199, 206
Мальцев В.В.	157
Мамин Б.Ф.	105
Марисов М.А.	156, 164, 166
Маркелов А.С.	113
Мартыненко В.А.	86, 103
Мартынова К.А.	168
Марычев М.О.	165, 170
Маякова М.Н.	101, 108
Меркулов А.П.	148, 171
Милович Ф.О.	89, 106
Миронова Т.В.	147
Мишкин В.П.	69
Можевитина Е.Н.	107
Моисеев Н.В.	35
Моисеев С.Г.	102
Морозов Ю.Г.	31
Мурадян Л.	67
Мызина В.А.	89, 91, 104, 106
Мягков Д.В.	91, 116
Накладов А.Н.	168
Напрасников Д.А.	157
Нежданов А.В.	30, 39
Нехороших А.В.	172
Низамутдиннов А.С.	33, 140, 149, 154, 156, 164
Николов В.С.	170
Нищев К.Н.	69, 70, 86, 103, 105, 145, 163
Новопольцев М.И.	86, 103, 105
Носкова А.Н.	112
Нуждин Д.С.	115
Огородников А.Е.	111
Осико В.В.	89, 104, 163, 168
Остаточников В.А.	102
Павлов В.В.	166

Павлов Д.А.	30
Пак А.М.	93, 101
Парт М.	116
Перов А.А.	204
Першукевич П.П.	145
Петрова О.Б.	90, 114
Пирогов А.В.	30
Подденежный Е.Н.	145
Позднякова О.Д.	202
Поносова А.А.	68
Постников В.А.	147, 169
Пошакинский А.В.	191
Поминова Д.В.	94, 101
Попов А.В.	94
Попова М.Н.	79
Портнов В.Н.	112
Прудских Н.С.	198, 201
Прусова И.В.	145
Прямиков А.Д.	65, 67
Пудовкин М.С.	33
Пыненков А.А.	69
Пятаев М.А.	197, 200
Радайкин В.В.	208
Разумов А.В.	205
Рахимов Н.Ф.	154
Редькин А.Н.	109
Рожнова Ю.А.	40, 93, 101
Романов К.С.	150
Рульков А.С.	204
Рыжова М.В.	109
Рябинин А.В.	117
Рябова А.В.	66, 101
Рябочкина П.А.	32, 89, 91, 104, 116, 118, 148, 150, 155, 171
Сабаев С.Н.	208
Савикин А.П.	167
Савочкин Д.А.	162
Салганский М.Ю.	70
Сарантопоулоу Е.	140
Севостьянова Т.С.	114
Семашко В.В.	33, 140, 149, 154, 156, 158, 160, 164, 166
Семенцов Д.И.	36
Семериков А.И.	68
Семиков Д.А.	117
Сергеев В.А.	96
Сергеев И.И.	145
Сергеев М.М.	162
Сергиенко В.И.	169
Серяков С.В.	106
Сигаев В.Н.	151, 152, 153
Сидорова Н.В.	104, 155
Силдос И.	32, 116
Симановский Д.В.	170
Соболь А.А.	95
Созыкин С.А.	195
Старостина Е.С.	115
Степанова И.В.	88
Стожаров А.В.	105

Суходола А.А.	145
Табачкова Н.Ю.	32, 85, 89, 104, 106
Тайдаков И.В.	90, 107
Татте Т.	116
Томашук А.Л.	70
Тоняян Г.	67
Трушин В.Н.	113
Усламина М.А.	163
Ушаков С.Н.	163
Фаддеев М.А.	110, 117
Фарухшин И.И.	149
Федоров П.П.	40, 101, 108, 148, 163, 171
Федотов С.С.	153
Филатов С.А.	66
Хвастунов Н.Н.	197
Хомяков А.В.	90, 107, 114
Хопин В.Ф.	62
Хотченкова Т.Г.	145
Храмов В.С.	35
Хрущалина С.А.	32, 118, 150
Цветков В.Б.	66
Циндяйкин М.Г.	118
Чабушкин А.Н.	91, 150, 155
Чибескова А.Н.	88
Чупрунов Е.В.	113
Шавельев А.А.	164
Шварц Н.Л.	34
Шевченко М.А.	147, 169
Шевякина Д.М.	152
Щербань М.Ю.	111
Шорохов А.В.	197, 198, 200, 201, 202
Шукшин В.Е.	95
Якимов Е.Е.	109
Яценко Ю.П.	65
Ясыркина Д.С.	101
Яшков М.В.	64

AUTHOR INDEX

Abramov A.S.	47
Afanas'ev S.A.	47
Akhtyamov O.R.	175, 180
Akkuzina A.A.	131
Alekseev K.N.	213, 214, 216, 217
Alimov O.K.	185
Andreev P.V.	137
Antonov I.N.	135
Anurova M.O.	125
Avetisov I.Ch.	131
Avetisov R.I.	131
Azarova E.S.	212
Belousova O.V.	45
Belyakov O.A.	45
Beskachko V.P.	211
Biriukov A.S.	73
Bitkina O.Y	184
Boiko A.A.	176
Borik M.A.	124, 126
Bublik V.T.	124
Bufetov I.A.	73
Cefalas C.	42, 175
Chabushkin A.N.	126
Chibeskova A.N.	123
Chuprunov E.V.	135
Dianov E.M.	76
Doroshenko M.E.	185, 188
Dudid Y.A.	44
Dunaeva E.E.	188
Egorov A.S.	184
Egorova A.E.	134
Eremeykin O.N.	184
Ershov A.V.	44, 48, 49
Fedorov P.P.	50, 129, 132, 179
Filatova S.A.	74
Garahin S.A.	49
Gazhulina A.P.	182
Gerasimov Ya.V.	128
Gladyshev A.V.	73
Gorbachenya K.N.	181
Gorieva V.G.	183
Grachev D.A.	44, 48, 49
Gribko V.V.	135
Grigor'kin A.A.	210
Guryanov A.N.	76
Isupova E.A.	182
Isupova G.G.	215
Ivanov S.V.	122
Ivanov V.A.	187
Ivanov V.K.	129
Ivanova V.G.	188
Ivleva L.I.	177, 188

Jmerik V.N.	122
Kamynin V.A.	74
Kashaykin P.F.	76
Khomyakov A.V.	125, 131, 136
Khottchenkova T.G.	176
Khvastunov N.N.	213
Kiisk V.	121
Kollia Z.	42
Kolyadin A.N.	73, 75
Konakov A.A.	220
Konyushkin V.A.	185
Korableva S.L.	183
Kosolapov A.F.	73, 75
Kotomina V.E.	135
Kozulin A.S.	219, 220
Kraiski A.V.	178, 186
Krut'ko V.A.	127
Kudryashov M.A.	48
Kulebyakin A.V.	124, 126
Kurkov A.S.	74
Kusmartsev F.V.	43
Kuznetsov M.V.	45
Kuznetsov S.V.	50, 129
Lapteva M.L.	137
Legkov A.M.	48
Leonyuk N.I.	181
Lomonova E.E.	124, 126
Loschenov V.B.	74
Luginina A.A.	50, 129
Lyapin A.A.	138, 179
Maksimova G.M.	212
Malashkevich G.E.	176
Maltsev V.V.	181
Malyshev A.I.	215, 219
Marisov M.A.	180, 183
Markelov A.S.	135
Martynova K.A.	185
Marychev M.O.	182, 187
Mayakova M.N.	129, 132
Merkulov A.P.	179
Milovich F.O.	124
Mironova T.V.	178
Mouradian L.	75
Moiseev S.G.	130
Morozov Iu.G.	45
Mozhevitina E.N.	131
Myagkov D.V.	126, 138
Myzina V.A.	124, 126
Nakladov A.N.	185
Naprasnikov D.A.	181
Nekhoroshih A.V.	188
Nezhdanov A.V.	44, 49
Nikolov V.S.	187
Nishchev K.N.	76, 176
Nizamutdiniov A.S.	175, 180

Noskova A.N.	134
Nuzhdin D.S.	137
Osiko V.V.	124, 185
Ostatochnikov V.A.	130
Petrova O.B.	125, 136
Pak A.M.	129
Part M.	138
Pavlov D.A.	44
Pavlov V.V.	42, 183
Perov A.A.	218
Pershukevich P.P.	176
Pominova D.V.	127, 129
Pierpoint M.P.	43
Pirogov A.V.	44
Poddenezhny E.N.	176
Popov A.B.	127
Portnov V.N.	134
Postnikov V.A.	178, 186
Prudskikh N.S.	214, 217
Prusova I.V.	176
Pryamikov A.D.	73, 75
Puust L.	121
Pyataev M.A.	213, 216
Redkin A.N.	133
Rozhnova Yu.A.	50, 129
Rulkov A.S.	218
Ryabochkina P.A.	124, 126, 138, 179
Ryabova A.V.	74, 129
Ryzhova M.V.	133
Salgansky M.Yu.	76
Sarantopoulou E.	42, 175
Savikin A.P.	184
Semashko V.V.	42, 175, 180, 183
Sementsov D.I.	47
Sergeev I.I.	176
Sergienko V.I.	186
Sevostjanova T.S.	136
Shevchenko M.A.	178, 186
Shorokhov A.V.	213, 214, 216, 217
Shukshin V.E.	128
Shwartz N.L.	46
Sildos I.	121, 138
Simanovsky D.V.	187

Sobol A.A.	128
Sozykin S.A.	211
Starostina E.S.	137
Stepanova I.V.	123
Sukhodola A.A.	176
Tabachkova N.Y.	124
Tätte T.	138
Taydakov I.V.	125
Tomashuk A.L.	76
Toneyan H.	75
Trushin V.N.	135
Tsvetkov V.B.	74
Vahrenev R.G.	129
Vasilenko M.A.	46
Veselova L.P.	135
Volkova T.V.	124, 126
<u>Voronko Yu.K.</u>	128
Voronov V.V.	50, 129, 132
Vyatkin G.P.	211
Wu W.M.	43
Yakimov E.E.	133
Yasirkina D.S.	129
Yatsenko Yu.P.	73
Yung K.C.	43
Zelenkov P.V.	74
Zeytunyan A.	75
Zhukova E.V.	136
Zolotovskiy I.O.	74
Zverev P.G.	188

Научное издание

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

**Программа и материалы
14-й Международной научной конференции-школы**

*Печатается в авторской редакции
в соответствии с представленным
оригинал-макетом*

Подписано в печать 00.09.15. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 13,49. Тираж 150 экз. Заказ №

Издательство Мордовского университета
Типография Издательства Мордовского университета
430005, г. Саранск, ул. Советская, 24