

Министерство образования и науки РФ  
Российский фонд фундаментальных исследований  
Правительство Республики Мордовия  
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН  
Научный центр волоконной оптики РАН  
Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского  
Институт химии высокочистых веществ РАН

Информационные партнеры:

РОССИЙСКИЕ  
**НАНО**  
ТЕХНОЛОГИИ

ЖУРНАЛ  
«РОССИЙСКИЕ  
НАНОТЕХНОЛОГИИ»



ЭЛЕКТРОННОЕ ИЗДАНИЕ  
«НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ  
РОССИИ–STRF.RU»

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
НАУЧНЫХ НОВОСТЕЙ  
«ИНФОРМНАУКА»

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
НАУЧНЫХ НОВОСТЕЙ  
«ИНФОРМНАУКА»



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

СБОРНИК ТРУДОВ  
10-Й ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ С ЭЛЕМЕНТАМИ  
НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ДЛЯ МОЛОДЕЖИ

Саранск, 4–7 октября 2011 г.

Саранск  
Издательство Мордовского университета  
2011

УДК 537.533.3:621.3.049.77

ББК В3

М341

Редакционная коллегия:

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

*Фомин Н. Е., Маргулис В. А., Чупрунов Е. В.*

М341 **Материалы** нано-, микро-, оптоэлектроники и волоконной оптики : физические свойства и применение : сб. тр. 10-й Всерос. конф. с элементами науч. шк. для молодежи, Саранск, 4–7 окт. 2011 г. / редкол.: К. Н. Нищев (отв. ред.) [и др.]. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2011. – 186 с.  
**ISBN 978 – 5 – 7103 – 2307 – 6**

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

УДК 537.533.3:621.3.049.77

ББК В3

ISBN 978 – 5 – 7103 – 2307 – 6

© Коллектив авторов, 2011

© Оформление Издательство  
Мордовского университета, 2011

#### Сопредседатели Школы:

- 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»  
**В.В. Чибиркин** - генеральный директор ОАО «Электровыпрямитель»  
**П.А. Рябочкина** - ученый секретарь

#### Программный комитет:

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

#### Локальный комитет:

- |                              |                 |
|------------------------------|-----------------|
| С.А. Антошкина               | Н.В. Моисеев    |
| А.В. Голубьев – председатель | Ж.Д. Мягкова    |
| А.М. Горин                   | О.В. Позднякова |
| И.Н. Евтеева                 | М.А. Пятаев     |
| Л.А. Куликов                 | Н.В. Щучкина    |
| О.П. Лазарева                | Н.В. Янцен      |
| Н.Н. Логинов                 |                 |

*Школа организована при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта № 11-02-06817-моб\_2), Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (мероприятие 2.1, шифр заявки 2011-2.1-108-156).*

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ЭЛЕКТРОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В НАНОСТРУКТУРАХ</b>	19
<b>Доклады</b>	
<b><u>А.В. Калинина</u>, В.Д. Кревчик, М.Б. Семёнов, Р.В. Зайцев, В.А. Рудин, П.В. Кревчик</b> Пензенский ГУ, Пенза <b>Проблема устойчивости 2D-туннельных бифуркаций в матрицах с отрицательной диэлектрической проницаемостью в условиях внешнего электрического поля</b>	20
<b><u>З.А. Гаврина</u>, В.Д. Кревчик</b> Пензенский ГУ, Пенза <b>Особенности резонансных состояний D-центров в квантовых молекулах во внешнем электрическом поле</b>	21
<b><u>Т.М. Василевская</u>, Д.И. Семенцов, А.М. Шутый</b> Ульяновский ГУ, Ульяновск <b>Бифуркационный резонанс</b>	22
<b><u>А.М. Шутый</u></b> Ульяновский ГУ, Ульяновск <b>Индукцированный магнитный момент системы диполей</b>	23
<b><u>М.А. Пятаев</u></b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <b>Энергетический спектр одномерной периодической системы короткодействующих спиновых рассеивателей</b>	24
<b><u>А.А. Григорькин</u></b> ПИИЯФ, С-Петербург <b>Спиральная квантовая проволока со спин-орбитальным взаимодействием</b>	25
<b><u>Н.С. Прудских</u>, А.В. Шорохов</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <b>Нестабильности волн зарядовой плотности в полупроводниковой сверхрешетке, находящейся в терагерцевых электромагнитных полях</b>	26
<b><u>О.Д. Позднякова</u>, А.В. Шорохов</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <b>Использование бихроматического поля накачки для параметрического усиления терагерцевого излучения полупроводниковой сверхрешеткой</b>	27
<b><u>С.А. Судоргин</u>, Н.Г. Лебедев, М.Б. Белоненко</b> Волгоградский государственный университет, Волгоград <b>Коэффициент диффузии электронов в зигзагообразных углеродных нанотрубках в присутствии сильного электрического поля</b>	28

## НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ 29

### Лекции

**Л.И. Ивлева**

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

**Выращивание и исследование сегнетоэлектрических кристаллов ниобата бария-стронция** 30

**М.Н. Попова**

*Институт спектроскопии РАН, Троицк, Московская область*

**Кристаллы с редкоземельными ионами для квантовой памяти** 31

**С.А. Климин**

*Институт спектроскопии РАН, Троицк*

**Спектроскопия КРС и ИК отражения в исследовании редкоземельных ферроборатов** 32

**Е.П. Чукалина**

*Институт спектроскопии РАН, Троицк*

**Мультиферроики** 33

### Доклады

**Д.С. Пыталев**

*Институт спектроскопии РАН, Троицк*

**Спектроскопия высокого разрешения фтористых эльпасолитов с редкоземельными ионами** 34

**К.Н. Болдырев**

*Институт спектроскопии РАН, Троицк*

**Исследование низкотемпературных фазовых магнитных переходов в редкоземельных хромовых боратах  $R\text{Cr}_3(\text{BO}_3)_4$ ,  $R=\text{Nd}, \text{Sm}, \text{Gd}, \text{Er}$**  35

**А.С. Галкин**

*Институт спектроскопии РАН, Троицк*

**Магнитная структура цепочечных никелатов  $R_2\text{BaNiO}_5$ : исследование методом эрбиевого спектроскопического зонда** 36

**М.А. Кащенко**

*Институт спектроскопии РАН, Троицк*

**Спектроскопическое исследование кобальтита европия: переход металл-диэлектрик** 37

**К.Н. Болдырев**

*Институт спектроскопии РАН, Троицк*

**Анализ примесей III, IV и V групп в высокочистом кремнии для полупроводниковой электроники** 38

**К.А. Рекунов, А.В. Хомяков, И.Х. Аветисов**

*РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва*

**Выращивание кристаллов CdTe методом Бриджмена в квазиоткрытой системе при контролируемом давлении пара компонента** 39

- Д.А. Салкин, А.М. Зюзин**  
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск  
**Влияние среды высокотемпературного отжига на трансформацию спектров ЭПР Eu-содержащих люминофоров** 40
- С.В. Красильников, А.Е. Петухова, Н.Г. Горащенко**  
РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва  
**Зависимость стекол в системе  $Bi_2O_3-SiO_2-GeO_2$  от состава** 41
- В.В. Евстифеева, А.В. Москвичева, В.Н. Чувильдеев**  
ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н.Новгород  
**Экспериментальное исследование структуры и механических свойств тугоплавких псевдосплавов  $W-Ni-Fe$**  42
- И.В. Степанова, Н.Г. Горащенко**  
РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва  
**Кристаллизация стекол состава  $Bi_2O_3-GeO_2-xFe_2O_3$**  43
- И.А. Кукушкин, В.В. Дмитриев, О.И. Говорков, А.А. Еналеева, В.А. Шишкин**  
ФГУП НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха, Москва  
**Серная пассивация структур  $GaAs-Al_xGa_{1-x}As$  в вакууме** 44
- Е.А. Жарков, В.Н. Чувильдеев**  
ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород  
**Взаимодействие неравновесных дефектов решетки с неравновесными границами зёрен в условиях электроимпульсного плазменного спекания** 45
- В.Н. Сигаев, С.В. Лотарев, А.С. Бахтамаева**  
Международная лаборатория функциональных материалов на основе стекла РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва  
**Кристаллизация сегнетоэлектрика  $LaBGeO_5$  в стеклах под действием лазерного излучения** 46
- К.Н. Нищев<sup>1</sup>, Н.Е. Фомин<sup>1</sup>, В.А. Юдин<sup>1</sup>, М.И. Новопольцев<sup>1</sup>, Б.В. Щетанов<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск  
<sup>2</sup>ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов», Москва  
**Исследование структуры и физических свойств металломатричного композиционного материала системы  $Al-SiC$**  47
- Е.Н. Бутусова, Д.Н. Котков, А.В. Нохрин, В.Н. Чувильдеев**  
ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород  
**Исследование влияния процессов старения на зарождение стресс-коррозионных трещин** 48
- В.В. Коваленко, Н.В. Сысоева, В.К. Дубовый, А.И. Безлаковский**  
Северный (Арктический) федеральный университет, Архангельск  
**Связеобразование в минеральных материалах** 50
- Д.С. Лось<sup>1</sup>, С.В. Кузнецов<sup>1</sup>, П.П. Федоров<sup>1</sup>, Г.В. Зимица<sup>2</sup>, В.В. Воронов<sup>1</sup>, Р.П. Ермаков<sup>1</sup>, В.В. Осико<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
<sup>2</sup>Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова, Москва  
**Синтез субмикронных порошков фторидов  $NaYF_4:Yb:R$  ( $R - P3Э$ )** 51

<b><u>М.Н. Маякова</u>, С.В. Кузнецов, П.П. Федоров, В.В. Воронов, Р.П. Ермаков, В.В. Осико Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва</b> <b>Исследование синтеза порошков фторидов в системах <math>BaF_2-RF_3</math> (<math>R = Y, Bi</math>)</b>	52
<b><u>Д.А. Салкин</u>, А.М. Зюзин, А.М. Грязнов Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск</b> <b>Изменение состояния ионов <math>Eu</math> в люминофорах под воздействием рентгеновского излучения</b>	53
<b><u>В.П. Мишкин</u><sup>1</sup>, А.В. Гришанин<sup>2</sup>, В.А. Мартыненко<sup>2</sup>, К.Н. Нищев<sup>1</sup>, Е.Н. Ускова<sup>1</sup> <sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <sup>2</sup>ОАО «Электровыпрямитель», Саранск</b> <b>Исследование тонкоплёночных контактных структур на кремнии методами электронной микроскопии и сканирующей зондовой микроскопии</b>	54
<b><u>М.А. Бакулин</u>, А.М. Зюзин, В.В. Радайкин Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск</b> <b>Возбуждение спектров СВР в плёнках с орторомбической анизотропией</b>	56
<b>ЛАЗЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ</b>	57
<b>Лекции</b>	
<b><u>А.Н. Колеров</u>, Д.В. Онищенко Московский государственный институт электронной техники, Москва</b> <b>Лазерный TERS-микроскоп ближнего поля с зондом из углеродной нанотрубки</b>	58
<b><u>В.А. Постников</u><sup>1</sup>, А.В. Крайский<sup>2</sup>, Т.Т. Султанов<sup>2</sup> <sup>1</sup>ФГУ НИИ физико-химической медицины ФМБА России, <sup>2</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва</b> <b>Голографические глюкозочувствительные сенсоры</b>	66
<b><u>П.А. Рябочкина</u><sup>1</sup>, Е.А. Гарибин<sup>2</sup>, А.А. Ляпин<sup>1</sup>, А.В. Малов<sup>1</sup>, В.В. Осико<sup>3</sup>, С.Н. Ушаков<sup>3</sup>, П.П. Федоров<sup>3</sup> <sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <sup>2</sup>ЗАО «ИНКРОМ», С.-Петербург <sup>3</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова, Москва</b> <b>Структура и спектрально-люминесцентные свойства керамики <math>SaF_2</math>, активированной ионами <math>Tm^{3+}</math>, <math>Ho^{3+}</math></b>	67

**Г.Е. Малашкевич**<sup>1</sup>, В.Н. Сигаев<sup>2</sup>, Н.В. Голубев<sup>2</sup>, Е.Х. Мамаджанова<sup>2</sup>,  
Е.В. Пестряков<sup>3</sup>, А.А. Суходола<sup>1</sup>, И.И. Сергеев<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Российский химико-технологический университет имени  
Д.И. Менделеева, Москва

<sup>3</sup>Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской  
академии наук, Новосибирск

**Спектрально-люминесцентные свойства и перспективы  
использования хантитоподобных и кварцевых стекол,  
активированных ионами самария**

68

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

<sup>1</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

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

**Об оптических свойствах голографических сенсоров на основе  
серебряных эмульсий**

69

**П.Г. Зверев**, И.А. Зима, Л.И. Излева

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

**Исследование поглощения ВКР-активных кристаллов в ближнем УФ  
спектральном диапазоне**

70

**К.А. Субботин**<sup>1</sup>, В.В. Воронов<sup>1</sup>, В.Г. Сенин<sup>2</sup>, С.М. Аракелян<sup>3</sup>, М.Н. Герке<sup>3</sup>,  
В.А. Смирнов<sup>1</sup>, Д.А. Николаев<sup>1</sup>, Е.В. Жариков<sup>4,1</sup>, И.А. Щербаков<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,  
Москва

<sup>3</sup>Владимирский государственный университет  
им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир

<sup>4</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
Москва

**Синтез прозрачной nano-стеклокерамики на основе Cr<sup>4+</sup>:LiGaSiO<sub>4</sub>**

71

**Ю.В. Орловский**

ИОФРАН, Москва

**Флуктуационная кинетика прыжкового тушения люминесценции  
в разупорядоченных твердых растворах: теоретическая модель  
и экспериментальное подтверждение**

72

## Доклады

**М.Е. Ворончихина**<sup>1</sup>, Н.Г. Гораченко<sup>1</sup>, В.Б. Цветков<sup>2</sup>

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

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

**Изучение воздействия  $\gamma$ -лучей на висмутсодержащие стекла**

73



- А.В. Попов<sup>1</sup>, Л.Н. Дмитрук<sup>1</sup>, Л.В. Мусеева<sup>1</sup>, С.Х. Батыгов<sup>1</sup>,  
М.Н. Бреховских<sup>2</sup>, О.Б. Петрова<sup>3</sup>, Ю.К. Воронько<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва  
<sup>2</sup>Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН,  
Москва  
<sup>3</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И.Менделеева,  
Москва  
**Синтез и спектроскопия стекол во фтор-хлоридных системах  
на основе  $HfF_4$ , активированных РЗЭ** 74
- А.П. Гажулина, М.О. Марычев**  
ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н.Новгород  
**Псевдосимметрические особенности и нелинейно-оптические  
свойства кристаллов структурного типа сфалерита** 75
- Н.Ю. Иванов, М.О. Марычев**  
ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н.Новгород  
**Моделирование примесных кристаллов титанил-фосфата калия  
и расчет их псевдосимметрии** 76
- В.И. Луканин, Д.С. Чунаев, А.Я. Карасик**  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова, Москва  
**Двухфотонное поглощение мощных пикосекундных импульсов  
в кристаллах  $PbWO_4$ ,  $ZnWO_4$ ,  $PbMoO_4$  и  $CaMoO_4$**  77
- Е.В. Большакова<sup>1</sup>, А.В. Малов<sup>1</sup>, П.А. Рябочкина<sup>1</sup>, С.Н. Ушаков<sup>2</sup>,  
В.В. Кочурихин<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск  
<sup>2</sup>Институт общей физики им. А. Н. Прохорова РАН, Москва  
**Спектроскопические свойства кристаллов со структурой  
граната, активированных ионами  $Dy^{3+}$**  78
- А.Н. Чабушкин<sup>1</sup>, П.А. Рябочкина<sup>1</sup>, Е.Е. Ломонова<sup>2</sup>, А.В. Кулебякин<sup>2</sup>,  
А.В.Малов<sup>1</sup>, С.Н. Ушаков<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск  
<sup>2</sup>Институт общей физики им. А. Н. Прохорова РАН, Москва  
**Исследование спектрально-люминесцентных свойств кристаллов  
стабилизированного диоксида циркония, активированных ионами  
 $Tm^{3+}$**  79
- М.В. Карзанова, Е.А. Европейцев, Е.С. Демидов, Ю.И. Чигиринский**  
ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород  
**Влияние предварительного отжига на свойства пористого  
кремния с примесями редкоземельных элементов эрбия  
и иттербия** 80
- О.А. Пшенко<sup>1</sup>, И.В. Кухтевич<sup>1</sup>, О.Н. Королева<sup>2</sup>, З.Г. Тюрнина<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>Институт химии силикатов имени И.В. Гребенщикова РАН,  
С.-Петербург  
<sup>2</sup>Институт минералогии УрО РАН, Миасс  
**Оптические свойства двухфазных стекол системы  $R_2O-B_2O_3-SiO_2$   
( $R=Na, K$ )** 81

- А.А. Вебер, К.А. Субботин, В.Б. Цветков**  
Институт общей физики им А.М. Прохорова РАН, Москва  
**Люминесцентные свойства оптических центров в кристаллах, легированных висмутом** 82
- А.Н. Горбачева<sup>1</sup>, Г.Е. Малашкевич<sup>1</sup>, Д.М. Фреик<sup>2</sup>, Р.И. Никируй<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Институт физики им. Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси, Минск  
<sup>2</sup>Физико-химический институт Прикарпатского университета им. В. Стефаника, Ивано-Франковск  
**Влияние стационарного и импульсного нагрева на поверхностную структуру, химический состав и ИК-спектры пленок теллурида свинца** 83
- М.М. Сергеев<sup>1</sup>, Г.К. Костюк<sup>1</sup>, Т.В. Антропова<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Технический университет), Санкт-Петербурге  
<sup>2</sup>Институт химии силикатов имени И.В. Гребенщикова РАН, Санкт-Петербурге  
**Лазерно-индуцированное локальное изменение оптических свойств пористых силикатных стекол** 84
- А.Д. Ляшедько, В.Ф. Серегин, В.Б. Цветков**  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
**Лазер на основе пластинчатого активно элемента с зигзагообразным ходом пучка с выходной мощностью более 100 Вт** 85
- А.Е. Егорова, В.А. Иванов, Н.В. Сомов**  
ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород  
**Рост кристаллов сегнетовой соли с примесью тартрата меди и KDP с примесью перманганата калия** 86
- А.А. Стиценко, М.Л. Лабутина, М.О. Марычев, Н.В. Сомов**  
ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород  
**Рост, рентгеноструктурный анализ и нелинейно-оптические свойства смешанных кристаллов тартратов** 87
- И.А. Шестакова, А.М. Онищенко, А.В. Шестаков**  
ФГУП «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха, ООО НПЦ «ЭЛС-94», Москва  
**Кристаллы ИАГ:Nd,Se с повышенной эффективностью генерации в лазерах с ламповой накачкой** 88
- М.В. Нарожный**  
Институт спектроскопии РАН, Троицк  
**Спектроскопия ионов иттербия в кристалле Yb:ZnWO<sub>4</sub>** 89
- О.Б. Петрова<sup>1</sup>, А.В. Попов<sup>2</sup>, В.Е. Шукшин<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва  
<sup>2</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
**Получение стекол и стеклокристаллических материалов в свинцово-фторо-боратной системе в области, богатой фторидом свинца** 90

- Т.Г. Хотченкова<sup>1</sup>, Г.Е. Малашкевич<sup>1</sup>, В. Кииск<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь  
<sup>2</sup>Институт физики Тартуского университета, Тарту, Эстония  
**Влияние отжига в водороде на спектрально-люминесцентные свойства Се-Еи-содержащих кварцевых гель-стёкол** 91
- И.Н. Глущенко<sup>1,2</sup>, Б.И. Галаган<sup>1</sup>, Б.И. Денкер<sup>1</sup>, Е.В. Жариков<sup>1,2</sup>, С.Е. Сверчков<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва  
<sup>2</sup>Российский химико-технологический университет, Москва  
**Новые высокопрочные неодимовое и иттербиевое лазерные стекла на фосфатной основе** 92
- О.Н. Зайцева<sup>1</sup>, К.А. Субботин<sup>1</sup>, В.Б. Дудникова<sup>2</sup>, В.М. Лазаренко<sup>3</sup>, В.Н. Колокольцев<sup>3</sup>, В.И. Товтин<sup>3</sup>, Е.В. Жариков<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Москва  
<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова Геологический факультет, Москва  
<sup>3</sup>Институт металлургии и материаловедения им А.А. Байкова РАН, Москва  
**Воздействие облучения на спектроскопические свойства монокристаллов форстерита** 93
- Ю.В. Аксенова<sup>1</sup>, Р.Т. Кузнецова<sup>1</sup>, С.Л. Ютанова<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Томский государственный университет, Томск  
<sup>2</sup>Институт химии растворов РАН, Иваново  
**Борфторидные комплексы дипирролилметенов как активные лазерные среды** 94
- Д.А. Лис<sup>1</sup>, К.А. Субботин<sup>1</sup>, Е.В. Жариков<sup>1</sup>, В.Б. Рыбаков<sup>2</sup>, Г.М. Кузьмичева<sup>3</sup>, Д.А. Николаев<sup>1</sup>, В.Г. Сенин<sup>4</sup>, О. Zaharko<sup>5</sup>**  
<sup>1</sup>Институт общей физики Российской академии наук  
<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова  
<sup>3</sup>Московская государственная академия тонкой химической технологии  
<sup>4</sup>Институт геохимии и аналитической химии РАН  
<sup>5</sup>Laboratory for Neutron Scattering, ETZ Zurich & Paul Scherrer Institute  
**Дополнительная окраска монокристаллов сложнозамещенных двойных молибдатов со структурой шеелита** 95
- Е.К. Малафеева, А.А. Стиценко**  
 ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н. Новгород  
**Выращивание кристаллов в геле** 96
- И.Н. Павлов, Б.С. Ринкевичюс**  
 МЭИ, Москва  
**Экспериментальная установка для исследования пристеночных процессов в жидкостях** 97

## НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

99

### Лекции

#### Е.В. Жариков

*РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва*

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

**Углеродные нанотрубки: получение каталитическим пиролизом углеводородов и армирование керамики**

100

#### Н.Г. Лебедев, М.Б. Белоненко

*Волгоградский государственный университет, Волгоград*

**Эволюция электромагнитного импульса в массиве углеродных нанотрубок и графеновых лент**

101

#### Т.В. Антропова

*Институт химии силикатов РАН, С.-Петербург*

**Новые области применения кварцовидных нанопористых стекол**

102

### Доклады

А.В. Кулебякин<sup>1</sup>, М.А. Борик<sup>1</sup>, В.Т. Бублик<sup>2</sup>, Е.Е. Ломонова<sup>1</sup>,  
Ф.О. Милович<sup>2</sup>, В.А. Мызина<sup>1</sup>, Н.Ю. Табачкова<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Московский институт стали и сплавов, Москва

**Зависимость некоторых физико-химических свойств кристаллов частично стабилизированного диоксида циркония от характера их наноструктуры**

103

#### И.В. Перинская, В.В. Перинский

*Саратовский государственный технический университет, Саратов*

**Наноструктурный анализ пассивации металлов имплантированных ионами аргона**

104

#### О.С. Ляпкосова, Н.Г. Лебедев

*Волгоградский государственный университет, Волгоград*

**Проявление эффекта пьезосопротивления в графеновых лентах**

105

А.А. Старовойтов, Е.Н. Калитеевская, В.П. Крутякова, Т.К. Разумова,  
Н.А. Торопов

*Санкт-Петербургский Государственный Университет Информационных Технологий, Механики и Оптики, С.-Петербург*

**Равновесный компонентный состав и структура нанометровых слоев полиметиновых красителей и их фотоиндуцированная модификация**

106

А.А. Ляпин<sup>1</sup>, В.В. Осико<sup>2</sup>, П.А. Рябочкина<sup>1</sup>, С.Н. Ушаков<sup>2</sup>, П.П. Федоров<sup>2</sup>,  
Е.А.Гарибин<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup>ЗАО ИНКРОМ, С.-Петербург

**Спектрально-люминесцентные свойства наноструктурированной керамики CaF<sub>2</sub>:Tm**

107

- Д.С. Королев**, А.Б. Костюк, А.И. Белов, И.А. Чугров, А.В. Ершов, А.Н. Михайлов, Д.И. Тетельбаум  
ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Н.Новгород  
**Оптические и светоизлучающие свойства смешанных массивов нанокластеров золота и кремния, полученных с применением ионной имплантации** 108
- В.В.Мериакри**<sup>1</sup>, М. П. Пархоменко<sup>1,2</sup>, В. Фанг<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (Фрязинский филиал), Фрязино  
<sup>2</sup>Национальный университет Цзынг Хуа, Хинчу, Тайвань  
**Диэлектрические свойства пленки углеродных нанотрубок в миллиметровом диапазоне волн** 109
- А.В.Попов**<sup>1</sup>, В.А.Крутько<sup>2</sup>, М.Г.Комова<sup>2</sup>, О.Б.Петрова<sup>3</sup>, А.В.Рябова<sup>1</sup>, В.Б.Лощенов<sup>1</sup>, Ю.К.Воронько<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
<sup>2</sup>Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва  
<sup>3</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва  
**Новые материалы на основе неорганических гадолиний-бор-содержащих систем, активированных ионами Nd<sup>3+</sup>, для ранней диагностики и нейтрон-захватной терапии рака** 110
- В.Е. Шукшин**, Ю.К. Воронько, А.И. Загуменный, А.А. Соболев, Д.С. Чунаев, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
**Диагностика строения наноразмерных кремний-кислородных комплексов и структурных изменений в силикатах редкоземельных элементов** 111
- В.А. Панов**, А.Н. Бузынин, Л.Д. Исхакова, Е.Е. Ломонова  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
**Применение метода спектроскопии обратно-рассеянных электронов для исследований подложек из кристаллов на основе диоксида циркония для оптоэлектроники** 112
- А.А. Пыненков**, А.М. Зюзин, К.Н. Нищев, К.В. Саврасов  
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск  
**Исследование магнитных свойств кристаллов диоксида циркония, легированных ионами переходных металлов** 113
- М.Н. Маякова**, С.В. Кузнецов, П.П. Федоров, В.В. Воронов, Р.П. Ермаков, В.В. Осико  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
**Исследование синтеза порошков фторидов в системах BaF<sub>2</sub>-ScF<sub>3</sub> и NaF-ScF<sub>3</sub>** 114
- С.В. Кузнецов**, А.В. Рябова, Д.С. Лось, П.П. Федоров, В.Б. Лощенов, В.В. Волков, В.В. Осико  
Институт общей физики им.А.М. Прохорова РАН, Москва  
**Исследование спектрально-люминесцентных характеристик субмикронных порошков фторидов NaYF<sub>4</sub>:Yb:R (R – P3Э).** 115

## ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА 117

### Лекции

- М.А. Ероньян, К.В. Дукельский**  
ОАО «Научно исследовательский и технологический институт  
оптического материаловедения, С.-Петербург  
**Разработки ВНЦ «ГОИ им. С. И. Вавилова» в технологии  
световодов из кварцевого стекла** 118
- А.С. Курков**  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова, Москва  
**Цельноволокonné лазеры с модуляцией добротности  
на насыщающихся волоконных поглотителях** 119
- С.Н. Сигаев, В.И. Савинков, Н.В. Голубев, П.Д. Саркисов**  
РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва  
**Тербиевоборогерманатные стекла с высокой константой Верде** 123
- А.А. Фотиади<sup>1,3,4</sup>, О.Л. Антипов<sup>2</sup>, Р. Mégret<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>University of Mons, Belgium  
<sup>2</sup>Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород  
<sup>3</sup>Ульяновский государственный университет, Ульяновск  
<sup>4</sup>Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН, С. Петербург  
**Эффект индуцированного изменения показателя преломления  
в активных оптических волокнах и его применение в волоконных  
лазерах и датчиках** 124
- И.Л. Шульман<sup>1</sup>, Б.И. Галаган<sup>1</sup>, Б.И. Денкер<sup>1</sup>, С.Е. Сверчков<sup>1</sup>, Е.М. Дианов<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН  
<sup>2</sup>Научный центр волоконной оптики РАН  
**Спектрально-люминесцентные свойства Al-Mg-Si стекол,  
легированных висмутом** 125

### Доклады

- А.И. Трикшеев, А.С. Курков, В.Б. Цветков**  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова, Москва  
**Гибридный одночастотный лазер с выходной мощностью до 3 Вт** 127
- Я.Э. Садовникова<sup>1</sup>, Е.М. Шолохов<sup>2</sup>, А.С. Курков<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Московский государственный университет приборостроения  
и информатики, Москва  
<sup>2</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва  
**Импульсный цельноволокonné Eg-Tm лазер** 128
- В.А. Камынин, А.С. Курков**  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова, Москва  
**Генерация суперконтинуума в стандартном одномодовом волокне** 129
- А.И. Низовцев, И.В. Гранев, Т.В. Мазунина**  
ОАО "Пермская научно-производственная приборостроительная  
компания", Пермь  
**Исследование зависимости параметра сохранения поляризации  
волоконных световодов типа панда от температурных условий** 130

- А.В. Рожкин, М.С. Мухамедзянов**  
УРГУПС, Екатеринбург  
**Применение последовательностей баркера и автокорреляционной функции сигнала для увеличения динамического диапазона рефлектометра** 131
- Д.Г. Санников**  
Ульяновский государственный университет, Ульяновск  
**Волноводные свойства планарных структур на основе левых сред** 132
- В.А. Остаточников, С.В. Елисеева, Д.И. Семенцов**  
Ульяновский государственный университет, Ульяновск  
**Эволюция поля дефектной моды периодической дефектной структуры** 133
- Н.М. Каратун<sup>1</sup>, В.М. Машинский<sup>1</sup>, В.А. Богатырёв<sup>1</sup>, Е.М. Дианов<sup>1</sup>, Н.В. Голубев<sup>2</sup>, Е.С. Игнатьева<sup>2</sup>, В.Н. Сигаев<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Научный центр волоконной оптики РАН, Москва  
<sup>2</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва  
**Волоконный световод с сердцевиной из галлий-германосиликатной стеклокерамики, легированной никелем** 134
- Е.Ю. Уткин, М.А. Ероньян, И.К. Мешковский**  
Санкт-Петербургский государственный университет «ИТМО», С.-Петербург  
**Оптимизация оптических потерь анизотропных одномодовых световодов с эллиптической боргерманосиликатной оболочкой** 135
- Д.С. Липатов<sup>1</sup>, М.М. Бубнов<sup>2</sup>, А.Н. Гурьянов<sup>1</sup>, М.Е. Лихачев<sup>2</sup>**  
<sup>1</sup>Институт химии высокочистых веществ РАН, Н. Новгород  
<sup>2</sup>Научный центр волоконной оптики РАН, Москва  
**Исследование влияния  $AlPO_4$  групп на растворимость  $Er_2O_3$  в кварцевом стекле** 136
- А.А. Панов, К.Н. Нищев**  
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск  
**Синтез и исследование оптических стекол, активированных ионами гольмия** 137
- М.В. Вилкова, Т.М. Зорина, К.Н. Нищев**  
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск  
**Применение элементов золь-гель технологии для получения активированных оптических стёкол** 139
- И.А. Волков, К.Н. Нищев**  
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск  
**Синтез и исследование физических свойств германатных оптических стекол, активированных хромом** 140
- А.И. Заикин, В.М. Кяшкин, К.Н. Нищев**  
Мордовский государственный университет им.Н.П.Огарева, Саранск  
**Синтез и исследование физических свойств галлий-содержащих германатных стекол, активированных никелем** 141

<b><u>В.И. Чуйкин</u>, К.Н. Нищев</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <b>Получение и исследование спектрально-люминесцентных свойств оптических стекол в системе <math>Me_2O-Ga_2O_3-GeO_2-SiO_2</math> (<math>Me=Li, Na</math>), активированных ионами никеля</b>	142
---	-----

<b>РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ</b>	145
--	-----

**Лекции**

<b><u>В.Г. Арискин</u>, А.А. Мاستин, С.А. Смирнов</b> АУ «Технопарк-Мордовия», Саранск <b>Развитие инновационной инфраструктуры регионов на примере АУ «Технопарк-Мордовия»</b>	146
---	-----

**Доклады**

<b><u>С.В. Щелконогов</u>, М.С. Мухамедзянов</b> Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург <b>Передача цифрового радиосигнала новым методом</b>	147
--	-----

<b><u>А.В. Симкин</u>, Ф.В. Виль, В.П. Падеров</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск <b>Расчет потерь в элементах драйвера светодиодов</b>	148
---	-----

<b><u>А.А. Журавлев</u>, А.В. Кичанов, Р.С. Пономарев</b> Пермская научно-производственная приборостроительная компания, Пермь <b>Интегрально-оптический модулятор интенсивности излучения</b>	149
---	-----

<b><u>А.В. Брагин</u>, М.В. Логунов, Д.В. Пьянзин</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <b>Распознавание объектов на изображениях доменных структур на основе системы признаков</b>	150
--	-----

<b><u>Н.Н. Логинов</u>, М.В. Герасимов М.В. Логунов, А.В. Спириин, Д.С. Кашкин</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <b>Области формирования упорядоченных двумерных доменных структур с симметрией <math>P4V2</math> и <math>P6</math></b>	151
--	-----

<b><u>А.В. Спириин</u>, Н.Н. Логинов, М.В. Герасимов, М.В. Логунов</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <b>Программное обеспечение для автоматизации исследования динамических доменных структур</b>	152
--	-----

<b><u>А.М. Горин</u>, М.В. Логунов, А.Р. Милославский, А.В. Спириин, А.Н. Чалдышкин</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <b>Моделирование и оптимизация процессов во вторичных источниках импульсного питания для сохранения качества электроэнергии первичной сети</b>	153
---	-----



<b><u>А.М. Горин</u>, М.В. Логунов, А.В. Спирин</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <b>Применение цифровой обработки для повышения отношения сигнал/шум при регистрации слабых радиотехнических сигналов</b>	154
<b><u>Ю.А. Алексеев</u>, Д.Д. Ступин</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <b>О внедрении PDM и PLM систем на радиотехническом предприятии</b>	155
<b><u>А.М. Майоров</u>, В.А. Горюнов, М.И. Майоров</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <b>О механизме перехода тлеющего разряда в дуговой в стартерах тлеющего разряда</b>	156
<b><u>Я.А. Зазулин</u>, Е.И. Нырков, Б.Н. Денисов</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <b>Анализатор спектра электрических сигналов</b>	157
<b><u>Я.А. Зазулин</u>, Б.Н. Денисов</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <b>Смеситель модулированных по интенсивности оптических сигналов</b>	158
<b><u>А.В. Земсков</u>, В.М. Бардин</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <b>Организация параллельной работы сварочных аппаратов переменного тока высокой частоты для целей сварки и ТВЧ нагрева</b>	159
<b><u>А.В. Пивкин</u>, В.М. Бардин</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, Саранск <b>Спектральный состав тока инверторного источника сварочного тока высокой частоты</b>	160
<b><u>Д.А. Борисов</u>, В.М. Бардин</b> Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск <b>Сварочный аппарат переменного тока высокой частоты и результаты его исследования</b>	161
<b>АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ</b>	163
<b>ФОТООТЧЕТ ВНКШ-2010</b>	171

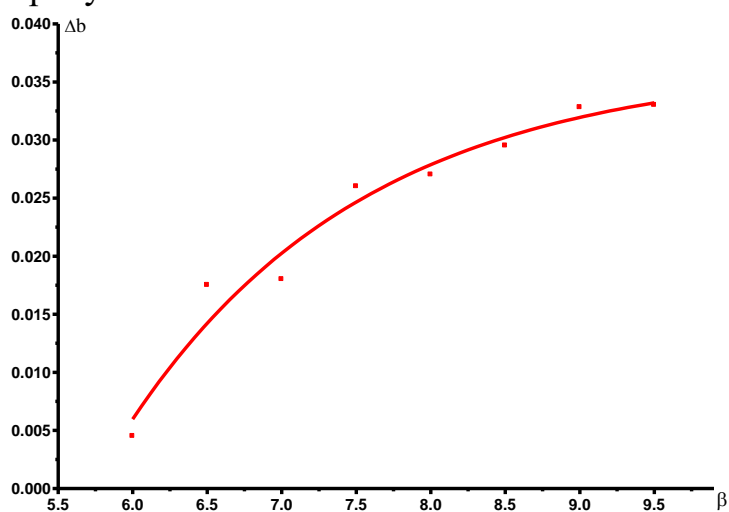
# **ЭЛЕКТРОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В НАНОСТРУКТУРАХ**

# ПРОБЛЕМА УСТОЙЧИВОСТИ 2D-ТУННЕЛЬНЫХ БИФУРКАЦИЙ В МАТРИЦАХ С ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ В УСЛОВИЯХ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

В.Д. Кревчик, М.Б. Семёнов, Р.В. Зайцев, А.В. Калинина, В.А. Рудин,  
П.В. Кревчик

*Пензенский государственный университет*

Исследована проблема управляемости двумерного диссипативного туннелирования в системе взаимодействующих квантовых молекул, моделируемых 2D - осциллятором с потенциалом, взаимодействующим с термостатом с отрицательной диэлектрической проницаемостью, во внешнем электрическом поле. В качестве такой матрицы могут выступать искусственные композитные среды, состоящие из диэлектрических или проводящих элементов, образующих регулярную структуру. Методом инстантонов рассчитана вероятность 2D- туннельного переноса и исследована ее зависимость от величины внешнего электрического поля, температуры и величины относительной (отрицательной) диэлектрической проницаемости среды – термостата. Выявлены области реализации устойчивого эффекта 2D – бифуркаций и численно проанализированы соответствующие границы существования 2D – бифуркаций при изменении параметров управления (обратной температуры  $\beta$ , относительной диэлектрической проницаемости среды – термостата  $\varepsilon$ , и параметра асимметрии 2D – потенциала системы взаимодействующих квантовых молекул  $b$ , слабо нелинейно зависящего от величины напряженности внешнего электрического поля). Соответствующая зависимость диапазона напряженности поля, при которой реализуются устойчивые 2D-бифуркации, в зависимости от величины обратной температуры представлена на рисунке.



В отличие от обычных диэлектрических матриц в случае с  $\varepsilon < 0$  область устойчивых 2D – бифуркаций значительно сужается, что вероятно связано с инверсией знака взаимодействия туннелирующих частиц.

# ОСОБЕННОСТИ РЕЗОНАНСНЫХ СОСТОЯНИЙ D-ЦЕНТРОВ В КВАНТОВЫХ МОЛЕКУЛАХ ВО ВНЕШНЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

В.Д. Кревчик, З.А. Гаврина

*Пензенский государственный университет*

Выполнены расчёты средней энергии связи и ширины уровня резонансного  $D^{(-)}$ -состояния в квантовой молекуле при наличии внешнего электрического поля. Расчёты проводились в модели потенциала нулевого радиуса с учётом туннельного распада резонансного состояния. Показано, что внешнее электрическое поле стимулирует распад резонансных  $D^{(-)}$ -состояний в условиях диссипативного туннелирования. На рис. 1 представлена зависимость средней энергии связи  $\bar{E}$  резонансного  $D^{(-)}$ -состояния от радиуса  $R_0$  InSb КТ для различных значений  $E$  и параметров диссипативного туннелирования. Можно видеть, что при уменьшении  $R_0$  средняя энергия связи резонансного  $D^{(-)}$ -состояния сначала увеличивается из-за всё более сильной локализации волновой функции электрона по трём пространственным направлениям. Но при дальнейшем уменьшении  $R_0$  волновая функция начинает “выжиматься” из КТ, поэтому средняя энергия связи уменьшается. На рис. 2 приведена зависимость ширины  $\Delta E$  резонансного уровня от координаты  $D^{(-)}$ -центра в  $x$ -направлении КТ для различных значений параметров диссипативного туннелирования. Из рис. 2 видно, что наименьшее время жизни имеют резонансные  $D^{(-)}$ -состояния соответствующие  $D^{(-)}$ -центрам, расположенным вблизи границ КТ. Рост параметра  $\varepsilon_C^*$  блокирует туннельный распад резонансного состояния за счёт увеличения “вязкости” контактной среды, в то время как рост параметров  $\varepsilon_L^*$  и  $\varepsilon_T^*$  увеличивает вероятность распада.

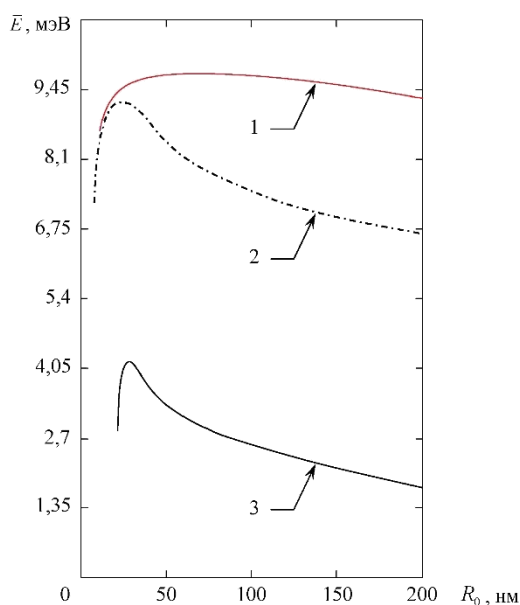


Рис. 1.

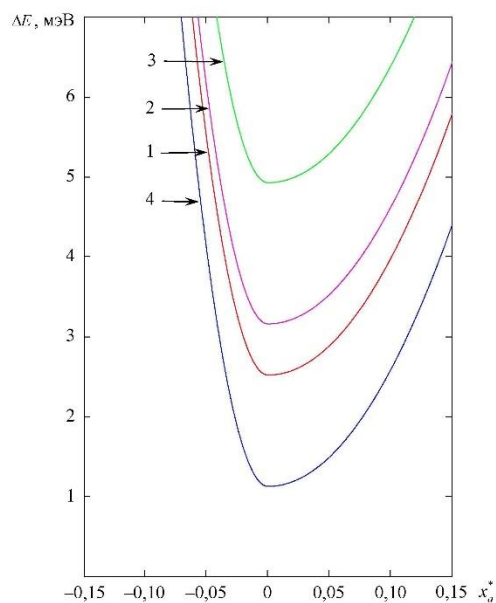


Рис. 2.

## БИФУРКАЦИОННЫЙ РЕЗОНАНС

Т.М. Василевская, Д.И. Семенцов, А.М. Шутый  
Ульяновский государственный университет, Ульяновск

В докладе на основе численного анализа динамики намагниченности в монокристаллических пленках (100) с кубической анизотропией показано, что при плоскостном подмагничивании вдоль трудной оси, наряду с двумя резонансами, отвечающими различным равновесным состояниям намагниченности, имеет место область дополнительного резонанса. Эта область расположена вблизи бифуркационного значения подмагничивающего поля, отвечающего возникновению двух симметричных равновесных положений (что и объясняет название рассматриваемого эффекта). Возникновение бифуркационного резонанса обусловлено статической бистабильностью и близким расположением равновесных положений намагниченности: в отвечающих резонансу интервалах значения поля  $H$  устойчивыми становятся режимы с траекториями, охватывающими оба положения равновесия. В отличие от ранее рассмотренного аналогичного резонансного эффекта в пленках с одноосной анизотропией [1,2], где были получены только хаотические режимы, в данном случае в области бифуркационного резонанса обнаружены также гармонические режимы. Характерным для рассматриваемой системы является также наличие узких интервалов значения поля  $H$ , в которых реализуются состояния динамической бистабильности и мультистабильности. На рис.1. приведена зависимость от  $H$  параметра  $\delta m_z = |m_z^{\max} - m_z^{\min}|/2$ , определяемого полуразностью между ближайшими на траектории экстремальными значениями компоненты нормированной намагниченности при параметрах переменного поля  $h = 0.5$  Oe,  $\omega/2\pi = 0.4, 0.3, 0.24$  GHz (кривые 1-3) для пленки с  $4\pi M = 214.6$  G и константами кубической ростовой анизотропии:  $K_1 = -10^3$  erg/cm<sup>3</sup>,  $K_u = -10^3$  erg/cm<sup>3</sup>.

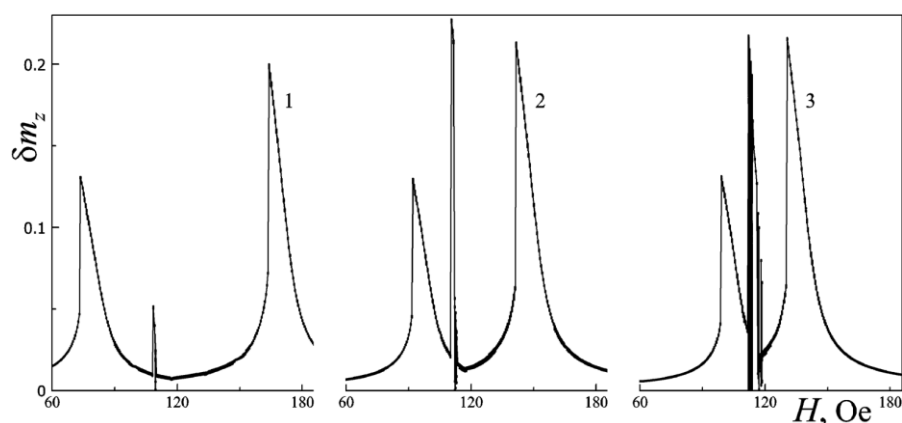


Рис. 1. Резонансные зависимости в пленке (100) при возникновении бифуркационного резонанса.

Полученные результаты позволяют сделать предположения, что бифуркационный резонансный должен иметь место в различных физических системах с близкорасположенными состояниями равновесия.

1. Василевская Т.М., Семенцов Д.И. ЖЭТФ **137**, 861 (2010).

2. Василевская Т.М., Семенов Д.И. ФТТ **53**, 79 (2011).

# ИНДУЦИРОВАННЫЙ МАГНИТНЫЙ МОМЕНТ СИСТЕМЫ ДИПОЛЕЙ

А.М. Шутый

Ульяновский государственный университет, Ульяновск

В докладе приведены результаты численного анализа системы трех и четырех шарообразных тел, обладающих дипольным магнитным моментом. Показано, что при исходном состоянии с нулевым суммарным магнитным моментом [1] под воздействием переменного магнитного поля устанавливаются различные режимы индуцированного магнитного момента, в том числе квазистатические состояния, которыми можно эффективно управлять за счет изменения как амплитуды, так и частоты поля. Выявлены существенные отличия данных режимов, отвечающих разным системам. Для систем трех диполей характерным является установление индуцированного магнитного момента, величина которого близка к постоянной, соответствующей конкретным параметрам поля, и значительно преобладает составляющая, ортогональная ориентации поля. Для четырехдипольных систем характерны два типа динамических режимов, при которых суммарный магнитный момент параллелен поляризации переменного поля. В одном случае индуцированный магнитный момент системы имеет постоянную и сонаправленную ей переменную составляющие. В режимах второго типа (на больших частотах) устанавливаются колебания магнитного момента системы относительно нулевого значения, амплитуда которых уменьшается с ростом частоты поля.

Анализ также показал, что в среде, состоящей из данных дипольных систем, в качестве кластеров, влияние соседних кластеров на динамику магнитных моментов исчезает уже при расстоянии между ними, равном трем-четырем размерам кластеров. Таким образом, за счет изменения частоты (или амплитуды) переменного поля для сред с исходной нулевой намагниченностью может достигаться управление индуцированной (в ряде случаев квазистатической) намагниченностью.

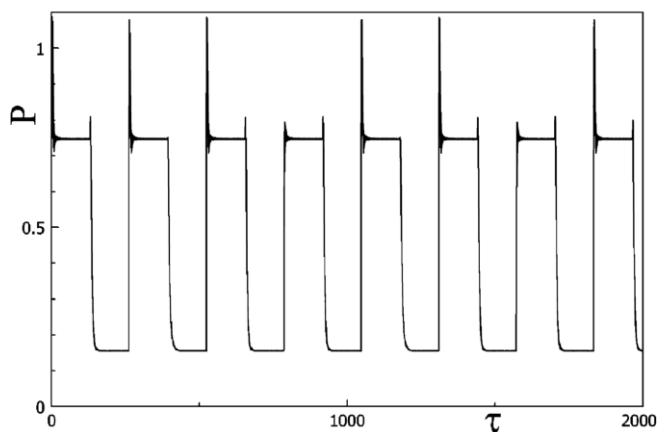
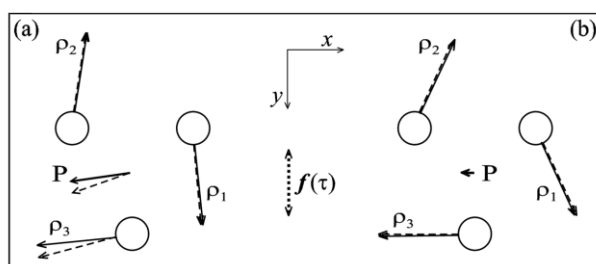


Рис.1. Ориентация магнитных моментов систем диполей, возбуждаемых переменным магнитным полем с безразмерными параметрами: амплитудой  $f_0 = 5$  и частотой  $\Omega = 6, 20$  (a, b).

Рис.2. Зависимость от безразмерного времени индуцированного магнитного момента системы трех диполей при ступенчатом профиле изменения частоты переменного поля от  $\Omega = 6$  до  $\Omega = 20$  при  $f_0 = 5$ .

1. Шутый А.М. ЖЭТФ **137**, 277 (2010).



# ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ СПЕКТР ОДНОМЕРНОЙ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОРОТКОДЕЙСТВУЮЩИХ СПИНОВЫХ РАССЕИВАТЕЛЕЙ

М.А. Пятаев

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

В последние годы интенсивно ведутся поиски эффективных спиновых фильтров на базе полупроводниковых наноструктур. Одним из методов получения спиновой поляризации является рассеяние электронов на границе раздела сред с различными значениями величины спин-орбитального взаимодействия (СОВ) [1]. Можно ожидать, что использование периодических структур поможет существенно усилить эффект и повысить степень поляризации. В настоящей работе исследованы две модели периодических одномерных структур, в которых модуляция свойств среды осуществляется наличием или отсутствием в смежных областях магнитного поля или СОВ. С использованием теоремы Блоха и условий непрерывности для волновой функции и скорости электрона на границах областей [1] получены уравнения для определения энергии как функции квазиимпульса.

Подробно рассмотрен случай, когда ширина областей действия магнитного поля или СОВ много меньше дебройлевской длины волны электрона. В таком случае области с магнитным полем или СОВ могут рассматриваться как короткодействующие спиновые возмущения и могут быть описаны с помощью матричных граничных условий для спиноров. Короткодействующие рассеиватели, создаваемые магнитным полем, представляют собой  $\delta$ -образные ямы или барьеры для электронов с разной спиновой поляризацией. В случае короткодействующих областей СОВ граничные условия соответствуют так называемому  $\delta'$ -потенциалу [2].

Показано, что спектр имеет минизонную структуру, причем каждая минizona, расщеплена на две подзоны, соответствующие разному направлению спина (в областях, в которых магнитное поле и СОВ отсутствуют). При нулевых квазиимпульсах энергии электронов в разных спиновых подзонах совпадают, но изгиб зон имеет разное направление для разных спиновых поляризаций. При этом в случае модулированного магнитного поля в каждой минизоне существует область энергий, в которой разрешены состояния только с одним направлением спина, а в случае модулированного СОВ – область, в которой разным направления движения соответствует разная спиновая поляризация. Это позволяет рассматривать изучаемые структуры как перспективных кандидатов на роль спинового фильтра.

1. M. Khodas, et al., Phys. Rev. Lett. **92**, 086602 (2004).
2. S. De Vincenzo, C. Sanchez, Can. J. Phys. **88**, 809 (2010).

# СПИРАЛЬНАЯ КВАНТОВАЯ ПРОВОЛОКА СО СПИН-ОРБИТАЛЬНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ

А.А. Григорькин

*Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова,  
Санкт-Петербург*

Одной из важнейших задач современной физики наноструктур является создание эффективных устройств для управления спином электрона. Большое количество теоретических и экспериментальных работ посвящено спиновым фильтрам, предназначенным для создания поляризованных спиновых токов.

В практических применениях управление спином при помощи локальных магнитных полей оказалось неэффективным из-за сложностей технического характера и по причине недостаточной скорости поворота спина. В связи с этим большое внимание привлекают полупроводниковые квазиодномерные проволоки с сильным спин-орбитальным взаимодействием, управление спинами в которых осуществляется посредством электрического поля [1]. Эти структуры представляют интерес и благодаря большим временам релаксации электронного спина в них [2].

Спин-орбитальное взаимодействие смешивает спиновые и орбитальные степени свободы электрона. Это позволяет управлять спиновой поляризацией, действуя электрическим полем на орбитальную часть волновой функции [3].

В данной работе рассматривается туннелирование электрона через квазиодномерную спиральную проволоку. Гамильтониан спин-орбитального взаимодействия взят в форме Рашбы. Спектр проволоки состоит из двух спиново-расщепленных подзон и обладает сильной зависимостью от величины периода спирали. Это открывает возможность изменять спиновую поляризацию тока, прошедшего через проволоку, при помощи механического воздействия на спираль – изменяя ее период путем растяжения и сжатия.

1. J. E. Birkholz<sup>1</sup>, V. Meden. Phys. Rev. B **79**, 085420 (2009).
2. Y. Kunihashi, M. Kohda, J. Nitta. Phys. Rev. Lett. **102**, 226601 (2009).
3. A. Fedorov, Y. Pershin, C. Piermarocchi. Phys. Rev. B **72**, 245327 (2005).

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

Н.С. Прудских, А.В. Шорохов

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

В последнее время растет число работ, посвященных полупроводниковым сверхрешеткам, в том числе большое внимание привлекает вопрос о неустойчивости волн зарядовой плотности [1], которая препятствует генерации терагерцевого излучения.

В нелинейных неоднородных средах диэлектрическая проницаемость обладает временной и пространственной дисперсией и удовлетворяет дисперсионному уравнению

$$\varepsilon(\omega, \mathbf{k})=0.$$

Корни дисперсионного уравнения могут быть комплексными, а значит и частота  $\omega$  может быть комплексной. В этом случае в некотором диапазоне частот волна в сверхрешетке будет расти со временем, т.е. будут возникать неустойчивости волн зарядовой плотности, проявляющиеся в формировании доменов сильного электрического поля.

Диэлектрическая проницаемость и ее связь с комплексной проводимостью может быть найдена из уравнений Максвелла. Комплексную проводимость, в свою очередь, находим, решая кинетическое уравнение Больцмана с интегралом столкновений Батнагара-Гросса-Крука, описывающее движение электрона в рассматриваемой системе, совместно с уравнением Пуассона, дающим правильное распределение зарядов в системе.

В данной работе на основе результатов решения уравнений, описывающих систему, получено дисперсионное уравнение для диэлектрической проницаемости. Найдены ветви спектра волн зарядовой плотности в полупроводниковой сверхрешетке и исследованы области их неустойчивости.

1. А.А. Игнатов, В.И. Шашкин. Блоховские осцилляции электронов и неустойчивость волн пространственного заряда в полупроводниковых сверхрешетках. ЖЭТФ. **93**, 935 (1987)

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИХРОМАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ НАКАЧКИ ДЛЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УСИЛЕНИЯ ТЕРАГЕРЦЕВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СВЕРХРЕШЕТКОЙ

О.Д. Позднякова, А.В. Шорохов

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

Полупроводниковая сверхрешетка является перспективным материалом для использования в качестве рабочей среды компактного усилителя (детектора) терагерцевого (ТГц) излучения, работающего при комнатных температурах [1]. Однако практическая реализация подобного рода устройства осложнена существованием электрических нестабильностей, ведущих к формированию низко- и высокочастотных доменов внутри наноструктуры в режиме генерации [2].

Недавно была теоретически показана возможность параметрического усиления ТГц излучения благодаря параметрическому резонансу, вызванному осцилляциями эффективной электронной массы внутри минизоны [3]. Такой режим усиления не требует работы в условиях отрицательной дифференциальной проводимости (ОДП) и, следовательно, может быть реализован без формирования доменов внутри сверхрешетки [4]. Однако и в этом случае внутри сверхрешетки могут возникать нестабильности, связанные с абсолютной отрицательной проводимостью (АОП), хотя их области и меньше, чем области усиления.

В данной работе мы предлагаем усовершенствовать этот режим усиления и использовать вместо монохроматического поля накачки переменное бихроматическое поле с соизмеримыми частотами. Мы рассматриваем случай, когда частота усиливаемого ТГц излучения не соизмерима с частотами полей накачки, и предполагаем, что наличие ещё одного переменного поля позволит расширить область усиления по сравнению с областью нестабильностей, что делает данный режим усиления более предпочтительным с точки зрения практической реализации.

1. A. Wacker, Phys.Rep. **357**, 1 (2002).
2. А.А. Игнатов, В.И. Шашкин, ЖЭТФ **93**, 935 (1987).
3. Т. Hyart, A.V. Shorokhov, and K.N. Alekseev. Phys. Rev. Lett. **98**, 220404 (2007).
4. K.N. Alekseev, M.V. Gorkunov, N.V. Demarina, Т. Hyart, N.V. Alexeeva, A.V. Shorokhov, Europhys. Lett. **73**, 934 (2006).

# КОЭФФИЦИЕНТ ДИФФУЗИИ ЭЛЕКТРОНОВ В ЗИГЗАГООБРАЗНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ В ПРИСУТСТВИИ СИЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Н.Г. Лебедев, С.А. Судоргин, М.Б. Белоненко  
*Волгоградский государственный университет, Волгоград*

В работе в рамках квазиклассического приближения времени релаксации получено выражение для коэффициента диффузии электронов в зигзагообразных полупроводниковых нанотрубках в присутствии сильного электрического поля и проанализирована его зависимость от напряженности поля. Электронная подсистема углеродных нанотрубок рассматривается в  $\pi$ -электронном приближении. Для зигзагообразных УНТ типа  $(n, 0)$  дисперсионное соотношение имеет вид [1]:

$$E(\mathbf{p}) = \pm \gamma \sqrt{1 + 4 \cos(ap_x) \cos(\pi s/n) + 4 \cos^2(\pi s/n)} \quad (1)$$

где  $\mathbf{p} = (p_x, s)$  – квазиимпульс электронов углеродной нанотрубки,  $p_x$  – параллельная оси нанотрубки компонента квазиимпульса,  $s = 1, 2, \dots, n$  – нумерует квантование компоненты импульса по окружности нанотрубки. Из периодичности закона дисперсии следует, что его можно представить в виде ряда Фурье [2]. Выражение для коэффициента диффузии электронов в зигзагообразной углеродной нанотрубке имеет следующий вид:

$$D(E) = \sum_s \int_{-\pi}^{\pi} f_{0s}(p_x, x) \sum_m A_{ms} m \sum_{m'} A_{m's} m' \left\{ \frac{E^2(m^2 + m'^2) + 1}{[E^4(m^4 + m'^4 - 2m^2m'^2) + 2E^2(m^2 + m'^2) + 1][E^2m^2 + 1]} \right\}^* \\ * [Em(\cos(mp_x)\sin(m'p_x) + \cos(mp_x)\cos(m'p_x) - \sin(mp_x)\sin(m'p_x)) + \sin(mp_x)\sin(m'p_x) + \\ + \sin(mp_x)\cos(m'p_x) + \cos(mp_x)\sin(m'p_x)] + \frac{E^3(m'^3 - 2m^2m') + Em'}{[E^4(m^4 + m'^4 - 2m^2m'^2) + 2E^2(m^2 + m'^2) + 1][E^2m^2 + 1]}^* \\ * [\cos(mp_x)\cos(m'p_x) - Em\sin(mp_x)\cos(m'p_x)] dp_x + \sum_s \int_{-\pi}^{\pi} f_{0s}(p_x, x) \sum_m A_{ms} m \sum_{m'} A_{m's} m' * \\ * \frac{1}{[E^2m^2 + 1]^2 [E^2m'^2 + 1]} [\sin(m'p_x) + Em\cos(m'p_x)] [\sin(mp_x) + 2Em\cos(mp_x) - E^2m^2\sin(mp_x)] dp_x \quad (2)$$

Установлена нелинейная зависимость коэффициента диффузии электронов от электрического поля. При сильных полях данный коэффициент асимптотически стремится к насыщению.

Работа проведена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (Государственный контракт № П892), поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 08-02-00663).

1. Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века. Техносфера. М. (2003). 336 с.

2. Белоненко М.Б., Лебедев Н.Г., Демушкина Е.В. ФТТ. **50**, 367 (2008).

# **НОВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

# ВЫРАЩИВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ НИОБАТА БАРИЯ-СТРОНЦИЯ

Л.И. Ивлева

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

Большое число новых сред с радикально различающимися характеристиками может быть создано на основе многокомпонентных оксидных кристаллов, свойства которых могут контролироваться как за счет изменения соотношения основных компонентов, так и путем введения легирующих добавок. В данной работе в качестве такой среды рассматриваются кристаллы твердых растворов ниобата бария-стронция (SBN). Разработка технологий оптически совершенных кристаллов с высокими нелинейно-оптическими и электрооптическими параметрами позволяет получать материалы с уникальными характеристиками для нелинейной фоторефрактивной оптики, управления лазерным излучением, преобразования лазерного излучения. Разработка технологии получения монокристаллов твердых растворов SBN базировалась на использовании двух методов выращивания: традиционном методе Чохральского и модифицированном способе Степанова. Легированные примесями Се, Cr, Со кристаллы SBN являются одними из наиболее актуальных материалов для динамической голографии, в частности для обращения волнового фронта и среды для оптической памяти. Большие значения нелинейно-оптических коэффициентов и сравнительно низкие коэрцитивные поля порядка 1 кВ/см, характерные для SBN, стимулировали поиск путей создания на базе этих материалов регулярных доменных структур для преобразования оптических частот в режиме квазисинхронизма. Привлекают внимание сегодня и проблемы эффективного управления пространственно-временными параметрами оптического излучения с помощью электрооптического эффекта. Кристаллы SBN представляют также интерес в качестве модельных объектов для фундаментальных исследований сегнетоэлектриков-релаксоров.

## КРИСТАЛЛЫ С РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ ДЛЯ КВАНТОВОЙ ПАМЯТИ

М.Н. Попова

*Институт спектроскопии РАН, Троицк Московской области*

Недавно было предложено создать квантовый компьютер на основе кристаллов, активированных редкоземельными (РЗ) ионами [1]. Два сверхтонких уровня РЗ иона выбираются в качестве квантового бита (кубита), манипулирование состояниями кубита осуществляется с помощью оптического возбуждения через некоторый третий уровень. Такая трехуровневая  $\Lambda$ -система была успешно реализована для нескольких кристаллов, активированных ионами  $\text{Tm}^{3+}$ ,  $\text{Pr}^{3+}$ ,  $\text{Eu}^{3+}$  - она составляет основу для создания квантовой памяти. Эти достижения стимулировали исследования сверхтонкой структуры (СТС) уровней этих ионов в других кристаллах, а также СТС других ионов в различных кристаллах, с целью поиска эффективных  $\Lambda$ -систем. Обычно СТС маскируется неоднородным уширением линий в кристаллах, что осложняет ее экспериментальные исследования и из-за этого развиваются вычислительные методы, основанные на теории кристаллического поля [2]. В некоторых случаях, однако, неоднородное уширение мало, и СТС видна в оптических спектрах высокого разрешения. Это дает возможность проверить теоретические подходы, сравнивая вычисленную СТС и наблюдаемую в спектре.

В докладе приводятся примеры выполненных в нашей лаборатории исследований СТС в оптических спектрах  $\text{Ho}^{3+}$ ,  $\text{Tm}^{3+}$  [3],  $\text{Pr}^{3+}$ ,  $^{167}\text{Er}^{3+}$  в кристаллах, перспективных для квантовой памяти.

Автор признателен за финансовую поддержку РФФИ (грант № 09-02-01067) и РАН (по Программам фундаментальных исследований).

1. N. Ohlsson, R.K. Mohan, S. Kröll. Quantum computer hardware based on rare-earth-doped inorganic crystals. *Optics Comm.* **201**, 71 92002).

2. Ph. Goldner, O. Guillot-Noël. Calculations of rare-earth hyperfine structures and application to quantum information. *J. Alloys Comp.* **451**, 682 (2008).

3. S. A. Klimin, D. S. Pytalev, M. N. Popova, B. Z. Malkin, M.V. Vanyunin, S.L. Korableva. *Phys. Rev. B* **81**, 045113 (2010).



# СПЕКТРОСКОПИЯ КРС И ИК ОТРАЖЕНИЯ в ИССЛЕДОВАНИИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ФЕРРОБОРАТОВ

С.А. Климин

*Институт Спектроскопии РАН, г. Троицк Московской обл.*

Редкоземельные ферробораты  $RFe_3(BO_3)_4$  (R-редкая земля) интенсивно исследуются в последнее время различными физическими методами. Причиной этому является большой интерес к мультиферроикам как материалам, перспективным для применений в микроэлектронике, спинтронике и сенсорной технике. Кроме этого, привлекают внимание нелинейные оптические свойства ферроборатов. В данной работе представлены результаты спектроскопического исследования ряда представителей семейства  $RFe_3(BO_3)_4$  методами спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС) и инфракрасного (ИК) отражения.

По результатам исследований получена информация об изменении структуры серии ферроборатов (R=Gd, Tb, Nd, Er, Pr, Ho, Eu) в зависимости от температуры. Присутствие мягкой моды в спектрах КРС, частота которой увеличивается с понижением температуры (от  $26\text{ см}^{-1}$  до  $\sim 55\text{ см}^{-1}$ , в зависимости от R), проинтерпретировано как подтверждение антисегнетоэлектрической природы фазового перехода. Наибольший интерес представляет заметное влияние магнитного упорядочения на фононный спектр исследованных образцов. Исследовано также рассеяние на магнонах и электронных уровнях.

Автор признателен за финансовую поддержку РФФИ (грант № 10-02-01071) и РАН (по Программам фундаментальных исследований).

## МУЛЬТИФЕРРОИКИ

Е.П. Чукалина

*Институт спектроскопии РАН, Троицк, Московская область*

Возможность существования магнитоэлектрических материалов впервые была предсказана более ста лет назад П.Кюри. Линейный магнитоэлектрический эффект, подробно рассмотренный теоретически в работах Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшица и И.Е.Дзялошинского, был обнаружен экспериментально в антиферромагнетике  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  Д.Н.Астровым в 1959 г. Примерно в это же время Г.А. Смоленский открыл явление сегнетомагнетизма. Он наблюдал его, в частности, в феррите висмута  $\text{BiFeO}_3$  ( $R3c$ ). Это соединение, обладающее высокими температурами Кюри ( $T_C = 1080$  К) и Нееля ( $T_N = 640$  К), активно исследуется до сих пор. Отличительной особенностью  $\text{BiFeO}_3$  является отсутствие центра инверсии как у кристаллической, так и у магнитной структуры.

Новый этап исследования природы магнитоэлектрического эффекта ознаменовался открытием магнитоэлектрических свойств в редкоземельных (РЗ) манганитах  $\text{RMnO}_3$  ( $Pbnm$ ), в которых электрическая поляризация возникает при циклоидальном магнитном упорядочении, нарушающем инверсную симметрию и гигантского магнитоэлектрического эффекта в соединениях  $\text{RMn}_2\text{O}_5$  ( $Pbam$ ). Недавно найден новый класс сегнетомагнетиков — редкоземельные ферробораты  $\text{RFe}_3(\text{BO}_3)_4$  ( $R32$ ). Обнаруженные в сегнетомагнетиках эффекты (гигантский магнитоэлектрический эффект и эффект взаимного влияния поляризации и намагниченности) представляют практический интерес для решения задач сенсорной техники и микроэлектроники, создания магнитной памяти. В настоящее время для сегнетомагнетиков широко используется более общий термин — «мультиферроик», введенный Х.Шмидтом в 1994 г. для веществ, в которых одновременно присутствуют хотя бы два из трех параметров порядка: магнитного, электрического и упругого.

В нашей лаборатории проводятся исследования мультиферроиков методами оптической спектроскопии высокого разрешения. В частности, мы выполнили ряд работ по исследованию РЗ ферроборатов. Сейчас мы исследуем соединения из семейства  $\text{RMn}_2\text{O}_5$ , и я остановлюсь на последних результатах.

Работа поддержана ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», грантами РФФИ (№10-02-01071) и РАН (по программам фундаментальных исследований).

# СПЕКТРОСКОПИЯ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ФТОРИСТЫХ ЭЛЬПАСОЛИТОВ С РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ

Д.С. Пыталев

*Институт Спектроскопии РАН, г. Троицк Московской обл.*

Кристаллы фтористых эльпасолитов с общей формулой  $Cs_2NaMF_6$  (M – редкая земля) являются сравнительно новыми соединениями. Кубическая симметрия позиций, занимаемых редкой землей в кристалле, делает их интересной системой для теоретических исследований, а благодаря значительному расстоянию между РЗ ионами, в этих соединениях очень слабое концентрационное тушение люминесценции, что важно для различных применений.

В настоящей работе с помощью инфракрасной фурье-спектроскопии высокого разрешения были исследованы спектры РЗ ионов  $Yb^{3+}$ ,  $Er^{3+}$ ,  $Sm^{3+}$  и  $Tm^{3+}$  в кристаллах  $Cs_2NaYF_6$ .

В зарегистрированных спектрах были идентифицированы линии, соответствующие электронным переходам внутри  $4f^n$  оболочки, электрон-фононные линии, а также слабые спутники, вызванные взаимодействием между примесными РЗ ионами. При гелиевых температурах обнаружено необычное расщепление спектральных линий, соответствующих переходам с основного состояния РЗ иона на штарковские подуровни возбужденных мультиплетов. Наиболее вероятной природой наблюдаемого расщепления являются случайные деформации кристаллической решетки.

Автор признателен за финансовую поддержку по гранту Президента РФ (№ МК-1329.2010.2) и гранту РФФИ (№ 09-02-01067).

ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ФАЗОВЫХ  
МАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДОВ В РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ХРОМОВЫХ  
БОРАТАХ  $\text{RCr}_3(\text{VO}_3)_4$ ,  $\text{R}=\text{Nd, Sm, Gd, Er}$

К.Н. Болдырев

*Институт спектроскопии РАН, Троицк, Московская область*

Редкоземельные (РЗ) бораты с общей формулой  $\text{RM}_3(\text{VO}_3)_4$  ( $\text{R} = \text{Y, La-Lu}$ ;  $\text{M} = \text{Al, Ga, Fe, Cr, Sc}$ ) имеют структуру типа хантита (пространственная группа  $R\bar{3}2$ , а также политипные модификации  $C2/c$  и  $C2$ ), характерной особенностью которой является наличие спиральных цепочек –  $\text{M} - \text{O} - \text{M}$  – вдоль выделенного кристаллографического направления. Проведенные ранее исследования показали, что в кристаллах РЗ ферроборатов  $\text{RFe}_3(\text{VO}_3)_4$  наблюдается антиферромагнитное упорядочение подсистемы железа при температурах около 40 К. Кроме того, в некоторых соединениях ферроборатов был обнаружен гигантский магнитоэлектрический эффект и установлено, что данные соединения относятся к классу мультиферроиков. В то же время, свойства РЗ боратов с другим магнитным ионом  $\text{M} = \text{Cr}^{3+}$  до настоящего времени были мало изучены. Известны работы, посвященные первому исследованию кристаллов  $\text{NdCr}_3(\text{VO}_3)_4$  и  $\text{SmCr}_3(\text{VO}_3)_4$  [1], а также работа по комплексному исследованию кристаллов  $\text{NdCr}_3(\text{VO}_3)_4$  [2].

В настоящей работе был исследован ряд РЗ хромовых боратов при помощи оптической спектроскопии высокого разрешения. Образцы были выращены методом спонтанной кристаллизации из растворов в расплавах с различными редкими землями: Nd, Sm, Gd, Er. В часть исследуемых соединений был введен Er в небольших концентрациях (~ 1%), служивший спектроскопическим зондом. На основании анализа спектров основных ионов и зондового иона  $\text{Er}^{3+}$  установлено, что все изученные соединения магнитно упорядочиваются при температурах около 8 К. Более низкая в сравнении с ферроборатами температура магнитного упорядочения указывает на более слабое межцепочечное взаимодействие в подсистеме хрома. Кроме того, в  $\text{SmCr}_3(\text{VO}_3)_4$  наблюдалось скачкообразное изменение спектров поглощения при температуре около 4.5К, которое мы связываем со спин-переориентационным фазовым переходом первого рода.

Работа поддержана ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», грантами РФФИ (№10-02-01071) и РАН (по программам фундаментальных исследований).

1. К.Н.Болдырев, Е.П. Чукалина, Н.И. Леонюк, ФТТ 50, 1617 (2008).
2. Е.А.Ропова, N.I.Leonyuk, M.N.Popova, E.P.Chukalina, K.N.Boldyrev, N.Tristan, Phys. Rev. B 76, 054446 (2007).

МАГНИТНАЯ СТРУКТУРА ЦЕПОЧЕЧНЫХ НИКЕЛАТОВ  
 $R_2\text{BaNiO}_5$ : ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ЭРБИЕВОГО  
СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОГО ЗОНДА

А.С. Галкин

*Институт Спектроскопии РАН, г. Троицк, Московская обл.*

Интерес к цепочечным никелатам  $R_2\text{BaNiO}_5$  ( $R$  = редкоземельный элемент либо  $Y$ ) связан с тем, что в иттриевом никелате была обнаружена холдейновская щель, и на основании дальнейших экспериментов  $Y_2\text{BaNiO}_5$  был признан почти идеальной модельной холдейновской системой. Магнитные ионы  $R^{3+}$  осуществляют взаимодействие между спиновыми цепочками ионов  $Ni^{2+}$  ( $S=1$ ), которое приводит к антиферромагнитному упорядочению. В данной работе магнитное упорядочение было изучено методом эрбиевого спектроскопического зонда для ряда соединений  $R_2\text{BaNiO}_5:\text{Er}$  1%.

На примере соединений  $R_2\text{Cu}_2\text{O}_5$  [1] и  $R\text{Fe}_3(\text{BO}_3)_4$  [2] было продемонстрировано, что ион эрбия обладает выраженной магнитной анизотропией и может служить в качестве удобного спектроскопического зонда магнитных фазовых переходов и магнитных структур. Расщепления спектральных линий крамерсова иона  $\text{Er}^{3+}$  служат хорошим индикатором наличия внутреннего магнитного поля, которое возникает при магнитном упорядочении.

С целью получения информации о магнитных фазовых переходах и магнитной структуре цепочечных никелатов  $R_2\text{BaNiO}_5$  было проведено исследование методом эрбиевого спектроскопического зонда. Спектры пропускания исследуемых образцов монокристаллов были зарегистрированы в области перехода  ${}^4I_{15/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$  в ионе  $\text{Er}^{3+}$  (спектральная область  $6200\text{-}6900\text{ см}^{-1}$ ) со спектральным разрешением от 1 до  $0.1\text{ см}^{-1}$  на фурье-спектрометрах BOMEM DA3.002 и Bruker 125HR в области температур от 2.2 до 300 К. Обсуждается информативность спектров эрбиевого зонда в исследовании цепочечных никелатов и особенности в спектрах концентрированного соединения  $\text{Er}_2\text{BaNiO}_5$ , связанные, вероятно, с межионными взаимодействиями в редкоземельной подсистеме.

Работа поддержана РАН (по программам фундаментальных исследований).

1. M.N. Popova, J. Alloys Compd. **275-277**, (1998) 142.
2. Е. П. Чукалина, Т. Н. Станиславчук, М. Н. Попова, Л. Н. Безматерных, И. А. Гудим, Известия РАН. Серия физическая **71**, (2007) 1606.

# СПЕКТРОСКОПИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОБАЛЬТИТА ЕВРОПИЯ: ПЕРЕХОД МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК

М.А. Кащенко

*Московский физико-технический институт (Национальный  
исследовательский университет), Долгопрудный*

Соединения  $R\text{CoO}_3$  ( $R$  – редкая земля) привлекают внимание исследователей богатой фазовой диаграммой состояний в зависимости от температуры, химического состава и давления [1,2] (например, фазовый переход металл-диэлектрик и переход кобальта из высокоспинового в низкоспиновое состояние). Значительные изменения проводимости могут быть использованы в реализации различных устройств (датчики температур, давлений).

В данной работе проводится исследование оптических свойств одного из представителей этого семейства –  $\text{EuCoO}_3$ . С использованием фурье-спектрометра Bruker IFS 125HR были зарегистрированы спектры пропускания порошкового образца  $\text{EuCoO}_3$  в широком спектральном (1500–6500  $\text{см}^{-1}$ ) и температурном (5–673 К) диапазонах. Исследуемое соединение имеет максимум пропускания примерно на 2000  $\text{см}^{-1}$ . В диапазоне выше 3000  $\text{см}^{-1}$  растет поглощение, обусловленное  $d-d$  переходами в ионе  $\text{Co}^{3+}$ . Обнаружены узкие линии, принадлежащие  $f-f$  переходам в ионе  $\text{Eu}^{3+}$ . Для интерпретации магнитных свойств  $\text{EuCoO}_3$  построена схема энергетических уровней иона  $\text{Eu}^{3+}$  для мультиплетов  ${}^7F_J$  ( $J = 0-6$ ). При повышении температуры (до 400  $^\circ\text{C}$ ) наблюдается уменьшение пропускания образца. Такое поведение, как следует из литературных данных, связано с переходом металл-диэлектрик.

Автор признателен за финансовую поддержку по гранту Президента РФ (№ МК-1329.2010.2).

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

# АНАЛИЗ ПРИМЕСЕЙ III, IV И V ГРУПП В ВЫСОКОЧИСТОМ КРЕМНИИ ДЛЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

К.Н. Болдырев

*Институт спектроскопии РАН, Троицк, Московская область*

Современные и перспективные информационные технологии (компьютеры, электроника, телекоммуникации и т.д.) базируются и будут базироваться на применении полупроводникового кремния. Другие полупроводники (арсенид галлия, фосфид индия, германий, селен и т.д.) составляют и будут составлять минимальную долю в производстве полупроводниковой техники. Мировой рынок полупроводникового кремния растет впечатляющими темпами (ежегодный прирост составляет около +15%, достигнув к 2010 году объема более 30 тыс.т). Производство высокочистого полупроводникового кремния является очень дорогостоящим и трудоемким. И, кроме проблем синтеза, возникает проблема определения концентрации примесей III и V групп (в особенности, бора и фосфора), определяющих свойства полупроводникового кремния.

Наиболее точным методом является метод измерения спектра пропускания с высоким разрешением в дальней инфракрасной области спектра с нейтрализацией компенсируемых примесей фотонами большой энергии. Однако в данном методе имеются сложности, связанные, в частности, со значениями градуировочных параметров. Так, по стандарту ASTM 1630, используемому за рубежом, данные параметры имеют предел точности 5-50% в зависимости от исследуемого элемента (B, P, As, Sb, In и т.п.). Такие параметры не пригодны для производства высокочистого кремния для современной электроники. Кроме того, в литературе имеется крайне мало сведений о влиянии напряжений структуры и дефектов кристаллической решетки в монокристаллах кремния на фонный спектр исследуемых соединений.

В настоящей работе была разработана и собрана опытная установка по анализу высокочистого кремния на основе фурье-спектрометра высокого разрешения Bruker IFS 125 HR, а также проведены исследования влияния электроактивных примесей III и V группы на спектр высокочистого кремния для полупроводниковой электроники. Кроме того, был проведен анализ спектров пропускания кремниевых пластин в зависимости от наличия дефектов структуры. Также проведены исследования по анализу концентраций кислорода и углерода в поликристаллическом кремнии.

Работа поддержана ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России».

# ВЫРАЩИВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ CdTe МЕТОДОМ БРИДЖМЕНА В КВАЗИОТКРЫТОЙ СИСТЕМЕ ПРИ КОНТРОЛИРУЕМОМ ДАВЛЕНИИ ПАРА КОМПОНЕНТА

К.А. Рекунов, А.В. Хомяков, И.Х. Аветисов

*Российский Химико-Технологический Университет им. Д.И. Менделеева,  
Москва*

Кристаллы CdTe и материалы на их основе находят широкое применение в качестве детекторов ионизирующего излучения и фотоприемников ИК диапазона. Выращивание кристаллов CdTe методом Бриджмена сопряжено с рядом сложностей, одной из которых является ампульная технология и связанные с ней недостатки. К числу таких недостатков относятся: однократное использование ампул, отсутствие воспроизводимости изготовления, что приводит к различной форме и структурным дефектам изготавливаемых ампул, сложность равномерного и качественного покрытия внутренней поверхности ампул защитными слоями [0].

В работе была предложена модифицированная схема выращивания кристаллов, согласно которой открытая ампула с исходной шихтой размещается в стальном контейнере, соединенном с системой напуска и контроля давления инертного газа. При температуре проведения процесса давление пара компонента над расплавом контролируется методом Ван-Доорна [0]. В разработанной системе используются многоразовые ампулы упрощенной конструкции. При этом в качестве материала ампулы можно использовать не только кварцевое стекло, но и стеклоуглерод, который является перспективным контейнерным материалом при выращивании кристаллов CdTe большого диаметра [0].

Кристаллы CdTe выращивали в модифицированной системе при давлениях пара кадмия в интервале от 1 до 3.5 атм. По результатам ИСП-МС чистота выращенных кристаллов составляла 99.99994 масс.%. Анализ выращенных кристаллов показал, что при повышении давления пара кадмия происходит изменение типа проводимости с *p*-типа на *n*-тип, при этом существует область давлений, когда кристаллы, содержащие избыток кадмия относительно стехиометрии, обладали *p*-типом проводимости.

1. R. Shetty, W.R. Wilcox, L.L.Regel, J. Crystal Growth 153 (1995) 103-109
2. C.Z.van Doorn Method for Heating Alkali Halides and Other Solids in Vapors of Controlled Pressure Rev. Sci. Instrum., 32 (1961) 755
3. Triboulet R., Siffert P., CdTe and related compounds; Crystal Growth, Surfaces and Applications, Elsevier, 279 (2010).



# ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОТЖИГА НА ТРАНСФОРМАЦИЮ СПЕКТРОВ ЭПР Eu-СОДЕРЖАЩИХ ЛЮМИНОФОРОВ

Д.А. Салкин, А.М. Зюзин

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

В настоящей работе исследована трансформация спектров ЭПР люминофоров  $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}:\text{Eu}^{2+}$  и  $(\text{Sr},\text{Ba})_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}:\text{Eu}^{2+}$  при высокотемпературном отжиге на воздухе, в атмосфере аргона и в вакууме. Наиболее интересные результаты наблюдались для  $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}:\text{Eu}^{2+}$  (рис. 1).

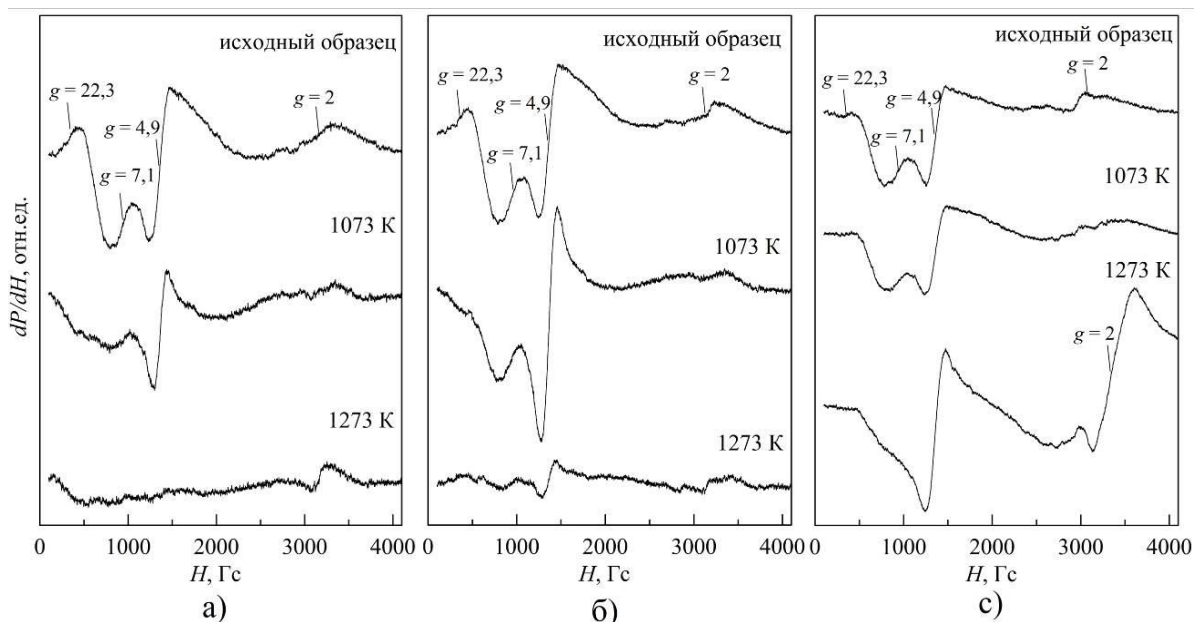


Рис. 1. Трансформация спектра ЭПР люминофора  $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}:\text{Eu}^{2+}$  при отжиге: а) – на воздухе; б) – в аргоне; с) – в вакууме; числа у кривых – температуры отжига.

Анализ трансформации спектров ЭПР исследуемых Eu-содержащих люминофоров, происходящей в результате отжига, позволил выяснить природу линий поглощения и установить, что:

- при отжиге на воздухе окисление европия ускоряется диффузией кислорода в основания люминофоров в процессе отжига;

- при отжиге в аргоне происходит диффузия атомов Ar внутрь кристаллической решетки люминофоров, блокирующей диффузию кислорода из  $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}:\text{Eu}^{2+}$  и  $(\text{Sr},\text{Ba})_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}:\text{Eu}^{2+}$ , что обеспечивает окисление европия ( $\text{Eu}^{2+} \rightarrow \text{Eu}^{3+}$ );

- при отжиге в вакууме в  $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}:\text{Eu}^{2+}$   $T_{\text{отж}} = 1173 - 1273$  К происходит значительное увеличение концентрации  $\text{Eu}^{2+}$  в позициях с симметрией окружения  $O_h$  за счёт процессов  $\text{Eu}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{2+}$ .

## ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ СТЕКОЛ В СИСТЕМЕ $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-GeO}_2$ ОТ СОСТАВА

С.В. Красильников, А.Е. Петухова, Н.Г. Горащенко  
*Российский химико-технологический университет  
им. Д.И. Менделеева, Москва*

Прозрачные стеклокерамические материалы на основе стекол составов  $2\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-3SiO}_2$  и  $2\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-3GeO}_2$ , обладают сцинтилляционными свойствами. По сцинтилляционным характеристикам висмутгерманатная стеклокерамика превосходит висмутсиликатную, но отличается заметно более низкой устойчивостью к  $\gamma$  - облучению. Поскольку указанные системы образуют неограниченные твердые растворы, представляется возможным совмещение полезных свойств обоих материалов в одном.

Целью данной работы являлось получение стекол составов  $\text{Bi}_4(\text{Si}_x\text{Ge}_{1-x})_3\text{O}_{12}$ , где  $x = 0.5, 0.25, 0.75$  и исследование влияния соотношения оксидов германия и кремния на их свойства. Стекла получали отливкой расплава ( $T=1100^\circ\text{C}$ ) на платиновую подложку. Методика формования стекол позволила получать образцы с заданными геометрическими параметрами. В отличие от висмутгерманатных, расплавы указанных составов менее агрессивны по отношению к материалу тигля, что позволяет повысить время выдержки при максимальной температуре варки и предотвратить появление типичных для стекла дефектов – свилей. Увеличение времени варки так же положительно влияет на значение микротвердости стекол.

Некоторые физико-химические характеристики полученных стекол приведены в таблице.

	Состав		
	$\text{Bi}_4(\text{Si}_{0,66}\text{Ge}_{0,33})_3\text{O}_{12}$	$\text{Bi}_4(\text{Si}_{0,5}\text{Ge}_{0,5})_3\text{O}_{12}$	$\text{Bi}_4(\text{Si}_{0,33}\text{Ge}_{0,66})_3\text{O}_{12}$
$\text{SiO}_2 : \text{GeO}_2$	2:1	1:1	1:2
Микротвердость , кг/мм <sup>2</sup>	390	360	330
Показатель преломления	2,95	3,55	3,05
Плотность, г/см <sup>3</sup>	6,3	6,35	6,55
$T_g$ , °C	437	429	422
$T_f$ , °C	481	462	452

Построены температурные зависимости удельного сопротивления, диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь. Обнаружено заметное изменение окраски стекол при нагревании в электрическом поле переменного тока, что может быть связано с изменением валентности ионов висмута. Проведена кристаллизация стекол. Произведено исследование кристаллической фазы при помощи РФА и атомно-силовой микроскопии.

1. J.H. Chao, S.J. Kim, Y.S. Yang Sol. State Com. 119 (2001) 465-470

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТУГОПЛАВКИХ ПСЕВДОСПЛАВОВ W-Ni-Fe

В.В. Евстифеева, А.В. Москвичева, В.Н. Чувильдеев  
ННГУ им.Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород

В работе исследованы механизмы спекания порошков (95вес.%W-3.5вес.%Ni-1.5вес.%Fe), подвергнутых высокоэнергетической механоактивации, а также структура и механические свойства мелкозернистых вольфрамовых псевдосплавов. Спекание нанодисперсных порошков осуществляли методами свободного спекания и электроимпульсного плазменного спекания (Spark Plasma Sintering)[1].

Установлено, что зависимость плотности вольфрамового псевдосплава от температуры нагрева не монотонная и характеризуется тремя стадиями.

Показано, что микротвердость псевдосплавов, полученных спеканием порошков подвергнутых механоактивации, выше микротвердости псевдосплавов, полученных спеканием стандартных крупнозернистых порошков( $d=10-20\text{мкм}$ ).

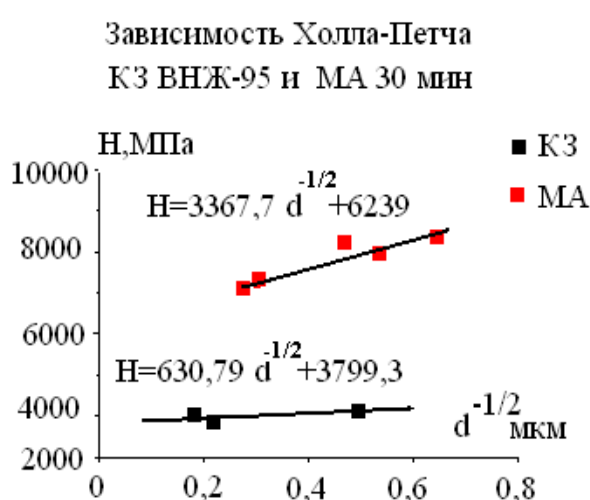


Рис.1. Зависимость  $H_{\mu}(d)$  для крупнозернистого и механоактивированного сплава W-Ni-Fe

дислокационного скольжения (рис.).

Работа выполнена в рамках реализации проекта «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013гг.

1. Гегузин Я.Е. Физика спекания. М.: Наука, 1967. 360 с.

## КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СТЕКОЛ СОСТАВА $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2\text{--}x\text{Fe}_2\text{O}_3$

*И.В. Степанова, Н.Г. Горащенко*

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

В системе  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2$  наряду со стабильными соединениями  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  и  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  образуется метастабильная кристаллическая фаза  $\text{Bi}_2\text{GeO}_5$ . Кристаллы  $\text{Bi}_2\text{GeO}_5$  обладают сегнетоэлектрическими свойствами [1], а стеклокерамика, содержащая данную кристаллическую фазу, сравнима по величине спонтанной поляризации с керамикой  $\text{BaTiO}_3$  [2]. Предварительные исследования кристаллизации стекол в данной системе, проведенные нами, показали влияние ионов железа на размеры образующихся кристаллитов.

Исходные стекла  $1\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--}1\text{GeO}_2$ ,  $1\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--}1\text{GeO}_2\text{--}0,0002\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $1\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--}1\text{GeO}_2\text{--}0,002\text{Fe}_2\text{O}_3$  получали отливом расплава ( $T=1100^\circ\text{C}$ ) на охлажденную металлическую подложку. Термическую обработку стекол проводили в интервале температур  $300\text{--}500^\circ\text{C}$ . Электрические свойства измеряли с помощью мостовой схемы E7-12 с частотой 1 МГц в диапазоне  $25\text{--}500^\circ\text{C}$ .

При нагревании стекол до  $T=500^\circ\text{C}$  (без выдержки) образцы почти полностью кристаллизуются. Оптические исследования в проходящем поляризованном свете показали присутствие кристаллитов двух типов – в виде тонких пластин квадратного сечения и прямоугольных, сильно вытянутых вдоль одной из осей. Размеры стороны квадрата и длинной стороны прямоугольника составили около  $70\text{--}80$  мкм. Исследования в скрещенных поляроидах показали, что оба типа кристаллитов анизотропны и, с большой долей вероятности, принадлежат одной и той же фазе  $\text{Bi}_2\text{GeO}_5$ , с различными направлениями ориентации кристаллов в образце. По данным [1], монокристаллы  $\text{Bi}_2\text{GeO}_5$  прозрачны, бесцветны и имеют тонкопластинчатый габитус.

Исследование электрических характеристик исходных стекол показало, что при температурах  $420\text{--}450^\circ\text{C}$  происходит резкое увеличение значений проводимости  $\chi$  (на 1-3 порядка), диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  (в 2-6 раз) и диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta$  (в 4-20 раз, в зависимости от концентрации  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Для закристаллизованного при  $T=500^\circ\text{C}$  стекла  $1\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--}1\text{GeO}_2\text{--}0,002\text{Fe}_2\text{O}_3$  значения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь при  $25^\circ\text{C}$  составили 20 и 0.17, соответственно.

1. Фирсов А.В., Скороходов И.Е., Астафьев А.В., Буш А.А., Стефанович С.Ю., Веневцев Ю.Н. Кристаллография. **29**, 3, 509-512 (1984)
2. Pengpat K., Holland D. Journal of the European Ceramic Society **23**, 1599–1607 (2003)

## СЕРНАЯ ПАССИВАЦИЯ СТРУКТУР GaAs-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As В ВАКУУМЕ

В.В. Дмитриев, О.И. Говорков, А.А. Еналеева, И.А. Кукушкин,

В.А. Шишкин

ФГУП НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха, Москва

При сегодняшнем высоком качестве эпитаксиальных структур мощность полупроводниковых лазеров часто лимитируется разрушением зеркал их собственным излучением [1]. Для повышения стойкости зеркал используются разработанные в последнее время методы пассивации зеркальных граней в вакууме после скалывания полосок на атмосфере [2-3]. Эти методы состоят из трех основных стадий: очистка поверхности скола, формирование барьерного слоя и нанесение защитного покрытия. Наиболее сложной операцией является очистка поверхности, особенно от кислорода при использовании эпитаксиальных структур GaAs-Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As [4]. Как показано еще в исследованиях по «мокрой» (серной) пассивации, эффективность очистки уменьшается по мере увеличения мольной доли X<sub>Al</sub> в диапазоне от 0 до 0,41.

Целью данной работы была оценка эффекта пассивации при обработке поверхности радикалами серы в вакууме с последующей защитой *in situ* пленкой ZnSe. Эффект оценивался по спектрам послеслойного Оже-анализа на подложках GaAs (100), выращенных пленками Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As. Для сравнения часть образцов обрабатывалась атомарным водородом [2]. Как показали спектры, при X<sub>Al</sub>=0-0,05 оба метода обеспечивают полное удаление кислорода, причем при серной пассивации на границе ZnSe-GaAs выделяется пик серы. Аналогичные результаты были получены при серной обработке образца Al<sub>0,24</sub>Ga<sub>0,76</sub>As. В случае образца Al<sub>0,55</sub>Ga<sub>0,45</sub>As, обработанного в том же процессе, удалить полностью кислород не удалось: пик кислорода уменьшился в 5-6 раз.

Для комплексной проверки эффективности обоих исследованных методов были изготовлены одномодовые лазеры ( $\lambda=0,65$  мкм) с гребневым волноводом (с шириной  $w=2,5$  мкм) из эпитаксиальных структур с волноводными слоями состава (Al<sub>0,58</sub>Ga<sub>0,42</sub>)<sub>0,5</sub>InP и эмиттерными слоями (Al<sub>0,96</sub>Ga<sub>0,04</sub>)<sub>0,5</sub>InP. На пассивированные полоски в другой установке напылялись зеркала с R<sub>1</sub>/R<sub>2</sub>=0,04/0,96. После разделения полосок активные элементы напылялись на медные теплоотводы и монтировались в держателях с прижимными контактами. При испытаниях в непрерывном режиме выходная мощность пассивированных лазеров достигала 70-80 мВт, в то время как непассивированные излучатели деградировали при 32-34 мВт.

1. Тарасов И.С. Квантовая электроника **40**(8), 661 (2010).
2. Ressel P., Erbert G. et al. IEEE Photonics Technology Letters **17**(5), 962 (2005).
3. Silfvenius C., Blixt P. et al. Laser Focus World **39**(11), 69 (2003).
4. Lambert R.W., Ayling T. et al Journal of Lightwave Technology **24**(2), 956 (2006).

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НЕРАВНОВЕСНЫХ ДЕФЕКТОВ РЕШЁТКИ С НЕРАВНОВЕСНЫМИ ГРАНИЦАМИ ЗЁРЕН В УСЛОВИЯХ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ

Е.А. Жарков, В.Н. Чувильдеев

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

Основная идея метода электроимпульсного плазменного спекания состоит в высокоскоростном нагреве порошкового материала путём пропускания импульсного тока с одновременным приложением гидростатического давления. Главной отличительной особенностью является неравновесность процессов, происходящих при спекании. Электроимпульсное плазменное спекание происходит с большим выигрышем во времени и практически всегда наблюдается снижение температуры спекания. Сокращение времени и снижение температуры спекания существенно уменьшает интенсивность роста зёрен в материале, что имеет принципиальное значение для спекания наноструктурных материалов.

Важной задачей теории является описание кинетики усадки в процессе спекания. Кинетика усадки в общем случае определяется дефектной структурой спекаемого материала и параметрами технологии. Необходимо учитывать исходные дефекты структуры порошка, и дефекты, образующиеся в процессе спекания. При этом дефекты могут быть равновесными и неравновесными. Такими дефектами являются вакансии, дислокации и границы зёрен. Исходная концентрация неравновесных дефектов определяется технологией изготовления порошка. Необходимо подчеркнуть важную роль границ зёрен, так как диффузия по границам зёрен является одним из основных механизмов спекания. В [1] показано, что в результате взаимодействия с дефектами решётки граница переходит в неравновесное состояние, при этом понижается энергия активации зернограницной диффузии. В соответствии с [1], микроскопическим параметром, характеризующим структурное состояние и степень неравновесности границы является её свободный объём.

В работе описана кинетика процесса спекания в случаях низкой и высокой степени неравновесности дефектов решётки и границ зёрен. Показано, что неравновесное состояние границ зёрен приводит к характерным «всплескам» на кривой спекания.

1. В.Н. Чувильдеев. Неравновесные границы зёрен в металлах. Теория и приложения. Физматлит, М. (2004). 304 с.

## КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА $\text{LaBGeO}_5$ В СТЕКЛАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

С.В. Лотарев, А.С. Бахтамаева, В.Н. Сигаев

*Международная лаборатория функциональных материалов на основе  
стекла РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва*

Развитие технологии полностью оптических систем передачи и обработки информации наряду с общей тенденцией к миниатюризации приборной базы стимулирует поиск новых подходов к созданию устройств интегральной и волоконной оптики. Одним из эффективных путей создания гибридных структур с нелинейно-оптическими (НЛО) свойствами является выделение в стеклах НЛО кристаллов. Новым перспективным методом кристаллизации стекла на отдельных заранее заданных участках с характерным размером от нескольких микронов является облучение его сфокусированным лазерным пучком, позволяющим формировать на поверхности или в объеме стекла точки, прямые и изогнутые линии, периодические решетки, разветвители и пр. Лазерный метод открывает принципиально новые возможности для создания устройств интегральной и волоконной оптики на основе стекла. Поэтому особый интерес представляет поиск стеклообразующих систем, характеризующихся способностью к нанокристаллизации НЛО фаз близкого стеклу состава, что позволяет практически полностью переводить заданные участки стекла в кристаллическую фазу с сохранением прозрачности стеклокристаллического образца.

В настоящей работе исследованы возможности локальной кристаллизации лантаноборогерманатного стекла с базовым составом  $25\text{La}_2\text{O}_3\text{-}25\text{B}_2\text{O}_3\text{-}50\text{GeO}_2$ , в котором кристаллизуется сегнетоэлектрическая фаза  $\text{LaBGeO}_5$  того же состава со структурой стилвеллита. Поверхностные локальные кристаллические структуры в виде квазипериодических массивов НЛО кристаллов размерами до 10-15 мкм с узким распределением по размерам получены с помощью обработки предварительно нагретого для уменьшения термомеханических напряжений стекла сфокусированным излучением различных лазеров ИК, видимого и УФ диапазонов (основная частота  $\text{Nd}^{3+}$ :ИАГ-лазера, лазер на парах меди, эксимерный  $\text{KrF}$ -лазер). Показано, что кристаллы имеют структуру стилвеллита и генерируют вторую оптическую гармонику. Расположение образовавшихся в стекле кристаллов существенно ориентированное. Исследовано влияние различных добавок ( $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Nd}^{3+}$  - при облучении лазером на парах меди,  $\text{Sm}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  - при облучении  $\text{Nd}^{3+}$ :ИАГ-лазером), усиливающих оптическое поглощение стекла в различных спектральных диапазонах, на эффективность кристаллизации и состав выделяющихся фаз. Определены оптимальные концентрации добавок, необходимые для локальной кристаллизации  $\text{LaBGeO}_5$  из лантаноборогерманатного стекла.



# ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛОМАТРИЧНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА СИСТЕМЫ AL-SiC

К.Н. Нищев<sup>1</sup>, Н.Е. Фомин<sup>1</sup>, В.А. Юдин<sup>1</sup>, М.И. Новопольцев<sup>1</sup>, Б.В. Щетанов<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>*ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт  
авиационных материалов», Москва*

В докладе представлены результаты исследования структуры и основных теплофизических и механических свойств металломатричного композиционного материала на основе алюминиевого сплава, армированного частицами карбида кремния (ММКМ AlSiC). Исследования проведены в рамках реализации комплексного проекта, выполняемого в соответствии с Постановлением Правительства РФ №218 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства». Задачей проекта является разработка технологии производства эффективных теплоотводящих изделий из ММКМ AlSiC для приборов силовой электроники и преобразовательной техники.

Качество изделий, разрабатываемых в проекте, определяется необходимым комплексом теплофизических и механических свойств самого материала, а также применяемыми технологиями его обработки. Техническими требованиями к свойствам материала теплоотводящих изделий, регламентируются: объёмное содержание Al и SiC в композите, плотность материала, коэффициент термического расширения (КТР), теплоемкость, теплопроводность, модуль упругости, прочность при изгибе, прочность на растяжение.

Исследуемые образцы ММКМ AlSiC были получены в ФГУП «ВИАМ» с использованием технологии вакуумно-компрессионной пропитки.

Исследования структуры образцов ММКМ AlSiC проводились методами оптической и растровой электронной микроскопии. В результате проведенных исследований установлено, что применяемая технология позволяет получать однородный по своей структуре металломатричный материал, характеризующийся высокой адгезией между матричным сплавом и частицами наполнителем.

Экспериментально подтверждено, что заданное сочетание теплофизических и механических характеристик ММКМ AlSiC определяется гранулометрическим составом наполнителя, составом матричного сплава, объемной долей частиц наполнителя в композите и степенью однородности их распределения в матрице композиционного материала.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССОВ СТАРЕНИЯ НА ЗАРОЖДЕНИЕ СТРЕСС-КОРРОЗИОННЫХ ТРЕЩИН

*Е.Н. Бутусова, Д.Н. Котков, А.В. Нохрин, В.Н. Чувильдеев  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Н. Новгород*

В процессе длительной эксплуатации происходит изменение структуры, механических и эксплуатационных свойств сталей, что оказывает существенное влияние на надежность и ресурс безопасной работы металлоконструкций. Однако традиционные методики оценки технического состояния (основанные, в первую очередь, на результатах стандартных механических испытаний и подходах линейной механики разрушения) данные изменения не учитывают, что не позволяет провести достоверную оценку технического состояния длительно эксплуатирующихся металлоконструкций, к которым, в первую очередь, относятся магистральные нефте- и газопроводы.

Старение стали – процесс, заключающийся в диффузионном движении атомов углерода, растворенных в ферритной матрице, к дефектам решетки – дислокациям и границам зерен и выделению на них частиц карбидов. Старение сталей обусловлено термодинамической неравновесностью исходного состояния и постепенным приближением структуры к равновесному состоянию в условиях достаточной диффузионной подвижности атомов углерода. В результате старения снижается стойкость сталей к коррозионному и стресс-коррозионному разрушению, повышается склонность сталей к зарождению и росту хрупких трещин и т.д. Таким образом, в связи с повышением требований к надежности металлоконструкций и обеспечению их коррозионно-усталостной прочности в течение длительного срока эксплуатации необходима разработка и внедрение новых подходов и методик оценки состояния металла.

В качестве объектов исследования выступали образцы строительных сталей, структура которых была сформирована методами горячей прокатки, нормализации и контролируемой прокатки. Для проведения исследований отбирались стали, имеющие одинаковый химический состав и одинаковые стандартные параметры феррито-перлитной структуры (размер зерна, балл феррито-перлитной полосчатости, загрязненность по неметаллическим включениям). Структурное состояние сталей варьировалось путем изменения объемной доли частиц карбидов (цементита), выделившихся по границам зерен феррита. Исследовались стали с малой объемной долей выделившихся частиц карбидов (состояние  $S_1$ ), а также стали с интенсивным выделением карбидной фазы ( $S_2$ ), в которых большая часть границ зерен была занята выделившимися частицами карбидов. Максимальная объемная доля выделившихся частиц не превышала 1%.

Коррозионно-усталостные испытания проводилось по схеме “консольный изгиб” на образцах  $7.5 \times 10 \times 60$  мм с V-образным

концентратором глубиной 0.5 мм и радиусом закругления 0.25 мм. В качестве рабочей среды использовался 3%-ный водный раствор NaCl. Испытания проводились в интервале амплитуд напряжений до предела текучести при частоте 50 Гц. В ходе эксперимента фиксировалась зависимость средней длины трещины от числа циклов нагружения  $L(N)$  при различных амплитудах напряжений ( $\sigma_a$ ), а также число циклов до зарождения трещины ( $N_0$ ) и до разрушения образца ( $N^*$ ). На основе полученных результатов рассчитывались зависимости линейной скорости роста трещины от напряжения в вершине концентратора  $V_{тр}(\sigma)$ . Испытывались образцы с

Проведенные экспериментальные исследования показывают, что одним из ключевых структурных факторов, определяющих склонность стали к зарождению стресс-коррозионных трещин, является наличие, размер и объемная доля карбидов (цементита), выделившихся по границам зерен феррита в процессе старения стали при ее длительной эксплуатации. Отмечено, что сталь в исходном (несостаренном) состоянии оказывается более стойкой к зарождению и развитию стресс-коррозионных трещин, в то время как в состаренной стали время до появления стресс-коррозии существенно снижается.

Для объяснения наблюдаемых зависимостей предложена физическая модель зарождения стресс-коррозионной трещины. На основе разработанной модели проведен анализ влияния структурных факторов (объемной доли и размера частиц карбидов) на параметры  $\tau_{инк}$  и  $N_0$ . Результаты расчетов сопоставлены с экспериментальными данными.

Работа выполнена при поддержке Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг., а также Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (программа «У.М.Н.И.К.»).

## СВЯЗЕОБРАЗОВАНИЕ В МИНЕРАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Н.В. Сысоева, В.В. Коваленко, В.К. Дубовый, А.И. Безлаковский  
*Северный (Арктический) федеральный университет, г. Архангельск*

В век высоких технологий все большее внимание в мире уделяется разработке и внедрению композиционных материалов, обладающих уникальными свойствами. Среди композитов, востребованных на рынке, особое место занимают минерально-волокнистые материалы, в силу своей высокой хемостойкости, впитываемости и сорбционной емкости.

Индивидуальные минеральные волокна обладают слабыми силами межволоконных связей [1], поэтому в ходе исследования в качестве связующего использовались полигидроксокомплексы алюминия – продукты гидролиза сульфата алюминия. Их прочность при растяжении определялась после их осаждения из раствора сернокислого алюминия при разных рН и высушивания между двумя стеклами при температуре 105 °С, результаты представлены на рисунке 1. Влияние температуры сушки на прочность полиядерных комплексов алюминия оценивались при значениях рН, близких к максимуму, рисунок 2. Температура варьировалась от комнатной до 105 °С (температуры испарения свободной воды).

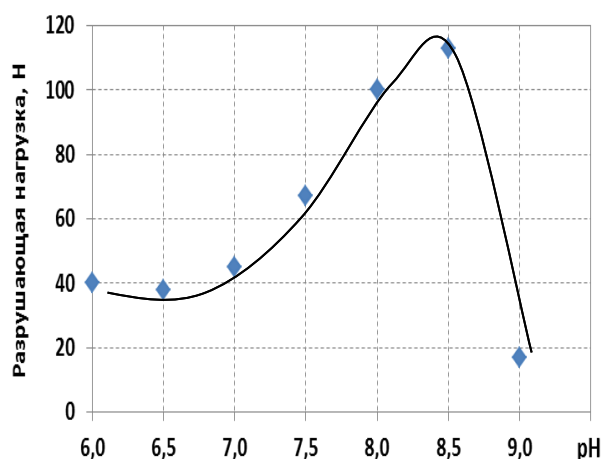


Рисунок 1 – Зависимость прочности при растяжении комплексов от рН среды (Т<sub>сушки</sub>=105 °С)

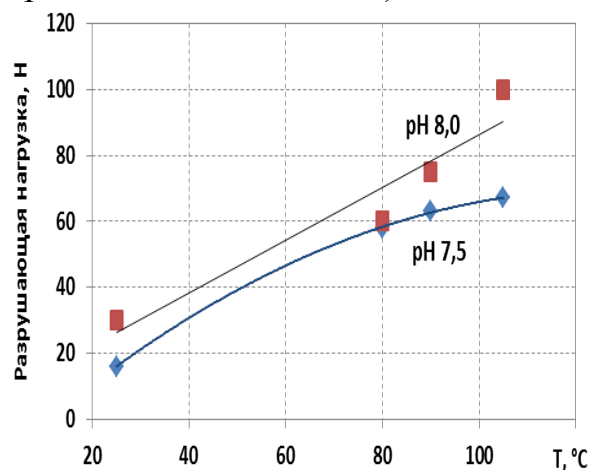


Рисунок 2 – Зависимость прочности комплексов алюминия от температуры сушки

По полученным результатам были сделаны следующие выводы:

1) полиядерные комплексы алюминия, осажденные в диапазоне рН 8,0...8,5, обладают максимальной прочностью и степенью гидратации, что в свою очередь определяет их повышенную способность к связеобразованию к минеральным волокнам;

2) для достижения наилучших результатов температура комплексов в процессе сушки должна быть не менее 90 °С.

1. Дубовый, В.К. Фильтровальные материалы на основе минеральных волокон для сверхтонкой очистки газоздушных сред [Текст]: диссертация на соискание ученой степени кандидата технической наук / В.К. Дубовый - Л.: ЛТА, 1998. - 161с.

## СИНТЕЗ СУБМИКРОННЫХ ПОРОШКОВ ФТОРИДОВ $\text{NaYF}_4:\text{Yb}:\text{R}$ ( $\text{R} - \text{PЗЭ}$ ).

Д.С. Лось<sup>1</sup>, С.В. Кузнецов<sup>1</sup>, П.П. Федоров<sup>1</sup>, Г.В. Зимина<sup>2</sup>, В.В. Воронов<sup>1</sup>,  
Р.П. Ермаков<sup>1</sup>, В.В. Осико<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Учреждение Российской академии наук*

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

<sup>2</sup>*Московская государственная академия тонкой  
химической технологии им.М.В. Ломоносова*

Создание композитных субмикронных порошков фторидов является перспективным направлением в биомедицине для диагностики и терапии рака, для источников белого света и при создании 3D дисплеев. В качестве таких материалов можно использовать люминофоры с высокой эффективностью преобразования ИК света в видимый по механизму ап-конверсии. Среди известных материалов наиболее перспективным является  $\text{NaYF}_4$ , солегированный ионами Yb-Er, Yb-Tm и Yb-No. Эффективность ап-конверсии гексагональной модификации  $\text{NaYF}_4$  в несколько раз выше, чем у кубической модификации. В связи с этим целью данной работы было определение условий синтеза гексагональной ( $\text{Na}_{3x}\text{R}_{2-x}\text{F}_6$ ) и кубической ( $\text{Na}_{0.5-x}\text{Y}_{0.5+x}\text{F}_{2+2x}$ ) фаз в системе  $\text{NaF}-\text{YF}_3$ .

Существуют различные методы синтеза субмикронных порошков фторидов [1]. В работе использовался метод соосаждения из водных растворов, подробно описанный в [2]. В ряде синтезов для предотвращения агломерации использовали добавки полиэтиленимина.

В работе исследовали влияние изменения концентраций исходных растворов, соотношения Na:R, порядка смешения растворов и ПАВ на фазовый состав порошков.

Было установлено, что осаждаются однофазные порошки кубической флюоритоподобной фазы, а также двухфазные образцы, содержащие кубическую и гексагональную фазы. При использовании полиэтиленимина определены условия синтеза однофазных образцов как кубической, так и гексагональной фаз.

1. Кузнецов С.В., Осико В.В., Ткаченко Е.А., Федоров П.П. Неорганические нанофториды и нанокомпозиты на их основе. // Успехи химии. 2006. Т.75. №12. 1193-1211.

2. Федоров П.П., Кузнецов С.В., Воронов В.В., Яроцкая И.В., Арбенина В.В. Синтез порошка  $\text{NaYF}_4$  методом мягкой химии. // Ж. неорганич. химии. 2008. Т. 53. № 11. С.1802-1806.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗА ПОРОШКОВ ФТОРИДОВ В СИСТЕМАХ $\text{BaF}_2\text{-RF}_3$ ( $\text{R} = \text{Y, Bi}$ )

М.Н. Маякова, С.В. Кузнецов, П.П. Федоров, В.В. Воронов,  
Р.П. Ермаков, В.В. Осико

*Учреждение Российской Академии наук  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН. Москва.*

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

Исследования системы  $\text{BaF}_2\text{-BiF}_3$  показали, что при переходе на наноуровень имеет место гидролиз фторида висмута, что не наблюдалось ранее для объёмных образцов. Образец с номинальным составом  $\text{BiF}_3$  по данным EDX содержит значительное количество кислорода. Однако, гидролиз проходит только в образцах с содержанием фторида висмута в исходном растворе более 43 мол.%. В интервале от 35 до 43 мол.% фторида висмута в исходном растворе получены однофазные бескислородные порошки. По данным EDX состав образца с содержанием фторида висмута в исходном растворе 40 мол.% соответствует формуле  $\text{BaBiF}_5$ . Анализ СЭМ и ПЭМ изображений, полученных для образца номинального состава  $\text{Ba}_4\text{Bi}_3\text{F}_{17}$ , приводит к выводу о реализации механизма роста монокристаллов путём агломерации наночастиц.

В системе  $\text{BaF}_2\text{-YF}_3$  фазообразование проходит аналогично, за исключением гидролиза образцов, содержащих более 50 мол.% фторида иттрия в растворе. Однофазные бескислородные порошки получены в интервале от 30 до 80 мол.% фторида иттрия в растворе. Флюоритовые образцы, осажденные из раствора с содержанием фторида иттрия 50-75 мол.%, по-видимому, соответствуют структурному типу  $\text{KY}_3\text{F}_{10}$  и состоят из кластеров  $\text{Y}_6\text{F}_{36}$ , без прослоек флюоритовой матрицы. Другой тип кластеров  $\text{Y}_6\text{F}_{32}$  является структурной единицей соединения  $(\text{H}_3\text{O})\text{Y}_3\text{F}_{10}\cdot\text{H}_2\text{O}$ , полученного в образцах содержащих более 75 мол.% фторида иттрия в исходном растворе. EDX показал высокое соответствие номинального состава с составом полученных порошков: для образца с содержанием фторида иттрия в исходном растворе 60 мол.% — 55 мол.% и при содержании фторида иттрия в исходном растворе 95 мол.% — 94 мол.%.

# ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИОНОВ Eu В ЛЮМИНОФОРАХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РЕНТЕГНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Д.А. Салкин, А.М. Зюзин, А.М. Грязнов

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

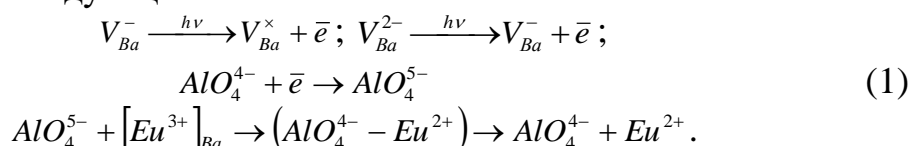
В настоящей работе методом ЭПР исследовалось изменение состояния ионов европия под воздействием рентгеновского излучения на примере широко используемого люминофора  $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}:\text{Eu}^{2+}$ .

Образцы облучались в течение 30 мин характеристическим рентгеновским излучением медной трубки ( $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ ) рентгеновского дифрактометра ДРОН-2. Спектры ЭПР облученных образцов записывались сразу и через 1, 6, 12, 24, 50, 100, 200, 300 часов, что позволило оценить степень обратимости процессов в кристаллической структуре люминофора, происходящих в результате радиационного воздействия.

Предполагается, что одна из наиболее вероятных причин появления новых линий в спектре ЭПР облученного люминофора связана с ионами  $\text{Eu}^{2+}$ . Сложная структура спектра представляется как суперпозиция двух групп состоящих из шести линий сверхтонкой структуры, обусловленной магнитодипольным электрон-ядерным взаимодействием. Анализ спектров ЭПР показал, что постоянная сверхтонкой структуры для изотопа  $^{151}\text{Eu}$   $A \approx 34 \text{ Гс}$ , а для изотопа  $^{153}\text{Eu}$   $A \approx 15 \text{ Гс}$ .

Поскольку при синтезе люминофора  $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}:\text{Eu}^{2+}$  европий в шихту обычно добавляется в виде оксида  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ , то часть ионов европия при синтезе может не восстанавливаться и оставаться в трехвалентном состоянии [1]. В этом случае при воздействии рентгеновского излучения на люминофор происходит следующее. После поглощения люминофором фотона рентгеновского излучения ион  $\text{Eu}^{3+}$  переходит из основного состояния  $^7F_0$  в состояние переноса заряда [ $\text{Eu}^{3+} \leftarrow \text{O}^{2-}$ ]. Затем электроны освобожденные с вакансий в результате действия рентгеновского излучения и захваченные анионными группами  $(\text{AlO}_4)^{4-}$ , переходят к иону  $\text{Eu}^{3+}$ . При этом образуется ион  $\text{Eu}^{2+}$ , который будет находиться в метастабильном состоянии. Далее через некоторое время  $\text{Eu}^{2+}$  из метастабильного состояния либо релаксирует в основное состояние, либо за счет тепловой энергии происходит обратный процесс переноса электрона, то есть наблюдается ионизация европия  $\text{Eu}^{2+} \rightarrow \text{Eu}^{3+}$ .

В целом весь восстановительный процесс  $\text{Eu}^{3+} \rightarrow \text{Eu}^{2+}$  можно представить в виде следующей схемы:



Таким образом, установлено, что под действием рентгеновского излучения возможно изменение состояния ионов европия в люминофоре.

1. Peng Mingying, Hong Guangyan. J. Lumin. **127**, 735 (2007).

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ КОНТАКТНЫХ СТРУКТУР НА КРЕМНИИ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННОЙ МИКРОСКОПИИ И СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

В.П. Мишкин<sup>1</sup>, А.В. Гришанин<sup>2</sup>, В.А. Мартыненко<sup>2</sup>, К.Н. Нищев<sup>1</sup>,  
Е.Н. Ускова<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>*ОАО «Электровыпрямитель», Саранск*

Конструкции силовых полупроводниковых приборов включают в себя полупроводниковый кристалл со сформированными в нём активными областями и конструктивные элементы, обеспечивающие функции подключения прибора к источникам тока, отвода тепла и др. Неразъемные контактные соединения обеспечивают надежность и высокую воспроизводимость параметров приборов. Современным методом создания контактных систем в полупроводниковых приборах является низкотемпературное спекание (Low-Temperature Joint Technique) с применением серебрясодержащих паст. Данная технология применяется при создании контактов: дискретных силовых биполярных ключей, таких как тиристоры и диоды на основе кремния; активных элементов СПП модульных конструкций, в том числе и IGBT; силовых приборов на основе широкозонных материалов (SiC, GaN); интегральных микросхем. Эта технология базируется на спекании микро- или нано-размерных частиц серебра. Соединяемые поверхности при этом должны быть покрыты металлом без окисла, типа золота или серебра.

В настоящей работе с использованием растрового электронного микроскопа Quanta 200 i 3D FEI и сканирующего зондового микроскопа SPM 9600 SHIMADZU исследовались тонкоплёночные контактные структуры, напыленные на подложке кремния Si.

Изучены морфология и структурные особенности поверхности исследуемых контактных структур. С использованием функции сфокусированного ионного пучка для формирования торцевых срезов определена толщина структур на подложке Si. Методом химического селективного травления выявлена слоистая структура нанесенных плёнок (рис.1). С использованием функции энергодисперсионного рентгеновского микроанализа послойно определен их элементный состав. Методом СЗМ определена толщина поверхностной плёнки серебра на поверхности структуры, подвергнутой селективному химическому травлению (рис.2).

Результаты проведенных экспериментов свидетельствуют об эффективности совместного использования методов РЭМ, СЗМ и химического селективного травления для исследования тонкоплёночных контактных структур на кремнии.



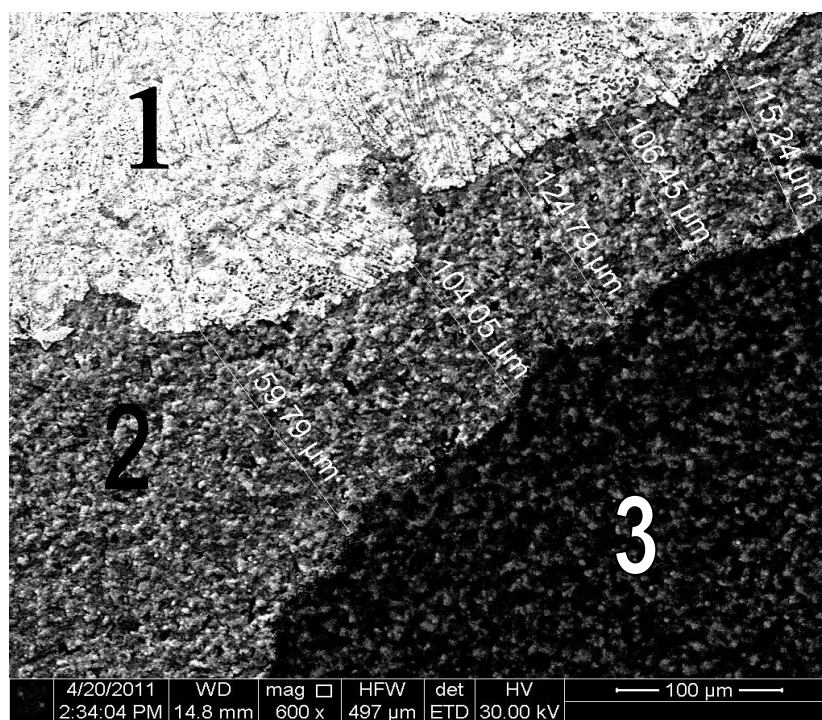


Рис. 1. РЭМ-изображение поверхности тонкоплёночной структуры после селективного химического травления. Увеличение 600х, ускоряющее напряжение 30 кВ.

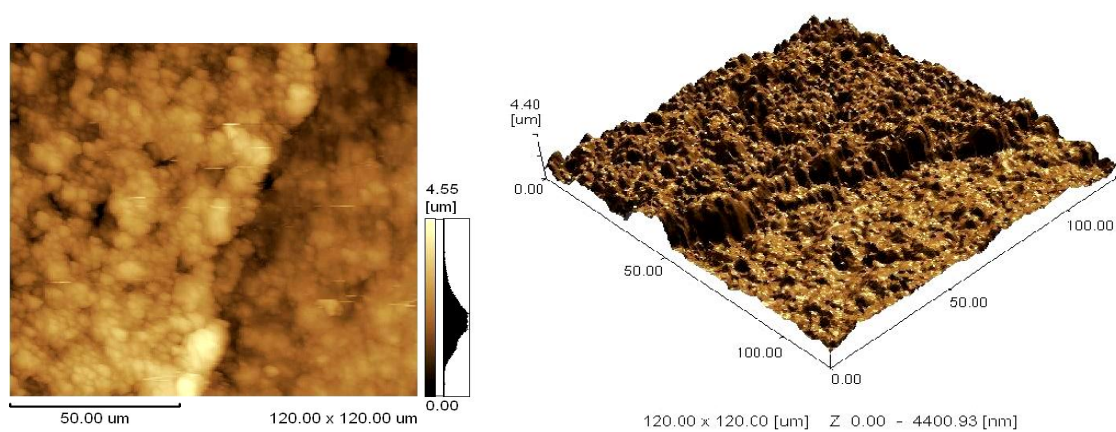


Рис. 2. СЗМ-изображения поверхностного слоя контактной структуры, полученные в режиме силовой модуляции. Размер скана 120×120 мкм.

# ВОЗБУЖДЕНИЕ СПЕКТРОВ СВР В ПЛЁНКАХ С ОРТОРОМБИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПИЕЙ

М.А. Бакулин, А.М. Зюзин, В.В. Радайкин

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

Для возбуждения спин-волнового резонанса (СВР) в магнитной плёнке необходимо закрепление спинов на одной или обеих границах слоя возбуждения. В плёнках обладающих орторомбической анизотропией может возникнуть механизм закрепления сущность которого заключается в следующем. В случае, когда поле  $\vec{H}$  не совпадает с осью анизотропии, при возбуждении резонансной прецессии движение конца вектора  $\vec{M}$  совершается по эллиптической траектории. Но так как орторомбическая анизотропия в слоях имеет разный знак, то эллипсы повернуты на  $90^\circ$ . В этом случае возникновение резонансной прецессии возможно только в том случае, когда узел спиновой волны располагается на границе слоев. Таким образом, может возникнуть закрепление спинов на границе слоев плёнки.

В работе проведён расчёт влияния эллиптичности прецессии вектора намагниченности закрепление спинов в двухслойных плёнках обладающих орторомбической анизотропией. При расчёте учитывался тот факт, что в слоях возникают спиновые волны правой и левой поляризации, причём при отсутствии затухания правополяризованные волны имеют гармонический вид, а левополяризованные – экспоненциально убывающий от границ слоев.

$$\begin{aligned}\vec{m}_1 &= \vec{m}_{11}^l e^{\lambda_1 z} + \vec{m}_{12}^l e^{-\lambda_1 z} + \vec{m}_{13}^r e^{ik_1 z} + \vec{m}_{14}^r e^{-ik_1 z} \\ \vec{m}_2 &= \vec{m}_{21}^l e^{\lambda_2 z} + \vec{m}_{22}^l e^{-\lambda_2 z} + \vec{m}_{23}^r e^{ik_2 z} + \vec{m}_{24}^r e^{-ik_2 z}\end{aligned}$$

где символами «г» и «л» – обозначены амплитуды право и левополяризованных спиновых волн,  $\lambda_i$  и  $k_i$  – постоянные распространения и волновые числа спиновых волн в слоях ( $i=1,2$ ). Для расчёта использовались обменные граничные условия и дисперсионные соотношения.

Данный механизм закрепления спинов проявляется в чистом виде только при равенстве резонансных полей в разных слоях. При других условиях рассмотренный механизм будет выступать добавочным к другим механизмам закрепления спинов.

- В работе показано, что в двухслойной плёнке с орторомбической анизотропией возможно возбуждение СВР, обусловленного рассмотренным выше механизмом закрепления спинов.

- Увеличение эллиптичности прецессии приводит к увеличению степени закрепления спинов на границе слоев, как в случае различных полей однородного резонанса, так и при их равенстве.

# **ЛАЗЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

## ЛАЗЕРНЫЙ TERS-МИКРОСКОП БЛИЖНЕГО ПОЛЯ С ЗОНДОМ ИЗ УГЛЕРОДНОЙ НАНОТРУБКИ

Колеров А.Н., Онищенко Д.В.

*Московский институт электронной техники, Москва*

В литературе описаны способы получения углеродных наноматериалов (УНМ) с разнообразной архитектурой и методы исследований их характеристик [1]. Однако основные данные о наноматериалах становятся известными, только по завершению процедуры их термического синтеза и проведения трудоемких исследований. Нет ссылок на литературные источники, в которых была бы приведена процедура измерения (определение) основных метрических 2D-характеристик углеродных наноматериалов в режиме реального времени при проведении процедуры их синтеза. Термический синтез УНМ в плазме электродугового разряда, в лазерном светозерозионном факеле и их получение методом CVD известны и широко применяются на практике. Для исследования УНМ широко применяются бесконтактные методы, приведенные в работе [1].

К оптическим методам контроля характеристик гетерогенной плазмы, с помощью которой осуществляется процедура термического синтеза УНМ, можно отнести: внутрирезонаторная лазерная спектроскопия и интерферометрия, позволяющие регистрировать параметры действительной и мнимой частей коэффициента преломления изучаемых сред. Аппаратура, основанная на этих методах, позволяет регистрировать оптические характеристики плазменных объектов и синтезируемых в них УНМ с хорошим быстродействием, чувствительностью и спектральным разрешением в широком интервале длин волн. Определение 2D-структур УНМ осуществляется при использовании методов зондовой микроскопии в сочетании с лазерной интерферометрией и оптической лазерной спектроскопией. Поэтому разработка методов и создание измерительных приборов для диагностики углеродных объектов (нанометровой протяженности) носит приоритетный характер. Целью настоящего сообщения служило рассмотрение возможностей перспективных методов оптической лазерной микроскопии, используемых при диагностике УНМ и приведение результатов, полученных нами с помощью новых лазерных средств, измерений 2D-характеристик углеродных наноматериалов в режиме реального времени.

Для нанообъектов необходимо применение средств измерений и систем регистрации, позволяющих получать оптимально возможную 2D-информацию об исследуемых средах. Изучение УНМ, с использованием традиционных методов и измерительных средств оптического диапазона, не гарантирует полноты получения информации в необходимом объеме и надлежащего качества. Определение 2D-характеристик объектов требует локализации энергии светового источника, поле которого должно быть соизмеримо с размерами изучаемых объектов в зоне их взаимодействия

(нанооптика). При этом необходимо, чтобы источник излучения находился вблизи поверхности изучаемого объекта на близком (нанометровом) расстоянии. Тогда сканирование источника излучения, относительно нанообъекта (или наоборот), позволит регистрировать структуру его поверхности, либо характер взаимодействия источника излучения с исследуемым веществом.

Для локализации поля излучения, раньше использовалась процедура освещения внешним источником малого отверстия в металлическом экране (или использование сужающегося световолоконного волновода [2]), а проникающее через него излучение, (игольчатый источник света) использовалось для облучения изучаемого нанообъекта, находящегося вблизи отверстия в ближней зоне. Изготовление игольчатых источников излучения для микроскопии процедура дорогостоящая и требует значительных усилий. Прогресс в этой области позволил добиться создания высоко разрешающих микроскопов, а само это направление получило название оптической сканирующей микроскопии ближнего поля (*Scanning near-field Optical Microscopy-SNOM*) [2]. Пространственное разрешение *SNOM*-микроскопов достигает десятков нанометров и ограничивается только трудностями проникновения света через игольчатое отверстие связи. Модернизация *SNOM*-микроскопии стала возможной с появлением безапертурной микроскопии ближнего поля (*ASNOM*) [2], в которой базовым элементом служит острое иглы (точечный источник света), на котором происходит рассеяние падающего на нее света внешнего лазерного источника и разделение ближнего и дальнего полей. Здесь ограничение пространственного разрешения задается радиусом кривизны острия самой иглы (размер вершины острия). Кроме ограничения размера источника излучения, альтернативным препятствием для улучшения пространственного разрешения, служило ограничение области взаимодействия источника излучения с наноразмерным объектом. Поэтому, для увеличения разрешающей способности исследования нанообразцов, был использован безизлучательный механизм резонансной передачи электромагнитной энергии от лазерного источника (донор) к изучаемому объекту (акцептор) за счет диполь-дипольного (Ферстеровского) взаимодействия с последующей регистрацией характеристик сигнала флуоресценции [2]. В этом случае влияние ограничивающего дифракционного механизма минимально, а разрешение микроскопии может достигать 0.5-5 нм. Этот метод получил название *Tip Enhanced Raman Scattering (TERS)* [2-3].

Для снижения (практическое исключение) дифракционного влияния, ограничивающего разрешение микроскопа, стали использовать оптические сканирующие микроскопы ближнего поля (ОСМБП) [2-3]. Их преимущество состоит в том, что для них предел пространственного разрешения значительно меньше длины волны используемого светового (лазерного) источника. Сейчас ОСМБП является быстро развивающейся

областью современной нанооптики, что позволило достичь разрешения - сотые доли (и менее) от длины волны используемого светового источника. Такие приборы относятся к сложным средствам измерений, однако получаемая с их помощью информация об УНМ уникальна.

Для успешного решения вопросов локализации светового источника и области его взаимодействия с исследуемым нанообъектом необходимо и достаточно решить две, взаимно дополняющие, задачи:

1. создание энергетического дипольного (флуоресценного) источника излучения с локальными характеристиками поля (торец световолоконного волновода, «игольчатый зонд» - игла в виде металлического острия или одностенная углеродная нанотрубка (УНТ) с острием, обладающей максимально возможной кривизной вершины),

2. оптимизировать условия локализации области взаимодействия «донор-акцептор» для осуществления эффективного диполь-дипольного (Ферстеровского) взаимодействия системы «зонда-мишень-лазерный пучок излучения», улучшающий пространственное и частотное разрешение ОСМБП.

В [4] показано, что интенсивность ближнего поля потока лазерного излучения экспоненциально ослабевает при удалении от вершины острия зонда (торец световолоконного волновода). Для ОСМБП в [4] использовано торцовое острие диэлектрического волновода (лазерное кварцевое световолокно). Однако чрезмерное сужение размеров выходной апертуры световолокна может приводить к волновому ограничению за счет полного внутреннего отражения от критической точки (находящейся в области максимального сужения) используемого световолокна. При этом интенсивность ближнего поля (вблизи выходной апертуры световолокна), определяющая энергию, которая может быть зафиксирована приемником, становится исчезающе малой величиной ( $\sim 10^{-4} \div 10^{-6}$  от интенсивности светового потока на входе световолокна). Поэтому регистрация полезного сигнала для интерпретации полученных результатов подчас затруднена. Применение волноводного точечного источника излучения позволило авторам [4] упростить техническое исполнение ОСМБП и получить приемлемое пространственное разрешение ( $\geq 10$  нм). При сканировании выходной апертуры световолокна, представляющего собой активную среду волноводного лазера, регистрация структуры поверхности (частиц на ее поверхности) может осуществляться как по резонансному возбуждению флуоресценции атомов (молекул) на поверхности, так и по срыву генерации лазера на частотах поглощения анализируемых атомов (или молекул) на исследуемой поверхности. При работе лазера вблизи порога генерации чувствительность обнаружения изменения потерь может достигать значительных величин, теоретически она лимитируется только уровнем спонтанного шума генерации лазера. Это означает, что может быть зарегистрирована малая величина изменения потерь, которая эквивалентна поглощению света на отдельной молекуле или атоме. Для такой процедуры

измерений достигаемая чувствительность будет определяться уровнем стабильности интенсивности его излучения (что лимитирует его практическое применение). В противном случае полезный сигнал будет носить пульсирующий, не стабильный, характер. (точность определения измеряемого параметра будет искажаться и будет не достоверной).

В [5] приведен пример ОСМБП (рис.1, 2) работающий за счет резонансного диполь-дипольного (Ферстеровского) преобразования энергии лазерного излучения и передачи светового возбуждения от донора (игольчатый зонд) к акцептору (изучаемый образец) с последующим наблюдением и регистрацией сигнала флуоресценции, характеризующего 2D-структуру изучаемого нанобъекта.



Рис.1. Схема работы ОСМБП.

Основным элементом ОСМБП служит «нанозонд» из УНТ, формирующийся в результате термического синтеза в гетерогенной плазме ионизированного углерода. На острие УНТ осуществляется резонансный механизм Ферстеровского преобразования энергии перестраиваемого лазерного излучения с дальнейшей передачей ее нанобъекту. Интенсивность флуоресцентного излучения, образующегося на острие зонда (за счет взаимодействия лазерного излучения с УНТ), усиливалась резонансным эффектом гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) [3,5-6]. Этот эффект используется в спектроскопии ГКР за счет аномального усиления электромагнитного поля около острия иглы, способствующего освещению поверхности исследуемого образца, локализованного вблизи острия нанозонда.

В [5-6] описаны примеры созданной лазерной аппаратуры с помощью которой исследовались спектры эмиссии и поглощения гетерогенных плазмообразований, в которых осуществлялся термический синтез УНМ (плазма электрической дуги или светоэрозионный лазерный факел). В этих работах приведена характерная связь между процессом термического синтеза УНТ в плазме и спектрами ГКР. Для экспериментов использовалась установка, состоящая из внутриврезонаторного лазерного

спектроанализатора, работающего на лазерном кристалле ГСГГ:Cr<sup>3+</sup> ( $\lambda \sim 730-790$  нм - или других средах перестраиваемых лазеров), внутрь резонатора которого помещалась исследуемая плазма с синтезируемой в ней УНМ. Для идентификации спектров использовался высокоразрешающий оптический полихроматор, обладающий характеристиками: дисперсия  $D \sim 0,01-0,5$  нм/мм (зависит от спектрального интервала) и разрешение  $R \sim 10^6$ . Регистрация спектров осуществлялась на фотопленку И-810 или при использовании цифрового многоканального (до 24000 каналов) цифрового фоторегистратора на базе ПЗС-линеек, управляемого с помощью ПК [7]. На созданной установке проведены исследования спектров поглощения и эмиссии УНМ, синтезируемых в плазме. Сфотографированные фрагменты зафиксированных спектров изображены на рис.3.

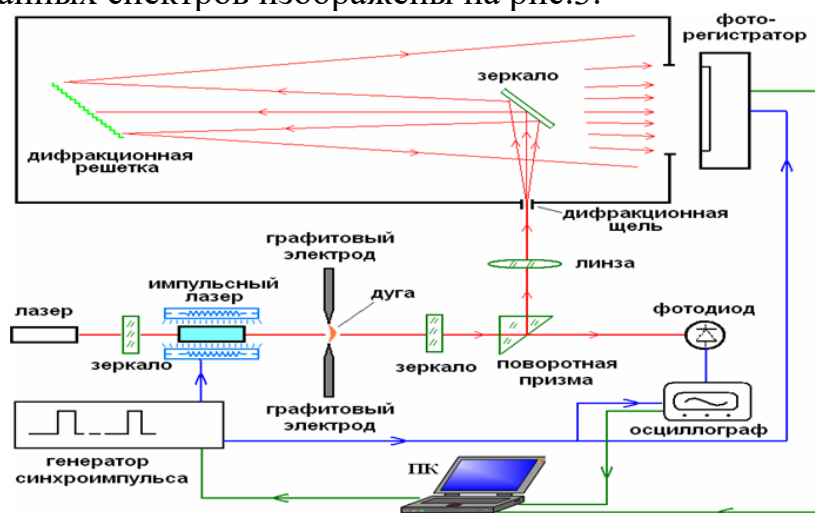


Рис.2. Блок-схема работы измерительной установки с ОСМБП, цифровой системой регистрации спектров и плазменным генератором.

Были зафиксированы интенсивные эмиссионные линии ( $\lambda \sim 785.53$  нм) и их тонкая структура (область линии  $\lambda \sim 783,33$  нм). Их идентификация, осуществленная при помощи созданного ОСМБП, позволила (впервые) зафиксировать в спектрах наличие и особенности 2D-структур УНТ во время их термического синтеза в режиме реального времени [5-6]. Т.е. регистрировалось изображение торцов одностенных и многостенных УНТ, что позволило использовать созданную аппаратуру для оценки качества процесса термического синтеза УНТ в режиме реального времени. Спектры, (и тонкая структура их линий), изображенные на рис.3 отнесены к процессу роста стенок во время синтеза УНТ в плазме. Они локально освещаются (дипольным) флуоресцентным излучением ГКР, создаваемого при участии острия УНТ и регистрируются фотопленкой (или фотоприемниками ПЗС-линеек) после высокоразрешающего полихроматора. Обработка спектров (рис.3, фрагменты **a-d**) позволила оценить расстояния между зарегистрированными линиями ГКР (0.09-0.29 нм для разных опытов) и оценить достигнутое пространственное разрешение ( $\sim 0,1$  нм), которое превышает аналогичные значения для всех известных ОСМБП.



Основные спектральные данные, приведенные в этом сообщении, получены съемкой на фотопленку. Но для изучения 2D-структур УНМ было необходимо иметь экспрессную систему регистрации получаемых данных для проведения исследований их характеристик и определения статистических данных. Речь идет о проведении исследований в режиме реального времени, задаваемого длительностью импульса перестраиваемого лазерного источника (**<100 мкс**) и импульсом светового воздействия силового неодимового лазера на углеродную мишень (**<1-2 мс**), используемого для создания светоэрозионного лазерного факела, в плазме которого осуществляется процесс термического синтеза УНМ.

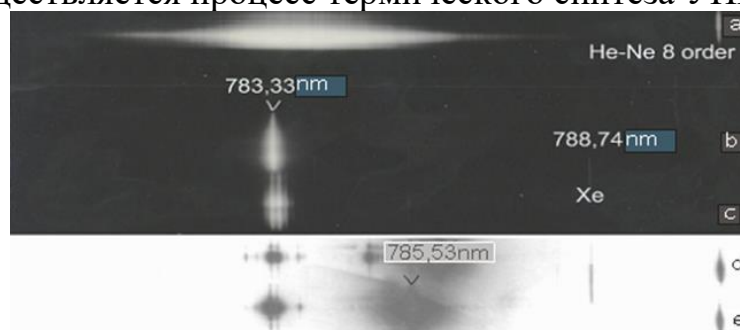


Рис.3.Зарегистрированные спектры при изучении процесса термического синтеза УНМ в гетерогенной плазме.

Для реализации условия термический синтеза УНМ в «режиме реального времени», был создан и опробован многоканальный цифровой фоторегистратор спектров [7], который позволял снимать спектры в реальном масштабе времени во время осуществления процедуры термического синтеза УНМ, что значительно ускорило и упростило процесс регистрации спектральных данных и их обработку с использованием ПК.



Рис.4. Система многоканальной цифровой регистрации спектров.

На рис.4 приведено изображение малогабаритной системы (без полихроматора) регистрации оптических сигналов и ее управление с помощью ПК. Элементы регистрации совмещены с внутррезонаторным

лазерным спектроанализатором и высокочувствительным полихроматором, а также сервисными приборами, выполняющих функции синхронизации всех процессов в заданные отрезки времени.

В ходе тестирования работы фоторегистратора подключенного к ПК и совмещенного с полихроматором, исследовано получение его оптимальной дисперсии (см. рис.5). При ее достижении, осуществлена регистрация различных эмиссионных спектров используемых для калибровки спектральной шкалы полихроматора. Основные характеристики системы цифровой фоторегистрации спектров приведены в таблице 1.

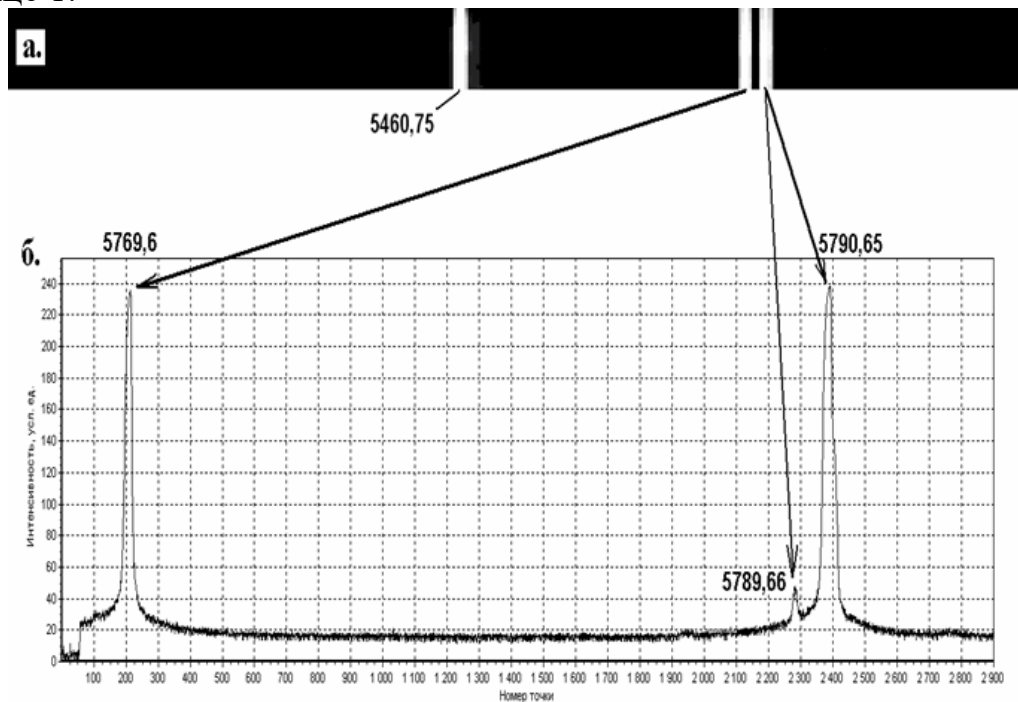


Рис.5. Пример калибровочного эмиссионного спектра желтого дублета ртути снятого:  
а. фотографическим методом,  
б. многоканальным цифровым фоторегистратором

Полученные в работе результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Изучена, проанализирована и реализована возможность создания лазерного высокочувствительного оптического сканирующего микроскопа ближнего поля с одностенной углеродной нанотрубкой в качестве зонда, и с его помощью проведена диагностика плазменных сред (в режиме реального времени), в которых синтезируются УНМ.

2. Зарегистрированы оптические спектры (и их тонкая структура), обусловленные процессом термического синтеза УНМ в плазме и характеризующих их структуру, увеличено пространственное и частотное разрешение ОСМБП.

3. Создана малогабаритная система цифровой регистрации спектров, совмещенная с ПК и разработано ее программное обеспечение.

4. Создана действующая установка для изучения особенностей взаимодействия лазерного света с УНМ в режиме реального времени. Она может быть использована для разнообразных исследовательских и технологических задач.

Таблица 1. Характеристики фоторегистратора

	Параметр	Значение
1	Количество эффективных каналов ПЗС	24000
2	Расстояние между каналами	8 мкм
3	Длина фоточувствительной области	180 мм
4	Скорость съемки в синхронном режиме	100 снимков/с
5	Скорость съемки в непрерывном режиме	4 снимка/с
6	Чувствительность фотоприемной матрицы	от $10^{-3}$ до $10^3$ люкс
7	Время экспозиции	от 5.2 мкс до 1 с
8	Спектральное разрешение	до 0,01 Å/канал
9	Напряжение питания	5 В (от USB)
10	Потребляемый ток прибором	270 мА

1. Харисс П. // Углеродные нанотрубки и родственные наноструктуры. Новые материалы 21 века, Техносфера, М. 2003. 335с.

2. Е. Образцова, И. Яминский // Наноиндустрия, 2008. №1. с.184.

3. Ченг Ч, Фуртак Т. // Гигантское комбинационное рассеяние, 1984, М. Мир. 407с.

4. Колесников А.А., Лозовик Ю.Е. и др., // Электронный научный журнал «Исследовано в России», 2010. с.611

5. Колеров А.Н. // ПЖТФ. 2011. №6. вып.37. с.33

6. Колеров А.Н., Онищенко Д.В. // Поверхность. 2011. N12. с.1-5

7. Колеров А.Н., Онищенко Д.В., Рухлов Д.С. // Известия ВУЗов. 2010. №6. с. 90

## ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ ГЛЮКОЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СЕНСОРЫ

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

<sup>1</sup>ФГУ НИИ физико-химической медицины ФМБА России

<sup>2</sup>Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва

Голографические сенсоры являются усовершенствованием давно известных денисюковских голограмм на основе фоточувствительных эмульсий бромида серебра [1] и представляют собой нанокompозитные материалы, состоящие из полимерной гидрогелевой пленки, в нанопорах которой размещаются наночастицы серебра, образующие периодические слои так, что при отражении белого света отражается только компонента излучения, резонансная периоду слоев. В пленку встроены вещества, обеспечивающие селективное взаимодействие с искомым компонентом анализируемой смеси, что приводит к набуханию или сжатию гидрогелевой матрицы. Результатом этого является изменение периода слоев, что приводит к изменению отражаемой длины волны, т.е. изменению цвета сенсора.

В качестве поддерживающей среды для фоточувствительных эмульсий использовали гидрогелевые матрицы на основе сополимеров акриламида с N-акрилоил-м-аминофенилборной кислотой и N-акрилоил-глюкозамин, сшитые N,N'-метилден-бис-акриламидом различного состава. Модельные растворы ( $1-20 \times 10^{-3}$  моль/л) глюкозы готовили в 0,01 М растворе глицина, содержащем 0,14 М NaCl. Голографический отклик сенсоров – изменение длины волны отраженного света при освещении широкополосным источником, при помещении сенсоров в растворы глюкозы контролировали малогабаритным оптоволоконным спектрометром FSD-8.

Область проявления отклика сенсоров зависит от длины волны лазера, используемого при записи голограмм (632,8 нм, 405 нм, 473 нм, 532 нм), и состава гидрогелевых матриц. Так для сенсоров, записанных с помощью He-Не лазера (632,8 нм) на основе сополимеров акриламида с аминофенилборной кислотой при увеличении содержания глюкозы длина волны отраженного света лежит в интервале 700-900 нм (в зависимости от степени сшивки), в то время как при использовании матриц, содержащих одновременно глюкозамин и аминофенилборную кислоту, отклик проявляется в видимой области спектра (450-700 нм). Сравнение различных сенсоров глюкозы позволяет выбрать наиболее перспективные системы как с точки зрения величины отклика на 1 ммоль глюкозы, так и области его проявления.

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

А.В. Крайский, В.А. Постников и др. Квантовая электроника, **40**, 178, (2010).

# СТРУКТУРА И СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ $\text{CaF}_2$ , АКТИВИРОВАННОЙ ИОНАМИ $\text{Tm}^{3+}$ , $\text{Ho}^{3+}$

Е.А. Гарибин<sup>1</sup>, А.А. Ляпин<sup>2</sup>, А.В. Малов<sup>2</sup>, В.В. Осико<sup>3</sup>, П.А. Рябочкина<sup>2</sup>,  
С.Н. Ушаков<sup>3</sup>, П.П. Федоров<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ЗАО «ИНКРОМ»

<sup>2</sup>НИ МГУ им. Н.П. Огарева, Саранск

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

Лазеры двухмикронного диапазона длин волн находят применение в медицине, лидарах, научных исследованиях. В обзоре [1] представлены спектрально-люминесцентные и генерационные характеристики кристаллов:  $\text{YAG:Tm}$ ,  $\text{YLF:Tm}$ ,  $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Tm}$ ,  $\text{Sc}_2\text{O}_3:\text{Tm}$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Tm}$ ,  $\text{LuAG:Tm}$ ,  $\text{YAlO}_3:\text{Tm}$ , которые являются лазерными средами для получения двухмикронной генерации.

Наряду с кристаллическими средами, в настоящее время в лазерной физике значительный научный интерес представляет оптическая керамика, активированная редкоземельными элементами. В работах [2,3] сообщается о результатах исследования спектрально-люминесцентных свойств керамик  $\text{Sc}_2\text{O}_3:\text{Tm}$  и  $\text{Sc}_2\text{O}_3:\text{Ho}$  с целью получения на их основе двухмикронной лазерной генерации.

В тоже время для лазерных применений представляет интерес фторидная оптическая керамика, активированная редкоземельными ионами [4-6]. В докладе представлены результаты исследования структуры керамик  $\text{CaF}_2\text{-TmF}_3$ ,  $\text{CaF}_2\text{-HoF}_3$ . Также приводятся результаты сравнительного анализа спектрально-люминесцентных и кинетических свойств керамик  $\text{CaF}_2\text{-TmF}_3$ ,  $\text{CaF}_2\text{-HoF}_3$  с аналогичными свойствами монокристаллов соответствующих составов.

Работа выполнена при финансовой поддержке федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (гос. контракт № 14.740.11.0071).

1. Bishnu Pal. *Frontiers in guided wave optics and optoelectronics*. - Croatia: INTECH, 2010. –pp. 674, ISBN 978-953-7619-82-4.

2. Spectroscopic properties of  $\text{Ho}^{3+}$  doped  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  transparent ceramic for laser materials/ С. Gheorghe, А. Lupei, L. Gheorghe, А. Ikesue// *Journal of applied physics*. – 2009. – 105 – 123110.

3. Intensity parameters of  $\text{Tm}^{3+}$  doped  $\text{Sc}_2\text{O}_3$  transparent ceramic laser material/ С. Gheorghe, А. Lupei А., V. Lupei et al//*Optical Materials* – 2011. – V. 33, I. 3.

4. П.П. Федоров, В.В. Осико, Т.Т. Басиев и др.// *Российские нанотехнологии*,-2007.-т.2 (5-6), № 95.

5. Наноструктура оптической фторидной керамики/ М.Ш. Акчурин, Р.В. Гайнутдинов, Е.А. Гарибин и др.// *Перспективные материалы*.-2010.-т.5, №1.

# СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХАНТИТОПОДОБНЫХ И КВАРЦЕВЫХ СТЕКОЛ, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ САМАРИЯ

Г.Е. Малашкевич<sup>1</sup>, В.Н. Сигаев<sup>2</sup>, Н.В. Голубев<sup>2</sup>, Е.Х. Мамаджанова<sup>2</sup>,  
Е.В. Пестряков<sup>3</sup>, А.А. Суходола<sup>1</sup>, И.И. Сергеев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова

Национальной академии наук Беларуси, Минск

<sup>2</sup>Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева, Москва

<sup>3</sup>Институт лазерной физики Сибирского отделения  
Российской академии наук, Новосибирск

Ионы  $\text{Sm}^{3+}$  характеризуются люминесценцией в видимой и ближней инфракрасной областях спектра и отсутствием наведенного поглощения из метастабильного состояния [1], что открывает им перспективу использования в качестве активатора лазерных сред. Однако из-за сильного кроссрелаксационного тушения люминесценции и малых сил осцилляторов «рабочих» переходов они долгое время оставались за пределами интересов разработчиков лазерных материалов. С появлением мощных светодиодов, функционирующих в фиолетовой области спектра, интерес к использованию ионов  $\text{Sm}^{3+}$  в указанном качестве значительно возрос. Стимулирующим фактором здесь является и тот факт, что подавляющая доля квантов, излучаемых этими ионами, приходится на полосы  ${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{7/2}$  ( $\lambda \approx 600$  нм),  ${}^6H_{9/2}$  ( $\lambda \approx 650$  нм), которые лежат в области максимальной спектральной эффективности фотосинтеза растений.

В настоящей работе проведено исследование спектральных и кинетических характеристик люминесценции плавленых стекол систем  $12.5(\text{Sm}_x\text{Y}_{1-x})_2\text{O}_3-37.5\text{Al}_2\text{O}_3-50\text{B}_2\text{O}_3$  и  $15(\text{Sm}_x\text{Y}_{1-x})_2\text{O}_3-15\text{Al}_2\text{O}_3-70\text{B}_2\text{O}_3$  и кварцевых гель-стекол, легированных Sm и Al. Установлено, что для плавленых стекол составов, идентичных составу хантита (стекла первой системы), и поликристаллов хантита квантовый выход люминесценции достигает 90% при концентрации  $\text{Sm}_2\text{O}_3 \approx 0,1$  мол. % и одинаковым образом снижается до 10% при увеличении этой концентрации до 2 мол. %. На примере хантитоподобных стекол второй системы показано, что эффективность концентрационного тушения люминесценции ионов  $\text{Sm}^{3+}$  изменяется симбатно доле полиэдров  $[\text{BO}_3]$ . Для кварцевых стекол при атомарном соотношении  $\text{Al}/\text{Sm} \geq 4$  реализован квантовый выход люминесценции близкий к 100%. Определены сечения усиления в максимумах наиболее интенсивных люминесцентных полос исследованных стекол и сделан анализ перспектив их практического использования.

Малашкевич Г.Е., Подденежный Е.Н., Мельниченко И.М., Семченко А.В.  
ФТТ **40**, 458 (1998).

## ОБ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ НА ОСНОВЕ СЕРЕБРЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

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

<sup>1</sup> *Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва,*

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

Голографические сенсоры (ГС) на основе серебряных эмульсий, предназначенные для анализа компонентов растворов, представляют интересный объект для исследования светорассеяния ансамблем наночастиц, поскольку мы можем изменять окружение этих частиц, практически сохраняя их взаимное расположение. Такой ГС представляет собой гидрогелевую полимерную матрицу толщиной до десятков мкм, закрепленную на подложке. Оптические свойства ГС имеют слоистый периодический характер с периодом в половину длины волны света видимого диапазона. Слои почти параллельны поверхности подложки. Т.о. голографический слой имеет структуру одномерного фотонного кристалла (ФК). Вследствие этого голограмма отражает монохроматический свет. Изменение периода при воздействии тестируемого вещества приводит к изменению длины волны отраженного света. Одним из способов формирования таких слоев является фотографический, когда образуются слои с различной концентрацией нанозерен серебра или его соединений. Типичные размеры зерен составляют десятки нм. Среднее расстояние между ними существенно меньше длины волны света. В таких системах на основе зерен металлического серебра мы обнаружили сильное изменение коэффициента отражения при изменении кислотности раствора. Одна из причин исследования оптических свойств таких материалов – необходимость обеспечить правильные условия работы сенсора. Для этого надо обеспечить режим работы тонкого фотонного кристалла во всем диапазоне рабочих концентраций тестируемого вещества. На работу голограммы сильное влияние оказывают светорассеивающие свойства. Они, в свою очередь, зависят от типа рассеивающего центра (металл или диэлектрик) и его свойств, а также от его окружения (состав и концентрация ионов раствора и окружающих элементов матрицы). Светорассеяние носит рэлеевский характер и может существенно ограничивать рабочий диапазон с коротковолновой стороны. Другим важным аспектом является проверка качества голографического слоя, в частности, его однородности. Для проверки однородности голографических свойств был разработан колориметрический способ определения длины волны с помощью цифрового фотоаппарата. С другой стороны можно проверять однородность эмульсии по распределению светорассеивающих параметров.

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

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ ВКР-АКТИВНЫХ КРИСТАЛЛОВ В БЛИЖНЕМ УФ СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ

П.Г. Зверев<sup>1</sup>, И.А. Зима<sup>2</sup>, Л.И. Ивлева<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Московский энергетический институт (ТУ), Москва

Развитие современной лазерной физики, широкое использование лазерных систем для решения научных и практических задач требует разработки и создания твердотельных источников когерентного лазерного излучения, работающих в новых спектральных диапазонах, в том числе ближней УФ области. Известно, что коэффициент ВКР усиления растет с увеличением частоты лазерного излучения [1]. Переход в ближний УФ диапазон может значительно повысить эффективность и надежность ВКР преобразователей. Вместе с тем пропускание в ближней УФ области в кристаллах ограничено фундаментальным поглощением, которое и являлось объектом исследования в данной работе.

В экспериментах использовались образцы ВКР активных кристаллов толщиной  $0,5 \div 10$  мм. Исследования спектров поглощения проводились на спектрофотометре Cary-5000. На рисунке представлены спектры поглощения в области 180-450 нм. Границей области прозрачности выбиралась длина волны, на которой коэффициент поглощения был равен  $1 \text{ см}^{-1}$ . Видно, что в кристаллах кальцита и  $\text{BaWO}_4$  длина волны края фундаментального поглощения самые короткие, что свидетельствует об их перспективности для ВКР в ближнем УФ спектральном диапазоне. Анализ спектров поглощения при различных температурах по правилу Урбаха позволил установить ширину энергетического зазора в кристалле  $\text{BaWO}_4$ , равную 5,8 Эв.

1. V. A. Lisinetskii, P. G. Zverev et al., Laser Phys. Lett., 2, 396 (2005).

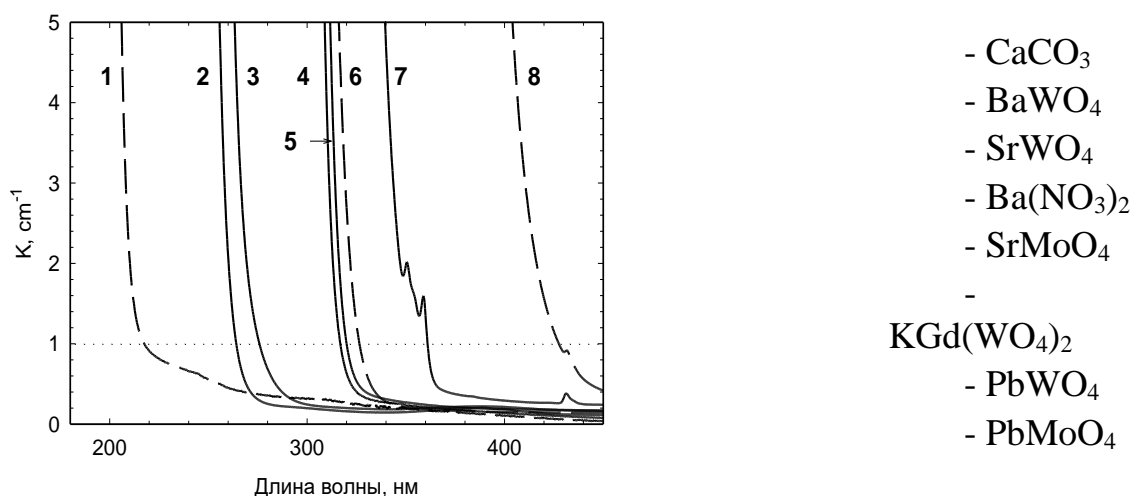


Рис. Спектры поглощения ВКР-активных кристаллов в ближнем УФ диапазоне.



## СИНТЕЗ ПРОЗРАЧНОЙ НАНО-СТЕКЛОКЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ $\text{Cr}^{4+}:\text{LiGaSiO}_4$

К.А. Субботин<sup>1</sup>, В.В. Воронов<sup>1</sup>, В.Г. Сенин<sup>2</sup>, С.М. Аракелян<sup>3</sup>, М.Н. Герке<sup>3</sup>,  
В.А. Смирнов<sup>1</sup>, Д.А. Николаев<sup>1</sup>, Е.В. Жариков<sup>4,1</sup>, И.А. Щербаков<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> *Институт геохимии и аналитической химии  
им. В.И.Вернадского РАН г. Москва*

<sup>3</sup> *Владимирский государственный университет  
им. А.Г. и Н.Г.Столетовых, г. Владимир*

<sup>4</sup> *Российский химико-технологический университет  
им. Д.И.Менделеева, г. Москва*

В докладе обсуждаются последние достижения в области получения прозрачной нано-стеклокерамики, содержащей кристаллическую фазу  $\alpha\text{-LiGaSiO}_4:\text{Cr}^{4+}$  [1, 2]. Данный материал является перспективным для применения в качестве активной среды перестраиваемых и фемтосекундных твердотельных лазеров телекоммуникационного диапазона. К настоящему моменту, благодаря организации перемешивания расплава в процессе варки стекловидных прекурсоров, а также введению ряда модифицирующих примесей, удалось почти избавиться от свилей и пузырей в образцах. В работе оценены скорости образования  $\alpha\text{-LiGaSiO}_4$  и  $\gamma\text{-LiGaSiO}_4$  кристаллитов в зависимости от состава стекла и температуры кристаллизации. Обнаружено, что избыток лития или повышенные концентрации хрома в составе прекурсора, а также повышенные температуры кристаллизации селективно способствуют кристаллизации фазы  $\alpha\text{-LiGaSiO}_4:\text{Cr}^{4+}$ . Получены образцы со средними размерами кристаллитов менее 150 нм и оптическими потерями на рассеяние менее  $5\text{ см}^{-1}$  на длине волны 1 мкм. Измерены показатели преломления кристаллитов  $\alpha\text{-LiGaSiO}_4:\text{Cr}^{4+}$ , а также стекловидных прекурсоров различных составов. Найдены составы стекла, с показателями преломления, весьма близкими к таковым для кристаллитов, что при прочих равных условиях обеспечивает наименьший уровень оптических потерь на рассеяние. Дальнейшие исследования направлены на увеличение концентрации хрома в образцах и уменьшение его потерь на испарение в процессе синтеза прекурсоров; на дальнейшее снижение уровня оптических потерь на рассеяние путем уменьшения размеров кристаллитов; на увеличение количества кристаллитов полезной, стабильной структурной  $\alpha$ -модификации  $\text{LiGaSiO}_4:\text{Cr}^{4+}$  в образцах путем оптимизации состава шихты и температурно-временных режимов термообработки стекловидных прекурсоров.

1. К.А.Subbotin, V.A.Smirnov, et. al., *Optical Materials*, v.32 iss. 9, (2010) p. 896–902.

2. K.A.Subbotin, S.M.Arakelian, V.V.Voronov, *J.Crystal Growth*, (2011)  
to be published.

# ФЛУКТУАЦИОННАЯ КИНЕТИКА ПРЫЖКОВОГО ТУШЕНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В РАЗУПОРЯДОЧЕННЫХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ: ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ

Ю.В. Орловский  
*ИОФРАН, Москва*

Впервые, идентифицирована и исследована, предсказанная ранее в работе S. G. Fedorenko, A. I. Burshtein, A. A. Kipriyanov, Phys. Rev. B **48**, 7020 (1993), флуктуационная кинетика прыжкового тушения в разупорядоченных твердых растворах. Измерение проводилось в люминесцирующих хелатных комплексах  $[Y_{1-x}Tb_x(\text{пуca})_3(\text{H}_2\text{O})_2] \cdot n\text{H}_2\text{O}$  редкоземельных ионов. Комплексообразующие ионы  $Tb^{3+}$  и ионы  $\text{OH}^-$  молекул воды, несвязанные с центральным РЗ ионом комплекса, выступали в качестве доноров и акцепторов энергии соответственно. Измеренная флуктуационная кинетика функционально похожа на кинетику ферстеровского типа с диполь-дипольным взаимодействием донор - акцептор, однако имеет большую амплитуду затухания. Она начинается практически сразу после статической стадии тушения и продолжается в течение всего интервала измерений практически не оставляя места хорошо известной миграционно-ускоренной кинетики тушения с постоянной скоростью  $\bar{W}$ .

В лекции обсуждаются методы определения микропараметров переноса и миграции энергии из измеренной кинетики тушения люминесценции.

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ $\gamma$ -ЛУЧЕЙ НА ВИСМУТСОДЕРЖАЩИЕ СТЕКЛА

М.Е. Ворончихина<sup>1</sup>, Н.Г. Горашенко<sup>1</sup>, В.Б. Цветков<sup>2</sup>

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

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

В системах  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$  и  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--GeO}_2$  при соотношении компонентов 2:3 кристаллизуется фаза эвлитина, монокристаллы эвлитина  $\text{Bi}_4\text{Si}_3\text{O}_{12}$  и  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  применяются для регистрации высокоэнергетического электромагнитного излучения [1]. Область применения таких радиационных детекторов – физика высоких энергий и радиационный и радиоэкологический мониторинг [2], например, контроль ТВЭЛов ядерных реакторов.

В указанных системах при тех же соотношениях компонентов получены стекла, которые в отличие от монокристаллов более технологичны, но обладают менее выраженными эксплуатационными характеристиками. Радиационная стойкость и основные сцинтилляционные характеристики таких стекол на порядок ниже, чем у монокристаллов. Прозрачные стеклокристаллические материалы тех же составов, содержащие высокую объемную долю кристаллитов эвлитинананоразмеров, по основным физико-химическим характеристикам гораздо ближе к монокристаллам.

В работе изучено воздействие  $\gamma$ -лучей на стекла составов  $2\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--}3\text{SiO}_2$  и  $2\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--}3\text{GeO}_2$  и стеклокристаллические материалы, полученные на основе этих стекол.

Стекла получали стандартным способом – отливанием расплава на платиновую подложку. Для получения стеклокристаллических материалов проводили термообработку стекол. Радиационную стойкость стекол и стеклокристаллических материалов обоих составов оценивали, подвергая образцы воздействию  $\gamma$ -излучения.

Облучение приводит к осветлению стекол и потемнению стеклокристаллических материалов. В течение 14 суток после облучения окраска стеклокристаллического материала восстанавливается до первоначальной, а окраска стекол практически не изменяется. Для подвергнутых воздействию облучения образцов обоих составов определены некоторые физико-химические и спектральные характеристики. Установлено, что изменения, происходящие в стекле и, особенно, в стеклокерамике состава  $2\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--}3\text{GeO}_2$  более существенны, чем в стекле и стеклокерамике состава  $2\text{Bi}_2\text{O}_3\text{--}3\text{SiO}_2$ .

1. M. Ishii, K. Harada, Y. Hirose, et al. Optical Materials. 19 (2002).

2. S.F. Burachas, L.L. Nagornaya, G.M. Onishchenko, et al. Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 3, 2 (2000).

# СИНТЕЗ И СПЕКТРОСКОПИЯ СТЕКОЛ ВО ФТОР-ХЛОРИДНЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ HfF<sub>4</sub>, АКТИВИРОВАННЫХ РЗЭ

А.В. Попов<sup>1</sup>, Л.Н. Дмитрук<sup>1</sup>, Л.В. Моисеева<sup>1</sup>, С.Х. Батыгов<sup>1</sup>,  
М.Н. Бреховских<sup>2</sup>, О.Б. Петрова<sup>3</sup>, Ю.К. Воронько<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Учреждение Российской академии наук Институт общей физики  
им. А.М. Прохорова РАН, Москва

<sup>2</sup>Учреждение Российской академии наук Институт общей и  
неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва

<sup>3</sup>Российский химико-технологический университет  
им. Д.И. Менделеева, Москва

Изучен процесс стеклообразования и синтезированы устойчивые к кристаллизации стекла, активированные РЗ ионами (Er<sup>3+</sup>, Dy<sup>3+</sup>, Tm<sup>3+</sup>) в 5-, 4- и 3-компонентных фтор-хлоридных системах на основе HfF<sub>4</sub>. Показано, что стекла в системе HfF<sub>4</sub>-BaCl<sub>2</sub>-LaF<sub>3</sub> имеют наибольший диапазон пропускания в ИК области (до 9 мкм), чем 4-компонентные (HfF<sub>4</sub>-BaCl<sub>2</sub>-LaF<sub>3</sub>-NaF) и 5-компонентные (HfF<sub>4</sub>-BaCl<sub>2</sub>-LaF<sub>3</sub>-AlF<sub>3</sub>-NaF) стекла.

Для подготовки шихты применялись следующие методики очистки исходного гигроскопичного BaCl<sub>2</sub>\*2H<sub>2</sub>O, позволившие существенно снизить концентрацию гидроксильной OH<sup>-</sup>-группы в стеклах:

1. Сушка в аргоне при T=70°C (очистка до BaCl<sub>2</sub>\*H<sub>2</sub>O), при T=110°C (очистка до BaCl<sub>2</sub>);
2. Сушка в аргоне сбарботированием CCl<sub>4</sub> через расплав BaCl<sub>2</sub> при 1050°C;

Однако добиться полного устранения OH<sup>-</sup>-групп на настоящее время мы добиться не смогли. Наличие OH<sup>-</sup>-групп определялось по характерному поглощению электронно-колебательных состояний OH<sup>-</sup> на λ~2.9 мкм (толщина стекол 2–5 мм) и существенному сокращению времен жизни возбужденных состояний <sup>4</sup>I<sub>11/2</sub> и <sup>3</sup>H<sub>4</sub> РЗ ионов Er<sup>3+</sup> и Tm<sup>3+</sup> соответственно.

В 5-компонентных стеклах зарегистрирована люминесценция с сильно потушенных уровней <sup>4</sup>I<sub>9/2</sub> ионов Er<sup>3+</sup>, <sup>3</sup>H<sub>5</sub> ионов Tm<sup>3+</sup>, <sup>6</sup>H<sub>11/2</sub> и <sup>6</sup>H<sub>13/2</sub> ионов Dy<sup>3+</sup>. Также в этих стеклах наблюдается увеличение времени жизни уровней <sup>4</sup>I<sub>11/2</sub> ионов Er<sup>3+</sup> на 25%, <sup>3</sup>H<sub>4</sub> ионов Tm<sup>3+</sup> на 50% по сравнению с аналогичными фторидными стеклами (Таблица 1).

Таблица 1.

Состав шихты	Обработка BaCl <sub>2</sub>	Время жизни
53.5HfF <sub>4</sub> -20BaF <sub>2</sub> -3LaF <sub>3</sub> -2.5AlF <sub>3</sub> -19NaF-2InF <sub>3</sub> -1в.%ErF <sub>3</sub>	нет BaCl <sub>2</sub>	4.7мс ( <sup>4</sup> I <sub>11/2</sub> , Er <sup>3+</sup> )
59HfF <sub>4</sub> -20BaCl <sub>2</sub> -2LaF <sub>3</sub> -2AlF <sub>3</sub> -17NaF-1в.%ErF <sub>3</sub>	Метод 1	6.2 мс ( <sup>4</sup> I <sub>11/2</sub> , Er <sup>3+</sup> )
		7 мкс ( <sup>4</sup> I <sub>9/2</sub> , Er <sup>3+</sup> )
57.5HfF <sub>4</sub> -20BaF <sub>2</sub> -2LaF <sub>3</sub> -2.5AlF <sub>3</sub> -17NaF-0.5InF <sub>3</sub> – 0.5в% TmF <sub>3</sub>	нет BaCl <sub>2</sub>	0.6 мс ( <sup>3</sup> H <sub>4</sub> , Tm <sup>3+</sup> )
59HfF <sub>4</sub> -15BaCl <sub>2</sub> -5BaF <sub>2</sub> -2LaF <sub>3</sub> -2AlF <sub>3</sub> -17NaF – 0.5в% TmF <sub>3</sub>	Метод 2	0.9 мс ( <sup>3</sup> H <sub>4</sub> , Tm <sup>3+</sup> )

# ПСЕВДОСИММЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ СТРУКТУРНОГО ТИПА СФАЛЕРИТА

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

Исследование псевдосимметрических особенностей кристаллов структурного типа сфалерита ограничивается работами [1, 2], причём в [1] были рассмотрены 19 кристаллов. Кристаллы данного структурного типа описываются пространственной группой  $F\bar{4}3m$  и содержат два независимых атома с порядковыми номерами  $Z_1$  и  $Z_2$  в беспараметрических частных положениях 4(a) и 4(c) в элементарной ячейке. Каждая из соответствующих правильных систем точек инвариантна относительно группы  $Fm\bar{3}m$ , а их совокупность – относительно группы  $Fd\bar{3}m$ . Поэтому для характеристики псевдосимметрических особенностей кристаллов типа сфалерита относительно инверсии необходимо исследовать степень инвариантности их электронной плотности относительно операций инверсии (далее – псевдоинверсии), принадлежащих нетривиальному смежному классу разложения группы  $Fm\bar{3}m$  по  $F\bar{4}3m$  и группы  $Fd\bar{3}m$  по  $F\bar{4}3m$ . В первом случае такими операциями являются операции инверсии в точках (0, 0, 0) и (1/4, 1/4, 1/4), а во втором случае – операция инверсии в точке (1/8, 1/8, 1/8). В [1] были рассмотрены позиции (0, 0, 0) и (1/8, 1/8, 1/8), а значения псевдоинверсии для позиции (1/4, 1/4, 1/4) не вычислялись. В настоящей работе для 61 кристалла (включая 19 кристаллов из [1]) структурного типа сфалерита рассчитана [3] степень псевдосимметрии относительно указанных выше операций инверсии. В приближении модели точечных атомов установлено наличие нижней границы максимального значения псевдоинверсии в структурном типе сфалерита, равной 0.8. Сделан вывод о псевдоцентросимметричности структурного типа сфалерита.

Проведены расчеты нелинейно-оптических свойств кристаллов структурного типа сфалерита из первых принципов в программном комплексе ABINIT [4, 5].

1. Каткова М.Р., Крутов А.И., Чупрунов Е.В. // Кристаллография. 1995. Т. 40. С. 70.
2. Чупрунов Е.В. // Кристаллография. 2007. Т. 52. № 1. С. 5–16.
3. Программа “Псевдосимметрия” (С) 2006г. Сомов Н.В. Кафедра КЭФ физического факультета ННГУ им. Н.И. Лобачевского.
4. The ABINIT code is a common project of the Université Catholique de Louvain, Corning Incorporated, and other contributors (URL <http://www.abinit.org>).
5. M. Veithen, X. Gonze, and Ph. Ghosez // Phys. Rev. 2005. В 71. 125107.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИМЕСНЫХ КРИСТАЛЛОВ ТИТАНИЛ-ФОСФАТА КАЛИЯ И РАСЧЕТ ИХ ПСЕВДОСИММЕТРИИ.

Н.Ю. Иванов, М.О. Марычев

*ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Национальный исследовательский университет, Нижний Новгород*

На модельных суперячеечных структурах кристаллов КТР, легированных Nb, Zr, Hf и Sb, рассчитаны степени их псевдоцентросимметричности в зависимости от концентраций легирующих элементов. Установлена корреляция этих зависимостей с поведением квадратичной нелинейной восприимчивости при изменении содержания примесных элементов.

Эффективная квадратичная нелинейная восприимчивость, определяющая интенсивность генерации второй оптической гармоники и измеренная для длины волны первичного излучения 1.064 мкм на ряде порошковых образцов кристаллов КТР:Nb, КТР:Zr, КТР:Hf, КТР:Sb [1,2], имеет немонотонную зависимость от содержания примесей.

В настоящей работе проведено моделирование примесных структур кристаллов (КТР), легированных Nb, Zr, Hf, Sb (КТР:Nb, КТР:Zr, КТР:Hf, КТР:Sb). Для модельных кристаллов, построенных суперячеек, содержащих 64 исходных ячеек структуры КТР, была рассчитана степень легированных структур относительно операции инверсии в зависимости от концентрации легирующей примеси. При одинаковых концентрациях того или иного легирующего элемента примесные структуры реализовывались многократно, для получения оценок среднего значения степени псевдоцентросимметричности и его среднеквадратичного отклонения.

На полученных таким образом зависимостях обнаружены существенные локальные минимумы при содержании Nb 5,5%, Zr 2,5%, Hf 6%, Sb 7%. Положения минимумов псевдоинверсии удовлетворительно соотносятся с положениями максимумов нелинейной восприимчивости на концентрационных зависимостях [1,2].

1. Иванов В.А., Бурдов В.А., Марычев М.О. и др. 2008. Т. 53. ° 4. С. 714-719.

2. Е. И. Орлова, Е. П. Харитонова, Н. Е. Новикова\*, И. А. Верин\*, О. А. Алексеева\*, Н. И. Сорокина\*, В. И. Воронкова //Кристаллография, 2010, Т. 55, ° 3, с. 440-447

## ДВУХФОТОННОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ МОЩНЫХ ПИКОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ В КРИСТАЛЛАХ $PbWO_4$ , $ZnWO_4$ , $PbMoO_4$ И $CaMoO_4$ .

В.И. Луканин, Д.С. Чунаев, А.Я. Карасик

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

Исследуется нелинейный процесс межзонного двухфотонного поглощения в оксидных кристаллах вольфрамов PbWO<sub>4</sub>, ZnWO<sub>4</sub> и молибдатов PbMoO<sub>4</sub>, CaMoO<sub>4</sub> при их возбуждении последовательно мощных 523.5 нм пикосекундных импульсов. Измерено пропускание кристаллов при увеличении интенсивности импульсов возбуждения до значений 100 ГВт/см<sup>2</sup>. В изначально прозрачных на длине волны 523.5 нм кристаллах в результате двухфотонного поглощения (ДФП) происходит резкое ограничение интенсивности импульсов до значений 1–6 ГВт/см<sup>2</sup>, а величина обратного пропускания в кристаллах PbWO<sub>4</sub> и ZnWO<sub>4</sub> достигает значений 50–60. В результате ДФП в кристаллах наводится долгоживущее и влияющее на динамику нелинейного процесса однофотонное поглощение, приводящее к гистерезису в зависимости величины пропускания от интенсивности лазерного возбуждения [1]. Эффект дихроизма поглощения проявляется в значительном различии величин пропускания при возбуждениях главных ортогональных оптических осей кристаллов. Определены коэффициенты ДФП при возбуждении двух оптических осей кристаллов. Коэффициенты двухфотонного поглощения  $\beta$  для кристаллов варьируются в широких пределах от  $\beta = 2.4$  см/ГВт (PbMoO<sub>4</sub>) до  $\beta = 0.14$  см/ГВт (CaMoO<sub>4</sub>), а значения  $\beta$  могут отличаться почти в три раза при возбуждении разных оптических осей одного кристалла. Показано хорошее согласие результатов измерения интенсивности излучения, ограничиваемой процессом ДФП, с расчетными оценками, полученными на основе измеренных нелинейных коэффициентов. Исследован процесс вынужденного комбинационного рассеяния при 523.5 нм возбуждении кристаллов. Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) наблюдалось только для двух из четырех исследованных кристаллов (PbWO<sub>4</sub>, CaMoO<sub>4</sub>). Проведенные исследования позволили объяснить и с помощью измеренных нелинейных коэффициентов оценить эффект подавления ВКР в рамках его конкуренции с ДФП.

1. В.И. Луканин, Д.С. Чунаев, А.Я. Карасик, Письма в ЖЭТФ 91 (11), 615 (2010).



# СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ СО СТРУКТУРОЙ ГРАНАТА, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ Dy<sup>3+</sup>

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

<sup>1</sup>Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск  
<sup>2</sup>Институт общей физики им. А. Н. Прохорова РАН, Москва

В настоящей работе представлены результаты исследований спектроскопических характеристик кристаллов Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>, Gd<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>O<sub>12</sub>, Ca<sub>3</sub>(NbGa)<sub>5</sub>O<sub>12</sub>, активированных ионами Dy<sup>3+</sup>. В ходе исследований установлено, что сила осциллятора для сверхчувствительного перехода <sup>6</sup>H<sub>15/2</sub>→<sup>2</sup>H<sub>9/2</sub>+<sup>6</sup>F<sub>11/2</sub> ионов Dy<sup>3+</sup> в кристаллах Ca<sub>3</sub>(NbGa)<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Dy значительно выше аналогичных значений в кристаллах Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Dy, Gd<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Dy.

Для иллюстрации этого факта на рисунках 1,2 представлены спектры поглощения в единицах сечения для переходов <sup>6</sup>H<sub>15/2</sub>→<sup>2</sup>H<sub>9/2</sub>+<sup>6</sup>F<sub>11/2</sub> и <sup>6</sup>H<sub>15/2</sub>→<sup>2</sup>H<sub>11/2</sub> ионов Dy<sup>3+</sup>. Видно, что для сверхчувствительного перехода <sup>6</sup>H<sub>15/2</sub>→<sup>2</sup>H<sub>9/2</sub>+<sup>6</sup>F<sub>11/2</sub> ионов Dy<sup>3+</sup> величина интегрального сечения поглощения в кристаллах Ca<sub>3</sub>(NbGa)<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Dy значительно выше аналогичных величин в кристаллах Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Dy, Gd<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Dy. В то же время для другого перехода <sup>6</sup>H<sub>15/2</sub>→<sup>2</sup>H<sub>11/2</sub> (как и для всех остальных возможных оптических переходов с уровня <sup>6</sup>H<sub>15/2</sub> ионов Dy<sup>3+</sup>) интегральные сечения поглощения для всех исследованных кристаллов близки по величине.

Более высокие значения сил осцилляторов сверхчувствительных переходов ионов Dy<sup>3+</sup> и параметра интенсивности  $\Omega_2$  в кристаллах Ca<sub>3</sub>(NbGa)<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Dy по сравнению с аналогичными значениями в других исследованных кристаллах обусловлено существованием в этих кристаллах оптических центров ионов активатора с точечной симметрией C<sub>2v</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>1</sub>.

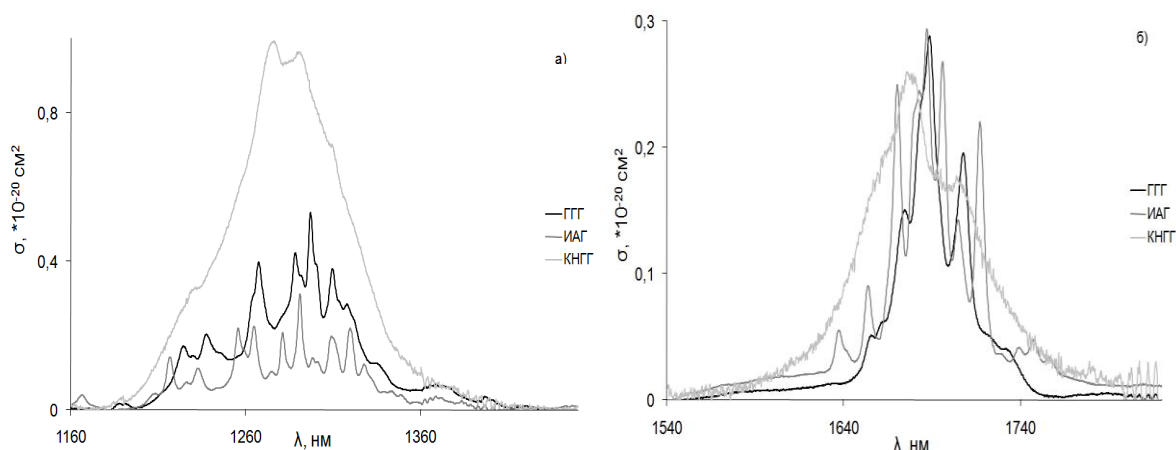


Рис.1 Спектры поглощения для кристаллов Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Dy, Gd<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Dy, Ca<sub>3</sub>(NbGa)<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Dy (T=300K) для переходов: а) <sup>6</sup>H<sub>15/2</sub>→<sup>2</sup>H<sub>9/2</sub>+<sup>6</sup>F<sub>11/2</sub>; б) <sup>6</sup>H<sub>15/2</sub>→<sup>2</sup>H<sub>11/2</sub>

# ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ $Tm^{3+}$

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

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

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

Кристаллы стабилизированного диоксида циркония имеют разупорядоченную кристаллическую структуру, вследствие чего спектры поглощения и люминесценции РЗ ионов в этих кристаллах являются неоднородно уширенными [1]. В лазерной физике кристаллы с широкими полосами люминесценции представляют интерес для получения на их основе перестраиваемой лазерной генерации, а также получения ультракоротких импульсов генерации в режиме синхронизации мод.

В данной работе исследовались спектрально-люминесцентные свойства, а также сделана оценка эффективности процесса кросс-релаксации ( ${}^3H_4 \rightarrow {}^3F_4$ ,  ${}^3H_6 \rightarrow {}^3F_4$ ) ионов  $Tm^{3+}$  для кристаллов стабилизированного иттрием диоксида циркония, активированных ионами  $Tm^{3+}$ , с целью получения на их основе двухмикронной лазерной генерации. На рис. 1 представлены спектры поглощения для перехода  ${}^3H_6 \rightarrow {}^3F_4$  и спектральная зависимость сечения люминесценции вынужденного перехода  ${}^3F_4 \rightarrow {}^3H_6$  ионов  $Tm^{3+}$ , найденная по формуле Фухтбауэра-Ладенбурга.

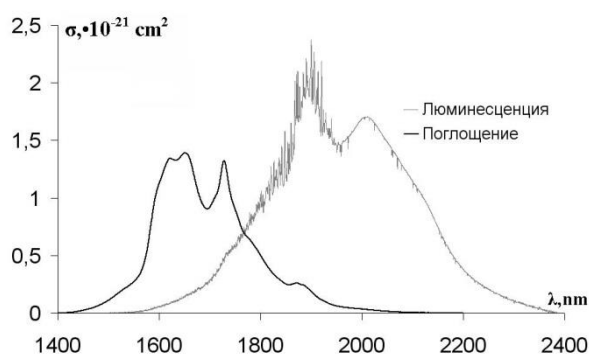


Рис. 1. Спектры поглощения  ${}^3H_6 \rightarrow {}^3F_4$  и люминесценции  ${}^3F_4 \rightarrow {}^3H_6$  ионов  $Tm^{3+}$  для кристаллов  $ZrO_2-12mol.\%Y_2O_3-2mol.\%Tm_2O_3$ ,  $T=300K$ .

Используя спектральные зависимости сечения поглощения и люминесценции для переходов  ${}^3H_6 \leftrightarrow {}^3F_4$ , получена спектральная зависимость сечения усиления для лазерного перехода  ${}^3F_4 \rightarrow {}^3H_6$  для различных значений параметра относительной инверсной населенности  $P=0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ . Из данной зависимости установлено, что область усиления для кристалла  $ZrO_2-12mol\%Y_2O_3-2mol\%Tm_2O_3$  соответствует спектральному интервалу 1950-2150 нм.

1. Ю.С. Кузьминов, В.В. Осико. Фианиты. Основы технологии, свойства, применение (М.:Наука, 2001)

## ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОТЖИГА НА СВОЙСТВА ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ С ПРИМЕСЯМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЭРБИЯ И ИТТЕРБИЯ

*М. В. Карзанова, Е.А. Европейцев, Е.С. Демидов, Ю.И. Чигиринский  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород*

Известна возможность сконцентрировать в тонкоплёночной структуре полезные свойства одного из самых эффективных для ФЛ ионов  $\text{Er}^{3+}$  матричных материалов – теллуритного стекла (ТС) и многоканальную передачу  $\text{ncSi} \rightarrow \text{Er}^{3+}$ ,  $\text{ncSi} \rightarrow \text{Yb}^{3+} \rightarrow \text{Er}^{3+}$ . Такие структуры представляют интерес для оптоэлектроники на основе кремния [1]. Структуры представляют собой слои пористого кремния (ПК), в поры которого вплавляется ТС. Присутствие в пористом кремнии парамагнитных центров, которые являются центрами безызлучательной рекомбинации, антикоррелирует видимой ФЛ в ПК. Чтобы избавиться от влияния парамагнитных центров для усиления фотолюминесценции на 1,5 мкм, применялся предварительный окислительный отжиг ПК от 500 до 900 градусов. С увеличением температуры отжига вклад парамагнитных центров уменьшается, что подтверждается данными ЭПР спектроскопии. Показано, что наиболее эффективным для усиления ФЛ данной структуры является отжиг 700 градусов. С повышением температуры отжига происходит гашение ФЛ, так как в ПК возникают большие механические напряжения из-за разницы коэффициентов термического расширения кремния и оксида кремния. Из предварительных исследований известно [2], что предварительный отжиг 700 градусов практически полностью гасит ФЛ от ПК, однако в данном случае при отжиге 900 градусов наблюдался достаточно интенсивный пик ФЛ. На ВАХ данных структур наблюдается гистерезис, что объясняется перезарядкой гранул кремния в ПК. С увеличением температуры предварительного отжига увеличивается удельное сопротивление данных структур. По мере хранения образцов происходит увеличение числа гранул кремния в пористом слое, что объясняется активным внутренним окислением.

1. Е. С. Демидов, А. Н. Михайлов, А. Н. Белов, Н. Е. Демидова, Ю. И. Чигиринский, А. Н. Шушунов, Д. И. Тетельбаум, О. Н. Горшков, С. А. Филипов. Материалы XII межд. симпозиума «Нанопизика и наноэлектроника», 2009, 16-20 марта, Нижний Новгород, ИФМ РАН, 2009, Т.2, С. 326-327.

2. Н. Е. Демидова // Транспорт тока, эпр и фотолюминесценция в пористом кремнии. Автореф. канд. дисс. Нижний Новгород 2010.

# ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДВУХФАЗНЫХ СТЕКОЛ СИСТЕМЫ $R_2O-B_2O_3-SiO_2$ ( $R=Na, K$ )

О.А. Пшенко<sup>1</sup>, И.В. Кухтевич<sup>1</sup>, О.Н. Королева<sup>2</sup>, З.Г. Тюрнина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт химии силикатов имени И.В. Гребенщикова РАН,  
Санкт-Петербург

<sup>2</sup>Институт минералогии УрО РАН, Миасс

Для развития оптических технологий необходимы новые функциональные материалы с регулируемой структурой и свойствами. Перспективными для применения в оптоэлектронике (например, в качестве подложек для микрооптических элементов [1]) являются высококремнеземные пористые стекла (ПС), получаемые химическим травлением двухфазных стекол оксидных стеклообразующих щелочноборосиликатных систем [2]. Существенное влияние на свойства двухфазных стекол [3] (а, следовательно, и ПС) оказывает их структура и соотношение щелочных оксидов в исходном стекле (рис. 1). В работе исследованы оптические свойства: спектры пропускания  $T$  и отражения  $R$  ( $\lambda = 250 \div 850$  нм, НТАСНУ-3410;  $\nu = 4000 \div 400$   $cm^{-1}$ , SpecordM80), поглощения и комбинационного рассеяния ( $\nu = 1500 \div 500$   $cm^{-1}$ , Nexus-870), а также показатель преломления  $n$  (ИРФ-454БМ; расчет по величинам  $T$  и  $R$ ) двухфазных стекол системы  $8R_2O-B_2O_3-xSiO_2$  ( $R=Na$  и/или  $K$ ) для разрезов по  $SiO_2x = 60$  и  $70$  мол. % в зависимости от состава стекла и структуры фаз по данным просвечивающей электронной микроскопии.

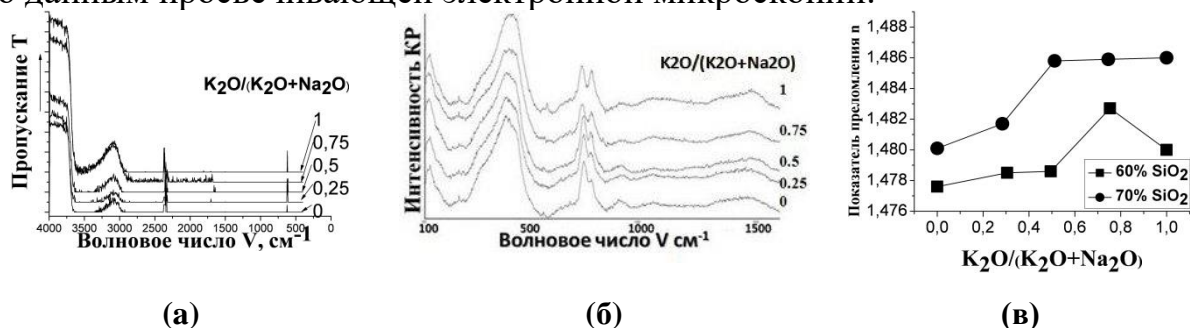


Рис. 1. Пропускание в ИК области (а) и спектры комбинационного рассеяния (б) стекол, содержащих 60%  $SiO_2$ , а также зависимости показателя преломления исследованных стекол от молярного соотношения  $K_2O/(K_2O+Na_2O)$  (в).

1. Т.В. Антропова // Тез докладов 9 Всероссийской конф. «Материалы нано-, микро-, оптоэлектроники и волоконной оптики: физические свойства и применение» (Саранск, 5-8 октября 2010), 89 (2010).

2. Антропова Т.В., Анфимова И.Н., Вейко В.П., Костюк Г.К., Яковлев Е.Б. // Тез докладов II Международного форума «Rusnanotech 2009» (Москва, 6-8 октября 2009 г.), 507 (2009).

3. О.А. Пшенко, Т.В. Антропова, И.В. Кухтевич, Г.Ф. Головина, И.Н. Анфимова // Тез докладов 9 Международной конф. «Прикладная оптика-2010» (СПб, 18-22 октября 2010), 2, 39 (2010).

Работа поддержана РФФИ (проект 11-03-00747а) и ПФИ ОХНМ-02 РАН

## ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ОПТИЧЕСКИХ ЦЕНТРОВ В КРИСТАЛЛАХ, ЛЕГИРОВАННЫХ ВИСМУТОМ

А.А. Вебер, К.А. Субботин, В.Б. Цветков

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

В 2001 году группой Fujimoto [1] была обнаружена люминесценция силикатных стекол, легированных висмутом, в диапазоне 1-1.6 мкм, спектры люминесценции обладали полушириной полосы излучения более 200 нм и временем жизни 100-600 пс, в зависимости от длины волны возбуждения. Спектроскопические свойства данного стекла отличались от ранее изучаемых материалов с ионами  $\text{Bi}^{2+}$  и  $\text{Bi}^{3+}$ . В дальнейшем была показана возможность усиления оптического излучения в данном стекле на длине волны около 1.3 мкм при накачке в области 0.8 мкм [2]. Новые материалы, легированные висмутом, являются перспективными для лазеров и усилителей, в частности для волоконной связи.

Различными научными группами были изучены люминесцентные свойства висмутсодержащих стекол различных составов: силикатных, германатных, фосфатных и др [3]. Созданы оптические усилители и генераторы, излучающие в диапазоне 1.1-1.5 мкм. Наблюдаемую люминесценцию приписывают различным центрам:  $\text{Bi}^{5+}$ ,  $\text{Bi}^{3+}$ , кластерам атомов Bi или ионов Bi и др., однако единого мнения до сих пор нет.

Не столь широко представлены исследования кристаллов, легированных Bi. Однако исследования кристаллических материалов, в силу наличия дальнего порядка и значительно большей, чем в случае стекла, определенности со структурой ближайшего окружения примесных центров, могут открыть истинную природу наблюдаемой люминесценции.

В данной работе исследуются люминесцентные свойства различных силикатных и германатных кристаллов легированных висмутом:  $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$ ,  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ,  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ ,  $\text{Mg}_2\text{GeO}_4$  и др. Для каждого из исследуемых материалов проведено исследование зависимости оптических свойств от температуры синтеза, дополнительного отжига в восстановительной, окислительной, нейтральной атмосферах. Измерены спектры люминесценции, времена жизни, спектры возбуждения люминесценции при температурах 77 и 300 К. Показано, что люминесцентные центры являются дефектом замещения; за люминесценцию в ближней ИК области отвечает несколько типов центров. Предложена модель центров окраски в материалах, легированных Bi, согласующаяся с экспериментальными данными.

1. Y. Fujimoto, M. Nakatsuka, Jpn. J. Appl. Phys., Part2-Lett. 40, L279, 2001
2. Fujimoto, M. Nakatsuka, Appl. Phys. Lett. 82, 3325, 2003
3. Fujimoto (2010). New Infrared Luminescence from Bi-doped Glasses, Advances in Solid State Lasers Development and Applications, M. Grishin (Ed.), ISBN: 978-953-7619-80-0, InTech

# ВЛИЯНИЕ СТАЦИОНАРНОГО И ИМПУЛЬСНОГО НАГРЕВА НА ПОВЕРХНОСТНУЮ СТРУКТУРУ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ИК-СПЕКТРЫ ПЛЕНОК ТЕЛЛУРИДА СВИНЦА

А.Н. Горбачева<sup>1</sup>, Г.Е. Малашкевич<sup>1</sup>, Д.М. Фреик<sup>2</sup>, Р.И. Никируй<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>*Физико-химический институт Прикарпатского университета им. В. Стефаника, Ивано-Франковск*

Халькогениды свинца и структуры на их основе являются перспективными материалами для таких применений, как ИК-фотодетекторы [1] и инжекционные лазеры для терагерцового диапазона [2]. Кроме того, эти соединения используются в качестве базовых термоэлектрических материалов для температур 600-850 К.

В данной работе было исследовано влияние стационарного и импульсного нагрева на воздухе на микроструктуру поверхности, химический состав и оптические свойства в среднем ИК-диапазоне пленок PbTe. Пленки PbTe толщиной ~0,1 мкм были получены методом осаждения из газодинамического потока пара [3] на стеклянных подложках. Импульсный нагрев осуществлялся излучением второй гармоники моноимпульсного лазера на иттрий-алюминиевом гранате с ионами неодима ( $\lambda = 532$  нм). Стационарный нагрев осуществлялся путем помещения указанных пленок в печь сопротивления, разогретую до температур 300, 350 и 400°C. Измерения проводились на ИК-Фурье спектрометре Nexus, оснащенном ИК-микроскопом Continuum (ThermoFisherScientific, США) и сканирующем электронном микроскопе LEO – 1420REM.

Было обнаружено, что как стационарный, так и импульсный нагрев пленок могут приводить к радикальным изменениям их структуры и оптических свойств. В частности, возможно значительное смещение края межзонного поглощения и изменение его крутизны. При этом смещение края межзонного поглощения коррелирует с величиной атомарного соотношения Pb/Te, а крутизна этого края уменьшается при смещении максимума поглощения в высокочастотную сторону и увеличивается при его смещении в низкочастотную. Обсуждаются причины, вызывающие обнаруженные эффекты.

1. H. Zogg, J. John, Opto-electronics review 6(1), (1998) 37-46.
2. P.J. McCann, I-Na Chao, H. Sacharet. al., Spectrochimica Acta Part A 55 (1999) 1999-2005.
3. D.M. Freik, B.S. Dzundza, G.E. Malashkevich, G.D. Mateik, Physics and chemistry of solid state V.8, №3 (2007) 509-512.

# ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННОЕ ЛОКАЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРИСТЫХ СИЛИКАТНЫХ СТЕКОЛ

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

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

<sup>2</sup>*Институт химии силикатов имени И.В. Гребенщикова РАН, Санкт-Петербург*

Доклад посвящен исследованию возможности формирования микрообластей (МО) с измененными оптическими свойствами в нанопористом силикатном стекле, приближенном по своим характеристикам к плавленому кварцу, при использовании лазерного излучения видимого диапазона спектра, которое не поглощается стеклом и не вызывает его нагрев в области воздействия.

В работе использован метод обработки щелочноборосиликатных (ЩБС) стекол, состоящий из четырех этапов: 1) термическая обработка для разделения на две фазы; 2) химическая обработка двухфазного стекла, приводящая к получению нанопористого стекла (ПС); 3) воздействие на ПС лазерным излучением; 4) спекание ПС-подложки с МО в печи до получения кварцоподобного стекла. Цель работы - определение условий и параметров формирования МО с измененными оптическими свойствами в ПС, а также исследование этих свойств и возможности сохранения сформированных МО при спекании.

Установлено влияние лазерного излучения на процесс формирования и размеры МО с измененными оптическими свойствами при фокусировке излучения вглубь стекла. Например, сформированная МО может представлять собой сферу темно-серого, практически черного цвета (переходный слой). Внутри сферы находится светлая область, по форме напоминающая цилиндр, расширяющийся к краям. Диаметр сферы  $D_s \approx 185$  мкм, диаметр цилиндра  $d \approx 25$  мкм (в центре) и  $d \approx 60$  мкм (по краям), высота  $h \approx 120$  мкм. Интересными особенностями сферической МО являются рассеяние падающего излучения переходным слоем и фокусировка света ее центральной частью. При вращении области вокруг своей оптической оси происходит распределение интенсивности прошедшего излучения: при  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  и  $180^\circ$  – на 4 максимума, при  $45^\circ$  и  $135^\circ$  – на 2 максимума. Период –  $180^\circ$ . Еще одной особенностью сформированной МО является свечение кольца переходного слоя без какого-либо специального возбуждения, при слабом освещении дневным светом. При полном отсутствии внешнего естественного света, падающего на подложку, свечение переходного слоя сферической области не наблюдается. Длина волны свечения лежит в области 450 нм.

Работа выполняется в рамках проекта ПФИ ОХНМ-02 РАН.

# ЛАЗЕР НА ОСНОВЕ ПЛАСТИНЧАТОГО АКТИВНОГО ЭЛЕМЕНТА С ЗИГЗАГООБРАЗНЫМ ХОДОМ ПУЧКА С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ БОЛЕЕ 100 Вт

А.Д. Ляшедько, В.Ф. Серегин, В.Б. Цветков

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

Одной из основных задач при создании твердотельных лазерных систем высокой средней мощности является задача охлаждения активной среды. При использовании активных элементов (АЭ) традиционной цилиндрической формы существуют значительные трудности, связанные с генерацией излучения с расходимостью, близкой к дифракционному пределу. Для более эффективного охлаждения активной среды может использоваться дисковая [1] или пластинчатая геометрия активного элемента [2]. Зигзагообразный ход пучка в пластинчатом активном элементе позволяет уменьшить влияние термооптических эффектов на расходимость лазерного пучка. Использование зигзагообразного хода пучка позволяет компенсировать фазовые искажения, связанные с градиентом температуры между охлаждаемыми поверхностями кристалла (плоскости полного внутреннего отражения – ПВО). При этом неоднородное распределение температуры вдоль и поперек плоскостей ПВО также оказывает существенное влияние на волновой фронт лазерного пучка и может значительно ухудшать качество излучения.

В работе исследовался лазер на основе композитного пластинчатого элемента Nd:YAG с торцевой диодной накачкой. Проведено изучение потерь в активном элементе, показано, что большое влияние на потери оказывает выбор покрытия на плоскостях полного внутреннего отражения кристалла. Измерены фазовые искажения в длинах волн для тестового лазерного пучка, показано, что неоднородное распределение мощности в пучке накачки вдоль плоскостей ПВО приводит к значительным фазовым искажениям пучка, до 16 длин волн ( $\lambda_{\text{тест}} = 0.63$  мкм). Поглощенная мощность накачки составляла порядка 200 Вт. В направлении перпендикулярном к плоскостям ПВО неоднородное распределение температуры эффективно компенсируется зигзагообразным ходом пучка, фазовые искажения не превышают 1 длины волны. Получена лазерная генерация при различном числе отражений в активном элементе. Достигнута выходная мощность генерации более 100 Вт с дифференциальной эффективностью 36 %.

1. A.Giesen, J.Speiser, Fifteen Years of Work on thin disk lasers: Results and scaling laws, IEEE Journal of selected topics in quantum electronics, v.13, No.3, 435-448, 2007

2. J.M.Eggleston, T.J.Kane, K.Kuhn, J.Unternahrer, R.L.Byer, IEEE J. Quantum Electron. QE-20, p.289 (1984)



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

А.Е. Егорова, В.А. Иванов, Н.В. Сомов  
*Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород*

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

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

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

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

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

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

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

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

# РОСТ, РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ И НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМЕШАННЫХ КРИСТАЛЛОВ ТАРТРАТОВ

А.А. Стиценко, М.Л. Лабутина, М.О. Марычев, Н.В. Сомов  
*Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,  
Нижний Новгород*

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы вырастить кристаллы солей винной кислоты – тартрата цинка и тартрата кобальта, а также смешанных кристаллов на их основе, исследовать их структуру и симметрию, а также методом Куртца и Перри [1] оценить их эффективность генерации второй оптической гармоники. Поскольку тартраты цинка и кобальта, являются малорастворимыми соединениями, вырастить их можно путем медленных химических реакций в вязкой среде (геле на основе винной кислоты). Рентгеноструктурный анализ показал, что оба кристалла принадлежат к пространственной группе  $P2_12_12_1$ . Тартрат цинка и тартрат кобальта имеют близкие параметры элементарных ячеек  $a=7.9292(2)\text{Å}$ ,  $b=11.2194(2)\text{Å}$ ,  $c=17.9622(4)\text{Å}$ ,  $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$  и  $a=7.89580(10)\text{Å}$ ,  $b=11.1865(2)\text{Å}$ ,  $c=18.1876(3)\text{Å}$ ,  $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$  соответственно. Таким образом, кристаллы являются изоморфными. Это позволяет вырастить также смешанные кристаллы тартратов кобальта и цинка. Для их получения были взяты питающие растворы сульфата кобальта и сульфата цинка с их молярным соотношением от 10% до 70% раствора сульфата кобальта с шагом в 10%. Полученные смешанные кристаллы были выращены впервые. Рентгеноструктурный анализ смешанного кристалла тартрата кобальта и цинка при молярном соотношении исходных питающих веществ сульфатов кобальта и цинка 0.2 и 0.8 моль соответственно показал, что полученный смешанный кристалл принадлежит к пространственной группе  $P2_1/c$  с параметрами элементарной ячейки:  $a=13.7424(2)\text{Å}$ ,  $b=17.2122(3)\text{Å}$ ,  $c=18.5475(3)\text{Å}$ ,  $\beta=96.6857(16)^\circ$ . Данной структуры не было найдено в органическом банке структур [2]. Содержание кобальта в кристалле увеличилось в 1.75 раз по сравнению с содержанием его в исходном растворе.

Результатами измерения эффективности преобразования кристаллами тартрата цинка и тартрата кобальта излучения лазера во вторую оптическую гармонику являются эффективные относительные значения квадратичной нелинейной восприимчивости по отношению к эффективной квадратичной нелинейной восприимчивости порошка кристалла KDP. Их значения равны 0.48 и 0.12. Смешанный кристалл тартрата кобальта и цинка имеет центр инверсии ( $P2_1/c$ ), поэтому не обладает нелинейно-оптическими свойствами в отличие от чистых кристаллов тартратов кобальта и цинка.

1. Kurtz S.K. and Perry T.T. Appl. Phys. **39**, No.8, July, 3798 (1968).
2. Cambridge Crystallographic Data Centre, (2010).

## КРИСТАЛЛЫ ИАГ:Nd, Ce С ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ГЕНЕРАЦИИ В ЛАЗЕРАХ С ЛАМПОВОЙ НАКАЧКОЙ

И.А.Шестакова, А.М.Онищенко, А.В.Шестаков

ФГУП «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха, ООО НПЦ «ЭЛС-94», Москва

Для повышения эффективности твердотельных лазеров с ламповой накачкой необходимо использовать элементы ИАГ:Nd с повышенной концентрацией неодима или с дополнительными примесями-сенсibilизаторами.

В работе [1] приводятся сведения по генерации на элементах ИАГ:Nd, Ce. Из данных по спектрально-люминесцентным характеристикам трёхвалентных ионов церия в ИАГ [1,2] следует возможность использования дополнительного легирования церием для увеличения эффективности генерации в результате преимущественно излучательного переноса энергии. Следует также отметить способность церия препятствовать образованию центров окраски, возникающих в ИАГ под воздействием УФ части спектра излучения лампы накачки [3].

Нами рассматриваются результаты экспериментов, проведённых на серии образцов из ИАГ:Nd,Ce. При работе с элементами ИАГ:Nd,Ce в режиме свободной генерации продемонстрирована возможность достижения эффективностей не уступающих получаемым на элементах ГСГГ: Nd, Cr, являющимся одними из наиболее эффективных.

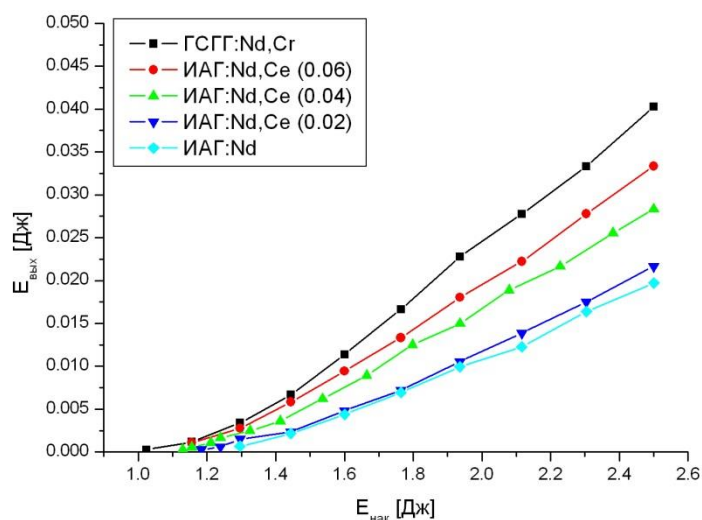


Рис. 1 Эффективность генерации в резонаторе с поляризатором,  $T_{вых}=77\%$

1. Mares, J. A.; Kubelka, J.; Kvapil, J., Czech. J. Phys., vol. B 36, no. 9, 1986, p. 1079-1089.
2. W.J.Miniscalco, J.M.Pelegriano, and W.M.Yen, J.Appl.Phys. 49 (12), December 1978, p.6109-6111.
3. D.J.Robbins, B.Cocayne, J.L.Glasper, and B.Lent, J.Electrochem.Soc.: Solid-state science and technology, July 1979, p. 1213-1220.

# СПЕКТРОСКОПИЯ ИОНОВ ИТТЕРБИЯ В КРИСТАЛЛЕ $\text{Yb:ZnWO}_4$

М.В. Нарожный

*Институт Спектроскопии РАН, г. Троицк Московской обл.*

Семейство вольфраматов представляет интерес для ученых достаточно длительное время. Моноклинная структура цинкового вольфрамата ( $\text{ZnWO}_4$ ) обуславливает анизотропные оптические и спектроскопические свойства этого соединения. В частности, данные кристаллы перспективны для использования в качестве лазерных кристаллов [1-3], сцинтилляторов [4,5], оптического волокна [6]. Предварительные исследования, проведенные в Институте лазерной физики СО РАН в Новосибирске [7] показали перспективность применения  $\text{Yb:ZnWO}_4$  в качестве лазерного кристалла для диодных лазеров в спектральной области 970-1060 нм. Тем не менее, штарковская структура уровней  $\text{Yb}^{3+}$  в данном соединении не была изучена.

В данной работе представлены спектроскопические данные по исследованию кристаллов  $\text{Yb:ZnWO}_4$ , выращенных в Институте неорганической химии СО РАН в Новосибирске. Для установления структуры уровней были измерены спектры пропускания кристалла  $\text{Yb:ZnWO}_4$  для различных поляризаций в широком интервале температур (4.2-300 К). Обнаружено присутствие нескольких структурных центров  $\text{Yb}^{3+}$ .

Автор признателен за финансовую поддержку РАН (по Программам фундаментальных исследований).

1. Kolbe W., Petermann K., Huber G., IEEE. J. Quant. Electron. QE-21, 1596 (1985).
2. Yang F., et al., Opt. Mat., 29, 1861 (2007).
3. Yang F., et al., J. of All. and Comp., 455, 269 (2008).
4. Ol T., Takagi K., Fukazawa T., Appl. Phys. Letts. 36, 278 (1980).
5. Grabmaier B.C., IEEE Trans. Nuc. Sci. NS-31, 372 (1984).
6. Wang H., Medina D., Zhou Y.D., Zhang Q.N., ibid. 45, 10356 (1992).
7. Pestryakov E.V., et al., XIV Feofilov symposium on spectroscopy of crystals doped with rare earth and transition metal ions, book of abstracts, p. 120 (2010).

ПОЛУЧЕНИЕ СТЕКОЛ И СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ  
МАТЕРИАЛОВ  
В СВИНЦОВО-ФТОРО-БОРАТНОЙ СИСТЕМЕ В ОБЛАСТИ,  
БОГАТОЙ ФТОРИДОМ СВИНЦА

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

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

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

Стекла в системе  $\text{PbF}_2\text{--PbO--B}_2\text{O}_3$ , легированные РЗЭ, и стеклокристаллические материалы (СКМ) на их основе могут быть перспективны в фотонике и лазерной технике. Ранее в наших работах [1, 2], в отличие от [3], было показано, что в этой системе при контролируемой кристаллизации стекла ионы  $\text{Nd}^{3+}$  эффективно входят в образующиеся как фторидные, так и боратные кристаллические фазы.

Проблемой в получении лазерных материалов в этой системе является выпадение нескольких кристаллических фаз ( $\beta\text{-PbF}_2$ ,  $\alpha\text{-PbF}_2$ , бораты) при термообработке исходного стекла, что заметно увеличивает оптические потери на светорассеяние. Исследование процессов кристаллизации стекол с разным соотношением компонентов показало, что с увеличением содержания  $\text{PbF}_2$  в стекле, при термообработке возрастает доля кубической кристаллической фазы  $\beta\text{-PbF}_2$ . В данной работе мы синтезировали и исследовали стекла с содержанием фторида свинца 70-80 мол.%. При таких концентрациях возрастает роль диспропорционирования расплава при варке стекол. По данным рентген-флуоресцентного анализа из расплава при  $T=850^\circ\text{C}$  за 20 минут улетучивается около 14% фтора. Изменение соотношения  $\text{V/Pb}$  свидетельствует, что  $\text{PbF}_2$  улетучивается интенсивнее, чем  $\text{B}_2\text{O}_3$ . Недостаток свинца составляет 4–7% относительно концентрации в шихте.

Температуры стеклования составили 150–235 °С, микротвердость – 230–290 кг/мм<sup>2</sup>, показатель преломления – 2,2–2,5, КТР –  $(3,5\text{--}6)\cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ . При увеличении концентрации  $\text{PbF}_2$  в стеклах максимум линии «0–0» межштарковского перехода  $^4\text{F}_{3/2}\text{--}^4\text{I}_{9/2}$  ионов  $\text{Nd}^{3+}$  сдвигается в коротковолновую область, как в спектрах люминесценции, так и поглощения. Выделяющиеся кристаллические фазы исследовали методами РФА и КРС.

1. Т.В.Анфимова, Ю.К. Воронько, Е.В.Кузнецов, О.Б. Петрова, А.В. Попов, В.Е. Шукшин. \ \ Сборник трудов 9-й Всероссийской конференции с элементами молодежной научной школы, 5-8 октября 2010 г. Саранск, с.73

2. О.Б. Петрова, Ю.К. Воронько, А.В. Попов, В.Е. Шукшин. Оптический журнал. 2011. В печати.

3. PisarskaJ., Ryba-RomanowskiW., Dominiak-DzikG., GoryczkaT.,  
PisarskiW.A. // J. All. Comp. 451 223 (2008)

# ВЛИЯНИЕ ОТЖИГА В ВОДОРОДЕ НА СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА Се-Eu-СОДЕРЖАЩИХ КВАРЦЕВЫХ ГЕЛЬ-СТЁКОЛ

Т.Г. Хотченкова<sup>1</sup>, Г.Е. Малашкевич<sup>1</sup>, В. Кииск<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Институт физики Тартуского университета, Тарту, Эстония

Ранее [1] было показано, что при соактивации спеченных на воздухе кварцевых гель-стекло ионами церия и европия возможно формирование наночастиц  $\text{CeO}_2:\text{Eu}^{3+}$ , характеризующихся подавляющей долей квантов, излучаемых в переходе  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_1$ . Дальнейший отжиг этих стекол в  $\text{H}_2$  ведет к исчезновению полос  ${}^5D_0 \rightarrow {}^7F_j$  и появлению широкой люминесцентной полосы с максимумом при  $\lambda_{\text{max}} \approx 470 \text{ нм}$ . Вместе с тем, при спекании таких стекол в  $\text{H}_2$  структура оксидных наночастиц-соактиваторов, и соответственно их спектрально-люминесцентные свойства, могут радикально отличаться от характерных для отождённых в  $\text{H}_2$  стекол. Выяснение таких различий и предпринято в настоящей работе.

Обнаружено, что в спектре люминесценции исследованных стёкол, а также для спеченного в  $\text{H}_2$  нелегированного стекла, кроме спектральных полос типичных для ионов  $\text{Ce}^{3+}$  и  $\text{Eu}^{2+}$  [1] и кислородно-дефицитных центров появляется дополнительная полоса с  $\lambda_{\text{max}} \approx 360 \text{ нм}$ . Затухание этой люминесцентной полосы происходит по закону близкому к экспоненциальному с постоянной около 5 мкс, а её возбуждение осуществляется в широкой полосе с  $\lambda_{\text{max}} \approx 230 \text{ нм}$  (см. Рис. 1). Предполагается, что последняя обусловлена переходом  $4f^7({}^8S_{7/2}) \rightarrow 4f^65d$  ионов  $\text{Eu}^{2+}$ , а соответствующая ей полоса люминесценции – переходом из возбужденного состояния переноса заряда между ионами  $\text{Eu}^{2+}$  и трехкоординированными атомами кремния расположенными возле Се-Eu-центров.

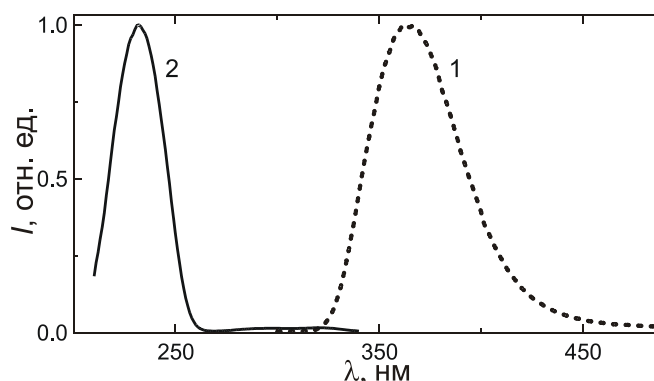


Рис. 1. Спектры люминесценции (1) и её возбуждения (2) Се-Eu-содержащего кварцевого гель-стекла, спеченного в  $\text{H}_2$ .

1. G.E. Malashkevich [et al] J. Non-Cryst. Solids 188, 107 (1995).

## НОВЫЕ ВЫСОКОПРОЧНЫЕ НЕОДИМОВОЕ И ИТТЕРБИЕВОЕ ЛАЗЕРНЫЕ СТЕКЛА НА ФОСФАТНОЙ ОСНОВЕ

И.Н. Глущенко<sup>1,2</sup>, Б.И. Галаган<sup>1</sup>, Б.И. Денкер<sup>1</sup>, Е.В. Жариков<sup>1,2</sup>,  
С.Е. Сверчков<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>*Российский химико-технологический университет, Москва*

Разработаны, синтезированы и исследованы высокопрочные неодимовое и иттербиевое лазерные стекла на алюмоборофосфатной основе. Установлено, что они обладают рекордно высокими для фосфатных стекол значениями химической стойкости и термической прочности, не уступая при этом коммерческим лазерным стеклам по спектрально-люминесцентным характеристикам.

Осуществлен режим свободной генерации, а также режим пассивной синхронизации мод для иттербиевого высокопрочного стекла. Мощность непрерывного лазерного излучения достигла 783 мВт на длине волны 1054 нм. В режиме пассивной синхронизации мод получены импульсы длительностью около 150 фс и пиковой мощностью около 5 кВт[1].

Сравнительные генерационные исследования неодимовых стекол при продольной диодной накачке показали, что новое стекло позволяет получать вдвое большие выходные мощности, чем промышленное стекло ГЛС22, несмотря на значительные внутрирезонаторные потери [2].

Проведены комплексные исследования причин высоких оптических потерь ( $\sim 0,02 \text{ см}^{-1}$ ) в спектральной области  $\sim 1 \text{ мкм}$  в исследуемом материале, а также осуществлен поиск способов снижения этих потерь [3]. Сделано заключение, что наиболее вероятными примесями, приводящими к оптическим потерям на длине волны генерации в высокопрочных стеклах, являются восстановленные формы двух металлов – железа в виде  $\text{Fe}^{2+}$  и платины в виде  $\text{Pt}^0$ . Предложен способ снижения этих потерь за счет введения в состав стекла окислительной примеси -двуокиси церия в количестве нескольких мольных процентов.

Полученные результаты дают основания утверждать, что новый материал является перспективным с точки зрения создания на его основе эффективных диодно-накачиваемых лазеров с высокой средней выходной мощностью при работе как в непрерывном режиме, так и в режимеполучения ультракоротких импульсов.

1. Галаган Б.И., Глущенко И.Н., Денкер Б.И и др. Новое иттербиевое фосфатное стекло для диодно-накачиваемых лазеров // Квантовая электроника, Т.39. №10. С.891-894 (2009).

2. Галаган Б.И., Глущенко И.Н., Денкер Б.И и др. Новое высокопрочное неодимовое лазерное стекло на фосфатной основе // Квантовая электроника, Т. 39. №12. С.1117-1120 (2009).



## ВОЗДЕЙСТВИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НА СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ ФОРСТЕРИТА

О.Н. Зайцева<sup>1</sup>, К.А. Субботин<sup>1</sup>, В.Б. Дудникова<sup>2</sup>, В.М. Лазаренко<sup>3</sup>,  
В.Н. Колокольцев<sup>3</sup>, В.И. Товтин<sup>3</sup>, Е.В. Жариков<sup>1</sup>

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

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

<sup>3</sup>*Институт металлургии и материаловедения им А.А. Байкова РАН,  
Москва*

Монокристаллы форстерита  $Mg_2SiO_4$ , активированные ионами хрома, широко применяются в качестве активной среды твердотельных лазеров.

Данная работа посвящена исследованию воздействия облучения электронами с энергией 21 МэВ на оптические абсорбционные характеристики монокристаллов форстерита ( $Mg_2SiO_4$ ), выращенных методом Чохральского, как номинально чистых, так и легированных хромом.

Монокристаллы форстерита  $Mg_2SiO_4$ ,  $Mg_2SiO_4:Cr$ ,  $Mg_2SiO_4:Cr,Li$  выращивали методом Чохральского из иридиевых тиглей на установке «Кристалл-2». Рост осуществляли на затравку, ориентированную вдоль кристаллографической оси  $a$  (установка  $Pbnm$ ). Скорость вытягивания кристалла составляла 3 мм/ч, скорость вращения 12 об/мин. Атмосфера роста – аргон с добавлением контролируемых количеств кислорода, содержание которого, в ростовой камере, контролировали анализатором кислорода АКПМ-01. Легированные кристаллы выращивали из расплава с концентрациями ионов хрома,  $C_L(Cr)$ , от 0.015 до 0.76 мас.%, ионов лития ( $C_L(Li)$ ) - от 0.0074 до 0.079 мас.%.

Установлено, что облучение приводит к появлению в кристаллах дополнительного оптического поглощения (ДП) в области 225-1000 нм, обусловленного центрами окраски на основе собственных точечных дефектов матрицы. Проведено разложение спектров ДП, на элементарные полосы. Исследовано поведение спектров ДП в зависимости от концентрации хрома в кристалле, содержания кислорода в ростовой атмосфере, а также дополнительного легирования литием. Обсуждается возможная структура центров окраски, ответственных за наблюдаемое ДП.

Показано, что облучение приводит к некоторому уменьшению интенсивности характерных полос поглощения ионов трех- и четырехвалентного хрома.

## БОРФТОРИДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДИПИРРОЛИЛМЕТЕНОВ КАК АКТИВНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ СРЕДЫ

Ю.В. Аксенова<sup>1</sup>, Р.Т. Кузнецова<sup>1</sup>, С.Л. Ютанова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный университет, Томск

<sup>2</sup>Институт химии растворов РАН, Иваново

Бурное развитие лазерной техники и широкое ее внедрение в различные области деятельности человека привело к необходимости решения вопроса о создании новых активных лазерных сред. Наиболее известными являются органические красители, обладающие оптимальными спектральными свойствами. Одними из новых представителей данного класса веществ являются борфторидные комплексы дипирролилметенов (BODIPY), которые уже зарекомендовали себя как эффективные флуорофоры. [1] Активно обсуждается возможность их использования в качестве ограничителей мощного лазерного излучения, сенсоров и меток для биологических процессов. Изучение спектральных и фотофизических свойств химических модификаций дипирролилметенов позволит решить проблему оптимального практического использования соединений данного класса.

В работе представлены результаты изучения спектрально-люминесцентных, генерационных свойства двух дифторборидных комплексов алкилдипиррометенов, различающиеся заместителем в мезоположении: H – BODIPY1, Ph – BODIPY2. Получены данные по фотостабильности данных красителей в двух растворителях (этанол и 2-гидроксиэтилметакрилат (HEMA)). Эксперимент показал, что для всех соединений существует зависимость КПД от  $W_{\text{нак}}$ , т.е. оптимальные условия возбуждения. Максимальное значение КПД для BODIPY1 в этаноле достигается при плотности мощности накачки 21-22 МВт/см<sup>2</sup> и составляет 74 % (до 15 мДж/имп). Для BODIPY2 в этаноле КПД генерации ниже, однако, ресурс, выраженный в Дж/см<sup>3</sup>, для этого соединения существенно превышает эту характеристику для близкого к нему по значению BODIPY 1.

Красители, растворенные в HEMA, демонстрируют в целом более низкие показатели КПД, что объясняется изменением индивидуальных характеристик растворителя, по сравнению с этанолом (увеличение значений показателя преломления и вязкости). Квантовые выходы фотопревращений, определенные по изменениям спектров поглощения, соответствуют тенденциям ресурсных характеристик, что позволяет объяснить высокую генерационную фотостабильность BODIPY отсутствием поглощением фотопродуктов на длине волны генерации.

1. Costela A., Garcia-Moreno I., Gomez C. et al Applied physics B. 2003, **76**, 365-369.

# ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ОКРАСКА МОНОКРИСТАЛЛОВ СЛОЖНОЗАМЕЩЕННЫХ ДВОЙНЫХ МОЛИБДАТОВ СО СТРУКТУРОЙ ШЕЕЛИТА

Г.М. Кузьмичева<sup>1</sup>, В.Б. Рыбаков<sup>2</sup>, К.А. Субботин<sup>3</sup>, Е.В. Жариков<sup>3</sup>,  
Д.А. Лис<sup>3</sup>, Д.А. Николаев<sup>3</sup>, В.Г. Сенин<sup>4</sup>, О. Zaharko<sup>5</sup>

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

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

<sup>3</sup>Институт общей физики Российской академии наук

<sup>4</sup>Институт геохимии и аналитической химии РАН

<sup>5</sup>Laboratory for Neutron Scattering, ETZ Zurich & Paul Scherrer Institute

Кристаллы  $(\text{Na}_{0.5}\text{Gd}_{0.5})\text{WO}_4$  (NGW),  $(\text{Na}_{0.5}\text{Gd}_{0.5})\text{MoO}_4$  (NGM),  $(\text{Na}_{0.5}\text{Y}_{0.5})\text{MoO}_4$  (NYM),  $(\text{Na}_{0.5}\text{La}_{0.5})\text{MoO}_4$  (NLM), вызывающие значительный интерес исследователей как перспективные активные среды твердотельных лазеров с диодной накачкой [1], нередко демонстрируют дополнительное оптическое поглощение, просветляющееся при окислительном отжиге, не связанное с присутствием ионов редкоземельных активаторов. Указанное дополнительное поглощение, распространяясь на диапазон люминесценции редкоземельных активаторов, может негативно сказываться на генерационных характеристиках кристаллов. В связи с этим, изучение причин данного «паразитного» окрашивания представляет значительный интерес.

В представляемой работе проведено изучение структурных особенностей и дефектообразования, приводящих к появлению дополнительного окрашивания в монокристаллах сложнозамещенных двойных молибдатов со структурой шеелита, выращенных методом Чохральского в слабоокислительной атмосфере ( $\text{N}_2+1\%\text{O}_2$ ) с последующим отжигом на воздухе.

Найдено, что черная (сиреневая в тонком слое) окраска неотожженных кристаллов шеелитоподобных молибдатов с высоким содержанием относительно мелких додекаэдрических катионов (интенсивность и стойкость данной окраски резко увеличиваются в ряду  $\text{NLM} < \text{NGM} < \text{NYM}$ ) обусловлена присутствием точечных дефектов как минимум двух видов. Один из них, скорее всего, представляет собой кислородную вакансию с локализованным на ней электроном, второй, вероятно, является пентавалентным молибденом в подрешетке  $\text{Mo}^{6+}$ . При отжиге кристаллов на воздухе концентрация обоих центров резко, хотя и несинхронно уменьшается, что приводит к обесцвечиванию образцов. Обсуждаются также другие виды дополнительного окрашивания кристаллов и причины его возникновения.

1. Zharikov E.V., Zaldo C., Diaz F. «Double Tungstate and Molybdate Crystals for Laser and Nonlinear Optical Applications» // MRS BULLETIN. 2009. V. 34, P. 271-276

## ВЫРАЩИВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ В ГЕЛЕ

Е.К. Малафеева, А.А. Стиценко

*Нижегородский государственный университет*

*им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород*

Многие вещества являются малорастворимыми и их кристаллы могут быть выращены только в геле [1].

В [2] сообщается о структурных характеристиках и о коэффициентах нелинейно-оптической восприимчивости ряда тартратов, измеренных методом порошка. Для этого не нужны крупные кристаллы. Однако желательно вырастить кристаллы размерами около 5 мм для изучения их оптической анизотропии. Для этого было исследовано несколько способов выращивания кристаллов в гелях: выращивание в пробирках, выращивание в U — образных трубках и выращивание в трубках с 3 отводами.

Данные способы испытаны для выращивания кристаллов углекислого марганца в желатиновом геле, кристаллов тартратов стронция, олова, цинка, кобальта и смешанных кристаллов тартратов цинка и кобальта в метасиликатном геле.

1. Гениш Г. Выращивание кристаллов в гелях.-М.: Мир, 1973.- 15-21с.
2. M.L. Labutina, M.O. Marychev, V.N. Portnov, N.V.Somov, E.V. Chuprunov//Crystallography Reports, 2011, Vol. 56, No. 1, pp. 72-74.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИСТЕНОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЖИДКОСТЯХ

И.Н. Павлов, Б.С. Ринкевичюс

*Московский энергетический институт (технический университет),  
Москва*

Исследованию процессов, происходящих вблизи границы раздела двух сред, посвящено немало научных работ и, тем не менее, интерес к этой проблеме не исчезает до сих пор, что подтверждается многочисленными публикациями на эту тему. Данная работа посвящена исследованию процессов, происходящих в жидкостях на расстоянии порядка нескольких сотен нанометров от стеклянной призмы при различных условиях. Для этого была создана экспериментальная установка, позволяющая визуализировать оптические неоднородности в пристеночном слое жидкости на расстоянии меньше длины волны света от измерительной призмы.

Принцип работы установки основан на явлении полного внутреннего отражения (ПВО). Излучение от лазера, пройдя через оптическую систему расширителя пучка, падает на внутренне основание стеклянной призмы, которое контактирует с исследуемой жидкостью. Угол падения близок к критическому углу ПВО для этой границы раздела. Отраженный пучок света попадает на диффузный экран, изображение на котором регистрируется с помощью цифровой камеры, а затем записывается и обрабатывается на компьютере.

При изменении показателя преломления жидкости, что может быть вызвано различными причинами, условия отражения изменяются, а соответственно изменяется интенсивность попадающего на экран света. Определив изменение интенсивности, можно оценить величину изменения показателя преломления.

На предыдущих этапах работы описанная установка была успешно применена для визуализации течений неоднородной жидкости в объемной кювете, плоском и Т-образном микроканалах [1]. На данный момент установка используется для исследования испарения капель различных жидкостей с поверхности призмы, в том числе воды, ацетона, изопропилового спирта, растворов соли и сахара, а также для визуализации охлаждения капли горячей воды.

Работа выполнялась при финансовой поддержке ФЦП Минобрнауки РФ (ГК 14.740.11.0594) и Российского Фонда Фундаментальных Исследований (грант 10-08-00936а).

1. И.Н. Павлов. Анализ лазерной системы визуализации пристеночных потоков жидкости по нарушенному полному внутреннему отражению // Сборник трудов 8-й ВНКШ "Материалы нано-, микро-, оптоэлектроники и волоконной оптики: физические свойства и применение". Саранск: Изд-во Морд.ун-та, 2009. С. 94.

# **НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ**

# УГЛЕРОДНЫЕ НАНОТРУБКИ: ПОЛУЧЕНИЕ КАТАЛИТИЧЕСКИМ ПИРОЛИЗОМ УГЛЕВОДОРОДОВ И АРМИРОВАНИЕ КЕРАМИКИ

Е.В. Жариков

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

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

Уникальные свойства однослойных и многослойных углеродных нанотрубок (УНТ) делают их перспективным материалом для использования в электронике, медицине, для создания катализаторов, новых композиционных материалов, а также в других областях. Для синтеза УНТ использовали метод пиролиза углеводородов, который является одним из наиболее эффективных и технологичных методов благодаря относительно низким температурам синтеза, высокой чувствительности процесса к изменению параметров и возможности организации непрерывного процесса со значительным выходом депозита. При выборе условий синтеза особое внимание следует уделять составу, виду и способу ввода катализатора, так как именно он является ключевым фактором и мощным инструментом для управления качеством углеродных НТ. В процессе синтеза УНТ особенно важно иметь наноразмерные каталитические частицы заранее заданного одинакового размера.

Введение углеродных нанотрубок в керамику дает возможность значительно улучшать существующие характеристики традиционных керамических конструкционных материалов благодаря особенностям строения УНТ, химической инертности и выдающимся механическим свойствам. Для введения в керамический материал использовались многослойные УНТ диаметром от 30 нм, полученные каталитическим пиролизом бензола при 980°C при использовании ферроцена в качестве предкатализатора, которые были предварительно очищены обработкой в кислотах. В качестве керамической матрицы был использован  $Al_2O_3$ , легированный 0,25% масс. MgO. Был разработан весь технологический процесс получения композита на основе корунда, армированного углеродными нанотрубками. Проведена оптимизация концентрации УНТ, состава и режимов предварительной обработки исходной шихты, а также процедуры смешения и режимов обжига, что позволило получить плотный однородный композит с равномерно распределёнными УНТ, размещёнными по границам зерен керамической матрицы. В результате была получена структура композита с сетчато-каркасным распределением УНТ, что способствовало улучшению структуры матрицы и увеличению трещиностойкости в 1,5 - 2 раза при содержании углеродных нанотрубок 0.2 об. %.



## ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИМПУЛЬСА В МАССИВЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК И ГРАФЕНОВЫХ ЛЕНТ

Н.Г. Лебедев, М.Б. Белоненко

*Волгоградский государственный университет, Волгоград*

Нелинейная оптика углеродных наночастиц (нанотрубок, графена) – новое направление исследований, формирующееся на стыке физики твердого тела, лазерной физики, физики низкоразмерных наноструктур, нанооптики и нанотехнологий. Исследования указывают на наличие сильных оптических нелинейностей углеродных наночастиц и возможность их использования для генерации оптических гармоник высокого порядка. [1]

В работе предложена микроскопическая модель динамики электромагнитного импульса в пучках углеродных нанотрубок [2] и графене [3], как идеальных, так и содержащих примеси. Рассматривается ультракороткий оптический импульс, распространяющийся в одномерном и двумерном массиве углеродных нанотрубок и графеновых лент. Вектор напряженности электрического поля направлен вдоль оси трубки и наноленты, а электромагнитная волна движется в поперечном направлении. Моделирование эволюции ультракороткого импульса осуществлялось в рамках уравнений Максвелла в кулоновской калибровке. Эволюция электронной подсистемы углеродных наночастиц описывается квазиклассически в рамках уравнения Больцмана в приближении времени релаксации. Получено эффективное уравнение на вектор-потенциал электрического поля в системе углеродных нанотрубок и графена.

Построена микроскопическая модель и изучена эволюция предельно коротких оптических импульсов в углеродных нанотрубках и графене с примесями в рамках периодической модели Андерсона. Изучено усиление электромагнитных импульсов в графене с хаббардовским взаимодействием однородным высокочастотным переменным полем. Предложен метод вычисления вольтамперной и гаусс-амперной характеристик для графена в случае приложенных сильных электрических и магнитных полей. Получено эффективное уравнение, описывающее динамику электромагнитного поля в массиве углеродных нанотрубок, в случае наличия двух поляризацій электромагнитного поля, и для предельно коротких импульсов электромагнитного поля.

Работа проведена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (проект № НК-16(3)).

1. Желтиков А.М. Сверхкороткие импульсы и методы нелинейной оптики. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 296 с.

2. Дьячков П.Н. Электронные свойства и применение нанотрубок. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2010. 488 с.

3. Морозов С.В., Новоселов К.С., Гейм А.К. Электронный транспорт в графене // УФН, 2008, т. 178, № 7, с. 776 – 780.

## НОВЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КВАРЦОИДНЫХ НАНОПОРИСТЫХ СТЕКОЛ

Т.В. Антропова

*Институт химии силикатов имени И.В. Гребенщикова РАН,  
Санкт-Петербург*

Представлен обзор результатов исследований ИХС РАН, направленных на разработку термически и химически стабильных высококремнеземных (кварцoidных) матриц из нанопористых стекол (НПС) с регулируемыми параметрами структуры [1], пригодных для создания новых неорганических материалов функционального назначения с контролируемыми свойствами на их основе.

Рассмотрены новые перспективные области применения НПС:

- в качестве подложек для лазерного формирования микрооптических элементов (МОЭ) различных типов (микролинз и планарных волноводов) [2], которые могут быть использованы как функциональные устройства интегрально-оптических систем для передачи, хранения и обработки информации;
- в качестве базовых матриц для создания новых термостабильных нанокompозитных стекломатериалов (НКСМ), уникальность свойств которых определяется нанокластерным состоянием допанта, обусловленным морфологией наноструктурированного порового пространства матрицы, а также ее химическим составом. В этой области интерес представляют следующие направления использования НПС: 1) для создания ферромагнитных НКСМ [3] со свойствами мультиферроиков, перспективных для магнитного хранения данных и спинтронных устройств; 2) для создания кварцoidных фотохромных НКСМ с плазмонными структурами [4] для нанофотоники.

1. Т.В. Антропова // Тез докл. 9 Всеросс. конф. «Материалы нано-, микро-, оптоэлектроники и волоконной оптики: физические свойства и применение» (Саранск, 5-8 октября 2010 г.), 89 (2010).

2. Антропова Т.В., Анфимова И.Н., Вейко В.П., Костюк Г.К., Яковлев Е.Б. // Тез. докл. II Международного форума «Rusnanotech 2009» (Москва, 6-8 октября 2009 г.), 507 (2009).

3. С.В. Столяр, И.Н. Анфимова, Т.В. Антропова, И.Н. Дроздова. Тез. докл. IV Всеросс. конф. «НАНО2011» (Москва, 1-4 марта 2011 г.), 513 (2011).

4. Т.В. Антропова, И.А. Дроздова, И.Н. Анфимова, С.В. Лурье. Тез. докл. IV Всеросс. конф. «НАНО2011» (Москва, 01-04 марта 2011 г.), 482 (2011).

Работа выполняется в рамках проектов РФФИ (№ 11-03-00747а) и ПФИ ОХНМ-02 РАН при участии ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН и НИУИТМО (Санкт-Петербург).

## ЗАВИСИМОСТЬ НЕКОТОРЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ ЧАСТИЧНО СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ОТ ХАРАКТЕРА ИХ НАНОСТРУКТУРЫ

М.А. Борик<sup>1</sup>, В.Т. Бублик<sup>2</sup>, А.В. Кулебякин<sup>1</sup>, Е.Е. Ломонова<sup>1</sup>,  
Ф.О. Милович<sup>2</sup>, В.А. Мызина<sup>1</sup>, Н.Ю. Табачкова<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>*Московский институт стали и сплавов, Москва*

В настоящее время кристаллы ЧСЦ находят все более широкое применение в различных областях науки и техники. Низкий коэффициент трения и высокая износостойкость позволяют использовать данный материал для изготовления деталей узлов трения. Благодаря высокой прочности и вязкости разрушения из кристаллов ЧСЦ получают сверхострые режущие инструменты. В зависимости от назначения изделий требуется конкретное сочетание физико-химических свойств. Свойства материала напрямую зависят от его структуры и фазового состава, которые изменяются при изменении химического состава. Установление корреляции между характером структуры и свойствами кристаллов ЧСЦ является важной практической задачей.

В данной работе исследовались кристаллы ЧСЦ выращенные методом направленной кристаллизацией расплава с использованием прямого ВЧ-нагрева. Были синтезированы кристаллы с концентрацией стабилизирующего оксида от 2.5 до 4.0 мол. %  $Y_2O_3$  и серия кристаллов с дополнительно введенными примесями редкоземельных и переходных элементов.

Исследования структуры проводили методом просвечивающей электронной микроскопии и с помощью рентгенодифрактометрического анализа.

Показано, что показатели прочностных и трибологических характеристик кристаллов ЧСЦ могут меняться в широком диапазоне значений в зависимости от дисперсности и характера доменной структуры материала.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для поддержки молодых ученых МК-2035.2011.2 и Президиума РАН по Программе фундаментальных исследований № 22П “Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов”.

# НАНОСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПАССИВАЦИИ МЕТАЛЛОВ ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ АРГОНА

И.В. Перинская, В.В. Перинский

*Саратовский государственный технический университет, Саратов*

Исследования последних лет подтвердили высокую эффективность имплантационных методов защиты металлических изделий от коррозии [1]. Наряду с этим известна возможность аномально сильной химической пассивации поверхности металлов ионным пучком [2], что может быть использовано для защиты изделий от воздействия внешней агрессивной среды. Химические эффекты, наблюдающиеся в металлах при их ионной имплантации, многообразны и по многим признакам сходны с известным эффектом неокисляемости ультрадисперсных форм простых веществ с поверхности космических тел («лунных» материалов) [3].

В настоящей работе изучались нано-структурные превращения в имплантированных металлических слоях, обуславливающие их ионно-стимулированную химическую пассивацию. Исследовались пленки алюминия, титана, хрома, пермаллоя (80 % Ni - 20 % Fe) толщиной 0,14 – 0,30 мкм на ситалловых и стеклянных подложках, полученные магнетронным распылением в вакууме с напуском аргона до давления  $10^{-1}$  Па. Имплантация ионами аргона энергией 75 кэВ дозами  $D = 6 \times 10^{14} - 2 \times 10^{16} \text{ см}^{-2}$  проводилась на установке ионного легирования «Везувий – 5» в вакууме  $\sim 10^{-4}$  Па без специального подогрева образцов, с контролируемым напуском СО-газа. Плотность тока ионов не превышала 0,2 мкА/см<sup>2</sup>. Степень химической пассивации имплантированных образцов описывалась нормализованной скоростью травления в стандартных жидкостных травителях как  $V = V_{\text{обл}}/V_0$ . На имплантированных образцах проводились оптические, электрические и электронно-микроскопические исследования, вторично-ионная масс-спектрометрия, послойный анализ, измерения механических параметров.

При пассивирующей ионно-лучевой обработке происходит значительное изменение структурно-морфологических характеристик металлических слоев, коррелирующих с дозовой зависимостью нормализованной скорости химического травления. Так же, как и характер зависимости  $V(D)$ , эти изменения качественно одинаковы для всех исследованных металлов.

1. Гусева М.И. Ионная имплантация в металлах. Поверхность, 1982, № 4, с. 27-50.

2. О влиянии ионной бомбардировки на химическую активность металлических пленок / В.Ф.Дорфман, В.В.Севастьянов, Б.В.Козейкин и др. – Микроэлектроника, 1982, т. 11, вып. 4, с. 349-356.

3. Виноградов А.В., Нефедов В.И., Урусов В.С., Жаворонков Н.М. Рентгеноэлектронное исследование лунного реголита из морей Изобилия и Спокойствия.- ДАН СССР, 1971, т. 201, № 4, с. 957.

## ПРОЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТА ПЬЕЗОСОПРОТИВЛЕНИЯ В ГРАФЕНОВЫХ ЛЕНТАХ

Н.Г. Лебедев, О.С. Ляпкосова

*Волгоградский государственный университет, Волгоград*

В работе представлены результаты теоретического исследования пьезорезистивного эффекта в графеновых лентах «arm-chair» и «zig-zag» типов и однослойных углеродных нанотрубках (УНТ) [1].

Согласно современной классификации «arm-chair» нанотрубке соответствует графеновая нанолента «zig-zag» типа, в которой роль диаметра играет ширина ленты, «zig-zag» УНТ – нанолента «arm-chair» типа. Поэтому графеновые ленты имеют аналогичные дисперсионные соотношения зонной структуры, полученные для УНТ.

Под влиянием деформации сжатия происходит уменьшение ширины запрещенной щели, что означает усиление проводящих свойств УНТ. Под влиянием растяжения у полупроводниковых нанотрубок увеличивается запрещенная зона, что уменьшает их проводимость, а металлические остаются проводящими. Например, ширина запрещенной зоны у НТ (10,0) составляет  $E_g \approx 0.5$  эВ. Это значение соответствует длине волны  $\lambda \approx 2.5$  мкм. Если подвергнуть нанотрубку максимально возможному сжатию (т.е. на 25% от первоначальной длины), то  $E_g$  уменьшится в 2 раза, что приводит к увеличению длины волны до 5 мкм. Проводимость графеновых лент усиливается при продольном сжатии и уменьшается при растяжении. Путем варьирования внешней механической нагрузки, можно создавать наноматериалы с модуляцией ширины запрещенной зоны, а, следовательно, с контролируемо изменяемыми проводящими свойствами.

С использованием метода функций Грина в рамках однозонной модели Хаббарда [2] был проведен теоретический расчет тензора эластопроводимости для УНТ и графеновых лент разных типов. Для всех проводящих углеродных нанотрубок его расчетное значение одинаково и равно 6.2 для «arm-chair» нанотрубок и 8.5 для типа «zig-zag». Для полупроводящих нанотрубок значение тензора уменьшается с увеличением их диаметра..

Пьезорезистивный эффект может быть использован для практической идентификации УНТ, разработки устройств преобразования электромеханической энергии, полупроводниковых приборов и «топологических диэлектриков» на основе графеновых лент.

1. Harris P.J.F., Carbon nanotubes and relative structures, New materials of twenty-first century, N.-York: Cambridge University Press, 336 p., (1999)
2. Тябликов С.В., Методы квантовой теории магнетизма, Москва: Наука (1975)

# РАВНОВЕСНЫЙ КОМПОНЕНТНЫЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА НАНОМЕТРОВЫХ СЛОЕВ ПОЛИМЕТИНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ И ИХ ФОТОИНДУЦИРОВАННАЯ МОДИФИКАЦИЯ

Е.Н. Калитеевская, В.П. Крутякова, Т.К. Разумова, А.А. Старовойтов,  
Н.А. Торопов

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

Сегодня использование органических тонких пленок и молекулярных слоев достаточно многогранно, начиная от научных исследований (включающих, например, изучение туннелирования между сверхрешетками или создание модели клеточных мембран) до множества прикладных применений (для нелинейной оптики, нанолитографии с разрешением  $< 10$  нм, затравок для упорядочения жидких кристаллов, сэндвич структур для органических светодиодов OLED и др).

В нашей работе методами спектроскопии поглощения исследовался компонентный состав молекулярных слоев полиметиновых красителей образующийся на подложках разной природы, таких как стекло, слюда и сапфир. Установлено существование в составе слоя пространственных изомеров наносимых нанометровых молекул, а также агрегированных компонентов, таких как димеры и J-агрегаты, которые могут рассматриваться, как молекулярные нанокластеры. Относительные концентрации полученных компонентов зависят от строения наносимых полиметиновых красителей и поверхностной концентрации молекул.

Отмечено образование двух типов пространственной ориентации наноконфигуров, отличающиеся углами наклона молекулы относительно нормали к поверхности. Для определения этих углов исследовалось ориентация дипольного момента длинноволновой полосы перехода  $S_0 \rightarrow S_1$  молекулы методом линейного дихроизма при наклонном зондировании.

Показано, что под действием резонансно поглощаемых наносекундных моноимпульсов лазерного излучения происходит необратимое изменение структуры нанометровых слоев молекул и изменения относительных концентраций компонентов в составе слоя. Характерные изменения получены для образцов молекулярных слоев на различных диэлектрических подложках.

Установлено, что под действием фотовозбуждения молекулярные слои второго типа могут необратимо преобразовываться в слои первого типа. Слои первого типа не способны к фотоиндуцированной перестройке своей структуры.

# СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ КЕРАМИКИ $\text{CaF}_2:\text{Tm}$

А.А. Ляпин<sup>1</sup>, П.А. Рябочкина<sup>1</sup>, С.Н. Ушаков<sup>2</sup>, П.П. Федоров<sup>2</sup>, Е.А.Гарибин<sup>3</sup>  
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,  
Саранск<sup>1</sup>

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН<sup>2</sup>, Москва  
ЗАО ИНКРОМ, Санкт-Петербург<sup>3</sup>*

В последнее время в лазерной физике возрос интерес к исследованию прозрачной керамики, активированной редкоземельными ионами. Преимуществом лазерной керамики перед монокристаллами являются возможности получения больших заготовок с улучшенными физическими свойствами, повышенным содержанием и равномерным распределением активатора, а также получения лазерных материалов из тех веществ, для которых выращивание монокристаллов затруднено [1].

В настоящей работе зарегистрированы спектры поглощения монокристаллов и керамики  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$ , обусловленные переходами с основного состояния  $^3\text{H}_6$  на возбужденные мультиплеты:  $^1\text{G}_4$ ,  $^3\text{F}_2$ ,  $^3\text{F}_3$ ,  $^3\text{H}_4$ ,  $^3\text{H}_5$ ,  $^3\text{F}_4$  ионов  $\text{Tm}^{3+}$ . Сделана оценка спектроскопических характеристик ионов  $\text{Tm}^{3+}$  (сил осцилляторов, параметров интенсивности, вероятностей переходов) в монокристаллах и керамики  $\text{CaF}_2:\text{Tm}$ .

При возбуждении на уровень  $^3\text{H}_4$  ионов  $\text{Tm}^{3+}$  лазерным диодом с  $\lambda_{\text{изл}} \approx 808$  нм, зарегистрирован спектр люминесценции в области 2 мкм, соответствующий переходу  $^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$  ионов  $\text{Tm}^{3+}$ . Получена спектральная зависимость сечения усиления  $\sigma_g(\lambda)$  для двухмикронного лазерного перехода  $^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$  при различных значениях параметра относительной инверсной населенности ( $P=0,4; 0,5; 0,6$ ).

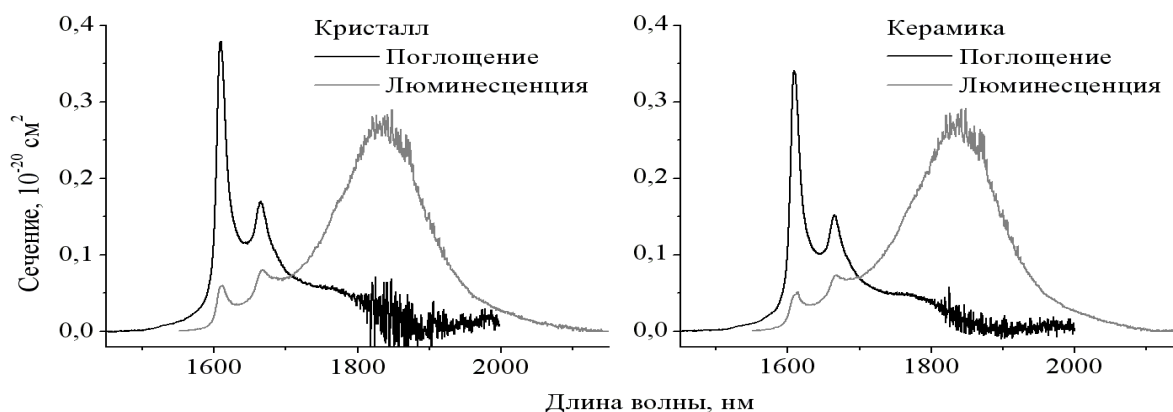


Рис. 1. Спектры поглощения (переход  $^3\text{H}_6 \rightarrow ^3\text{F}_4$ ) и люминесценции (переход  $^3\text{F}_4 \rightarrow ^3\text{H}_6$ ) для монокристаллов и керамики  $\text{CaF}_2-4$  мол.%  $\text{TmF}_3$ ,  $T=300$  К.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, государственный контракт № 14.740.11.0071

1. П.П. Федоров, В.В. Осико, Т.Т. Басиев, Ю.В. Орловский и др. Российские нанотехнологии. 2007. No. 5-6. С. 95-105.

# ОПТИЧЕСКИЕ И СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ СВОЙСТВА СМЕШАННЫХ МАССИВОВ НАНОКЛАСТЕРОВ ЗОЛОТА И КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

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

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

Актуальной задачей современной опто- и наноэлектроники является поиск путей повышения интенсивности излучения кремниевых нанокластеров (НК), сформированных в диэлектрических матрицах. Одним из вариантов повышения излучательной способности НК Si является увеличение интенсивности люминесценции за счет резонансного энергообмена между экситонами, возбужденными в НК Si, и поверхностными плазмонами, присутствующими в системе с металлическими НК. В данной работе исследована возможность ионно-лучевого формирования НК Au в оксидных структурах с однослойными и многослойными массивами НК Si.

В качестве исходных объектов использовались массивы НК Si, сформированные путем высокотемпературного отжига (1100 °С, N<sub>2</sub>) слоев SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, имплантированных ионами Si<sup>+</sup> (40 кэВ, 4·10<sup>16</sup> см<sup>-2</sup>), а также осажденных многослойных нанопериодических структур (МНС) SiO/SiO<sub>2</sub> (4 нм / 3 нм), SiO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (8 нм / 3 нм). Для формирования НК Au структуры с НК Si, а также без них были подвергнуты имплантации ионов Au при ускоряющем напряжении 80 кВ с дозами в интервале 5·10<sup>16</sup>-1·10<sup>17</sup> см<sup>-2</sup> и отжигу при 500-1100 °С (N<sub>2</sub>).

Исследование оптических свойств слоев SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с предварительно синтезированными в них НК Si, а также МНС НК Si/SiO<sub>2</sub> и НК Si/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> после ионного внедрения золота и последующего отжига выявило некоторые различия в параметрах НК Au при их формировании в матрицах SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, а также при их синтезе в структурах с однослойными и многослойными массивами НК Si, связанные со свойствами как оксидных материалов, так и структур на их основе. После всех обработок НК Si сохраняют типичную для них фотолюминесценцию (ФЛ) в диапазоне 600-900 нм, связанную с квантово-размерным эффектом. Таким образом, показано, что метод ионной имплантации Au позволяет получать в оксидных структурах смешанные массивы оптически активных НК Au и светоизлучающих НК Si. В качестве предварительного результата обнаружено аномально слабое гашение ФЛ при облучении ионами Au МНС с НК Si в матрице SiO<sub>2</sub>, по-видимому, связанное с особым поведением радиационных дефектов в системе со слоистой морфологией.



Работа выполнена частично в рамках АВЦП «Развитие научного потенциала высшей школы», ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» и гранта РФФИ (10-02-00995).

# ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНКИ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН

<sup>1</sup>В.В.Мериакри, <sup>1</sup>М. П. Пархоменко, <sup>2</sup>В. Фанг

<sup>1</sup>Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН  
(Фрязинский филиал), Фрязино

<sup>2</sup>Национальный университет ЦзынгХуа, Хинчу, Тайвань

Пленки углеродных нано трубок (УНТ) могут найти применение в пассивных элементах миллиметрового диапазона электромагнитных волн (поглотители, пластины аттенуаторов, согласующие элементы, экранирующие покрытия). В связи с этим нами были исследованы в диапазоне частот от 17 до 40 ГГц и в диапазоне 80-100 ГГц диэлектрические свойства многостенных УНТ, изготовленных в Департаменте MEMS Национального университета ЦзынгХуа, Хинчу, Тайвань. Пленки УНТ толщиной 50 мкм были нанесены на полимерную пленку толщиной 40 мкм.

Действительные  $\epsilon_1$  и мнимые  $\epsilon_2$  части комплексной диэлектрической проницаемости определялись из результатов измерения коэффициентов пропускания и отражения пленок. В диапазоне частот  $f_{от}$  17 до 40 ГГц и измерения проводились в одномодовых волноводах, а в диапазоне 80-100 ГГц в квазиоптической системе с рупорными антеннами [1].

Характеристики одной из пленок УНТ представлены в таблице

f, ГГц	n	K	$\epsilon_1$	$\epsilon_2$	$\alpha$ , дБ/мм
17	7.6	7.2	5.2	109	22
25	7.9	6.2	23.1	97	28
37	6.7	5.2	17.2	70	25
92	4.5	3.2	10.0	29	53

В таблице наряду со значениями диэлектрической проницаемости представлены значения действительной и мнимой частей комплексного коэффициента преломления, а также коэффициента поглощения  $\alpha$  пленки УНТ.

Полученные результаты указывают на то, что  $\epsilon_2$  монотонно уменьшается с ростом частоты, тогда как  $\epsilon_1$  имеет максимальное значение вблизи частоты 20 ГГц, а затем плавно спадает, что нельзя описать ни моделью типа Дебая, ни зависимостью  $\sigma/f$ , где  $\sigma$  – проводимость пленки УНТ, т.е. дисперсия диэлектрической проницаемости пленки описывается более сложной, комбинированной моделью. Следует отметить очень высокое поглощение в пленке во всем диапазоне миллиметровых волн. В.М. Garin ,

1. Мериакри В.В., Чигряй Е.Е., Пархоменко М.П., Денисюк Р.Н., Фон Гратовски С.В., Электромагнитные волны и электронные системы, 15, № 1 55 (2010),

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НЕОРГАНИЧЕСКИХ  
ГАДОЛИНИЙ-БОР-СОДЕРЖАЩИХ СИСТЕМ,  
АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ  $Nd^{3+}$ , ДЛЯ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ И  
НЕЙТРОН-ЗАХВАТНОЙ  
ТЕРАПИИ РАКА

А.В. Попов<sup>1</sup>, В.А. Крутько<sup>2</sup>, М.Г. Комова<sup>2</sup>, О.Б. Петрова<sup>3</sup>, А.В. Рябова<sup>1</sup>,  
В.Б. Лоценов<sup>1</sup>, Ю.К. Воронько<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Учреждение Российской академии наук Институт общей физики  
им. А.М. Прохорова РАН, Москва

<sup>2</sup>Учреждение Российской академии наук Институт общей и  
неорганической химии им. Н.С. Курнакова РАН, Москва

<sup>3</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
Москва

Работа направлена на разработку частиц нанометрового и субмикронного размеров на основе В-Gd-содержащих материалов, активированных РЗИ, люминесцирующих в ИК диапазоне 0.8-1.1 мкм – окне прозрачности биотканей. Использование препарата на основе таких частиц позволит проводить раннюю диагностику рака флуоресцентными и радиочувствительными (магниторезонансная томография) методами. При накоплении препарата в опухоли, следовательно, ее обнаружении, возможно проведение нейтрон-захватной терапии с высокоселективным разрушением этой опухоли [1].

Частицы получали в два этапа. 1. Синтез поликристаллических  $GdVO_3$ ,  $Gd_{14}B_6Ge_2O_{34}$  и стекол близких по составу к  $GdB_3O_6$  с добавкой  $Na_2O$  с концентрацией ионов  $Nd^{3+}$  0.5–7 ат.% по Gd. 2. Поэтапное диспергирование в воде исходных продуктов в агатовой ступке, ультразвуковой мельнице, импульсным лазером ( $t_{имп}=1$  нс,  $\lambda=1.06$  мкм) и непрерывным лазером ( $\lambda=808$  нм) [2]. Синтез ультрадисперсных  $Gd_{14}B_6Ge_2O_{34}:Nd$  и  $GdVO_3:Nd$  проводили как совместным осаждением исходных компонентов  $Ln_2O_3$ ,  $H_3BO_3$  и  $GeO_2$  из водных растворов с последующим отжигом до 1200 °С, так и методом сжигания гелей.

Размеры частиц оценивали методами спектроскопии динамического рассеяния света, растровой и просвечивающей электронной микроскопией. Минимальные размеры частиц разных образцов по порядку величины значительно различаются (10, 30, 50, 70, 250–700 нм), что обусловлено, по видимому, большим различием в твердости разных материалов (от 5 до 7 по шкале Мооса). Исследованы спектральные свойства (спектры люминесценции и поглощения в области 0.8–1.1 мкм, времена жизни уровня  $^4F_{3/2}$  ионов  $Nd^{3+}$ ) полученных частиц, проведены тестовые эксперименты на лабораторных животных.

Работа проводится при финансовой поддержке Грантов РФФИ (№11-08-01322-а) и Президента РФ (№ МК-105.2010.2).

1. Козловская Н.Г. и др. Научная сессия МИФИ-2005. Т. 5. С. 56-57

2. Попов А.В. и др. Квантовая электроника. 2010. Т. 40. С. 1094-1097

ДИАГНОСТИКА СТРОЕНИЯ  
НАНОРАЗМЕРНЫХ КРЕМНИЙ-КИСЛОРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ  
И СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ  
В СИЛИКАТАХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Ю.К. Воронько, А.И. Загуменный, А.А. Соболев, Д.С. Чунаев, В.Е. Шукшин  
*Учреждение Российской академии наук Институт общей физики  
им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

Силикаты редкоземельных элементов (РЗЭ) с различным соотношением оксида кремния и оксида РЗЭ находят широкое применение в качестве сцинтилляторов, применяющихся в медицинской диагностике и физике высоких энергий. В научной периодике указывается на хорошую химическую и радиационную стойкость, высокий световой выход и быстрое время затухания [1]. Проблемы возникают при получении монокристаллических образцов силикатов, поскольку данный класс веществ характеризуется полиморфизмом и наличием фазовых превращений.

Основной структурной единицей силикатов служат кремний-кислородные комплексы, различной степени конденсации элементарного наноразмерного тетраэдрического аниона  $[\text{SiO}_4]$ . Каждый тип аниона обладает характеристическим, присущим только ему, колебательным спектром. Таким образом, вид зарегистрированного спектра позволяет делать выводы о внутренней структуре образца силиката. Это однозначное соответствие лежит в основе диагностики строения наноразмерных кремний-кислородных анионов и структурных превращений силикатов РЗЭ методами спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС). Преимуществом методики, используемой нами [2], является возможность её применения при высоких (до 2300 К) температурах, что позволяет изучать *insitu* спектры КРС образцов в том числе и в расплавленном состоянии. Данная информация представляет интерес, поскольку позволяет проводить модельные эксперименты, имитирующие реальные ростовые процессы, используемые для синтеза вышеназванных силикатных материалов.

Работа выполнена в рамках гранта МК – 816.2010.2 Президента РФ для государственной поддержки молодых российских учёных.

1. Melcher, C.L., Schweitzer, J.S., Peterson, C.A., Manente, R.A., Suzuki, H., Proceedings of SCINT'95, 309 (1995)
2. Воронько Ю.К., Соболев А.А., Шукшин В.Е. Неорг. Мат. 42 1080 (2006).

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СПЕКТРОСКОПИИ ОБРАТНО-РАСSEЯННЫХ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДЛОЖЕК ИЗ КРИСТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ ДЛЯ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

А.Н. Бузынин, Л.Д. Исхакова, Е.Е. Ломонова, В.А. Панов  
*Учреждение Российской академии наук Институт общей физики  
им. А.М. Прохорова РАН, Москва*

Кристаллы на основе стабилизированного диоксида циркония с кубической (фианит) и тетрагональной структурой (частично-стабилизированные кристаллы - ЧСЦ) имеют целый ряд преимуществ над другими диэлектриками как подложечный материал и буферный слой для эпитаксии Si, Ge и различных соединений  $A_{III}B_V$ . Для технологии микро- и оптоэлектронных устройств требуются подложки диаметром 75 мм (3") и более.

Подложки из кристаллов на основе диоксида циркония с кубической и тетрагональной структурой были изготовлены с использованием многостадийной механической обработки (резка и абразивная полировка) и доводки поверхности (алмазная и химико-механическая полировка - ХМП). Такая обработка может приводить к нарушению фазового состава и однородности исходного монокристалла в пределах поверхностного слоя ( $\approx 100$  нм), что, в свою очередь, снижает их качество с точки зрения дальнейших применений. Для контроля качества поверхности и фазового состава кристаллических подложек применяли метод микродифракции обратно рассеянных электронов (EBSD – спектроскопии).

Проведено количественное исследование кристаллографической ориентации, фазового состава, текстуры и границ колоний доменов (в случае ЧСЦ) различной ориентации подложек из кристаллов составов  $ZrO_2 - (2.8 - 4.0; 12-16 \text{ мол. } \%) Y_2O_3$  ориентации (001). Концентрационная серия образцов тетрагональных кристаллов на основе диоксида циркония была исследована вследствие перспективности данных подложечных материалов для эпитаксии соединений с различными параметрами решетки.

Получены карты распределения фаз, ориентаций и микронапряжений. Исследованы влияния режимов термообработки, ХМП и химического травления на фазовую однородность и качество поверхности подложек.

Проведенные исследования позволили оптимизировать технологию конечной обработки подложек из кристаллов на основе диоксида циркония

различного состава и разработать процедуру мониторинга качества поверхности подложек.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума РАН по Программе фундаментальных исследований № 22П “Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов”.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ, ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

А.М.Зюзин, К.Н.Нищев, А.А.Пыntenков, К.В.Саврасов

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

Структура и механические свойства кристаллов диоксида циркония изучены весьма подробно, однако их магнитные свойства практически не исследовались. Между тем известно, что магнитные методы (в сочетании с другими методами исследования веществ) дают ценную информацию о состоянии магнитоактивных ионов в кристалле и их окружении.

В докладе представлены результаты исследования статических магнитных свойств кристаллов диоксида циркония в зависимости от концентрации стабилизирующего оксида ( $Y_2O_3$ ) и типа легирующей примеси. Исследуемые кристаллы были получены методом индукционной плавки в холодном контейнере в Научном центре лазерных материалов и технологий ИОФ РАН им. А.М. Прохорова \*.

Измерения удельной магнитной восприимчивости исследуемых кристаллов проводились на установке с чувствительностью  $2 \cdot 10^{-9} \text{ см}^3/\text{Г}[1]$  в интервале температур от 100 до 300 К и в диапазоне магнитных полей от 1000 до 4500 Э.

В результате проведенных исследований установлено, что абсолютные значения магнитной восприимчивости кристаллов  $ZrO_2$  и характер ее температурной зависимости определяются концентрацией  $Y_2O_3$  и типом легирующей примеси. Отмечено, что кристаллы  $ZrO_2+3\% Y_2O_3 <Cu, Mn>$  являлись диамагнетиками с магнитной восприимчивостью ( $X_{Cu} = -1.3 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3/\text{Г}$ ,  $X_{Mn} = -0.2 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3/\text{Г}$ ), не зависящей от напряженности магнитного поля и температуры, а кристаллы  $ZrO_2+12\% Y_2O_3 <Cu, Mn>$  обладали характерными парамагнитными свойствами. Показано, что в случае кристаллов  $ZrO_2$ , легированных железом и хромом, с увеличением концентрации стабилизирующего оксида (от 3 мол.% до 12 мол.% с соответствующим переходом кристалла из тетрагональной в кубическую модификацию) парамагнитная составляющая магнитной восприимчивости кристаллов уменьшается. В случае же легирования кристаллов  $ZrO_2$  ионами Mn и Cu с увеличением концентрации  $Y_2O_3$  парамагнитный вклад в магнитную восприимчивость возрастает. Отмеченные различия магнитных свойств исследуемых кристаллов связываются с различными условиями вхождения легирующей примеси в кристаллическую решетку  $ZrO_2$ , которые определяются соотношением ионных радиусов легирующей примеси, ионов Y и Zr.

В докладе также сообщается об отмеченных эффектах анизотропии магнитной восприимчивости и спектров ЭПР кристаллов  $ZrO_2+12\% Y_2O_3 <Mn>$ , что может свидетельствовать о наличии в исследуемых образцах магнитной подрешетки, в состав которой входят ионы легирующей примеси, основного ( $ZrO_2$ ) и стабилизирующего оксида ( $Y_2O_3$ ).

Авторы выражают благодарность В.В.Осико, Е.Е.Ломоновой и М.А.Борику за предоставление исследуемых образцов.



1. Нищев К.Н., Саврасов К.В.. Автоматизированная установка для измерения магнитной восприимчивости диа- и парамагнетиков. “ Приборы и техника эксперимента”.1995, №5. С.161-166.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СИНТЕЗА ПОРОШКОВ ФТОРИДОВ В СИСТЕМАХ $BaF_2-ScF_3$ и $NaF-ScF_3$ .

М.Н. Маякова, С.В. Кузнецов, П.П. Федоров, В.В. Воронов, Р.П. Ермаков,  
В.В. Осико

*Учреждение Российской Академии наук  
Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН. Москва*

В последние годы к нанопорошкам фторидов проявляется значительный интерес. Объяснением этому являются особые свойства, проявляемые наноматериалами, а также уникальный набор физико-химических свойств фторидов. Это открывает перспективы создания нового поколения сцинтилляторов, источников белого света, а так же использование фторидов в биомедицинских приложениях. Целью данной работы было исследование синтеза порошков в бинарных системах  $NaF-ScF_3$  и  $BaF_2-ScF_3$  методом соосаждения из водных растворов. Интерес, проявляемый к скандию обоснован его особенностью к комплексообразованию.

В системе  $BaF_2-ScF_3$  в широкой области концентраций от 10 до 60 мол.% фторида скандия присутствует соединение  $Ba_3Sc_2F_{12}$ . На изображении СЭМ однофазного образца (рис.1.) этого соединения различимы «клубки», собранные из различных частиц, размер которых в среднем составляет 30 – 100 или 200 – 500 нм. При увеличении концентрации фторида скандия в растворе до 70 мол.% были получены двухфазные образцы состоящие из фторида скандия и неизвестной фазы. По данным EDX состав неизвестной фазы соответствует формуле  $Ba_5Sc_2F_{16}$ . Морфология частиц этого образца по данным СЭМ схожа, однако сильно отличаются размеры: от нескольких десятков нанометров до кубиков микронного размера.

В системе  $NaF-ScF_3$  получены фазы  $Na_3ScF_6$  и  $NaScF_4 \cdot H_2O$ . Стоит отметить, что образование соединения  $Na_3ScF_6$  зависит не только от концентрации фторида скандия в исходном растворе, но и от методики синтеза.

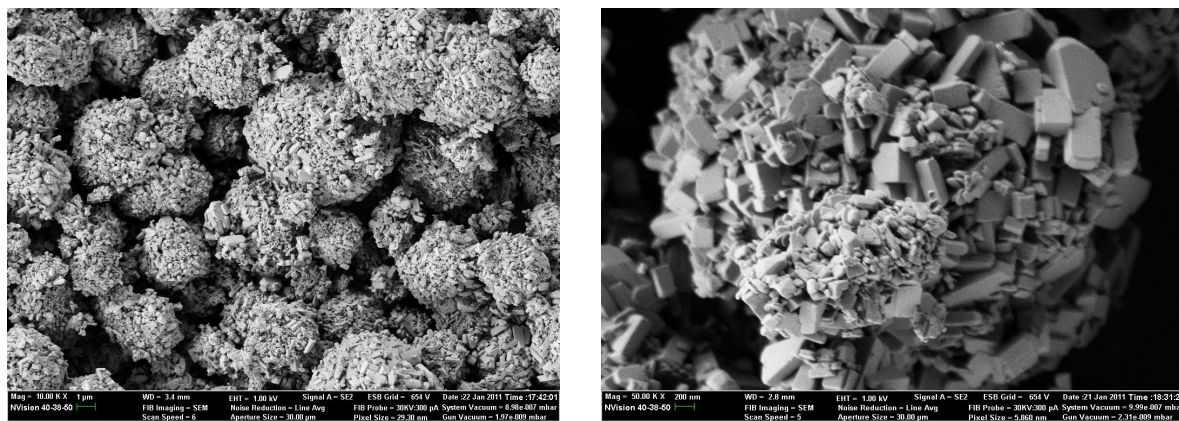


Рис. 1. СЭМ порошка фазы  $Ba_3Sc_2F_{12}$ .

# ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУБМИКРОННЫХ ПОРОШКОВ ФТОРИДОВ $\text{NaYF}_4:\text{Yb}:\text{R}$ (R – РЗЭ).

С.В. Кузнецов, А.В. Рябова, Д.С. Лось, П.П. Федоров, В.Б. Лощенов, В.В. Волков, В.В. Осико

*Учреждение Российской академии наук  
Институт общей физики им.А.М.Прохорова РАН, г.Москва*

Неорганические фториды обладают уникальным набором физико-химических свойств, вследствие чего перспективны в различных областях фотоники, что подтверждает анализ публикаций, в основной массе посвященных тонкостям синтеза, исследованию спектрально-люминесцентных характеристик нанопорошков для создания перспективных источников белого света и 3D дисплеев, а также биомедицинским приложениям.

Данная работа касается спектрально-люминесцентных характеристик субмикронных порошков в аспекте флуоресцентной диагностики и фотодинамической терапии рака.

Были исследованы субмикронные порошки, синтезированные методом соосаждения из водных растворов:  $\text{NaY}_{0.8}\text{Yb}_{0.17}\text{R}_{0.03}\text{F}_4$  (R=Er, Tm, Ho) (рис.1) и рассчитаны величины энергетического квантового выхода в видимой области спектра при различном соотношении Y:Yb:Er для составов  $\text{NaY}_{1-x-y}\text{Yb}_x\text{Er}_y\text{F}_4$ .

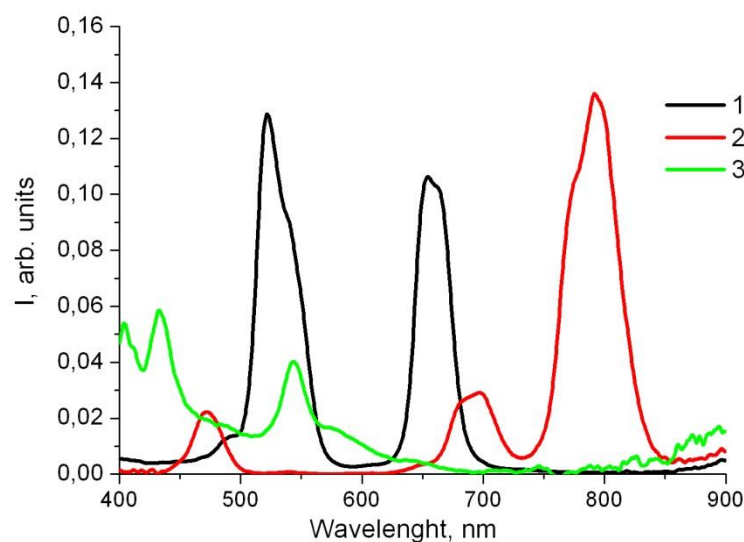


Рис.1. Спектры люминесценции ап-конверсии наночастиц при возбуждении полупроводниковым лазером с длиной волны 974 нм: 1 -  $\text{NaY}_{0.80}\text{Yb}_{0.17}\text{Er}_{0.03}\text{F}_4$ , 2 -  $\text{NaY}_{0.80}\text{Yb}_{0.17}\text{Tm}_{0.03}\text{F}_4$ , 3 -  $\text{NaY}_{0.80}\text{Yb}_{0.17}\text{Ho}_{0.03}\text{F}_4$  (состав соответствует номинальному содержанию компонентов в исходном растворе).

Определен перспективный состав:  $\text{NaY}_{0.60}\text{Yb}_{0.30}\text{Er}_{0.10}\text{F}_4$  с энергетическим квантовым выходом в терапевтическом диапазоне 0,54% при мощности накачке 3 Вт на длине волны 974 нм.

*ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА  
И ОПТОЭЛЕКТРОНИКА*

## РАЗРАБОТКИ ВНЦ «ГОИ ИМ. С. И. ВАВИЛОВА» В ТЕХНОЛОГИИ СВЕТОВОДОВ ИЗ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА

К. В. Дукельский, М. А. Ероньян

*ОАО «Научно исследовательский и технологический институт  
оптического материаловедения ВНЦ «ГОИ им. С. И. Вавилова»,  
Санкт-Петербург*

Более 25 лет в ВНЦ «ГОИ им. С. И. Вавилова» ведутся разработки технологических процессов изготовления оптических волокон различного функционального назначения. В результате проведения ряда НИР и ОКР на опытном участке института внедрены газофазные процессы производства кварцевых световодов, обладающих особыми оптическими и механическими свойствами. Изучение фундаментальных физико-химических процессов как при изготовлении заготовок, так и при вытягивании из них световодов позволило предложить принципиально новые технические и технологические решения.

Целью доклада является ознакомление с работами Всероссийского научного центра «ГОИ им. С. И. Вавилова» по технологии кварцевых световодов методами химического парофазного осаждения.

Термодинамическими расчетами определены условия получения в этих процессах кварцевого стекла, легированного азотом, фтором, а также фтором в сочетании с  $P_2O_5$ ,  $V_2O_3$  и  $GeO_2$ . Показано существенное влияние ликвационного характера состояния микропримесей в кварцевом стекле на прочность оптического волокна.

В опытном производстве института методами газофазного осаждения изготавливаются следующие основные типы оптических волокон.

-Анизотропные одномодовые световоды в однослойном полимерном покрытии с диаметром стекловолокна 40 мкм для малогабаритных волоконно-оптических гироскопов и диаметром 125 мкм с двухслойной полимерной оболочкой для интерферометрических датчиков повышенной точности.

- Многомодовые малодисперсионные световоды с фторсиликатной оболочкой для диагностики лазерного поджига дейтерий-третиевого ядерного топлива.

-Радиационно-стойкие фторсиликатные световоды.

-Высокопрочные одномодовые оптические волокна для дистанционного управления подвижными объектами.

Эксплуатационные характеристики световодов соответствуют мировому уровню, а технология их изготовления выгодно отличается от зарубежных аналогов оригинальными техническими решениями, направленными на упрощение технологического процесса и снижение материальных затрат.

# ЦЕЛЬНОВОЛОКОННЫЕ ЛАЗЕРЫ С МОДУЛЯЦИЕЙ ДОБРОТНОСТИ НА НАСЫЩАЮЩИХСЯ ВОЛОКОННЫХ ПОГЛОТИТЕЛЯХ

А.С. Курков

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

Импульсные волоконные лазеры представляют значительный интерес, поскольку позволяют достигать больших пиковых мощностей и энергий импульса при использовании накачки с относительно невысокой мощностью. Такие лазеры могут найти применение в обработке материалов, медицине, лазерной локации и др. При этом для различных применений могут использоваться лазеры с различными длинами волн излучения, длительностью импульсов и частотой их повторения.

Так же как и для других лазеров, получение импульсного режима в волоконных лазерах может быть основано на внесении в резонатор элемента, обладающим поглощением в области генерации. При этом сечение поглощения поглотителя должно быть существенно выше сечения люминесценции излучающих ионов. Использование волоконного насыщающегося поглотителя (FSA) позволяет реализовать цельноволокonnую схему, что значительно упрощает как изготовление лазера, так и его применение. Просветление любых волоконных поглотителей обуславливается возбуждением поглощающих ионов. В то же время по механизму релаксации и особенностям дизайна можно выделить несколько типов лазерных схем:

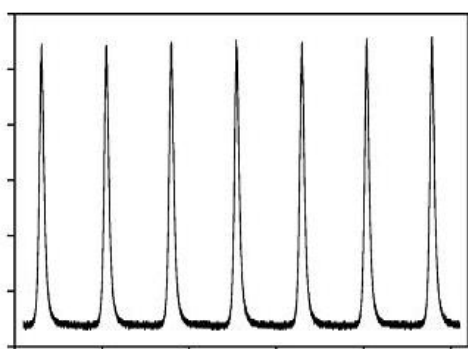
- С использованием поглотителя с безизлучательной релаксацией на основной уровень
- С использованием возбуждения лазерной генерации в волоконном поглотителе
- С применением волокон, легированных редкоземельными элементами с высокой концентрацией пар ионов

В кварцевом стекле, являющимся основным материалом оптических волокон, энергия фонона составляет около  $1100 \text{ см}^{-1}$ . Поэтому ионы редкоземельных или переходных металлов, имеющие сравнимые энергетические зазоры между уровнями, испытывают безизлучательную релаксацию с возбужденного уровня с малым временем. Это позволяет достаточно просто использовать их в качестве FSA. Схема лазера при этом может выглядеть так, как показано на рис.1 (BG – брэгговские решетки).



Рис.1. Общая схема лазера с волоконным насыщающимся поглотителем.

Первый цельноволоконный лазер с FSA был реализован в работе [1]. В качестве активной среды лазера использовалось волокно, легированное ионами  $\text{Nd}^{3+}$ , а в качестве насыщающегося поглотителя –  $\text{Cr}^{4+}$ . Резонатор лазера был образован высокоотражающей брэгговской решеткой и широкополосным зеркалом. Волокна, легированные, ионами  $\text{Cr}^{4+}$ , обладают широкой полосой поглощения в видимом и ближнем ИК-диапазоне. В результате применения волоконного поглотителя была получена последовательность импульсов на длине волны 1084 нм. При увеличении мощности накачки от 150 (порог) до 273 мВт частота повторения увеличивалась от 38 до 84 кГц, а длительность импульса падала с 6.4 до 3 мкс. Максимальная средняя мощность составила 1.3 мВт, а энергия импульса – 15 нДж. Невысокая эффективность генерации объясняется неоптимальной конфигурацией лазера.



Время, 10 мкс/дел

Рис.2. Последовательность импульсов, генерируемая Yb:Sm лазером.

Другим типом FSA являются оптические волокна, легированные ионами  $\text{Sm}^{3+}$ . Спектр поглощения таких волокон представляет собой набор полос в ближнем ИК диапазоне с центрами на 0.95, 1.08, 1.22, 1.39, 1.47, 1.52, 1.61 и 1.95 мкм. При возбуждении в одну из этих полос релаксация происходит безызлучательно вследствие малого энергетического зазора между соседними уровнями. Yb-лазер с модуляцией добротности с использованием FSA на основе самариевого волокна был реализован в работе [2]. На рис.2 представлена оциллограмма

последовательности генерируемых импульсов. Длительность импульса по полувысоте составила около 650 нс. При мощности накачки 6Вт, средняя выходная мощность достигала 2.5 Вт при частоте повторения 130 кГц. Пиковая мощность оценивалась в 30 Вт, а энергия импульса – в 20 мкДж.

Исходя из общего принципа построения лазеров с насыщающимися поглотителями, ясно, что в качестве поглотителя может использоваться любое волокно, легированное примесью с полосой поглощения в требуемой спектральной области. Однако, если данная полоса поглощения соответствует излучательному переходу, то время жизни возбужденного состояния является достаточно большим. В этом случае можно ожидать либо полного просветления поглотителя и непрерывного режима генерации, либо импульсной генерации с большой длительностью импульса. В работе [3] был предложен оригинальный способ решения этой проблемы. Для уменьшения времени жизни отрезок волоконного поглотителя помещался в собственный резонатор, обеспечивающий возникновение в нем лазерной генерации и, как следствие, быструю релаксацию возбужденного уровня. В работе исследовался набор иттербиевых волоконных лазеров, излучающих

в области 1050-1080 нм, с поглотителем на основе волокна, легированного ионами  $\text{Vi}$ . Время жизни активных центров висмута составляет около 1 мс, поэтому для уменьшения времени релаксации висмутовое волокно помещалось в резонатор, образованный двумя парами высокоотражающих брэгговских решеток с резонансами на 1160 нм. В результате для всех изготовленных лазеров была получена стабильная импульсная генерация. На длине волны 1066 нм была продемонстрирована пиковая мощность 65 Вт и энергия импульса – 100 мкДж. Минимальная длительность импульса составила около 1 мкс, а частота повторения изменялась в диапазоне 10-100 кГц. Следует отметить, что общая длина лазера составила 55 м, что может объяснять большую длительность импульса.

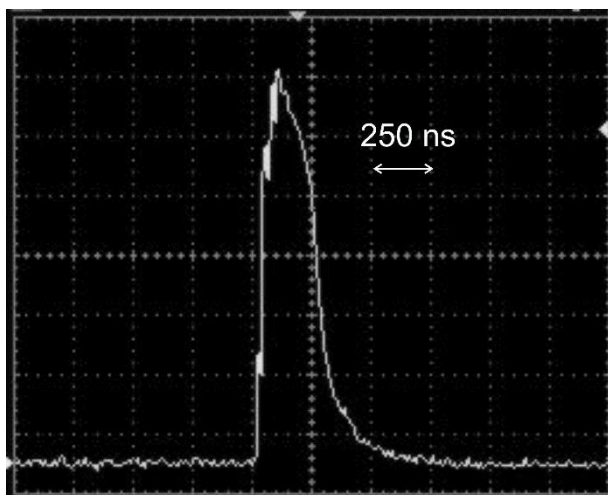


Рис.3. Форма импульса, генерируемая Yb:Ho лазером.

Аналогичный подход был использован в работе [4] для получения модуляции добротности Yb волоконного лазера с использованием FSA на основе оптического волокна, легированного ионами гольмия. Ионы  $\text{Ho}^{3+}$  в кварцевом стекле обладают полосой поглощения с центром на 1150 нм и шириной 60 нм. То есть, эта полоса попадает в спектральный диапазон генерации иттербиевых волоконных лазеров. Это обстоятельство позволяет рассматривать волокна,

легированные ионами гольмия в качестве FSA для модуляции добротности иттербиевых лазеров. Так, был реализован Yb:Ho. Длина волны генерации иттербиевого лазера задавалась парой брэгговских решеток с резонансом на 1125 нм. FSA на основе гольмиевого волокна помещался в резонатор, образованный парой высокоотражающих брэгговских решеток на длине волны 2050 нм. В результате был получен импульсный режим генерации с характерной длительностью импульса 250 нс. Форма импульса представлена на рис.3. Для лазера была характерна невысокая частота повторения, не превышающая 8 кГц. В сочетании с малой длительностью импульса это позволило получить высокую пиковую мощность – 300 Вт. Энергия импульса составила 70 мкДж.

Известно, что при высокой концентрации редкоземельных ионов в сетке кварцевого стекла возникает явление кластеризации, которая приводит к образованию пар активных ионов. При возбуждении двух активных ионов, находящихся в кластере, на метастабильный уровень происходит передача энергии от одного иона к другому. В результате один из ионов переходит на более высокий энергетический уровень, а другой – безизлучательно релаксирует на основной уровень. Данный эффект



оказывает влияние на динамику генерации лазеров на основе высококонцентрированных активных волокон, приводя к появлению самомодуляции добротности. Очевидно, что волокна, содержащие кластеры редкоземельных элементов, могут использоваться в качестве волоконных насыщающихся поглотителей в сочетании с лазерами на других активных элементах, излучающих в спектральной области поглощения кластеризованных поглотителей. Так, в работе [5] исследовался эрбиевый волоконный лазер с поглотителем на основе волокна, легированного ионами Tm с высокой концентрацией.

В качестве активной среды использовалось GTWave-волокно с сердцевиной, легированной ионами эрбия и диаметром 20 мкм, с накачкой в оболочку. Это позволило использовать для накачки более мощный источник и увеличить выходную мощность лазера. Длина волокна составила около 10 м. В качестве поглотителя использовалось волокно, легированное ионами Tm с концентрацией около  $2 \cdot 10^{20}$  см<sup>-3</sup>. Длина поглотителя составила всего 6 см, что соответствовало поглощению 10 дБ на 1580 нм. В результате была получена стабильная импульсная генерация. При этом длительность импульса составила 35 нс. Максимальная средняя выходная мощность составила 0.9 Вт при максимальной частоте повторения – 4.4 кГц. Энергия импульса может быть оценена как 0.22 мкДж, а пиковая мощность – 6 кВт.

Таким образом цельноволоконные лазеры с насыщающимся волоконным поглотителем являются перспективным типом лазеров с модуляцией добротности, позволяющим реализовать простую компактную схему.

1. L. Tordella, H. Djellout, B. Dussardier, A. Saissy and G. Monnom. *Electronics Letters*, **39**, 1307 (2003).
2. A.A. Fotiadi, A. S. Kurkov and I. M. Razdobreev. *Conference on Lasers and Electro-Optics Europe*, (Optical Society of America, 2005), p. 515.
3. V. V. Dvoyrin, V. M. Mashinsky, and E. M. Dianov. *Optics Letters*, **32**, 451 (2007).
4. A.S.Kurkov, E.M.Sholokhov, O.I.Medvedkov. *Laser Phys. Letters*, **6**, 135, 2009
5. A.S. Kurkov, Ya.E. Sadovnikova, A.V. Marakulin, and E.M. Sholokhov. *Laser Physics Letters*, **7**, 795 (2010)

## ТЕРБИЕВОБОРОГЕРМАНАТНЫЕ СТЕКЛА С ВЫСОКОЙ КОНСТАНТОЙ ВЕРДЕ

В.И. Савинков, Н.В. Голубев, П.Д. Саркисов, В.Н.Сигаев  
*Международная лаборатория функциональных материалов на основе  
стекла РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва*

Магнитооптические стекла обычно содержат большие количества оксидов редких земель (РЗЭ), и их получение связано со значительными технологическими трудностями, вызванными явлениями ликвации и кристаллизации, а в силикатных системах – с высокой температурой варки порядка 1600°C. Вместе с тем к стеклам, применяемым в магнитооптических устройствах, предъявляется ряд жестких требований (максимально возможное значение константы Верде, минимальное поглощение на рабочей длине волны; высокая оптическая однородность и лучевая прочность стекла, малая величина остаточных напряжений в готовых элементах), которые обуславливают необходимость поиска новых высокотехнологичных составов с повышенными значениями константы Верде.

В связи с наличием в системах  $\text{Ln}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2$  широких областей стеклообразования, более низкими температурами варки германатных стекол в сравнении с силикатными, высокой парамагнитной активностью ионов тербия система  $\text{Tb}_2\text{O}_3\text{-B}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2$  (TBG) представляется весьма перспективной для создания магнитооптических стекол, удовлетворяющих перечисленным выше требованиям.

В работе предложен подход к увеличению магнитооптической добротности  $Q$  (отношения  $V/a$ , где  $V$  – константа Верде,  $a$  - коэффициент поглощения) стекол, основанный на введении в состав больших концентраций парамагнитных ионов тербия и регулировании окислительно-восстановительных условий варки. Получены стекла оптического качества на основе системы TBG с содержанием  $\text{Tb}_2\text{O}_3$  до 31 мол.%. Показано, что TBG стекла высокого оптического качества могут быть получены варкой в платиновых тиглях малой емкости – менее 1 л. Константа Верде TBG стекол на длине волны 638 нм достигает значения 0,42 угл.мин/см·Э, превышающего константу Верде промышленных магнитооптических стекол. Получены бесцветные TBG стекла с низким коэффициентом поглощения 0,001 см<sup>-1</sup> на рабочей длине волны 1,064 мкм, что обеспечивает чрезвычайно высокую магнитооптическую добротность  $Q_{1064} = 108$  угл. мин/Э.

Установлено, что модель Борелли, согласно которой значение константы Верде находится в прямой зависимости от концентрации парамагнитного иона в стекле и практически не зависит от состава матрицы, распространяется на борогерманатные стекла с высоким содержанием РЗЭ (до  $12 \cdot 10^{21}$  ион/см<sup>3</sup>).

# ЭФФЕКТ ИНДУЦИРОВАННОГО ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ В АКТИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРАХ И ДАТЧИКАХ.

А.А. Фотиади<sup>1,3,4</sup>, О.Л. Антипов<sup>2</sup> and P. Mégret<sup>1</sup>

1. *University of Mons, blvd.Dolez, 31, Mons, B-7000 Belgium*

2. *Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород*

3. *Ульяновский государственный университет, Ульяновск*

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

В основе настоящего доклада лежат недавние эксперименты по изучению физических механизмов, ответственных за изменения показателя преломления в оптических волокнах, допированных ионами иттербия [1]. Представлены результаты, связанные с количественным описанием этих эффектов и определением их динамических характеристик в лазерном усилителе при интенсивной накачке и усилении световых сигналов. Особое внимание будет уделено деталям электронного механизма изменений показателя преломления, обусловленного различием поляризуемости возбуждённых и невозбуждённых ионов активатора  $\text{Yb}^{3+}$ .

Эффекты изменения показателя преломления в лазерных волокнах открывают новые возможности управления параметрами лазерных систем и, в частности, когерентного суммирования световых пучков в многоканальных волоконных источниках. Представлена экспериментальная полностью волоконная реализация принципа когерентного сложения пучков узкополосного излучения в многоканальном волоконном усилителе.

Динамические решётки изменений показателя преломления, индуцируемые в лазерных волокнах интерференционным полем встречных пучков, оказывают значительное влияние на лазерную генерацию. Для длин волн около  $\sim 1.06$  мкм, фазовая компонента решетки в несколько раз доминирует над амплитудной. Эти особенности делают иттербиевые волокна привлекательными для волоконных адаптивных интерферометров - устройств, позволяющих отслеживать быстрые изменения фазы, игнорируя медленные, и потому представляющих интерес для оптических виброметров.

This work was supported by the European Regional Development Fund and the Walloon Region, the Interuniversity Attraction Pole program VI/10 of the Belgian Science Policy and program “Scientific and Research-Educational Cadres for Innovation Russia” of Russian Federal Agency on Science and Innovation.

1. A.A. Fotiadi, O.L. Antipov, P. Mégret, “Resonantly induced refractive index changes in Yb-doped fibers: the origin, properties and application for all-fiber coherent beam combining” In book “Frontiers in Guided Wave Optics and Optoelectronics” edited by B. Pal, INTECH, pp.209-234, (2010).

## СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА AL-MG-SI СТЕКОЛ, ЛЕГИРОВАННЫХ ВИСМУТОМ

Б.И. Галаган<sup>1</sup>, Б.И. Денкер<sup>1</sup>, С.Е. Сверчков<sup>1</sup>, И.Л. Шульман<sup>1</sup>, Е.М. Дианов<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>*Научный центр волоконной оптики РАН*

В 1999-2001 гг. японскими исследователями Y. Fujimoto и M. Nakatsuka (например, в работе [1]) было обнаружено, что легированное оксидом висмута кварцевое стекло обладает широкополосной фотолюминесценцией в спектральной области 1 - 1.6 мкм с временем релаксации порядка половины миллисекунды. Такие спектральные свойства весьма привлекательны с точки зрения перспективы создания широкополосных усилителей для волоконных оптических линий связи. Интерес к висмут-содержащим ИК-люминесцентным материалам резко возрос в 2005 г., когда исследователями из НЦВО РАН под руководством академика Е.М. Дианова была опубликована работа [2], где сообщалось о получении перестраиваемой лазерной генерации в легированном висмутом кварцевом световоде. Появление этой работы стимулировало развитие исследований широкополосной инфракрасной люминесценции в висмут содержащих стеклах различных составов. Было обнаружено, что весьма похожими люминесцентными свойствами обладают не только силикатные, но и боратные, германатные, фосфатные и даже халькогенидные стекла, активированные висмутом [3-6]. Причем в большинстве работ констатировалось, что для формирования люминесцирующих центров требуется введение добавки алюминия, а также отмечалась заметная зависимость люминесцентных свойств от технологических условий. К настоящему времени область перестройки генерации в легированных висмутом световодах перекрыла практически всю вышеупомянутую область ИК люминесценции, мощность генерации достигла десятков ватт, а КПД - 50% процентов.

Однако, несмотря на эти успехи и на усилия многих коллективов исследователей в различных странах мира (России, Германии, Японии, Китае и др.), вопрос о природе люминесцирующих висмутовых центров (ВЛЦ) остается открытым. В опубликованных работах рассматриваются различные варианты вхождения висмута в состав этих центров:  $Bi^+$ ,  $Bi^{3+}$ ,  $Bi^{5+}$ , димеры  $Bi_2$ , а также дефекты, связанные со структурой стекла. К сожалению имеющиеся на сегодняшний день экспериментальные данные не позволяют сделать однозначный выбор из этих вариантов. Таким образом, на сегодняшний день структура висмутовых ИК-люминесцирующих центров, а также ее связь со спектральными свойствами, с составом стекла и с условиями формирования центров остается не вполне ясной.

Настоящий доклад посвящен получению и интерпретации новых экспериментальных данных на основе исследования спектрально-люминесцентных свойств при варьировании технологических условий синтеза стекол с целью выяснения природы и свойств люминесцирующих центров в легированных висмутом стеклах. Для исследований использовалось трехкомпонентное Mg-Al-силикатное стекло, легированное висмутом. Как было установлено, спектрально-люминесцентные свойства этого стекла весьма близки к свойствам легированных Bi и Al кварцевых лазерных волокон. При этом область температур синтеза найденного

состава оказалась на  $\sim 400-500^\circ\text{C}$  ниже температуры плавления кварца, что позволило использовать для его синтеза технологию тигельной плавки.

Исследования спектрально-люминесцентных свойств ВЛЦ в синтезированных стеклах и влияния на них различных факторов позволили получить ряд результатов, наиболее важными из которых являются следующие:

— Установлено, что ИК-люминесцирующие центры в легированных висмутом стеклах образуются в ходе обратимой окислительно-восстановительной эндотермической химической реакции, протекающей в расплаве стекла. Из анализа изменений оптической плотности с температурой синтеза найдена энтальпия образования ИК-люминесцирующих висмутовых центров ( $\sim 290$  кДж/моль).

— Обнаружена квадратичная зависимость интенсивности поглощения в видимой и люминесценции в ИК области спектра от полного содержания висмута в стекле. На этом основании было сделано заключение о том, что в состав одного ВЛЦ входит пара ионов висмута.

— Найдено, что интенсивность поглощения ВЛЦ в видимой части спектра, обратимо снижается при повышении парциального давления кислорода над расплавом. Из анализа зависимости интенсивности поглощения в видимой области спектра от состава атмосферы во время синтеза стекла определен суммарный заряд (+5), приходящийся на пару ионов висмута, входящих в состав ИК-люминесцирующего центра.

— Из экспериментов по насыщению ИК люминесценции под воздействием импульсного 532 нм лазерного излучения определено сечение поглощения висмутовых люминесцирующих центров на этой длине волны:  $4.4 \cdot 10^{-19}$  см<sup>2</sup>. Полученные данные позволили определить абсолютные концентрации ВЛЦ в синтезированных стеклах.

— Установлено, что под воздействием ионизирующего излучения в легированном  $\text{Bi}^{3+}$ , но не содержащем ВЛЦ стекле, наводятся достаточно термически стабильные центры ИК люминесценции, идентичные по своим спектрально-люминесцентным свойствам центрам, формируемым в расплаве стекла при повышенных температурах синтеза.

1. Fujimoto Y., Nakatsuka M., "Infrared Luminescence from Bismuth-doped Silica Glass", *Jpn. J. Appl. Phys.* **40**, L279- L281 (2001).
2. Dianov E, Dvoirin V. et al. "CW bismuth fiber laser", *Quantum Electronics* **35**, 1083-1084 (2005).
3. X. Meng, J. Qiu, M. Peng et al. "Infrared broadband emission of bismuth-doped barium aluminum borate glasses", *Optics Express*, v.**13**, #5, 1635-1642 (2005).
4. X. Meng, J. Qiu, M. Peng et al. "Near infrared broadband emission of bismuth-doped aluminophosphate glass", *Optics Express*, v.**13**, #5, 1628-1634 (2005).
5. X. Meng, J. Qiu, M. Peng et al. "GeO<sub>2</sub>: Bi,M(M=Ga,B) glasses with super-wide infrared luminescence", *Chem. Physics Lett.* **403**, 410-414 (2005).
6. Ren Jing, Chen Dan-Ping, Yang Guang et al. "Near infrared broadband emission from bismuth-dysprosium co-doped chalcogenide glasses", *Chin. Phys. Lett.* **24**, #7, 1958-1960 (2007).

# ГИБРИДНЫЙ ОДНОЧАСТОТНЫЙ ЛАЗЕР С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ ДО 3 ВТ

А.И. Трикшев, А.С. Курков, В.Б. Цветков

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

Современная тенденция развития волоконных лазеров состоит в увеличении их выходной мощности. Для получения высокой плотности мощности стоит вопрос о когерентном сложении излучения от нескольких источников. Для этого необходима реализация одночастотного мощного задающего генератора. В данной работе использовалась гибридная схема на основе одночастотного полупроводникового лазерного диода и двухкаскадного волоконного усилителя с целью исследования влияния усилителя на такие характеристики излучения, как состояние поляризации и ширина линии генерации.

Одночастотный полупроводниковый лазерный диод при оптимальных параметрах (ток накачки 127 мА, температура диода составляла 22°C) имел максимальная выходную мощность 25 мВт, степень поляризации 0,986 и ширину линии генерации 2,6 МГц. В качестве активной среды двухкаскадного усилителя использовалось иттербиевое GTWave волокно с накачкой от полупроводникового источника. При мощностях накачки 4,8 Вт в первом каскаде и 6,8 Вт во втором каскаде получена мощность на выходе всей системы в 2,5 Вт (см. рис.1). Степень поляризации усиленного излучения составила 0,93. На рис.2 представлен спектр усиленного излучения, полученный с помощью волоконного кольцевого интерферометра. Ширина линии излучения составила 3,3 МГц

Можно сделать вывод, что двухкаскадный волоконный усилитель существенно не влияет на характеристики лазерного излучения. Форма и ширина линии при прохождении усилителя изменяются незначительно. И, хотя, волокно не имело заметного двулучепреломления, удалось сохранить степень поляризации на уровне более 0,9. Полученный источник будет применяться как первый каскад в схеме более мощного усилителя.

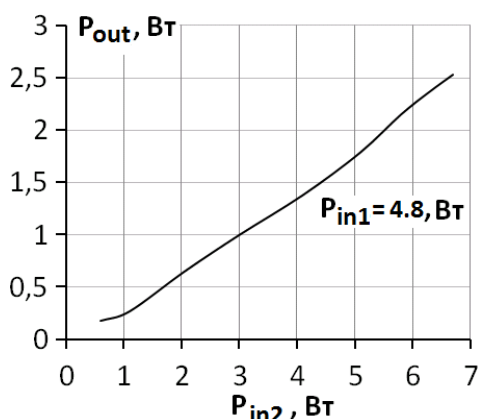


Рис.1. Зависимость выходной мощности от мощности накачки

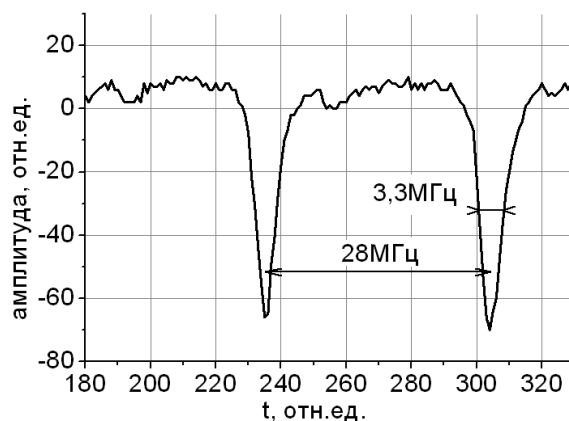


Рис.2. Спектр усиленного излучения

# ИМПУЛЬСНЫЙ ЦЕЛЬНОВОЛОКОННЫЙ Er-Tm ЛАЗЕР

Я.Э. Садовникова<sup>1</sup>, Е.М. Шолохов<sup>2</sup>, А.С. Курков<sup>2</sup>

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

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

Импульсные волоконные лазеры позволяют достигать больших пиковых мощностей и энергий импульса при использовании накачки с относительно невысокой мощностью. Получение импульсного режима в волоконных лазерах может быть основано на внесении в резонатор элемента, обладающего поглощением в области генерации.

В данной работе в качестве активной среды использовалось GTWave-волокно с сердцевиной, легированной ионами эрбия и диаметром 20 мкм, с накачкой в оболочку. Это позволило использовать для накачки более мощный источник по сравнению с накачкой в сердцевину и увеличить выходную мощность лазера. Длина волокна составила около 10 м. В качестве поглотителя использовалось волокно, легированное ионами Tm с концентрацией около  $2 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ . Длина поглотителя составила всего 6 см, что соответствовало поглощению 10 дБ на 1580 нм. Для оценки концентрации ионов в кластерах было проведено измерение зависимости пропускания на 1580 нм от мощности, введенной в тулиевое волокно. Результаты измерения представлены на рис.1.

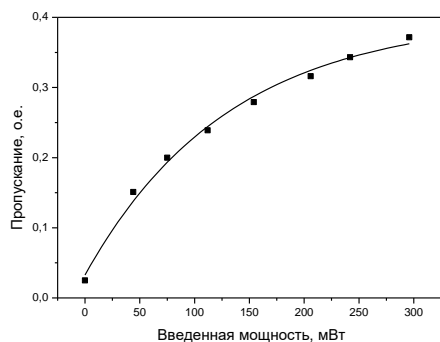


Рис.1. Зависимость пропускания на 1580 нм от мощности.

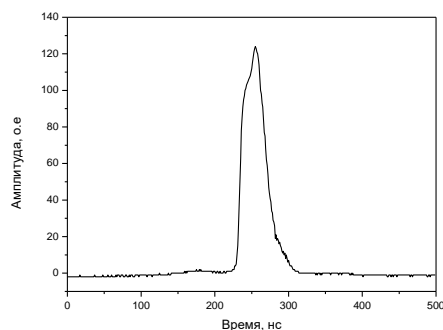


Рис.2. Типичная форма импульса генерации Er:Tm лазера.

В Er-Tm лазере была получена стабильная импульсная генерация. При этом длительность импульса составила 35 нс, что в несколько раз короче по сравнению с лазерами на других типах волоконных насыщающихся поглотителей. Типичная форма импульсов представлена на рис. 2.

Максимальная средняя выходная мощность составила 0.9 Вт при максимальной частоте повторения – 4.4 кГц. Энергия импульса может быть оценена как 0.22 мкДж, а пиковая мощность – 6 кВт.

# ГЕНЕРАЦИЯ СУПЕРКОНТИНУУМА В СТАНДАРТНОМ ОДНОМОДОВОМ ВОЛОКНЕ.

В.А. Камынин, А.С. Курков

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

Генерация суперконтинуума в двухмикронном диапазоне широко исследуется в последнее время. Излучение с такими характеристиками востребовано в спектроскопии и в датчиках газов.

Для решения данной задачи предложено множество решений с использованием специального или микроструктурированного волокна и сверхкоротких импульсов[1]. В данной работе предложено полностью волоконное решение для генерации суперконтинуума, с использованием в качестве нелинейной среды стандартного телекоммуникационного одномодового оптического волокна (SMF 28) и наносекундной накачки от эрбиевого волоконного лазера в режиме модуляции добротности[2]. Длительность импульса накачки составляла 35 нс, а энергия импульса 100 мкДж. На выходе волокна со средней мощностью 500 мВт получен суперконтинуум в области 1590 – 2350 нм с достаточно плоским спектром в диапазоне 1750 – 2350 нм (рис 1).

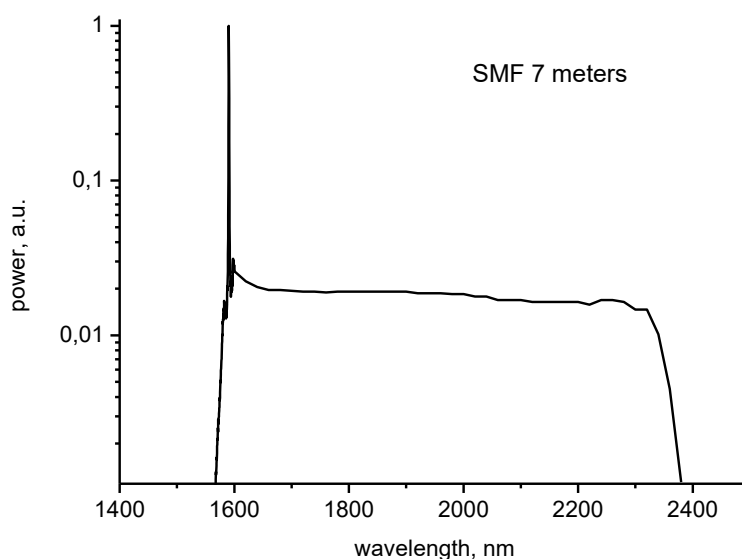


Рис. 1 Спектр суперконтинуума.

1. А.М. Желтиков, Успехи физических наук. 50, 705 (2007).
2. А.С. Kurkov, Ya.E. Sadovnikova, E.M. Sholokhov, and I.O. Medvedkov, Laser Phys. Lett. 7, 795 (2010).



# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРА СОХРАНЕНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИИ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ ТИПА ПАНДА ОТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ

И.В. Гранев, Т.В. Мазунина, А.И. Низовцев

*Пермский государственный технический университет, Пермь*

Необходимость повышения точности волоконно-оптических гироскопов приводит к ужесточению требований к качеству волоконных световодов, являющихся их чувствительным элементом [1]. Точность ВОГ в значительной степени определяется параметром сохранения поляризации введенного излучения в анизотропный волоконный световод.

В данной работе исследована связь зависимости параметра сохранения поляризации от температуры для волоконных световодов (далее по тексту - ВС) с разным двулучепреломлением, определены границы температурного диапазона производимых ВС, выявлена термочувствительность ВС при изменениях параметра сохранения поляризации.

В ходе работ проведено измерение параметра сохранения поляризации на 150 образцах в разных температурных условиях. Значение параметра сохранения поляризации, измеренное в нормальных условиях, было условно разделено на три группы в пределах допуска.

В ходе исследований было установлено, что в диапазоне температур (-40...+60)°С ВС стабилен по параметру сохранения поляризации при свободной намотке. Стабильность в данном случае определяется собственными свойствами ВС, а именно, взаимодействием кварца с акрилатным покрытием. При температуре ниже минус 40 °С происходит сжатие покрытия и увеличение его модуля упругости, что приводит к значительному снижению параметра сохранения поляризации.

В результате проведенных исследований выяснилось, что наибольшей чувствительностью к изменению температуры обладает ВС, который имеет наилучшее значение параметра сохранения поляризации в нормальных условиях.

Представленные результаты позволяют выявить характер изменения параметра сохранения поляризации при воздействии температур от первоначально измеренного в нормальных условиях при свободной намотке, а также показать качественную зависимость изменения модуля упругости защитно-упрочняющего покрытия от температуры [2].

1. Окоси Т. И др. Волоконно-оптические датчики. Пер. с япон. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние, 1990 – 256 с.: ил.
2. [http://www.fujikura.co.jp/eng/products/tele/o\\_device/data/16pnb04.pdf](http://www.fujikura.co.jp/eng/products/tele/o_device/data/16pnb04.pdf)

# ПРИМЕНЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ БАРКЕРА И АВТОКОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ СИГНАЛА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА РЕФЛЕКТОМЕТРА

М.С. Мухамедзянов, А.В. Рожкин

*Уральский Государственный Университет Путей Сообщения,  
Екатеринбург*

Одним из путей уменьшения времени измерений, расширения динамического диапазона оптических рефлектометров [1] является использование сложных сигналов и автокорреляционный метод обработки отраженного сигнала [3].

АКФ определяется интегралом от произведения двух копий сигнала  $s(t)$ , сдвинутых относительно друг друга на время  $\tau$ :

$$B_s(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) s(t+\tau) dt = \langle s(t), s(t+\tau) \rangle = \|s(t)\| \|s(t+\tau)\| \cos \varphi(\tau). \quad (1)$$

АКФ имеет физическую размерность энергии, относится к четным функциям.

Энергия периодических сигналов бесконечна, поэтому АКФ периодических сигналов вычисляется по одному периоду  $T$ :

$$B_s(\tau) = (1/T) \int_0^T s(t) s(t-\tau) dt. \quad (2)$$

АФК дискретных сигналов, вычисляется в единицах мощности сигнала по формуле:

$$B_s(n) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^K s_k \cdot s_{k-n}, \quad s_{k-n} = 0 \text{ при } k-n < 0, \quad (3)$$

Зашумленный сигнал записывается в виде суммы  $v(k) = s(k) + q(k)$ . При статистической независимости полезного сигнала  $s(k)$  и шума  $q(k)$  с учетом разложения математического ожидания может использоваться следующая формула:

$$B_v(n) = B_s(n) + 2 \overline{s_k q_k} + \overline{q_k^2}. \quad (4)$$

Это дает возможность выделять по АКФ периодические сигналы, практически полностью скрытые в шуме [4].

Код Баркера [3] имеет особую форму АКФ. Амплитуда центрального пика численно равна его длине, при этом амплитуда боковых осцилляций  $\leq 1$ .

Посылая в исследуемый волоконно-оптический тракт последовательность Баркера из 13 сигналов с амплитудой 1 после обработки отраженного сигнала, мы получаем АФК сигнала с амплитудой центрального пика 13 и максимальной амплитудой боковых лепестков 1. Данное увеличение мощности отраженного сигнала дает возможность уменьшить время измерений, увеличить динамический диапазон рефлектометра при сохранении пространственного разрешения.

1. Рефлектометрия оптических волокон Листвин А.В. Листвин В.Н.
2. Фотон-экспресс N5\_2004, N2\_2005
3. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985
4. Давыдов А.В. Корреляция сигналов.

# ВОЛНОВОДНЫЕ СВОЙСТВА ПЛАНАРНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ ЛЕВЫХ СРЕД

Д.Г. Санников

Ульяновский государственный университет, Ульяновск

В настоящее время весьма интенсивно развивается физика метаматериалов с отрицательным показателем преломления (левых сред), уникальные свойства которых открывают широкие возможности для разработки принципиально новых приборов и устройств. Одним из многообещающих применений левых сред в области оптоэлектроники могут стать планарные направляющие структуры [1-3].

Доклад посвящён анализу дисперсионных соотношений в планарных структурах с различными комбинациями левых и правых слоёв. На основе лучевого подхода исследуются условия существования объёмных и поверхностных ТЕ и ТМ мод, а также критерий вырождения волноводных мод. Анализ показывает, что дисперсионные характеристики объёмных и поверхностных ТЕ и ТМ мод в трёхслойных волноводах существенно зависят от отношений диэлектрической и магнитной проницаемостей, а также степени асимметрии структуры. Распространение объёмной ( $m = 0$ ) и поверхностных  $m_s = 0, 1$  мод в указанных структурах ограничиваются тремя значениями нормированной константы распространения. Предлагаются новые типы оптических микрорезонаторов, принцип действия которых связан с пленением фотонов внутри направляющего активного слоя 2, окруженного полубесконечными диэлектриком и метаматериалом либо двумя левыми средами (1 и 3) (рис. 1).

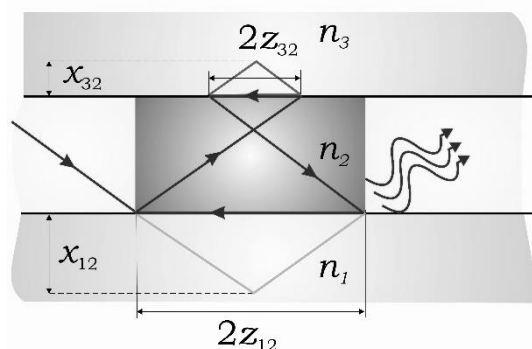


Рис.1. Пример микрорезонаторной полости на основе усиливающего направляющего слоя с обкладками из левого метаматериала.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (Гос. контракты № 02.740.11.0224 от 07.07.09; П119 от 12.04.2010)

1. Shadrivov I.V., Sukhorukov A.A., Kivshar Y.S. Phys. Rev. E. **67**, 057602 (2003).
2. Vukovic S.M., Aleksic N.B., Timotijevic D.V. Opt. Comm. **281**, 1500 (2008).
3. Wang Z. H., Xiao Z. Y., Li S. P. Opt. Comm. **281**, 607 (2008).

# ЭВОЛЮЦИЯ ПОЛЯ ДЕФЕКТНОЙ МОДЫ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ДЕФЕКТНОЙ СТРУКТУРЫ

С.В. Елисеева, В.А. Остаточников, Д.И. Семенцов  
Ульяновский государственный университет, Ульяновск

Работа посвящена исследованию эволюции распределения волнового поля и спектров отражения слоисто-периодической структуры (СПС) при формировании в структуре дефектов типа инверсии и внедрения [1]. Численный анализ выполнен для структуры, период которой  $L = L_1 + L_2 = 2.5$  мкм состоит из слоев *GaAs* и *GaN* с диэлектрическими проницаемостями  $\varepsilon_1 = 11,9$  и  $\varepsilon_2 = 5,8$ . На рис. 1 приведены пространственное распределение нормированной плотности энергии волнового поля и спектры отражения в СПС с дефектами инверсии двух типов  $(M)^a (\bar{M})^b$  (a),  $(\bar{M})^a (M)^b$  (b) и комбинацией дефектов внедрения и инверсии  $(M)^a D(\bar{M})^b$  (c). Оптические толщины отдельных слоев  $L_1 \sqrt{\varepsilon_1} = L_2 \sqrt{\varepsilon_2} = 3.55$  мкм. В качестве материала дефектного слоя был выбран *SiO<sub>2</sub>* с  $\varepsilon_d = 2.25$ , толщина слоя  $L_d = 4.31$  мкм.

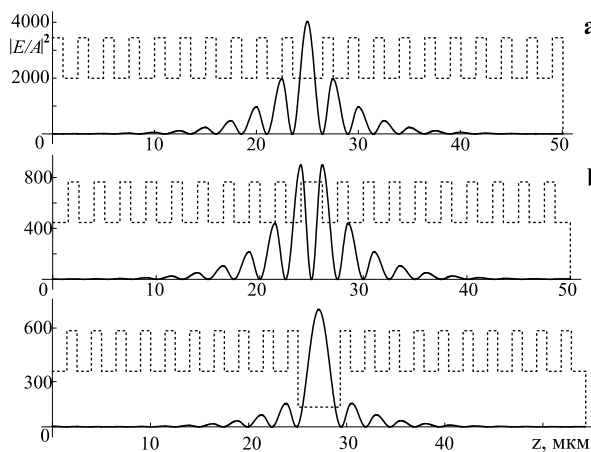


Рис. 1

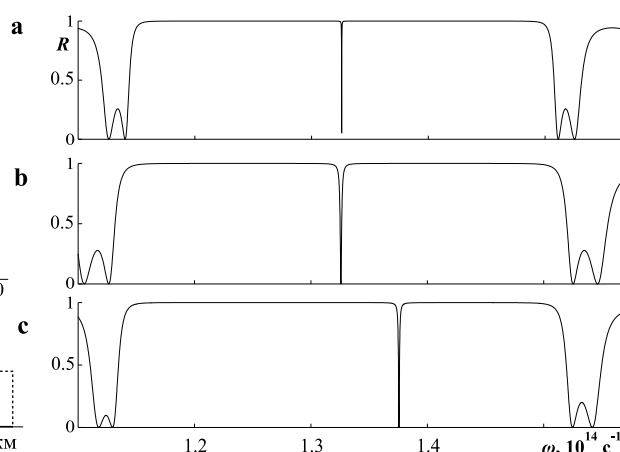


Рис. 2

Введение дефекта приводит к перераспределению поля по структуре, в области дефектного слоя имеет место значительная локализация поля. Степень локализации и характер распределения поля по структуре в целом зависят от типа дефекта. При этом в запрещенной зоне бездефектной СПС образуется минizona пропускания (рис.2), форма спектральной линии которой определяется типом дефекта. В докладе будут представлены результаты более широкого анализа эволюции распределения поля и спектров отражения дефектных СПС. Будет показано, что степень локализации поля и характер спектров отражения и пропускания зависят не только от типа и параметров дефекта, но и от его расположения в структуре.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России".

1. Елисеева С.В., Семенцов Д.И. Оптика и спектроскопия, 2010, 109, 729.

# ВОЛОКОННЫЙ СВЕТОВОД С СЕРДЦЕВИНОЙ ИЗ ГАЛЛИЙ-ГЕРМАНОСИЛИКАТНОЙ СТЕКЛОКЕРАМИКИ, ЛЕГИРОВАННОЙ НИКЕЛЕМ

Н.М. Каратун<sup>1</sup>, В.М. Машинский<sup>1</sup>, В.А. Богатырёв<sup>1</sup>, Е.М. Дианов<sup>1</sup>,  
Н.В. Голубев<sup>2</sup>, Е.С. Игнатъева<sup>2</sup>, В.Н. Сигаев<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>*Российский химико-технологический университет  
им. Д.И. Менделеева, Москва*

Одним из перспективных направлений развития волоконной оптики является разработка оптических сред для высокоэффективных лазеров ближнего ИК диапазона, активированных переходными металлами. В кристаллическом окружении ионы переходных металлов, в частности  $Ni^{2+}$ , обладают широкими полосами люминесценции в области 1100-1700 нм. В стеклах эти полосы подавлены из-за сильной безызлучательной релаксации. Появления этих полос в стеклах можно добиться за счет кристаллизации стекла, обеспечивая вхождение активных ионов в кристаллическую фазу. Поддерживая размеры кристаллических частиц на уровне 3-10 нм, можно создавать стеклокерамику (точнее, наноструктурированное стекло) в форме волоконных световодов с достаточно малыми потерями на рассеяние [1]. Несмотря на дополнительные технологические проблемы, связанные с изготовлением световодов, возможность широко варьировать содержание активных ионов и концентрировать большую плотность возбуждения на большой длине дает активным волоконным световодам значительные преимущества по сравнению с объёмными материалами. В данной работе представлены результаты спектроскопического исследования объёмных и волоконных образцов стеклокерамики, легированной никелем.

Исходное стекло состава  $7,5Li_2O-2,5Na_2O-20Ga_2O_3-35GeO_2-35SiO_2+0,1NiO+2$  масс.%  $Sb_2O_3$  сварено в платиновом тигле при  $\sim 1450^\circ C$  [2]. Волоконный световод с сердцевинкой из данного стекла (диаметр 6 мкм) и отражающей оболочкой из кварцевого стекла (диаметр 125 мкм) был изготовлен методом штабик-трубка. Температура вытяжки составляла около  $2000^\circ C$ . Образцы стекла и световодов выдерживались при температурах около  $700^\circ C$  и  $800^\circ C$ , соответственно, в течение 1-3 ч. В отожженных образцах обоих типов при возбуждении в диапазоне  $\lambda=500-1000$  нм наблюдалась широкополосная люминесценция с максимумом на длине волны 1300 нм и шириной полосы 250 нм. Спектры люминесценции объёмных образцов и световодов совпадали.

1. V. N. Samson, L. R. Pinckney, J. Wang, G. H. Beall, N. F. Borrelli, Nickel-doped nanocrystalline glass-ceramic fiber // Opt. Lett., **27**, 1309 (2002).
2. Н.В. Голубев, В.И. Савинков, Е.С. Игнатъева и др., Активированные никелем галлий-содержащие стекла, люминесцирующие в ближнем ИК диапазоне спектра, [Физика и химия стекла](#), **36**, 835 (2010)

# ОПТИМИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ АНИЗОТРОПНЫХ ОДНОМОДОВЫХ СВЕТОВОДОВ С ЭЛЛИПТИЧНОЙ БОРГЕРМАНОСИЛИКАТНОЙ ОБОЛОЧКОЙ

М.А. Ероньян, И.К. Мешковский, Е.Ю. Уткин  
*Санкт-Петербургский государственный университет «ИТМО»,  
С.-Петербург*

Анизотропные одномодовые световоды с эллиптической боргерманосиликатной оболочкой, сохраняющие поляризацию излучения, выгодно отличаются от аналогичных оптических волокон типа «PANDA» простотой технологии изготовления заготовок [1]. Однако световоды второго типа обладают более низкими оптическими потерями, что обеспечивается их конструктивными особенностями.

Цель работы заключалась в минимизации затухания световодов первого типа на основании анализа спектральной зависимости оптических потерь.

Отличительной особенностью анизотропных одномодовых световодов с эллиптической боргерманосиликатной оболочкой является необходимость увеличения показателя ее преломления (ПП) в заготовке по сравнению с наружной оболочкой из чистого кварцевого стекла на величину порядка 0,005 [1]. При вытягивании волокна в этой оболочке происходят структурные преобразования, приводящие к устранению в световоде указанного скачка ПП. Однако полностью скомпенсировать ПП в волокне довольно сложно. Фторфосфоросиликатная оболочка, изолирующая германосиликатную сердцевину от борсодержащего стекла напрягающей оболочки, не может в полной мере устранить влияние указанного скачка ПП на оптические потери.

На основании анализа спектральной зависимости оптических потерь световодов с двухслойным полимерным покрытием и диаметром стекловолокна 125 мкм определены следующие компоненты затухания:

- зависимость потерь на излучение от скачка ПП в заготовке;
- оптические потери на релеевское рассеяние;
- влияние содержания ОН групп на константу релеевского рассеяния;
- спектрально независимые «серые» потери.

В результате проведенных исследований определены технологические параметры для изготовления световодов с оптическими потерями на длине волны 1,55 мкм не более 0,5 дБ/км.

1. Ероньян М. А., Комаров А. В., Кондратьев Ю. Н., Ромашова Е. И., Серков М. М., Хохлов А. В. Оптический журнал, **57**, № 10, 104, (2000).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ $AlPO_4$ ГРУПП НА РАСТВОРИМОСТЬ $Er_2O_3$ В КВАРЦЕВОМ СТЕКЛЕ

Д.С. Липатов<sup>1</sup>, М.М. Бубнов<sup>2</sup>, А.Н. Гурьянов<sup>1</sup>, М.Е. Лихачев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт химии высокочистых веществ РАН, Нижний Новгород

<sup>2</sup>Научный центр волоконной оптики РАН, Москва

Для создания мощных волоконных лазеров необходимы одномодовые световоды с высоким содержанием редкоземельных элементов (РЗЭ) и малой разницей показателей преломления сердцевинки и оболочки ( $\Delta n$ ). Решить данную задачу можно, используя в качестве материала сердцевинки фосфоалюмосиликатные (ФАС) стекла. Одновременное легирование кварцевого стекла  $P_2O_5$  и  $Al_2O_3$  в равных количествах приводит к полному образованию структурных групп  $AlPO_4$ , в результате чего, ФАС и кварцевое стекло имеют одинаковое строение и близкий показатель преломления. Цель работы заключалась в определении влияния  $AlPO_4$  на растворимость РЗЭ в кварцевом стекле.

Заготовки световодов были изготовлены методом MCVD полностью из газовой фазы. В качестве активной добавки был выбран эрбий, как наиболее склонный к кластеризации РЗЭ. Эффективность преобразования сигнала накачки рассматривалась как количественная характеристика активных свойств световодов.

На рисунке 1 приведена зависимость эффективности усиления для ФАС световода **1** и фосфоросиликатных световодов **2** и **3**. Световоды **1** и **2** имели одинаковые параметры световедущей структуры, содержали одинаковое количество  $Er_2O_3$  и различались только наличием в ФАС стекле  $AlPO_4$ . Низкая эффективность усиления световода **2** свидетельствует о высоком уровне кластеризации ионов  $Er^{3+}$  в фосфоросиликатном стекле. Эффективность световода **1** достаточно высокая и почти на порядок превышает эффективность усиления световода **2**. Световод **3**, содержал в два раза меньше  $Er_2O_3$  и вдвое больше  $P_2O_5$ , при этом его эффективность усиления в 2 раза ниже, чем световода **1**.

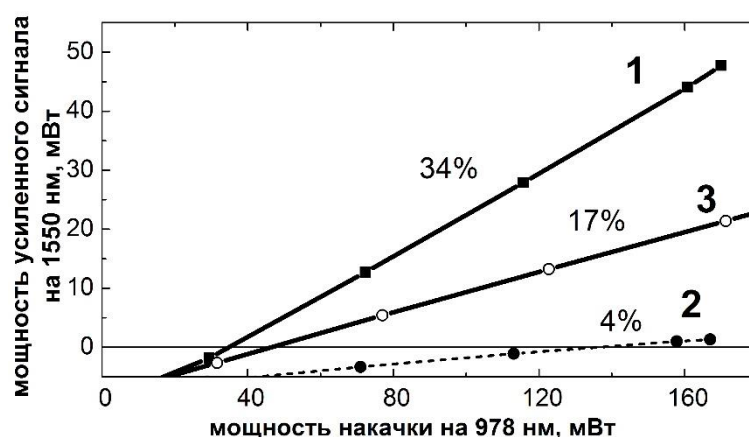


Рис. 1. Эффективность усидения в световодах: 1 – 700 ppm  $Er_2O_3$ , 4 мол.%  $P_2O_5$ , 9 мол.%  $AlPO_4$ ; 2 – 700 ppm  $Er_2O_3$ , 6 мол.%  $P_2O_5$ , 0.7 мас.% F; 3 – 300 ppm  $Er_2O_3$ , 10 мол.%  $P_2O_5$ .

# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ ГОЛЬМИЯ

К.Н. Нищев, А.А. Панов

*Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева,  
г. Саранск*

Создание новых оптически активных сред для волоконных лазеров ближнего и среднего ИК-диапазонов – одно из наиболее актуальных направлений развития волоконной оптики и лазерной техники. Перспективным материалом, который может быть использован в качестве оптической активной среды, является прозрачная оксифторидная стеклокерамика, содержащая наноразмерные кристаллиты, активированные редкоземельными (РЗ) элементами [1,2]. Данный материал сочетает в себе хорошие оптические свойства РЗ ионов во фторидных нанокристаллах с низкой энергией фонона (препятствующих развитию эффекта многофононной безызлучательной релаксации) с технологичностью стекол.

Задачей настоящей работы являлось освоение технологии получения исходного оптического стекла, определение оптимальных режимов его термообработки с целью получения прозрачной активной стеклокерамики.

Синтез исходных стекол осуществлялся путем плавления на воздухе твердофазной шихты состава:  $45\text{SiO}_2\text{-}25\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}10\text{Na}_2\text{O}\text{-}20\text{CaF}_2$  с добавлением  $\text{HoF}_3$  и  $\text{TmF}_3$ . Режим варки базового стекла включал в себя: нагрев шихты до  $1450\text{ }^\circ\text{C}$  в течении 3 часов на воздухе; выдержку расплава при максимальной температуре в течение 1 часа; быстрое охлаждение расплава, путем выливания его в массивную стальную изложницу, предварительно нагретую до  $300\text{ }^\circ\text{C}$ ; отжиг при температуре  $450\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 2 часов с целью снятия внутренних напряжений.

Теплофизические и термомеханические свойства синтезированных стекол исследовались на термоаналитическом комплексе Mettler Toledo и горизонтальном dilatометре DIL 402-C. Температуры стеклования и кристаллизации, определенные термогравиметрически, составляли  $560\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$  и  $630\pm 2\text{ }^\circ\text{C}$  соответственно. КТЛР полученных стекол в интервале температур от  $100$  до  $550\text{ }^\circ\text{C}$  изменялся от  $7\cdot 10^{-6}\text{ 1/K}$  до  $8\cdot 10^{-6}\text{ 1/K}$ .

В диапазоне от  $350$  до  $2200\text{ нм}$  исследованы спектральные свойства синтезированных стекол.

Исследование влияния термообработки полученных стекол на изменение их структуры проводилось с использованием малоуглового рентгеновского дифрактометра Necus S3-MICRO (рис.1). По результатам проведенных измерений определен оптимальный режим термообработки исследуемых стекол с целью формирования в них активированных наноразмерных кристаллитов.



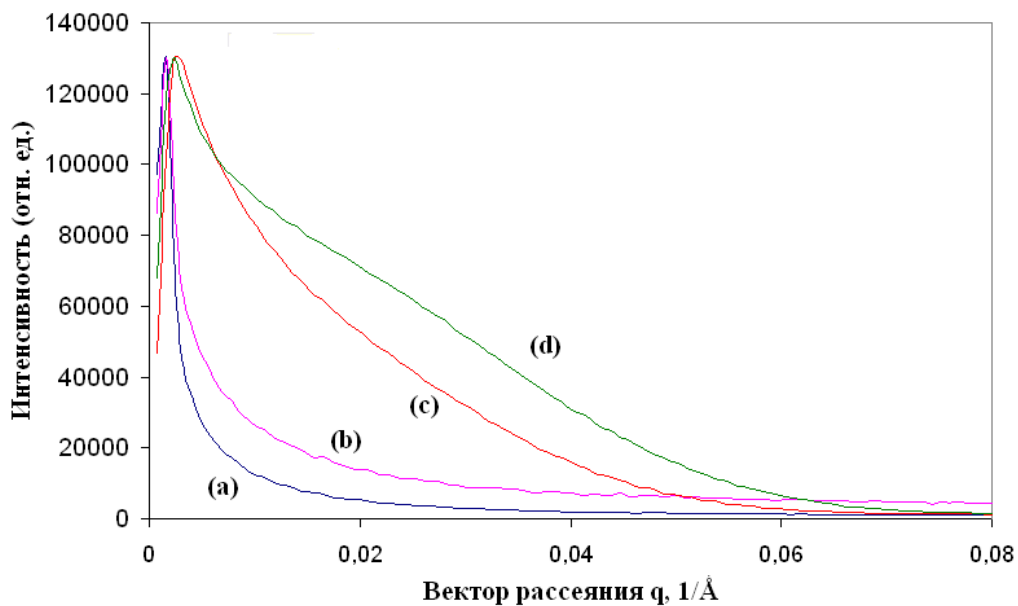


Рис. 1. Рентгенограммы малоуглового рассеяния стекла  $45\text{SiO}_2\text{-}25\text{Al}_2\text{O}_3\text{-}10\text{Na}_2\text{O}\text{-}20\text{CaF}_2\text{-}0.5\text{HoF}_3\text{-}1\text{TmF}_3$  до и после термической обработки.

(a) – исходное стекло; (b) – после отжига при  $t=550\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 4 часов; (c) – после отжига при  $t=600\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 4 часов; (d) – после отжига при  $t=650\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 4 часов.

1. Lahoz F., Hernandez S.E., Capuj N.E., Navarro-Urrios D.. Appl. Phys. Lett., 90, 201117 (2007).
2. Chen Q.J., Zhang W.J., Qian Q., Yang Z.M., Zhang Q.Y.. J. Appl. Phys., 107, 093511 (2010).

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ

М.В. Вилкова, Т.М. Зорина, К.Н. Нищев,  
*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

Достоинством золь-гель технологии является возможность получения продуктов с повышенной химической однородностью при существенном снижении энергозатрат в процессе синтеза материалов. Данные обстоятельства являются весьма привлекательными для разработки энергосберегающих технологий промышленного производства оптических материалов.

В докладе представлены результаты сравнительного исследования физических свойств активированных литиево-алюмосиликатных оптических стекол, полученных традиционным методом твердофазного синтеза (стекло №1) и с применением элементов золь-гель технологии (стекло №2).

Синтез активированного стекла №1 осуществлялся путем плавления на воздухе твердофазной шихты состава  $12\text{Li}_2\text{O}-15\text{Al}_2\text{O}_3-67\text{SiO}_2-4\text{TiO}_2$  с введением активатора путем добавления в шихту 0,6 масс. % NiO. Стекло №2 состава  $12\text{Li}_2\text{O}-15\text{Al}_2\text{O}_3-67\text{SiO}_2-4\text{TiO}_2+0,3\text{масс.}\% \text{NiO}$  было синтезировано на основе аморфного  $\text{SiO}_2$  в виде высушенного геля. В процессе синтеза данного стекла применялся мокрый способ смешивания и одновременного диспергирования шихты в спиртовом растворе, содержащем гидроксильные группы OH.

Режим варки исследуемых стекол включал в себя: нагрев шихты до плавления, выдержку расплава; его быстрое охлаждение путем выливания в массивную стальную изложницу. С целью формирования в полученных стеклах наноразмерных кристаллических включений, содержащих ионы активатора, они подвергались термообработке путем отжига различной продолжительности при температуре  $750^\circ\text{C}$ .

Проведены сравнительные исследования теплофизических, физико-механических и оптических свойств полученных стекол. Измерена микротвердость исследуемых стекол. В диапазоне температур от 25 до  $1000^\circ\text{C}$  проведены термогравиметрические исследования. Установлено, что температура кристаллизации исследуемых стекол №1 и №2 составляет соответственно  $911\pm 2^\circ\text{C}$  и  $885\pm 2^\circ\text{C}$ . В диапазоне длин волн от 400 нм до 1600 нм исследованы оптические спектры поглощения стёкол. Рентгенографически установлено наличие кристаллической фазы в образцах стекол, подвергнутых термообработке.

Полученные результаты коррелируют с данными работы [1].

1. Дымшиц О.С., Жилин А.А., Чуваева Т.И., Шепилов М.П.. Оптические спектры и структурные состояния  $\text{Ni}^{2+}$  в ситаллизирующихся стёклах литиевоалюмосиликатной систем. Физика и химия стекла, 17, 1, 94-103, 1991.

# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕРМАНАТНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ, АКТИВИРОВАННЫХ ХРОМОМ

И.А. Волков, К.Н. Нищев

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

Прозрачная наностеклокерамика, легированная ионами переходных металлов, в настоящее время рассматривается в качестве материала, перспективного для получения новых типов активных волоконных световодов, применяемых в волоконных лазерах и оптических усилителях. Стеклокерамика представляет собой многофазный оптический материал, образующийся в процессе контролируемой кристаллизации стекла. Этот класс наноматериалов сочетает высокую технологичность стекол и активные свойства легированных кристаллов.

В докладе сообщается о результатах работ по освоению технологии синтеза германатных стекол, легированных хромом, с перспективой получения на их основе прозрачной наноструктурированной стеклокерамики.

Синтез стекол осуществлялся путем плавления на воздухе твердофазной шихты с базовым составом  $12\text{Li}_2\text{O}-88\text{GeO}_2$  с добавкой активатора в виде 0,05вес%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Режим варки исследуемых стекол включал в себя: нагрев шихты до плавления, выдержку расплава; его быстрое охлаждение путем выливания в массивную стальную изложницу. С целью формирования в полученных стеклах наноразмерных кристаллических включений, содержащих ионы активатора, они подвергались термообработке путем отжига различной продолжительности при температуре  $535^\circ\text{C}$ .

Исследования теплофизических и термомеханических свойств полученных стекол проводились методами SDTA и TMA. По результатам SDTA были определены значения температур стеклования ( $T_g=510\pm 5^\circ\text{C}$ ) и кристаллизации ( $T_c=582\pm 5^\circ\text{C}$ ) стекол. Методом TMA определена дилатометрическая температура размягчения полученного стекла ( $T_d=506^\circ\text{C}$ ) и среднее значение температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР) ( $\alpha=7,37\cdot 10^{-6} 1/\text{K}$ ). В диапазоне длин волн от 370 нм до 830 нм исследован спектр поглощения полученного стекла. В спектрах поглощения стекла, активированного хромом, отмечены два широких максимума вблизи длин волн 450 нм и 650 нм соответственно, что согласуется с литературными данными.

С целью оценки магнитного состояния ионов хрома в матрице стекла образцы полученного стекла исследовались методом ЭПР. В спектрах ЭПР образцов стекла, легированного хромом, по сравнению с образцами исходного стекла, зафиксированы дополнительные линии, свидетельствующие о появлении парамагнитных центров, связанных с введением в сетку стекла ионов активатора.

Рентгенографически установлено, что отжиг стекла при температурах вплоть до  $535^\circ\text{C}$  в течение 3 час. не приводит к образованию в нем кристаллических включений.

# СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГАЛЛИЙ-СОДЕРЖАЩИХ ГЕРМАНАТНЫХ СТЕКОЛ, АКТИВИРОВАННЫХ НИКЕЛЕМ

А.И. Заикин, В.М. Кяшкин, К.Н. Нищев

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

В докладе представлены результаты экспериментальных исследований, целью которых является разработка технологии синтеза активированных галлий-содержащих германатных оптических стекол, как основы для получения прозрачной стеклокерамики, содержащей наноразмерные кристаллические включения, легированные никелем. Прозрачная наноструктурированная стеклокерамика, легированная никелем, в последние годы рассматривается как перспективный материал для создания активных элементов новых типов волоконных лазеров и оптических усилителей, работающих в спектральном диапазоне 1,1 - 1,7 мкм, используемом в телекоммуникационных волоконно-оптических системах.

Наностеклокерамика может быть получена путем специальной термообработки стекол таких составов, в которых возможно обеспечить контролируемое образование наноразмерных кристаллических включений, легированных ионами активатора, и при этом сохранить высокую прозрачность стекла.

В качестве исходного материала для получения наноструктурированной стеклокерамики нами было синтезировано стекло состава  $3,4Na_2O - 3,3K_2O - 13,3Ga_2O_3 - 80GeO_2$  с добавкой 0,1 мол. % NiO. Режим варки исследуемых стекол включал в себя: нагрев шихты до плавления, выдержку расплава; его быстрое охлаждение путем выливания в массивную стальную изложницу. С целью формирования в полученных стеклах активированных наноразмерных кристаллических включений, образцы стекла подвергались термической обработке путем отжига различной продолжительности при температуре 725 °С. Кристаллическая фаза, образовавшаяся в в стекле в результате его термообработки, рентгенографически была идентифицирована нами как  $Ga_2O_3 (R3c)$ .

Исследования теплофизических и термомеханических свойств полученных стекол проводились методами SDTA и TMA. По результатам SDTA были определены значения температур стеклования ( $T_g = 544,14$  °С) и кристаллизации ( $T_c = 738 \pm 5$  °С) стекол. Методом TMA определена дилатометрическая температура размягчения полученного стекла ( $T_d = 582$  °С), проведены исследования температурной зависимости температурного коэффициента линейного расширения (ТКЛР). Установлено, что отжиг исходного стекла при температуре 725 °С в течение 3 час. приводит к увеличению среднего значения ТКЛР от  $8,66 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  до  $9,03 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

С целью оценки магнитного состояния ионов никеля в матрице исходного стекла и стекла, подвергнутого термообработке, исследовалась температурная зависимость магнитной восприимчивости полученных стекол.

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-  
ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ОПТИЧЕСКИХ СТЕКОЛ  
В СИСТЕМЕ  $\text{Me}_2\text{O}-\text{Ga}_2\text{O}_3-\text{GeO}_2-\text{SiO}_2$  ( $\text{Me}=\text{Li}, \text{Na}$ ),  
АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ НИКЕЛЯ

В.И. Чуйкин, К.Н. Нищев

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

Галлийсодержащие стекла, легированные никелем, рассматриваются в качестве перспективного материала для создания на их основе широкополосных перестраиваемых источников излучения и оптических усилителей для диапазона длин волн 1,1-1,7 мкм [1]. Целью данной работы являлось освоение технологии получения оптических стекол в системе  $\text{Me}_2\text{O}-\text{Ga}_2\text{O}_3-\text{GeO}_2-\text{SiO}_2$  ( $\text{Me}=\text{Li}, \text{Na}$ ), содержащих наноразмерные кристаллические включения, активированные никелем, и исследование их спектрально-люминесцентных свойств.

Исследуемые оптические стекла получали плавлением шихты соответствующего состава ( $T=1480$  °С) с последующим формованием слитков в стальной изложнице, нагретой до  $T=300$  °С. Для снятия микронапряжений полученные слитки подвергали отжигу при температуре  $T=560$  °С. Методом ДТА определяли характеристические температуры стекол ( $T_c=694\pm 2$  °С,  $T_g= 570\pm 5$  °С). С целью формирования наноразмерных кристаллитов в исследуемых образцах они подвергались дополнительному отжигу на воздухе в течение 1,5 час. при температуре  $T=680$  °С (близкой к температуре кристаллизации  $T_c=694$  °С). В результате термообработки окраска образцов изменялась с желто-коричневой на сине-зеленую. Подобные изменения окраски стекол наблюдались ранее [2, 3].

Исследованы спектрально-люминесцентные свойства синтезированных стекол. При этом было установлено, что в результате термообработки стекла происходит трансформация спектра поглощения (рис.1). В спектре поглощения отожженного стекла отмечены два максимума в областях 640 нм и 1070 нм.

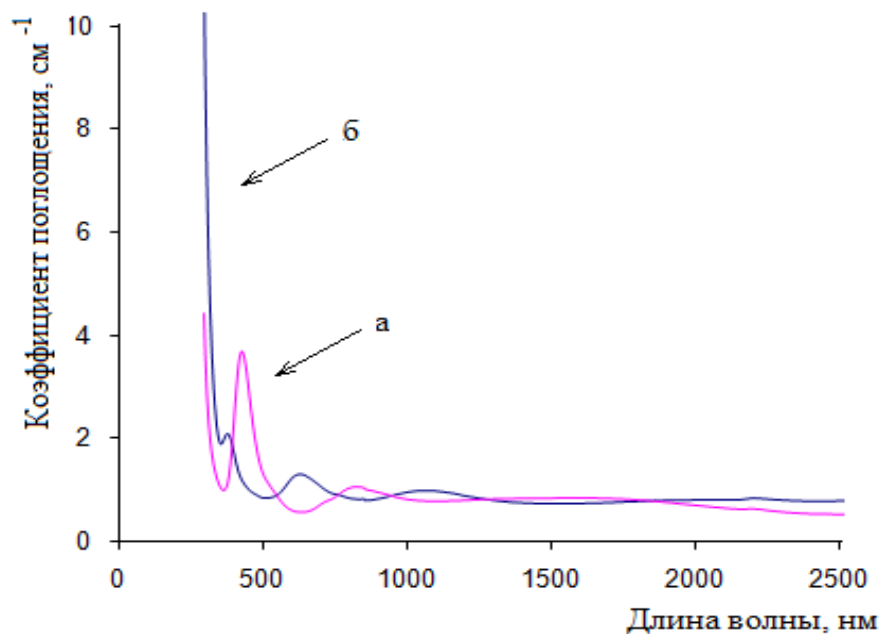


Рис. 1. Спектры поглощения стекла, легированного 0,1 % NiO: исходное (а), после отжига при  $T=680$  °С продолжительностью 1,5 ч (б).

Исследования люминесцентных свойств оптических стекол осуществлялось с помощью монохроматора МДР-23 со сменными дифракционными решетками в диапазоне длин волн 1000-1550 нм. В качестве источника возбуждающего излучения использовался лазерный диод ( $\lambda \approx 800$  нм). В спектре люминесценции термообработанных стекол отмечен широкий максимум в области 1300 нм. В пределах чувствительности установки люминесценция стекол исходного состава не наблюдалась. Аналогичные результаты были получены в работах [1,2], в которых наноразмерные включения идентифицированы как фазы  $Ga_2O_3$  и  $LiGa_5O_8$ .

1. Голубев Н.В. Активированные никелем галлийсодержащие стекла, люминесцирующие в ближнем ИК-диапазоне спектра / Голубев Н.В., Савинков В.И., Игнатъева Е.С., Лотарев С.В., Саркисов П.Д., Сигаев В.Н., Булатов Л.И., Машинский В.М., Плотниченко В.Г., Дианов Е.М. // Физика и химия стекла, Т. 36, №6, 2010.

2. Suzuki T. Optical properties of transparent  $Li_2O-Ga_2O_3-SiO_2$  glass-ceramics embedding Ni-doped nanocrystals / T. Suzuki, G.S Murugan, Y Ohishi // Applied Physics Letters, 86, 2005.

3. Samson B.N. Nickel – doped nanocrystalline glass-ceramic fiber / B.N. Samson, L.R. Pinckney, J. Wang, G.H. Beall, N.F. Borrelli // Optics Letters, vol. 27, №15, 2002.

*РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ  
И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ*

## РАЗВИТИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕГИОНОВ НА ПРИМЕРЕ АУ «ТЕХНОПАРК-МОРДОВИЯ»

В.Г. Арискин, А.А. Мاستин, С.А. Смирнов  
*АУ «Технопарк-Мордовия», Саранск*

АУ «Технопарк-Мордовия» представляет собой элемент инновационной инфраструктуры, оснащенный самым современным оборудованием, способный предоставить весь необходимый комплекс услуг для инновационных компаний.

Цели создания технопарка в сфере высоких технологий в Республике Мордовия:

- ✚ реализовать и нарастить инновационный потенциал Республики Мордовия и России (в долгосрочном периоде);
- ✚ обеспечить своевременное комплексное развитие территории в интересах инвесторов и резидентов (в среднесрочном периоде).

В соответствии с федеральными, региональными и отраслевыми приоритетами развития экономики Российской Федерации в среднесрочном и долгосрочном периоде, были выбраны следующие направления отраслевой специализации технопарка в Республике Мордовия:

- 1) электронное приборостроение,
- 2) оптоэлектроника, волоконная оптика,
- 3) энергосберегающая светотехника,
- 4) информационные технологии,
- 5) нанотехнологии, наноматериалы.

Одним из критериев выбора направлений специализации АУ «Технопарк-Мордовия» стала сложившаяся научная школа НИ МГУ им. Н.П. Огарева.

Совместно с ведущими научно-исследовательскими центрами при поддержке Научно-технического совета АУ «Технопарк-Мордовия» сформирован список проектов, планируемых к реализации на базе технопарка. Два проекта АУ «Технопарк-Мордовия» в области волоконной оптики («Создание инжинирингового центра волоконной оптики с мелкосерийным производством волоконных световодов для лазерной и сенсорной техники») и металлматричных композиционных материалов («Разработка и внедрение опытно-промышленной технологии изготовления металлматричных композиционных материалов и изделий из них для силовой электроники и преобразовательной техники») получили положительное заключение Экспертной коллегии Фонда «Сколково» о присвоении статуса участника проекта по созданию и обеспечению функционирования инновационного центра «Сколково».



## ПЕРЕДАЧА ЦИФРОВОГО РАДИОСИГНАЛА НОВЫМ МЕТОДОМ

М.С. Мухамедзянов, С.В. Щелконогов

*Уральский государственный университет путей сообщения,  
Екатеринбург*

Авторами решается проблема сужения спектра частот при передаче ИКМ-сигналов. Указанная цель достигается тем, что передаваемой в канал ИКМ-последовательности присваивают «новый» частотный код, передачу осуществляют посредством радиосигналов.

Новый способ передачи цифрового радиосигнала позволит:

- создать помехозащищенный канал связи вследствие сужения спектра частот;
- повысить скрытность информации и защитить от несанкционированного доступа за счет возможности передачи шумоподобного сигнала;
- существенно снизить влияние многолучёвости при приеме. Новый метод позволит обнаружить сигналы определенных частот без учета их амплитуды и фазы. Снижаются требования к синхронизации передаваемого сигнала.

При организации канала решаются вопросы по выбору оптимального метода кодирования, способу модуляции передаваемых радиосигналов.

Одним из известных методов сужения спектра сигнала является квадратурная амплитудная модуляция, к недостаткам этого алгоритма можно отнести относительно невысокий уровень полезного сигнала в спектре модулированного колебания [1].

1. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра/ Пер. с англ. Под ред. В.И. Журавлева.- М.: Радио и связь, 2000. – С. 518.

## РАСЧЕТ ПОТЕРЬ В ЭЛЕМЕНТАХ ДРАЙВЕРА СВЕТОДИОДОВ

А.В. Симкин, Ф.В. Виль, В.П. Падеров

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

Наиболее эффективными источниками питания светодиодных (СД) светильников являются понижающие драйверы, работающие как преобразователи переменное напряжение – постоянный ток или переменное напряжение – постоянное напряжение. Обязательными элементами драйвера являются мостовой выпрямитель, коммутационный МОП полевой транзистор (МОПТ) и быстро восстанавливающийся диод (БВД). Именно потери в этих элементах вносят наиболее существенный вклад в понижение эффективности (КПД) драйвера СД. Выведены уточненные соотношения для расчета мощности потерь в мостовом выпрямителе, МОПТ и БВД. Мощность потерь в мостовом выпрямителе при протекании прямого тока рассчитывается по соотношению

$$P_F = 2I_{av}V_{Fav} \left[ 1 + \frac{nV_T}{2V_{Fav}} (\ln(2\pi\omega RC) - 1) \right]$$

где  $I_{av}$  - средний ток нагрузки;  $V_{Fav}$  - прямое падение напряжения на диоде моста при протекании среднего тока  $I_{av}$ ;  $n$  - коэффициент неидеальности в ВАХ диода (параметр модели диода);  $V_T = kT/q$  - тепловой потенциал;  $\omega$  - угловая частота сети переменного напряжения;  $C$  - емкость фильтра мостового выпрямителя;  $R$  - эквивалентный резистор входной цепи преобразователя [1].

Мощность потерь в мостовом выпрямителе при протекании обратных токов рассчитывается по соотношению

$$P_r = \frac{16}{3\pi} I_{rm} V_{rm}$$

где  $V_{rm} = \sqrt{2}V_{net}$  - амплитудное значение напряжения сети;  $I_{rm}$  - максимальный обратный ток через диод при максимальном обратном напряжении  $V_{rm}$ .

Мощность коммутационных потерь в МОП транзисторе рассчитывается по соотношению

$$P_{sw} = f_{sw} V_{rm} \left[ Q_{rr} + I_{av} (t_{on} + t_{off}) / 2 \right]$$

где  $Q_{rr}$  - заряд обратного восстановления БВД;  $f_{sw}$  - частота переключений;  $t_{on}$  - время включения МОПТ с момента нарастания тока стока до момента, когда напряжение сток – исток понизится до уровня включенного состояния;  $t_{off}$  - время выключения МОПТ с момента нарастания напряжения сток – исток до момента достижения максимального напряжения.

1. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. М: Техносфера, 2005. – 632 с.

# ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИЙ МОДУЛЯТОР ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ

А.А. Журавлев, А.В. Кичанов, Р.С. Пономарев

Пермская научно-производственная приборостроительная компания,  
Пермь

Электрооптические модуляторы на базе интегрально-оптического интерферометра Маха-Цендера (ИМЦ) широко применяются в телекоммуникациях в качестве преобразователей сигнала и оптических коммутаторов. Важным параметром работы таких модуляторов является глубина модуляции сигнала, определяемая из отношения максимальной мощности сигнала в “открытом” состоянии модулятора к минимальной мощности сигнала в “закрытом” состоянии модулятора. Типичное значение глубины модуляции для телекоммуникационных модуляторов составляет 25 дБ, однако в некоторых публикациях встречаются упоминания о достижении глубины модуляции в 70 дБ [1]. В ходе работ по созданию элементной базы ВОЛС в ПНППК был изготовлен и испытан ряд модуляторов интенсивности излучения на базе интегрально-оптического ИМЦ на ниобате лития. Топология волноводов модуляторов была изготовлена из ниобата лития методом протонного обмена в бензойной кислоте.

Передаточная функция исследуемого образца представлена на рис. 1.

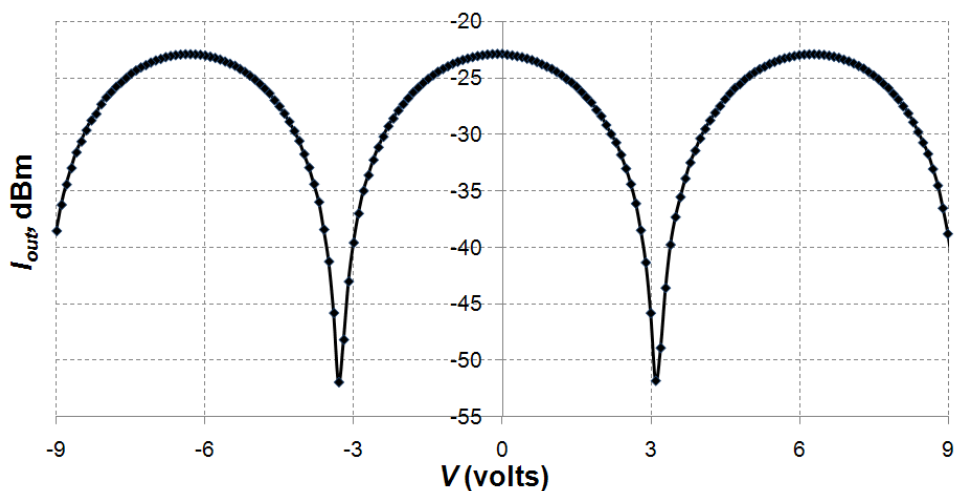


Рис.1 Передаточная функция исследуемого образца.

График передаточной функции соответствует симметричной топологии расположения волноводов. Из графика видно, что достигнутая глубина модуляции составляет около 30 дБ.

Работа выполнена при поддержке программы кооперации российских ВУЗов и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичного производства, проект №13.G25.31.0004.

1. Ruske J.-P., Tünnermann A., Photonic international journal 1. P. 122-125 (2007)

## РАСПОЗНАВАНИЕ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ДОМЕННЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ПРИЗНАКОВ

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

*Национальный исследовательский Мордовский государственный  
университет имени Н. П. Огарева, г. Саранск*

В настоящее время системы компьютерного зрения находят широкое применение при проведении научных экспериментов. Их использование позволяет автоматизировать процесс проведения исследований, повысить точность, сократить временные затраты и т.д. [1,2].

В данной работе предлагается алгоритм распознавания объектов на изображениях доменных структур. Алгоритм позволяет распознавать объекты в структурах с полосовыми, лабиринтными и цилиндрическими доменами. Существуют различные способы распознавания объектов на изображении [1,2]: метод прямого сравнения объекта с эталонным значением, корреляционный метод, методы распознавания на основе системы признаков и т.д. Так как объектами для анализа в нашем случае являются относительно простые формы, то мы применяли метод распознавания на основе системы признаков.

Выделение признаков позволяет упростить реализацию распознавания или идентификации объектов. При выборе наиболее информативных признаков необходимо учитывать свойства самих объектов. При классификации доменов применялся статистический подход анализа на основе морфометрических признаков объекта. К основным морфометрическим признакам, как известно, относятся коэффициенты формы: коэффициент выпуклости; коэффициент округлости; коэффициент заполнения; эксцентриситет эллипса с главными моментами инерции, равными главным моментам инерции объекта [3].

В среде MatLab проанализированы диапазоны изменения коэффициентов формы различных видов доменных структур. Полученные результаты показали целесообразность применения коэффициентов заполнения и округлости для распознавания доменных структур. Таким образом, разработанный алгоритм включает в себя: предварительную обработку изображения (фильтрация, бинаризация); подсчет количества объектов на изображении; расчет коэффициентов заполнения для каждого объекта; расчет коэффициентов округлости для каждого объекта; анализ полученных значений коэффициентов и определение типа доменной структуры.

1. Визельтер Ю. В. и др. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW IMAQ Vision.– М.: ДМК Пресс, 2007.– 464 с.
2. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MatLAB.– М.: Техносфера, 2006.– 616 с.
3. Пытьев Ю.П., Чуликов А.И. Методы морфологического анализа изображений.– М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010.– 336 с.

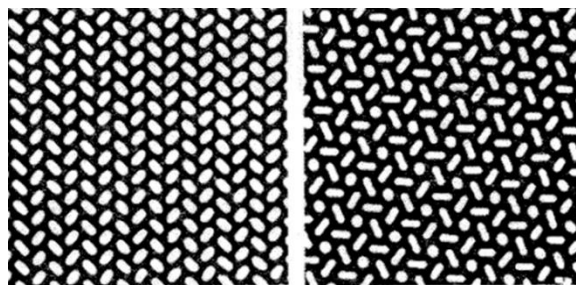
## ОБЛАСТИ ФОРМИРОВАНИЯ УПОРЯДОЧЕННЫХ ДВУМЕРНЫХ ДОМЕННЫХ СТРУКТУР С СИММЕТРИЕЙ $Pab2$ И $P6$

М.В. Герасимов, Н.Н. Логинов, М.В. Логунов, А.В. Спиринов, Д.С. Кашкин  
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск

Возможность формирования упорядоченных двумерных решеток магнитных доменов в процессе динамической самоорганизации под действием монополярного импульсного магнитного поля в прозрачных тонкопленочных ферритах со сквозной доменной структурой [1,2] позволяет рассматривать подобные объекты в качестве аналога фазового дифракционного оптического элемента. Перестраиваемые магнитные дифракционные решетки представляют значительный интерес в качестве одного из базовых элементов оптоэлектронных систем обработки информации. Возможность управления распределением вектора намагниченности по площади образца является актуальной и в СВЧ-электронике.

В настоящей работе представлены результаты формирования под действием импульсного магнитного поля двумерных решеток доменов высокой пространственной однородности с симметрией  $Pab2$  (рис., а) и  $P6$  (рис., б) в монокристаллических одноосных пленках ферритов со структурой граната. Использована автоматизированная установка, состоящая из систем формирования магнитных полей и регистрации магнитооптических изображений.

Автоматизация эксперимента с использованием среды программирования LabView и аппаратной части NI Elvis при исследовании процессов упорядочения динамических доменных структур позволила варьировать несколько параметров воздействия на магнитную



а

б

тонкую пленку, что, в свою очередь, способствовало нахождению областей формирования для упорядоченных двумерных доменных структур с симметрией  $Pab2$  и  $P6$  (рис.). Область формирования – это определенные соотношения между параметрами воздействия: длительностью и амплитудой импульса магнитного поля, количеством импульсов, напряженностью постоянного поля подмагничивания. Выявлена взаимосвязь области формирования двумерных решеток доменов с динамическими параметрами магнитных пленок.

1. М.В. Логунов, М.В. Герасимов, Письма в ЖЭТФ, **74**, 551 (2001).
2. E. Ascitto, C. Roland and C. Sagui, Phys. Rev. E **72**, 021504 (2005).

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ДОМЕННЫХ СТРУКТУР

М.В. Герасимов, Н.Н. Логинов, М.В. Логунов, А.В. Спирин  
*Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Саранск*

Усложнение современной экспериментальной аппаратуры и рост числа измерений приводит к необходимости автоматизации процесса измерения при выполнении эксперимента, что позволяет ускорить обработку и анализ результатов. Автоматизация эксперимента необходима при исследовании перехода от хаоса к порядку в открытых нелинейных системах радиоэлектроники. Примером являются процессы самоорганизации доменных структур в магнитофотонных кристаллах, для изучения которых необходимо варьировать несколько параметров воздействия [1,2].

В настоящей работе представлена разработка программного обеспечения для автоматизации исследования динамических доменных структур. В качестве среды программирования использована среда LabVIEW [3,4], аппаратная часть – NI ELVIS. По выполняемым функциям программу можно разделить на четыре блока.

Первый блок отвечает за управление величиной напряженности квазистатического магнитного поля смещения. Источником магнитного поля является короткий соленоид, временная зависимость тока в котором задается программно посредством управляемого источника питания NI ELVIS. Второй блок позволяет управлять параметрами импульсного магнитного поля: длительностью, частотой следования и количеством импульсов поля. В качестве задающего генератора импульсов используется станция NI ELVIS. Третий блок предназначен для сохранения результатов эксперимента – магнитооптических изображений доменных структур в виде графических файлов и условий их формирования, то есть параметров магнитных полей. Четвертый блок, информационный, служит для отображения текущих параметров магнитных полей.

Программно-аппаратный комплекс позволил автоматизировать процесс формирования и регистрации двумерных магнитных доменных структур.

1. E. Ascitto, C. Roland, and C. Saguì, Phys. Rev. E 72, 021504 (2005).
2. K. Kudo and K. Nakamura, Phys. Rev. 76, 0362011 (2007).
3. Ю.К. Евдокимов, В.Р. Линдваль, Г.И. Щербаков. LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 400 с.
4. А.Я. Суранов. LabVIEW 8.20: Справочник по функциям. – М.: ДМК Пресс, 2007. – 536 с.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ВО ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКАХ ИМПУЛЬСНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПЕРВИЧНОЙ СЕТИ

А.М. Горин, М.В. Логунов, А.Р. Милославский,  
А.В. Спирын, А.Н. Чалдышкин

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

При разработке вторичных импульсных источников электропитания большой мощности необходимо учитывать взаимодействие гармоник тока потребления источника питания с сетями электроснабжения из-за возможного искажения формы напряжения, а при наличии корректоров коэффициента мощности – перегрузки корректоров и создания резонансных перенапряжений [1]. Для поддержания качества напряжения магистральной сети при периодической зарядке накопительного конденсатора на выходе трансформаторно-выпрямительного преобразователя устанавливается промежуточный накопитель [2,3].

В настоящей работе проведен расчет и экспериментальные исследования модуляции напряжения в магистральной сети в зависимости от характера нагрузки и параметров вторичного импульсного источника электропитания. Проанализированы два варианта моделирования: прямое (поэлементное) моделирование и расчетная модель с рядом принятых упрощений: не учитывается действие регулятора возбуждения и изменение скорости магистрального генератора; высшие гармоники токов и напряжений выпрямителя учтены приближенно; принято, что сдвиг фаз между основными гармониками тока и напряжения на входе выпрямителя отсутствует; не учитываются цепи зарядки и разрядки коммутирующего конденсатора. Погрешность определения величины коэффициента модуляции в упрощенной модели вторичного импульсного источника электропитания не превышает нескольких процентов и в то же время позволяет в десятки раз сократить трудоемкость по сравнению с прямым моделированием.

Результаты моделирования сравнивались с экспериментально снятыми осциллограммами напряжений при скачкообразном изменением нагрузки с использованием программируемого электронного имитатора импульсной нагрузки.

1. Сукер К. Силовая электроника. Руководство разработчика. – М.: Изд. дом «Додэка-XXI», 2007. – 252 с.
2. Болдырев В.Г., Бочаров В.В., Герасимов А.А. и др. Транзисторные преобразователи электрической энергии. – М.: АОЗТ «Ирбис», 2002. – 228 с.
3. Болдырев В.Г., Бочаров В.В., Резников С.Б. Вторичные источники импульсного питания (ВИИП) // Практическая силовая электроника. 2001. – № 2. – С. 15–24.

# ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ СИГНАЛ/ШУМ ПРИ РЕГИСТРАЦИИ СЛАБЫХ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

А.М. Горин, М.В. Логунов, А.В. Спирин

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

Часто при проведении измерений требуется осуществлять регистрацию сигналов с весьма малой амплитудой, на пределе чувствительности регистрирующей аппаратуры. Полезный сигнал при этом может быть скрыт рядом мешающих факторов [1,2]. В частности, при регистрации динамических петель гистерезиса магнитных материалов малых размеров ЭДС индукции имеет малую величину и скрыта шумами и помехами.

Уменьшение уровня шума в зарегистрированном сигнале нами осуществлялось в два этапа. Как известно, шумовой сигнал занимает широкую полосу частот, в то время как полезный сигнал обычно локализован в определенной частотной области. Поэтому на первом этапе мы ограничивали полосу пропускания регистрирующего прибора, что позволило уменьшить мощность шумовой составляющей без значительной потери в мощности полезного сигнала [1]. На втором этапе усредняли сигнал по нескольким осциллограммам.

Еще один мешающий фактор при регистрации петель гистерезиса для материалов малых размеров – дрейф нулевого уровня измерительного прибора. Дрейф для современных приборов имеет небольшую величину, но в нашем случае сопоставим с амплитудой регистрируемой ЭДС индукции. После численного интегрирования сигнала ЭДС индукции при наличии дрейфа получается периодический сигнал с линейно нарастающим смещением, что приводит к “размазыванию” зарегистрированных петель гистерезиса по вертикали. Нами разработаны и реализованы два алгоритма для устранения влияния дрейфа.

Первый алгоритм основан на вычитании линейно нарастающей составляющей из полученного после интегрирования ЭДС индукции сигнала. Этот сигнал сначала делится по оси времени на отрезки, равные по величине его периоду. В пределах каждого отрезка вычисляется среднее значение всех отсчетов сигнала. Затем методом наименьших квадратов определяется уравнение прямой, проходящей через полученные таким образом точки, и вклад, обусловленный дрейфом, вычитается из полученного после интегрирования ЭДС индукции сигнала. Второй алгоритм основан на исключении постоянной составляющей из зарегистрированного сигнала ЭДС индукции до выполнения интегрирования. С помощью быстрого преобразования Фурье определяется величина постоянной составляющей, присутствующей в сигнале, затем эта величина вычитается из сигнала.

1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: Питер, 2002.– 608 с.
2. Гасилов С.В., Мажукин В.И. // Приборы и техника эксперимента. 2007, №6. С. 50–58.



## О ВНЕДРЕНИИ PDM И PLM СИСТЕМ НА РАДИОТЕХНИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Ю.А. Алексеев, Д.Д. Ступин

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

При автоматизации различных направлений подготовки производства с помощью комплекса CAD/CAM/CAE/CAPP предприятие получает цифровую модель изделия. Массив цифровой информации на радиотехнических предприятиях из-за разнообразия используемого программного обеспечения особенно велик, что не только приносит пользу, но и доставляет значительные хлопоты создавшему его предприятию. Существенно сократить сроки подготовки производства можно за счет параллельного выполнения работ и тесного взаимодействия всех участников процесса.

К числу технологий, позволяющих значительно снизить временные затраты в процессе проектирования и сопровождения изделия, относятся системы управления проектными и инженерными данными предприятия – PDM системы. Внедрение PDM – длительный процесс, сопровождающийся привлечением значительных ресурсов как со стороны предприятия, так и со стороны поставщика программного обеспечения. Внедряются и системы для управления жизненным циклом изделия (PLM), что особенно актуально при производстве сложных и многофункциональных изделий, рассчитанных на длительный срок эксплуатации. Наиболее распространёнными ошибками при внедрении электронных систем управления предприятием являются:

- неправильно подобранная специализированная группа внедрения или её отсутствие;
- неправильно поставленная задача вследствие некомпетентности или непонимания процесса модернизации производственных отношений (как следствие – неверно выбранные схемы автоматизации рабочих мест на первом этапе внедрения);
- попытки внедрения на промышленных предприятиях финансово-ориентированных (например, банковских схем управления).

В этом плане интересен опыт крупнейших в России проектов по внедрению PLM-систем на высокотехнологичных предприятиях – Государственном космическом научно-производственном центре имени М.В. Хруничева, Корпорации «Иркут» и других [1]. Реализация этих проектов начата в конце 2010 г. Проекты направлены на повышение объемов выпуска новых и модифицированных изделий, сокращение сроков разработки изделий и затрат на технологическую подготовку производства, сокращение непроизводительных издержек. Отметим, что в качестве поставщика PLM-систем российскими предприятиями выбрана компания «Siemens PLM Software» – подразделение фирмы Siemens, имеющее богатейший опыт как в разработке программного обеспечения и услуг для управления жизненным циклом изделия, так и, что не менее важно, в использовании PLM-систем на многих предприятиях фирмы Siemens [2]. Очевидно, что для предприятия, относящегося к радиотехнической отрасли, решения и продукты компании «Siemens PLM Software» должны быть модифицированы по сравнению с аэрокосмической отраслью.

1. <http://www.khrunichev.ru>
2. <http://www.plm.automation.siemens.com>

## О МЕХАНИЗМЕ ПЕРЕХОДА ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА В ДУГОВОЙ В СТАРТЕРАХ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

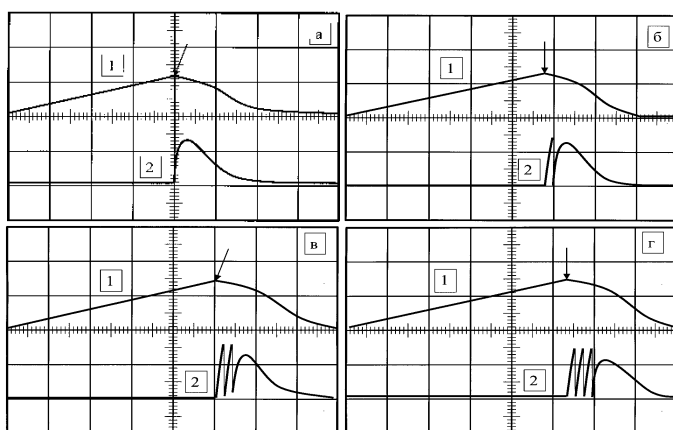
А.М. Майоров, В.А. Горюнов, М.И. Майоров

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

Для изучения перехода тлеющего разряда в дуговой в стартере, мы использовали генератор импульсов, исключая фазу замыкания контактов стартера, позволяющий изучать этот переход в режиме периодически повторяющихся импульсов.

Генератор импульсов включал в себя дроссель индуктивностью 1Гн, генератор управляющих импульсов, электронный ключ. Стартёр включали параллельно электронному ключу и конденсатору ёмкость 6000 пФ. Ток через дроссель и напряжение на стартёре регистрировались с помощью осциллографа (осциллограммы приведены на рис.1). Длительность протекания тока через дроссель определялось продолжительностью нахождения ключа в проводящем состоянии. При увеличении этой длительности ток через дроссель возрастал (кривая 1 рис.1 а,б,в,г). При размыкании ключа напряжение на стартере нарастало с течением времени (кривая 2 рис.1 а,б,в,г).

Рис.1. Осциллограммы импульса тока (1) в дросселе, и напряжения (2) на стартере 80С-220-2 в схеме с генератором импульсов. Напряжение на стартере 600 В/дел, ток в дросселе - 0,2А/дел., развертка-0,5 мс/дел. Стрелкой отмечен момент прекращения проводимости электронного ключа (а, б, в, г - длительность проводящего состояния



Амплитуда высоковольтного импульса зависела от силы тока при разрыве контактов, увеличиваясь при его увеличении до некоторой максимальной величины (рис.1,а). При дальнейшем увеличении тока разрыва (рис.1,б) возрастания амплитуды не происходило – возникла пробой – напряжение на стартёре кратковременно уменьшалось (кривая 2

рис.1,б). Дальнейшее увеличение тока разрыва также не приводит к увеличению амплитуды импульса, растёт число пробоев (кривая 2 рис.1,в,г).

Из данных рис.1 следует, что пробои возникают при одном и том же напряжении на стартере. Это происходит как только напряженность поля в приэлектродной области достигает величин превышающих  $5 \cdot 10^4$  В/см. Именно при этих значениях реализуется механизм взрывной электронной эмиссии – аномальный тлеющий разряд переходит в низковольтную форму с катодным пятном, место локализации катодного пятна находится возле спая электрода со стеклом.

## АНАЛИЗАТОР СПЕКТРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Я.А. Зазулин, Е.И. Нырков, Б.Н. Денисов

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

Решение проблема гальванической развязки электрических сигналов является важной технической задачей. Обработка электрических сигналов с помощью оптических сигналов позволяет реализовать идеальную гальваническую развязку. Нами разработан и исследован анализатор спектра электрических сигналов с помощью модулированных по интенсивности оптических сигналов. В качестве смесителя в данном анализаторе спектра использован фоторезистор. Использование оптических сигналов в качестве гетеродинных позволило решить проблему гальванической развязки. Применение фоторезистора обеспечило прямое аналоговое перемножение исследуемого сигнала и оптического сигнала гетеродина ( $U_{г}$ ). Рассмотрим принципиальную схему устройства (Рис.1): фоторезистор включен в цепь, задающую коэффициент усиления, операционного усилителя. На вход операционного усилителя подается исследуемый электрический сигнал ( $U_{вх}$ ). Сигнал с гетеродина подается на источник света (светодиод). Сигнал на выходе операционного усилителя будет равен:

$$U_{вых ОУ} = \frac{R_1}{R_{\phi}} U_{вх} = R_1 (\sigma_T + \Delta\sigma \cos(\omega t)) \left( \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\Omega t) \right) \quad (1)$$

При совпадении частоты гетеродина  $\omega$  с частотой  $n$ -ой гармоники, с точность 10 Гц, сигнал с выхода усилителя сигнал, пропорциональный амплитуде  $n$ -гармоники, поступает на фильтр нижних частот с полосой пропускания 5 Гц. Далее сигнал поступает на выпрямитель и регистрирующее устройство. Достоинство предлагаемого устройства проявляется в том, что при перемножении исследуемого сигнала с сигналом гетеродина не возникает кратных гармоник (что наблюдается при перемножении при помощи нелинейных элементов) и обеспечивается гальваническая развязка, что упрощает конструкцию анализатора спектра.

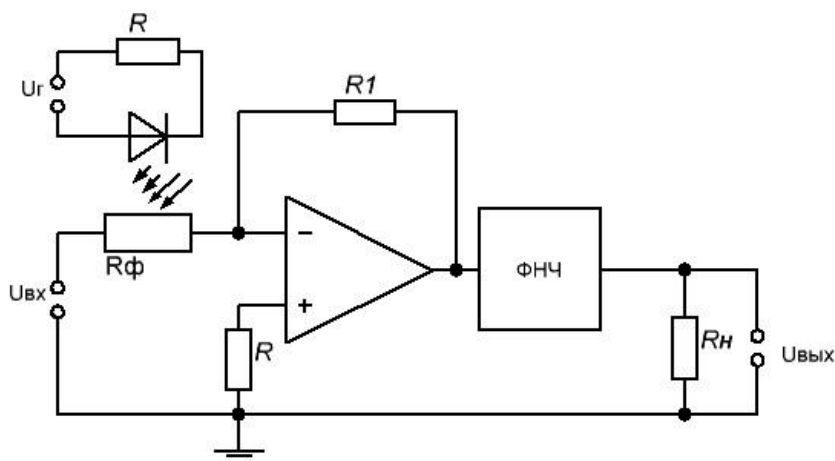


Рис.1. Принципиальная схема анализатора спектра

## СМЕСИТЕЛЬ МОДУЛИРОВАННЫХ ПО ИНТЕНСИВНОСТИ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Я.А. Зазулин, Б.Н. Денисов

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

Проблема аналогового перемножения сигналов в радиотехнике и оптоэлектронике настоящее время не решена [1]. Перемножение сигналов за счет квадратичной зависимости амплитуды выходного сигнала от амплитуды входного. Такое перемножение сопровождается нелинейными искажениями сигналов несущих информацию. Оптические сигналы, модулированные по интенсивности, широко используются в оптической связи. Нами предлагается способ перемножения двух и более оптических сигналов. Рассмотрим сигнал на выходе фоторезистора, питание которого осуществляется фотодиодом. Ток через фоторезистор пропорционален произведению его проводимости на приложенное напряжение фотодиода, а следовательно произведению световых потоков  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  соответственно, которыми освещается фоторезистор и фотодиод. Рассмотрим случай двух световых потоков, модулированных по интенсивности, с частотами  $\omega$  и  $\Omega$ ;

$$\Phi_1 = \Phi_{m\omega}(1 - \cos\omega t), \quad \Phi_2 = \Phi_{m\Omega}(1 - \cos\Omega t) \quad (1)$$

При малых уровнях освещения напряжение фотодиода и проводимость фоторезистора линейно зависят от интенсивности света. Ток через фоторезистор будет равен:

$$I = \sigma U = (\sigma_T + \Delta\sigma_{\Omega}(1 - \cos\Omega t))U_{m\omega}(1 - \cos\omega t), \quad (2)$$

где  $\sigma_T$  - темновая проводимость фоторезистора,  $\Delta\sigma_{\Omega}$  - амплитуда фотопроводимости при освещении светом модулированным по закону ( $\Phi_2$ ). Разделим выражение (2) на  $I_T = \sigma_T U_{m\omega}$ , обозначая  $I/I_T = I'$ ,  $k = \Delta\sigma_{\Omega}/\sigma_T$  :

$$I' = (1 + k) - k \cos\Omega t - (1 + k) \cos\omega t + k(\cos\omega t) \cos\Omega t \quad (3)$$

Из соотношения (3) следует, что результат перемножения не приводит к нелинейным искажениям. В соотношении (3) отсутствуют гармоники кратные частотам  $\omega$  и  $\Omega$ . Выражение (3) содержит амплитудно-модулированный сигнал, который можно получить после фильтрации низкочастотного сигнала с частотой  $\Omega$ . Глубина модуляции  $M$  такого сигнала равна:  $M = k/(1 + k)$ , т.к.  $k \geq 1$ , следовательно  $M \leq 1$ .

1. В.И. Нефедов Основы радиотехники и связи М.: Высш.шк. 2001.-510с.

## ОРГАНИЗАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СВАРОЧНЫХ АППАРАТОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ СВАРКИ И ТВЧ НАГРЕВА

В.М. Бардин, А.В. Земсков

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

Сварка переменным током частоты ультразвукового диапазона (25-75кГц) позволяет получить по сравнению со сваркой на постоянном токе более мелкозернистую структуру шва и повысить прочность сварного соединения не менее чем на десять процентов.

Разработанные на кафедре радиотехники макетные образцы инверторных сварочных аппаратов переменного тока высокой частоты позволяют осуществлять электродуговую сварку на токах до 160А. Однако для сварки конструкций из толстолистового металла такой величины тока недостаточно. Для многих производственных технологий нужен сварочный ток величины 400 и более ампер. Эту проблему можно решить созданием мощных, и соответственно, более крупногабаритных и тяжелых аппаратов, или обеспечением групповой работы менее мощных сварочных устройств.

С целью увеличения сварочных токов предлагается обеспечить групповую (параллельную) работу аппаратов. Это позволит не только повысить нагрузочную способность, удобство и гибкость построения сварочных устройств, но перейти в новую сферу их применения – ТВЧ нагрев металлов. При этом частота коммутации транзисторов инвертора должна быть увеличена до 200кГц, для оптимального соответствия многообразию потребностей, возникающих при индукционном нагреве.

Модульный принцип наращивания мощности должен снизить стоимость затрат в расчете на киловатт потребляемой энергии, т.к. маломощные аппараты стоят, как правило, меньше, чем их мощные аналоги. Кроме того, повышается технологическая надежность системы из-за возможности быстрой замены одного из модулей.

Но при этом возникает проблема того, что для осуществления параллельного включения нескольких инверторов переменного тока высокой частоты на общую нагрузку, при равной степени их загрузки, необходимо синхронизировать их выходные напряжения по частоте, начальной фазе и амплитуде.

# СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ТОКА ИНВЕРТОРНОГО ИСТОЧНИКА СВАРОЧНОГО ТОКА ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

В.М. Бардин, А.В. Пивкин

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

Сварка на знакопеременном токе частоты ультразвукового диапазона позволяет обеспечить повышенную прочность сварочного соединения, поэтому дальнейшие работы в этом направлении могут оказаться весьма полезными. Если по вопросам электромагнитной совместимости инверторных источников сварочного тока (ИИСТ) постоянного тока имеется ряд публикаций, то по ИИСТ, генерирующих знакопеременный ток повышенной частоты пока никакой информации нет. Авторы настоящей работы попытались хотя бы частично восполнить этот пробел.

На рис. 1 отображен спектр выходного тока инвертора, полученный на компьютерной модели в среде Matlab SymPowerSystem.

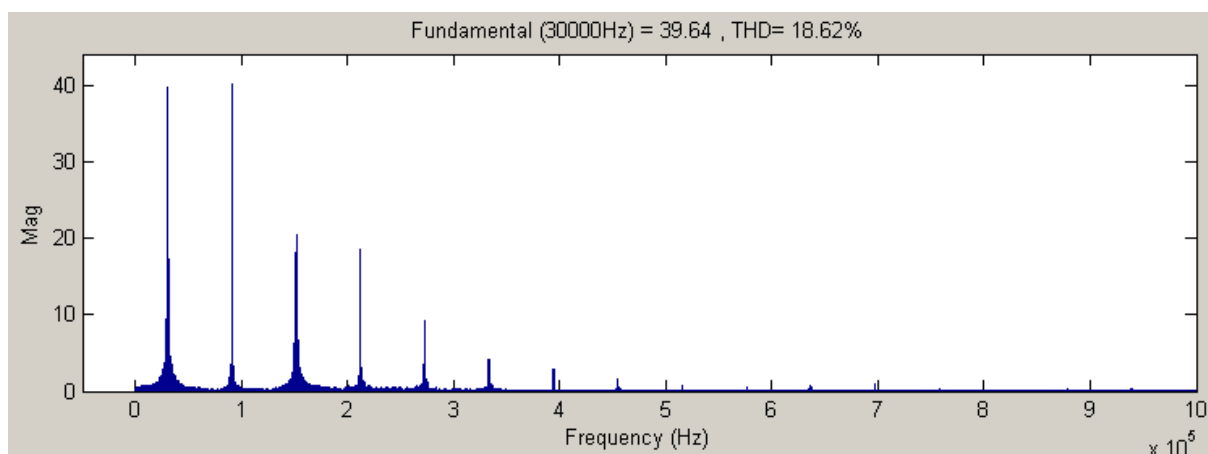


Рис. 1. Спектр выходного тока при скважности 10, частоте 30 кГц и нагрузке 0,3 Ом.

Исследования, выполненные на физическом макете и компьютерное моделирование позволили сделать следующие выводы:

1. Широтно-импульсный способ регулирования сварочного тока в ИСА знакопеременного тока приводит к формированию широкого спектра составляющих, интегральная мощность и ширина которого существенно зависит от скважности импульсов.

2. В моменты обрыва дуги в зоне частот 4-5 МГц возникает мощный спектральный выброс, устранить который схемотехническими методами не представляется возможным.

3. Установка на выходе ИСА сглаживающего дросселя приводит к некоторому сужению спектра при одновременном снижении КПД.

# СВАРОЧНЫЙ АППАРАТ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕГО ИССЛЕДОВАНИЯ

В.М. Бардин, Д.А. Борисов

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

В области электросварочных устройств уже более десяти лет успешно развивается поколение инверторных преобразователей.

Однако все представленные на рынке аппараты зарубежных и отечественных фирм обеспечивают дуговую электросварку на постоянном токе, сварка на переменном токе осуществляется только на промышленной частоте 50 Гц. Возникает резонный вопрос: если сварку можно осуществлять на частоте 50 Гц, то почему не осуществлять её, например, на частоте 50 кГц? Анализ физических процессов, происходящих при дуговой сварке позволяет предположить, что качество сварных соединений при токах высокой частоты может быть выше, чем при сварке на частоте 50 Гц. С целью проверки этого предположения на кафедре радиотехники Мордовского госуниверситета был разработан образец инверторного сварочного аппарата (ИСА) переменного тока и проведены его испытания. На рис. 1 приведены фотографии микрошлифов сварных соединений, полученных на постоянном токе и на переменном токе высокой частоты.

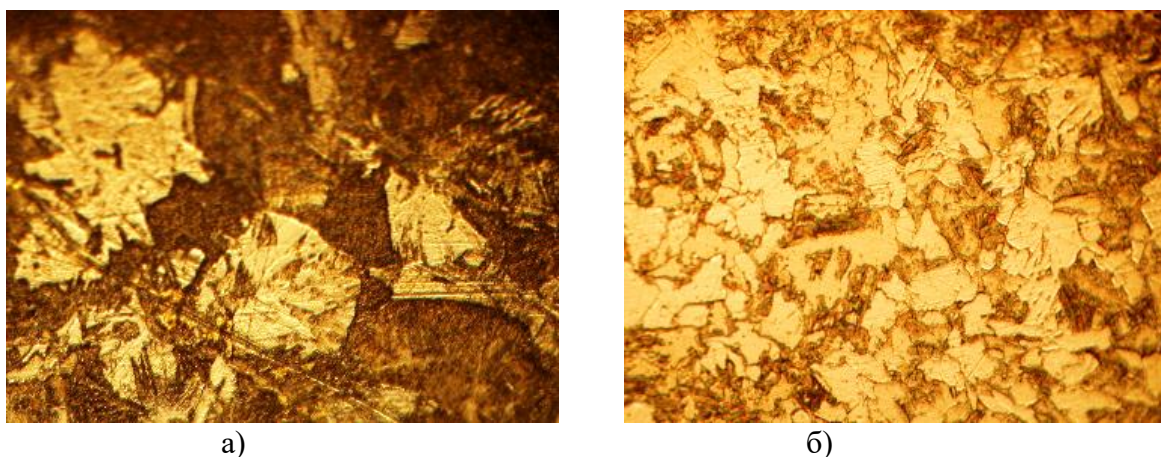


Рис. 1. Фотографии микрошлифов при сварке постоянным током (а) и переменным током высокой частоты (б), увеличение  $\times 500$

Проведенные эксперименты по оценке качества сварных соединений с точки зрения механической прочности показали, что преимущество в прочности сварного соединения аппарата переменного тока над аналогичным соединением, полученным при сварке постоянным током, составляет величину от 7 до 12 %.

Мелкодисперсная структура металла шва, полученного на токах высокой частоты и результаты испытаний на механическую прочность позволяют уже не предполагать, а утверждать, что прочностные свойства шва должны быть выше, чем при сварке на постоянном токе.





## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Mégret P.	124
Zaharko O.	95
Аветисов И.Х.	39
Аксенова Ю.В.	94
Алексеев Ю.А.	155
Антипов О.Л.	124
Антропова Т.В.	84, 102
Аракелян С.М.	71
Арискин В.Г.	146
Бакулин М.А.	56
Бардин В.М.	159, 160, 161
Батыгов С.Х.	74
Бахтамаева А.С.	46
Безлаковский А.И.	50
Белов А.И.	108
Белоненко М.Б.	28, 101
Богатырёв В.А.	134
Болдырев К.Н.	35, 38
Большакова Е.В.	78
Борик М.А.	103
Борисов Д.А.	161
Брагин А.В.	150
Бреховских М.Н.	74
Бублик В.Т.	103
Бубнов М.М.	136
Бузынин А.Н.	112
Бутусова Е.Н.	48
Василевская Т.М.	22
Вебер А.А.	82
Вилкова М.В.	139
Виль Ф.В.	148
Волков В.В.	115
Волков И.А.	140
Воронов В.В.	51, 52, 71, 114
Ворончихина М.Е.	73
Воронько Ю.К.	74, 110, 111

Гаврина З.А.	21
Гажулина А.П.	75
Галаган Б.И.	92, 125
Галкин А.С.	36
Гарибин Е.А.	67, 107
Герасимов М.В.	151, 152
Герке М.Н.	71
Глущенко И.Н.	92
Говорков О.И.	44
Голубев Н.В.	68, 123, 134
Горащенко Н.Г.	41, 43, 73
Горбачева А.Н.	83
Горин А.М.	153, 154
Горюнов В.А.	156
Гранев И.В.	130
Григорькин А.А.	25
Гришанин А.В.	54
Грязнов А.М.	53
Гурьянов А.Н.	136
Демидов Е.С.	80
Денисов Б.Н.	157, 158
Денкер Б.И.	92, 125
Дианов Е.М.	125, 134
Дмитриев В.В.	44
Дмитрук Л.Н.	74
Дубовый В.К.	50
Дудникова В.Б.	93
Дукельский К.В.	118
Европейцев Е.А.	80
Евстифеева В.В.	42
Егорова А.Е.	86
Елисеева С.В.	133
Еналеева А.А.	44
Ермаков Р.П.	51, 52, 114
Ероньян М.А.	118, 135
Ершов А.В.	108
Жариков Е.В.	71, 92, 93, 95, 100
Жарков Е.А.	45

Журавлев А.А.	149
Загуменный А.И.	111
Зазулин Я.А.	157, 158
Заикин А.И.	141
Зайцев Р.В.	20
Зайцева О.Н.	93
Зверев П.Г.	70
Земсков А.В.	159
Зима И.А.	70
Зими́на Г.В.	51
Зорина Т.М.	139
Зюзин А.М.	40, 53, 56, 113
Иванов В.А.	86
Иванов Н.Ю.	76
Ивлева Л.И.	30, 70
Игнатъева Е.С.	134
Исхакова Л.Д.	112
Калинина А.В.	20
Калитеевская Е.Н.	106
Камынин В.А.	129
Карасик А.Я.	77
Каратун Н.М.	134
Карзанова М.В.	80
Кашкин Д.С.	151
Кащенко М.А.	37
Кииск В.	91
Кичанов А.В.	149
Климин С.А.	32
Коваленко В.В.	50
Колеров А.Н.	58
Колокольцев В.Н.	93
Комова М.Г.	110
Королев Д.С.	108
Королева О.Н.	81
Костюк А.Б.	108
Костюк Г.К.	84
Котков Д.Н.	48
Кочурихин В.В.	78

Крайский А.А.	69
Крайский А.В.	66, 69
Красильников С.В.	41
Кревчик В.Д.	20, 21
Кревчик П.В.	20
Крутько В.А.	110
Крутякова В.П.	106
Кузнецов С.В.	51, 52, 114, 115
Кузнецова Р.Т.	94
Кузьмичева Г.М.	95
Кукушкин И.А.	44
Кулебякин А.В.	79, 103
Курков А.С.	119, 127, 128, 129
Кухтевич И.В.	81
Кяшкин В.М.	141
Лабутина М.Л.	87
Лазаренко В.М.	93
Лебедев Н.Г.	28, 101, 105
Липатов Д.С.	136
Лис Д.А.	95
Лихачев М.Е.	136
Логинов Н.Н.	151, 152
Логунов М.В.	150, 151, 152, 153, 154
Ломонова Е.Е.	79, 103, 112
Лось Д.С.	51, 115
Лотарев С.В.	46
Лощенов В.Б.	110, 115
Луканин В.И.	77
Ляпин А.А.	67, 107
Ляпкосова О.С.	105
Ляшедько А.Д.	85
Мазунина Т.В.	130
Майоров А.М.	156
Майоров М.И.	156
Малафеева Е.К.	96
Малашкевич Г.Е.	68, 83, 91
Малов А.В.	67, 78, 79
Мамаджанова Е.Х.	68

Мартыненко В.А.	54
Марычев М.О.	75, 76, 87
Мастин А.А.	146
Машинский В.М.	134
Маякова М.Н.	52, 114
Мериакри В.В.	109
Мешковский И.К.	135
Милович Ф.О.	103
Милославский А.Р.	153
Миронова Т.В.	69
Михайлов А.Н.	108
Мишкин В.П.	54
Моисеева Л.В.	74
Москвичева А.В.	42
Мухамедзянов М.С.	131, 147
Мызина В.А.	103
Нарожный М.В.	89
Низовцев А.И.	130
Никируй Р.И.	83
Николаев Д.А.	71, 95
Нищев К.Н.	47, 54, 113, 137, 139, 140, 141, 142
Новопольцев М.И.	47
Нохрин А.В.	48
Нырков Е.И.	157
Онищенко А.М.	88
Онищенко Д.В.	58
Орловский Ю.В.	72
Осико В.В.	51, 52, 67, 107, 114, 115
Остаточников В.А.	133
Павлов И.Н.	97
Падеров В.П.	148
Панов А.А.	137
Панов В.А.	112
Пархоменко М.П.	109
Перинская И.В.	104
Перинский В.В.	104
Пестряков Е.В.	68
Петрова О.Б.	74, 90, 110

Петухова А.Е.	41
Пивкин А.В.	160
Позднякова О.Д.	27
Пономарев Р.С.	149
Попов А.В.	74, 90, 110
Попова М.Н.	31
Постников В.А.	66, 69
Прудских Н.С.	26
Пшенко О.А.	81
Пыненков А.А.	113
Пыталев Д.С.	34
Пьянзин Д.В.	150
Пятаев М.А.	24
Радайкин В.В.	56
Разумова Т.К.	106
Рекунов К.А.	39
Ринкевичюс Б.С.	97
Рожкин А.В.	131
Рудин В.А.	20
Рыбаков В.Б.	95
Рябова А.В.	110, 115
Рябочкина П.А.	67, 78, 79, 107
Савинков В.И.	123
Саврасов К.В.	113
Садовникова Я.Э.	128
Салкин Д.А.	40, 53
Санников Д.Г.	132
Саркисов П.Д.	123
Сверчков С.Е.	92, 125
Семёнов М.Б.	20
Семенцов Д.И.	22, 133
Сенин В.Г.	71, 95
Сергеев И.И.	68
Сергеев М.М.	84
Серегин В.Ф.	85
Сигаев В.Н.	46, 68, 134
Сигаев С.Н.	123
Симкин А.В.	148

Смирнов В.А.	71
Смирнов С.А.	146
Соболь А.А.	111
Сомов Н.В.	86, 87
Спирин А.В.	151, 152, 153, 154
Старовойтов А.А.	106
Степанова И.В.	43
Стищенко А.А.	87, 96
Ступин Д.Д.	155
Субботин К.А.	71, 82, 93, 95
Судоргин С.А.	28
Султанов Т.Т.	66, 69
Суходола А.А.	68
Сысоева Н.В.	50
Табачкова Н.Ю.	103
Тетельбаум Д.И.	108
Товтин В.И.	93
Торопов Н.А.	106
Трикшев А.И.	127
Тюрнина З.Г.	81
Ускова Е.Н.	54
Уткин Е.Ю.	135
Ушаков С.Н.	67, 78, 79, 107
Фанг В.	109
Федоров П.П.	51, 52, 67, 107, 114, 115
Фомин Н.Е.	47
Фотиади А.А.	124
Фреик Д.М.	83
Хомяков А.В.	39
Хотченкова Т.Г.	91
Цветков В.Б.	73, 82, 85, 127
Чабушкин А.Н.	79
Чалдышкин А.Н.	153
Чигиринский Ю.И.	80
Чувильдеев В.Н.	42, 45, 48
Чугров И.А.	108
Чуйкин В.И.	142
Чукалина Е.П.	33



Чунаев Д.С.	77, 111
Шевченко М.А.	69
Шестаков А.В.	88
Шестакова И.А.	88
Шишкин В.А.	44
Шолохов Е.М.	128
Шорохов А.В.	26, 27
Шукшин В.Е.	90, 111
Шульман И.Л.	125
Шутый А.М.	22, 23
Щелконогов С.В.	147
Щербаков И.А.	71
Щетанов Б.В.	47
Юдин В.А.	47
Ютанова С.Л.	94