



***СБОРНИК ТЕЗИСОВ***

***IX МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
«ЛАЗЕРНАЯ ФИЗИКА И ОПТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»***

***30 МАЯ – 2 ИЮНЯ 2012***

***ГРОДНО***

***Организаторы конференции***

**Национальная Академия наук Беларуси  
Министерство образования Республики Беларусь  
Институт физики имени Б.И.Степанова НАН Беларуси  
Гродненский государственный университет им. Я.Купалы  
Белорусский республиканский фонд  
фундаментальных исследований  
Белорусское физическое общество**



# Пленарные доклады

## **ДИФФУЗИЯ И АГРЕГАЦИЯ СОБСТВЕННЫХ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В КРИСТАЛЛАХ, НАНОКРИСТАЛЛАХ И ОПТИЧЕСКОЙ КЕРАМИКЕ**

*Институт физики имени Б.И.Степанова НАН Беларуси  
[voitovich@imaph.bas-net.by](mailto:voitovich@imaph.bas-net.by)*

Диэлектрические кристаллы, микро- и нанокристаллы, оптические керамики (поликристаллы) с радиационными дефектами используются в качестве активных и пассивных лазерных элементов, в дозиметрах ионизирующей радиации. Возможны многие другие применения таких материалов.

В докладе приведены результаты исследования диффузии и процессов агрегации дефектов, определения средних времен реакций, энергий активации и коэффициентов диффузии мобильных дефектов. Представлено распределение дефектов в кристалле по расстояниям между ними, найденное на основе установленных закономерностей диффузии.

Показывается, что параметры диффузии дефектов и, следовательно, средние времена реакций и процессы агрегации в кристаллах и нанокристаллах радикальным образом различаются. В нанокристаллах, оптической керамике формируется тип дефектов, отсутствующий в кристаллах, и становятся стабильными дефекты, распадающиеся в кристаллах.

Для некоторых типов дефектов приводятся сравнения кинетики изменения их концентраций в кристаллах, приповерхностном слое кристаллов, нанокристаллах, оптической керамике во время их отжига при различных температурах в пострадиационный период.

Делаются выводы о причинах различий в образовании дефектов в кристаллах, нанокристаллах и оптической керамике.

Обсуждаются применения таких материалов.

УДК 621.373.826.038.825.5

Д. М. Демидов<sup>1</sup>, А. Л. Тер-Мартirosян<sup>1</sup>, К. А. Булашевич<sup>2</sup>,  
О. В. Хохлев<sup>2</sup>, С. Ю. Карпов<sup>2</sup>

## **МЕХАНИЗМЫ ОГРАНИЧЕНИЯ И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ МОЩНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 808 НМ**

<sup>1</sup> ЗАО «Полупроводниковые приборы», а/я 29, С.-Петербург,  
194156 Россия, [sales@atcsd.ru](mailto:sales@atcsd.ru)

<sup>2</sup> ООО «Софт-Импакт», а/я 83, С.-Петербург, 194156 Россия,  
[contact@softimpact.ru](mailto:contact@softimpact.ru)

Мощные лазерные диоды и лазерные линейки широко применяются для накачки твердотельных лазеров и волоконных усилителей, в медицинских системах и для обработки различных материалов. Приборы этого класса выполняются в виде торцевых излучателей с широким полосковым контактом, обеспечивающим многомодовую генерацию света в плоскости эпитаксиальных слоёв лазерной структуры. Одной из ключевых задач разработки таких лазерных диодов является максимальное повышение мощности излучения, приходящейся на единичную ширину полоскового контакта [1].

В данной работе представлены результаты обзора механизмов, ограничивающих выходную мощность одиночных непрерывных полупроводниковых лазеров с длиной волны излучения 808 нм, современное состояние технологии их изготовления и пути повышения мощности излучения. Большинство из рассмотренных механизмов - катастрофическое разрушение зеркал лазерных диодов, тепловые и нетермические механизмы - не являются привязанными к выбранной выше длине волны излучения, а имеют общий характер.

### **Литература**

1. Тарасов И. С., Мощные полупроводниковые лазеры на основе гетероструктур раздельного ограничения // Квантовая электроника. -2010. -Т.40. -№ 8, -С. 661–681.

Ю.П.Яковлев<sup>1</sup>, В.В.Шерстнев<sup>1</sup>, А.М.Монахов<sup>1</sup> М.И.Ларченков<sup>1</sup>,  
Е.А.Гребенщикова<sup>1</sup> и А.Н.Баранов<sup>2</sup>

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ В СРЕДНЕЙ ИК- ОБЛАСТИ СПЕКТРА (2-2.4 МКМ) НА МОДАХ ШЕПЧУЩЕЙ ГАЛЕРЕИ

<sup>1</sup>Физико-технический институт им.А.Ф.Иоффе,  
ул.Политехническая, 26, Санкт-Петербург,  
194021, Россия.

<sup>2</sup>Institut d'Electronique du Sud (IES), Universite Montpellier 2,  
34095 Montpellier, France  
тел: (812) 292-79-56, факс: (812)297-00-06, эл. почта:  
[yakovlev@iropto.ioffe.ru](mailto:yakovlev@iropto.ioffe.ru)

Моды шепчущей галереи (WGM) являются универсальными линейными возбуждениями дисковых и кольцевых резонаторов. Впервые они наблюдались в 1910 году как звуковые волны, распространяющейся вдоль наружной стены галереи для посетителей, в круглом зале собора Св. Павла в Лондоне и были исследованы лордом Релеем [1]. Придуманное для этого акустического явления название "моды шепчущей галереи" - whispering gallery modes (WGM) было использовано для обозначения собственных мод дисковых резонаторов. Мы использовали это явление для создания нового типа WGM-лазера в средней ИК-области спектра [2,3].

Нами были созданы и исследованы дисковые лазеры на основе квантово-размерной гетероструктуры, содержащей две квантовые ямы GaInAsSb/AlGaAsSb шириной 100 А для спектрального диапазона 2,0-2,4 мкм, работающие в непрерывном режиме при комнатной температуре (рис.1).

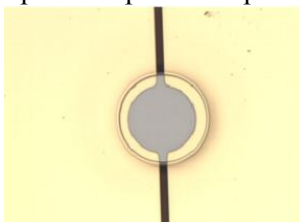


Рис.1. Форма WGM-лазера

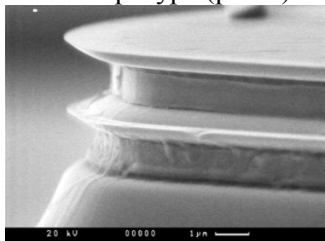


Рис.2. Вид верхнего контакта

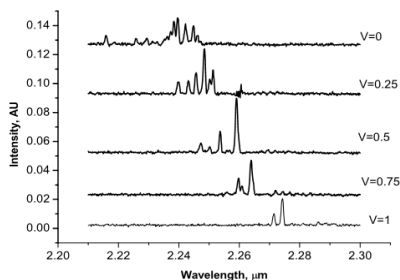


Рис.3.Спектры WGM-лазера

В докладе будут рассмотрены электролюминесцентные свойства WGM-лазера как с целым (диск) так и с усеченными резонаторами (полдиска и четверть диска). Кроме того будут представлены результаты исследования перестраиваемого по частоте WGM-лазера с управляемым поглотителем. Для этой цели верхний контакт дискового лазера состоял из двух секторов, при этом сектора были отделены зазором шириной 10 мкм (рис.2). Одна часть контакта дискового лазера находилась под напряжением выше порога генерации, а вторая часть контакта ниже порога генерации, которая изменялась от 0 до 1 В. При этом наблюдалась сверхбольшая перестройка по частоте лазера от 2.24 мкм до 2.275 мкм (рис.3). В докладе будет рассмотрен механизм такой уникальной перестройки. Такой диапазон перестройки дискового лазера соизмерим с полушириной спектра спонтанного излучения и перспективен для применения WGM-лазеров в диодно-лазерных спектрометрах.

Работа частично поддержана программой Президиума РАН №24 «Основы фундаментальных исследований нанотехнологий и наноматериалов», грантами РФФИ 10-02-93110-НЦНИЛ\_а и 10-02-00548.

### Литература

1. Lord Rayleigh, Phyl. Mag. 20, 1001, 1910
2. Sherstnev V.V., Krier A., Monakhov A.M., Hill G. Elect. Lett. 2003. 39, 916.
3. Monakhov A.M., Sherstnev V.V., Astakhova A.P., Yakovlev Yu.P., Boissier G., Teissier R., Baranov A.N. Appl. Phys. Lett, 2009, 94, 051102.

# **Секция 1. Физика и техника лазеров**



УДК 535:621.373.8

Н.А. Малеев<sup>1,2</sup>, А.Г. Кузменков<sup>2,1</sup>, А.П. Васильев<sup>2</sup>,  
А.С. Шуленков<sup>3</sup>, М.М.Кулагина<sup>1</sup>, Ю.М.Задиранов<sup>1</sup>,  
С.А.Блохин<sup>1,2</sup>, А.Г. Гладышев<sup>2</sup>, С.И.Трошков<sup>1</sup>,  
М.А.Бобров<sup>1,2</sup>, М.М.Павлов<sup>1,2</sup>, В.М. Устинов<sup>1</sup>

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ОДНОМОДОВЫЕ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ВЕРТИКАЛЬНО-  
ИЗЛУЧАЮЩИЕ ЛАЗЕРЫ СПЕКТРАЛЬНОГО  
ДИАПАЗОНА 850 нм С ВЕРХНИМ НЕПЛОСКИМ  
ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАСПРЕДЕЛЕННЫМ  
БРЭГГОВСКИМ ОТРАЖАТЕЛЕМ**

<sup>1</sup> ФТИ им. А.Ф.Иоффе, [maleev@beam.ioffe.ru](mailto:maleev@beam.ioffe.ru)

<sup>2</sup> ООО «Коннектор Оптикс»,

[alexander.kuzmenkov@connector-optics.com](mailto:alexander.kuzmenkov@connector-optics.com)

<sup>3</sup> УП «Минский НИИ радиоматериалов»,

[shulenkov@inbox.ru](mailto:shulenkov@inbox.ru)

Полупроводниковые поверхностно-излучающие лазерные диоды с вертикальным оптическим резонатором (вертикально-излучающие лазеры - ВИЛ) находят широкое применение в науке и технике. При этом в ряде случаев (системы оптической связи в свободном пространстве, атомные стандарты частоты и др.) требуются пространственно-одномодовые ВИЛ, обладающие высоким быстродействием и температурной стабильностью характеристик.

В настоящей работе представлены результаты создания пространственно-одномодовых ВИЛ спектрального диапазона 850 нм с верхним (выводным) неплоским диэлектрическим распределенным брэгговским отражателем. Экспериментально показано, что использование такой конструкции РБО обеспечивает стабильную одномодовую генерацию во всем диапазоне рабочих токов, ограниченном перегревом активной области.

УДК 535:621.373.8; 535:530.182:621.372.632

В.И. Дашкевич<sup>1</sup>, А.П. Шкадаревич<sup>2</sup>, В.А. Орлович<sup>1</sup>

## **БЕЗОПАСНЫЕ ДЛЯ ГЛАЗ ЛАЗЕРНЫЕ ИСТОЧНИКИ И ДАЛЬНОМЕРЫ НА ИХ ОСНОВЕ**

<sup>1</sup> *Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
v.dashkevich@dragon.bas-net.by*

<sup>2</sup> *НТЦ «ЛЭМТ», БелОМО*

Импульсные безопасные для глаз (БДГ) лазерные источники ( $\lambda \sim 1.4 - 1.8$  мкм) находят широкое применение в областях, предполагающих использование лазеров вне пределов помещений. В докладе излагаются достигнутые к настоящему времени научные и практические результаты совместной работы Института физики НАН Беларуси и НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО по созданию типоряда БДГ импульсных лазеров, а также дальномеров на их основе. Разработка БДГ лазерных источников преимущественно велась с использованием подхода нелинейно-оптического преобразования излучения Nd-лазеров посредством вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) и параметрическими генераторами света (ПГС). Рассматриваются следующие варианты БДГ лазерных источников: 1) лазеры с внутриврезонаторным ВКР-самопреобразованием в кристалле Nd:KGW, генерирующем основное излучение на длине волны 1.351 мкм, 2) внерезонаторные ВКР-лазеры, накачиваемые излучением самостоятельного Nd:KGW лазера, генерирующего на  $\lambda=1.351$  мкм, 3) внутри- и внерезонаторные ВКР-лазеры, преобразующие многомодовое импульсное излучение Nd:KGW лазера с рабочим переходом  ${}^4F_{3/2} - {}^4F_{11/2}$  (1,067 мкм) в III стоксову компоненту с длиной волны 1,5 мкм, 4) кольцевые и линейные ПГС на кристаллах КТР, накачиваемые Nd:KGW и Nd:YAG лазерами с  $\lambda \sim 1.06$  мкм. Приводятся характеристики БДГ дальномеров.

УДК 535.374

В.В. Безотосный<sup>1</sup>, М.В. Горбунков<sup>1</sup>, М.С. Кривонос<sup>1</sup>,  
Ю.М. Попов<sup>1</sup>, В.Г. Тункин<sup>2</sup>, Е.А. Чешев<sup>1</sup>

**ОБ ЭФФЕКТЕ СИНХРОНИЗАЦИИ ПОПЕРЕЧНЫХ  
МОД В ТВЕРДОТЕЛЬНОМ ЛАЗЕРЕ  
ПРИ НЕОДНОРОДНОЙ ПРОДОЛЬНОЙ ДИОДНОЙ  
НАКАЧКЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АКТИВНОЙ СРЕДЫ  
И ВЕЛИЧИНЫ ТЕРМООПТИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ**

<sup>1</sup>*Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, 119991  
Москва, Россия,*

*E-mail: cheshev\_e2003@mail.ru*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет им.  
М.В.Ломоносова, 119991 Москва, Россия,*

Вблизи конфигураций резонатора, задаваемых соотношением:

$$\arccos(g_1 g_2)^{1/2} = \pi r/s, \quad (1)$$

где  $r/s$  – правильная дробь, характеризующая вырождение,  $g_{1,2} = 1 - L/R_{1,2}$  – параметры устойчивости резонатора,  $R_{1,2}$  – радиусы кривизны зеркал резонатора, при неоднородной продольной накачке обнаружено снижение порога генерации [1]. Минимумы пороговых уровней накачки  $P_n$  позиционируются на диаграмме  $g_1 g_2 - P_n$  с высокой точностью, что может быть использовано для определения таких характеристик, как оптическая сила термолинзы в среде, астигматизм среды, астигматизм наведенной термооптики. Пространственная структура излучения в конфигурациях, задаваемых (1), имеет индивидуальные особенности для разных сред, что может дать возможность оценки их качества.

Литература

1. Безотосный В.В., и др. Особенности синхронизации поперечных мод при неоднородной продольной диодной накачке..., КСФ, 2012 г., в печати.

## Yb:KGW РЕГЕНЕРАТИВНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

*НИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ,  
[VEKisel@bntu.by](mailto:VEKisel@bntu.by)*

В данной работе детально рассматриваются экспериментальные результаты разработки системы регенеративного усиления фемтосекундных лазерных импульсов на основе кристалла  $\text{Yb}^{3+}:\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$  с накачкой InGaAs лазерными диодами в области 980 нм. Лазерная система состоит из задающего генератора (фемтосекундного лазера на основе кристалла  $\text{Yb}^{3+}:\text{KY}(\text{WO}_4)_2$  с непрерывной диодной накачкой), селектора импульсов, стретчера, резонатора усилителя и компрессора. Задающий генератор обеспечивает пуг импульсов с энергией 15 нДж, частотой 70 МГц, длительностью около 150 фс на длине волны 1040 нм.

В результате экспериментов получены усиленные лазерные импульсы с энергией более 0,2 мДж при частоте следования 1 кГц. При длительности импульса 450 фс пиковая мощность составила около 0,45 ГВт на длине волны 1036 нм. На рисунках представлены автокорреляционная функция усиленного ультракороткого импульса и зависимости средней выходной мощности и энергии лазерных импульсов от частоты следования.

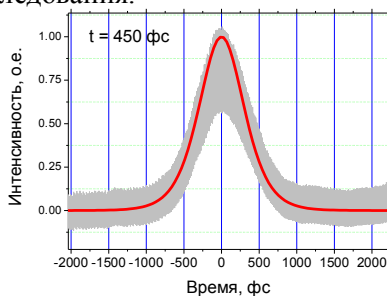


Рис. 2 Автокорреляционная функция

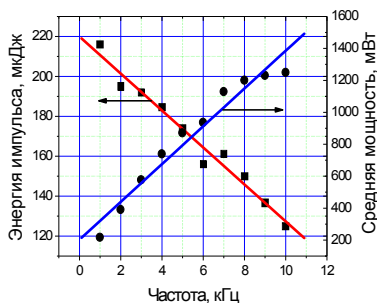


Рис. 1 Энергия и средняя мощность

УДК 543.424

И.Г. Зубарев

**О НЕКОТОРЫХ НЕИЗВЕСТНЫХ РАБОТАХ ФИАН  
В ОБЛАСТИ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ И НЕЛИНЕЙНОЙ  
ОПТИКИ**

*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН*  
*[zubarev@sci.lebedev.ru](mailto:zubarev@sci.lebedev.ru)*

В докладе будут приведены результаты работ по лазерным системам специального назначения со взрывной накачкой и комбинационным преобразователям.

УДК 621.373.826.038.825.4

Г.П. Яблонский<sup>1</sup>, Е.В. Луценко<sup>1</sup>, А.Г. Войнилович<sup>1</sup>,  
Н.В. Ржеуцкий<sup>1</sup>, С.В. Сорокин<sup>2</sup>, И.В. Седова<sup>2</sup>,  
С.В. Гронин<sup>2</sup>, С.В. Иванов<sup>2</sup>

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ $A^3N-A^2B^6$ ЛАЗЕРНЫЙ МИКРОЧИП-КОНВЕРТЕР ЗЕЛЕНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА

<sup>1</sup>*Институт физики имени ПРОСТРАНСТВЕННО-  
ОДНОМОДОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ Б.И. Степанова  
НАН Беларуси,*

*[e.lutsenko@ifanbel.bas-net.by](mailto:e.lutsenko@ifanbel.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,  
[ivan@beam.ioffe.ru](mailto:ivan@beam.ioffe.ru)*

Миниатюрный зеленый лазер необходим для создания компактной проекционной техники, систем локальной оптической связи, целеуказания. Разработка зеленых лазерных диодов (ЛД) на основе нитридов, на базе которых созданы синие ЛД, пока не привела к созданию технологии, позволяющей создавать надежные и эффективные лазеры. Альтернативный подход заключается в использовании синих ЛД для оптической накачки  $A^2B^6$  квантоворазмерных гетероструктур, имеющих низкий порог и высокую эффективность генерации в зеленой области спектра [1].

В настоящей работе создан “сине-зеленый”  $A^3N-A^2B^6$  лазерный конвертер в конфигурации “микро-чип”. Излучение  $A^3N$  ЛД ( $\lambda = 438$  нм), работающего в импульсном режиме ( $\tau = 200$  нс,  $f = 300$  Гц) фокусировалось микро-линзой на поверхности  $A^2B^6$  лазерной гетероструктуры. Режим генерации достигался при токе  $\sim 0.8$  А через ЛД. Длина волны генерации составила  $\lambda = 521$  нм, выходная импульсная мощность  $\sim 70$  мВт. Вся конструкция микрочип конвертера размещается в стандартном корпусе лазерного диода.

1. I. V. Sedova et al. // phys. stat. sol. (c). – 2004. – V. 1, № 4, P. 1030-1033.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕНЕРАЦИОННЫХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ХЕСL-ЛАЗЕРА***ГрГУ им. Я. Купалы, a.volodenkov@grsu.by*

На основе физической модели ХеСl-лазера с целью исследования возможности управления энергетическими и временными параметрами генерации выполнено моделирование генерационных характеристик в зависимости от параметров системы возбуждения на основе LC-контура. Для расчета скоростных коэффициентов реакций с участием электронов использована программа Bolsig+. При исследовании рассматривалась система возбуждения на основе LC-контура.

Расчеты проводились при следующем составе газовой смеси: парциальное давление HCl равнялось 1 Торр; парциальное давление Хе равнялось 15 Торр, буферный газ неон, общее давление равнялось 2,8 атм. Параметры излучателя: длина электродов  $L = 30$  см; межэлектродное расстояние  $h = 2,1$  см; ширина разряда  $b = 1,2$  см. Зеркала резонатора с длиной  $D = 35$  см имели коэффициенты отражения 100 % и 8 %. При исследовании были использованы следующие фиксированные параметры системы возбуждения: накопительная емкость  $C1 = 100$  нФ; сопротивление разрядника  $R1 = 0,5$  Ом. Исследования выполнялись при следующих переменных параметрах системы возбуждения:  $C0 = 5 - 32$  нФ;  $L0 = 10 - 40$  нГн;  $L1 = 40-100$  нГн; зарядное напряжение  $Uзар = 20 - 30$  кВ.

Учет того, что по экспериментальным данным в момент времени 125 нс происходит срыв генерации вследствие развития неустойчивостей и учет изменения контурных индуктивностей  $L0$ ,  $L1$  при изменении  $C0$  позволяет получить хорошее соответствие между расчетными и экспериментальными данными.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ХЕСЛ-ЭКСИЛАМП**

*ГрГУ им. Я. Купалы, a.volodenkov@grsu.by*

Для моделирования эмиссионных характеристик источника излучения на основе ХеСl молекул была разработана кинетическая модель, которая учитывает процесс регенерации галогена Cl<sub>2</sub> [1]. Моделирование выполнялось для эксилампы с расстоянием между электродами  $d = 40$  см, площадь поперечного сечения разряда равна  $S$ . Используются смеси молекул хлора Cl<sub>2</sub> и атомов Хе (общее давление 10 Торр); зарядное напряжение  $U_{зар} = 20 - 30$  кВ. Накопительная емкость системы возбуждения  $C1 = 0,2 - 300$  нФ. Показано, что мощность излучения в импульсно периодическом режиме работы может достигать нескольких киловатт при КПД  $\sim 20\%$ . Установлено, что при малых величинах накопительной емкости мощность излучения увеличивается при увеличении частоты следования импульсов до некоторой величины. Причем максимум мощности достигается для такой величины частоты повторения импульсов, при которой парциальное давление Cl<sub>2</sub> для моментов времени, соответствующих началу импульса возбуждения, приблизительно совпадает с оптимальной величиной парциального давления для моноимпульсного режима работы. При дальнейшем увеличении частоты происходит уменьшение мощности, обусловленное выгоранием галогеноносителя.

**Литература**

1. Ануфрик С.С. Моделирование активной среды на основе ХеСl-молекул с учетом процесса регенерации галогеноносителя // Известия вузов. Физика. – 2011.- №11. - С.81-87.



УДК 504.064.37

И.М Бертель<sup>1</sup>, В.А. Горобец<sup>2</sup>, Б.Ф. Кунцевич<sup>2</sup>,  
В.О. Петухов<sup>2</sup>

## **СО<sub>2</sub>-ЛАЗЕРНАЯ СИСТЕМА НА НЕТРАДИЦИОННЫХ ПЕРЕХОДАХ С МАЛЫМ ПОГЛОЩЕНИЕМ В АТМОСФЕРЕ ДЛЯ ЛИДАРОВ СВЕРХДАЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ**

*<sup>1</sup>Гродненский государственный медицинский  
университет, <sup>2</sup>Институт физики НАН Беларуси,  
[v.petukhov@ifanbel.bas-net.by](mailto:v.petukhov@ifanbel.bas-net.by)*

В настоящее время в лазерных локационных системах и лидарах широко используются СО<sub>2</sub>-лазеры, которые обычно генерируют на колебательно-вращательных линиях основных полос (00<sup>0</sup>1-10<sup>0</sup>0 ( $\lambda \approx 10$  мкм) и 00<sup>0</sup>1 -02<sup>0</sup>0 ( $\lambda \approx 9$  мкм). Однако при решении ряда задач, например, зондирования атмосферы лазерным излучением на большие расстояния (десятки километров и более), возникают проблемы, связанные с поглощением излучения атмосферным СО<sub>2</sub>. Это приводит к существенному ограничению рабочих дальностей СО<sub>2</sub>-локаторов.

Для значительного увеличения дальности действия подобных лазерных систем предлагается использовать СО<sub>2</sub>-лазеры, в которых генерация осуществляется на колебательно-вращательных линиях так называемых нетрадиционных полос: 01<sup>1</sup>1-11<sup>1</sup>0 (горячая полоса) и 00<sup>0</sup>2-10<sup>0</sup>1 (02<sup>0</sup>1) (секвенционные полосы). В этом случае поглощение лазерного излучения атмосферой значительно ослабляется, поскольку тепловые заселенности более высокорасположенных колебательных состояний (например, 11<sup>1</sup>0, 10<sup>0</sup>1) молекулы СО<sub>2</sub> существенно меньше. Расчеты, выполненные в рамках известной модели колебательных температур, показывают, что поглощение с уровней 11<sup>1</sup>0 и 10<sup>0</sup>1 на дистанции 40 км будет, соответственно, в 20 и 30 раз меньше, чем с обычных уровней (10<sup>0</sup>0 и 02<sup>0</sup>0). При этом на сравнительно больших дистанциях некоторое уменьшение энергетических параметров лазеров будет скомпенсировано меньшей степенью поглощения излучения в атмосфере высоколежащими полосами.

УДК 621.373.826

С.В. Курильчик, В.Э. Кисель, А.С. Ясюкевич,  
Н.В. Кулешов

## **ЛАЗЕР НА КРИСТАЛЛЕ $\text{Yb}:\text{YAlO}_3$ С МОЩНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ**

*НИЦ оптических материалов и технологий БНТУ,  
[skurilchik@bntu.by](mailto:skurilchik@bntu.by)*

Высокие спектроскопические и теплофизические характеристики кристалла иттриевого алюмината,  $\text{Yb}^{3+}:\text{YAlO}_3$ , обуславливают возможность его использования в мощных лазерных системах, работающих в ближнем ИК диапазоне спектра.

Исследование генерационных характеристик кристалла  $\text{Yb}(0,6\text{ ат. \% }):\text{YAlO}_3$  в данной работе проводилось в трехзеркальном резонаторе при накачке лазерным диодом с волоконным выходом мощностью 25 Вт, а также лазерным диодом без волокна мощностью до 30 Вт. Излучение диода без волокна являлось линейно поляризованным, что повышало эффективность накачки кристалла вследствие его высокой анизотропии.

В режиме непрерывной генерации максимальная выходная мощность лазера получена при использовании лазерного диода без волокна и составила 6,7 Вт на длине волны 1039 нм. Дифференциальная эффективность при этом достигала 47,5 %. При увеличении пропускания выходного зеркала длина волны генерации смещалась в область 1011 нм с выходной мощностью на уровне 5,03 Вт. В эксперименте с лазерным диодом, имеющим волоконный выход, максимальная мощность излучения составляла 5,45 Вт. Поляризация лазерного излучения оставалась линейной при любой конфигурации лазера. Реализована перестройка длины волны генерации в широком спектральном диапазоне от 997 до 1052 нм. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности получения на данном кристалле импульсов ультракороткой длительности с пиковой мощностью на уровне 500 кВт.

УДК 621.373.8

М.С. Гапоненко<sup>1</sup>, П.А. Лойко<sup>1</sup>, К.В. Юмашев<sup>1</sup>,  
Н.В. Кулешов<sup>1</sup>, А.А. Павлюк<sup>2</sup>

## МИКРОЧИП-ЛАЗЕР НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА Tm:KYW

<sup>1</sup> НИЦ оптических материалов и технологий,  
Белорусский

национальный технический университет, [kinetic@tut.by](mailto:kinetic@tut.by)

<sup>2</sup> Институт неорганической химии им. А.В. Николаева  
СО РАН

В работе впервые реализован «микрочип»-лазер на основе кристалла калий-иттриевого вольфрамата  $KY(WO_4)_2$ , активированного ионами  $Tm^{3+}$  (5at.%). Активный элемент имел размеры  $5(N_p) \times 5(N_m) \times 2.5(N_g)$  мм<sup>3</sup> и был ориентирован для распространения излучения в направлении оси оптической индикатрисы  $N_g$ . Данная ориентация активного элемента характеризуется близкой к сферической положительной термической линзой (для лучей, лежащих во всех меридиональных плоскостях). Резонатор лазера был образован двумя плоскими зеркалами, расположенными вплотную к поверхностям кристалла. Охлаждение кристалла было пассивным (границы  $5 \times 2.5$  мм<sup>2</sup> находились в тепловом контакте с медным радиатором). Накачка осуществлялась при помощи AlGaAs лазерного диода на длине волны 802 нм. Центральная длина волны в спектре выходного излучения составила 1945 нм (ширина спектра на полувысоте – 2.5 нм). Выходное излучение было линейно поляризованным:  $E \parallel N_m$ . В лазере генерировалась поперечная  $TEM_{00}$  мода, параметр качества пучка выходного излучения  $M^2 < 1.1$ . Лазер работал в режиме непрерывной генерации с дифференциальной эффективностью 44%, при поглощенной мощности накачки 2.2 Вт выходная мощность составила 0.68 Вт. Низкие термо-оптические искажения в активном элементе данного лазера связаны с взаимной компенсацией отрицательного вклада температурной зависимости показателя преломления (для кристалла KYW  $dn/dT < 0$ ) и положительного вклада эффекта термического расширения в оптическую силу термической линзы.

## **ПОЛНОСТЬЮ ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ФЕМТОСЕКУНДНАЯ ЛАЗЕРНАЯ СИСТЕМА С ИМПУЛЬСНОЙ НАКАЧКОЙ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси, [tikhomirov@imaph.bas-net.by](mailto:tikhomirov@imaph.bas-net.by)*

Задающий генератор современных фемтосекундных лазерных систем представляет собой полностью твердотельный **непрерывно** накачиваемый лазер. Существует также, реализованный нами [1], метод генерации фемтосекундных импульсов при синхронной накачке титан-сапфирового лазера **импульсным** Nd:YAG лазером. Применение в схеме гибридной синхронизации мод пассивного затвора на квантовых точках селенида свинца делает данный способ получения фемтосекундных импульсов достаточно технологичным [2]. Лазерные системы подобного типа, характеризующиеся относительно низкой стоимостью, естественной совместимостью работающих в одном режиме генератора и усилителя, простотой в обслуживании представляются достаточно практичными и могут найти широкое применение.

В докладе приводятся результаты работы по созданию малогабаритной полностью твердотельной лазерной системы на основе фемтосекундного генератора с импульсной накачкой и многопроходного усилителя. Обсуждаются режимы накачки и области параметров резонатора фемтосекундного генератора оптимальные для генерации фемтосекундных импульсов. Созданная система способна обеспечить генерацию с частотой повторения до 50 Гц фемтосекундных импульсов длительностью порядка 50 фс с энергией более 1 мДж. Возможна перестройка основной частоты в спектральном диапазоне 760 - 830 нм.

### **Литература**

1. Н.А.Борисевич, О.В.Буганов, С.А.Тихомиров, Г.Б.Толсторожев, Г.Л.Шкред. Квантовая электроника.- 1999.- Т.28, №3.- С.225-231.
2. O.V. Buganov, D.H. Nguyen, S.A Tikhomirov, A.A. Onuschenko. Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol. 2 (2011) 035005

УДК 681.373.826

М.В. Богданович, Т.В. Безъязычная, А.В. Григорьев,  
А.И. Енжиевский, В.В. Кабанов, А.Г. Рябцев, Г.И. Рябцев,  
Л.Л. Тепляшин, М.А. Щемелев

## **МОЩНЫЙ ПОЛНОСТЬЮ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ИК-ИЗЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 750-900 НМ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
[ryabtsev@dragon.bas-net.by](mailto:ryabtsev@dragon.bas-net.by)*

Разработан и создан мощный полностью твердотельный ИК–излучатель для спектрального диапазона 750-900 нм. В качестве задающего источника применен Nd:YAG лазер (1,06 мкм) с поперечной диодной накачкой. Квантрон задающего лазера выполнен с использованием современных лазерных диодных матриц, способных работать в режиме воздушного охлаждения. Конструкция квантрона предусматривает установку специальных элементов для подавления усиленной люминесценции, значительно повышающих коэффициент полезного действия ИК–излучателя и степень однородности поперечного сечения выходного пучка. Каскады преобразования излучения 1,06 мкм выполнены на основе кристаллов КТР (вторая гармоника, 532 нм) и Ti:Sapphire (перестраиваемое излучение на длинах волн 750-900 нм). Выходная энергия излучения в диапазоне 750-900 нм составила 30 мДж при длительности 4-5 нс и частотах следования импульсов до 30 Гц.

Достигнутые выходные оптические параметры позволяют применять разработанный ИК–излучатель в системах подсветки и видения удаленных объектов в неблагоприятных погодных условиях.

УДК 681.373.826

А.В. Григорьев, М.В. Богданович, Т.В. Безьязычная,  
М.В. Бельков, В.В. Кабанов, К.В. Лепченков, С.Н. Райков,  
А.Г. Рябцев, Г.И. Рябцев, М.А. Щемелев

## **КОМПАКТНЫЙ ДВУХИМПУЛЬСНЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
[ryabtsev@dragon.bas-net.by](mailto:ryabtsev@dragon.bas-net.by)*

Разработана оптическая схема компактного двухимпульсного излучателя на основе Nd:YAG активного элемента со слэб-геометрией. Энергия импульсов излучения в каждом из двух каналов плавно регулируется от 1 до 50 мДж при частотах повторения импульсов до 100 Гц. В конструкции блока накачки излучателя применен воздушный блок охлаждения. Относительная задержка импульсов излучения выходных каналов варьируется от 1 до 50 мкс. Разработанный излучатель предназначен для использования в переносных системах лазерной спектроскопии.

УДК 621.373.826

А.А. Кононович<sup>1</sup>, Д.Г. Зусин<sup>1</sup>, Ю.М. Попов<sup>2</sup>, В.А. Орлович<sup>1</sup>

## **РАСШИРЕНИЕ МОЩНОСТНОГО ДИАПАЗОНА НЕПРЕРЫВНЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ВКР-ЛАЗЕРОВ С ПРОДОЛЬНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ**

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[kananovich@tut.by](mailto:kananovich@tut.by)*

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

Существует известная проблема обеспечения работы твердотельных лазеров с продольной диодной накачкой в режиме с мощностями накачки, превышающими несколько ватт [1]. Малый диаметр пучка накачки, обеспечивающий хорошее перекрытие с модой генерации, при достижении мощности накачки существенных величин служит причиной образования аберрированных тепловых линз, которые вызывают высокие дифракционные потери, искажают качество лазерного пучка и могут вывести резонатор за пределы области устойчивости. Для непрерывных твердотельных ВКР-лазеров ситуация осложняется высокой добротностью резонатора на длине волны фундаментальной генерации и чувствительностью этого типа лазеров к внутренним потерям.

В данной работе представлен способ двусторонней продольной диодной накачки непрерывного твердотельного ВКР-лазера, демонстрируется работа такого лазера с суммарной мощностью накачки более 30 Вт, а также исследуется влияние тепловых эффектов на качество пучка косвенным методом.

### Литература

[1] Scaling CW diode-end-pumped Nd:YAG lasers to high average powers / S. Tidwell, J. Seamans, M. Bowers, A. Cousins // Quantum Electronics, IEEE Journal of. — 1992. — Vol. 28, no. 4. — Pp. 997–1009.

УДК 621.3.038.825.2

К.Н. Горбаченя<sup>1</sup>, В.Э. Кисель<sup>1</sup>, А.С. Ясюкевич<sup>1</sup>,  
Н.В. Кулешов<sup>1</sup>, В.В. Мальцев<sup>2</sup>, Н.И. Леонюк<sup>2</sup>

## **Er,Yb:YAB МИКРОЧИП ЛАЗЕР**

<sup>1</sup>*НИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ,  
[gorby@bntu.by](mailto:gorby@bntu.by)*

<sup>2</sup>*Геологический факультет МГУ им. М. Ломоносова*

Излучение спектральной области 1.5-1.6 мкм является условно безопасным для глаз и обладает малыми потерями при распространении в атмосфере и кварцевых волноводах, что вызывает повышенный интерес к разработке лазерных источников, излучающих в данной области спектра, для применения в дальнометрии, оптической локации и системах связи.

На сегодняшний день исследованы различные эрбийсодержащие кристаллы, однако эффективность их генерации оставалась низкой. В данной работе в качестве активной среды использовался кристалл  $YAl_3(BO_3)_4$ , активированный ионами  $Er^{3+}$  и  $Yb^{3+}$ .

Для проведения лазерных экспериментов в режиме пассивной модуляции добротности использовался плоско-параллельный резонатор с активным элементом толщиной 2 мм на основе кристалла Er(1.5%),Yb(12%);YAB. В качестве пассивного затвора использовался кристалл  $Co^{2+}:MgAl_2O_4$  толщиной 0.75 мм с начальным пропусканием 98.5 % на длине волны 1520 нм. Входное зеркало было нанесено на поверхность пассивного затвора.

Максимальная средняя выходная мощность составила 315 мВт на длине волны 1522 нм и дифференциальной эффективностью по отношению к поглощённой мощности накачки 11 %. Пиковая выходная мощность лазера в данной конфигурации достигала 1 кВт, длительность импульсов не превышала 5 нс, частота следования составила 60 кГц.



УДК 535.375.5+621.375

С.В. Войтиков<sup>1</sup>, П.В. Шпак<sup>1</sup>, А.С. Грабчиков<sup>1</sup>,  
В.А. Орлович<sup>1</sup>, А. Kushwaha<sup>2</sup>, N. Satti<sup>2</sup>, L. Agrawal<sup>2</sup>, А.К. Maini<sup>2</sup>

## **ИМПУЛЬСНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ УСЛОВНО-БЕЗОПАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В Nd<sup>3+</sup>:YAG/ Cr<sup>4+</sup>:YAG/PbWO<sub>4</sub> ВКР- ЛАЗЕРЕ**

<sup>1</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[s.voitikov@dragon.bas-net.by](mailto:s.voitikov@dragon.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Laser Science and Technology Centre, Delhi-110054, India,  
[lalitaagrawal@lastec.drdo.in](mailto:lalitaagrawal@lastec.drdo.in)*

В компактном Nd<sup>3+</sup>:YAG/Cr<sup>4+</sup>:YAG/PbWO<sub>4</sub> ВКР-лазере со связанными резонаторами с пассивной модуляцией добротности получены импульсы условно-безопасного излучения на длине волны 1,494 мкм (3-я стоксова компонента). Энергия и длительность импульсов составляли от 4 до 6 мкДж и ~4 нс, соответственно. Зарегистрированы динамика следования импульсов и поперечные распределения интенсивностей лазерных импульсов и импульсов 3-ей стоксовой компоненты. Предложена модель трех-стоксовой генерации таких лазеров. В описании внутррезонаторного ВКР-преобразования учтены двух-фотонные процессы и процессы многоволнового смещения. Модель рассматривает стимулированные переходы в Nd<sup>3+</sup>:YAG с двух уровней верхнего мультиплета на два уровня нижнего мультиплета, слабо отличающиеся длиной волны (1,0644 и 1,06415 мкм), но значительно (в ~5 раз) отличающиеся величиной сечений стимулированного испускания. Также, в модели учитывается влияние неоднородности поперечных распределений интенсивностей пучка накачки, лазерного и стоксовых пучков. Для исследованных лазеров выполнены расчеты длительности и энергии лазерных и трех стоксовых импульсов и их формы. Результаты расчета хорошо согласуются с полученными экспериментальными данными.

УДК 621.375.88

А.В. Горелик, А.Л. Уласевич, А.А. Кузьмук,  
В.С. Старовойтов

**ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ  
НО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНО-  
ПЕРИОДИЧЕСКОГО КВАНТОВО-КАСКАДНОГО  
ЛАЗЕРА, ГЕНЕРИРУЮЩЕГО В ОБЛАСТИ  
ДЛИН ВОЛН 5.3 МКМ.**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
[a.gorelik@dragon.bas-net.by](mailto:a.gorelik@dragon.bas-net.by)*

Интерес к лазерным источникам инфракрасного диапазона обусловлен широкими потенциальными возможностями их применения для систем связи, газового анализа, спектроскопии [1]. Область спектра в диапазоне длин волн от 5 до 5,5 мкм представляет интерес для лазерного спектрального анализа газов (например, CO, CO<sub>2</sub>, NO, O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>).

В докладе обсуждаются возможности применения квантово-каскадных лазеров (ККЛ), работающих при комнатной температуре в диапазоне длин волн 5,26 до 5,29 мкм для оптико-акустического детектирования газов. Анализируются результаты эксперимента по детектированию окиси азота в увлажненном азоте с использованием импульсно-периодического перестраиваемого ККЛ и компактной оптико-акустической камеры, оптимизированной для работы на резонансной частоте в области 2 кГц. Оцениваются спектральное уширение излучения лазера и чувствительность измерений для различных режимов токовой модуляции.

**Литература**

1. Gorelik A.V., Ulasevich A.L., Nikonovich F.N., Zakharich M.P., Firago V.A., Kazak N.S. and Starovoitov V.S. Miniaturized resonant photoacoustic cell of inclined geometry for trace-gas detection // J. Applied Physics B. – 2010. DOI 10.1007/s00340-009-3884-2

УДК 621.373.826

А.А. Афоненко<sup>1</sup>, Е.С. Дорогуш<sup>1</sup>, С.А. Малышев<sup>2</sup>,  
А.Л. Чиж<sup>2</sup>

## **АНАЛИЗ ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ С ВНЕШНЕЙ ОПТИЧЕСКОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ НА ОСНОВЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МОДЕЛИ РЕЗОНАТОРА**

*<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, Минск,  
[afonenko@bsu.by](mailto:afonenko@bsu.by),*

*<sup>2</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси*

Теоретические и экспериментальные исследования продемонстрировали ряд преимуществ использования лазеров с внешней оптической синхронизацией по сравнению с обычными лазерами (увеличение диапазона частот прямой модуляции, уменьшение шума и т. д. [1]). Обычно при анализе динамических характеристик лазеров пользуются скоростными уравнениями, что достаточно обосновано для условий слабой инжекции при частотах, значительно меньших межмодового интервала резонатора.

В настоящей работе проведен анализ шумовых характеристик лазерных диодов на основе системы связанных укороченных уравнений с распределёнными источниками квантового шума с учетом продольной неоднородности поля и концентрации носителей заряда в активной области. Выполнены расчеты спектров шумов интенсивности в радиочастотном диапазоне, а также спектры спонтанного и регенеративно усиленного излучения в оптическом диапазоне для лазеров с резонатором Фабри–Перо и лазеров с распределенной обратной связью в режиме сильной оптической инжекции.

### **Литература**

1. Lau E. K., Wong L. J., Wu M. C. Enhanced Modulation Characteristics of Optical Injection-Locked Lasers: A Tutorial // IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron. – 2009. –Vol. 15, No 3. – P. 145–182.

УДК 533.9; 534.8; 537.523; 621.373

В.В. Ажаронок<sup>1</sup>, А.С. Абрамян<sup>2</sup>, С.В. Гончарик<sup>1</sup>,  
А.А. Кузьмицкая<sup>3</sup>, А.Р. Мкртчян<sup>2</sup>, И.И. Филатова<sup>1</sup>, Н.И. Чубрик<sup>1</sup>

## САМОПОДДЕРЖИВАЮЩИЕСЯ ТОКОВЫЕ И АКУСТИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ В АКТИВНОЙ СРЕДЕ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОГО СО<sub>2</sub> ЛАЗЕРА

<sup>1</sup>Институт физики НАН Беларуси,  
[azharonok@imaph.bas-net.by](mailto:azharonok@imaph.bas-net.by)

<sup>2</sup>Институт прикладной физики НАН Армении,

<sup>3</sup>Белорусский государственный университет

С применением Фурье-анализа осциллограмм разрядного тока  $i(t)$  и акустического давления  $p(t)$  в активном элементе ТЛГ-4 электроразрядного СО<sub>2</sub>-лазера ИЛГН-704 изучены частотные спектры пульсаций  $i(f)$  и  $p(f)$ , инициируемых в цепи электрического питания ТЛГ-4 контролируемой амплитудной модуляцией тока на частоте  $f^* = 1244$  Гц. После отключения модуляции ( $f^* = 0$ ) при плотностях разрядного тока ниже  $12,5 \text{ mA/cm}^2$  в активной среде наблюдались самоподдерживающиеся колебания тока и давления с частотами  $f' \leq f'' \leq f^*$  ( $f'$  и  $f''$  – соответственно частоты колебаний тока и давления), значения которых при наличии генерации лазерного излучения (ЛИ) изменялись (рис. 1).

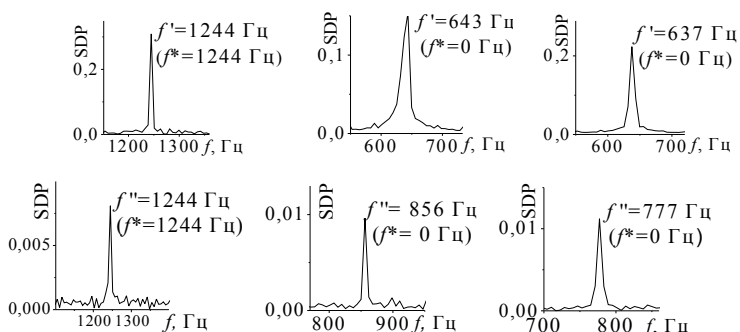


Рис. 1. Распределение спектральной плотности мощности пульсаций  $SDP(f)$  без генерации ЛИ (а, б, г, д) и с

## **САМОСИНХРОНИЗАЦИЯ МОД В КОЛЬЦЕВОМ ВКР-ЛАЗЕРЕ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова, пр. Независимости,  
68, 220072 Минск, Беларусь  
[r.chulkov@dragon.bas-net.by](mailto:r.chulkov@dragon.bas-net.by)*

Эффект самосинхронизации мод в лазерах на вынужденном комбинационном рассеянии (ВКР) ранее наблюдался при генерации высших стоксовых компонент, возбуждаемых одночастотной накачкой, при одновременном возбуждении с ВРМБ, и при ВКР-генерации внутри общего резонатора с лазером накачки. Во всех перечисленных случаях самосинхронизация возникала в линейном резонаторе.

В настоящем докладе сообщается об обнаружении самосинхронизации мод в кольцевом резонаторе ВКР-лазера с внешней широкополосной накачкой. Эффект самосинхронизации мод излучения первой стоксовой компоненты, распространяющейся в направлении, обратном направлению распространения излучения накачки наблюдался численно в режиме двунаправленной генерации как периодическая последовательность импульсов длительностью, сравнимой со временем поперечной релаксации активной среды. Стоксовые импульсы длительностью не превышающей временного разрешения системы регистрации (0,3 нс), следующие с периодом, равным периоду обхода резонатора ВКР-лазера, зарегистрированы экспериментально при ВКР в кристалле KGW, возбуждаемым излучением многомодового Nd:АИГ лазера. Вероятной причиной самосинхронизации является эффект синхронной накачки, проявляющийся в виде релаксационных колебаний интенсивности, которые возникают вследствие конкуренции попутного и обратного ВКР.

УДК 621.373.826

А.А. Кононович<sup>1</sup>, П.А. Апанасевич<sup>1</sup>, П.-И. Турпин<sup>2</sup>

## **ГЕНЕРАЦИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ВИДИМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ВКР-ЛАЗЕРОВ**

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[kananovich@tut.by](mailto:kananovich@tut.by)*

<sup>2</sup>*Университет им. Пьера и Марии Кюри, Париж, Франция*

Компактные полностью твердотельные источники непрерывного когерентного излучения в видимом диапазоне спектра привлекательны для приложений в офтальмологии, биомедицине, системах построения изображения. Такими источниками могут выступать непрерывные твердотельные ВКР-лазеры, в которых излучение с необходимой длиной волны получается с помощью внутрирезонаторного когерентного смещения или генерации второй гармоники. Возможна генерация второй гармоники от фундаментальной компоненты, стоксовой компоненты, когерентное смещение стоксовой компоненты и фундаментальной компоненты или двух стоксовых компонент.

В данной работе демонстрируется непрерывный твердотельный ВКР-лазер с дискретно перестраиваемой длиной волны, генерирующий излучение с длинами волн 532 нм, 559 нм и 589 нм. Также представлена теория таких лазерных систем, дано объяснение эффекта подавления стоксовой генерации при внутрирезонаторном когерентном смещении, недавно наблюдавшегося на эксперименте [1].

### Литература

[1] Miniature wavelength-selectable Raman laser: new insights for optimizing performance / X. Li, H. M. Pask, A. J. Lee et al. // Opt. Express. — 2011.— Vol. 19, no. 25. — Pp. 25623–25631.

## **ВНУТРЕННИЕ ПОТЕРИ НЕПРЕРЫВНЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ВКР-ЛАЗЕРОВ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[kananovich@tut.by](mailto:kananovich@tut.by)*

Непрерывным твердотельным ВКР-лазерам с диодной накачкой уделяется в последнее время большое внимание. В таких лазерах используются высокочастотные резонаторы, для которых величина внутренних потерь имеет существенное значение. В настоящей работе обсуждается влияние внутренних потерь на выходные характеристики непрерывных твердотельных ВКР-лазеров с диодной накачкой. Для анализа используется теория таких лазерных систем, представленная в статье [1]. Для реальной лазерной системы демонстрируется квадратичная зависимость порога генерации от потерь, а также зависимость оптимального пропускания выходного зеркала на длине волны стоксовой компоненты от величины внутренних потерь.

В работе также представлены методы определения внутренних потерь непрерывных твердотельных ВКР-лазеров с диодной накачкой по зависимостям выходной мощности от мощности накачки. Один из методов применим в припороговом режиме работы, другой — для мощностей диодной накачки, значительно превышающих пороговое значение.

### Литература

[1] Апанасевич, П. А. Расчет мощности и порога генерации продольно-накачиваемого лазера с внутрирезонаторным ВКР - преобразованием / П.А. Апанасевич, А.А. Кононович, Г.И. Тимофеева // ЖПС. — 2010. — Т. 77, № 2. — с. 241–248.

**ПОВОРОТНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ  
КАЛЕЙДОСКОПИЧЕСКОЙ ФОРМЫ**

*Белорусский государственный университет,  
[Rudnitsky@bsu.by](mailto:Rudnitsky@bsu.by)*

В оптических и лазерных устройствах широко применяются призмные оптические элементы для преобразования параметров волновых пучков. В данной работе изучаются функциональные возможности оптических элементов, которые имеют геометрическую форму калейдоскопов кубических систем. Один из них представляет собой трипель-призму, у которой два ребра прямого трехгранного угла одинаковы и в  $\sqrt{2}$  раз длиннее третьего, второй образуется делением первого плоскостью симметрии пополам, а третий сложением двух первых. Методом эквивалентных направлений построены варианты переотражения пучков такими оптическими элементами и определены секторы входа и выхода пучков для каждого из них. Показано, что при нормальном падении на любую из граней пучок испытывает (при  $n \geq 2$ ) полное внутреннее переотражение внутри элемента и выходит из него под прямым углом к другой или той же грани. Поэтому при большом числе вариантов переотражения число возможных отклонений пучка от первоначального направления распространения небольшое, и значения их определяются значениями углов между гранями. С помощью такого типа призм можно отклонять пучок на углы 180 (возвратное отражение), 60 и 90 градусов при нормальном его падении на грани призм. Варианты переотражения с одинаковым углом отклонения пучка отличаются последовательностью прохождения пучком граней элемента и, как следствие, матрицами Джонса.



**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЙ ВКР-  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННЫХ  
КВАРЦЕВЫХ СВЕТОВОДОВ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси  
[batis@dragon.bas-net.by](mailto:batis@dragon.bas-net.by)*

Для ВКР преобразования использовались кварц-кварцевые и кварц-полимерные световоды диаметром 200-800 мкм и длиной 8-200 м. Накачка производилась излучением основной частоты ( $\lambda_{\text{нак.}} = 1064$  нм,  $\Delta t = 10-30$  нс) либо второй гармоники ( $\lambda_{\text{нак.}} = 532$  нм,  $\Delta t = 7-10$  нс) лазера на  $\text{YAG:Nd}^{3+}$  с обращением волнового фронта. При  $\lambda_{\text{нак.}} = 532$  нм в оптимальных условиях энергия на первой стоксовой компоненте ВКР (543.5 нм) достигала 14 мДж (длительность  $\sim 2$  нс) при энергетическом к.п.д преобразования  $\sim 70$  %. В 8 стоксовых компонент (543.9 нм, 557.2 нм, 570.7 нм, 585.6 нм, 600.7 нм, 635.5 нм, 655.5 нм) с общей выходной энергией  $\sim 10$  мДж преобразовывалось до 90 % энергии накачки. При  $\lambda_{\text{нак.}} = 1064$  нм получена генерация 1-й (1116 нм, энергия 7-8 мДж) и 2-й (1177.3 нм) стоксовых компонент ВКР с суммарной энергией до 20 мДж. Наблюдалось появление широкой антистоксовой полосы излучения в области 580-640 нм при больших энергиях накачки, природа которого требует дополнительного исследования.

Величина частотного сдвига между стоксовыми ВКР-компонентами излучения лежит в пределах 416-450  $\text{см}^{-1}$ , а их спектральные ширины - в пределах 30-190  $\text{см}^{-1}$ . Оценка коэффициента ВКР усиления  $G_s$  дает для  $\lambda_{\text{нак.}} = 1064$  нм величину 0.013-0.02  $\text{см}/(\text{ГВт})$ , а для  $\lambda_{\text{нак.}} = 532$  нм -0.042-0.054  $\text{см}/\text{ГВт}$ . Коэффициента ВРМБ-усиления  $G_{\text{ВРМБ}}$  для одночастотного излучения на  $\lambda_{\text{нак.}} = 1064$  нм, достигает  $\sim 0.16$   $\text{см}/\text{ГВт}$ . ВРМБ является важнейшим конкурирующим процессом, ограничивающим эффективность ВКР-преобразования.

УДК 535.3

С.А. Батище<sup>1</sup>, А.А. Ермолаев<sup>2</sup>, М.М.Позняк<sup>2</sup>, Г.А. Татур<sup>1</sup>

**МОЩНЫЙ ЛАЗЕР НА ОСНОВЕ  
СТЕКЛОВОЛОКОННЫХ ЖГУТОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ  
ND, НА ОБЛАСТЬ 1060 НМ**

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

*[batis@dragon.bas-net.by](mailto:batis@dragon.bas-net.by)*

*<sup>2</sup>ОАО "Завод "Опмик", г. Лида  
[optic@mail.lida.by](mailto:optic@mail.lida.by)*

Разработана технология изготовления стекловолоконных жгутов, легированных Nd, разработаны и испытаны эффективные лазерные схемы, позволяющие получать мощное излучение в диапазоне 1060 нм.

Стекловолоконный жгут собран из волокон диаметром 20-100 мкм с сердцевиной из силикатного стекла, легированного Nd, и оболочкой из силикатного стекла толщиной 1-3 мкм. Длина жгута достигает 250 см, сечение 1-20 мм<sup>2</sup>. Оптическая накачка стекловолоконного жгута осуществляется излучением импульсных ламп с длительностью 150-700 мкс в режиме как одиночных, так и периодически следующих импульсов. Плотность энергии генерируемого лазерного излучения на 1060 нм на выходе лазерной системы превышает 40 Дж/см<sup>2</sup>.

Изучены процессы, ведущие к деградации стекловолоконного жгута в процессе работы, предложены эффективные меры борьбы с этим явлением.

УДК 535:621.373.8

В.В. Киселев, А.П. Минеев, С.М. Нефедов, П.П. Пашинин,  
П.А. Гончаров, А.П. Дроздов

## **ИНФРАКРАСНЫЕ ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ЛАЗЕРЫ с ВЧ и СВЧ НАКАЧКОЙ**

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва,  
Россия, [kiselev@kapella.gpi.ru](mailto:kiselev@kapella.gpi.ru)*

В работе исследованы характеристики излучения планарных  $\text{CO}_2$ -,  $\text{CO}$ - и Хе-лазеров, на основе одной конструкции и возбуждаемых широкоапертурным ВЧ-разрядом на частоте 40 МГц, а также двух моделей планарных  $\text{CO}_2$ - и  $\text{CO}$  лазеров, возбуждаемых широкоапертурным СВЧ разрядом на частоте 2,45 ГГц размером 2x25x250 мм и 2x25x470 мм.

Достигнута непрерывная мощность излучения  $\text{CO}_2$ -лазера ~100 Вт при КПД ~10% [1].

Для  $\text{CO}$  лазера той же конструкции достигнута средняя мощность более 70 Вт с КПД 10% на длинах волн 5,3 – 6,0 мкм.

Изучены характеристики Хе-лазера с ВЧ накачкой. Достигнута непрерывная мощность генерации 4 Вт, КПД ~0,7%.

Изучены характеристики  $\text{CO}_2$ -лазера с СВЧ накачкой. При прокачке газа около 0,1 л/сек получена выходная мощность для первого и второго лазеров - 37 Вт и 60 Вт, соответственно.

Впервые получена генерация в планарном  $\text{CO}$ -лазере с СВЧ накачкой. Получена средняя выходная мощность излучения  $\text{CO}$ -лазера ~1 Вт в области 5,3 – 6,0 мкм [2].

### Литература:

- [1]. А.П. Минеев, С.М. Нефедов, П.П. Пашинин. Кв. электроника, 2006, 36 (7), 656-663.
- [2]. А.П. Минеев, С.М. Нефедов, П.П. Пашинин, П.А. Гончаров, В.В. Киселев, А.П. Дроздов. Вестник Казанского ГТУ, 2011, в.15, с. 44-47.

**АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ГЕНЕРАЦИИ ЛАЗЕРОВ НА КРАСИТЕЛЯХ С  
МОНОХРОМАТИЧЕСКОЙ НАКАЧКОЙ ОТ ЧАСТОТЫ  
ВОЗБУЖДАЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.**

*Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова  
НАН Украины, [svn@ire.kharkov.ua](mailto:svn@ire.kharkov.ua)*

Данная работа посвящена теоретическому исследованию влияния частоты излучения накачки на эффективность генерации продольно возбуждаемого ЛК с монохроматической накачкой. Процесс генерации моделировался системой скоростных уравнений, при решении которой учитывались зависимости длины и объема генерирующей зоны, а также длины волны генерации от частоты возбуждающего света.

В стационарном приближении получены формулы для вычисления пороговой плотности мощности возбуждения, длины волны и КПД генерации, при помощи которых рассчитаны зависимости этих характеристик от частоты накачки для ЛК на Родамине 6G. Показано, что характер зависимостей энергетических характеристик от частоты возбуждения существенно зависит от добротности резонатора ЛК. Так при малых значениях коэффициента отражения выходного зеркала резонатора  $R_{вых}$  наблюдается ярко выраженный локальный минимум КПД при накачке на частоте максимума поглощения красителя. По мере увеличения коэффициента отражения этот спад эффективности становится все менее значительным, полностью исчезая при величинах  $R_{вых} \geq 0,8$ .

Проделанный анализ позволяет объяснить особенности экспериментально наблюдавшихся зависимостей КПД генерации ЛК от частоты возбуждающего излучения.

УДК 621.3.038.825.2

К.Н. Горбаченя<sup>1</sup>, В.Э. Кисель<sup>1</sup>, А.С. Ясюкевич<sup>1</sup>,  
Н.В. Кулешов<sup>1</sup>, В.Н. Матросов<sup>2</sup>

## БЕЗОПАСНЫЙ ДЛЯ ГЛАЗ ЛАЗЕР НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА Er:YVO<sub>4</sub> С РЕЗОНАНСНОЙ НАКАЧКОЙ

<sup>1</sup>НИЦ Оптических материалов и технологий БНТУ,  
[gorby@bntu.by](mailto:gorby@bntu.by)

<sup>2</sup>НПК "СОЛИКС", [info@solix-crystal.com](mailto:info@solix-crystal.com)

Актуальным направлением в развитии твердотельных лазеров на основе ионов Er<sup>3+</sup> и Tm<sup>3+</sup> является использование так называемой резонансной накачки, при которой возбуждение осуществляется непосредственно на верхний уровень генерационного перехода. Лазеры с резонансной накачкой в отличие от схем с сенсбилизаторами могут обеспечить высокую эффективность генерации и сравнительно небольшие энергетические потери на тепловыделение в активной среде.

Для исследования генерационных характеристик кристалла Er(1%):YVO<sub>4</sub> в условиях резонансной накачки использовался трёхзеркальный резонатор. Накачка осуществлялась излучением Er,Yb:YAl<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub> лазера с максимальной выходной мощностью 500 мВт на длине волны 1522 нм. Излучение накачки фокусировалось в активный элемент 6x13x3 мм с размером перетяжки 40 мкм, близким к размеру моды резонатора.

Зависимость выходной мощности лазерной генерации от поглощённой мощности накачки для выходных зеркал с коэффициентом пропускания 1 %, 2 % и 5 % на длине волны генерации приведена на рис. 1.

Максимальная дифференциальная эффективность по поглощённой мощности накачки составила 61 % на длине волны 1603 нм с выходной мощностью до 50 мВт.

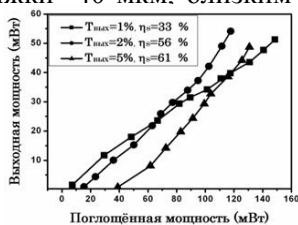
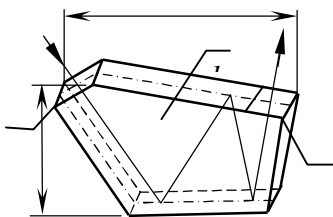


Рис. 1. Выходные характеристики лазера

**ZIG-ZAG УСИЛИТЕЛЬ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Белорусский государственный университет,  
[bizuk@bsu.by](mailto:bizuk@bsu.by)

В представленном на рисунке zig-zag усилителе длина  $l$  пути излучения в активном элементе  $l$  может намного превышать его длину  $L$ , что обеспечивает компактность усилителя (в [1]  $l/L$  не превышает величины показателя преломления активного элемента). На гранях  $a_1bb_1a_4$  и  $a_6a_7a_9a_8$  усилителя нанесены высокоотражающие покрытия на длине волны усиливаемого излучения. Грань  $aa_1a_4a_3$  прозрачна для входного лазерного излучения  $I_0$ , а  $ba_2a_5b_1$  – для усиленного  $I$ .



Направление выхода излучения определяется числом отражений от высокоотражающих покрытий. Оптическая накачка осуществляется через прозрачные грани  $aa_2a_7a_6$  и (или)  $a_3a_5a_9a_8$ . Сечение  $d$  пучка лазерного излучения в плоскости его распространения в активном

элементе определяется выражением  $d = h \cdot \operatorname{tg} 2\alpha \cdot \cos(\varphi + \alpha) \cdot \cos^{-1} \alpha$ , где  $h$  – высота активного элемента;  $\alpha$  – угол между гранями усилителя с высокоотражающими покрытиями;  $\varphi$  – угол между входной прозрачной для излучения гранью усилителя и противоположной гранью с высокоотражающим покрытием.

Литература:

1. Koechner W. Solid-state laser engineering. Springer-Verlag – 1992. P. 425.

**ВКР-ЛАЗЕРЫ НА КРИСТАЛЛАХ  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$   
И  $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$ : СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ  
ПРИ НАКАЧКЕ НА  $\lambda=1351$  нм**

<sup>1</sup> *Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[v.dashkevich@dragon.bas-net.by](mailto:v.dashkevich@dragon.bas-net.by)*

<sup>2</sup> *Центр физических наук и технологий Литовской  
республики*

В докладе приводятся результаты сравнительного исследования ВКР-лазеров на кристаллах  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$  (KGW), накачиваемых излучением импульсного мгомодового Nd:KGW лазера с длиной волны генерации 1351 нм. Несмотря на более высокий коэффициент усиления ВКР в  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  лазер на этом кристалле обеспечивает меньшую энергию безопасного для глаз излучения ( $\sim 9.5$  мДж), чем ВКР-лазер на KGW ( $\sim 11.9$  мДж при накачке импульсом с той же энергией  $\sim 32$  мДж). Причина этого заключается в том, что ширина спектра излучения лазера накачки  $\Delta\omega_{\text{нак}}$ , колеблющаяся в пределах  $2.2 - 4.2 \text{ см}^{-1}$ , существенно превосходит ширину линии спонтанного КР в  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  ( $\Delta\omega_0 = 0.4 \text{ см}^{-1}$ ). В этих условиях спектр ВКР-импульса на  $\lambda=1573.5$  нм по форме повторяет структурированный спектр излучения накачки. Влияние ширины спектра накачки на КПД генерации ВКР-лазера на  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  подтверждено экспериментом, в котором сужение линии генерации Nd:KGW лазера посредством внутривибронного эталона приводило к увеличению эффективности ВКР-преобразования накачки.

В случае KGW ВКР реализуется в среде с широкой рамановской линией ( $\Delta\omega_{\text{нак}} < \Delta\omega_0 = 5.9 \text{ см}^{-1}$ ) и форма спектра стоксового излучения практически не зависит от формы спектра накачки. Ширина спектральной линии стоксового излучения на  $\lambda=1538$  нм (FWHM) составляет  $1.86 \text{ см}^{-1}$ . Для обоих лазеров длительность ВКР-импульса (FWHM) является практически такой же, как и длительность импульса накачки и составляет  $\approx 20$  нс.

УДК 621.375

А.С. Дементьев<sup>1</sup>, Э. Мураускас<sup>1</sup>, Н. Славинскис<sup>1</sup>,  
В. Сточкус<sup>2</sup>

## **УПРАВЛЕНИЕ ЧАСТОТОЙ СЛЕДОВАНИЯ И ДЖИТТЕРОМ ИМПУЛЬСОВ ЛАЗЕРОВ С ПАССИВНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ДОБРОТНОСТИ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКИ**

*<sup>1</sup>Государственный научно-исследовательский институт  
Центр физических наук и технологии, Вильнюс, Литва  
[aldement@ktl.mii.lt](mailto:aldement@ktl.mii.lt)*

*Altechna R&D, пр. Конституцийос 23, Вильнюс, Литва*

На основе расширенной точечной модели лазера проведен численный анализ генерации Nd:YAG минилазеров с пассивной модуляцией добротности и показана возможность управления частотой следования импульсов и значительного уменьшения их временного джиттера (ВД) импульсов с помощью периодической модуляции диодной накачки. При синусоидальной модуляции накачки диапазон регулирования периода следования импульсов меньше, чем при прямоугольной модуляции с той же глубиной.

При модуляции накачки прямоугольными импульсами переключение после генерации очередного лазерного импульса с высокого на низкий уровень накачки (режим усечения) увеличивает устойчивость частоты следования к изменению среднего уровня накачки и расширяет диапазон частот следования, в котором возможна их привязка к частоте модуляции накачки. Возможность уменьшения ВД и синхронизации частоты следования импульсов с частотой модуляции накачки подтверждена проведенными экспериментами, в которых для частот следования  $\sim 1$  кГц относительное стандартное отклонение периода следования уменьшается от нескольких процентов при непрерывной накачке до 0,06% при использовании режима усечения прямоугольных импульсов модуляции с глубиной  $\sim 20\%$ .



## ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОННЫХ МОД МИКРОДИСКОВОГО ЛАЗЕРА

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси  
[anaum@dragon.bas-net.by](mailto:anaum@dragon.bas-net.by)*

В данной работе теоретически исследуются свойства микродисковых лазеров с металлическим покрытием, в которых на интерфейсе металл-полупроводник возможна образование гибридных поверхностных плазмон-поляритонных мод шепчущей галереи (ППП-МШГ). Исследования базируются как на численном (метод конечных разностей), так и на аналитическом подходе (приближение эффективного показателя преломления поверхностного плазмона для расчёта МШГ). Определены зависимости добротностей лазерных мод и их частот от азимутального  $m$  и радиального  $l$  индексов моды, плазмонной частоты и размеров резонатора. В частности, частота ППП-МШГ монотонно увеличивается с увеличением  $m$  и стремится к бездисперсионному значению частоты поверхностного плазмона. При этом  $Q$ -фактор, обусловленный только радиационными потерями, асимптотически стремится к экспоненциальной зависимости от  $m$ . Конкуренция радиационных потерь и потерь за счёт поглощения в металле может привести к наличию максимума в зависимости общего  $Q$ -фактора от  $m$ , что даёт возможность селекции и генерации моды с конкретным достаточно низким индексом  $m$ . С увеличением плазмонной частоты металла частота ППП-МШГ также увеличивается монотонно, достигая модовой частоты традиционного микродискового лазера с удвоенной толщиной и без металлического покрытия. Продемонстрирована возможность почти пятикратного уменьшения толщины микродискового лазера благодаря металлическому покрытию.

В.М. Катаркевич<sup>1</sup>, В.Ю. Курстак<sup>2</sup>, А.Н. Рубинов<sup>1</sup>,  
Т.Ш. Эфендиев<sup>1</sup>

## **РОС-ЛАЗЕР НА БИНАРНЫХ СМЕСЯХ КУМАРИНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ**

<sup>1</sup>*Институт физики им. Б.И.Степанова НАН Беларуси,  
katarkevich@dragon.bas-net.by*

<sup>2</sup>*ГрГУ им.Я.Купалы, [vkurstak@tut.by](mailto:vkurstak@tut.by)*

Лазеры на красителях с распределенной обратной связью (РОС) являются простыми и удобными источниками перестраиваемого по спектру излучения. В качестве активной среды РОС-лазеров, как правило, используются однокомпонентные растворы красителей. В то же время для перекрытия некоторых областей спектра необходимо использовать их бинарные смеси. Это позволяет повысить эффективность генерации тех красителей, которые слабо генерируют в однокомпонентном растворе или не генерируют вообще вследствие малого поглощения на длине волны лазера накачки. При использовании бинарной смеси красителей развитие генерации происходит в условиях переноса энергии электронного возбуждения от донора к акцептору, что должно приводить к изменению ее характеристик по сравнению с однокомпонентным раствором.

В настоящей работе детально исследованы выходные характеристики РОС-лазера, возбуждаемого излучением АИГ:Nd-лазера ( $\lambda = 354$  нм,  $\tau_{0,5} = 14$  нс), при использовании в качестве активной среды двух бинарных смесей красителей: “кумарин 120 – кумарин 7” и “кумарин 1 – кумарин 7”. Установлено существенное влияние соотношения концентраций, а также степени перекрытия полосы люминесценции донора с полосой поглощения акцептора, на характеристики генерации. Выработаны критерии подбора донорно-акцепторных пар красителей, обеспечивающих оптимальные параметры излучения РОС-лазера.

**РОС-ЛАЗЕР НА ОСНОВЕ АКТИВИРОВАННОГО  
КРАСИТЕЛЕМ КОМПОЗИТА НАНОПОРИСТОЕ  
СТЕКЛО-ПОЛИМЕР, ВОЗБУЖДАЕМЫЙ  
ТВЕРДОТЕЛЬНЫМ Nd:LSB МИКРОЛАЗЕРОМ  
С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ**

<sup>1</sup>ГрГУ им. Я. Купалы, [anufriick@grsu.by](mailto:anufriick@grsu.by)

<sup>2</sup>Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[katarkevich@dragon.bas-net.by](mailto:katarkevich@dragon.bas-net.by)

<sup>3</sup>Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,  
[modest@iof.ran.gpu.ru](mailto:modest@iof.ran.gpu.ru)

Приведены результаты исследований выходных характеристик излучения лазера на красителе с распределенной обратной связью (РОС), возбуждаемого твердотельным Nd:LSB микролазером с диодной накачкой. Активной средой РОС-лазера служил композит нанопористое стекло – полимер (2,0×1,4×0,4 см), допированный красителем ПМ-580, а источником накачки – микролазер STA-01SH ( $\lambda = 532$  нм,  $\tau_{0,5} \approx 0,5$  нс,  $E_n \leq 80$  мкДж, стабильность энергии  $\sim 0,4\%$  (СКО),  $f \leq 500$  Гц). Получен устойчивый режим генерации РОС-лазера, работающего во 2-м порядке брэгговской дифракции, с частотой следования импульсов, повторяющей накачку. Диапазон перестройки длины волны составил 542 – 586 нм при ширине спектра 0,008 – 0,15 нм, КПД генерации до  $\sim 25\%$  и стабильности энергии 0,6 – 2,5%. При  $E_n \approx 60$  мкДж и  $f = 250$  Гц ресурс работы (50% падение КПД) отдельной возбуждаемой зоны активного элемента (0,01×0,8 см) составил  $4,5 \times 10^5$  импульсов. При поочередном использовании соответствующих зон двух рабочих поверхностей композита (1,4×2,0 см) и зазоре между зонами  $\sim 0,015$  см ресурс работы РОС-лазера на одном образце может составить  $\sim 10^8$  импульсов.

УДК536.758:621.391.63

Ю. А. Варакса, С. А. Коваль, М. А. Ходасевич

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АП-КОНВЕРСИОННОГО ЭРБИЕВОГО УСИЛИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОДОПИРОВАННОГО ZBLAN-ВОЛОКНА**

*Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси  
[y.varaxa@ifanbel.bas-net.by](mailto:y.varaxa@ifanbel.bas-net.by)*

С развитием эффективных полупроводниковых лазеров накачки, излучающих в ближнем ИК- и видимом диапазонах спектра, применение ап-конверсии, приводящей к сдвигу длины волны излучения допированных редкоземельными материалами сред в видимую и УФ области спектра, привело к появлению большого количества исследовательских работ, обусловленных использованием ап-конверсионных источников и усилителей в таких важных прикладных областях как разработка дисплеев, сенсоров, волоконных усилителей видимого диапазона спектра и ап-конверсионных лазеров. В предположении не зависящих от концентрации активных центров вероятностей кооперативных процессов нами проведено численное моделирование ап-конверсионного усилителя на основе высоко допированного эрбием ZBLAN-волокна. Кооперативные эффекты в таком волокне приводят к эффективному заселению уровней  $^4S_{3/2}$ - $^4F_{3/2}$  при накачке в ИК-диапазоне, что может быть использовано для оптического усиления в диапазоне длин волн 540-560 нм.

Результаты моделирования показывают, что для волокна с концентрацией эрбия  $6.4 \times 10^{26} \text{ м}^{-3}$  усиление около 40 дБ на длине волны 541 нм может быть получено с использованием накачки мощностью 100 мВт на длине волны 980 нм при длине усилителя 6 см. Сравнение накачек на длинах волн 980 нм и 1480 нм указывает на возможность достижения максимального усиления и минимальной неравномерности спектра усиления с помощью одиночной накачки на 980 нм.

УДК 681.373.826

М.В. Богданович, В.В. Кабанов, Г.И. Рябцев,  
А.Г. Рябцев, Е.В. Лебедек

## **ПОЛНОСТЬЮ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ЛАЗЕРЫ ДЛЯ ДАЛЬНОМЕТРИИ И СПЕКТРОСКОПИИ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
v.kabanov@ifanbel.bas-net.by*

Обсуждаются особенности разработки оптических схем и изготовления твердотельных лазеров, накачиваемых лазерными диодными линейками и лазерными диодными матрицами с воздушным охлаждением. Представлены данные для компактных полностью твердотельных эрбиевых лазеров, генерирующих в условно безопасной для органов зрения спектральном диапазоне 1,54 мкм, лазерных систем на основе Nd:YAG кристалла, генерирующих на основной частоте и частотах 2-ой, 3-ей и 4-ой гармоник, а также для параметрического генератора света (50 мДж, 1,57 мкм) и титан-сапфирового лазера, перестраиваемого в пределах интервала длин волн 750–950 нм (30 мДж, 30 Гц).

Особое внимание уделяется анализу возможных каналов потерь энергии накачки, выработке базовых требований к лазерным диодным излучателям, обеспечивающих максимально возможный к.п.д. для создаваемых оптоэлектронных устройств.

Представлены образцы созданных в Институте физики НАН Беларуси высокоэффективных квантронов для накачки неодимовых лазеров, компактных эрбиевых лазеров с пассивной и электро-оптической модуляцией добротности и твердотельных лазеров, применяемых в современных дальнометрах и лазерных спектрометрах.

Л.М. Серебрякова

**О ФОРМИРОВАНИИ КОЛЛЕКТИВНОЙ  
ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЫ ЛИНЕЙКИ  
ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ГОЛОГРАММЫ  
ВЗАИМНО ОБРАЩЕННЫХ ВОЛН**

*Белорусский национальный технический университет*  
*[lmsebr@tut.by](mailto:lmsebr@tut.by)*

Перспективными способами повышения мощности лазерного излучения являются фазирование линеек (матриц) независимых лазерных источников (волоконных, полупроводниковых) с помощью внешних дифракционных резонаторов [1] и торцевая лазерная накачка активных элементов обычных твердотельных лазеров [2]. В обоих случаях происходит формирование коллективных пространственных мод генерируемого излучения.

В рамках подхода мод связи теоретически исследуется дифракционный резонатор, который образован входной апертурой активной среды твердотельного лазера, накачиваемой линейкой одномодовых полупроводниковых лазеров, и голографическим зеркалом на основе т. н. «голограммы взаимно обращенных волн» [3], реализующей эффективную взаимосвязь диодов накачки и формирующей коллективные моды излучения. Коэффициенты матрицы связи получены аналитически, что открывает возможности для последовательного аналитического рассмотрения всего круга вопросов, связанных с формированием коллективных пространственных мод в данной системе.

Литература:

1. J.R.Leger, ... // Appl. Opt. – 1995. – V. 34, N 21. – P. 4302.
2. S.Menard, ... // Opt. Comm. – 1999. – V. 160. – P. 344.
3. А.С.Рубанов, ... // Опт. и спектр. – 1995. – Т. 78. – С. 984.

## **Секция 2. Применение лазеров в науках о жизни**

УДК 621.373/826:61

Л.Е. Батай<sup>1</sup>, А.И. Водчиц<sup>1</sup>, В.А. Орлович<sup>1</sup>,  
Н.Б. Горбунова<sup>2</sup>, Т.Е. Кузнецова<sup>2</sup>, В.С. Улащик<sup>2</sup>

## БИМЕДИЦИНСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ДИОДНО НАКАЧИВАЕМОГО ТУЛИЕВОГО ЛАЗЕРА

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,*

*[l.batay@ifanbel.bas-net.by](mailto:l.batay@ifanbel.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Институт физиологии НАН Беларуси  
[nbgorbunova@mail.ru](mailto:nbgorbunova@mail.ru)*

Лазеры, излучающие в спектральной области 2 мкм (гольмиевые и тулиевые), совпадающей с одним из интенсивных максимумов поглощения воды, перспективны для многих областей хирургии, где требуется локальная термическая деструкция тканей.

В настоящей работе экспериментально показана возможность эффективной прецизионной коагуляции биологических тканей при воздействии излучения непрерывного диодно-накачиваемого Tm:KYW лазера [1] мощностью до 500 мВт. Модельные эксперименты выполнены на крысах, лазерной коагуляции *in vivo* подвергались сосуды брюшной стенки, ткань печени. Размер зоны термической деструкции оценивался путем гистоморфологического анализа. В различных режимах воздействия эффективная коагуляция наблюдалась в диапазоне плотностей мощности излучения 190-300 мВт/см<sup>2</sup> при времени воздействия 2-3 сек, что согласуется с расчетными данными [2].

Показаны системные эффекты, возникающие при воздействии низкоинтенсивного излучения тулиевого лазера.

### Литература

1. L.E. Batay, A.A. Demidovich, A.N. Kuzmin, A.N. Titov, M. Mond, S. Kuck // Appl. Phys. B. – 2002. - V.75 – P. 457-461.
2. L.E. Batay, D.N. Busko, A.I. Vodchits [et al.] // Proc. SPIE. - 2007 - Vol. 6734.



УДК 535.34 + 539.1.047+543.42

И.В. Скорняков<sup>1</sup>, Г.Б. Толсторожев<sup>1</sup>, В.И. Пехньо<sup>2</sup>,  
А.Н. Козачкова<sup>2</sup>, Н.И. Царик<sup>2</sup>, Н.И. Шарыкина<sup>3</sup>

## **МЕТОДЫ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ФОСФОНАТАМИ ПАЛЛАДИЯ**

<sup>1</sup> *Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси*  
[gbt@imaph.bas-net.by](mailto:gbt@imaph.bas-net.by)

<sup>2</sup> *Институт общей и неорганической химии НАН  
Украины*

<sup>3</sup> *Институт фармакологии и токсикологии АМН Украины*

В работе установлены закономерности изменений ИК Фурье-спектров белков и липидов в срезах тканей легкого при возникновении онкологической патологии (меланомы В-16), а также при лечении заболевания с использованием новых лекарственных препаратов на основе комплексов палладия с метилendifосфоновой кислотой [1].

Главным результатом является обоснование вывода, что при лечении меланомы В-16 комплексами палладия ИК спектр легочной ткани, в которой до лечения присутствовали метастазы, соответствует ИК спектру ткани здорового легкого.

Полученные спектроскопические данные однозначно демонстрируют применимость фосфонатов палладия в качестве эффективного противоопухолевого средства.

### **Литература**

1. Толсторожев Г.Б., Скорняков И.В., Пехньо В.И., Козачкова А.Н., Шарыкина Н.И. Проявление противометастазной активности комплексов палладия с метилendifосфоновой кислотой в ИК спектрах // ЖПС. –2012. – Т. 79. – №3. – С. 468-473

УДК 615.849.19: 616-073: 547.979.733

А.В.Иванов<sup>1</sup>, В.Д.Румянцева<sup>2</sup>, И.П.Шилов<sup>3</sup>,  
К.С.Щамхалов<sup>3</sup>

## ИТТЕРБИЙ-ПОРФИРИНОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ДИАГНОСТИКИ ОПУХОЛЕЙ

<sup>1</sup> *Российский онкологический научный центр им.*

*Н.Н.Блохина РАМН, ivavi@yandex.ru*

<sup>2</sup> *Московская государственная академия тонкой  
химической технологии им. М.В.Ломоносова, vdrum@mail.ru*

<sup>3</sup> *Институт радиотехники и электроники им.*

*В.А.Котельникова, Фрязинский филиал, ipshilov@ms.ire.rssi.ru*

Свободные основания порфиринов не нашли широкого применения при первичной люминесцентной диагностике опухолей в связи с их сравнительно высокой фототоксичностью и незначительной контрастностью люминесцентного изображения опухоли на фоне здоровой ткани. Введение иона иттербия в порфирин приводит к снижению фотохимической активности при сохранении тропности к злокачественным опухолям, что ведёт к заметному уменьшению побочных токсических реакций.

Синтезировано более 20 иттербиевых комплексов порфиринов (ИКП) как водорастворимых, так и гидрофобных. Исследованы их фотофизические характеристики. Установлено, что ИКП с трехвалентным ионом Yb обладают характерной для редкоземельных ионов узкой и достаточно яркой линией люминесценции, которая находится в ИК-диапазоне 975-985нм (в «окне прозрачности» биотканей). Отобраны наиболее перспективные соединения, для которых проведены расширенные исследования биологических свойств на мышцах с привитыми опухолями: токсичность, биораспределение, фармакокинетика, люминесцентный контраст.

Полученные данные позволяют рассматривать иттербиевые комплексы порфиринов как перспективные маркеры для люминесцентной диагностики опухолей без свойственной традиционным порфиринам фототоксичности и с максимально высоким значением люминесцентного контраста.

УДК 535.373.3

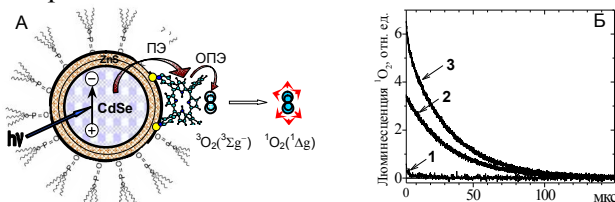
А.С. Сташевский<sup>1</sup>, В.А. Галиевский<sup>1</sup>, Е.И. Сагун<sup>1</sup>,  
В.Н. Кнюкшто<sup>1</sup>, Э.И. Зенькевич<sup>2</sup>

## ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕНОСА ЭНЕРГИИ В ГИДРОФОБНЫХ НАНОКОМПОЗИТАХ «CdSe/ZnS-Порфирин» И ГЕНЕРАЦИЮ ИМИ СИНГЛЕТНОГО КИСЛОРОДА

<sup>1</sup>Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси  
[sagun@imaph.bas-net.by](mailto:sagun@imaph.bas-net.by)

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет  
[zenkev@tut.by](mailto:zenkev@tut.by)

Исследовано влияние мощности лазерного излучения на закономерности релаксационных процессов (эффект Оже), приводящих к тушению экситонной люминесценции квантовых точек (КТ, CdSe/ZnS) в составе композитов «CdSe/ZnS-Порфирин» (Рис. А). На основании экспериментальных данных и теоретических расчетов получена информация по энергетике электронных взаимодействий компонент комплекса и определены константы скорости переноса энергии (ПЭ) в толуоле при 295 К.



Изучено влияние размеров КТ и концентрации кислорода на квантовый выход генерации синглетного кислорода  $\gamma(^1\Delta_g)$ . Проведен сравнительный анализ величин  $\gamma(^1\Delta_g)$  для КТ, порфириновых лигандов и их композитов (Рис. Б; 1, 2, 3). Установлена корреляция между эффективностью ПЭ «КТ→Порфирин», квантовым выходом  $\gamma(^1\Delta_g)$  и мощностью лазерного фотовозбуждения.

Авторы благодарят ГПНИ «Конвергенция 3.2.08» за поддержку.

УДК 577.3

В.А. Решетов<sup>1,2</sup>, Ж. Гаррье<sup>2</sup>, В.П. Зорин<sup>1</sup>, Л.Н. Бездетная<sup>2</sup>

## **ФОТОПОВРЕЖДЕНИЕ ВАСКУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ В МОДЕЛИ ХОРИОАЛЛАНТОИЗНОЙ МЕМБРАНЫ КУРИНОГО ЭМБРИОНА**

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет,  
[vadim.reshetov@gmail.com](mailto:vadim.reshetov@gmail.com)*

<sup>2</sup>*Университет Лотарингии, центр Алексис Вотран,  
[v.reshetov@nancy.unicancer.fr](mailto:v.reshetov@nancy.unicancer.fr)*

Эффективность лазерной фотодинамической терапии (ФДТ) раковых заболеваний определяется комбинацией опухолевого и непрямого васкулярного повреждения. Эффективность ФДТ с использованием хлориновых фотосенсибилизаторов определяется в значительной степени васкулярным повреждением.

В работе использована модель хориоаллантаоизной мембраны куриного эмбриона для оценки повреждения сосудистой системы при проведении ФДТ. Разработан протокол ведения модели *in vivo* и изучения эффективности ФДТ, а также протокол количественной оценки фотоповреждения с помощью флуоресцентной макроскопии и макроскопии в белом свете. Проведена оценка эффективности ФДТ для классических и стерически защищенных липосомальных форм хлоринового фотосенсибилизатора. Показано, что степень повреждения зависит от интервала между введением фотосенсибилизатора в эмбрион и фотооблучением, и определяется типом липосом-носителей. Гистологическая оценка фотоповреждения сосудов показала, что наблюдаются изменения диаметра сосудов и морфологического состава тканей, а также эдема и нарушение целостности сосудов.

**ИНДИВИДУАЛЬНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ  
ПАЦИЕНТОВ К ОБЛУЧЕНИЮ КРОВИ  
ТЕРАПЕВТИЧЕСКИМИ ДОЗАМИ ОПТИЧЕСКОГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси  
[zaleskaya@imaph.bas-net.by](mailto:zaleskaya@imaph.bas-net.by)*

В настоящей работе обобщены результаты исследования влияния облучения крови оптическим излучением различных длин волн на характеристики кислородного обмена отдельных пациентов и на содержание некоторых продуктов метаболизма. Для пациентов, в комплексное лечение которых включалось ультрафиолетовое облучение крови (УФОК) или внутривенное облучение крови излучением  $\lambda = 632.8, 670$  нм, выполнен комплексный анализ: спектров поглощения крови и ее компонент; степени насыщения гемоглобина венозной крови кислородом  $S_V O_2$ ; содержания в ней оксигемоглобина  $F_V(HbO_2)$ ; газового состава венозной крови. После окончания курса наблюдалось снижение  $F_V(HbO_2)$ ,  $S_V O_2$ , зависевшее от исходных значений  $S_V O_2$  в крови отдельных пациентов. При одной и той же дозе облучения изменения: ( $\Delta F_V(HbO_2)$ ); парциальных давлений ( $\Delta p_V O_2$  и  $\Delta p_V CO_2$ ); содержания метаболитов зависели от индивидуальных, исходных значений  $S_V O_2$  в венозной крови и их изменений ( $\Delta S_V O_2$ ), которые объективно отражают индивидуальную чувствительность пациентов.

Сделан вывод, что фотомодификация крови приводит к генерализации воздействия оптического излучения на организм. Влияние облучения крови терапевтическими дозами оптического излучения на процессы, протекающие в организме, обусловлено изменением баланса наработки активных форм кислорода и их ингибирования антиоксидантными системами организма.

УДК:615.849.19

М.М. Асимов<sup>1</sup>, Р.М. Асимов<sup>2</sup>, А.Н. Батян<sup>3</sup>,  
М.О. Грусевич<sup>4</sup>, А.Н. Рубинов<sup>1</sup>

## **ВЛИЯНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ОКСИГЕМОГЛОБИНА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКОТОКСИКАНТОВ**

<sup>1</sup> *Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси*  
[t.asimov@ifanbel.bas-net.by](mailto:t.asimov@ifanbel.bas-net.by)

<sup>2</sup> *ООО "Сенситроника", Белорусский Парк высоких технологий*

<sup>3</sup> *Международный государственный экологический университет*

*им. А.Д. Сахарова,*

<sup>4</sup> *Республиканский научно-практический центр эпидемиологии и микробиологии*

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию оптического излучения на снижении токсического воздействия тяжелых металлов и химических соединений (экоотоксикантов) на кислородтранспортную функцию гемоглобина крови.

Установлено, что оптическое излучение оказывает стабилизирующее действие и препятствует снижению концентрации оксигемоглобина, которую могут вызывать присутствие фенола и тяжелых металлов в крови. Исследована эффективность нейтрализующего токсичное воздействие экоотоксикантов от времени облучения оптическим излучением.

Показано, что эффективная нейтрализация токсического действия фенола достигается за первую минуту облучения и более не зависит от времени.

Обсуждается механизм стабилизирующего действия света и его различное биомедицинское применение полученных данных, которые могут быть использованы в медицинской практике, для профилактики гемотоксичного воздействия экоотоксикантов.

УДК 615.849.19:534.35

Д.Д. Хамидов<sup>1</sup>, Т. Шукуров<sup>2</sup>, Б.П. Шарипов<sup>1</sup>, А.М. Сафаров<sup>1</sup>

## **ПРИМЕНЕНИЯ ВНУТРИВЕННОГО ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ КРОВИ В КОМПЛЕКСНОМ ЛЕЧЕНИИ ОСЛОЖНЕННОГО ЭХИНОКОККОЗА ЛЕГКИХ**

*<sup>1</sup>Городская клиническая больница скорой медицинской помощи*

*E-mail: [H\\_Jamshed@mail.ru](mailto:H_Jamshed@mail.ru)*

*<sup>2</sup>Физико-технический институт им. С. У. Умарова Академия наук Республики Таджикистана, г. Душанбе.*

*E-mail: [t\\_shukurov@mail.ru](mailto:t_shukurov@mail.ru)*

Эхинококкоз легких является тяжелым паразитарным заболеванием и продолжает находиться в центре внимания клиницистов, несмотря на успехи современной медицины по этому вопросу. В последние годы частота осложненной формы эхинококкоза легких увеличилась до 30-40%. Среди осложнений наиболее грозными являются прорыв эхинококковой кисты в бронх и плевральную полость, кровотечение, анафилактические и септические реакции, которые нередко приводят к летальным исходам.

Настоящая работа посвящена исследованию результатов применения внутривенного лазерного облучения крови (ВЛОК) в послеоперационном лечении больных с осложненным эхинококкозом легких.

Для оценки эффективности динамики курса проводимого лечения и определения степени токсичности крови изучали: уровень пептидов средних молекулярных масс, время выживаемости парамеций, лейкоцитарный индекс интоксикации и иммунологический профиль, ИК–спектры плазмы крови до, после 4 и 10–го сеанса ВЛОК и сравнивали со спектрами контрольной группы. ИК–спектры плазмы крови в группе пациентов, которым назначалось ВЛОК, на 2-4 дня быстрее приближается к спектрам доноров, что указывает на эффективность метода.

УДК 535.37:541.14  
М.П. Самцов<sup>1</sup>, Е.С. Воропай<sup>2</sup>, А.П. Луговский<sup>1</sup>, П.Т. Петров<sup>3</sup>

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ЛАЗЕРНОЙ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ С ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРАМИ НА ОСНОВЕ ИНДОТРИКАРБОЦИАНИНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ**

<sup>1</sup>*НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ*

*[samtsov@bsu.by](mailto:samtsov@bsu.by)*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный университет*

*[voropay@bsu.by](mailto:voropay@bsu.by)*

<sup>3</sup>*Институт биоорганической химии НАНБ*

Дальнейшие успехи метода ФДТ связывают с использованием нового поколения фототерапевтических препаратов, характеризующихся сильным поглощением света в области "фототерапевтического окна" – от 700 до 900 нм, в которой мало рассеяние света биологическими тканями и практически отсутствует поглощение света эндогенными биомолекулами. Это обеспечивает глубокое проникновение света в ткани и позволяет использовать метод ФДТ для лечения не только поверхностных, но и окоглубоко расположенных опухолей.

В данной работе изложены основные результаты по разработке фотосенсибилизаторов следующего поколения на основе трикарбоцианиновых красителей. Показано, что механизм фотоактивности исследуемого класса соединений не укладывается в рамки схемы, в которой повреждение опухолевых клеток обусловлено исключительно образованием синглетного кислорода. Установлено, что фотохимиотерапевтическое повреждение опухолевых тканей возрастает в несколько раз при изменении длины волны фотовоздействия в диапазоне от 668 до 780 нм, сопровождается увеличением полуширины и коротковолновым смещением в спектрах флуоресценции трикарбоцианинов *in vivo*. Показано, что наблюдаемые закономерности обусловлены различием в пропускании тканей и перераспределением из крови в опухоль и изменением концентрации различных форм гемоглобина.



УДК 577.345

В.П. Зорин<sup>1</sup>, Т.Е. Зорина<sup>1</sup>, И.Е. Кравченко<sup>1</sup>,  
И.В. Янковский<sup>1,2</sup>, Т.В. Шман,<sup>2</sup> О.В. Алейникова<sup>2</sup>

**ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ЛИПОСОМАЛЬНЫХ ФОРМ  
ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ ДЛЯ ЭЛИМИНАЦИИ  
ЛЕЙКЕМИЧЕСКИХ КЛЕТОК В КЛЕТОЧНЫХ  
КУЛЬТУРАХ**

*<sup>1</sup>Белорусский государственный университет  
[vpzorin@mail.ru](mailto:vpzorin@mail.ru)*

*<sup>2</sup>РНПЦ детской онкологии, гематологии и иммунологии*

Ранее было показано, что неполярные производные хлорина еб (ди- и триметилловый эфиры хлорина еб) могут быть успешно использованы для фотосенсибилизированного повреждения клеток с повышенным пролиферативным статусом. Низкая растворимость данных соединений в водной среде обуславливает необходимость применения для их введения специальных фармакологических форм. В работе изучены процессы фотоповреждения лейкемических клеток при использовании липосомальных форм эфиров хлорина еб, приготовленных на основе классических и стабилизированных липидных везикул.

Методами лазерной цитометрии определены уровни накопления хлоринов нормальными и лейкозными клетками, исследована избирательность фотосенсибилизированного повреждения трансформированных клеток. Показано, что тип липидного носителя слабо влияет на характер внутриклеточной локализации фотосенсибилизаторов. Скорость перераспределения диметилового эфира хлорина еб из липидных везикул на клетки значительно выше в сравнении с триметилловым эфиром, причем белки сыворотки крови оказывают разнонаправленное влияние на данный параметр исследованных хлоринов. Установлено, что скорость фотоповреждения зависит как от свойств фотосенсибилизаторов, так и от структурных особенностей липидных наноносителей.

## **ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТКАНИ ПРИ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ**

*Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси,  
[barun@dragon.bas-net.by](mailto:barun@dragon.bas-net.by)*

Предложена аналитическая модель для расчета нагрева кожного покрова человека под действием лазерного излучения при фотодинамической терапии. В качестве примера рассмотрен фотосенсибилизатор «Фотолон». Исследованы зависимости температуры поверхности кожи и глубоких участков дермы от времени при импульсном и стационарном облучении поверхности кожи на длине волны 665 нм, соответствующей максимуму полосы поглощения фотосенсибилизатора. Показано, что при воздействии короткого импульса света наличие фотосенсибилизатора может привести к существенному росту температуры дермы вследствие заметного увеличения ее показателя поглощения. Однако, из-за кратковременности термического воздействия, указанный рост не вызывает деструкции клеток ткани. При стационарном облучении концентрация фотосенсибилизатора слабо сказывается на температурном режиме ткани. Это обусловлено особенностями нагрева среды красным светом, когда основным термическим процессом в коже является перенос тепла по объему среды от эпидермиса, имеющего существенно больший показатель поглощения излучения, чем дерма в указанном спектральном интервале. Оценена роль скорости перфузии крови в дерме и ее влияние на температурный режим ткани.

Н.А. Немкович, А.Н. Рубинов, А.Н. Собчук,  
Ю.В. Крученюк

## **ЛАЗЕРНО-ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ОПУХОЛЕЙ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси  
[N.Nemkovich@ifanbel.bas-net.by](mailto:N.Nemkovich@ifanbel.bas-net.by)*

В настоящей работе для диагностики доброкачественных и раковых опухолей использованы несколько лазерно-оптических методов. Впервые применена тройная спектроскопия, основанная на регистрации мгновенных спектров аутофлуоресценции при лазерном возбуждении, спектров диффузно рассеянного света и спектров электрического импеданса тканей. Проведена диагностика 5 типов опухолей головного мозга человека. Алгоритм классификации исследуемых образцов был построен на основе методов многомерного статистического анализа. На первой стадии использовался факторный анализ, а затем дискриминантный анализ. При использовании подобного алгоритма диагностика опухолевых тканей мозга проведена с точностью, практически, равной 100%. Этим же методом исследованы 157 образцов тканей простаты, взятых из доброкачественных и раковых опухолей.

Разработан прибор для экспрессной и бесконтактной диагностики опухолей, включающий систему время-коррелированного счета фотонов (разрешение 20 пс) и блок регистрации спектров диффузно рассеянного света. С помощью данного прибора были измерены кинетики аутофлуоресценции аденомы и нормальной ткани гипофиза, а также их спектры диффузно рассеянного света. Установлено, что среднее время жизни флуоресценции образцов нормальной и опухолевой ткани значительно отличаются при регистрации в области 500-600 нм, а спектры диффузно рассеянного света образцов аденомы гипофиза лежат в более длинноволновой области, чем образцов нормальной ткани гипофиза.

УДК 612.339:547.979/-092.9

Ануфрик С.С.<sup>1</sup>, Смотрин С.М.,<sup>2</sup> Островская О.Б.<sup>2</sup>,  
Русин В.И.<sup>2</sup>

## **ВЛИЯНИЕ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРА КУМАРИНА НА УЛЬТРАСТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВИСЦЕРАЛЬНОЙ БРЮШИНЫ**

*Гродненский государственный университет им. Я.  
Купалы, Беларусь<sup>1</sup>*

*Гродненский государственный медицинский  
университет, Беларусь<sup>2</sup> [s.smotrin@mail.ru](mailto:s.smotrin@mail.ru)*

Для лечения некоторых хирургических заболеваний в последнее время всё чаще используется фотодинамическая терапия. Эта методика предполагает использование фотосенсибилизаторов, активированных лазерным излучением, с целью достижения антимикробного эффекта. В доступной литературе мы не встретили сообщений о влиянии фотосенсибилизатора кумарина при внутрибрюшинном введении на ультраструктурные элементы брюшины.

**Цель исследования.** Изучить влияние спиртового раствора кумарина на состояние ультраструктурных элементов брюшины.

**Материалы и методы.** Исследование проведено на 12 белых беспородных крысах-самцах массой 150-200г, которые содержались на стандартном рационе вивария. Животным опытной группы вводился 0,1% раствор фотосенсибилизатора кумарина. Животные контрольной группы оставались интактными. Животных выводили из опыта через 48 часов после введения фотосенсибилизатора путем декапитации сразу после введения их в эфирный наркоз. Ультраструктурные изменения брюшины определялись в участке брыжейки подвздошной кишки. Ультратонкие срезы контрастировали уранилацетатом и цитратом свинца (по Рейнольдсу) и изучали на электронном микроскопе JEOL-1011.

**Результаты.** Ультраструктура брыжейки подвздошной кишки у крыс опытной группы мало отличается от таковой у

контрольных животных. Мезотелиоциты на апикальной поверхности имеют многочисленные микроворсинки. Строение фибробластов и эндотелиоцитов идентично строению этих клеток у контрольных животных. Макрофаги брыжейки часто имеют большое количество лизосом, лизосомоподобных телец и различных включений, иногда встречаются фагосомы. Цитоплазма макрофагов, как правило, образует несколько псевдоподий. Тучные клетки имеют признаки частичной дегрануляции. В брыжейке животных данной группы встречаются единичные эозинофильные лейкоциты.

В целом ультраструктура мезотелия, а также основного вещества и клеточных элементов соединительной ткани брыжейки подвздошной кишки у крыс через 48 часов после внутрибрюшинного введения кумарина (в указанной дозе) сходна с таковой у контрольных животных.

### **Выводы.**

1. Спиртовой раствор фотосенсибилизатора кумарина при его внутрибрюшинном введении не вызывает существенных изменений ультраструктурных элементов брюшины крыс.

2. Дальнейшее изучение влияния фотосенсибилизатора кумарина на организм лабораторных животных, в том числе с целью дальнейшего использования данного фотосенсибилизатора для проведения сеансов фотодинамической терапии перитонита, является перспективным направлением экспериментальных исследований.

УДК (335.34+535.37):577.3

В.Ю.Плавский<sup>1</sup>, Н.В.Барулин<sup>2</sup>, А.С.Грабчиков<sup>1</sup>,  
И.А.Ходасевич<sup>1</sup>, Д.Г.Зусин<sup>1</sup>, Л.Г.Плавская<sup>1</sup>, А.И.Третьякова<sup>1</sup>,  
В.А.Орлович<sup>1</sup>

## О БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И АКЦЕПТОРАХ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В БЛИЖНЕЙ ИНФРАКРАСНОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

<sup>1</sup>*Институт физики НАН Беларуси,  
v.plavskii@ifanbel.bas-net.by*

<sup>2</sup>*Белорусская государственная сельскохозяйственная  
академия*

Впервые обнаружена способность излучения как красного диапазона, так и ближней инфракрасной области спектра, располагающейся вне полосы электронного поглощения основных хромофоров животной клетки, оказывать регуляторное действие на протекающие биохимические процессы, контролирующие выклев науплий жаброногого рачка *Artemia salina L* при облучении его цист (защитной оболочки). Воздействие на цисты осуществляли непрерывным излучением с длиной волны 632,8 нм (гелий-неоновый лазер); 808; 976 нм (полупроводниковые лазеры); 1064; 1342 нм (лазеры на кристаллах *Nd:YVO<sub>4</sub>* с диодной накачкой); 1176 нм (лазер с диодной накачкой и с последующим ВКР–преобразованием излучения 1064 нм) при плотности мощности  $P = 3$  мВт/см<sup>2</sup>.

Показано, что среди возможных акцепторов излучения, по крайней мере, на некоторых из указанных длин волн может выступать молекулярный кислород, а наблюдаемое фотобиологическое действие может быть обусловлено прямым возбуждением синглетного кислорода и его последующим влиянием, как сигнальной (триггерной) молекулы, на протекание физиологических процессов. Кроме того, в качестве акцептора излучения может выступать вода, поскольку в области  $\lambda = 1200$ – $2500$  нм поглощение водных растворов биологических молекул практически полностью определяется растворителем.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ВНУТРИВЕННОГО ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ КРОВИ В ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ**

*УО «Гродненский государственный медицинский  
университет»  
[nbelyuk@yandex.ru](mailto:nbelyuk@yandex.ru)*

Гиперпродукция цитокинов является важным звеном патогенеза хронической сердечной недостаточности (ХСН). Недостаточная эффективность фармакотерапии ХСН послужила основой для использования лазерной терапии [1].

Целью данного исследования явилась оценка влияния внутривенного лазерного облучения крови (ВЛОК) на динамику интерлейкина (ИЛ)-6 и фактора некроза опухоли (ФНО)- $\alpha$  у пациентов с ХСН ишемической этиологии.

В результате проведенного исследования получено, что в условиях применения ВЛОК наряду со стандартной фармакотерапией значимо ( $p < 0,005$ ) снижался уровень ФНО- $\alpha$  с 1,85 (1,15; 2,24) до 1,0 (0,75; 1,5) и ИЛ-6 с 5,01 (3,26; 7,48) до 4,03 (2,55; 7,42) в группе пациентов с ХСН ишемической этиологии без фибрилляции предсердий (ФП); а также происходило снижение ФНО- $\alpha$  с 1,96 (1,64; 2,37) до 1,41 (1,12; 1,77) и ИЛ-6 с 5,15 (4,43; 11,12) до 4,07 (2,55; 7,75) в группе пациентов с ХСН ишемической этиологии и ФП ( $p < 0,005$ ).

Таким образом, включение ВЛОК в стандартную схему фармакотерапии пациентов с ХСН ишемической этиологии способствует снижению ИЛ-6 и ФНО- $\alpha$ .

### **Литература:**

1. Корочкин И.М. Применение низкоэнергетических лазеров в клинике внутренних болезней // Российский медицинский журнал. – 1997. – №5. – С. 4-10.

УДК 535.34, 535:36

В. В. Барун, А. П. Иванов

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ВОЗДЕЙСТВИЕМ СВЕТА НА МЯГКИЕ  
БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТКАНИ**

*Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси  
[barun@dragon.bas-net.by](mailto:barun@dragon.bas-net.by)*

Существуют механизмы воздействия света на биоткани связанные с поглощением света. В работе рассмотрены три таких механизма – светокислородный и фотодинамические эффекты, а также фотодиссоциация оксигемоглобина крови. Все они в явном или неявном виде степени используются при светотерапии. Их эффективность пропорциональна количеству световой мощности, поглощенной хромофором-мишенью в ткани. В случае светокислородного механизма такой мишенью является растворенный молекулярный кислород, фотодинамического действия – фотосенсибилизатор, а фотодиссоциации – оксигемоглобин. Дан обзор разработанных авторами способов увеличения световой мощности, поглощаемой хромофорами ткани, за счет оптимального выбора длины волны облучения поверхности кожи.



УДК:615.849.19

М.М. Асимов<sup>1</sup>, Р.М. Асимов<sup>2</sup>, А.Н. Батян<sup>3</sup>,  
М.О. Трусевич<sup>4</sup>, А.Н. Рубинов<sup>1</sup>

## **ВЛИЯНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ОКСИГЕМОГЛОБИНА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭКОТОКСИКАНТОВ**

<sup>1</sup> *Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[t.asimov@ifanbel.bas-net.by](mailto:t.asimov@ifanbel.bas-net.by)*

<sup>2</sup> *ООО "Сенсоэлектроника", Белорусский Парк высоких  
технологий,*

<sup>3</sup> *Международный государственный экологический  
университет  
им. А.Д. Сахарова,*

<sup>4</sup> *Республиканский научно-практический центр  
эпидемиологии и микробиологии*

В работе представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию оптического излучения на снижении токсического воздействия тяжелых металлов и химических соединений (экоотоксикантов) на кислородтранспортную функцию гемоглобина крови.

Установлено, что оптическое излучение оказывает стабилизирующее действие и препятствует снижению концентрации оксигемоглобина, которую могут вызывать присутствие фенола и тяжелых металлов в крови. Исследована эффективность нейтрализующего токсичное воздействие экоотоксикантов от времени облучения оптическим излучением.

Показано, что эффективная нейтрализация токсического действия фенола достигается за первую минуту облучения и более не зависит от времени.

Обсуждается механизм стабилизирующего действия света и его различное биомедицинское применение полученных данных, которые могут быть использованы в медицинской практике, для профилактики гемотоксичного воздействия экоотоксикантов.

УДК: 621.373.8

М.М. Асимов<sup>1</sup>, Р.М. Асимов<sup>2</sup>, В.Ю. Плавский<sup>1</sup>, А.Н. Рубинов<sup>1</sup>,  
А.Б. Краснобаев<sup>1</sup>, Д.Б. Владимиров<sup>1</sup>

## **ФОТОДЕЗИНТОКСИКАЦИЯ ОТРАВЛЯЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ УГАРНОГО ГАЗА**

<sup>1</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[t.asimov@ifanbel.bas-net.by](mailto:t.asimov@ifanbel.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*ООО "Сенсотроника", Белорусский Парк высоких  
технологий*

Разработана оптическая технология и создана аппаратура для фотодезинтоксикации отравляющего действия монооксида углерода (СО) - угарного газа. Предложенный оптический метод, основан на фотодиссоциации карбоксигемоглобина крови (HbCO).

Определены пути эффективного воздействия на HbCO, в зависимости от его концентрации в крови (степени тяжести отравления угарным газом), и создана аппаратура на основе экстракорпорального облучения крови. В качестве источников облучения крови используются планарные светодиоды на длинах волн 360 нм, 530 нм, 540 нм и 570 нм для фототерапии отравляющего действия угарного газа.

В алгоритм работы аппарата включены отдельные функции избирательного включения и отключения светодиодов, что позволяет варьировать различные параметры светового воздействия (такие, как длину волны подающего света или комбинации длин волн, оптическую мощность излучения и др.) для достижения необходимого терапевтического эффекта. Возможно также увеличение и уменьшение дозы облучения путем изменения скорости прокачки крови.

Разработанная система предназначена для использования в медицине, и, особенно, в экстремальной медицине по спасению людей при природных и техногенных катастрофах, при лесных пожарах, возгорания домов и предприятий.

УДК:615.849.19

М.М. Асимов<sup>1</sup>, Р.М. Асимов<sup>2</sup>, А.Н. Рубинов<sup>1</sup>, А.И.  
Гизбрехт<sup>3</sup>

## **ВЛИЯНИЕ ФОТОДИССОЦИИ ОКСИМИОГЛОБИНА НА ОКСИГЕНАЦИЮ МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ**

<sup>1</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[m.asimov@ifanbel.bas-net.by](mailto:m.asimov@ifanbel.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*ООО "Сенсотроника", Белорусский Парк высоких  
технологий*

<sup>3</sup>*Институт электроники Болгарской академии наук*

В работе представлены результаты моделирования взаимодействия оптического излучения с оксимиоглобином ( $MbO_2$ ) мышечной ткани. Показано, что лазерно-индуцированная фотодиссоциация  $MbO_2$  оказывает влияние на процессы газообмена в биотканях.

Установлено, что фотодиссоциация оксигемоглобина ( $HbO_2$ ) в кровеносных сосудах и  $MbO_2$  в мышечных тканях позволяет регулировать концентрацию кислорода в биоткани непосредственно в зоне воздействия лазерным излучением.

Исследована зависимость концентрации кислорода в мышечной ткани от скорости диффузии кислорода из плазмы крови в биоткань и при одновременной экстракции его из  $MbO_2$ . Рассмотрены возможные варианты реализации соотношения скорости притока и ухода кислорода из мышечной ткани на терапевтическую эффективность при комбинированном воздействии лазерным излучением.

Установлено, что в лазерной терапии фотодиссоциация  $MbO_2$  при недостаточном притоке кислорода из плазмы крови может вызвать наведенную гипоксию в мышечной ткани и оказать негативное воздействие.

Показано, что комбинированное воздействие лазерным излучением целесообразно проводить не одновременно, а в такой последовательности, которая обеспечит максимальный терапевтический эффект.

УДК 535.37

В.Н. Кнюкшто<sup>1</sup>, А.С. Сташевский<sup>1</sup>, Б.М. Джагаров<sup>1</sup>,  
А.М. Гюльханданян<sup>2</sup>, Р.К. Казарян<sup>3</sup>, Г.В. Гюльханданян<sup>2</sup>

**МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЗОНДЫ НА ОСНОВЕ НОВЫХ  
ВОДОРАСТВОРИМЫХ ПОРФИРИНОВ:  
ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА И СПОСОБНОСТЬ  
К ФОТОСЕНСИБИЛИЗИРОВАННОЙ ГЕНЕРАЦИИ  
СИНГЛЕТНОГО КИСЛОРОДА**

<sup>1</sup>*Институт физики НАН Беларуси  
[bmd@imaph.bas-net.by](mailto:bmd@imaph.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Институт биохимии НАН Армении  
[gvg536898@yahoo.com](mailto:gvg536898@yahoo.com)*

<sup>3</sup>*Ереванский государственный медицинский университет  
[ghrob@mail.ru](mailto:ghrob@mail.ru)*

В данном сообщении представлены результаты комплексных исследований методами лазерной флуорометрии и лазерного импульсного фотолиза спектрально-люминесцентных и фотохимических свойств, включая квантовую эффективность и динамику образования синглетного кислорода, новыми порфириновыми соединениями.

Величины квантовых выходов флуоресценции для свободных оснований составляют 3-4%, для комплексов с Zn не превышают 2,6%. Для комплексов, содержащих хелатированные атомы Co, Ag, Fe и Cu, флуоресценция при комнатной температуре не была зарегистрирована (выход  $\leq 10^{-6}$ ).

Экспериментально показано, что все изученные порфирины обладают высокими значениями квантовых выходов генерации синглетного кислорода (от 75% до 90%).

Понимание молекулярного механизма функционирования зондов данного типа позволит прогнозировать и целенаправленно изменять биоселективность и реакционную способность новых соединений.

Авторы благодарят БРФФИ (Проект Ф11АРМ-017) и ГК по науке МОН РА (Проект 11РБ-016) за поддержку.

УДК 535.37:541.14

А.С. Сташевский<sup>1</sup>, К.Н. Каплевский<sup>2</sup>, М.П. Самцов<sup>2</sup>,  
В.А. Галиевский<sup>1</sup>, Д.С. Тарасов<sup>2</sup>, Е.С. Воропай<sup>2</sup>

## **ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОСЕНСИБИЛИЗИРОВАННОГО ИНДОТРИКАРБОЦИАНИНОВЫМ КРАСИТЕЛЕМ НИТС ОБРАЗОВАНИЯ СИНГЛЕТНОГО КИСЛОРОДА**

<sup>1</sup>*Институт физики НАН Беларуси  
[a.stasheuski@ifanbel.bas-net.by](mailto:a.stasheuski@ifanbel.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*НИИ Прикладных физических проблем БГУ  
[kaplev@bsu.by](mailto:kaplev@bsu.by)*

В данной работе на основании анализа параметров флуоресценции синглетного кислорода проведены исследования фотосенсибилизирующей активности красителя 1,3,3;1',3',3'-гексаметил-2,2'-индотрикарбоцианина (НИТС) с анионами йод или перхлорат в хлороформе и этаноле.

Измерения выполнены на специально оптимизированном для эффективного возбуждения НИТС лазерном кинетическом флуорометре синглетного кислорода.

Квантовый выход генерации синглетного кислорода для НИТСI в хлороформе составил  $(9,5 \pm 1,0)\%$  и для его катионного аналога с анионом  $\text{ClO}_4$   $(0,5 \pm 0,1)\%$ , в этаноле величины квантовых выходов для обоих красителей имеют одинаковые значения  $(0,6 \pm 0,1)\%$ . Полученное соотношение значений выходов подтверждает гипотезу о более высокой эффективности образования синглетного кислорода для молекул индотрикарбоцианиновых красителей в форме контактных ионных пар, в связи с проявлением эффекта тяжёлого атома, по сравнению с красителями в форме свободных ионов.

В дальнейшем исследованные соединения могут быть использованы в качестве стандартов для определения фотосенсибилизирующей активности новых соединений, поглощающих в ближнем инфракрасном диапазоне.

А.В. Мостовников<sup>1</sup>, А.Б. Рябцев<sup>1</sup>, И.А. Леусенко<sup>1</sup>,  
К.У. Вильчук<sup>2</sup>, Т.В. Гнедько<sup>2</sup>, Л.Г. Плавская<sup>1</sup>,  
А.И. Третьякова<sup>1</sup>, А.В. Микулич<sup>1</sup>, М.В. Левченя<sup>3</sup>,  
Г.Р. Мостовникова<sup>1</sup>, Л.П. Титов<sup>3</sup>

## **ФОТОТЕРАПЕВТИЧЕСКИЙ АППАРАТ «LOTOS» ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ ИНФЕКЦИОННО-ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НОВОРОЖДЕННЫХ ДЕТЕЙ**

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

*[mostovnicov@dragon.bas-net.by](mailto:mostovnicov@dragon.bas-net.by)*

*<sup>2</sup>ГУ «Республиканский научно-практический центр  
«Мать и дитя»» МЗ Республики Беларусь*

*<sup>3</sup>ГУ «Республиканский научно-практический центр  
эпидемиологии и микробиологии» МЗ Республики Беларусь*

Инфекционно-воспалительные заболевания у новорожденных до настоящего времени остаются одной из актуальных проблем педиатрии. Для повышения эффективности лечения указанных заболеваний предложено использовать фототерапевтический аппарат «Lotos» на основе лазерных источников света с максимумом излучения  $\lambda_{изл}^{макс} = 0,405$  мкм и  $\lambda_{изл}^{макс} = 0,650$  мкм, обеспечивающий эффективное использование в лечебных технологиях методов фоторегуляторной и антибактериальной фотодинамической терапии.

Изучение фоторегуляторного и антибактериального фотодинамического действия лазерного излучения проводилось на культурах МДСК (почка собаки) и НЕР-2 (эпидермальная карцинома человека), а также штаммах золотистого стафилококка.

О фоторегуляторной активности и фотодинамическом повреждении клеток судили по митотической активности и общему количеству клеток. Фотодинамическое повреждение бактерий оценивали по колониеобразованию.

Фототерапевтический аппарат «Lotos» разработан в рамках инновационного проекта.

УДК (535.34+535.372):547.94

И.Г.Мотевич, Н.Д.Стрекаль, С.А.Маскевич

**ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
ИЗОХИНОЛИНОВОГО АЛКАЛОИДА БЕРБЕРИНА  
С СИНТЕТИЧЕСКИМИ И ЕСТЕСТВЕННЫМИ  
ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТАМИ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОННОЙ  
СПЕКТРОСКОПИИ**

*Гродненский государственный университет имени Янки*

*Купалы*

*[i.motevich@grsu.by](mailto:i.motevich@grsu.by)*

На сегодняшний день подход к разработке эффективных лекарственных соединений включает в себя изучение взаимодействий потенциальных молекул лекарства со всеми известными типами биологических макромолекул (белков, ферментов, ДНК и др.). Объектом исследования является изохинолиновый берберин [1,2].

При взаимодействии берберина с отрицательно заряженной цепочкой полистиролсульфоната и ДНК, в спектрах поглощения алкалоида наблюдается ряд изменений. Флуоресцентные характеристики алкалоида также изменяются при взаимодействии с полиэлектрoлитами. Наблюдается значительное увеличение квантового выхода флуоресценции, а также «синий» сдвиг полосы флуоресценции. При этом кинетика затухания флуоресценции комплекса берберина с ДНК не является моноэкспоненциальной.

**Литература**

1. Потопальский А.И. Препараты чистотела в биологии и медицине, Навукова думка. -Киев, 1992.
2. Debnath D. Circular Dichroism Studies of the Structure of DNA Complex with Berberine // Journal of Biomolecular Structure&Dynamics. – 1991. - Vol. 9, №1. - P.061-079.

**FLUORESCENCE EXCITATION SPECTRA of JET-  
COOLED OXALYL HALIDES**<sup>1</sup>M.V. Lomonosov Moscow State University[godunov@phys.chem.msu.ru](mailto:godunov@phys.chem.msu.ru)<sup>2</sup>B.I. Stepanov Institute of Physics, Belarus National  
Academy of Science[poved@imaph.bas-net.by](mailto:poved@imaph.bas-net.by)

We have observed the  $A^1A_u \leftarrow X^1A_g$  fluorescence excitation spectra of jet-cooled oxalyl halides, (COR)<sub>2</sub>, where R=F, Cl, and compared them with corresponding gas-phase absorption spectra at room temperature<sup>1-3</sup>.

As a result we have found some peculiarities of the excited state dynamics of the molecules under study. We observed high effective fluorescence for oxalyl fluoride molecules excited to the single vibronic levels of  $b_g$  symmetry, though such optical transitions are “forbidden” (vibronically induced), and high efficiency of radiationless transitions for molecules excited to the single vibronic levels of  $a_g$  symmetry. The fluorescence excitation spectrum of jet-cooled oxalyl chloride is quite differed. Only allowed optical transitions are observed in the higher wavenumber region than  $0_0^0$  band. In the lower wavenumber region some transitions originated from  $8_1$  ( $b_g$ ) level are seen, though the energy of  $8_1$  level is equal to  $700 \text{ cm}^{-1}$ . These results are compared with data for glyoxal, (COH)<sub>2</sub>, obtained earlier.

This work was financially supported by Russian Foundation for Basic Research – Grant №10-03-00716-a.

Литература

1. Godunov I.A.; Yakovlev N.N.; Bokarev S.I.; Maslov D.V. // *J. Mol. Spectrosc.* – 2010 – V. 260 – P. 124-129.
2. Godunov I.A.; Yakovlev N.N.; Bokarev S.I.; Abramnikov A.V.; Maslov D.V. // *J. Mol. Spectrosc.* – 2009. – V. 255 – P. 39-44.
3. Godunov I.A.; Yakovlev N.N.; Bokarev S.I.; Maslov D.V. // *J. Mol. Spectrosc.* – 2011. – V. 269 – P. 201-210.



УДК 533.9; 621.793.6

А.А. Минько<sup>1</sup>, М.П. Патапович<sup>1</sup>, И.Д. Пашковская<sup>2</sup>,  
Ж.И. Булойчик<sup>1</sup>, Н.И. Нечипуренко<sup>2</sup>, А.П. Зажогин<sup>1</sup>

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАБОЛИЗМА ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ МЕТОДАМИ ЛАЗЕРНОЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ ВОЛОС БОЛЬНЫХ С ОНМК**

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, Беларусь*

*[Masha\\_P@tut.by](mailto:Masha_P@tut.by), [zajogin\\_an@mail.ru](mailto:zajogin_an@mail.ru)*

<sup>2</sup>*РНПЦ неврологии и нейрохирургии, Беларусь*

Анализ элементарного состава волос дает важную информацию, которая, в комбинации с симптомами и остальными лабораторными данными может помочь врачу в диагностике физиологических нарушений, связанных с отклонениями в общем метаболизме и метаболизме токсических элементов.

Для проведения исследований метаболизма кальция, магния, калия и натрия использовался лазерный атомно-эмиссионный многоканальный спектрометр LSS-1. Анализировались суммарные результаты действия 20 последовательных лазерных импульсов (энергия 60 мДж, межимпульсный интервал 8 мкс) на точку для натуральных волос.

Натуральные образцы волос ряда больных с острым нарушением мозгового кровообращения (ОНМК) исследованы через 0,5 см (примерно соответствующий интервалу роста волос за две недели). В случае необходимости каждый участок может быть разбит на точки размером 0,3 мм.

Такие исследования помогают диагностировать хронические заболевания до клинических проявлений, проследить изменения метаболизма за определенный период и дать динамическую картину баланса веществ в организме. Для интегрального показателя минерального обмена элементов исследованы минерализованные образцы волос нанесенных и высушенных на беззольном фильтре.

УДК 535.3; 543.423.1; 630.813/812

А.А. Минько<sup>1</sup>, М.П. Патапович<sup>1</sup>, П.Н. Белый<sup>2</sup>,  
М.В. Кудин<sup>2</sup>, Ж.И. Булойчик<sup>1</sup>, А.П. Зажогин<sup>1</sup>

## **КОНТРОЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ОВОЩЕЙ И ПЛОДОВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ**

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, Беларусь*

<sup>2</sup>*ГНУ «Центральный ботанический сад Национальной академии  
наук Беларуси», Беларусь*

*Masha\_P@tut.by, zajogin\_an@mail.ru*

Все возрастающее техногенное загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами требует разработки быстрых и надежных методов анализов. Для разработки перспективных методов экспресс-анализа содержания тяжелых металлов в свежих растительных пищевых продуктах проведены экспериментальные исследования методом лазерной атомно-эмиссионной многоканальной спектрометрии свежих овощей (топинамбур, томаты, лимоны).

Для проведения исследований использовался лазерный атомно-эмиссионный многоканальный спектрометр LSS-1. Анализировались послынные результаты 25 последовательных импульсов из нескольких точек образцов.

Выполненные спектроскопические исследования приповерхностной лазерной плазмы, образуемой вблизи поверхности пористого тела (топинамбур, томаты и т.д.), при воздействии на нее двух последовательных импульсов с временным интервалом 8 мкс, показали возможность определения содержания ряда макро- и микроэлементов (Cu, Al, Ca, Mg и т.д.) как на поверхности продуктов, так и в объеме с хорошей чувствительностью (сравнимой со средним содержанием их в продуктах) без предварительной длительной пробоподготовки.

УДК 533.9; 621.793.6

А.А. Минько<sup>1</sup>, М.П. Патапович<sup>1</sup>, И.Д. Пашковская<sup>2</sup>,  
Ж.И. Булойчик<sup>1</sup>, Н.И. Нечипуренко<sup>2</sup>, А.П. Зажогин<sup>1</sup>,  
Лэ Тхи Ким Ань<sup>1</sup>

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВЕННОГО СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ (ВОЛОСАХ) МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ**

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, Беларусь*

*[Masha\\_P@tut.by](mailto:Masha_P@tut.by), [zajogin\\_an@mail.ru](mailto:zajogin_an@mail.ru)*

<sup>2</sup>*РНПЦ неврологии и нейрохирургии, Беларусь*

Нарушение баланса макро-микроэлементов в организме человека приводит к развитию различных заболеваний. Для того чтобы возникший дисбаланс макро- и микроэлементов не стал причиной серьезных заболеваний, желательно знать полную картину микроэлементного баланса организма.

В последнее десятилетие существенное развитие получили разработки лазерного метода спектрального анализа биологических объектов. Одним из факторов, сдерживающих широкое применение лазерного метода, является трудность приготовления, а часто и отсутствие твердых образцов сравнения.

Целью настоящей работы являлось изучение особенностей поступления химических элементов с поверхности и объема пористых тел (ниток) при лазерной абляции, что может послужить основой для разработки образцов сравнения при анализе волос.

Для проведения исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1. Для разработки методик создания стандартных образцов для количественного определения содержания химических элементов в образцах волос в качестве модельных систем были использованы х/б нитки №50, по диаметру и составу близкие к реальным пробам.

УДК 533.9.082.5; 621.373.826; 621.793.79

А.А. Минько<sup>1</sup>, М.П. Патапович<sup>1</sup>, П.Н. Белый<sup>2</sup>,  
М.В. Кудин<sup>2</sup>, Ж.И. Булойчик<sup>1</sup>, А.П. Зажогин<sup>1</sup>

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСЛОЙНОГО СОДЕРЖАНИЯ БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОБРАЗЦАХ КОРЫ ТУИ ЗАПАДНОЙ (*Thuja occidentalis*) МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ**

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, Беларусь*

<sup>2</sup>*ГНУ «Центральный ботанический сад Национальной академии  
наук Беларуси», Беларусь*

*Masha\_P@tut.by, zajogin\_an@mail.ru*

Требованиям оперативного химико-аналитического контроля объектов растительного и животного происхождения на содержание различных металлов наилучшим образом удовлетворяет лазерный атомно-эмиссионный многоканальный спектральный анализ, отличающийся многоэлементностью, сравнительной простотой подготовки образцов и довольно низкими пределами обнаружения.

В качестве объектов исследования для разработки методов экспресс-анализа послыйного содержания элементов (Ca, Mg и др.) были использованы образцы коры туи западной (*Thuja occidentalis*) взятые в летний сезон, в Минске (район центрального ботанического сада (ЦБС)), а для сравнения — древесиной Березинского биосферного заповедника (ББЗ).

Для проведения исследований использовался лазерный атомно-эмиссионный многоканальный спектрометр LSS-1. Анализировались послыйные результаты 25 последовательных импульсов из нескольких точек образцов коры.

Из анализа экспериментальных результатов установлено, что наблюдается явный дисбаланс в питании туи кальцием и магнием, как растущих в различных по экологической обстановке местностях, так и в различные временные сроки.

УДК 539.19

С.А. Кургузенков<sup>1</sup>, А.А. Маскевич<sup>1</sup>, Е.А. Ширшин<sup>2</sup>,  
Н.Г. Жданова<sup>2</sup>

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРА КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ ТИОФЛАВИНА Т МЕТОДОМ ФУНКЦИОНАЛА ПЛОТНОСТИ

<sup>1</sup>*Гродненский госуниверситет имени Я. Купалы,  
[kurhuzenkau@gmail.com](mailto:kurhuzenkau@gmail.com)*

<sup>2</sup>*Московский госуниверситет имени М.В. Ломоносова.*

Выполнен квантовохимический расчет спектра комбинационного рассеяния (КР) и отнесение полос экспериментального КР-спектра тиофлавина Т, молекулярного зонда, используемого для изучения процессов формирования и роста амилоидных фибрилл, определения вязкости в ультрамалых объемах и т.д. [1].

Теоретический спектр КР и матрица распределения потенциальной энергии методом рассчитаны методом функционала электронной плотности *cc-pVDZ/B3LYP* с использованием программного пакета *PC GAMESS 7.1.G (Firefly)*. Рассчитанный спектр комбинационного рассеяния находится в удовлетворительном согласии с экспериментальным, что позволило надежно выполнить отнесение частот на основании анализа форм и матрицы распределения потенциальной энергии соответствующих колебаний

В спектре КР ThT наиболее активны деформационные колебания *ССС* углов ароматических колец (полоса при  $800\text{ см}^{-1}$ ),  $\delta(\text{C-H})$  колебания бензольного кольца (полоса при  $1200\text{ см}^{-1}$ ) и ряд полос в области  $1400\text{-}1600\text{ см}^{-1}$ , образованных плоскостными  $\delta(\text{C-H})$  колебаниями колец, деформационными колебаниями метильных групп и  $\nu(\text{C-C})$  колебаниями ароматических углерод-углеродных связей.

Литература

1. A.Maskevich, V.Stsiapura, V.Kuzmitsky, I.Kuznetsova, O.Povarova, V.Uversky, K.Turoverov. *J. Proteome Res.*, 6, (2007) 1392-1401

УДК 535.37+533.951

А.А. Романенко<sup>1</sup>, С.В. Ващенко<sup>1,2</sup>, С.В. Гапоненко<sup>2</sup>

**ОСОБЕННОСТИ ПЛАЗМОННОГО УСИЛЕНИЯ  
ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ОРГАНИЧЕСКИХ МОЛЕКУЛ  
И БИОЛОГИЧЕСКИХ КОНЬЮГАТОВ ВБЛИЗИ  
НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА**

<sup>1</sup>БГУ

*[a.ramanenka@dragon.bas-net.by](mailto:a.ramanenka@dragon.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси*

Явление плазмонного усиления флуоресценции в настоящее время активно исследуется, теоретически и экспериментально, с целью определения оптимальных конфигураций и условий получения максимального эффекта усиления. В перспективе данная методика может быть использована, например, для повышения чувствительности биомедицинских анализов.

В работе [1] была построена теоретическая модель плазмонного усиления флуоресценции статистически большого ансамбля излучателей, выполнено моделирование и получено экспериментальное подтверждение модели на примере усиления флуоресценции конъюгатов «бычье-сывороточный альбумин-флуоресцеин изотиоционат» (БСА-ФИТЦ) вблизи серебряных наночастиц. В данной работе, продолжающей [1], представлены выявленные экспериментально особенности усиления флуоресценции БСА-ФИТЦ и органических молекул Alexa Fluor: а) зависимость от расстояния между наночастицами и флуорофором, б) влияние поляризации возбуждающего излучения, в) влияние разделительных полиэлектролитных слоёв.

Литература

1. Guzatov D.V. [et al.] Plasmonic enhancement of molecular fluorescence near silver nanoparticles: theory, modeling, and experiment // J. Phys. Chem. C. – 2012 (accepted).

УДК 535.37

С. Б. Бушук<sup>1</sup>, Ю. А. Кальвинковская<sup>1</sup>, Б. А. Бушук<sup>1</sup>,  
А. С. Портянко<sup>2</sup>,

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТУБУЛИНОВ В МИКРОТРУБОЧКАХ ЗДОРОВЫХ И РАКОВЫХ КЛЕТОК МЕТОДАМИ ЛАЗЕРНОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ МИКРОСКОПИИ**

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси  
[bushuk@dragon.bas-net.by](mailto:bushuk@dragon.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный медицинский Университет  
[aportyanko@yahoo.com](mailto:aportyanko@yahoo.com)*

Методы лазерной сканирующей микроскопии, флуоресцентной микроспектроскопии и FLIM-FRET были использованы для исследования распределения  $\beta$ I-тубулинов, тирозин-тубулинов и ацетил-тубулинов в микротрубочках интерфазных и делящихся клетках здоровых и раковых тканей толстой кишки. Антитела, специфичные к тубулинам, содержали флуоресцентные метки являющимися донорами и акцепторами энергии электронного возбуждения. Установлено существенное сокращение времени жизни флуоресценции как в здоровых так и в раковых клетках связанное с безызлучательным переносом энергии энергии возбуждения на акцепторную молекулу. Таким образом, с использованием FLIM-FRET метода показано, что структура микротрубочек в клетках здоровых и раковых тканей толстой кишки. содержит  $\beta$ I-тубулины и тирозин-тубулины, расположенные на расстояниях  $<10$  нм. Установлено, что в здоровых тканях, в отличие от раковых, структура микротрубочек содержит  $\beta$ I-тубулины и ацетил-тубулины, расположенные на расстояниях  $<10$  нм.

УДК 535.37; 541.14

К.Н.Каплевский<sup>1</sup>, М.П.Самцов<sup>2</sup>, Тарасов Д.С.  
Ляшенко Л.С., Чалов В.Н.

## **СВОЙСТВА ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ ПОЛИМЕТИНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ В БИОТКАНЯХ ПРИ ЛАЗЕРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ**

<sup>1</sup> *Белорусский государственный университет*

*[Kaplev@bsu.by](mailto:Kaplev@bsu.by)*

<sup>2</sup> *НИУ "Институт прикладных физических проблем им.*

*А.Н.Севченко" БГУ*

*[samtsov@bsu.by](mailto:samtsov@bsu.by)*

Полиметиновые красители, поглощающие и испускающие свет в ближнем инфракрасном диапазоне, используются в качестве биосенсоров, на их основе разрабатываются фотосенсибилизаторы для фотодинамической терапии [1]. Медико-биологическое применение этих соединений предполагает анализ их флуоресцентных свойств в биологических системах.

В работе установлено, что при регистрации флуоресценции красителей *in vivo* для уменьшения собственного свечения биотканей следует использовать возбуждающее излучение лазерных источников с длиной волны более 675 нм. Для обеспечения пропорциональности сигнала флуоресценции красителя его концентрации *in vivo* необходимо контролировать глубину проникновения света и форму спектров флуоресценции. Показано, что путем увеличения площади поверхности регистрации излучения *in vivo* и ослабления механической нагрузки разброс интенсивности в спектрах флуоресценции фотосенсибилизатора уменьшается на порядок.

### Литература

1. Е.С. Воропай, М.П. Самцов, К.Н. Каплевский и др. // Известия РАН. Серия физическая. – 2007. – Т. 71, № 1. – С. 145–149.



УДК 632.95.024.13

Н.И. Соловей, В.С. Анохина, И.Б. Саук,  
В.В. Дуксина, А.М. Лисенкова, В.М. Стецик

## **ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ ПАТОГЕННЫХ ГРИБОВ**

*Белорусский государственный университет,  
[Anokhina@bsu.by](mailto:Anokhina@bsu.by)*

Снижение продуктивности зернобобовых культур связано с их поражаемостью источниками фузариоза и антракноза. Повышение урожайности растений возможно либо за счет создания устойчивых сортов, либо за счет воздействия факторов, снижающих агрессивность патогенов. Первый путь требует поиска доноров и источников устойчивости, что не всегда реально. Ингибирование патогенов возможно за счет воздействия на них физических факторов, в том числе лазерного облучения. Установлено положительное влияние разных способов воздействия лазерным светом на рост и развитие растений, их устойчивость к полеганию и поражаемости болезнями, показано мутагенное и репарирующее действие лазерного излучения.

Целью наших исследований было изучение эффекта действия лазерного облучения на развитие источников фузариоза и антракноза растений. С этой целью нами изучено действие разных длин волн и экспозиции на рост и развитие двух видов грибов рода *Fusarium* и *Colletotrichum*. Установлена специфическая реакция патогенов на конкретное облучение по двум изученным параметрам – площадь колонии гриба и ее динамика. Ингибирование процессов развития патогенов в сравнении с контролем является биологической основой для повышения выживаемости растений и снижения отрицательного эффекта зараженности семян патогенными грибами.

УДК (335.34+535.37):577.3

В.Ю. Плавский, А.И. Третьякова, Л.Г. Плавская,  
А.В. Микулич, А.С. Сташевский, А.С. Грабчиков,  
И.А. Ходасевич, В.А. Орлович

## **ОБ УЧАСТИИ СИНГЛЕТНОГО КИСЛОРОДА В ФОТОДЕСТРУКЦИИ БИЛИРУБИНА В РАСТВОРЕ**

*Институт физики НАН Беларуси,  
[v.plavskii@ifanbel.bas-net.by](mailto:v.plavskii@ifanbel.bas-net.by)*

В настоящей работе впервые получены данные, свидетельствующие о сенсibilизированной *Z,Z*-билирубином IX $\alpha$  люминесценции синглетного кислорода в органических растворителях, а также в водных растворах в составе комплекса с сывороточным альбумином человека (САЧ). Выполнены также исследования закономерностей фотохимических реакций в молекуле билирубина при прямом возбуждении растворенного молекулярного кислорода путем воздействия мощного лазерного излучения в полосу его поглощения в ИК-области.

Показано, что, несмотря на малое значение коэффициента молярной экстинкции O<sub>2</sub> в области 1064 нм ( $\epsilon \sim 10^{-4} \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), воздействие лазерного излучения плотностью мощности 20-30 Вт/см<sup>2</sup> ( $t = 30$  мин) приводит к изменению спектров поглощения и флуоресценции билирубина. Эффект максимален при использовании растворителей (CCl<sub>4</sub>), характеризующихся большим временем жизни <sup>1</sup>O<sub>2</sub>; и резко падает в присутствии тушителей синглетного кислорода (азид натрия в водном растворе). Фотодеструкция билирубина не наблюдается при облучении комплекса САЧ-билирубин, в котором пигмент глубоко погружен в пространственную глобулу макромолекулы белка и практически не взаимодействует с водным окружением. Констатируется наличие эффекта «белковой защиты» за счет экранирования молекулы билирубина аминокислотами САЧ (триптофаном, гистидином и др.), характеризующимися высокой константой скорости взаимодействия с <sup>1</sup>O<sub>2</sub>.

УДК (335.34+535.37):577.3

В.Ю. Плавский, А.В. Микулич, Л.Г. Плавская,  
А.И. Третьякова

## **НОВЫЕ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРЫ ДЛЯ АНТИМИКРОБНОЙ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ**

*Институт физики НАН Беларуси,  
[v.plavskii@ifanbel.bas-net.by](mailto:v.plavskii@ifanbel.bas-net.by)*

Актуальность разработки методов антимикробной фотодинамической терапии (АФДТ) вызвана в первую очередь наличием устойчивости (резистентности) возбудителей различных заболеваний к лечебным препаратам (антибиотикам).

Для широкого практического внедрения методов АФДТ необходимы доступные, разрешенные к использованию фотосенсибилизаторы, спектральный диапазон поглощения которых соответствует спектру излучения сертифицированных фототерапевтических аппаратов на основе лазерных и светодиодных источников. В настоящей работе впервые предложено в качестве фотосенсибилизаторов для АФДТ использовать антимикробные фармпрепараты, производные нитрофурана, фурацилин (действующее вещество нитрофураза) и фурасол (действующее вещество фуразидин). В отсутствие света указанные лекарственные средства хорошо взаимодействуют с грамположительными и грамотрицательными бактериями, что способствует высокой эффективности фотодинамического действия в отношении указанной микрофлоры. Отличительной особенностью предложенных фотосенсибилизаторов является их растворимость в воде, а также в этаноле (фурацилин). Водные растворы фурасола характеризуются наличием двух максимумов в спектре поглощения: при  $\lambda = 293$  нм и  $\lambda = 395$  нм. Для фурацилина соответствующие максимумы расположены при  $\lambda = 261$  нм и  $\lambda = 375$  нм. Показано, что фотодинамическое действие, сенсibilизированное указанными нитрофуранами, реализуется с участием синглетного кислорода.

УДК 616-71

С.К. Дик<sup>1</sup>, А.С. Терех<sup>1</sup>, Н.И. Росеник<sup>2</sup>, Г.Г. Чистякова<sup>2</sup>,  
А.В. Смирнов<sup>1</sup>

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО ПОВЫШЕНИЯ  
ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРИ ПУЛЬПАРНОЙ КАМЕРЫ  
ЗУБА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЛАЗЕРНОГО  
И СВЕТОДИОДНОГО ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ  
IN VITRO**

*<sup>1</sup>Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
[sdick@bsuir.by](mailto:sdick@bsuir.by)*

*<sup>2</sup>Белорусский государственный медицинский  
университет*

При воздействии лазерного либо светодиодного излучения на поверхность зуба происходит нагревание твёрдых тканей и пульпы. Повышение температуры внутри пульпарной камеры выше порогового значения обуславливает нарушение микроциркуляции и, в конечном итоге, приводит к гибели пульпы.

Разработана методика измерения внутрипульпарной температуры в зубах *in vitro* для сравнительной оценки воздействия лазерного и светодиодного источников излучения.

В качестве лазерного излучателя при проведении экспериментальных исследований использовался лазерный диод с максимальной выходной мощностью 250 мВт, длиной волны 660 нм и светодиодная лампа LEDEX WL-070 с длиной волны излучения 460 нм и мощностью 1000 мВт. Время облучения составляло 8 мин.

Установлено, что при освещении лазерным излучением мощностью 120 мВт время экспозиции должно быть не более 415 секунд. При использовании светодиода с длиной волны излучения 460 нм и мощностью 1000 мВт необходимо ограничить время воздействия излучения до 60 секунд.

УДК 577.344 + 615.831.4 + 616.1

Г.А. Залеская<sup>1</sup>, О.В. Ласкина<sup>2</sup>, Н.П. Митьковская<sup>2</sup>

## **РЕГУЛЯТОРНЫЙ И НОРМАЛИЗУЮЩИЙ ЭФФЕКТЫ УФ ОБЛУЧЕНИЯ КРОВИ НА ЛИПИДНЫЙ ОБМЕН И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРОВИ**

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

*[zaleskaya@imaph.bas-net.by](mailto:zaleskaya@imaph.bas-net.by)*

*<sup>2</sup>Белорусский государственный медицинский университет,*

Изучено влияние экстракорпорального УФ-облучения крови (УФОК) на липидный обмен и коагуляционные характеристики крови, влияющие на развитие ишемической болезни сердца. До и после УФОК определялись концентрации общего холестерина, холестерина липопротеинов высокой и низкой плотности, триглицеридов, протромбиновое время, содержание фибриногена, активированное частичное тромбопластиновое время, элетрофоретическая подвижность эритроцитов, а также изменения степени насыщения гемоглобина кислородом ( $\Delta S_{vO_2}$ ). Показано, что включение УФОК в комплексное лечение больных с острым коронарным синдромом приводит к положительной динамике как показателей липидного обмена, так и коагуляционных свойств крови. Коррекция этих показателей при одних и тех же дозах УФОК проявлялась у разных пациентов их снижением при высоких начальных уровнях и, напротив, повышением при низких. Положительные изменения липидного обмена и коагуляционных свойств крови имели место в узком интервале изменений ( $\Delta S_{vO_2}$ ). Сделан вывод, что инициированные УФОК изменения баланса между образованием активных форм кислорода и их ингибированием антиоксидантными системами могут как активировать, так и подавлять рассматриваемые процессы вследствие отличий молекулярно-клеточных механизмов активации процессов липопероксидации.

**ФОТОПРОЦЕССЫ, ИНИЦИИРУЕМЫЕ В КРОВИ  
ПРИ АНТИМИКРОБНОЙ ФОТДИНАМИЧЕСКОЙ  
ТЕРАПИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТИЛЕНОВОГО  
СИНЕГО**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси  
[zaleskaya@imaph.bas-net.by](mailto:zaleskaya@imaph.bas-net.by)*

В работе по изменениям под действием лазерного излучения ( $\lambda = 630$  нм,  $W = 29$  мВт/см<sup>2</sup>) спектральных характеристик крови и растворенного в ней метиленового синего (МС) при антимикробной фотодинамической терапии (АФДТ) изучены: природа межмолекулярных взаимодействий МС с биомолекулами крови в основном и возбужденном электронном состояниях; влияние лазерного излучения и концентрации МС на изменение степени оксигенации крови.

По спектрам поглощения МС, растворенного в крови, установлено, что МС образует комплексы с белками крови такими, как альбумин, обладающий сродством к МС, что изменяет фотосенсибилизирующие свойства МС. Лазерное воздействие инициирует конформационные переходы в макромолекулах белков крови, вызывая изменения ИК спектров поглощения крови с МС. Фотореакции крови с МС повышают исходную степень оксигенации венозной крови, проявляющуюся в изменениях спектров поглощения крови с МС в области 700-1200 нм. Сделан вывод о том, что при режимах облучения и концентрациях МС, используемых для АФДТ и дезинфекции крови, МС образует комплексы с белками крови, не препятствующие генерации активных форм кислорода. На основании модельных расчетов температур крови, содержащей МС, оценено влияние ее нагрева лазерным излучением на фотоиндуцированные процессы.

УДК 615.849.19:534.35

А.М. Сафаров<sup>1</sup>, Д. Д. Хомидов<sup>1</sup>, Т. Шукуров<sup>2</sup>

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРОТЕРАПИИ У БОЛЬНЫХ С ЖЕЛЧНО-КАМЕННОЙ БОЛЕЗНЬЮ, ОСЛОЖНИВШЕЙСЯ ЖЁЛЧНЫМ ПЕРИТОНИТОМ**

*<sup>1</sup>Городская клиническая больница скорой медицинской  
помощи*

*E-mail: [H.Jamshed@mail.ru](mailto:H.Jamshed@mail.ru)*

*<sup>2</sup>Физико-технический институт им. С. У. Умарова Академия  
наук Республики Таджикистана. E-mail: [t.shukurov@mail.ru](mailto:t.shukurov@mail.ru)*

Повышение эффективности послеоперационного лечения больных с желчно-каменной болезнью (ЖКБ), осложнившейся жёлчным перитонитом является очень актуальным, так как частота заболевания не сокращается.

Настоящая работа посвящена изучению влияния внутривенного облучения крови (ВЛОК) в комплексе с интенсивной послеоперационной терапией системы гемодинамики больных с ЖКБ с применением лазера красного диапазона ( $\lambda = 0,63$  мкм) с выходной мощностью 5 мВт. Длительность первого и последнего сеансов ВЛОК составляла 17 минут, остальные 25-30 минут. В зависимости от тяжести течения заболевания курс ВЛОК состоял из 8 – 10 сеансов, которые проводились ежедневно.

Контроль курса проводимой терапии при ЖКБ осложнившейся жёлчным перитонитом проводился как традиционными клиническими способами, так и методом инфракрасной (ИК) спектроскопии. Проводились сравнительный анализ ИК-спектров плазмы крови группы больных, которые получали ВЛОК до и после операции, на 4-6 день и перед выпиской, со спектрами контрольной группы и донора. Сравнительный анализ ИК-спектров группы больных, которые получали ВЛОК, показывает, что в сравнении с контрольной группой они быстрее приближаются к спектрам донора, что указывает на эффективность метода.

УДК 615.831.7; 615.832.1

А.Н. Осипов, М.Х.-М. Тхостов, М.М. Меженная

## **УСТРОЙСТВО МНОГОЗОНАЛЬНОГО НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА**

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники,  
[mmmarina@tut.by](mailto:mmmarina@tut.by)*

Разработано устройство многозонального низкоинтенсивного воздействия инфракрасным (ИК) излучением для восстановления человеческого организма, которое представляет собой кабину с входной дверью, воздушными отверстиями и размещенными внутри нее источниками инфракрасного излучения. Разработанное устройство характеризуется следующими преимуществами по сравнению с существующими аналогами: возможность воздействия на организм человека энергией различных спектральных диапазонов ИК излучения (многозональное воздействие): коротковолновым, средневолновым, длинноволновым; низкое энергопотребление ИК камеры (0,4 кВт) по сравнению с существующими аналогами (0,9 кВт и более) за счет ее конструктивных особенностей; поддержание температуры в ИК камере в диапазоне 38 °С в области тела, что существенно ниже производимых аналогов (более 40°С), а как результат – снижение нежелательного перегрева.

Результаты работы представляют интерес для инженеров, специализирующихся в области разработки технических средств воздействия ИК излучением с целью профилактики и лечения заболеваний органов и функциональных систем человека, а также врачей физиотерапевтов.



УДК 615.849.19

Н.М. Орёл, Е.С. Пышко, Д.Ю. Соколовский,  
Т.А Железнякова, А.М. Лисенкова, И.А. Кобак, В.А. Щербатюк

**РЕГУЛЯЦИЯ МЕТАБОЛИЗМА В ПЕЧЕНИ КРЫС  
С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ХОЛЕСТАЗОМ ПУТЕМ  
ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ  
НА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ТОЧКИ**

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет,  
[lisenkova@bsu.by](mailto:lisenkova@bsu.by)*

Разработана методика и установлена ее эффективность для нормализации изменений ряда показателей липидного обмена, активности ключевых ферментов углеводно-энергетического и аминокислотного метаболизма, процессов перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты в печени крыс с экспериментальным доксициклиновым внутрипеченочным холестазом путем воздействия НИЛИ инфракрасного и красного диапазонов длин волн на биологически активные точки (БАТ), расположенные на 3-ей боковой линии брюшной поверхности животного.

Положение БАТ определено с помощью разработанного миниатюрного устройства поиска БАТ с минимальным воздействием на организм экспериментальных животных. Предположительно они топографически соответствуют БАТ 217 и 218 человека, иглорефлексотерапевтическое воздействие на которые регулирует функцию печени. Установленные эффекты могут быть обусловлены сочетанием, как неспецифического влияния лазерного излучения, так и активацией НИЛИ области БАТ.

## **DISCERNING ACUTE LEUKEMIA LINEAGES VIA MONONUCLEAR SIZE DISTRIBUTIONS**

<sup>1</sup>*B.I. Stepanov Institute of Physics, the National academy of sciences of Belarus, [ruban@dragun.bas-net.by](mailto:ruban@dragun.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Center of Transfusiology and biomedicine technologies, Ministry of Health of Belarus, [ddna@mail.bn.by](mailto:ddna@mail.bn.by)*

Acute leukaemias are categorized onto lymphoid and myeloid types according to an affected cell lineage. The diseases are diagnosed by morphology study, laser-based immunophenotyping (IM), and (or) molecular detection (MD). In some cases, however, the results need to be further improved. Besides, IM and MD are rather expensive. We suggest determining the affected lineage by a simple method to reduce, in some instances, diagnostic expenses, and to investigate the tumor cell cluster more thoroughly.

Our DIC-microscopy data on living blood cells, for normal [1] and leukaemia, enable one to reveal the affected lineage by mononuclear size distributions (MSDs). Thus, MSDs measurements – available also with simple blood analyzers – are proposed as an inexpensive, highly predictive method to distinguish lymphoid and myeloid lineage types. MSDs data are especially useful for leukemia monitoring.

### References

2. Ruban G.I. *et al.* Morphometric parameters for lymphocytes // *J. Biomed. Opt.* – 2007. – V.50. – 044017-1-11.

<sup>1</sup>А.М.Коробов, <sup>1</sup>Т.А.Лесная, <sup>2</sup>О.В.Николаева,  
Н.А.Клименко, <sup>2</sup>С.В.Татарко

**ЛЕЙКОЦИТАРНАЯ РЕАКЦИЯ ОЧАГА  
ВОСПАЛЕНИЯ И ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ С МОДЕЛЬЮ  
ПЕРИТОНИТА НА ДЕЙСТВИЕ  
НЕМОНОХРОМАТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ  
ВОЛНЫ 530 НМ**

<sup>1</sup> *Харьковский национальный университет имени  
В.Н.Каразина,  
НИИ лаборатория квантовой биологии и квантовой  
медицины  
пл. Свободы, 4, 61022, г. Харьков, Украина  
тел.: +38(057)754-80-37; +38(067)731-14-31, тел./факс  
+38(057)707-51-91  
e-mail: [lblm@univer.kharkov.ua](mailto:lblm@univer.kharkov.ua)*

<sup>2</sup> *Харьковский национальный медицинский университет,  
кафедра патологической физиологии,  
пр.Ленина, 4, 61022, г.Харьков, Украина*

Низкоинтенсивное лазерное (монохроматическое) и светодиодное (немонохроматическое) излучение различных участков видимого диапазона спектра широко используется в цветотерапии для лечения и профилактики наиболее распространенных заболеваний человека, в том числе вызванных иммунными нарушениями. Однако выбор излучения того или иного участка спектра до сих пор осуществляется эмпирически, поскольку нет достаточного количества экспериментальных данных о закономерностях и механизмах действия низкоинтенсивного излучения различных участков видимого диапазона спектра на биологические системы.

**Цель работы:** изучить в динамике действие немонохроматического излучения зеленого диапазона спектра с длиной волны 530 нм на лейкоцитарную реакцию очага воспаления и периферической крови экспериментальных животных с моделью перитонита.

**Материалы и методы.** Эксперимент поставлен на 102 половозрелых крысах-самцах линии Вистар массой 200-240 г. Животные были разделены на 3 группы: первая - животные с моделью асептического перитонита; вторая - животные с

моделью асептического перитонита, на которых воздействовали немонахроматическим излучением зеленого диапазона спектра; третья - интактные животные. Облучение экспериментальных животных проводилось светодиодными источниками с длиной волны максимума полосы излучения 530 нм. Мощность излучения составляла 25 мВт при апертуре 1 см<sup>2</sup>. Транскутанное облучение зоны пупартовой связки немонахроматическим излучением зеленого диапазона спектра проводили ежедневно в утреннее время (по 5 минут на сеанс) в течение 14 дней.

Для изучения динамики лейкоцитарной реакции животные выводились из эксперимента через 6 часов после облучения, а дальше через 1 сутки, 2 суток, 3 суток, 5 суток, 7 суток, 10 суток, 14 суток.

О лейкоцитарной реакции очага воспаления судили на основании определения общего количества лейкоцитов (ОКЛ) и клеточного состава экссудата.

О лейкоцитарной реакции периферической крови судили на основании определения общего количества лейкоцитов (ОКЛ) и лейкоцитарной формулы.

**Результаты.** Установлено, что при воспалении на фоне действия зеленого света в ранние сроки наблюдается более выраженное увеличение ОКЛ, содержания нейтрофилов и моноцитов, и менее выраженное уменьшение числа лимфоцитов в очаге, чем при естественном течении воспаления. В более поздние сроки воспаления ОКЛ, содержание моноцитов и лимфоцитов в очаге ниже, чем при естественном течении воспаления. Эти изменения подтверждаются сдвигами со стороны лейкоцитарной реакции периферической крови: в ранние сроки воспаления, протекающего на фоне действия зеленого света, ОКЛ, содержание нейтрофилов, моноцитов и лимфоцитов в крови меньше, чем при естественном течении воспаления, что объясняется повышенным выходом лейкоцитов в очаг.

Таким образом, при применении зеленого света происходит более интенсивная эмиграция лейкоцитов в очаг, что приводит к более быстрой элиминации флогогена и поврежденной ткани и завершению воспаления. Все это свидетельствует о противовоспалительном действии зеленого света (при примененной его дозе).

Работа выполнена в рамках украинско-белорусского проекта, финансируемого Государственным Фондом фундаментальных исследований Украины.

<sup>1</sup>Коробов А.М., <sup>2</sup>Климова Е.М., <sup>1</sup>Лесная Т.А., <sup>2</sup>Лавинская Е.В., <sup>2</sup>Быченко Е. А.

**ИЗМЕНЕНИЕ ФАКТОРОВ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ И СПЕЦИФИЧЕСКОЙ ГУМОРАЛЬНОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ У ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЖИВОТНЫХ С МОДЕЛЬЮ АСЕПТИЧЕСКОГО ПЕРИТОНИТА ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВИДИМОГО СВЕТА С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 595 НМ.**

<sup>1</sup> *Харьковский национальный университет имени В.Н.Каразина, НИИ лаборатория квантовой биологии и квантовой медицины пл. Свободы, 4, 61022, г. Харьков, Украина  
тел.: +38(057)754-80-37; +38(067)731-14-31, тел./факс +38(057)707-51-91  
e-mail: [lblm@univer.kharkov.ua](mailto:lblm@univer.kharkov.ua)*

<sup>2</sup> *ГУ «Институт общей и неотложной хирургии НАМНУ» въезд Балакирева, 1, 61018, г. Харьков, Украина  
тел.: +38 (050) 30-33-172; тел.: +38(057)349-41-15  
e-mail: [Klimova\\_elen@list.ru](mailto:Klimova_elen@list.ru)*

В работе исследовали изменение клеточных факторов неспецифической резистентности и гуморальных факторов вторичного адаптивного иммунитета у животных с моделью асептического перитонита после воздействия видимого света с длиной волны  $\lambda = 595$  нм.

**Материалы и методы.** Эксперимент поставлен на 102 половозрелых крысах-самцах линии Вистар массой 200-240г. Животные были разделены на 3 группы: первая - животные с моделью асептического перитонита; вторая - животные с моделью асептического перитонита, на которых воздействовали немонахроматическим излучением желтого диапазона спектра; третья - интактные животные. Облучение экспериментальных животных проводилось светодиодными источниками с длиной волны максимума полосы излучения 595 нм. Мощность излучения составляла 25 мВт при апертуре 1 см<sup>2</sup>. Транскутанное облучение зоны пупартовой связки немонахроматическим

излучением желтого диапазона спектра проводили ежедневно (по 5 минут на сеанс) в течение двух недель.

Для изучения показателей крови в динамике животные выводились из эксперимента через 6 часов после облучения, а дальше через 1 сутки, 2 суток, 3 суток, 5 суток, 7 суток, 10 суток, 14 суток.

Материалом для исследования служили форменные элементы крови и сыворотка крови животных, в которых изучали активность фагоцитоза гранулоцитарных нейтрофилов, ферментативную активность фагоцитирующих клеток, образующих активные формы кислорода (АФК) в НСТ-тесте; концентрацию иммуноглобулинов классов А, М, G, циркулирующих иммунных комплексов (ЦИК), пептидов средней молекулярной массы (ПСММ), лимфоцитотоксичность.

**В результате проведенных экспериментальных исследований** выявили достоверные изменения иммунорезистентности первичного и вторичного звена у животных обеих групп по сравнению с интактными животными. В начале эксперимента у животных второй группы наблюдали активацию фагоцитоза, что выражалось в увеличении фагоцитарного индекса (ФИ). К 7-м суткам после введения ЛПС у животных первой группы наблюдали значительное угнетение всех показателей фагоцитоза, характеризующих хемотаксис, адгезию и эндоцитоз фагоцитов. У животных второй группы с моделью перитонита после многократного облучения желтым светом к 7-м суткам эксперимента выявили значительную позитивную стимуляцию всех исследуемых показателей фагоцитирующих нейтрофилов. Фагоцитарный индекс, фагоцитарное число и завершенность фагоцитоза у животных с перитонитом, облученных желтым светом, были достоверно выше, чем в первой группе. К 14-м суткам показатели фагоцитоза были высокими во второй группе животных и у животных первой группы также наблюдали нормализацию изучаемых показателей. Что касается активности ферментов фагоцитирующих клеток, то во второй группе животных в результате облучения желтым светом позитивно возрос показатель среднего стимулированного цитохимического коэффициента. В дальнейшие сутки наблюдения у этих

животных возрос индекс стимуляции, а к концу эксперимента данный показатель несколько снизился в обеих группах. Показатели гуморального иммунитета в начале эксперимента изменялись не достоверно, к концу эксперимента в обеих исследуемых группах снизилась концентрация иммуноглобулинов А, М, G. У животных, облученных желтым светом, в 1,5 раза возростала концентрация ЦИК вплоть до 2-х суток. Начиная с 3-х по 11-е сутки облучение стимулировало образование комплексов антиген+антитело+комплемент=ЦИК у облученных животных. Концентрация ПСММ возросла в обеих исследуемых группах в начале эксперимента. В последующие сроки концентрация ПСММ неуклонно возрастала у животных с перитонитом и достоверно снижалась у животных с перитонитом на фоне облучения желтым светом. Показатель лимфоцитотоксичности достоверно снижался у животных второй группы к 11- суткам. А у животных первой группы данный показатель несколько снизился только к 14-м суткам эксперимента.

Работа выполнена в рамках украинско-белорусского проекта, финансируемого Государственным Фондом фундаментальных исследований Украины.

## **Секция 3. Новые лазерно- оптические материалы**



УДК 535.34

А.А. Казак, А.Л. Толстик, Е.А. Мельникова

## **УПРАВЛЕНИЕ ЛАЗЕРНЫМИ ПУЧКАМИ С ПОМОЩЬЮ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Белорусский государственный университет,  
[kazakAA@bsu.by](mailto:kazakAA@bsu.by)*

Широкие возможности использования жидкокристаллических (ЖК) элементов для управления световыми полями представляют большой интерес для многих научно-исследовательских организаций.

В данной работе представлена экспериментальная реализация создания новых электрически управляемых жидкокристаллических элементов на основе фотополимерного ориентанта. Используемый в работе полимерный материал, ориентируя нематический жидкий кристалл, позволил формировать фазовые анизотропные дифракционные структуры, обеспечивающие возможность преобразования исходного лазерного пучка в пучок с необходимыми поляризационными и фазовыми свойствами.

Посредством модуляции показателя преломления из-за пространственной переориентации молекул ЖК ориентирующим покрытием на одной из подложек ячейки, осуществляется формирование сингулярных оптических пучков с необходимым топологическим зарядом. При этом, в элементе предусмотрена возможность электрического управления дифракционной эффективностью.

Так же в работе представлены элементы, которые, за счет сформированной в ЖК-ячейке твист-структуры, способны изменять поляризацию в поперечном сечении лазерного пучка. Экспериментальные образцы продемонстрировали возможность формирования как гауссовых, так и сингулярных световых пучков с радиальной или азимутальной поляризацией.

И. П. Шилов<sup>1</sup>, А. А. Замятин<sup>1</sup>, А. А. Маковецкий<sup>1</sup>,  
Л. Ю. Кочмарев<sup>1</sup>, А. В. Иванов<sup>2</sup>

## **ВОЛОКОННЫЕ СВЕТОВОДЫ НА ОСНОВЕ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА, ЛЕГИРОВАННОГО ФТОРОМ ДЛЯ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ И ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ДИАГНОСТИКИ РАКА**

<sup>1</sup> *Институт Радиотехники и Электроники им. В. А.  
Котельникова РАН, Фрязинский филиал*  
[laserlab@ms.ire.rssi.ru](mailto:laserlab@ms.ire.rssi.ru)

<sup>2</sup> *ФГУП Российский онкологический научный центр им.  
Н. Н. Блохина РАМН*  
[ivavi@yandex.ru](mailto:ivavi@yandex.ru)

В ряду существующих типах различных волоконных световодов (ВС) наиболее эффективными для нашей задачи являются многомодовые ВС со следующей структурой: высокочистое кварцевое стекло–сердцевина и с отражающей оболочкой из кварцевого стекла, легированного фтором. Такие волокна вносят наименьшее искажение в спектр и имеют высокую трансмиссию во всем спектральном диапазоне 0,2-1,3 мкм. Нами исследовались спектральные характеристики различных многомодовых волокон и на основе анализа спектральных потерь в диапазоне 0,18-1,10 мкм выбраны:

- оптические волокна типа UV50/125/128P, UV100/110/129P, UV200/220/245P с полиимидным протектирующим покрытием и числовой апертурой NA=0,22;

- оптические волокна с покрытием из алюминия–UV100/110/129Al, UV200/220/295Al, UV300/330/390Al

-оптические волокна типа WF600/660/900Pol с полимерным защитным покрытием.

Последний тип световодов, изготовленных из сухого кварца (0,1-5,0 ppm, ВС типа WF), востребованы для фотодинамической терапии рака.

ВС с относительно высоким содержанием гидроксил-ионов (1200-1300 ppm, ВС типа UV) обеспечивает минимум

оптических потерь и искажений спектров в диапазоне 180-650 нм. Волокна, покрытые алюминием, обеспечивают также полную защиту от проникновения посторонних оптических сигналов через боковую поверхность волокна, что существенно при анализе спектров люминесценции (процесс люминесцентной диагностики рака).

Разработка заготовок ВС, удовлетворяющих данным требованиям, проводилась нами на базе созданной в ФИРЭ им. В. А. Котельникова РАН СВЧ-плазмохимической технологии. Заготовки световодов формировались на СВЧ-плазмохимической установке пониженного давления. Показатель преломления состава  $\text{SiO}_2\text{-F}$  существенно ниже, чем у чистого кварцевого стекла, что дает возможность изготавливать заготовки состава  $\text{SiO}_2\text{-F/SiO}_2$  с повышенной числовой апертурой (0,25-0,30).

Вытяжка ВС из получаемых заготовок осуществлялась по известной технологии с использованием графитовой печи. Для придания большей прочности и гибкости световодам в качестве защитного покрытия применялся полиамид П-12.

На основе разработанных световодов был создан волоконно-оптический зонд, содержащий в своей конструкции центральный световод состава  $\text{SiO}_2\text{-F/SiO}_2$  с диаметром сердцевины 200 мкм и числовой апертурой 0,22 для возбуждения люминесценции от полупроводникового лазера (длина волны-405нм), а также 12 периферийных световодов аналогичного состава и геометрии для ее детектирования. Числовая апертура периферийных ВС составляла 0,26-0,30.

УДК 535.3; 539.23

В.В. Ковгар<sup>1</sup>, Г.Е. Малашкевич<sup>1</sup>,  
И.А. Ходасевич<sup>1</sup>, А.А. Суходола<sup>1</sup>, Е.В. Пестряков<sup>2</sup>

## СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ПЛЁНОК СИСТЕМЫ $\text{SiO}_2-(\text{Yb}_{1-x}\text{Er}_x)_2\text{O}_3$

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,*

*[g.malashkevich@ifanbel.bas-net.by](mailto:g.malashkevich@ifanbel.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Институт лазерной физики СО РАН,*

*[pefvic@laser.nsc.ru](mailto:pefvic@laser.nsc.ru)*

Золь-гель методом синтезированы кремнеземные плёнки с наночастицами  $\text{Yb}_2\text{O}_3:\text{Er}$  в концентрации до 20 масс % и исследованы их структура, электронно-микроскопические и спектрально-люминесцентные свойства в зависимости от концентрации Ln и условий синтеза. Установлено, что при возбуждении в полосе поглощения ионов  $\text{Yb}^{3+}$  спектр люминесценции таких плёнок характеризуется наличием интенсивной полосы  ${}^2F_{5/2} \rightarrow {}^2F_{7/2}$  ( $\lambda \approx 1030$  нм) и более слабой полосы кооперативной люминесценции этих ионов на удвоенной частоте данного перехода. Кроме того в этом спектре присутствуют полосы антистоксовой люминесценции ионов  $\text{Er}^{3+}$ , обусловленные переходами  ${}^2H_{11/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$  ( $\lambda \approx 522$  нм),  ${}^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$  ( $\lambda \approx 547$  нм),  ${}^4F_{9/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$  ( $\lambda \approx 660$  нм) и  ${}^4S_{3/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$  ( $\lambda \approx 880$  нм). При этом относительная интенсивность полос антистоксовой люминесценции радикальным образом зависит от удельной мощности и длительности импульса ИК-возбуждения, что связано главным образом с медленным заселением состояния  ${}^4F_{9/2}$ . Исследована кинетика разгорания и затухания люминесценции в указанных полосах и её зависимость от степени фторирования плёнок. Отмечается, что подобные плёнки представляют интерес в качестве визуализаторов ИК-излучения с высоким пространственным разрешением.

УДК 535.327

П.А. Лойко<sup>1</sup>, В.В. Филиппов<sup>2</sup>, К.В. Юмашев<sup>1</sup>,  
Н.В. Кулешов<sup>1</sup>

## АНИЗОТРОПИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ В МОНОКЛИННЫХ КРИСТАЛЛАХ KGdW И KYW

<sup>1</sup> НИЦ оптических материалов и технологий,  
Белорусский

национальный технический университет,

[kinetic@tut.by](mailto:kinetic@tut.by)

<sup>2</sup> Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси

Моноклинные кристаллы двойных калий-редкоземельных вольфраматов KGdW, KYW, активированные ионами Nd<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup> и Tm<sup>3+</sup>, широко используются в качестве активных сред лазеров, излучающих в ближнем ИК-диапазоне спектра. В данной работе экспериментально исследована анизотропия показателей преломления  $n$  и их температурных коэффициентов  $dn/dT$  в указанных кристаллах при помощи *модифицированного* метода минимальных отклонений, учитывающего изменение размера и формы исследуемых образцов (призм) под действием эффекта термического расширения. Измерения проведены в диапазоне температур 20–200°C на длинах волн излучения 436, 492, 546, 579 и 633 нм. Величины  $dn/dT$  удовлетворяют соотношениям  $dn_m/dT > dn_g/dT > dn_p/dT$  (для KYW) и  $dn_m/dT > dn_p/dT > dn_g/dT$  (для KGdW), отрицательны и уменьшаются при увеличении длины волны излучения. На длине волны излучения 633 нм  $dn_p/dT = -10.6$ ,  $dn_m/dT = -8.4$ ,  $dn_g/dT = -15.2$  для KGdW;  $dn_p/dT = -10.1$ ,  $dn_m/dT = -7.3$ ,  $dn_g/dT = -8.4$  для KYW [10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>]. Главные показатели преломления при комнатной температуре  $n_p = 2.014$ ,  $n_m = 2.046$ ,  $n_g = 2.086$  (для KGdW);  $n_p = 1.998$ ,  $n_m = 2.040$ ,  $n_g = 2.087$  (для KYW). Для кристаллов KGdW и KYW оптические оси образуют углы  $\pm 42.6^\circ$  и  $\pm 44.1^\circ$  с направлением оси оптической индикатрисы  $N_g$  в плоскости осей  $N_p$ - $N_g$ , соответственно. Отрицательные значения величин  $dn/dT$  в кристаллах двойных вольфраматов обуславливают существование в них атермальных направлений распространения излучения.

УДК 532.783:35.771:535.36

Лойко В.А.,<sup>1</sup> Зырянов В.Я.,<sup>2</sup> Конколович А.В.,<sup>1</sup>  
Мискевич А.А.<sup>1</sup>

## **ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА ПЛЕНКАМИ С КАПЛЯМИ ЖИДКОГО КРИСТАЛЛА**

<sup>1</sup>*Институт Физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси,  
[loiko@dragon.bas-net.by](mailto:loiko@dragon.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН,  
[zyr@iph.krasn.ru](mailto:zyr@iph.krasn.ru)*

Рассмотрено преобразование поляризации линейно поляризованного света монослойными пленками капсулированных полимером нематических жидких кристаллов (КПНЖК), с неоднородными граничными условиями типа “тангенциально-нормальные” на поверхности раздела жидкий кристалл-полимер [1].

В рамках интерференционного приближения проведен анализ азимута, эллиптичности и степени поляризации для когерентной компоненты прошедшего излучения слоев, содержащих крупные ориентированные капли жидкого кристалла. Полученные результаты могут быть использованы при разработке поляризаторов на основе монослойных КПНЖК пленок.

### **Литература**

1. Крахалев М.Н., Лойко В.А., Зырянов В.Я. Электрооптические характеристики полимер-диспергированной ЖК пленки // Письма в ЖТФ. – 2011. –Т. 37. № 1. - С. 72-77.

**УСИЛЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ МОЛЕКУЛЫ  
ВБЛИЗИ СФЕРИЧЕСКОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ  
НАНОЧАСТИЦЫ**

<sup>1</sup>*ГрГУ им. Янки Купалы,*

*[guzatov@gmail.com](mailto:guzatov@gmail.com)*

<sup>2</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова НАНБ*

В работе предложена теоретическая модель, описывающая изменение интенсивности люминесценции молекулы вблизи сферической металлической наночастицы, учитывающая как изменение интенсивности локального электрического поля, так и вероятности излучательных и безызлучательных переходов. Фактор изменения интенсивности люминесценции численно проанализирован для различных длин волн падающего излучения и расстояния молекулы до поверхности серебряной наночастицы. Показано, что увеличение интенсивности люминесценции молекулы вблизи наночастицы из серебра может достигать 50 в интервале расстояний молекула-частица 5...7 нм.

УДК 535.37

Д.В. Гузатов<sup>1</sup>, В.В. Климов<sup>2</sup>, Н.С. Попрукайло<sup>1</sup>

## **СПОНТАННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КИРАЛЬНЫХ МОЛЕКУЛ ВБЛИЗИ КИРАЛЬНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ**

<sup>1</sup>*ГрГУ им. Янки Купалы*

*[guzatov@gmail.com](mailto:guzatov@gmail.com)*

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

В работе теоретически исследуется радиационная скорость спонтанного распада киральной (оптически активной) молекулы, расположенной как вблизи одиночной сферической частицы, так и вблизи кластера из двух сферических частиц, изготовленных из кирального (би-изотропного) материала. Показано, что не равная нулю киральность сферической частицы приводит к увеличению числа возбуждаемых мод в киральной частице, по сравнению с не киральной, что обусловлено возникновением связи между лево- и правополяризованными волнами. Показано, что радиационные скорости спонтанного распада «правых» и «левых» энантиомеров молекул вблизи киральных сферических частиц могут существенно различаться. При этом для подавления излучения «левых» молекул надо использовать MNG-метаматериалы, в то время как для подавления излучения «правых» молекул нужно использовать DNG-метаматериалы для изготовления сферических частиц. В случае киральных молекул, расположенных в зазоре между киральными сферическими частицами указанное различие еще более увеличивается. Полученные результаты могут быть использованы как для анализа и интерпретации экспериментальных данных по взаимодействию киральных молекул и частиц, так и при создании устройств для детектирования и селекции киральных молекул с помощью киральных частиц.



УДК 538.915+538.958+621.373.8

В.С. Гурин<sup>1</sup>, Г.Е. Рачковская<sup>2</sup>, Г.Б. Захаревич<sup>2</sup>,  
К.В. Юмашев<sup>3</sup>, П.А. Лойко<sup>3</sup>

## **СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕКОЛ С НАНОЧАСТИЦАМИ PbS И PbSe ДЛЯ НЕЛИНЕЙНО- ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

<sup>1</sup>НИИ ФХП БГУ, Минск, Беларусь, e-mail: gurin@bsu.by;

<sup>2</sup>БГТУ, Минск, Беларусь; <sup>3</sup>НИЦ ОМТ, БГПА, Минск,  
Беларусь

Наночастицы полупроводников в диэлектрических матрицах представляют интерес для создания нелинейно-оптических материалов вследствие интенсивного взаимодействия с поглощаемым излучением и возможностью контроля линейных и нелинейных оптических свойств материалов как за счет химического состава частиц, так и их размера. Диэлектрическая матрица (стекло, прозрачные пленки) обеспечивает стабилизацию частиц и возможность изготовления оптических элементов для устройств оптоэлектроники. В настоящем сообщении рассматриваются результаты исследования стекол, содержащих квантоворазмерные частицы халькогенидов свинца, и их применение для создания нелинейно-оптических элементов.

Синтез стекол производился по оригинальной технологии на основе силикатной стеклообразующей системы, допированной соединениями свинца и халькогенами. В результате в стеклах образовывались наночастицы PbS и PbSe в интервале размеров 5-50 нм, характеристики которых исследовались методами рентгеновской дифракции, электронной микроскопии, малоуглового рентгеновского рассеяния. Установлена корреляция между размером частиц и энергией экситонных переходов в спектрах поглощения стекол. Показано функционирование стекол в качестве насыщающихся поглотителей для лазеров ИК-диапазона.

## ГЕОМЕТРИЯ ЛОБАЧЕВСКОГО И МОДЕЛИРОВАНИЕ СРЕДЫ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ ОТРАЖАЮЩИМИ СВОЙСТВАМИ

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,*

*[redkov@dragon.bas-net.by](mailto:redkov@dragon.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Мозырский государственный педагогический  
университет им.И.П. Шамякина*

*[e.ovsiyuk@mail.ru](mailto:e.ovsiyuk@mail.ru)*

Геометрия пространства Лобачевского рассматривается как основа для моделирования эффективной среды [1]: используются обобщенные квазидекртовые координаты  $(x, y, z)$ ; среда неоднородна вдоль оси  $z$ ; эффективные материальные уравнения выписаны в явном виде. В выбранной системе координат уравнения Максвелла в форме Майораны–Оппенгеймера [2] решены точно, при этом задача сводится к анализу дифференциального уравнения второго порядка. В контексте квантовой механики такое уравнение описывает движение частицы в потенциальном поле, плавно растущем до бесконечности при устремлении координаты  $z$  к бесконечности; частица отражается от этого барьера, не проникая за него. Аналогичная ситуация реализуется и в электродинамике. Таким образом, геометрия Лобачевского действует эффективно как распределенное в пространстве, ориентированное перпендикулярно оси  $z$  идеальное зеркало. Глубина проникновения  $z_0$  поля внутрь «среды – зеркала»

$$z_0 = \rho \ln \frac{\omega}{c \sqrt{k_1^2 + k_2^2}}$$

определяется параметрами решений и радиусом кривизны  $\rho$ .

**ВНУТРЕННИЕ ПОЛЯ И РАССЕИВАЮЩИЕ  
СВОЙСТВА СИСТЕМЫ ОРИЕНТИРОВАННЫХ  
КОНЕЧНЫХ ЦИЛИНДРОВ**

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси, [ponyavina@imaph.bas-net.by](mailto:ponyavina@imaph.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Гродненский государственный университет им. Я.  
Купалы*

Значительные перспективы в развитии элементной базы оптики, лазерной физики и радиофизики связывают в настоящее время с использованием упорядоченных структур, в которых масштаб упорядоченности сравним с длиной волны электромагнитного излучения [1]. Актуальным является моделирование электродинамических процессов в упорядоченных ансамблях конечных размеров, например, состоящих из конечного числа параллельных друг другу круговых цилиндров конечной длины (т.н. «мультимеры»).

В настоящей работе исследованы особенности локализации и рассеяния электромагнитного излучения мультимерами с гексагональной симметрией в условиях падения излучения вдоль оси цилиндров. С применением численного метода, базирующегося на формализме объемного интегрального уравнения [2], нами изучена зависимость диаграмм направленности (ДН), картин распределения внутреннего и ближнего поля от размеров цилиндров и образованных ими мультимеров, а также от диэлектрических свойств цилиндров и матрицы, в которой они размещены. Определены условия повышения степени анизотропности ДН при объединении цилиндров в упорядоченный мультимер.

**Литература**

3. Gaponenko S. Introduction to Nanophotonics: Cambridge University Press. Cambridge, UK, 2010.
4. Дынич Р.А., Ковтун-Кужель В.А., Понявина А.Н. Моделирование характеристик рассеяния электромагнитного излучения упорядоченным ансамблем диэлектрических цилиндров конечной длины // Журн. прикл. спектр. 2011. V. 78, N 6. P.817-822.

**ТЕМПЕРАТУРНО-НЕЗАВИСИМЫЕ ФАЗОВЫЕ  
НАПРАВЛЕНИЯ КРИСТАЛЛА  $\text{KLu}(\text{WO}_4)_2$   
В РЕЗОНАТОРЕ**

*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[filippov@dragon.bas-net.by](mailto:filippov@dragon.bas-net.by)*

Среди перспективных лазерных кристаллов группы двойных вольфраматов кристалл  $\text{KLu}(\text{WO}_4)_2$  имеет наименьшую анизотропию тепловых и оптических свойств. Недавно было показано, что в этом кристалле, помещенном в резонатор лазера, в главных плоскостях его оптической индикатрисы имеется три направления распространения излучения, для которых длина оптического пути в резонаторе не зависит от температуры нагрева кристалла (атермальные направления). В докладе представлены результаты поиска таких направлений для всех срезов кристалла. Показано, что в главных плоскостях существует шесть атермальных направлений распространения излучения. Проведено сопоставление особенностей расположения атермальных направлений в кристалле  $\text{KLu}(\text{WO}_4)_2$  и  $\text{KGd}(\text{WO}_4)_2$ , наиболее анизотропном кристалле семейства двойных вольфраматов.

УДК 535.374; 621.373.826

Г.Е.Малашкевич<sup>1,2</sup>, В.Н.Сигаев<sup>2</sup>, Е.Х.Мамаджанова<sup>2</sup>,  
Н.В.Голубев<sup>2</sup>, Е.В.Луценко<sup>1</sup>, Н.В.Ржеуцкий<sup>1</sup>,  
А.Н.Шимко<sup>1</sup>, Г.П.Яблонский<sup>1</sup>

**ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ И ЛАЗЕРНЫЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКОЛ СИСТЕМЫ  
(Sm<sub>x</sub>Y<sub>1-x</sub>)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,*

*[g.malashkevich@ifanbel.bas-net.by](mailto:g.malashkevich@ifanbel.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Международная лаборатория функциональных  
материалов на основе стекла РХТУ им. Д.И.Менделеева  
[vlad.sigae@gmail.com](mailto:vlad.sigae@gmail.com)*

Ионы Sm<sup>3+</sup> давно привлекают внимание в качестве «лазерного» активатора благодаря отсутствию наведенного поглощения из метастабильного состояния и высокого коэффициента ветвления люминесценции в полосы  ${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{7/2}$  ( $\lambda \approx 600$  нм),  ${}^6H_{9/2}$  ( $\lambda \approx 650$  нм). Однако реально претендовать на роль лазерной среды Sm-содержащие материалы начали лишь с появлением мощных полупроводниковых излучателей с  $\lambda \approx 400 - 460$  нм, пригодных для их селективной накачки. В настоящей работе мы исследовали в качестве активного лазерного элемента Sm-содержащие стекла с составом хантитоподобных алюмоборатов Ln<sub>x</sub>Y<sub>1-x</sub>Al<sub>3</sub>(BO<sub>3</sub>)<sub>4</sub>. Установлено, что такие стекла характеризуются вероятностью радиационного распада метастабильного состояния  $\approx 300$  с<sup>-1</sup>, пиковыми сечениями индуцированного излучения в переходах  ${}^4G_{5/2} \rightarrow {}^6H_{7/2}$  и  ${}^6H_{9/2}$  равными  $4,4 \cdot 10^{-22}$  см<sup>2</sup> и  $3,8 \cdot 10^{-22}$  см<sup>2</sup> соответственно и максимальным квантовым выходом люминесценции  $\approx 85$  %. При торцевой накачке активного элемента из исследованного стекла непрерывным излучением полупроводникового лазера с  $\lambda = 405$  нм в отсутствие резонатора получена усиленная люминесценция. Рассмотрены характеристики такого излучателя при наличии резонатора.

## **ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СТЕКОЛ, ДОПИРОВАННЫХ ВОССТАНОВЛЕННЫМИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ НАНОЧАСТИЦАМИ**

<sup>1</sup>*Гомельский государственный технический университет  
им. П.О.Сухого [alexeenko@gstu.by](mailto:alexeenko@gstu.by)*

<sup>2</sup>*НИИ ФХП, БГУ [gurin@bsu.by](mailto:gurin@bsu.by)*

<sup>3</sup>*Киевский национальный университет  
им. Тараса Шевченко [yes@univ.kiev.ua](mailto:yes@univ.kiev.ua)*

<sup>4</sup>*Институт физики им. Б.И.Степанова НАН Беларуси  
[tikhomirov@imaph.bas-net.by](mailto:tikhomirov@imaph.bas-net.by)*

С применением золь-гель метода был получен ряд новых конструкционных материалов для современного оптического приборостроения, представляющих собой оптически однородные высококремнеземные стекла, содержащие наночастицы металлов и биметаллов:  $\text{Cu}^\circ$ ,  $\text{Ag}^\circ$ ,  $\text{Ni}^\circ$ ,  $\text{Cu}^\circ/\text{Ag}^\circ$  и  $\text{Cu}^\circ/\text{Ni}^\circ$ . Разработанные технологические приемы позволяли получать образцы стекол в виде заготовок сложной геометрической формы: полусферы, линзы, конусы, полые цилиндры и т.п., что расширяло возможные области их последующих практических приложений. В частности,  $\text{Cu}^\circ/\text{Ni}^\circ$ -содержащие стекла могли представлять интерес в качестве новых термостойких отрезающих фильтров УФ- и видимого диапазона - оптическая плотность таких стекол для длин волн  $\lambda \sim 200\text{-}500$  нм составляла не менее  $\sim 4,0$  отн. ед. (при концентрации наночастиц в стекле  $\sim 0,05$  мас. %). Общее назначение полученных наноструктурированных силикатных материалов - функциональные устройства оптической промышленности, к которым предъявляются повышенные требования по химической и термической стойкости.

УДК 539.216.2

А.В. Рогачев, Д.Г. Пилипцов, Т.Н. Федосенко,  
А.С. Руденков

## **ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИЦИОННЫХ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ**

*Гомельский государственный университет имени  
Франциска Скорины [fedosenko@gsu.by](mailto:fedosenko@gsu.by)*

На современном этапе развития фотоприемных устройств предъявляются жесткие требования к свойствам оптических покрытий. Такие покрытия должны обладать высокой износостойкостью, быть термостойкими, эффективно работать в агрессивных средах. Этим требованиям в значительной степени удовлетворяют углеродные покрытия [1]. В настоящее время углеродные покрытия используются в качестве защитных покрытий оптических элементов. Целью данной работы является изучение оптических свойств нанокomпозиционных углеродных покрытий.

Формирование углеродных нанокomпозиционных покрытий оптического назначения возможно путем комбинирования различных вакуумных методов нанесения покрытий, а также варьированием технологических параметров процесса синтеза. Такие методы позволили получить покрытия с высокой износостойкостью, которые могут быть использованы в качестве защитных покрытий различных функциональных деталей, в том числе, и оптически прозрачных в ИК области спектра.

### **Литература**

1. Рогачев А.В. Триботехнические свойства композиционных покрытий, осаждаемых вакуумно-плазменными методами // Трение и износ. – 2008. – Т.29, № 3. – С. 285-292.

## **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗОЛОТОГО ЯДРА И МАТЕРИАЛА ОБОЛОЧКИ ДВУХСЛОЙНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ НА ИХ СВОЙСТВА**

<sup>1</sup>*Белорусский национальный технический университет  
[pustovalovv@mail.ru](mailto:pustovalovv@mail.ru)*

<sup>2</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси*

Проведено моделирование влияния параметров золотого ядра и материала оболочки двухслойных сферических наночастиц на их свойства. Эффективные поперечные сечения поглощения, рассеяния и ослабления лазерного излучения с длиной волны 532 нм двухслойной ядро-оболочка наночастицей в интервалах изменения радиуса ядра  $r_0 = 5-40$  нм и относительного радиуса наночастицы  $r_1/r_0 = 1-8$  ( $r_1$  – радиус оболочки) рассчитаны на основе расширенной теории Ми. Были использованы материалы оболочки с оптическими индексами преломления в диапазоне 0.2 – 1.5 и поглощения в диапазоне 0 – 3.5 для представления оптических свойств широких классов материалов оболочки (включая диэлектрики, металлы, полимеры, пар вокруг золотого ядра). Результаты показывают нелинейные зависимости оптических свойств таких двухслойных наночастиц от оптических параметров материалов оболочки и геометрических размеров (радиусов ядра и оболочки). Рассмотрены области резкого уменьшения и возрастания оптических характеристик двухслойных наночастиц. Установленные зависимости должны быть приняты во внимание для возможных применений двухслойных наночастиц в лазерных нанотехнологиях. Полученные результаты могут быть использованы для экспериментального оптического исследования первых стадий образования оболочки из некоторого материала на золотом ядре наночастицы.



**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ  
ТЕРМООПТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ ФОТОННЫХ ПРИМЕНЕНИЙ  
В НАНОТЕХНОЛОГИЯХ**

<sup>1</sup>*Белорусский национальный технический университет  
[pustovalovv@mail.ru](mailto:pustovalovv@mail.ru)*

<sup>2</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,*

<sup>3</sup>*Институт фотонных технологий, Йена, Германия*

Применение наночастиц в качестве фототермических агентов в лазерных нанотехнологиях является быстро растущей областью исследования, включающей возможности применения наночастиц для обработки материалов, в лазерной медицине, химии и т.д. Эффективность использования металлических наночастиц для лазерных и оптических нанотехнологий зависит от оптических и термофизических свойств наночастиц и характеристик излучения. В настоящее время отсутствует системный анализ требований к свойствам наночастиц для оптимизации их фототермических применений. Мы представляем результаты сравнительного анализа оптических, термических и других свойств наночастиц, позволяющие селективно выбирать параметры наночастиц для фотонных применений. Термооптические свойства одиннадцати различных металлических наночастиц (золото, серебро, платина, цинк, никель, титан, медь, алюминий, калий, натрий) теоретически исследованы и проведен их анализ. Исследованы оптические параметры (факторы эффективности поглощения, рассеяния и ослабления излучений наночастицами) в спектральном интервале 250-1100 нм и для радиусов наночастиц в интервале 5-100 нм. Некоторые из указанных наночастиц могут быть использованы в лазерных и оптических нанотехнологиях и наномедицине с максимальной эффективностью.

УДК 548.5:535.010:681.7.069

Митьковец<sup>1</sup> А.И., Лугинец<sup>2</sup> А.М., Гурецкий<sup>2</sup> С.А.,  
Колесова<sup>2</sup> И.М., Кравцов<sup>2</sup> А.В.

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ $\text{KTi}_{1-x}\text{Zr}_x\text{OPO}_4$

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси, [a.mitkovets@dragon.bas-net.by](mailto:a.mitkovets@dragon.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Научно-практический центр НАН Беларуси по  
материаловедению,  
[crystal@ifitpbas-net.by](mailto:crystal@ifitpbas-net.by)*

Характеристики нелинейных кристаллов  $\text{KTiOPO}_4$  можно изменять в широких пределах посредством их легирования примесями различной валентности, что делает данное семейство материалов перспективными объектами как для научных исследований в области физики твердого тела по установлению взаимосвязей состав–структура–свойства, так и для разнообразных практических приложений. Установлено, что нелинейно-оптические свойства чувствительны к изменению состава кристаллов  $\text{KTi}_{1-x}\text{Zr}_x\text{OPO}_4$  и могут существенно улучшаться с введением в катионную подрешетку замещающего иона  $\text{Zr}^{4+}$ . В частности выявлено значительное изменение направления синхронизма и существенное возрастание интенсивности ГВГ лазерного излучения с длиной волны 1.064 мкм в кристаллах легированных цирконием и выращенных в объеме раствора-расплава с поверхностным затравлением (метод NSSG).

УДК 621.31.592; 681.7.03

Гурецкий С.А.<sup>1</sup>, Лугинец А.М.<sup>1</sup>, Колесова И.М.<sup>1</sup>,  
Кравцов А.В.<sup>1</sup>, Малютин В.Б.<sup>2</sup>, Ермолаев А.А.<sup>3</sup>, Карпенко С.А.<sup>3</sup>

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ВЫРАЩИВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ $\alpha$ - KGd (WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>: Nd<sup>3+</sup>

<sup>1</sup>Научно-практический центр НАН Беларуси по  
материаловедению,

[crystal@ifitpbas-net.by](mailto:crystal@ifitpbas-net.by)

<sup>2</sup>Институт математики НАН Беларуси,

[malyutin@im.bas-net.by](mailto:malyutin@im.bas-net.by)

<sup>3</sup>ОАО «Завод «Опмик», г.Лиды,

[aermolaev@tut.by](mailto:aermolaev@tut.by)

Для контроля и управления процессом выращивания монокристаллов  $\alpha$ - KGd (WO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>: Nd<sup>3+</sup> модифицированным методом Чохральского предлагается использовать

дополнительно параметр  $\frac{v_g}{v_v}$ , характеризующий соотношение

между горизонтальной ( $v_g$ ) и вертикальной ( $v_v$ ) скоростями

кристаллообразования. Дополнительный параметр  $\frac{v_g}{v_v}$

позволяет определять режим изменения скорости снижения температуры раствора-расплава и управлять процессом кристаллизации на протяжении всего этапа выращивания.

### Литература

1. S.A.Guretskii, A.M.Luginets, I.M.Kolesova, A.V.Kravtsov, V.B.Malyutin, A.A.Ermolaev, S.A.Karpenko, J.Crystal Growth. V.311, 6,1529 (2009).

УДК 621.31.592; 681.7.03

Гурецкий С.А.<sup>1</sup>, Лугинец А.М.<sup>1</sup>, Колесова И.М.<sup>1</sup>,  
Кравцов А.В.<sup>1</sup>, Малютин В.Б.<sup>2</sup>

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА ЧОХРАЛЬСКОГО**

*<sup>1</sup>Научно-практический центр НАН Беларуси по  
материаловедению,  
[crystal@iftpbas-net.by](mailto:crystal@iftpbas-net.by)*

*<sup>2</sup>Институт математики НАН Беларуси,  
[malyutin@im.bas-net.by](mailto:malyutin@im.bas-net.by)*

Исследуется зависимость скорости конвективных потоков и распределения температуры в зоне кристаллизации от теплового режима контуров нагрева и охлаждения.

Для описания процессов, происходящих в растворе-расплаве, используются уравнения в цилиндрической системе координат для функции вихря  $\omega$ , функции тока  $\psi$  и температуры  $T$ . Решение этих уравнений позволяет получить значения скоростей конвективных потоков и значения температуры в любой точке раствора-расплава, в зависимости от температуры нагревательных элементов и контура охлаждения, входящих в граничные условия для температуры.

УДК 547.816.8

Е.Л. Муханов<sup>1</sup>, И.В. Ожогин<sup>1</sup>, Ю.С. Алексеенко<sup>2</sup>,  
В.В. Вибе<sup>1</sup>, С.О. Безуглый<sup>2</sup>, Б.С. Лукьянов<sup>1</sup>

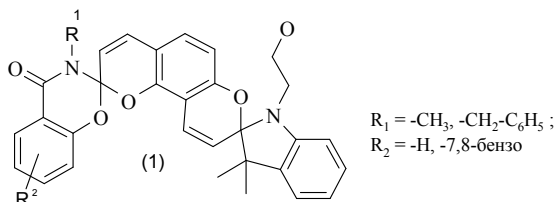
## НОВЫЕ БИСПИРОПИРАНЫ - ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ОСНОВА МУЛЬТИПОЗИЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ

<sup>1</sup> НИИ физической и органической химии Южного  
федерального университета,  
[lab811@ipoc.sfedu.ru](mailto:lab811@ipoc.sfedu.ru)

<sup>2</sup> Южный научный центр Российской академии наук,  
[photo@ipoc.sfedu.ru](mailto:photo@ipoc.sfedu.ru)

Бисспиропираны - соединения с двумя фотоактивными спиропирановыми фрагментами в структуре, привлекают особенное внимание в качестве перспективных компонентов систем записи-считывания информации, работающих в удобном ИК-диапазоне.

Нами были получены и исследованы новые несимметричные бисспиросоединения (1) на основе 2,4-дигидрокси-изо-фталевого альдегида с гидроксиэтильными заместителями у атомов азота индолинового фрагмента, характеризующиеся повышенной стабильностью мероцианиновых изомеров и являющиеся перспективной основой мультипозиционных светууправляемых переключателей.



Работа выполнена при финансовой поддержке Грантов Президента РФ МК-1629.2012.3 и НШ – 927.2012.3 и гранта РФФИ 12-03-90017-Бел\_a

УДК 538.9+620.3

А.В. Рогачев, М.А. Ярмоленко, А.А. Рогачев,  
Д.Л. Горбачев

## **КИНЕТИКА ДИСПЕРГИРОВАНИЯ И СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ДИСПЕРГИРОВАНИЕМ В УСЛОВИЯХ ЛАЗЕРНОГО АССИСТИРОВАНИЯ**

*Гомельский государственный университет имени  
Франциска Скорины [simmak@mail.ru](mailto:simmak@mail.ru)*

В работе определены кинетические особенности осаждения, молекулярная структура и морфология слоёв на основе оксида цинка, серебра, а также композиционных покрытий на основе полиметилметакрилата. Покрытия осаждались из газовой фазы, образованной электронно-лучевым диспергированием полимера, органических и неорганических солей металлов или механических смесей указанных соединений в условиях лазерного УФ ассистирующего воздействия и в его отсутствие [1].

Обработка лазерным УФ излучением зоны диспергирования солей металлов инициирует процессы их разложения с образованием наночастиц. Электронно-лучевое воздействие на смесь полимера и соли в условиях лазерного ассистирования – эффективный прием формирования полимерных матриц с распределенными в их объеме наночастицами металла или оксида.

### **Литература**

1. Плазмохимический синтез нанокomпозиционных плазмонных покрытий / А. В. Рогачёв, М.А. Ярмоленко, А.А. Рогачев, Д.Л. Горбачев // Известия ГГУ им. Франциска Скорины. – 2011. – № 6(69). – С. 110–117

УДК 539.216.2+535.004.9

А.В. Рогачев, Д.Г. Пилипцов, Н.Н. Федосенко,  
А.С. Руденков

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

*Гомельский государственный университет имени  
Франциска Скорины  
[fedosenko@gsu.by](mailto:fedosenko@gsu.by)*

Свойства оптических покрытий определяется конструкцией интерференционных систем, методов нанесения слоев, их природой и материалом подложек [1]. Контроль технических параметров и режимов нанесения слоев в процессе формирования покрытий обеспечивает высокую воспроизводимость свойств покрытий. Практическая значимость предлагаемой технологии заключается в возможности создания многослойных интерференционных покрытий на специальных изделиях медицинской техники, которые соответствуют специальным санитарным нормам. Указанный тип покрытий разработан для стоматологических комплексов «Белдент», которые производит РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и кормоуборочной технике» (г. Гомель).

В работе рассматривается возможность создания высокоэффективных многослойных покрытий на основе углерода путем изменения фазового состава чередующихся интерференционных слоев.

### **Литература**

1. Кокс Дж.Т., Хасс Г. Просветляющие покрытия для видимой и инфракрасной областей спектра // Физика тонких пленок. – Т. 2. – М.: Мир, 1987. – С. 186-253.

УДК 621.373.826+621.373.5

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

## **ВЛИЯНИЕ СТАЦИОНАРНОГО И ИМПУЛЬСНОГО НАГРЕВА НА СТРУКТУРНЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЁНОК РbTe**

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,*

*[harbachova@gmail.com](mailto:harbachova@gmail.com)*

<sup>2</sup>*Физико-химический институт Прикарпатского  
национального университета им. В. Стефаника, [freik@pu.if.ua](mailto:freik@pu.if.ua)*

Халькогениды свинца и структуры на их основе являются перспективными материалами для создания лазеров среднего и дальнего ИК-диапазона. Кроме того, эти вещества привлекают внимание в качестве термоэлектрических генераторов, функционирующих в области температур 600–900 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 РbTe. Исследования проводились методами ИК-Фурье спектроскопии, а также оптической и электронной микроскопии. Пленки РbTe были получены методом осаждения из газодинамического потока пара на стеклянных подложках.

Было обнаружено, что как стационарный, так и импульсный нагрев данных пленок могут приводить к радикальным изменениям их структуры и оптических свойств. В частности, к значительному смещению края межзонного поглощения и изменению его крутизны, что даёт возможность управлять положением полосы краевой люминесценции и эффективностью последней. Отмечается, что смещение края межзонного поглощения коррелирует с величиной атомарного соотношения Рb/Te. Обсуждаются причины, вызывающие обнаруженные эффекты.



## СПЕКТРАЛЬНО-ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ $\text{CeO}_2:\text{Mn}$ В КРЕМНЕЗЁМНОЙ ОБОЛОЧКЕ

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,*

*[t.khottchenkova@ifanbel.bas-net.by](mailto:t.khottchenkova@ifanbel.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Институт физики Тартуского университета*

Переходные металлы широко используются при изготовлении люминесцентных материалов. Например, ионы  $\text{Mn}^{2+}$  применяются для активации более 500 неорганических матриц при получении люминесценции в диапазоне 490-750 нм. В [1] было показано, что в материалах, со-легированных церием и марганцем, возможно получение люминесценции ионов  $\text{Mn}^{2+}$ , сенсibilизированной ионами  $\text{Ce}^{3+}$ . В настоящей работе золь-гель методом были синтезированы наночастицы  $\text{CeO}_2:\text{Mn}$  в кремнезёмной оболочке. С помощью дифракционных и спектрально-люминесцентных методов исследования установлено, что такие наночастицы имеют кубическую решетку с пространственной группой симметрии  $O_h^5-Fm\bar{3}m$  и координационным числом катионов 8, а их средние размеры составляют  $\sim 100$  нм. Такие нанопорошки, отожжённые в водороде при  $T = 1250$  °С, характеризуются переносом возбуждений от ионов  $\text{Ce}^{3+}$  к ионам  $\text{Mn}^{2+}$ . Квантовый выход сенсibilизированной люминесценции последних, при достаточно полном восстановлении редкоземельных ионов, может достигать 10%.

### Литература

1. Thakre P.S., Gedam S.C., Dhoble S.J., Atram R.G. Luminescence of  $\text{KCaSO}_4\text{Cl}:\text{X}, \text{Y}$  ( $\text{X}=\text{Eu}$  or  $\text{Ce}$ ;  $\text{Y}=\text{Dy}$  or  $\text{Mn}$ ) halosulfate material // Journal of Luminescence – 2011. – V.131. – P. 1612 - 1616.

УДК 628.9.038

А.В. Данильчик<sup>1</sup>, Е.В. Луценко, Н.В. Ржеуцкий,  
М.С. Леоненя, А.Г. Войнилович, В.Н. Павловский,  
Г.П. Яблонский

## **СВЕТОДИОННЫЕ ЛИНЕЙКИ ДЛЯ НАКАЧКИ АКТИВНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СРЕД**

*<sup>1</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
[a.danilcyk@ifanbel.bas-net.by](mailto:a.danilcyk@ifanbel.bas-net.by)*

Развитие современных светодиодных технологий на основе InGaN гетероструктур идет быстрыми темпами. Вследствие растущих показателей выходной оптической мощности, эффективности (достигающей более 50%), удешевления производства и уменьшения размеров, одним из перспективных применений сверхярких светодиодов становится оптическая накачка различных активных лазерных сред [1].

В настоящей работе были сконструированы и изготовлены линейки светодиодов фирмы Cree с длиной волны в максимуме спектра излучения ~ 455 нм, общей оптической мощностью 10 Вт при номинальном токе 350 мА, предназначенные для возбуждения титан-сапфировых активных лазерных сред. Накачка осуществлялась через боковую поверхность кристалла активной среды как в импульсном режиме, так и в режиме постоянного тока с применением активного охлаждения светодиодов. Показано, что при росте тока светодиодных линеек от 0.1 до 1 А интенсивность люминесценции из активного элемента Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> испытывает сверхлинейный рост в зависимости от интенсивности возбуждающего излучения. Обсуждаются перспективы получения лазерного излучения при светодиодной накачке Ti:Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

### **Литература**

1. Lee K., Bae S., Gwag J. S., Kwon J. H. and Yi J. Study of a QCW Light-emitting-diode (LED)-pumped Solid-state Laser //Journal of the Korean Physical Society – 2011. – V.59. – No.5. – P. 3239~3245

УДК 547.816.8

К. Н. Халанский<sup>1</sup>, Е. Л. Муханов<sup>1</sup>,  
Ю. С. Алексеенко<sup>2</sup>, Б. С. Лукьянов<sup>1</sup>

## ВЛИЯНИЕ БЕНЗОАННЕЛИРОВАНИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПИРОСОЕДИНЕНИЙ

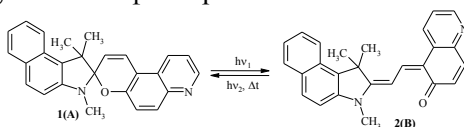
<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт физической и  
органической химии Южного федерального университета,  
Ростов-на-Дону, Россия

[lab811@ipoc.sfedu.ru](mailto:lab811@ipoc.sfedu.ru)

<sup>2</sup>Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

[lab811@ipoc.rsu.ru](mailto:lab811@ipoc.rsu.ru)

Синтезирован новый фотохромный спиропиран  
спиро[1,1,3-триметилбензо[*e*]индолино-2,3'-[3*H*]-пирано[3,2-*f*]хинолин] 1. Изучены его фотохромные свойства.



В сравнении с ранее изученным неаннелированным аналогом [1], спиропиран 1 не претерпевает значительных изменений при УФ облучении. Однако бензоаннелирование приводит к внутримолекулярному переносу энергии с пиранового цикла на индолиновый, что объясняет понижение эффективности фотоокрашивания соединения 1 по сравнению с его неаннелированным аналогом [1].

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента РФ НШ – 927.2012.3 и гранта РФФИ 12-03-90017-Бел\_а.

### Литература

1. Ткачёв В.В., Алдошин С.М., Санина Н.А., Лукьянов Б.С., Минкин В.И., Утёнышев А.Н., Халанский К.Н., Алексеенко Ю.С. // ХГС. - 2007. - № 5. - С. 690-702.

УДК 621.373.826.038.824

О.Н. Безкровная<sup>1</sup>, В.В. Маслов<sup>2</sup>, И.М. Притула<sup>1</sup>, В.М. Пузиков<sup>1</sup>, М.И. Колыбаева<sup>1</sup>, А.Г. Плаксий<sup>1</sup>, Ю.А. Гуркаленко<sup>3</sup>,  
А.В. Лопин<sup>1</sup>

## **СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ЛАЗЕРНЫЕ СВОЙСТВА РЯДА КРАСИТЕЛЕЙ В СИЛИКАТНЫХ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ МАТРИЦАХ**

<sup>1</sup>*Институт монокристаллов, НАН Украины,  
[bezкровnaya@isc.kharkov.ua](mailto:bezкровnaya@isc.kharkov.ua)*

<sup>2</sup>*Институт радиофизики электроники, НАН Украины,  
[maslov@ire.kharkov.ua](mailto:maslov@ire.kharkov.ua)*

<sup>3</sup>*Институт сцинтилляционных материалов, НАН  
Украины*

В твердотельных лазерах на красителях при отсутствии прокачиваемого раствора резко возрастают требования к тепловым и оптическим характеристикам лазерных матриц и их фотостабильности. У них должно быть минимальным светорассеяние, достаточная теплопроводность и малый температурный коэффициент изменения показателя преломления  $dn/dT$ . По совокупности этих параметров золь-гель матрицы занимают хорошие позиции, так как они потенциально сочетают в себе отличные оптические свойства кварцевого стекла и трансформируемость органических полимеров.

Целью настоящей работы было выяснение влияния молярного соотношения компонентов реакции на оптические и генерационные свойства SiO<sub>2</sub>-матриц на основе TEOS и TMOS, полученных золь-гель методом, с иммобилизованными молекулами ряда лазерных красителей. Нами были исследованы образцы силикагелей, полученные путем медленного высушивания геля с мелкими порами, заполненными красителями для красной области спектра генерации. Лазерное излучение красителей DCM и ЛК678 было получено в матрицах, синтезированных с добавлением пиридина. При этом эффективность генерации матрицы с ЛК678 была в 1.5 раза выше, чем с Rh6G. В работе приведены результаты измерений спектрально-флуоресцентных и лазерных характеристик синтезированных матриц.

УДК 621.375.8

С.С. Ануфрик<sup>1</sup>, Т.Н. Копылова<sup>2</sup>, В.В. Тарковский<sup>1</sup>,  
Л.Г. Самсонова<sup>2</sup>, К.М. Дегтяренко<sup>2</sup>, Г.Г. Сазонко<sup>1</sup>

## **СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ГЕНЕРАЦИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ГИБРИДНЫХ НАНОКОМПОЗИТОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ВОЗБУЖДЕНИЯ**

<sup>1</sup> Учреждение образования «Гродненский  
государственный университет имени Янки Купалы»,  
[tarkovsky@grsu.by](mailto:tarkovsky@grsu.by)

<sup>2</sup> Лаборатория фотофизики и фотохимии молекул, ТГУ

Исследованы спектральные и генерационные параметры красителей внедренных в гибридные полимеры, являющиеся комбинацией органических полимеров и неорганических стекол. Они сочетают в себе преимущества и тех и других – высокую оптическую однородность, низкую усадку органического полимера и термическую стабильность, высокую лучевую стойкость неорганического стекла. Образцы для исследования были получены из Томского государственного университета. В качестве красителя использовался родамин 6Ж, а в качестве компонентов гибридного полимера – органические мономеры метилметакрилат (ММА) с 2-гидроксиэтилметакрилатом (ГЭМА) в соотношении 1:1 и неорганический прекурсор – тетраэтоксисилан (ТЭОС).

Измерена эффективность преобразования излучения накачки в различных временных режимах. Исследованы пространственно-угловые характеристики генерируемого излучения. Обнаружена аномальная зависимость эффективности генерации от спектрального состава накачки, связанная с его перепоглощением в системе возбужденных синглетных уровней. Проведены интерференционные исследования для определения оптического качества исследуемых активных сред.

УДК 621.375.8

С.С. Ануфрик<sup>1</sup>, М.И. Дзюбенко<sup>2</sup>, В.В. Тарковский<sup>1</sup>,  
С.В. Николаев<sup>2</sup>, А.М. Ляликов<sup>1</sup>, В.В. Пожар<sup>2</sup>, Г.Г. Сазонко<sup>1</sup>

## **ОПТИЧЕСКИЕ И ГЕНЕРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОЛИУРЕТАНОВЫХ МАТРИЦ, АКТИВИРОВАННЫХ КРАСИТЕЛЯМИ ПРИ МИКРО- И НАНОСЕКУНДНОМ КОГЕРЕНТНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ**

<sup>1</sup> Учреждение образования «Гродненский  
государственный

университет имени Янки Купалы», [tarkovsky@grsu.by](mailto:tarkovsky@grsu.by)

<sup>2</sup> Институт радиофизики и электроники им. А.Я.

Усикова НАН Украины [svn@ire.kharkov.ua](mailto:svn@ire.kharkov.ua)

Исследованы спектрально-люминесцентные свойства новых активных сред на основе красителей родаминового, оксазинового и феналеминового классов, внедренных в модифицированные полимеры, эластомеры – полиуретаны и полиуретанакрилаты – в виде триплексов или мультиплексов. Проведены интерференционные исследования для определения оптического качества исследуемых активных сред. Установлено, что исследуемые образцы обладают высоким оптическим качеством, а некоторые содержат неоднородности типа свилей по всему образцу.

При микросекундной и наносекундной когерентной накачке исследована эффективность генерации. Источником микросекундного когерентного возбуждения служил лазер на красителях с ламповой накачкой на основе коаксиальной лампы-кюветы конструкции Дзюбенко. Для наносекундной когерентной накачки использовалась третья гармоника твердотельного импульсного гранатового лазера LS-2147.

Отмечена высокая лучевая стойкость новых твердотельных элементов и большой ресурс работы при обоих режимах возбуждения. Были также исследованы пространственно-угловые характеристики генерируемого излучения. Все экспериментальные данные для твердотельных элементов сравниваются с таковыми для растворов.

УДК 535.555

Ан.А. Муравский<sup>1</sup>, Ал.А. Муравский<sup>1</sup>, О.О. Чувашева<sup>1</sup>,  
К.С. Космачев<sup>1</sup>, Н.А. Иванова<sup>1</sup>, В.А. Длугунович<sup>2</sup>,  
А.Ю. Жумарь<sup>2</sup>

## **ФАЗОВЫЕ ПЛАСТИНЫ ИЗ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ПЛЕНОК**

<sup>1</sup>*Институт химии новых материалов НАН Беларуси,  
[alexander.muravsky@ichnm.basnet.by](mailto:alexander.muravsky@ichnm.basnet.by), [nadezh\\_iva@mail.ru](mailto:nadezh_iva@mail.ru)*  
<sup>2</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси*

Анизотропные полимерные пленки применяются для создания требуемой разности фаз в узком спектральном диапазоне. Ведущие мировые производители (3М (США) и Nitto Denko (Япония) и др.) выпускают широкий спектр ахроматических фазовых пластин, используемых для улучшения угловых характеристик ЖК-дисплеев методом фазовой компенсации, а также при изготовлении циркулярных поляризаторов.

Цель работы заключалась в создании на основе теоретической модели ахроматической  $\lambda/4$  фазовой пластины из двух анизотропных пленок отечественного производства используя эмпирическую спектрально-поляризационную информации о них. Были созданы автоматизированные программные модули для расчета спектральных зависимостей фазовых задержек системы 2-х анизотропных пленок с учетом их дисперсий. Для изучения спектрально-поляризационных характеристик двухосно ориентированных полипропиленовых пленок ОАО «Могилевский ЗИВ» была использована установка для регистрации анизотропии показателей преломления пленок и выбора направления главных оптических осей методом вращения образца, а также гониометрический стокс поляриметр на основе ЖК-пластин с регулируемой разностью фаз.

В результате была получена фазовая пластина  $\lambda/4$  на область 510-550 нм на основе пленок из БОПП С2-25 и С2-35, склеенных во взаимно ортогональной ориентации.

Л.В.Танин<sup>1</sup>, П.В.Моисеенко<sup>1</sup>, Н.Е.Макаревич<sup>2</sup>

## **РАЗРАБОТКА И ШИРОКОМАСШТАБНОЕ ВНЕДРЕНИЕ НАЦИОНАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ДОКУМЕНТОВ, ЦЕННЫХ БУМАГ И ОСОБО ЦЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ**

<sup>1</sup>ЗАО «Голографическая индустрия»

[holography@info.by](mailto:holography@info.by)

<sup>2</sup>РУП «Минская печатная фабрика» Гознака РБ

[info@mpf-goznak.by](mailto:info@mpf-goznak.by)

В докладе сообщается о национальной системе защиты документов, ценных бумаг и продукции, созданной в Республике Беларусь, в основе которой лежит разработка и внедрение национальных голографических средств защиты (юниграмма и кодограмма), принципиально отличающихся своей уникальностью, оригинальностью, научной новизной и содержащих мировой приоритет.

На предприятии ЗАО «Голографическая индустрия» налажено крупнотиражное производство комбинированных аналоговых и цифровых голограмм, включающих не только стадию изготовления голограмм, но и формирование комплексных систем записи, кодирования, создания новых степеней защиты, способов и средств идентификации. Сочетание компьютерных методов кодирования с оптическими обеспечивает высокую степень защиты от подделки. Развитие технологии позволило создать и более сложные компьютерно-генерированные голограммы, состоящие из множества дифракционных оптических микроэлементов.

В докладе представлены средства национальной комплексной защиты, прошедшие этап от теоретических и экспериментальных исследований до промышленного освоения и внедренные на предприятиях Департамента государственных знаков Республики Беларусь при производстве акцизных марок, контрольных (идентификационных) знаков, товарной и товарно-транспортной сопроводительной документации. Также приводятся новые разработки – это голографические ламинаты



на паспорта и водительские удостоверения, оверлеи, которые решают проблему импортозамещения. К 2010 году завершился многолетний подготовительный этап работы коллектива ЗАО «Голографическая индустрия» по выходу на внешний рынок. Была разработана, прошла испытания и было принято решение закупать у предприятия голографическую фольгу горячего тиснения для нанесения на акцизные марки алкогольных и табачных изделий Азербайджана и Непала.

Промышленное производство национальных средств защиты началось с 2004 года. За временной промежуток с 2004 по 2009 год (включительно) было выпущено средств защиты для отечественных акцизных марок на алкогольные и табачные изделия в количестве более 10 миллиардов штук на сумму 140 миллиардов рублей, выпуск юниграмм для защиты контрольных знаков составил более 9 миллиардов изделий, для защиты товарных и товарно-транспортных сопроводительных документов более 1 600 миллионов штук. Суммарный выпуск средств защиты составил в долларовом эквиваленте 62 миллиона.

Приведенная выше сумма отражает только прямые затраты на выпуск ценных бумаг и документов в части средств защиты. В тоже время обеспечение необходимой и достаточной защиты ценных бумаг и документов является одной из важнейших государственных задач, направленной на поддержание национальной и экономической безопасности государства. Эта проблема, так или иначе, затрагивает интересы практически всех органов государственного управления, юридических лиц и граждан, позволяет повысить сохранность государственного имущества, снизить незаконный оборот товарно-материальных ценностей и финансовых потоков, обеспечить полноту сбора налогов. На основе голографических средств защиты в Республике Беларусь организована система учета потребительских товаров, производимых внутри страны и поступающих по импорту, препятствующая незаконным схемам их поставки и реализации.

## **Секция 4. Нелинейная оптика и нелинейная спектроскопия**

УДК 547.816.8/754+54-76

Б.С.Лукьянов<sup>1</sup>, С.А.Маскевич<sup>2</sup>, М.Б.Лукьянова<sup>1</sup>,  
Г.Т.Василюк<sup>2</sup>, О.И.Дмитриева<sup>1</sup>

## **ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ФОТОХРОМНЫХ СРЕД НА ОСНОВЕ СПИРОЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

<sup>1</sup>*Научно-исследовательский институт физической и  
органической химии  
Южного федерального университета, Ростов-на-Дону,  
Россия*

*[bluk@ipoc.sfedu.ru](mailto:bluk@ipoc.sfedu.ru)*

<sup>2</sup>*Гродненский государственный университет им.  
Я.Купалы, Гродно, Беларусь*

Спиропираны являются соединениями, обладающими фотохромными свойствами. Для ряда практических целей особый интерес представляют спиропираны со свободной формильной группой, проявляющие фотохромные свойства в твердых пленках на кварцевых пластинах. Фотозапись оптической информации на пленку спиропиранов возможна при облучении ее азотным лазером ( $\lambda = 337$  нм). Гелий-неоновый лазер ( $\lambda = 632,8$  нм) может быть использован для считывания оптической информации. Показана более высокая эффективность фотохромизма спиропиранов, адсорбированных на пленках серебра по отношению к фотохромным превращениям на кварцевой поверхности. Методом ГКР изучена структура адсорбированного на пленках серебра спиропирана, содержащего координационно-активный гидразоновый фрагмент.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 12-03-90017 Бел\_а), БРФФИ (грант Ф12Р-156), гранта Президента РФ НШ-927.2012.3

УДК 535.417

М.Г. Кистенева<sup>1</sup>, А.С. Акрестина<sup>1</sup>, А.Н. Гребенчуков<sup>1</sup>,  
С.М. Шандаров<sup>1</sup>, С.В. Смирнов<sup>1</sup>, Ю.Ф. Каргин<sup>2</sup>

**ВЛИЯНИЕ ИК-ОБЛУЧЕНИЯ НА СПЕКТРАЛЬНЫЕ  
ЗАВИСИМОСТИ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ  
В КРИСТАЛЛАХ СИЛИКАТА ВИСМУТА,  
ПОДВЕРГНУТЫХ ОТЖИГУ В ВАКУУМЕ**

<sup>1</sup> *Томский государственный университет систем  
управления и радиоэлектроники, Россия*  
[m-kisteneva@mail.ru](mailto:m-kisteneva@mail.ru)

<sup>2</sup> *Институт металлургии и материаловедения  
им. А.А. Байкова РАН*  
[yu.kargin@rambler.ru](mailto:yu.kargin@rambler.ru)

Представлены результаты экспериментальных исследований влияния облучения импульсным лазерным излучением ( $\lambda = 1064$  нм, длительность импульсов 10 нс, средняя интенсивность  $\sim 235$  мВт/см<sup>2</sup>) на спектральные зависимости оптического поглощения в нелегированных кристаллах силиката висмута (BSO), как не подвергавшихся послеростовой обработке (исходных), так и после отжига в вакууме.

Получено, что воздействие импульсным лазерным излучением с  $\lambda = 1064$  нм на исходные кристаллы BSO приводит к уменьшению их оптического поглощения в спектральном диапазоне 430-900 нм. В отожженных в вакууме образцах изменений оптического поглощения после засветки ИК-излучением не наблюдается, однако после выдержки на воздухе при комнатной температуре в темновых условиях в течение 5 месяцев эти кристаллы восстанавливают способность к фотоиндуцированному просветлению. Такое поведение можно связать с изменениями концентрации кислородных вакансий.

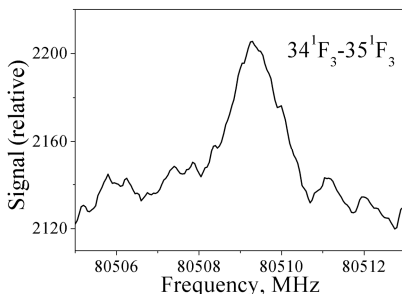
Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ на 2012 г. (проект № 7.2647.2011) и при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (Гос. контракт № 02.740.11.0553).

## LASER-MICROWAVE SPECTROSCOPY OF SINGLET RYDBERG F-TERMS OF Mg I

<sup>1</sup>*V.N.Karazin Kharkov National University*  
[a.kutsenko@rian.kharkov.ua](mailto:a.kutsenko@rian.kharkov.ua)

<sup>2</sup>*Institute of Radio Astronomy of NAS of Ukraine.*

By means of laser-microwave spectroscopy we have measured nine frequencies of singlet-singlet Rydberg



$$3snf^1F_3 \rightarrow 3s(n+1)f^1F_3$$

microwave transitions of Mg I in the frequency range 56-117 GHz and in the range of the principal quantum number  $n=30-40$ . Sample record of a typical resonance is presented in fig. Detailed description of the spectrometer can be found

elsewhere [1]. Laser excitation to a Rydberg states was performed by different two-step schemes. By fitting experimental data we have determined the first constant of Rydberg-Ritz quantum defect expansion as  $E_{ij}=0.0517019(91)$ . The difference between measured and calculated frequencies did not exceed several MHz. The root-mean-square deviation was 0.39 MHz.

### References

1. MacAdam K. B., Dyubko S. F., Efremov V. A., Gerasimov V. G., and Kutsenko A. S. Laser-microwave spectroscopy of Cu I atoms in S, P, D, F and G Rydberg states // J. Phys. B. – 2009. – Vol. 42, No. 16. – P. 165009.1-165009.8.

UDC 543.42 and 535.372

A. Starukhin<sup>1</sup>, M. Kruk<sup>1</sup>, A. Gorskii<sup>2</sup>, S. Govenkovskii<sup>2</sup>,  
J. Waluk<sup>2</sup>

## **RESONANCE RAMAN AND FLUORESCENCE LINE NARROWING SPECTRA OF PORPHINE UPON THE FORMATION OF PROTONATED SPECIES**

<sup>1</sup>*B. I. Stepanov Institute of Physics of National Academy of  
Sciences,*

*Minsk, Belarus*

*astar@imaph.bas-net.by*

<sup>2</sup>*Institute of Physical Chemistry, Polish Academy of  
Sciences, Kasprzaka 44/52, 01-224 Warsaw, Poland Hasselt  
University,*

Free base porphyrins when reacted with acids are transformed. At ambient temperature of the monodeprotonated and diprotonated forms of porphyrins are manifested in fluorescence and absorption spectra. At low temperatures only the diprotonated forms of tetrapyrrolic compounds are realized.

In present report, resonance Raman spectra of mono- ( $H_3-P^{1+}$ ) and diprotonated ( $H_4P^{2+}$ ) forms of porphine have been detected firstly in solid crystal powder at ambient temperature. Quantum-chemical calculations of the frequencies and simulation of Raman spectra for  $H_3-P^{1+}$  and  $H_4P^{2+}$  forms of porphine have been done by a DFT method with using of corresponding software (Gaussian 09, functional B3LYP, base cc-pvtz). Very nice correlation between simulation of Raman spectra and experimental results has been achieved. Fluorescence Line Narrowing Spectra of  $H_4P^{2+}$  form of Porphine was detected also.

Quantum-chemical calculations of the frequencies and forms of in-plane and out-of-plane vibrations of these compounds have been done also. Based on the experimental data and calculation results the manifestation of out-of-plane vibrations in the fluorescence line narrowing spectra and resonance Raman spectra of  $H_4P^{2+}$  (lines in range about 340,480, 680 and 880  $cm^{-1}$ ) were analyzed and the relationship between the activity of out-of-plane modes and their forms, was estimated.

УДК 528.813

И.А.Ходасевич<sup>1</sup>, А.А.Корниенко<sup>2</sup>, Е.Б.Дунина<sup>2</sup>,  
А.С.Грабчиков<sup>1</sup>

## **МОДИФИКАЦИЯ СПЕКТРА ПРОПУСКАНИЯ КРИСТАЛЛА КГВ НЕПРЕРЫВНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ДИОДНОГО ЛАЗЕРА**

<sup>1</sup> *Институт физики им. Б.И. Степанова, НАН Беларуси,  
[i.khodasevich@dragon.bas-net.by](mailto:i.khodasevich@dragon.bas-net.by)*

<sup>2</sup> *Витебский Государственный технологический  
университет*

Кристалл калий гадолиниевого вольфрамата (КГВ) широко используется в лазерных системах. Он может быть допирован редкоземельными ионами такими как неодим и служить лазерной средой. Часто КГВ используется как эффективная ВКР среда. Как правило, при продольном диодном возбуждении накачка осуществляется непрерывным лазерным излучением в полосу поглощения ионов неодима вблизи 808 нм.

В нашем докладе экспериментально исследовано влияние уровня возбуждения излучения диодного лазера интенсивностью до  $10 \text{ кВт/см}^2$  с длиной волны 808 нм на пропускание недопированного кристалла КГВ.

Зарегистрирована модификация спектрального контура пропускания с ростом интенсивности диодного излучения. Экспериментальные данные указывают на смещение края полосы поглощения в длинноволновую сторону с образованием широких полос поглощения в части спектра 350–600 нм. Трансформация спектра пропускания сопровождается возникновением двух полос свечения в областях 525 и 550 нм. Возникновение свечения носит пороговый характер. Наблюдаемая зависимость интерпретируется как результат поглощения нескольких фотонов излучения диодного лазера кристаллической матрицей с последующим испусканием в видимой области и развитием тепловых процессов, приводящим к изменению характеристик пропускания.

## **ПОЛЯРИЗАЦИОННАЯ ЗАПИСЬ СИНГУЛЯРНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ГОЛОГРАММ В РАСТВОРАХ КРАСИТЕЛЕЙ**

*Белорусский государственный университет,  
[tolstik@bsu.by](mailto:tolstik@bsu.by)*

Эффективный энергообмен между световыми пучками, как правило, реализуется для одинаково поляризованных волн, однако в растворах красителей, вследствие наведенной анизотропии поглощения, возможно формирование решеток волнами различной поляризации. При поляризационной записи голограмм суммарная интенсивность остается постоянной, но имеет место пространственная модуляция поляризации света.

В настоящей работе представлены результаты исследования процессов записи и считывания поляризационных динамических голограмм, сформированных импульсными гауссовыми и сингулярными световыми пучками в растворах красителей. Анализ свойств сингулярных голограмм показал, что при любой комбинации поляризаций взаимодействующих волн топологический заряд, внесенный в сформированную динамическую голограмму, передается обращенной волне. Четырехволновое взаимодействие реализовано для схемы попутного распространения опорного гауссового и сигнального сингулярного световых пучков в растворе красителя Родамин 6Ж. Установлена зависимость ориентации плоскости поляризации обращенной волны от взаимной ориентации плоскостей поляризации взаимодействующих волн.

### **Литература**

1. Ормачеа О., Толстик А.Л. Поляризационное многоволновое взаимодействие в растворах красителей // Известия РАН. Серия физ. – 2005. – Т.69. – С.1144–1146.



УДК 535.3; 621.315.592

Г.В. Сеницын<sup>1</sup>, А.В. Ляхнович<sup>1</sup>, В.Л. Малевич<sup>1</sup>,  
В.В. Волович<sup>2</sup>, В.Э. Кисель<sup>3</sup>, А.С. Ясюкевич<sup>3</sup>

## КОГЕРЕНТНЫЙ ТЕРАГЕРЦОВЫЙ СПЕКТРОМЕТР С УЬ:КУУ ФЕМТОСЕКУНДНЫМ ЛАЗЕРОМ

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

<sup>2</sup>*Институт подготовки научных кадров НАН Беларуси  
[volovichvv@gmail.com](mailto:volovichvv@gmail.com)*

<sup>3</sup>*НИЦ оптических материалов и технологий БНТУ*

Рассмотрены особенности работы и характеристики созданного ТГц спектрометра, в котором для возбуждения излучателя и управления детектором ТГц импульсов используется фемтосекундное лазерное излучение на длине волны 1,04 мкм. Использование когерентного метода детектирования ТГц электрического поля позволяет одновременно измерять спектры коэффициента поглощения и показателя преломления образцов в диапазоне частот 0,2 – 2,0 ТГц. В данном спектрометре электрическое поле ТГц излучения генерируется и детектируется GaBiAs фотоантеннами, облучаемыми фемтосекундными лазерными импульсами.

Исследованы спектры пропускания некоторых видов пластмасс и целлюлозы (Рис. 1 и 2).

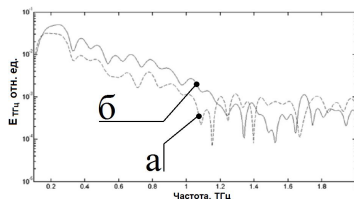


Рисунок 1 – Спектры  
электрического ТГц поля с  
образцом (а) и без образца (б)

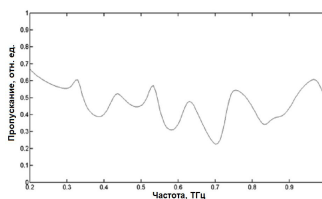


Рисунок 2 –  
Спектр ТГц пропускания  
образца

## **ЛОКАЛИЗАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ СТОЛКНОВЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ В ФОТОННОМ КРИСТАЛЛЕ С ИНЕРЦИОННОЙ КУБИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТЬЮ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси, [dnovitsky@tut.by](mailto:dnovitsky@tut.by)*

В статье [1] было показано, что в одномерном фотонном кристалле с инерционной кубической нелинейностью возможно наблюдение эффекта самозахвата одиночного фемтосекундного импульса света, чья интенсивность превышает некоторое пороговое значение. В настоящей работе изучен вопрос о локализации излучения в результате столкновения двух импульсов с интенсивностью ниже пороговой. Такую ситуацию можно назвать индуцированным захватом импульса. Для реализации этого эффекта в схеме с двумя последовательно распространяющимися импульсами, движущимися с разной скоростью, используется зависимость групповой скорости импульса в фотонном кристалле от длины волны. Исследована зависимость эффективности индуцированного захвата от центральной длины волны в спектре импульса, исходного интервала между импульсами, их амплитуд. Показано, что этот эффект ограничивается, с одной стороны, длиной структуры (второй импульс должен успеть нагнать первый), а с другой – отражением излучения при приближении спектра импульса к запрещенной зоне.

### **Литература**

1. D.V. Novitsky. Pulse trapping inside a one-dimensional photonic crystal with relaxing cubic nonlinearity // Phys. Rev. A. – 2010. – Vol. 81, № 5. – P. 053814.

**FLUORESCENCE OF INDIVIDUAL NH  
TAUTOMERS OF CORROLES**

<sup>1</sup>*B. I. Stepanov Institute of Physics of National Academy of  
Sciences,*

*Minsk, Belarus*

*[kruk@imaph.bas-net.by](mailto:kruk@imaph.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Hasselt University, Institute for Materials Research (IMO-  
IMOMEC), Design & Synthesis of Organic Semiconductors (DSOS),  
Diepenbeek, Belgium*

<sup>3</sup>*Katholieke Universiteit Leuven, Department of Chemistry,  
Molecular Design and Synthesis, Leuven, Belgium*

Corroles, contracted tetrapyrrolic macrocycles lacking one meso-carbon atom, have emerged as attractive porphyrinoid materials, notably during the last decade, in which novel synthetic pathways toward *meso*-triaryl-substituted corroles and numerous post-macrocyclization functionalization protocols have considerably enlarged the set of available corrole structures and their potential applications. The presence of three NH protons in the corrole macrocyclic core and the inherent asymmetry (due to one direct C<sub>α</sub>-C<sub>α</sub> dipyrrole linkage instead of the methine C<sub>α</sub>-C<sub>m</sub>-C<sub>α</sub> bridge) impose many questions concerning the specific details of the corrole tautomerization mechanism.

An experimental study has been undertaken to disclose the individual absorption and fluorescence profiles of the two NH tautomers of 10-(4,6-dichloropyrimidin-5-yl)-5,15-dimesitylcorrole. The bands in the absorption and fluorescence spectra in a wide temperature range have been assigned to the individual NH tautomers. The data presented here bring unambiguous proofs for the coexistence of two corrole NH tautomers in fluid and solid solutions in a wide temperature range. The results allow clarifying previously observed problems in the interpretation of the fluorescence spectra of the whole family of *meso*-triarylcorroles.

УДК 535.37

Н. А. Борисевич, А. П. Блохин, В. А. Поведайло,  
Д. Л. Яковлев

## **ВЛИЯНИЕ ЯДЕРНОГО СПИНА НА ПОЛЯРИЗАЦИЮ РЕЗОНАНСНОЙ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ МОЛЕКУЛЯРНОГО ЙОДА**

*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[lsfm@imaph.bas-net.by](mailto:lsfm@imaph.bas-net.by)*

Измерены и рассчитаны степени поляризации флуоресценции молекулярного йода  $^{127}\text{I}_2$ , охлажденного в сверхзвуковой струе, при вращательно селективном лазерном возбуждении в электронном переходе  $\text{V}^3\Pi_{0u}^+ - \text{X}^1\Sigma_g^+$ . Измерения спектров возбуждения флуоресценции молекулярного йода выполнены с использованием автоматизированного спектрометрического комплекса, позволяющего измерять тонкоструктурные спектры возбуждения и степени поляризации флуоресценции соединений, охлажденных до единиц Кельвина в сверхзвуковой струе.

Установлены закономерности влияния ядерного спина атомов на степень поляризации резонансной флуоресценции молекулярного йода. На основе сравнения измеренных и рассчитанных зависимостей степени поляризации флуоресценции от вращательных квантовых чисел показано, что сверхтонкая структура уровней за счет квадрупольного взаимодействия ядерного спина атомов йода с угловым моментом молекулы дает значительный деполяризующий эффект. Наблюдаемый эффект особенно сильно проявляется для малых квантовых вращательных чисел, сравнимых с полным ядерным спином молекулы йода, равным 5. Полученные результаты представляют интерес для поляризационных исследований йода и йодсодержащих соединений в атмосферной экологии, а также для лазерных технологий получения высокополяризованных атомов и молекул.

**ФЛУОРЕСЦЕНЦИЯ СТРУЙНО ОХЛАЖДЕННЫХ  
ПАРОВ 2,3-ДИАЗОБИЦИКЛООКТЕНА**

*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси  
[poved@imaph.bas-net.by](mailto:poved@imaph.bas-net.by)*

Изучена природа аномальных спектрально-люминесцентных свойств азосоединения 2,3-дiazобикакло[2.2.2]окт-2-ена (ДБО) с применением струйного охлаждения. Данное соединение обладает высоким квантовым выходом и большой длительностью флуоресценции (около 1 мкс) в широкой области температур, что привлекает практической полезностью как флуоресцентной метки, позволяющей выделять ее свечение на фоне быстрой, короткоживущей флуоресценции. ДБО имеет необычный спектр флуоресценции, состоящий из структурированной коротковолновой компоненты, качественно зеркально-симметричной длинноволновой полосе спектра поглощения и диффузной, с максимумом почти на  $4000\text{ см}^{-1}$  длинноволнее.

Для выяснения механизма формирования спектра люминесценции изучены спектральные свойства паров ДБО при струйном охлаждении. Нарушение зеркальной симметрии спектров возбуждения и флуоресценции из-за интенсивного длинноволнового испускания, проявляющееся в растворенном состоянии и в газовой фазе, не удается устранить даже струйным охлаждением.

Обнаружено расщепление вращательных полос чисто электронного и электронно-колебательных переходов на  $0.55\text{ см}^{-1}$ , вызванное инверсионным туннелированием, что может служить причиной нарушения зеркальной симметрии спектров, возникающим при туннельной инверсии короткоживущим состоянием.

**ВОЗБУЖДЕНИЕ ТЕРАГЕРЦОВЫХ  
ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМОНОВ  
В ПОЛУПРОВОДНИКЕ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
[g.sinitsyn@dragon.bas-net.by](mailto:g.sinitsyn@dragon.bas-net.by)*

Анализируется возможность генерации терагерцовых (ТГц) поверхностных плазмонов в полупроводнике объемной световой волной в присутствии параллельного поверхности раздела высокочастотного однородного электрического поля.

Получено дисперсионное уравнение, описывающее взаимодействие поверхностной и объемной волн с полупроводником в высокочастотном электрическом поле. Показано, что закон дисперсии поверхностного ТГц плазмона описывается двумя ветвями – низкочастотной и высокочастотной. Высокочастотная ветвь, индуцируемая электрическим полем, может пересекаться с дисперсионной кривой объемной волны. Таким образом, в присутствии высокочастотного электрического поля поверхностные плазмоны могут возбуждаться объемной волной на гладкой поверхности полупроводника.

Получено также дисперсионное уравнение, описывающее параметрическую неустойчивость поверхностных ТГц плазмонов в однородном высокочастотном электрическом поле, параллельном границе раздела. Проанализирован механизм затухания ТГц поверхностных плазмонов и показано, что основной вклад в их поглощение дает черенковский эффект. Найдено выражение для амплитуды высокочастотного электрического поля, определяющее порог возникновения параметрической неустойчивости.

C. Crépin<sup>1</sup>, N. Shafizadeh<sup>1</sup>, J.-P. Galaup<sup>2</sup>, J.G. McCaffrey<sup>3</sup>,  
С.М. Арабей<sup>4</sup>, Т.А. Павич<sup>5</sup>, Е.А. Макарова<sup>6</sup>

## СТИМУЛИРОВАННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ МОЛЕКУЛАМИ ТЕТРААЗАПОРФИНА В МАТРИЦЕ АЗОТА

<sup>1</sup> *Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay, Orsay, France*

<sup>2</sup> *Laboratoire Aimé Cotton, Orsay, France*

<sup>3</sup> *National University of Ireland, Maynooth, Ireland*

<sup>4</sup> *БГАТУ, Минск, Беларусь,*

*[arabei.chemistry@batu.edu.by](mailto:arabei.chemistry@batu.edu.by)*

<sup>5</sup> *Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси*

<sup>6</sup> *НИОПИК, Москва, Россия*

В работах [1, 2] обнаружено, что импульсное лазерное возбуждение молекул свободных оснований фталоцианина или тетрабензопорфина в матрицах благородных газов и азота N<sub>2</sub> при низкой температуре, приводит к возникновению стимулированного излучения (СИ). В настоящем сообщении представлены результаты изучения СИ молекулами свободного основания тетраазпорфина (H<sub>2</sub>ТАП) в матрице N<sub>2</sub>, как соединения промежуточного по структуре между порфиринами и фталоцианинами. Детально обсуждаются условия возникновения СИ, зависимость спектральных параметров СИ от длины волны и мощности лазерного возбуждения. Совокупность спектров поглощения, флуоресценции, СИ и возбуждения СИ H<sub>2</sub>ТАП/N<sub>2</sub> позволила установить особенности наблюдаемого излучения.

### Литература

1. Dozova N., Murray C., McCaffrey J.G. et al. Amplified emission of phthalocyanine isolated in cryogenic matrices // Phys. Chem. Chem. Phys. – 2008. – Vol.10. – P.2167-2174.

2. Crépin C., Shafizadeh N., Chin W. et al. Unveiled optical properties of tetrapyrrolic pigments in cryogenic environments // Low Temp. Phys. – 2010. - V.36, No.5. - P.451-457.

УДК 535.42

А.И. Водчиц<sup>1\*</sup>, В.А. Орлович<sup>1</sup>, В.С. Горелик<sup>2</sup>,  
В.Н. Чернега<sup>2</sup>, А.Д. Кудрявцева<sup>2</sup>

## **ВЫНУЖДЕННОЕ КОМБИНАЦИОННОЕ РАСSEЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛАХ**

<sup>1</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси*  
[a.vodchits@dragon.bas-net.by](mailto:a.vodchits@dragon.bas-net.by)

<sup>2</sup>*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН*  
[gorelik@sci.lebedev.ru](mailto:gorelik@sci.lebedev.ru)

Исследовано вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) света в фотонных кристаллах (искусственные опалы) с внедрёнными в их поры комбинационно-активными жидкостями (вода, этанол) при возбуждении пикосекундными (длительность импульса 60 пс, частота следования 20 Гц, длина волны излучения 532 нм) лазерными импульсами. Обнаружено значительное снижение порога ВКР, когда фокусированный лазерный пучок возбуждал кристаллы вблизи их поверхности. Данный эффект обусловлен увеличением интенсивности светового поля излучения вследствие резонансов Ми в кристаллической структуре размером в сотни нанометров. Такой метод снижения порога ВКР открывает перспективы создания новых эффективных лазерных источников на основе фотонных кристаллов и их применения в различных областях науки и техники.



УДК 535.42

А.И. Водчиц<sup>1\*</sup>, В.А. Орлович<sup>1</sup>, П.А. Апанасевич<sup>1</sup>,  
В.С. Горелик<sup>2</sup>, В.Н. Чернега<sup>2</sup>, А.Д. Кудрявцева<sup>2</sup>

## НЕЛИНЕЙНАЯ РЕФРАКЦИЯ И ПОГЛОЩЕНИЕ В КРИСТАЛЛАХ ВАНАДАТОВ

<sup>1</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси  
[a.vodchits@dragon.bas-net.by](mailto:a.vodchits@dragon.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН  
[gorelik@sci.lebedev.ru](mailto:gorelik@sci.lebedev.ru)*

Методом Z-сканирования исследованы нелинейная рефракция и поглощение в кристаллах ванадатов ( $GdVO_4$ ,  $GdVO_4:Nd$ ,  $YVO_4$ ,  $YVO_4:Nd$ ,  $Gd_{0.64}Y_{0.36}VO_4$ ,  $Gd_{0.64}Y_{0.36}VO_4:Yb$ ,  $Gd_{0.64}Y_{0.36}VO_4:Er,Yb$ ) при возбуждении пикосекундными лазерными импульсами на длинах волн 1064 и 532 нм. В ближнем инфракрасном диапазоне все исследованные кристаллы характеризуются значительными величинами нелинейного показателя преломления. Нелинейное поглощение практически не проявляется в этом диапазоне. Для активированных ионами кристаллов наблюдалось ослабление нелинейной рефракции, обусловленное деструктивной интерференцией различных физических механизмов, вносящих вклад в нелинейный показатель преломления.

В видимом диапазоне спектра нелинейная рефракция и поглощение в кристаллах ванадатов значительно сильнее, чем в других известных кристаллах, таких, как, например, нитрат и вольфрамат бария, KGW, KYW и KYbW.

**КОГЕРЕНТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕМНЫХ  
СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В КУБИЧЕСКОМ  
ПОГЛОЩАЮЩЕМ ОПТИЧЕСКИ АКТИВНОМ  
ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ**

*Мозырский государственный педагогический  
университет имени И.П. Шамякина  
[zhanna-25-08@yandex.ru](mailto:zhanna-25-08@yandex.ru)*

Одномерные ((1+1)D) тёмные световые пучки можно использовать для создания в кубических фоторефрактивных кристаллах планарных волноводов, способных управлять другими высокоинтенсивными световыми пучками.

В [1] показано, что взаимодействие одномерных светлых световых пучков в фоторефрактивном кристалле можно использовать для адресной локализации одного из них. В настоящей работе теоретически исследовано когерентное взаимодействие одномерных темных пучков в кубическом поглощающем фоторефрактивном оптически активном кристалле класса 23 среза  $\bar{1}\bar{1}0$  в дрейфовом режиме. Показано, что можно выбрать такие условия нелинейного взаимодействия ортогонально поляризованных темных пучков, что один из них будет распространяться в квазисолитонном режиме, а другой, вспомогательный, – в режиме высокой дифракционной расходимости, причем координата локализации квазисолитонного пучка будет определяться энергетическими и геометрическими характеристиками вспомогательного пучка.

### **Литература**

1. Shepelevich V.V., Golub A.A., Kowarschik R., Kiessling A., Matusevich V. Incoherent interaction of Gaussian beams in photorefractive optically active crystals // Appl. Phys. B. – 2008. – Vol. 90. – P. 149-153.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕЗАББЕРАЦИОННОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ ДЛЯ ОПИСАНИЯ БЕССЕЛЬ- ГАУССОВЫХ ПУЧКОВ В НЕЛИНЕЙНОЙ СРЕДЕ

*Гомельский государственный технический университет  
им. П.О. Сухого  
[shapetr@tut.by](mailto:shapetr@tut.by)*

В данной работе рассматривается распространения Бессель-гауссовых пучков в кубически нелинейных средах. Исходным уравнением описывающим распространения мощных лазерных пучков является нелинейное параболическое уравнение для амплитуды светового вектора  $U$  в цилиндрической системе  $(r, \varphi, z)$  следующего вида:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} - 2ik_0 \frac{\partial U}{\partial z} + k_0^2 \beta |U|^2 U = 0. \quad (1)$$

Решение нелинейного уравнения (1) ищем в форме Бессель-гауссовой функции.

$$U = J_0((a(z) + ib(z))r) \exp \left\{ -p(z) - iq(z) - \frac{r^2}{w^2(z)} - \frac{ik_0 r^2}{2R(z)} \right\}.$$

Считая, что мощность пучка небольшая, и основной вклад в нелинейность вносит свет вблизи оси пучка, разлагаем  $|U|^2$  в ряд Тейлора, ограничиваясь до квадратичных членов разложения, включительно. Так как, Бессель-гауссова функция является точным решение параболического уравнения, то для параметров пучка получим систему шести обыкновенных дифференциальных уравнений.

Исследование полученной системы уравнений проводилась, как аналитически, так и численный счет. Было установлено, что при мощности пучка больше чем критическая мощность самофокусировки, поперечный размер светового пятна лазерного пучка сначала уменьшается, а потом пучок

расходится и его форма становится кольцевой. Данное поведение пучка можно объяснить тем, что при распространении бесселева пучка в среде наблюдается постоянная перекачка световой энергии из центрального максимума пучка в хвостовые. Так как гауссова функция быстро спадает к нулю на краях пучка, обратная перекачка световой энергии к центральному максимуму не компенсирует перекачки от центра, и пучок превращается в кольцевой.

При мощности пучка равной критической мощности сомофокусировки наблюдается квазиволноводный режим распространения. Поперечный размер гауссовой составляющей испытывает периодические колебания. При мощностях равной и больше критической мощности сомофокусировки, наличия сомофокусировки препятствует перекачки энергии из центрального максимума в хвостовые максимумы, и пучок при распространении в нелинейной среде сохраняет центральный максимум. Перекачка энергии от хвостовых максимумов к центральному приводит к их быстрому исчезновению.

Если мощность пучка больше критической наблюдается режим самосжатия пучка. Поперечные размеры гауссовой функций осциллируя уменьшаются до нуля, при этом интенсивность в центре пучка стремится к бесконечности.

## ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОРЯДКА БЕССЕЛЕВЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ В АНИЗОТРОПНЫХ КРИСТАЛЛАХ

*<sup>1</sup>Гомельский государственный технический университет  
им. П.О. Сухого*

*[khilo\\_p@tut.by](mailto:khilo_p@tut.by)*

*<sup>2</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси*

*[n.khilo@dragon.bas-net.by](mailto:n.khilo@dragon.bas-net.by)*

Разработка методов динамической трансформации бесселевых световых пучков (БСП), в том числе изменение их порядка, управление поляризацией и направлением распространения представляет как научный, так и практический интерес. В частности, манипуляция параметрами БСП актуальна в многообразных задачах, связанных с использованием оптических пинцетов.

В докладе представлены результаты исследования трансформации бесселевых пучков при их акустооптическом и нелинейно-оптическом взаимодействиях в кристаллах. Рассмотрены схемы прямого и обратного акустооптического рассеяния, а также генерация гармоник в периодически-неоднородных кристаллах. Исследованы особенности разделения цилиндрически-поляризованных ТН- и ТЕ-поляризованных компонент бесселевых пучков, предсказаны дополнительные возможности изменения порядка БСП при использовании азимутально-зависящих коэффициентов НЛ взаимодействия.

### **Литература**

1. Khilo P.A., Belyi V.N., Khilo N.A., Petrova E.S., Kazak N.S. Formation of TE-and TH polarized Bessel beams at acousto-optic diffraction in anisotropic crystals. Proc. of SPIE, 2011, Vol. 8073, p.807327-1– 807327-9.

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕРХКОРОТКИХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ В ВОЛНОВОДНЫХ, ПЕРИОДИЧЕСКИХ И КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ФОТОННЫХ СТРУКТУРАХ**

*Белорусский государственный университет,  
[dadashzadeh@bsu.by](mailto:dadashzadeh@bsu.by), [romanov@bsu.by](mailto:romanov@bsu.by)*

Перспективным методом исследования пространственно-временных характеристик электромагнитного излучения в фотонных микроструктурах является метод конечно-разностной аппроксимации уравнений Максвелла в пространственной и временной области (FDTD-метод) [1].

В данной работе представлены результаты численного моделирования задач о распространении сверхкоротких световых импульсов в средах с микроструктурированным показателем преломления. Для расчета пространственных распределений напряженности электрического и магнитных полей использовался FDTD-метод для двумерной геометрии неоднородностей показателя преломления. Проанализированы варианты распространения излучения в системе связанных волноводов, а также в квазипериодических фотонных структурах с лабиринтоподобным распределением показателя преломления. Изучено влияние параметров излучения (длина волны, поперечный размер светового пучка) и параметров среды (разность показателей преломления диэлектрических слоев, их геометрические параметры) на пространственные характеристики электромагнитного поля.

### **Литература**

1. Kawano K., Kitoh T. Introduction to Optical Waveguide Analysis: Solving Maxwell's Equations and the Schrödinger Equation. John Wiley and Sons Inc. 2001.

## ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С НАНОКОМПОЗИТНОЙ ПЛЕНКОЙ

<sup>1</sup>*Бакинский Государственный Университет,  
[karamaliyev@yahoo.com](mailto:karamaliyev@yahoo.com)*

<sup>2</sup>*Институт Физики НАН Азербайджана,*

<sup>3</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси  
[tshe@dragon.bas-net.by](mailto:tshe@dragon.bas-net.by)*

Теоретически исследовано отражение и поглощение электромагнитного излучения композитной прозрачной диэлектрической пленкой толщиной  $\leq 1\text{ мк}$ , содержащей наночастицы серебра. При проведении расчетов использовались размерные поправки к диэлектрической проницаемости массивного серебра, возникающие за счет ограничения длины свободного пробега электронов проводимости в металлической наночастице. Нанокompозитная тонкая пленка в зависимости от её параметров избирательно по толщине отражает падающее на нее оптическое излучение. При этом наиболее эффективное взаимодействие падающего излучения с нанокompозитной средой происходит в случае совпадения частоты внешнего поля с плазмонной резонансной частотой наночастицы. Изучено влияние размеров наночастиц и их объемного содержания на процессы отражения и поглощения оптических волн. Увеличение радиуса наночастиц несущественно влияет на характер изменения этих процессов, в то время как увеличение объемного содержания металлических наночастиц всего лишь на 1% приводит к значительному изменению отражения и поглощения оптических волн нанокompозитной пленкой. Показано, что в таких пленках достаточно просто реализуется эффект безотражательного поглощения падающего излучения, а также состояние среды с отрицательным значением реальной части эффективной диэлектрической проницаемости для определенной полосы частот.

УДК 535.3; 539.184

А.Ч. Свистун, Л.С. Гайда, Д.В. Гузатов, А.А. Афанасьев<sup>1</sup>

## **ФАЗОВОЕ СОГЛАСОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ВЕКТОРОВ ТРЕХУРОВНЕВОЙ КВАНТОВОЙ СИСТЕМЫ V-ТИПА В БИХРОМАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

*ГрГУ им. Янки Купалы*

*[laser777@gmail.com](mailto:laser777@gmail.com)*

<sup>1</sup> *Институт физики НАН Беларуси*

Прослежена эволюция расщепления отдельных компонент спектральных контуров коэффициентов поглощения и усиления сигнальной волны под действием лазерной волны накачки на атомную среду. Обсуждён эффект усиления сигнальной волны при её частотно-вырожденном двухволновом взаимодействии с накачкой при настройке частоты поля в область «нулевой дисперсии» [1]. Определены условия по концентрациям атомов и спектральным областям частот взаимодействующих волн, при которых для корректного описания рассматриваемых эффектов требуется учет действия сигнала и накачки в обоих дипольно-разрешенных переходах ансамбля трехуровневых квантовых систем V-типа.

Представлены результаты численных расчетов мнимой и действительной частей коэффициента преломления в зависимости от параметров лазерного излучения на резонансных переходах квантовой системы V-типа. Найдены оптимальные факторы режимов согласований волновых векторов. Произведено сравнение экспериментальных и расчётных спектров для случая фазового согласования волновых векторов.

1. Свистун, А.Ч. Дисперсии трехуровневой квантовой системы в бихроматическом поле / А.Ч. Свистун, Л.С. Гайда, А.А. Афанасьев // ЖПС. – 2007. – Т. 74, № 5. – С. 631 – 636.



**ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОРЯДКА БЕССЕЛЕВА  
СВЕТОВОГО ПУЧКА В АНИЗОТРОПНОМ КРИСТАЛЛЕ***<sup>1</sup>ГГТУ имени П.О.Сухого**[khilo\\_p@mail.ru](mailto:khilo_p@mail.ru)**<sup>2</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова НАН**Беларуси**[n.khilo@dragon.bas-net.by](mailto:n.khilo@dragon.bas-net.by)*

В настоящее время для формирования бесселевых световых пучков (БСП) высших порядков используются в основном голограммы, а также перестраиваемые пространственные модуляторы света. Недавно теоретически и экспериментально была показана возможность эффективного применения для этих целей одноосных кристаллов [1].

В докладе представлены результаты исследования трансформации БСП в анизотропном одноосном кристалле при распространении света в направлении перпендикулярном оптической оси. Показано что при этом в кристалле возбуждаются два БСП. Один из них является круговым по поперечному сечению и соответствует обыкновенной плоской волне. Другой пучок является астигматическим, т.е. имеет эллиптический поперечный профиль. Показано, что астигматизм БСП приводит к изменению порядка бесселевой функции, т.е. к трансформации исходного пучка нулевого порядка в БСП второго, четвертого и т.д. порядков. При этом относительные интенсивности пучков зависят от расстояния, проходимого излучением в кристалле.

**Литература**

1. Хило Н.А., Петрова Е.С., Рыжевич А.А. Преобразование порядка бесселевых пучков в одноосных кристаллах// Квантовая электроника.-2001.-Т.31, №1.-С85-89

**СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ  
ФОТОХРОМНОГО ЭФФЕКТА В КРИСТАЛЛАХ  
ТИТАНАТА ВИСМУТА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ  
ВОЗБУЖДЕНИИ**

*Белорусский государственный университет,  
[tolstik@bsu.by](mailto:tolstik@bsu.by)*

Перспективы использования кристаллов титаната висмута обусловлены их высокой чувствительностью в видимой области спектра. Фотохромный эффект (обратимое изменение поглощения) связан с заселением ловушечных уровней. В условиях импульсного лазерного возбуждения была обнаружена пороговая зависимость эффекта от интенсивности [1].

В настоящей работе представлены результаты исследования наведенного поглощения кристаллов титаната висмута при их облучении наносекундным излучением на различных длинах волн. Для облучения кристаллов использовался параметрический генератор света, работающий в диапазоне от 400 нм до 2 мкм. Установлено, что величина наведенного поглощения увеличивается при уменьшении длины волны и увеличении интенсивности возбуждающего излучения при сохранении дозы облучения. Показано существование предельной длины волны, выше которой фотохромный эффект не проявляется даже при экспозиции свыше  $\text{кДж/см}^2$ . Предложена теоретическая модель, включающая однофотонное поглощение с промежуточного ловушечного уровня и двухквантовое поглощение из валентной зоны.

**Литература**

1. А.В.Станкевич, А.Л.Толстик, Х.К.Хайдер. Фотоиндуцированное поглощение в кристаллах титаната висмута при нано- и пикосекундном возбуждении // Письма в ЖТФ – 2011. – Т.37, №16. – С.7–14.

## **НЕЛИНЕЙНАЯ ГОЛОГРАФИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ В ЛИНЕЙНО-ПОГЛОЩАЮЩИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЯХ**

*Белорусский государственный университет, 220030  
Минск, Беларусь, [tolstik@bsu.by](mailto:tolstik@bsu.by)*

Для реализации эффективной записи нелинейных динамических голограмм, реализуемых в средах с нелинейностью пятого и более высокого порядков по схеме многоволнового смешения, предложено использовать линейно-поглощающие органические жидкости, которые традиционно рассматриваются как среды с чисто кубической нелинейностью. Для описания процесса дифракции использовано разложение функциональной зависимости показателя преломления от температуры в ряд Тейлора по производным различного порядка, а также учтена зависимость от температуры плотности и теплоемкости используемого растворителя.

В эксперименте в качестве нелинейной среды выбран этанольный раствор хлорида меди, характеризующийся высокой тепловой нелинейностью и высоким поглощением в ближней ИК-области спектра. Максимально достигнутая дифракционная эффективность при записи квадратичных динамических голограмм составила 20 %, что на несколько порядков превышает данные известных экспериментальных работ, в которых для реализации шестиволнового взаимодействия использовалось двухфотонное поглощение в полимерах или насыщающееся поглощение в растворах органических красителей. Установлено, что определяющий вклад в нелинейную восприимчивость пятого и более высоких порядков вносит тепловая нелинейность, обусловленная зависимостью от температуры плотности и теплоемкости растворителя.

УДК 621.373.826

А.С. Дементьев, И. Демин, Э. Мураускас, Н. Славинскис

## **О ВОЗМОЖНОСТЯХ УДАРНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ВРМБ ВСТРЕЧНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ**

*Государственный научно-исследовательский институт  
Центр физических наук и технологий, Вильнюс, Литва  
[aldement@ktl.mii.lt](mailto:aldement@ktl.mii.lt)*

В работе [1] был реализован новый эффективный механизм сжатия сфокусированных импульсов при ударном возбуждении гиперзвуковых волн в  $\text{CCl}_4$  встречными короткими ( $< 1\text{нс}$ ) импульсами той же несущей частоты и длительности. Так как в этом случае взаимодействие начинается не с уровня шумов спонтанного рассеяния, сжатие при усилении встречных импульсов возможно и при энергиях импульсов накачки, меньших пороговых энергий ВРМБ. При этом достигается большая степень сжатия, в несколько раз повышается энергетическая и временная стабильность, а также уменьшается временной джиттер сжатых импульсов по сравнению со случаем ВРМБ-компрессии от уровня спонтанных шумов рассеяния.

В данной работе исследованы возможности ударного возбуждения ВРМБ встречными импульсами различной частоты, временной формы и длительности в конденсированных средах типа тетрахлоридов, тяжелых фреонов, плавленого кварца и стекла К8 с существенно различающимися временами затухания и периодами гиперзвуковых волн..

### **Литература**

1. Дементьев А.С., Демин И., Мураускас Э., Славинскис Н. Сжатие импульсов при их усилении в поле сфокусированной встречной накачки с той же частотой и длительностью в средах с электрострикционным механизмом нелинейности // Квантовая электроника. - 2011. – Т.41, №2. – С. 153-159.

**ЗАВИСИМОСТЬ СТЕПЕНИ  
САМОФОКУСИРОВКИ ДВУМЕРНОГО СВЕТОВОГО  
ПУЧКА В ФОТОРЕФРАКТИВНОМ КРИСТАЛЛЕ SBN ОТ  
НАПРАВЛЕНИЯ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

*Мозырский государственный педагогический  
университет имени И.П. Шамякина [davalenta@inbox.ru](mailto:davalenta@inbox.ru)*

Распространение и взаимодействие двумерных световых пучков в фоторефрактивном кристалле SBN рассматривалось многими авторами (см. напр., [2, 3]). Однако в этих работах учитываются только две компоненты  $\Gamma_{33}$  и  $\Gamma_{13}$  электрооптического тензора  $\hat{\Gamma}$ , а направление внешнего электрического поля, выбирается параллельным оптической оси кристалла.

В настоящей работе показано, что выбираемое в [2, 3] направление внешнего электрического поля в кристалле SBN не является оптимальным, и установлена зависимость степени самофокусировки двумерного гауссова светового пучка от этого направления с учетом всех компонент электрооптического тензора. Найдены направления внешнего электрического поля, для которых степень самофокусировки достигает максимального значения. Полученный результат позволит оптимизировать работу нелинейных оптических устройств, создающих квазисолитонный режим управляемых ими световых пучков.

### **Литература**

1. Królikowski W., Luther-Davies B., Denz C. Photorefractive solitons // IEEE Journal of Quantum Electron. – 2003. – Vol. 39. – P. 3 -12.
2. Tiemann M., Halfmann T., Tschudi T. Photorefractive spatial solitons as waveguiding elements for optical telecommunication // Optics Communications. – 2009. – Vol. 282. – P. 3612–3619.

**ОПТИМАЛЬНЫЙ ВЫБОР АЗИМУТА  
ПОЛЯРИЗАЦИИ СВЕТОВОЙ ВОЛНЫ ПРИ  
СЧИТЫВАНИИ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ ГОЛОГРАММЫ  
В ПЬЕЗОКРИСТАЛЛЕ  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$**

*УО МГПУ имени И.П.Шамякина, [valnav@inbox.ru](mailto:valnav@inbox.ru)*

Свойства и применение объемных отражательных голограмм, сформированных в фоторефрактивных кристаллах, являются объектом интенсивных исследований (см. обзор в [1]).

Целью настоящего доклада является установление закономерностей влияния обратного пьезоэлектрического эффекта (пьезоэффект) на значения входного азимута линейной поляризации световой волны, считывающей объемную отражательную голограмму, сформированную в кубическом оптически активном фоторефрактивном кристалле  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  (BSO), при которых достигаются максимальные значения дифракционной эффективности голограммы.

Показано, что наибольшее изменение значения входного азимута поляризации (на угол, близкий к  $\pi/2$ ) опорной световой волны при «включении» пьезоэффекта достигается в отражательных голограммах, волновой вектор которых составляет небольшой угол (не более  $14^\circ$ ) с одной из осей симметрии второго порядка (за исключением случая, когда волновой вектор голограммы совпадает по направлению с одной из этих осей; при этом пьезоэффект вообще не оказывает влияния на свойства отражательной голограммы).

**Литература**

1. Шандаров С.М., Буримов Н.И., Кульчин Ю.Н., Ромашко Р.В., Толстик А.Л., Шепелевич В.В. Динамические голограммы Денисюка в кубических фоторефрактивных кристаллах // Квантовая электроника. – 2008. – Т. 11, № 11. – С. 1059 – 1069.

УДК 535:543:539:547

Г.Т. Василюк<sup>1</sup>, С.А. Маскевич<sup>1</sup>, В.И. Минкин<sup>3</sup>,  
В.Ф. Оскирко<sup>1</sup>, А.Е. Герман<sup>1</sup>, И.Ф. Свекло<sup>1</sup>, В.М. Ясинский<sup>2</sup>,  
Б.С. Лукьянов<sup>3</sup>, Т.Н.Грибанова<sup>3</sup>, А.А. Милов<sup>3</sup>, А.В. Метелица<sup>3</sup>

## **ГИБРИДНЫЕ ФОТОХРОМНЫЕ НАНОСИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ СПИРОЦИКЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

*<sup>1</sup>Гродненский государственный университет им.*

*Я.Купалы, Гродно, Беларусь*

*[vasilyuk@grsu.by](mailto:vasilyuk@grsu.by)*

*<sup>2</sup>Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси*

*<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт физической и  
органической химии Южного федерального университета,*

*Ростов-на-Дону, Россия*

В элементах молекулярной электроники и фотоники часто применяются фотохромные материалы, в том числе на основе спиропиранов, проявляющих фотохромные свойства как в растворах, так и в различных твердофазных матрицах.

В работе методами спектрофотометрии, спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) света, атомно-силовой микроскопии, оптической микроскопии ближнего поля изучены структурные и оптические свойства оригинальных созданных для данной работы гибридных наноструктурированных систем «металлическая наночастица-фотохромные спироциклические молекулы», а также особенности превращений таких фотохромных молекул в различных матрицах.

Установлено, что указанные наноструктурированные системы являются эффективными субстратами, вызывающими как усиление сигнала КР света, так и повышение эффективности фотохромных превращений молекул вблизи поверхности металла.

Работа выполнена при финансовой поддержке  
БРФФИ (грант Ф12Р-156), РФФИ (грант 12-03-90017  
Бел\_а).

УДК 535.42

В.В. Шепелевич<sup>1</sup>, В.Н. Навныко<sup>1</sup>, С.М. Шандаров<sup>2</sup>

## ЗАВИСИМОСТЬ МАКСИМАЛЬНОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОЛОГРАММЫ ДЕНИСЮКА В ПЬЕЗОКРИСТАЛЛЕ $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ ОТ СРЕЗА И ТОЛЩИНЫ КРИСТАЛЛА

<sup>1</sup>*УО МГПУ имени И.П.Шамякина, Мозырь, Беларусь*

<sup>2</sup>*ТГУСУР, Томск, Россия*

[valnav@inbox.ru](mailto:valnav@inbox.ru)

Представлены результаты исследования зависимости максимальной дифракционной эффективности объемной отражательной голограммы, сформированной в пьезокристалле  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  (ВТО), от среза и толщины кристаллического образца, причем использованы геометрия взаимодействия, терминология и методика аналогичного исследования для кристалла  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  (BSO) [1].

Показано, что в кристалле ВТО критическая толщина, которая разделяет множество значений толщины кристалла на два интервала, составляет 18,7 мм. Если толщина кристалла меньше критической, то максимальная дифракционная эффективность достигается в кристалле среза  $\{100\}$ . Для кристалла толщиной, большей критической, близкая к максимально возможной дифракционная эффективность достигается для среза  $\{111\}$ . Значительное различие (приблизительно в 3 раза) в критической толщине для кристаллов BSO и ВТО обусловлено разными значениями удельного вращения плоскости поляризации света в этих кристаллах: 22,3 °/мм и 6,4 °/мм соответственно.

### Литература

1. Shepelevich V.V., Naunya V.N. Effect of optical activity and crystal symmetry on maximal diffraction efficiency of reflection holograms in cubic photorefractive piezocrystals // Appl. Phys. B. – 2009. – Vol. 95, No. 3. – P. 459-467.



УДК 621.373.826

Д.Г. Зусин<sup>1</sup>, А.А. Демидович<sup>2</sup>, А.А. Кононович<sup>1</sup>,  
М. Данаилов<sup>2</sup>, А.С. Грабчиков<sup>1</sup>, В.А. Орлович<sup>1</sup>

## ТЕПЛОВАЯ ЛИНЗА В НЕПРЕРЫВНЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ВКР-ЛАЗЕРАХ

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова, проспект  
Независимости, 68, 220072 Минск, Беларусь,  
[blackwax@tut.by](mailto:blackwax@tut.by)*

<sup>2</sup>*ELETTRA Sincrotrone, Strada Statale 14 – km 163,5 in  
AREA Science Park, 34149, Тривест, Италия*

Основной проблемой при увеличении мощности лазеров с продольной диодной накачкой является тепловая линза, наводимая в активной среде, вследствие которой резонатор лазера может выйти за пределы устойчивости при достаточно высокой мощности накачки. В ВКР лазерах эта проблема осложняется двумя факторами, которые приводят к дополнительному тепловыделению и, как следствие, увеличивают силу термолинзы: чрезвычайно высокая добротность резонатора на фундаментальной длине волны, и сам процесс ВКР.

Теоретическая модель тепловой линзы, разработанная для обычных диодно-накачиваемых лазеров [1], не подходит для описания ВКР-лазеров. В настоящей работе представлена модель, позволяющая рассчитывать термолинзу в ВКР лазерах. Расчёт произведен для лазеров с ВКР самопреобразованием частоты на кристалле Nd:YVO<sub>4</sub> и его результаты сравниваются с экспериментально измеренными значениями.

### Литература

1. On thermal effects in solid-state lasers: The case of ytterbium-doped materials / S. Chenais [et al.] // Progress in quantum electronics. – 2006. – Vol. 30. – P. 89-153.

**АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ УРОВНЕЙ  
АСИММЕТРИЧНОГО ВОЛЧКА**

*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[lsfm@imaph.bas-net.by](mailto:lsfm@imaph.bas-net.by)*

Представлена модель аналитического WKB-расчета уровней асимметричного жесткого волчка, для двух форм стереодинамики его вращения в переменных действие-угол, где действиями являются вращательный момент и усредненная по азимутальному углу его проекция на оси большего ( $C$ ) или меньшего ( $A$ ) момента инерции. В каждой форме квантуется «осевое» действие в *аналитическом* виде, поэтому не требуется матричная диагонализация, выдается прозрачная, доступная быстрому счету система энергетических уровней.

Отклонение уровней модели на единицы вращательной постоянной от точных наблюдается лишь для состояний, лежащих в области раздела (сепаратрис) форм вращения, но падает на порядки с удалением от нее. Как WKB-приближение, она не дает расщепленные соседние четные и нечетные уровни, а только уровни их кластеров.

На модели рассчитана зависимость обусловленной вращением волчка анизотропии оптического дипольного сечения от квантового состояния. Показано, что она различается существенно в формах вращения с  $A$  и  $C$  осью, а максимальная амплитуда ее изменения зависит, в основном, от вторичного квантового числа  $k$  (или  $\tau$ ) и присуща ориентации диполя вдоль главной оси формы вращения. Для обеих форм вращения анизотропия падает с уменьшением главного квантового числа  $j$ , причем особенно быстро в области малых  $j$ .

## **ОПТИЧЕСКАЯ АНИЗОТРОПИЯ НЕРАВНОВЕСНЫХ АНСАМБЛЕЙ МОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСОВ В ГАЗАХ**

*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[lsfm@imaph.bas-net.by](mailto:lsfm@imaph.bas-net.by)*

Исследован поляризационный отклик неравновесного по угловому моменту ансамбля молекулярных комплексов в газовой фазе. Показано, что условие сохранения полного углового момента молекулярного комплекса в газовой фазе приводит к возникновению неравновесного распределения по угловым моментам, что самым существенным образом меняет ориентационную релаксацию и приводит к изменению кинетики поляризационного отклика, по сравнению с кинетикой свободных молекул. Получены теоретические выражения для анизотропии люминесценции и дихроизма поглощения в ситуациях, когда комплексы образуются до момента оптического возбуждения и когда этот процесс происходит в возбужденном состоянии. Кинетика анизотропии рассчитана как для стационарных условий эксперимента, так и для фемтосекундных измерений в реальном масштабе времени. Примечательно, что в зависимости от соотношения моментов инерции и ориентации главных осей, образовавших комплекс молекул увеличение вытянутости эллипсоида инерции может приводить как к уменьшению так и к увеличению поляризации. Имеются области значений динамических параметров, в которых она может увеличиваться в несколько раз. Продемонстрировано, что поляризационные характеристики молекулярных комплексов в газовой фазе дают информацию о вращательной стереодинамике процесса комплексообразования.

A. Starukhin<sup>1</sup>, M. Kruk<sup>1</sup>, L. Gladkov<sup>2</sup>, N. Chijova<sup>3</sup>,  
N. Mamardashvili<sup>3</sup>, I. Scheblykin<sup>4</sup>

**FLUORESCENCE LINE NARROWING SPECTRA OF  
Mg-TETRAZAPORPHINE AND Mg-  
OCTAPHENYLPORPHINE**

<sup>1</sup>*B. I. Stepanov Institute of Physics of National Academy of  
Sciences, Minsk, Belarus*

*[astar@imaph.bas-net.by](mailto:astar@imaph.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Higher State College of Communication, Minsk, Belarus*

<sup>3</sup>*G.A. Krestov Institute of solution chemistry of Russian  
Academy of Sciences, Ivanovo, Russia*

<sup>4</sup>*Lund University, Department of Chemical Physics, Lund,  
Sweden*

The effect of transformation in structure and its influence on the optical properties of porphyrins core have essential interest for future producing of dendrimers. It was shown that the introduction of substituents in  $\beta$ -positions leads to progressive bathochromic shifts of the porphyrin absorbance and fluorescence bands due to the rising energy of the  $a_{2u}$  orbital as compared to the parent tetraazaporphine.

In this contribution we report new fine-line spectra obtained for Mg-tetraazaporphine (Mg-TAP) and Mg-octaphenylporphine (Mg-OPTAP) in solid solution under laser selective excitation and 4,2 K.

Quantum-chemical calculations of the frequencies and symmetry of the normal modes as well as the maximum amplitude change for natural coordinates have been done by a DFT method using the exchange-correlative functional BPE and software package "Priroda". The quantum-chemical calculations for the equilibrium configuration of isolated molecules of the Mg-TAP and Mg-OPTAP were carried out.

Combined discussion of the experimental data and the results of quantum-chemical calculations of the normal modes for our compounds lead to elucidation the effect of phenyl substitution on fine-line spectra.

UDC 535.37

M. Kruk<sup>1</sup>, A. Starukhin<sup>1</sup>, W. Maes<sup>2,3</sup>, T. Ngo<sup>3</sup>, W. Dehaen<sup>3</sup>

## ON THE ORIGIN OF THE SOLVENT-DEPENDENT SPECTRA OF CORROLES

<sup>1</sup>*B. I. Stepanov Institute of Physics of National Academy of Sciences,*

*Minsk, Belarus*

*[kruk@imaph.bas-net.by](mailto:kruk@imaph.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Hasselt University, Institute for Materials Research (IMO-IMOMEC), Design & Synthesis of Organic Semiconductors (DSOS), Diepenbeek, Belgium*

<sup>3</sup>*Katholieke Universiteit Leuven, Department of Chemistry, Molecular Design and Synthesis, Leuven, Belgium*

Corroles, contracted porphyrin analogues lacking one *meso*-carbon bridge, have attracted considerable attention as they have the potential to add some peculiar features to the ‘traditional’ porphyrin properties. Corrole-based materials are nowadays extensively studied and applied as novel (oxidation) catalysts, antitumor treatment and imaging agents as well as active materials in the design of new sensors and optoelectronic devices. Starting from the very first publications on corrole synthesis in the middle of the sixties, it was noticed that their ground state absorption spectra undergo dramatic changes as a function of solvent.

The absorption spectra of 10-(4,6-dichloropyrimidin-5-yl)-5,15-dimesitylcorrole have been studied in 15 solvents. The formation of deprotonated corrole species was found to account for the dramatic changes in the absorption spectrum in several solvents. Careful analysis of the relationship between the formation of deprotonated species and solvent properties, based on these observations, results in the conclusion that there is no single solvent parameter correlation and either multiparameter correlations or specific solute-solvent interactions (preferential solvation of the most acidic NH tautomer, perturbation of intramolecular hydrogen bonding in the macrocycle core) should be considered.

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ  
ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ НАНОАЛМАЗОВ  
В СУСПЕНЗИЯХ И ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ**

*<sup>1</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси [bushuk@dragon.bas-net.by](mailto:bushuk@dragon.bas-net.by)*

Оптические свойства наноалмазов в последние годы привлекают все большее внимание исследователей. Методы лазерной сканирующей микроскопии и флуоресцентной микроспектроскопии были использованы для исследования оптических свойств наноалмазов как в суспензиях, так и в пленках. Было установлено, что наноалмазы детонационного синтеза имеют собственную флуоресценцию в синей, зеленой и красной областях спектра. В суспензиях зарегистрированы люминесцирующие агрегаты наночастиц алмаза с размерами <150 нм. В пленках также наблюдалась люминесценция в тех же спектральных диапазонах, однако интенсивность люминесценции была значительно выше. Наноалмазы в пленках, в основном, локализованы на границах зерен металла (золота) и проявляются в виде частиц и их агрегатов различных форм и размеров. Обнаруженные особенности проявления люминесценции наноалмазов в твердых растворах позволяет их использовать в конструкциях люминесцентных чипов.

УДК:535.37

C. Crépin<sup>1</sup>, N. Shafizadeh<sup>1</sup>, J.-P. Galaup<sup>2</sup>, J.G. McCaffrey<sup>3</sup>,  
С.М. Арабей<sup>4</sup>, Т.А. Павич<sup>5</sup>, Е.А. Макарова<sup>6</sup>

## NH-ТАУТОМЕРИЯ МОЛЕКУЛ ТЕТРААЗАПОРФИНА В МАТРИЦЕ АЗОТА

<sup>1</sup>*Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay, Orsay, France*

<sup>2</sup>*Laboratoire Aimé Cotton, Orsay, France*

<sup>3</sup>*National University of Ireland, Maynooth, Ireland*

<sup>4</sup>*БГАТУ, Минск, Беларусь*

<sup>5</sup>*Институт физики имени Б.И.Степанова НАН  
Беларуси,*

*[pavich@imaph.bas-net.by](mailto:pavich@imaph.bas-net.by)*

<sup>6</sup>*НИОПИК, Москва, Россия*

Полосы поглощения тетраазапорфина (H<sub>2</sub>ТАП) в матрице азота N<sub>2</sub> при 8К претерпевают частичное снятие неоднородного уширения за счет формирования ограниченного числа типов примесных центров. С привлечением метода выжигания стабильных спектральных провалов выполнены исследования фотохимических свойств примесных центров H<sub>2</sub>ТАП/N<sub>2</sub> при гелиевой температуре. Явление выжигания спектральных провалов в подобных системах (тетрабензопорфин в матрице азота) известно и детально изучено [1] – оно обусловлено процессом внутримолекулярной NH-таутомерии порфирина. Селективное лазерное возбуждение молекул отдельных типов примесных центров H<sub>2</sub>ТАП/N<sub>2</sub> в области Q<sub>x</sub>-полосы поглощения позволило установить их взаимосвязь, проявление фотохимического и фотофизического механизмов выжигания провалов.

### Литература

1. Арабей С.М., Крепен К., Шафизаде Н. и др. Спонтанное и стимулированное излучение молекулами тетрабензопорфина в матрице азота // Вестник ФФИ – 2011. – №4. – С.93-103.

УДК 535.34, 535.37

Н.А. Скопцов<sup>1</sup>, А.М. Маляревич<sup>1</sup>, К.В. Юмашев<sup>1</sup>,  
О.С. Дымшиц<sup>2</sup>, А.А. Жилин<sup>2</sup>, И.П. Алексеева<sup>2</sup>

## ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ИОНОВ Yb<sup>3+</sup> В СТЕКЛАХ И СИТАЛЛАХ

<sup>1</sup>НИЦ оптических материалов и технологий БНТУ

[skoptsov@bntu.by](mailto:skoptsov@bntu.by)

<sup>2</sup>НИТИОМ ВНЦ “ГОИ им. С.И. Вавилова”

В работе исследованы стекла и ситаллы литиевоалюмосиликатной системы, активированные ионами иттербия, перспективные для получения лазерной генерации в области 1 мкм. По данным рентгенофазового анализа установлено, что в ситаллах ионы Yb<sup>3+</sup> входят в состав нанокристаллов Yb<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

Установлено, что с увеличением температуры вторичной термообработки происходит изменение спектра поглощения ионов Yb<sup>3+</sup> в ситаллах по сравнению с исходным стеклом: смещение положения и уменьшение интенсивности максимумов полос поглощения. Это объясняется появлением кристаллической фазы Yb<sub>2</sub>Ti<sub>2</sub>O<sub>7</sub> в стеклянной матрице и постепенным упорядочиванием её структуры от дефектного флюорита к разупорядоченному пирохлору.

Кинетика затухания люминесценции ионов Yb<sup>3+</sup> в области 1030 нм (вследствие переходов <sup>2</sup>F<sub>5/2</sub>→<sup>2</sup>F<sub>7/2</sub>) у всех образцов имеет немонотонную форму с быстрым (~20-50 мкс) затуханием на начальной стадии. Эффективное время жизни иона Yb<sup>3+</sup> на уровне <sup>2</sup>F<sub>5/2</sub> в исходном стекле (260 мкс) меньше, чем в ситаллах (520-630 мкс), возрастая с увеличением температуры термообработки. Рассчитано радиационное время жизни состояния <sup>2</sup>F<sub>5/2</sub> иона Yb<sup>3+</sup> в стеклах и ситаллах, которое составляет от 0.95 мс до 1.5 мс. Таким образом, кристаллизация в ситаллах иттербийсодержащей фазы и её структурное упорядочение приводит к росту времени жизни иона Yb<sup>3+</sup> в состоянии <sup>2</sup>F<sub>5/2</sub>, что позволяет эффективнее проводить накачку этого состояния для получения лазерной генерации в канале <sup>2</sup>F<sub>5/2</sub>→<sup>2</sup>F<sub>7/2</sub>.



УДК 543.424.2 +541.143

Ю.Д.Хамчуков<sup>1</sup>, Л.Л.Гладков<sup>2</sup>, И.Ю.Сычѐв<sup>1</sup>,  
А.В.Любимов<sup>3</sup>

## КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СПЕКТРЫ ИНДОЛИНОСПИРО-НАФТООКСАЗИНА И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

<sup>1</sup> *Институт технической акустики НАН Беларуси,*  
*[khamch@tut.by](mailto:khamch@tut.by)*

<sup>2</sup> *Учреждение образования «Высший государственный  
колледж связи», [llglad@tut.by](mailto:llglad@tut.by)*

<sup>3</sup> *Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН,*  
*[aleksanlyubimov@yandex.ru](mailto:aleksanlyubimov@yandex.ru)*

Исследование молекулярных структур, индолиновых спирооксазиновых соединений, представляющих основу органических фотохромных материалов повышенной фотоустойчивости, имеет широкие перспективы [1]. Для понимания процесса фотоперестройки индолиноспиро-нафтооксазина:1,3-дигидро-1,3,3-триметилспиро[2Н-индол- 2,3'-[3Н] нафто [2,1-б][1,4] оксазин] (ИСНО) исследовали спектры КР и ИК. Возбуждение спектров КР осуществляли лазером с длиной волны 441,6 нм. Особенностью спектров КР ИСНО явилось проявление составных частот.

Для интерпретации полученных спектров был выполнен квантово-механический расчет методом функционала плотности равновесной конфигурации, а также нормальных колебаний изолированной молекулы ИСНО. В интервале 800–1200 см<sup>-1</sup> выделены четыре нормальных колебания с наибольшей амплитудой изменения связи, образованной атомами спироуглерода и кислорода, через которые в возбужденном состоянии, возможно, происходит фотоперестройка спироформы молекулы ИСНО в мероцианиновую форму.

### Литература

1. Локшин В., Сама А., Метелица А.В.// Успехи химии.– 2002.–Т.71.–№11.– С.1015–1039

УДК 535.34

Е.А. Мельникова, О.Г. Романов, А.Л. Толстик

## **ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ВОЛНОВОДНЫЕ СТРУКТУРЫ С УПРАВЛЯЕМОЙ ТОПОЛОГИЕЙ ДИРЕКТОРА**

*Белорусский государственный университет,  
[melnikova@bsu.by](mailto:melnikova@bsu.by)*

Повышенный интерес, проявляемый в последнее время к фотонным кристаллическим структурам, обусловлен их уникальными свойствами, определяемыми существованием запрещенных зон и позволяющими на микроуровне управлять световыми пучками, осуществляя волноводное распространение по любому заданному закону [1].

В данной работе приводятся результаты исследования процессов распространения лазерного излучения в фотонных структурах на основе жидкокристаллических композиций. Аномально высокая величина двулучепреломления жидких кристаллов и возможность ее управления под действием низких рабочих напряжений при малой потребляемой мощности обуславливает широкое применение жидкокристаллических материалов в оптических системах.

Теоретически, численно и экспериментально исследованы явления полного внутреннего отражения и поляризационного разделения излучения на границе раздела мезофаз, режимы волноводного распространения и дискретной дифракции в системе связанных пространственно-структурированных планарных волноводов.

### **Литература**

1. Joannopoulos J.D., Johnson S.G., Winn J.N., Meade R.D. Photonic Crystals: Molding the Flow of Light. Princeton University Press. 2008.

## **ПРОБЛЕМА ВЗАИМОВЛИЯНИЯ ЭФФЕКТОВ НЕЛИНЕЙНОЙ И РЕЛАКСАЦИОННОЙ ОПТИКИ**

*Волынский национальный университет имени Леси  
Украинки,  
[trope@univer.lutsk.ua](mailto:trope@univer.lutsk.ua), [trope@yandex.ru](mailto:trope@yandex.ru)*

Проблема обнаружения и измерения нелинейных оптических эффектов оптическими методами в области собственного поглощения материала практически не реализуема [1, с.203]. Поэтому естественно следует искать ответ на вопрос, каким способом можно оценить и измерить эти явления?

Одним из вариантов ответа на этот вопрос может быть сформулирован следующим образом: нелинейные оптические эффекты приводят к структурным изменениям облучаемого материала (эффектам релаксационной оптики [1, с.370]). Так, многофотонное поглощение обуславливает как безизлучательную релаксацию (двухфотонное поглощение), а дальнейшее повышение интенсивности поглощения (трехфотонное поглощение) – расплав материала и частичное восстановление изначальной структуры. Восстановление структуры (переход от более низкой симметрии к более высокой) обуславливает возникновение целого спектра вторичного излучения (хаотизация лазерного излучения). В этом случае структурные релаксационные оптические явления являются источником нелинейных оптических явлений.

Наводятся модели, которые позволяют описать эти явления.

### **Литература**

1. Шен И. Р., Принципы нелинейной оптики, Наука. – Москва, 1989.
2. Trokhimchuck P. P., Foundations of Relaxed Optics, Vezha. – Lutsk, 2011.

Е.С. Воропай, К.Ф. Ермалицкая, Ф.А. Ермалицкий

## ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ПОКРЫТИЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВ С СУБМИКРОНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

*Белорусский государственный университет,  
[voropay@bsu.by](mailto:voropay@bsu.by), [ermalitskaia@gmail.com](mailto:ermalitskaia@gmail.com)*

PVD (physical vapor deposition) - покрытия являются одним из наиболее распространенных способов улучшения характеристик изделий. Целью работы было исследование возможностей лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии для послойного элементного анализа с субмикронным разрешением титанового PVD-покрытия кремния. Исследования проводились на лазерном спектрометре LSS-1 (производства LOTIS-Tii). Для уменьшения толщины испаряемого слоя был предложен метод расфокусировки лазерного излучения, позволяющий снизить толщину слоя с 3 до 0,1 мкм. Объектом исследования являлась кремниевая пластина, на которую наносилось покрытие из титана методом конденсации с ионной бомбардировкой. Данная система подвергалась воздействию совмещенных и одиночных плазменных потоков.

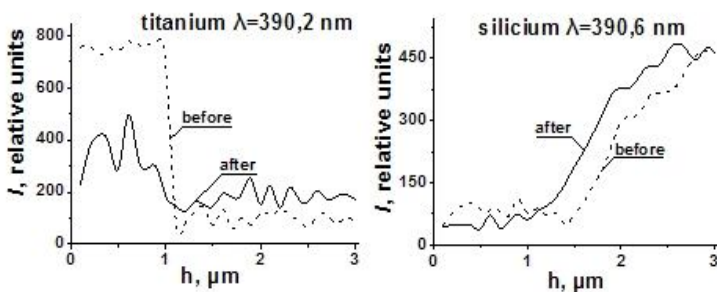


Рис. 1. Зависимость интенсивности спектральных линий титана и кремния  $\lambda=390.6$  нм глубины залегания слоя  $h$  в PVD-покрытия кремниевой пластины до и после обработки потоками азотной плазмы.

УДК 543.424+535.375

А.Ю. Панарин<sup>1</sup>, К.В. Артемьева<sup>2</sup>, А.В. Бондаренко<sup>2</sup>,  
И.А. Ходасевич<sup>1</sup>, В.П. Бондаренко<sup>2</sup>, С.Н. Терехов<sup>1</sup>

## ГИГАНТСКОЕ КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ НА ПОСЕРЕБРЕННЫХ НАНОПОЛОСТЯХ МАКРОПОРИСТОГО КРЕМНИЯ

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,*

*[panarin@imaph.bas-net.by](mailto:panarin@imaph.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*БГУИР*

*[h.bandarenka@gmail.com](mailto:h.bandarenka@gmail.com)*

Метод гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) позволяет детектировать предельно низкие концентрации аналитов, находящихся в сильных локальных полях поверхностных плазмонов. Наиболее высокой ГКР-активностью характеризуются наноразмерные структуры из благородных металлов. Недавно появились принципиально новые материалы для ГКР, представляющие собой массивы наноразмерных полостей в металлических плёнках [1].

В настоящей работе предложен метод формирования подобных материалов, включающий следующие этапы: (а) вытравливание макропор в пластине Si; (б) иммерсионное осаждение на стенки пор пленки Ag. Полученные таким образом подложки представляют собой матрицы посеребренных нанополостей, которые значительно увеличивают сигнал КР. Показано, что интенсивность сигнала зависит от морфологии и структурных параметров макропористого Si, а также режимов осаждения Ag. Представлено сравнение ГКР-активности структур на основе посеребренных макропор и изученных ранее островковых пленок Ag на подложках мезопористого Si.

### Литература

1. Kelf T. A., Sugawara Y., Cole R. M., Baumberg J. J. Localized and delocalized plasmons in metallic nanovoids // Physical Review B. – 2006. – V.74. – P. 245415-1 - 245415-12.

УДК 535.37

М.П. Самцов<sup>1</sup>, Д.С. Тарасов<sup>2</sup>, А.С. Сташевский<sup>3</sup>,  
В.А. Галиевский<sup>3</sup>, К.Н. Каплевский<sup>2</sup>, Е.С. Воропай<sup>2</sup>

## **ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ИНДОТРИКАРБОЦИАНИНОВЫХ КРАСИТЕЛЕЙ НА ВЫХОД МОЛЕКУЛ В ТРИПЛЕТНОЕ СОСТОЯНИЕ**

<sup>1</sup>*НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, [samtsov@bsu.by](mailto:samtsov@bsu.by)*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный университет  
[voropay@bsu.by](mailto:voropay@bsu.by)*

<sup>3</sup>*Институт физики НАН Беларуси,  
[a.stasheuski@gmail.com](mailto:a.stasheuski@gmail.com)*

Фотофизические свойства индотрикарбоцианиновых красителей позволяют считать их перспективными для диагностики и фотохимиотерапии. Эффективность сенсibilизированного образования синглетного кислорода, вследствие переноса энергии электронного возбуждения на кислород от молекул фотосенсibilизатора в триплетном состоянии, во многом определяет перспективы использования этих соединений в качестве фотосенсibilизаторов для фотохимиотерапии.

В работе приведены результаты исследования фотофизических свойств красителя 1,3,3';1',3',3'-гексаметил-2,2'-индотрикарбоцианина с анионами йод, бром и перхлорат. Проведены исследования спектрально-люминесцентных свойств красителей и определены квантовые выходы генерации ими синглетного кислорода в растворителях различной полярности (хлороформ, дихлорбензол и этанол). Установлено, что при увеличении концентрации от  $5 \cdot 10^{-7}$  М до  $10^{-5}$  М в малополярных растворителях для красителя йодида происходит рост квантового выхода генерации синглетного кислорода примерно на порядок. Росту эффективности образования синглетного кислорода сопутствует падение квантового выхода флуоресценции красителя. Проведен анализ влияния состояния равновесия ионных форм красителей на фотофизические свойства их молекул в растворах.

## СПЕКТРАЛЬНО-КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ КОМПЛЕКСОВ ПРОИЗВОДНЫХ ПИРЕНА С ЦИКЛОДЕКСТРИНАМИ

*Гродненский Государственный Университет имени  
Я.Купалы, [lickevich\\_au@grsu.by](mailto:lickevich_au@grsu.by)*

Супрамолекулярные комплексы включения типа «хозяин-гость», образованные циклодекстринами и различными субстратами включения, в настоящее время широко используются в различных областях науки и медицины. Наибольшее применение циклодекстрины получили в качестве молекулярных контейнеров, а их способность образовывать прочные комплексы в водных растворах открывает возможность их использования в качестве строительных блоков для наноструктур.

В данной работе исследованы спектрально-кинетические свойства флуоресценции комплексов производных пирена (пиренилбутановая и пиренилдекановая кислоты) с  $\beta$ - и  $\gamma$ -циклодекстринов ( $\beta$ -CD и  $\gamma$ -CD). При добавлении  $\beta$ -CD и  $\gamma$ -CD в водный раствор пиренпроизводных (физический раствор) наблюдается некоторое возрастание интенсивности и длительности флуоресценции. Удалением агрегатов циклодекстрина показано, что возрастание интенсивности и длительности флуоресценции обусловлено встраиванием молекул производных пирена в агрегаты циклодекстрина.

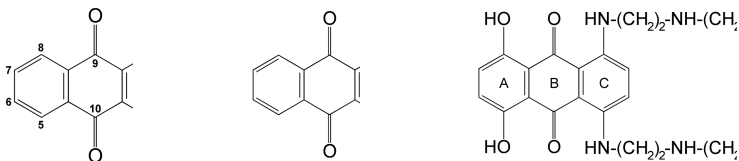
Кроме, того получены комплексы включения  $\gamma$ -CD и пиренилдекановой кислоты, путем термической активации. Показано, что длительность флуоресценции комплекса включения возрастает в 15 раз по сравнению с длительностью свечения свободного флуорофора и в 8 раз по сравнению с физическим раствором пиренилдекановой кислоты и  $\gamma$ -CD. Интенсивность флуоресценции практически не изменяется.

## АНТРАХИНОНОВЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ: СПЕКТРЫ КР, ГКР И КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

*ГрГУ им.Я.Купалы, ул.Ожешко,22, 230023 Гродно,  
Беларусь  
[vaskirka@grsu.by](mailto:vaskirka@grsu.by)*

Производные 9,10-антрахинона (собственно, антрахиноны) в силу широты направлений их применения выделяются особо среди хинонов антраценового ряда. Важным направлением исследований является изучение свойств противоопухолевых синтетических производных антрахинона с целью получения более эффективных и специфически действующих лекарственных средств. Среди целого ряда производных антрахинона, обладающих противоопухолевой активностью, особо выделяется митоксантрон и его металлические комплексы.

В работе произведено исследование спектральных свойств молекул антрахинона и некоторых его производных – 1,4-диамино-антрахинона, митоксантрона – (см. рис.) методами спектроскопии КР и ГКР, а также с использованием квантово-химических расчетов.



Все квантово-химические расчеты выполнены при помощи программного пакета PC GAMESS 7.1.G (Firefly) методами функционала плотности в базе 6-31G(d,p) с использованием гибридного трехпараметрического функционала Беке-Ли-Янга-Парра (B3LYP).



## **ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ АГРЕГАЦИИ СИСТЕМЫ ФРАКТАЛЬНЫХ КЛАСТЕРОВ НА СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ**

*<sup>1</sup>Гродненский государственный университет имени  
Я.Купалы,  
[belko\\_av@grsu.by](mailto:belko_av@grsu.by)*

Расчет спектров поглощения кластерных систем требует учета диполь–дипольного взаимодействия частиц в процессе объединения частиц во фрактальные кластеры. Это взаимодействие является основной причиной появления в спектрах поглощения дополнительного максимума в длинноволновой части спектра [1]. Важной характеристикой оказывающей влияние на спектры поглощения системы является степень агрегации системы. Под степенью агрегации будем понимать отношение числа частиц входящих в агрегаты к полному числу частиц [1].

В результате расчетов были получены спектральные зависимости мнимой части линейной дипольной поляризуемости частиц кластеров при различных степенях агрегации частиц в системе. Объединение частиц во фрактальные агрегаты в системе приводит к тому, что в спектрах поглощения появляется второй максимум в длинноволновой части спектра при степени агрегации частиц близкой к 1. Как показывают рассчитанные зависимости, на спектр поглощения оказывает сильное влияние наличие даже небольшого количества свободных частиц.

### **Литература**

1. Белко А.В., Никитин А.В. Расчет спектров поглощения кластеров с фрактальной структурой // Вестник Гродн. гос. ун-та. Сер. 2, Математика. Физика. Техника. Информатика. Биология. Химия. Экология. – 2007. – №2. – С. 41–47.

УДК 535:543:539:547

Г.Т.Васильюк<sup>1</sup>, С.А.Маскевич<sup>1</sup>, В.Ф.Оскирко<sup>1</sup>, А.Е.Герман<sup>1</sup>,  
И.Ф.Свекло<sup>1</sup>, В.М.Ясинский<sup>2</sup>, В.А.Барачевский<sup>3</sup>, А.О.Айт<sup>3</sup>

## **ОСОБЕННОСТИ ФОТОХРОМИЗМА ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ДИАРИЛЭТЕНОВ**

<sup>1</sup>*Гродненский государственный университет им. Я.Купалы  
[vasilyuk@grsu.by](mailto:vasilyuk@grsu.by)*

<sup>2</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси*

<sup>3</sup>*Центр фотохимии РАН, Москва, Россия*

В настоящее время развивается новое нанотехнологическое направление – разработка фотохромных гибридных систем на основе фотохромных органических молекул и наночастиц благородных металлов. Такие системы могут быть использованы при создании нанофотопереключателей для фотоуправляемых интегрально-оптических схем.

В настоящей работе методами кинетической спектроскопии, спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) света, люминесценции, квантовой химии и атомно-силовой микроскопии (АСМ) изучены особенности фотохромных превращений молекул диарилэтенов вблизи наноструктурированной поверхности металла, а также получены для этого оригинальные системы «металлическая наночастица-фотохром» (состоящие из наночастиц Ag и Au с оболочкой из молекул фотохромных диарилэтенов) и изучены их структурные и оптические свойства.

Результаты проведенного комплексного исследования свидетельствуют об обратимых фотохромных превращениях молекул в твердофазном состоянии как на кварце, так и в присутствии наноструктурированной поверхности металла. Проявление фотохромизма отражается как в спектрах оптической плотности, так и в спектрах ГКР.

Работа выполнена при финансовой поддержке  
БРФФИ (грант Ф10Р-241), РФФИ (грант 10-03-90023 Бел\_а).

УДК 535.42

С.Ф. Ничипорко, В.В. Шепелевич

## **ВЛИЯНИЕ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ДИФРАКЦИЮ СВЕТА В КРИСТАЛЛЕ $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$**

*Мозырский государственный педагогический университет  
имени И.П. Шамякина,  
[nichiporko@inbox.ru](mailto:nichiporko@inbox.ru)*

В последнее время дифракция световых волн в кубическом фоторефрактивном кристалле  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$  (ВТО) интенсивно исследуется, это обусловлено применением кристаллов ВТО в интерферометрии, в лазерах на динамических решетках, в усилителях изображений и т.п.

В данной работе исследуется влияние внешнего постоянного электрического поля на дифракционные характеристики голографических решеток, записанных в кристалле ВТО толщиной 7.7 мм. Анализ ориентационных зависимостей максимальной дифракционной эффективности голографических решеток показывает, что в диффузионном режиме максимальная дифракционная эффективность голограммы не превышает 8.9% при ориентационном угле  $\theta=54^\circ$ . Приложение внешнего постоянного электрического поля с направлением вектора напряженности, сонаправленным с вектором голографической решетки, приводит к увеличению дифракционной эффективности голограммы при том же ориентационном угле до 11.1% при напряженности электрического поля 5 кВ/см и до 17.5% при 10 кВ/см. Азимут линейной поляризации считывающего пучка во всех случаях должен быть равным  $26^\circ$ .

Полученные результаты будут полезны при использовании кристаллов ВТО для интерферометрии в реальном времени.

**Секция 5. Лазеры, светодиоды  
и фотоприемники  
на полупроводниковых  
гетероструктурах**

УДК 533.924+535.215.3

В.М. Асташинский<sup>1</sup>, Н.Т. Квасов<sup>2</sup>, Ю.А. Петухов<sup>2</sup>,  
А.В. Пунько<sup>2</sup>, В.В. Углов<sup>3</sup>

**СИНТЕЗ МОДИФИЦИРОВАННОГО СЛОЯ НА  
ПЛАСТИНАХ КРЕМНИЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ  
КОМПРЕССИОННЫХ ПЛАЗМЕННЫХ ПОТОКОВ  
ДЛЯ СОЗДАНИЯ РАДИАЦИОННО-СТОЙКИХ  
ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ**

<sup>1</sup>*Институт физики НАН Беларуси, [ast@imaph.bas-net.by](mailto:ast@imaph.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*БГУИР, [kvasov@bsuir.by](mailto:kvasov@bsuir.by)*

<sup>3</sup>*БГУ, [uglov@bsu.by](mailto:uglov@bsu.by)*

Развитие оптоэлектроники в настоящее время во многом связывается с поиском новых материалов, которые позволили бы создавать элементную базу нового поколения, в первую очередь на основе кремниевых технологий. В настоящей работе представлены результаты по формированию на пластинах кремния под воздействием компрессионных плазменных потоков модифицированного наноструктурированного слоя, обеспечивающего появление существенного фотовольтаического эффекта. Воздействию компрессионного плазменного потока, генерируемого газоразрядным магнитоплазменным компрессором, подвергали монокристаллические пластины кремния (10x10x0,28 мм) различной кристаллографической ориентации, типа и концентрации примеси: КДБ-0,3; КДБ-10; КДБ-12 и КЭФ-20. Показано, что фотовольтаический эффект, обусловленный образованием *p-n*-перехода между модифицированным наноструктурированным слоем и кремниевой подложкой, максимален в условиях эксперимента для пластин кремния *p*-типа с малой концентрацией акцепторов. Максимальный фототок составляет ~ 4 мА, а максимальное фотоЭДС – 340 мВ

УДК 621.373.8+535.374

А.В. Иванов, В.Д. Курносов, К.В. Курносов,  
В.А. Симаков, В.И. Романцевич, Р.В. Чернов

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ ОДНОЧАСТОТНОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ С ВОЛОКОННОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКОЙ ДЛЯ КВАНТОВЫХ СТАНДАРТОВ ЧАСТОТЫ**

*ФГУП «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха,  
[mail@dilas.ru](mailto:mail@dilas.ru)*

Для накачки и детектирования квантового перехода цезия в атомно-лучевой трубке стандарта частоты необходимы прецизионные одночастотные излучатели.

В данной работе представлены спектральные, мощностные и шумовые характеристики одночастотного излучателя с волоконной брэгговской решеткой (ВБР). Лазерный диод (ЛД) и ВБР напаиваются на два отдельных термоэлектрических охладителя, изменяя температуру которых осуществляется настройка на  $D_2$ -линию цезия. Экспериментально и теоретически показано, что переключение излучения как по модам внешнего резонатора, так и по модам лазерного диода коррелируют с разрывами пороговых, мощностных и шумовых характеристик излучателя. Показано, что удовлетворительное совпадение теории и эксперимента наблюдается в случае учета нагрева активной области ЛД протекающим через него током накачки и мощности излучения выводимой из резонатора излучателя. Проведено сравнение скорости изменения длины волны излучения с изменением тока накачки и температуры ЛД, полученной из теории и эксперимента [1].

### **Литература**

1. Иванов А.В., Курносов В.Д., Курносов К.В. и др. Спектральные характеристики излучателя, предназначенного для накачки и детектирования эталонного квантового перехода цезиевого стандарта частоты // Квант. Электроника. – 2011. – Т.41, №8. – С. 692 – 696.

УДК 616-71

С.К. Дик, И.А. Врублевский, А.В. Смирнов,  
А.С. Терех

## **ТЕМПЕРАТУРНЫЕ РЕЖИМЫ СВЕРХЪЯРКИХ СВЕТОДИОДОВ НА АЛЮМИНИЕВЫХ АНОДИРОВАННЫХ ОСНОВАНИЯХ**

*Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
[sdick@bsuir.by](mailto:sdick@bsuir.by)*

Для изготовления светодиодных модулей использовалась монтажная плата из алюминия с нанопористым оксидом алюминия. Слой оксида алюминия толщиной 50 мкм формировали методом электрохимического анодирования алюминия в электролите на основе водного раствора щавелевой кислоты. Для формирования проводников и контактных площадок для монтажа светодиодов формировалась медная металлизация толщиной 30 мкм методом гальванического осаждения меди. Картина теплового поля светодиодного модуля изучалась с использованием цифрового изображения объекта в ИК диапазоне, образуемого собственным излучением. Регистрация теплового излучения проводилась с помощью тепловизионной камеры Mobil M4 со встроенной камерой визуального контроля. Эффективность теплового рассеивания светодиодных модулей изготовленных на плате из алюминия с нанопористым оксидом алюминия оценивалась по скорости роста температуры кристалла в зависимости от электрической мощности (рабочего тока) на светодиоде. Для исследований были выбраны сверхяркие светодиоды мощностью 1 Вт белого, красного, синего и зеленого света.

Результаты исследования показали, что использование монтажной платы из алюминия с нанопористым оксидом алюминия и медными проводниками позволяет обеспечить быстрый и эффективный отвод тепла от зоны тепловыделения кристаллом светодиода.

УДК 621.373.8+535.374+621.383.525

А.В. Иванов, О.В. Журавлева, Д.С. Исаев,  
В.Д. Курносов, К.В. Курносов, Е.В. Лызлова,  
В.А. Симаков, В.И. Романцевич, Р.В. Чернов

**ХАРАКТЕРИСТИКИ InGaAlAs/InP ТОРЦЕВЫХ  
СВЕТОДИОДОВ, InGaAlAs/InP ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ,  
InGaAs/InP PIN ФОТОДИОДОВ И ПРИЕМНЫХ  
И ПЕРЕДАЮЩИХ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ  
МОДУЛЕЙ НА ИХ ОСНОВЕ**

*ФГУП «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха,  
[mail@dilas.ru](mailto:mail@dilas.ru)*

В настоящее время лазерные диоды и торцевые светодиоды на основе гетероструктур InGaAlAs/InP, а также PIN фотодиоды на основе гетероструктур InGaAs/InP нашли широкое применение в передающих и приемных оптоэлектронных модулях для различных волоконно-оптических систем передачи информации.

В данной работе представлены результаты исследований торцевых светодиодов с длиной волны излучения 1,3 мкм и передающих оптоэлектронных модулей на их основе для цифровых волоконно-оптических линий передачи информации со скоростями до 120 МБит/с. Также приведены результаты исследований параметров быстродействующих лазерных диодов с длиной волны излучения 1,3 мкм и 1,55 мкм для передающих оптоэлектронных модулей волоконно-оптических аналоговых систем передачи информации с рабочей полосой частот 1-12 ГГц

Представлены результаты исследований быстродействующих InGaAs PIN фотодиодов различной конструкции для приемных оптоэлектронных модулей цифровых и аналоговых волоконно-оптических систем передачи информации.



УДК 621.373.826.038.825.5

Е. В. Луценко<sup>1</sup>, Н. В. Ржеуцкий<sup>1</sup>, В. Н. Павловский<sup>1</sup>,  
Г. П. Яблонский<sup>1</sup>, Д. А. Нечаев<sup>2</sup>, В. Н. Жмерик<sup>2</sup>, С. И. Иванов<sup>2</sup>

## **СТИМУЛИРОВАННОЕ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ AlGaN, ВЫРАЩЕННЫХ НА САПФИРОВОЙ ПОДЛОЖКЕ**

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

*[e.lutsenko@ifanbel.bas-net.by](mailto:e.lutsenko@ifanbel.bas-net.by)*

*<sup>2</sup>Физико-технический институт*

*им. А.Ф. Иоффе РАН*

*[jmerik@pls.ioffe.ru](mailto:jmerik@pls.ioffe.ru)*

Инжекционные полупроводниковые лазеры, работающие в ультрафиолетовом диапазоне, представляют большой интерес для ряда применений. В настоящее время получена генерация на длине волны 267 нм с порогом оптической накачки 126 кВт/см<sup>2</sup> для AlGaN гетероструктуры, выращенной на подложке объемного AlN [1]. Однако, использование более дешевых подложек приводит к низкому структурному качеству AlGaN вследствие дефектов, вызванных рассогласованием постоянных решеток. В настоящей работе исследовано стимулированное излучение AlGaN гетероструктур с одиночной квантовой ямой, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии на сапфировой подложке. Область квантовой ямы была сформирована методом субмонослойной импульсной эпитаксии GaN в AlGaN матрицу. Показано, что порог генерации гетероструктуры составил ~600 кВт/см<sup>2</sup>, на длине волны 289 нм, что является рекордом для гетероструктур, выращенных на сапфире. Обсуждаются фотолуминесцентные и генерационные свойства AlGaN гетероструктур.

### **Литература**

1. Sub-300 nm AlGaIn lasers on bulk AlN substrates. OPTO at SPIE Photonics West 2012; 2012 January 21-26; San Francisco, CA.

УДК 621.382:621

В.В.Филиппов<sup>1</sup>, Б.Г.Шулицкий<sup>2</sup>, И.А.Кашко<sup>2</sup>,  
А.В.Агашков<sup>1</sup>

## **ВЛИЯНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОКЛАСТЕРОВ НА ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ**

<sup>1</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси*  
*[filippov@dragon.bas-net.by](mailto:filippov@dragon.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный университет*  
*информатики и радиоэлектроники*  
*[shulitski@bsuir.by](mailto:shulitski@bsuir.by)*

Исследованы электрофизические параметры планарных фотовольтаических структур с гетеропереходами на основе фталоцианина меди (CuPc) и дибензимидазола–перилена–3,4,9,10–тетракарбоновой кислоты (PTCBI). Установлено, что введение металлических нанокластеров (Ag, Cu, Nb) в донорную (CuPc) компоненту гетероперехода резко понижает ток  $I_{kz}$  фотовольтаической ячейки (ФЯ), в то время как введение нанокластеров в акцепторную (PTCBI) компоненту значительно его повышает. При этом фото э.д.с. в обоих случаях не меняется. При включении нанокластеров в слой PTCBI наблюдается деформация спектра оптического поглощения, наиболее сильная для частиц Nb и связанная с плазмонным резонансом.

Исследована зависимость электрофизических параметров планарных двухуровневых ФЯ ITO/PEDOT:PSS/CuPc/PTCBI/Me/CuPc/PTCBI/Ag от размера нанокластеров Ag и Nb в промежуточном слое. Установлено, что зависимость фототока от размера нанокластеров имеет выраженный максимум. Эффект обусловлен конкуренцией двух процессов, связанных с увеличением размера нанокластеров: повышение эффективности рекомбинации зарядов донорной и акцепторной компонент и рост потерь световой энергии. Напряжение холостого хода  $U_{xx}$  плавно растет с увеличением размера нанокластеров до значения, определяемого разностью энергетических уровней донорной и акцепторной компонент.

## **РАСЧЕТ БИЭКСИОННЫХ И ТРИОННЫХ ЛИНИЙ ИСПУСКАНИЯ В КВАНТОВЫХ ЯМАХ**

*Белорусский государственный университет  
[afonenko@bsu.by](mailto:afonenko@bsu.by)*

В формировании спектров большое влияние оказывают экситонные эффекты, роль которых увеличивается в широкозонных полупроводниковых материалах, где энергия связи электронно-дырочных комплексов больше. Много частичные эффекты влияют на вероятность излучательных переходов и приводят к однородному уширению спектров межзонного спонтанного испускания [1].

В работе проведен численный анализ энергетических уровней и волновых функций системы 2 — 4 взаимодействующих электронов и дырок в квантовой яме путем прямого решения многочастичного уравнения Шредингера и проведена оценка влияния кулоновского взаимодействия в многоэлектронной системе на спектр спонтанного испускания электронно-дырочных комплексов. Найдено, что длинноволновые хвосты спектров испускания электронно-дырочных комплексов имеют экспоненциальное затухание. Оценены ширины спектров спонтанного испускания трионов и биэкситонов. Показано, что ограничение многочастичного базиса, построенного на основе модулированных периодических плоских волн, несколькими десятками тысяч приводит к недооценке энергии связи приблизительно на одну треть и две трети для трионов и биэкситонов соответственно.

### Литература

1. М. Asada. Intraband relaxation time in quantum-well lasers //IEEE J. Quant. Electron., 1989. – V. 25. – P. 2019–2026.

УДК 621.382.2

А.А. Петухов, Б.Е. Журтанов, Н.Д. Стоянов,  
Ю.П. Яковлев

## ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА СВЕТОДИОДОВ СРЕДНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР GaInAsSb/GaAlAsSb ПРИ ВЫСОКИХ РАБОЧИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,  
[andrey-rus29@rambler.ru](mailto:andrey-rus29@rambler.ru)*

Светодиоды средней инфракрасной области спектра перспективны в качестве источников излучения для сенсоров воды и углекислого газа.

Исследовалась гетероструктура II типа  $n$ -Ga<sub>0.945</sub>In<sub>0.055</sub>AsSb/ $p$ -GaSb/ $p$ -AlGaAsSb, выращенная методом жидкофазной эпитаксии, с максимумом спектра излучения  $\sim 1.85$  мкм в диапазоне температур 20 – 200 °С. Из результатов исследования следует, что с увеличением температуры мощность излучения экспоненциально уменьшается по закону  $P(\text{мкВт}) \cong 0.4 \cdot \exp(2.05 \cdot 10^3 / T(\text{K}))$ . Показано, что уменьшение мощности излучения обусловлено главным образом ростом скорости оже-рекомбинации. Установлено, что помимо излучательной рекомбинации зона-зона происходит рекомбинация через акцепторные уровни, приводящая к уширению спектра излучения. С ростом температуры энергия активации акцепторных уровней уменьшается по закону  $\Delta E(\text{мэВ}) \cong 32.9 - 0.075 \cdot T(^{\circ}\text{C})$ , а также происходит смещение спектра излучения светодиода в длинноволновую область спектра ( $h\nu_{\text{max}}(\text{эВ}) = 0.693 - 4.497 \cdot 10^{-4} \cdot T(\text{K})$ ). При анализе экспериментальных результатов получено выражение для изменения ширины запрещенной зоны активной области состава Ga<sub>0.945</sub>In<sub>0.055</sub>AsSb с температурой:  $E_g(\text{эВ}) \cong 0.817 - 4.951 \cdot 10^{-4} \cdot T$ , при 290 K < T < 495 K. Установлено, что протекание тока через структуру обусловлено генерационно-рекомбинационным механизмом.

УДК 621.316:006.354

Е.В. Соболев, А.О. Добродей, Е.Н. Подденежный

## **ДИСКРЕТНЫЙ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА НА ОСНОВЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ НАНОПОРОШКОВ YAG:Ce**

*Гомельский государственный технический университет  
имени П.О. Сухого  
[mseugen@tut.by](mailto:mseugen@tut.by)*

Разработан новый способ получения наноструктурированных порошков иттрий-алюминиевого граната, активированного ионами церия, основанный на термохимическом способе синтеза (горении). Установлено, что при соблюдении оптимальных режимов в порошках идентифицируется фаза граната кубической модификации  $Y_3Al_5O_{12}$ . Легирование иттрий-алюминиевого граната церием с добавлением гадолиния и лантана позволяет сдвинуть спектр люминесценции ИАГ в красную область, тем самым получить излучение «теплого» белого света.

Осуществлено моделирование процесса люминесценции в системе «синий светодиод – желтый люминофор» для оценки качества преобразователей, на основании чего предложена конструкция дискретного фотолюминесцентного преобразователя, состоящего из «ячеек прозрачности» и «ячеек люминофора» с повышенной концентрацией оптически-активной составляющей, обусловленной агломерацией наночастиц люминофора. Это в значительной степени уменьшает расход люминофора при сохранении равномерности и однородности излучения от фотопреобразователя.

Разработана конструкция светодиодного светильника с удаленным дискретным фотопреобразователем для эксплуатации внутри помещений в качестве источника рассеянного белого света.

## ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ МИКРОЛАЗЕР НА ОСНОВЕ МИКРОЦИЛИНДРА

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси  
[astafev@dragon.bas-net.by](mailto:astafev@dragon.bas-net.by)*

Полупроводниковый микролазер моделируется однородным круговым микроцилиндром. Оптические постоянные материала, из которого состоит микроцилиндр, были взяты из [1]. В случае  $\lambda \sim 1,5 \div 1,6$  мкм для полупроводниковой гетероструктуры  $m \approx 3,35 - i10^{-8}$ .

Теоретическое моделирование преобразования электромагнитного излучения микрорезонаторами в виде полупроводниковых микроцилиндров показало, что морфология микрорезонаторов довольно сложным образом влияет на преобразование оптического излучения в модах микролазера. Установлено, что в однородных полупроводниковых микроцилиндрах может реализоваться режим одномодовой или двухмодовой генерации на морфологических резонансах, различающихся как величиной добротности, так и распределением пространственной структуры электромагнитного поля. Область существования одномодовой или двухмодовой генерации определяется соотношением коэффициентов усиления, потерь и величиной интенсивности поля пространственной структуры морфологических резонансов.

### Литература

1. Mondry M.J., Babic D.I., Bowers J.E., and Coldren L.F. // IEEE Photonics Technology Letters.– 1992.– V. 4, №6.– P. 627-630.

**ТЕПЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОЩНЫХ СВЕТОДИОДОВ**

*Белорусский национальный технический университет*  
[vklavik@gmail.com](mailto:vklavik@gmail.com)

Развит и апробирован метод тепловой релаксационной спектрометрии [1] и определены компоненты теплового сопротивления светодиодов белого свечения в зависимости от качества ГИМ-слоя. Постоянные времени теплопереноса, связанные с основными компонентами теплового сопротивления, находятся в интервале 0,03–12 мс. Предложенная методика полезна при решении технологических проблем формирования слоев посадки, подложек и переходных областей, а также при SPICE-моделировании диодных излучателей.

Количество анализируемых тепловых структурных параметров определяется мощностью программных симуляторов и эффективностью используемых нестационарных тепловых тестеров. Обычно число параметров ограничивается числом  $n = 3 \div 5$  (из-за трудностей измерений и сложности анализа). Развитая дифференциальная методика дает возможность расширить число исследуемых тепловых структурных элементов диодного излучателя до  $n = 10$ .

Проведена также оценка светоотдачи белых светодиодов с желтым люминофором и показано, что наибольшая величина светоотдачи достигается при малых токах накачки и составляет порядка 50 лм/Вт. С ростом возбуждения светоотдача падает из-за сдвига полосы излучения гетероструктуры в системе GaInN–GaN в коротковолновую (голубую) область спектра.

**Литература**

1. Bumai Yu.A., Vaskou A.S., Kononenko V.K. // Metrology and Measurement Systems. – 2010. – Vol. 17, No. 1. – P. 39–46.

**СПЕКТР ПОГЛОЩЕНИЯ ТОНКОГО СЛОЯ  
ОРГАНИЧЕСКОГО ПОЛУПРОВОДНИКА,  
СОДЕРЖАЩЕГО МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ НАНОЧАСТИЦЫ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси  
[anaum@dragon.bas-net.by](mailto:anaum@dragon.bas-net.by)*

Работа посвящена анализу возможности увеличения эффективности органических солнечных фотоэлементов посредством включения в органический слой металлических наночастиц (МНЧ), что ведёт к возбуждению локализованных поверхностных плазмонных резонансов (ППР) и к увеличению доли поглощённой энергии органическим полупроводником вследствие локального усиления поля в области ППР. С помощью численного моделирования получены зависимости спектров поглощения слоя от коэффициента поглощения полупроводника, расстояния между МНЧ и типа их упаковки. Изменяя данные параметры, было получено увеличение коэффициента поглощения слоя с МНЧ почти на порядок. Наиболее выраженное увеличение поглощения слоя наблюдалось в области малого поглощения полупроводника. Спектр поглощения при значении фактора поглощения полупроводника  $k = 0.1$  содержит два максимума, соответствующие дипольной и квадрупольной модам. Для более низких значений  $k$  мы наблюдали спектральную структуру со многими максимумами. Это может быть интерпретировано как проявление высокодобротных мод резонатора сформированного плотно упакованными МНЧ в условиях слабого поглощения наряду с более высокими мультипольными резонансами. Было установлено, что основная часть излучения поглощается именно полупроводниковой средой, приводя к повышению эффективности фотоэлектрического преобразования.



УДК 535.231.62:621.317.794

А.К. Есман, В.К. Кулешов, Г.Л. Зыков,  
В.Б. Залесский

## **БОЛОМЕТРИЧЕСКИЙ ПРИЕМНИК НА ОСНОВЕ МЕТАМАТЕРИАЛОВ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси  
[tomoi@inel.bas-net.by](mailto:tomoi@inel.bas-net.by)*

В докладе рассматриваются возможности применения электромагнитных материалов, в связи с открывшимися перспективами их использования при разработке и создании высокоэффективных, компактных неохлаждаемых микроболометров антенного типа. Приведены структурная схема разработанного приемника и результаты компьютерного эксперимента по оптимизации его конструкции, а также принцип его работы.

Показано, что выполнение антенной части приемника в виде планарных резонансных элементов микронных размеров расположенных по траектории двухзаходной спирали, а чувствительного элемента - со щелью в виде связанных между собой микрорезонаторов круглой формы и размещения их в соответствующем порядке на кремниевой подложке позволяет улучшить основные параметры, определяющие его практическую пригодность.

Приведены расчетные частотные зависимости коэффициентов полезного и направленного действия, полученные значения эквивалентной мощности шума, модельные оценки влияния геометрических размеров, расположения и формы включенных элементов, обеспечивающих резонансное возбуждение токов в них при взаимодействии с принимаемой электромагнитной волной.

Указаны перспективы дальнейшего развития и практического использования полученных результатов в различных областях науки и техники.

УДК 621. 383

Г. П. Яблонский, Е. В. Луценко, Н. В. Ржеуцкий,  
А. Г. Войнилович, А. В. Данильчик, В. Н. Павловский,  
И. Е. Свитенков

## **УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И МОДУЛЕЙ НА ИХ ОСНОВЕ**

<sup>1</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[e.lutsenko@ifanbel.bas-net.by](mailto:e.lutsenko@ifanbel.bas-net.by)

Производство солнечных элементов и их модулей большой площади требует отработки технологии формирования однородных слоев, выбора оптимальной сетки верхнего электрода.

Создана установка для измерения пространственных и спектральных характеристик солнечных элементов, состоящая из механизма перемещения в координатах X-Y, лазерных источников возбуждения различных длин волн и измерителя нагрузочных характеристик. Для примера, на данной установке исследовался солнечный элемент на основе монокристаллического кремния производства предприятия “Солар Групп” (г. Брест, Республика Беларусь). Измерены карты пространственного распределения эффективности, тока короткого замыкания, напряжения холостого хода, фактора заполнения по поверхности элемента при возбуждении лазерным излучением (405 нм и 633 нм). Определены зависимости основных характеристик солнечного элемента от уровня освещенности. Измерена спектральная чувствительность солнечного элемента.

Результаты таких измерений позволяют выявить факторы, лимитирующие эффективность солнечных элементов.

## ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ И МОДУЛЯЦИЯ ГЕТЕРОЛАЗЕРОВ ИК-ДИАПАЗОНА

<sup>1</sup>*Институт физики НАН Беларуси*  
*[bkun@ifanbel.bas-net.by](mailto:bkun@ifanbel.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Белорусский государственный университет*

В работе учтены и рассмотрены поляризационные эффекты при перестройке длины волны генерации и исследованы амплитудно-частотные характеристики гетеролазеров, излучающих в области 1.5 мкм в волоконно-оптических информационных системах. Поляризация генерируемого излучения определяет порог и мощность генерации при селекции длины волны излучения.

При расчете спектров модового усиления для коэффициентов поляризации учитывались средние значения, поскольку для переходов без правила отбора происходит суммирование (усреднение) по всем возможным начальным и конечным состояниям оптических переходов. Учет поляризационных эффектов не отражается на колоколообразной форме полос усиления, а лишь изменяет интенсивности ТЕ- и ТМ-мод.

Можно выделить два спектральных участка селекции частоты генерации: длинноволновый (от  $\nu_1$  до  $\nu_2$ ) и коротковолновый (выше  $\nu_2$ ). При селекции по типу поляризации излучения условия генерации для ТЕ- и ТМ-мод оказываются разными. На первом участке усиление осуществляется на переходах с участием тяжелых дырок и пороговые накачки невелики, на втором участке в усиление включаются легкие дырки и пороги возрастают. При этом, однако, более быстрое увеличение коэффициента усиления с ростом уровня накачки приводит к меньшим порогам для ТЕ-моды, чем для ТМ-моды.

УДК 621.315.592

Е. В. Луценко<sup>1</sup>, Н. В. Ржеуцкий<sup>1</sup>, А. Г. Войнилович<sup>1</sup>,  
А. В. Данильчик<sup>1</sup>, И. Е. Свитенков, В. Н. Павловский<sup>1</sup>,  
Г. П. Яблонский<sup>1</sup>, В. Я. Ширипов<sup>2</sup>, С. М. Насточкин<sup>2</sup>,  
Е. А. Хохлов<sup>2</sup>

**ВРЕМЕННАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ  
ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЯ  $\text{CuInGaSe}_2$   
В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ**

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

*[e.lutsenko@ifanbel.bas-net.by](mailto:e.lutsenko@ifanbel.bas-net.by)*

*<sup>2</sup>ООО «Изовак»*

*[info@izovac.com](mailto:info@izovac.com)*

Солнечные элементы на основе соединения  $\text{CuInGaSe}_2$  представляют интерес ввиду относительной дешевизны технологии и возможности использования различных подложек, в т. ч. гибких. Эффективность таких солнечных элементов может достигать высоких значений (20.3% для пленки, полученной методом термического испарения [1]).

Исследовалась динамика характеристик солнечного элемента  $\text{ZnO/CdS/CuInGaSe}_2/\text{Mo}$ , осажденного на стеклянной подложке с использованием метода магнетронного распыления. При возбуждении лазерным излучением на длине волны 808 нм солнечные элементы показали КПД 22 % ( $I_{\text{осв}} = 174 \text{ мВт/см}^2$ ). Установлено, что нагрев возбуждающим излучением ксеноновой лампы в течение 10 мин. ( $I_{\text{осв}} = 100 \text{ мВт/см}^2$ ) приводит к уменьшению эффективности солнечного элемента от 11.4 до 10.7%. За счет уменьшения фактора заполнения и напряжения холостого хода. Это указывает на необходимость отвода тепла от активной области подобных элементов.

1. Jackson P. et al. New world record efficiency for  $\text{Cu(In,Ga)Se}_2$  thin-film solar cells beyond 20% // Progress in Photovoltaics: Research and Applications. – 2011. – V.19., Iss.7 – P. 894-897.

## СПОСОБЫ УМЕНЬШЕНИЯ ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАЦИИ ТГц ККЛ С 2 КЯ

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, Минск  
[ushakovdv@bsu.by](mailto:ushakovdv@bsu.by)*

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

<sup>3</sup>*Trion Technology, Tempe, Arisona, USA*

Продвижение в область меньших частот в ККЛ с 2 КЯ ограничивается недостаточной возможностью варьирования толщин КЯ и барьерных слоев из-за необходимости одновременного выполнения условий резонансного испускания оптического фотона и резонансного туннелирования [1]. Одним из путей получения дополнительных степеней свободы может выступать незначительное изменение молярного состава КЯ, а также введение составных КЯ с узкими КЯ (~2 нм), ограниченными низким потенциальным барьером, располагающимися внутри широкой КЯ.

В настоящей работе предложено два механизма достижения меньших частот терагерцового диапазона в квантово-каскадных структурах с 2 КЯ на основе соединений GaAs/AlGaAs. Первый механизм основан на введении составных КЯ, состоящих из узкой (~2 нм) КЯ с низким потенциальным барьером, находящейся внутри основной широкой КЯ. Второй механизм базируется на использовании барьеров неравной высоты, расположенных перед и после составной КЯ. Рассчитаны оптимизированные дизайны квантово-каскадных лазерных структур, излучающих в области ~2.15 и ~1.35 ТГц.

### Литература

1. Kumar S., Chan C.W.I., Hu Q., Reno J. Two-well terahertz quantum-cascade laser with direct intrawell phonon depopulation // Appl. Phys. Lett. – 2009.– Vol. 95.– P. 141110(1-3).

## ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КВАНТОВО-КАСКАДНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ Ge/SiGeSn

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, Минск  
[ushakovdv@bsu.by](mailto:ushakovdv@bsu.by)

<sup>2</sup>Институт физики микроструктур РАН, Н.Новгород

Все реализованные в настоящее время квантово-каскадные лазеры (ККЛ) ТГц диапазона созданы преимущественно на основе каскадных структур GaAs/AlGaAs [1], что в принципе не позволяет таким приборам работать в спектральной области 30–60 мкм и вблизи нее из-за сильного поглощения на оптических фонах в полярном материале. Одним из перспективных подходов к преодолению этого ограничения считается создание ККЛ на основе неполярных материалов – гетероструктур на основе Ge/SiGeSn [2].

В настоящей работе для квантово-каскадных структур на основе прямозонных Ge/Ge<sub>z</sub>Si<sub>x</sub>Sn<sub>y</sub> проведены самосогласованные расчеты энергетических характеристик, спектров усиления и люминесценции. Предложен дизайн квантово-каскадной структуры с металлическим волноводом и активной областью на основе последовательности квантовых ям Ge и барьерных слоев Ge<sub>0.49</sub>Si<sub>0.4</sub>Sn<sub>0.11</sub>, излучающей в области ~5.6 ТГц ( $\lambda \approx 53.5$  мкм).

### Литература

1. Ajili L., Scalari G., Faist J., Beere H., Linfield E., Ritchie D., and Davies G. High power quantum cascade lasers operating at  $(\lambda) \sim 87$  and  $130 \mu\text{m}$  // Appl. Phys. Lett. – 2004. – Vol. 85, No 18. – P. 3986–3988.
2. D'Costa V.R., Fang Y.-Y., Tolle J., Kouvetakis J., and Menéndez J. Ternary GeSiSn alloys: New opportunities for strain and band gap engineering using group-IV semiconductors // Thin Solid Films. – 2010. Vol. 518. – P. 2531–2537.

## ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КВАНТОВО-КАСКАДНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ Ge/SiGeSn

<sup>1</sup>Белорусский государственный университет, Минск,  
[ushakovdv@bsu.by](mailto:ushakovdv@bsu.by),

<sup>2</sup>Институт физики микроструктур РАН, Н.Новгород

Все реализованные в настоящее время квантово-каскадные лазеры (ККЛ) ТГц диапазона созданы преимущественно на основе каскадных структур GaAs/AlGaAs [1], что в принципе не позволяет таким приборам работать в спектральной области 30–60 мкм и вблизи нее из-за сильного поглощения на оптических фонах в полярном материале. Одним из перспективных подходов к преодолению этого ограничения считается создание ККЛ на основе неполярных материалов – гетероструктур на основе Ge/SiGeSn [2].

В настоящей работе для квантово-каскадных структур на основе прямозонных Ge/Ge<sub>z</sub>Si<sub>x</sub>Sn<sub>y</sub> проведены самосогласованные расчеты энергетических характеристик, спектров усиления и люминесценции. Предложен дизайн квантово-каскадной структуры с металлическим волноводом и активной областью на основе последовательности квантовых ям Ge и барьерных слоев Ge<sub>0.49</sub>Si<sub>0.4</sub>Sn<sub>0.11</sub>, излучающей в области ~5.6 ТГц ( $\lambda \approx 53.5$  мкм).

### Литература

1. Ajili L., Scalari G., Faist J., Beere H., Linfield E., Ritchie D., and Davies G. High power quantum cascade lasers operating at  $(\lambda) \sim 87$  and  $130 \mu\text{m}$  // Appl. Phys. Lett. – 2004. – Vol. 85, No 18. – P. 3986–3988.
2. D'Costa V.R., Fang Y.-Y., Tolle J., Kouvetakis J., and Menéndez J. Ternary GeSiSn alloys: New opportunities for strain and band gap engineering using group-IV semiconductors // Thin Solid Films. – 2010. Vol. 518. – P. 2531–2537.

**Секция 6. Лазерно-оптические  
измерительные  
и диагностические методы  
и системы**



**ГЕНЕРАЦИЯ БЕССЕЛЕВЫХ ПЛАЗМОНОВ  
В МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
[s.kurilkina@ifanbel.bas-net.by](mailto:s.kurilkina@ifanbel.bas-net.by)*

Изучены особенности генерации бесселевых плазмонов (БП) в симметричных и несимметричных металлодиэлектрических структурах. Показана возможность возбуждения двух типов БП, характеризуемых различным характером распределения продольной компоненты вектора электрической напряженности внутри металлической пленки. Установлено, что при увеличении толщины последней имеет место вырождение бесселевых плазмонных мод. При этом эффективный показатель преломления БП приближается к таковому для случая возбуждения бесселева плазмона на свободной границе диэлектрика и металла.

Рассчитаны и проанализированы распределения интенсивности поля одиночных бесселевых плазмонов и их суперпозиций. Показано, что при смещении БП с противоположным топологическим зарядом ( $m$  и  $-m$ ) формируется плазмонное поле, характеризующееся азимутальной модуляцией интенсивности в его поперечном сечении. Вследствие этого генерируемое поле содержит  $2m$  ярко выраженных максимума размером порядка десятка нанометров, симметрично расположенных вблизи центральной оси. Данное поле (бесселев мультиплазмон) сохраняет свою структуру в приосевой области при удалении от границы металла на расстояние  $\sim \lambda$ , что обуславливает перспективность его применения для зондирования поверхности одновременно по нескольким каналам с нанометровым разрешением. Предложена схема виртуального зонда на основе бесселева мультиплазмона.

Е.С. Воропай, К.Ф. Ермалицкая, Н.М. Ксенофонтова

## ЛАЗЕРНАЯ АТОМНО-ЭМИССИОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ПОЛИМЕРОВ

*Белорусский государственный университет,  
voropay@bsu.by, ermalitskaia@gmail.com*

Лазерная атомно-эмиссионная спектроскопия – это метод элементного анализа, основанный на испарении вещества и возбуждения эмиссионных спектров атомов лазерными импульсами. Достоинства этого метода (высокая чувствительность, малая деструкция поверхности, экспрессность) позволяют использовать его для анализа различных объектов, в том числе и полимеров.

Исследование проводилось на лазерном спектрометре LSS-1 (производства LOTIS Tii), объектами исследования являлись образцы цветных полимерных пленок, в которых были обнаружены примеси – натрий, барий, титан и кальций.

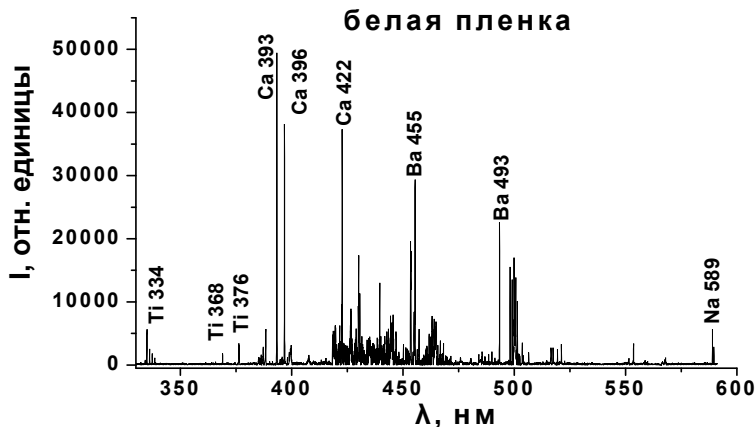


Рис. 1. Фрагмент спектра белой полимерной пленки

УДК 535.34 + 539.1.047+543.42

Г.Б. Толсторожев<sup>1</sup>, И.В. Скорняков<sup>1</sup>, М.В. Бельков<sup>1</sup>,  
О.И. Шадыро<sup>2</sup>

## **ОПТИКО-ФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДИАГНОСТИКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ БИОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ФЕНОЛОВ**

<sup>1</sup> *Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси, [gbt@imaph.bas-net.by](mailto:gbt@imaph.bas-net.by)*  
<sup>2</sup> *Белорусский государственный университет,  
[shadyro@open.by](mailto:shadyro@open.by)*

Науки о жизни сформировались к началу XXI столетия и включают направления: геномика, протеомика, метаболомика, биоинформатика, биофармакология, биомедицина.

В докладе обсуждается применение оптико-физических методов к наукам о жизни по проблемам: строение и физико-химические свойства фенолов; ИК Фурье-спектроскопия и люминесцентное зондирование; взаимосвязь «химическая структура–физика молекул – биологическая функция»; создание оптических технологий фармакологической диагностики [1].

Найдены эмпирические корреляции между структурой, процессами образования водородных связей в биомолекулах и наличием у них антивирусных свойств. Возникновение высокой активности обусловлено ростом отрицательной электронной плотности на атомах кислорода гидроксильной группы ОН.

Оптико-физические технологии важны и актуальны в плане разработки лекарственных препаратов в биомедицине.

### **Литература**

1. Толсторожев Г.Б., Скорняков И.В., Бельков М.В., Шадыро О.И., Полозов Г.И., Сорокин В.Л., Ксензова Г.А. Спектроскопические свойства фармакологически активных фенолов // Оптика и спектроскопия. –2012. –Т. 112. –№ 5. –С. 758-765

**ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ  
ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ КАРТИН,  
СНИЖАЮЩИЕ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ МАЛОЙ  
КЛИНОВИДНОСТИ ПЛАСТИН**

*Гродненский государственный университет имени Янки*

*Купалы*

*[bai@grsu.by](mailto:bai@grsu.by), [amlialikov@grsu.by](mailto:amlialikov@grsu.by)*

К одной из актуальных задач оптических измерений относится выявление и интерферометрическое измерение малой клиновидности пластин.

В настоящей работе предложены способы формирования пары интерференционных изображений клиновидной пластины в голографической интерферометрии бокового или реверсивного сдвига, позволяющие уменьшить погрешность измерений не менее чем два раза за счет удвоения интерференционных полос на парных изображениях пластин при поочередной настройке полос в интерферограммах с последующей их обработкой.

Предложены комбинированные способы повышения чувствительности измерений, сочетающие разворот контролируемой пластины и поочередную настройку полос. Такое сочетание позволило повысить чувствительность измерений более чем на порядок [1,2]. Представлены экспериментальные результаты апробации вышеперечисленных способов.

**Литература**

1. Буть А.И., Ляликов, А.М. // Письма в ЖТФ. 2011. Т.37. №17. С.51-57.
2. Буть А.И., Ляликов, А.М. // ЖТФ. 2012. Т.82. №5. С.78-83.

УДК 621.37:543.42

В.В. Кабанов, М.В. Бельков, Г.И. Рябцев, С.Н. Райков

## ЛИНЕЙКА МОБИЛЬНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ

*Институт физики имени Б.И.Степанова НАН Беларуси*  
*[m.belkov@ifanbel.bas-net.by](mailto:m.belkov@ifanbel.bas-net.by)*

Разработаны мобильные лазерные системы экспрессной экспертизы химсостава любых твердотельных материалов без пробоподготовки при проведении измерений с выездом на место экспертизы, что особенно важно при анализе объектов, не подлежащих транспортировке, при текущем обследовании сооружений и конструкций, экологическом мониторинге в зонах повышенного риска, атрибуции уникальных историко-художественных ценностей с высокой страховой стоимостью.

Система модели 2011 г. уже имеет функциональные преимущества перед зарубежными мобильными аналогами (прототипами): двухимпульсный режим абляции (т.е. рост уровня полезного сигнала на один-два порядка) и повышенная энергетика (т.е. возможность анализа любых твердотельных материалов).



Все системы выполнены по модульному принципу.

В настоящее время завершается разработка самой компактной системы модели 2012 г. с диодной накачкой активной среды лазера и двухимпульсным режимом генерации.

УДК 621.375.88

А.Л. Уласевич, А.В. Горелик, А.А. Кузьмук,  
В.С. Старовойтов

## **ПРИМЕНЕНИЕ ДИОДНЫХ ЛАЗЕРОВ В СОЧЕТАНИИ С КОМПАКТНЫМИ РЕЗОНАНСНЫМИ ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКИМИ КАМЕРАМИ ДЛЯ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ГАЗАХ.**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси  
[a.ulasevich@dragon.bas-net.by](mailto:a.ulasevich@dragon.bas-net.by)*

Создание миниатюрных спектроскопических устройств на основе полупроводниковых лазеров является перспективным направлением развития метода оптико-акустического (ОА) детектирования газов. Последние достижения в этой области связаны с «миниатюризированными» резонансными ОА камерами (<http://micepas.basnet.by/>). Внутренний объем таких камер может достигать нескольких кубических миллиметров. При этом камеры обладают чувствительностью не хуже, чем камеры традиционных размеров. Создание спектроскопического газоанализатора, который включает в себя описанные ОА камеры и диодные лазеры с токовой модуляцией излучения, представляет большой интерес для коммерческого применения из-за его компактности, простоты и низкой стоимости. Однако следует учитывать эффект "спектрального уширения" излучения лазера, вызванный модуляцией тока лазера.

В докладе обсуждаются вопросы, связанные с применением стандартных серийно-выпускаемых одномодовых диодных лазеров ближнего ИК-диапазона для ОА спектроскопического газоанализа. Приводятся результаты исследования эффекта спектрального уширения излучения для диодного лазера с распределенной обратной связью при амплитудной токовой модуляции лазера TTL сигналом на частотах, типичных для акустических резонансов миниатюризированной ОА камеры (1-20 кГц). Спектральная ширина лазерного луча оценивается и анализируется как функция силы тока лазера и частоты модуляции.

УДК 535.24

С.В. Никоненко, В.А. Ждановский, Е.В. Луценко,  
А.А. Липлянин

**МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЯ  
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛЫ  
ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ  
В СИНЕЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА**

*Институт физики НАН Беларуси  
[s.nikonenko@dragon.bas-net.by](mailto:s.nikonenko@dragon.bas-net.by)*

В настоящее время в международной метрологической практике при аттестации лазерной техники действуют международные стандарты ИСО 13694-2004 и ИСО 11146, в которых фактически, регламентированы требования только для источников лазерного излучения (ЛИ) с углом расходимости менее 30 мрад, в то время как полупроводниковые лазерные диоды и лазеры имеют углы расходимости излучения от 1° до 90°.

Для измерения пространственного распределения интенсивности излучения лазерных диодов в Институте физики НАН Беларуси создана гониометрическая установка. Основные технические и метрологические характеристики установки: диапазон углов поворота в двух взаимно перпендикулярных плоскостях от  $-110^\circ$  до  $+110^\circ$ ; диапазон измерения плотности мощности ЛИ от  $300 \text{ нВт/см}^2$  до  $300 \text{ мВт/см}^2$  на расстоянии до 1,5 м в спектральном интервале от 350 до 1100 нм; относительная расширенная неопределённость ( $k=2$ ) измерений плотности мощности ЛИ в диапазоне от 300 мкВт до 300 мВт не превышает 3,4 %, в диапазоне от 300 нВт до 300 мкВт – 9,2 %. Экспериментально исследовано влияние температуры и стабильности тока инжекции на результаты измерения силы излучения инжекционных лазеров, излучающих в синей области спектра, и ее пространственное распределение. Обсуждается влияние геометрического фактора на точность измерения пространственного распределения силы излучения.

УДК 621.372.8:535

А.Б. Сотский<sup>1</sup>, Л.М. Штейнгарт<sup>2</sup>, Д.Х. Джексон<sup>2</sup>,  
П.Я Чудаковский<sup>1</sup>, Л.И. Сотская<sup>3</sup>

## **ВОЛНОВОДНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ВЫТЕКАЮЩИХ МОД**

<sup>1</sup>*Могилевский государственный университет им. А.А.  
Кулешова*

<sup>2</sup>*Metricon Corporation (Pennington, New Jersey, USA)*

<sup>3</sup>*Белорусско-Российский университет  
[ab\\_sotsky@mail.ru](mailto:ab_sotsky@mail.ru)*

Волноводная спектроскопия, использующая резонансное возбуждение волноводных мод посредством призмы связи, является одним из наиболее эффективных методов контроля параметров тонких пленок. Однако детально этот метод разработан для случая возбуждения собственных мод пленок. Вместе с тем в настоящее время значительный интерес представляют также пленки, которые собственных мод не поддерживают. В такой ситуации естественно попытаться использовать технику волноводной спектроскопии применительно к возбуждению несобственных (вытекающих) мод тонких пленок.

В докладе рассматриваются вопросы о возможности туннельного возбуждения вытекающих мод в зависимости от расположения их постоянных распространения на комплексной плоскости, о соответствии номеров вытекающих мод наблюдаемым минимумам в угловой зависимости энергетического коэффициента отражения лазерного пучка от призмы связи, а также о точности определения параметров пленок при обработке указанной зависимости. Представлены результаты измерений и обработки угловых спектров энергетических коэффициентов отражения при волноводной спектроскопии тонких пленок, направляющих вытекающие моды, расположенных на полимерных и полупроводниковых подложках. Обсуждается применение предлагаемой техники к восстановлению параметров диэлектрических пленок наноразмерной толщины.



УДК 535.36:546.59

С. Е. Козик<sup>1</sup>, А. Г. Смирнов<sup>1</sup>, Muhanna K. Al-Muhanna<sup>2</sup>

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ ЛОКАЛИЗОВАННОГО ПЛАЗМОННОГО РЕЗОНАНСА ВБЛИЗИ ЗАПОЛНЕННЫХ ЗОЛОТОМ ПОР АНОДИРОВАННОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ**

*<sup>1</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,*

*[s.kozik@ifanbel.bas-net.by](mailto:s.kozik@ifanbel.bas-net.by), [a.smirnov@ifanbel@bas-net.by](mailto:a.smirnov@ifanbel@bas-net.by)*

*<sup>2</sup>King Abdulaziz City for Science and Technology, Saudi  
Arabia*

Возбуждение плазмонов на поверхности микро- и наноразмерных металлических объектов имеет резонансный характер и сопровождается локальным увеличением амплитуды поля у поверхности металлических структур. Данный эффект находит применение в спектроскопии поверхностно-усиленного рамановского рассеяния, в биосенсорах, при создании оптических ловушек для нанобъектов.

Основная цель работы состояла в определении условий достижения максимальной эффективности возбуждения плазмонов при освещении золотых наностержней, расположенных в среде оксида алюминия в зависимости от длины волны и состояния поляризации падающего излучения. Проведено численное моделирование методом конечных разностей во временной области (FDTD), описана модель анодированного оксида алюминия с заполненными металлом порами и её границы применимости. Полученные результаты позволяют оценить распределение энергии в поле локализованного плазмонного резонанса и силы, действующие на наночастицы со стороны электромагнитного поля, в зависимости от схемы освещения и размеров металлических стержней.

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭТАЛОНА ДЛЯ ВОСП

*Институт физики НАН Беларуси,  
[isaevich@dragon.bas-net.by](mailto:isaevich@dragon.bas-net.by)*

В данной работе приводятся результаты исследования спектральных характеристик источников оптического излучения создаваемого в Беларуси эталона единиц средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптические системы связи и передачи информации (ВОСП). Для генерации оптического излучения использовались лазерные диоды с длинами волн излучения 655, 851, 1309, 1547 и 1628 нм. Стабилизация выходных характеристик лазерного излучения осуществлялась за счет поддержания постоянной температуры лазерных диодов с помощью термоэлектрических охладителей и использования специальных схем стабилизации.

Показано, что при увеличении тока накачки от минимального до максимального значения происходил сдвиг спектра генерации одномодовых лазеров, состоящего из одной компоненты, в длинноволновую область на: 0,24 нм (1309 нм), 0,57 нм (1547 нм) и 0,68 нм (1628 нм). При этом ширина спектра излучения лазера с длиной волны 1309 нм практически не изменялась и составляла менее 0,02 нм. Увеличение тока накачки лазера с длиной волны 1547 нм приводило к уширению спектра излучения с 0,05 до 0,09 нм, а лазера с длиной волны 1628 нм – с 0,09 до 0,25 нм. При увеличении тока накачки многомодовых лазеров происходила трансформация спектра излучения и сдвиг его в длинноволновую область.

Данные исследования позволяют уменьшить неопределенности воспроизведения единицы длины волны лазерного излучения эталоном.

## **КОНТРОЛЬ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛАЗЕРНОЙ ЭРОЗИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ МЕТОДАМИ ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[catsalap@imaph.bas-net.by](mailto:catsalap@imaph.bas-net.by)*

Обработка твердых материалов при помощи лазерных технологий нашла широкое применение в промышленности. Одним из важных параметров, характеризующих процесс лазерной обработки, является количество вещества, выносимое за единицу времени/один лазерный импульс. Измерение количества вещества с помощью фотографирования лазерного кратера и вычисления его объема дает только усредненные результаты и исключает контроль процесса в реальном времени.

В настоящей работе предложен способ контроля количества продуктов эрозии при помощи спектроскопических измерений. Способ основан на зависимости контуров атомных линий от количества вещества в плазме. С помощью разработанной численной модели построена расчетная зависимость параметров контуров линий от количества испаренного вещества. Расчет проверен путем сравнения расчетных спектров с экспериментально измеренными эмиссионными спектрами, полученными при известном расходе вещества. Условия возбуждения: Nd YAG лазер с длиной волны излучения 1064 нм, энергия импульсов – 50 мДж, длительность импульса 12 нс, плотность мощности – порядка 10 ГВт/см<sup>2</sup>. В качестве мишени взяты образцы металлических сплавов известного состава (эталонов). Показано, что расчетная зависимость согласуется с экспериментальной в пределах погрешности эксперимента. Полученные результаты дают основу для разработки технологии контроля интенсивности лазерной эрозии в реальном режиме времени с помощью методов эмиссионной спектроскопии.

УДК 534.511.1

В.А. Пилипович, И.Б. Залесский, А.И. Конойко,  
Н.А. Малевич, А.М.Поликанин, Р.Г. Седнев

## **ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ВИБРОУСТОЙЧИВЫЙ ИНТЕРФЕРОМЕТР С СОВМЕЩЕННЫМИ КАНАЛАМИ ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ МИКРО- И НАНОПЕРЕМЕЩЕНИЙ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
[kanojka@inel.bas-net.by](mailto:kanojka@inel.bas-net.by)*

Целесообразность использования интерферометрических методов обусловлена высокой чувствительностью [1].

В работе предлагается метод трансляции световых потоков на базе двулучепреломляющих элементов и поляризационных преобразований, который позволяет, во-первых, исключить влияние на интерферометрические измерения дестабилизирующих воздействий, во-вторых, совместить два канала зондирования. Причем, оптическая разность хода между каналами зондирования составляет величину  $\lambda/4$ , что позволяет с одной стороны вести измерения на практически линейном участке зависимости интенсивности излучения от оптической разности хода интерферирующих световых пучков, с другой – исключить неоднозначность интерференционных измерений. Оптическая схема такого интерферометра отличается простотой и дешевизной. Она позволяет получить точность измерения линейных перемещений порядка  $0,1\lambda$  в широком диапазоне линейных перемещений.

### **Литература**

1. Binnig G., Quate C. F., Gerber Ch. Atomic Force Microscope // Physical Review Letters. – 1986. – V.56. – P.930 - 936.

**ЛАЗЕРНО-ЛОКАЦИОННЫЙ МЕТОД  
ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ  
В АЭРОЗОЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСАХ**

*Белорусский государственный университет,  
[kugeiko@bsu.by](mailto:kugeiko@bsu.by)*

Разработана методика дистанционного определения массовой концентрации пыли в выбросах из труб промышленных предприятий по данным многочастотного оптического зондирования, использующая алгоритм беспорогового определения границ аэрозольного шлейфа, двухугловой метод определения оптической толщины шлейфа и регрессионные зависимости между массовой концентрацией пыли и спектральными значениями ее коэффициента ослабления.

Возможности методики продемонстрированы на примере определения массовой концентрации цементной пыли. На основе разработанной оптико-статистической модели газопылевого облака выбраны длин волн оптического зондирования, оптимальные в плане информативности относительно концентрации пыли, устойчивости соответствующих им решений обратной задачи к погрешностям оптических измерений, влиянию формы пылевых частиц и присутствию производственных газов. Оценены погрешности восстановления массовой концентрации пыли из результатов зондирования лидарными системами на основе Nd:YAG-лазера и перспективных источников широкополосного когерентного излучения в области спектра, информативной относительно крупных пылевых частиц.

## ФОТОМЕТР МАЛЫХ УРОВНЕЙ ОСВЕЩЕННОСТИ В СОСТАВЕ НАЦИОНАЛЬНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦ СИЛЫ СВЕТА И ОСВЕЩЕННОСТИ

<sup>1</sup>*Институт физики НАН Беларуси*

*[s.nikonenko@dragon.bas-net.by](mailto:s.nikonenko@dragon.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*БелГИМ*

В ходе модернизации в 2008-2010 гг. Национального эталона единиц силы света и освещенности (НЭССО) Республики Беларусь был разработан и создан фотометр малых уровней освещенности (ФМУО), входящий в состав НЭССО.

Малые уровни освещенности реализуются при отражении от диффузно рассеивающей пластины из молочного стекла или политетрафторэтилена излучения светоизмерительной лампы силы света с цветовой температурой  $T_C = 2856$  К. Освещенность определяется из выражения:

$$E = \frac{I_V k \rho d_1^2}{4l_1^2 l_2^2} \quad (1)$$

где  $I_V$  – сила света светоизмерительной лампы, кд;  $\rho$  – коэффициент яркости диффузно отражающей пластины;  $d_1$  – диаметр калиброванной диафрагмы, м;  $k$  – поправочный коэффициент;  $l_1$  – расстояние между плоскостью нити накала лампы и диффузно отражающей пластиной, м;  $l_2$  – расстояние между калиброванной диафрагмой и апертурной диафрагмой фотометрической головки (ФГ) фотометра, м.

Метрологические характеристики ФМУО подтверждены результатами метрологической аттестации и составляют: диапазон воспроизведения единицы освещенности от  $1 \cdot 10^{-3}$  до 1,0 лк; границы неисключенной систематической погрешности передачи единицы освещенности  $\pm 1,6$  %; среднее квадратическое отклонение результата наблюдения освещенности 0,001.

УДК 543.424+535.375

Р.Ю. Васильев<sup>1</sup>, П.И. Ропот<sup>1</sup>, Н.А. Хило<sup>1</sup>,  
М.К. Аль-Муханна<sup>2</sup>

## ДВОЙНЫЕ И КВАДРАТНЫЕ ПУЧКИ ЭЙРИ

<sup>1</sup>*Институт физики НАН Беларуси,  
r.vasilyev@dragon.bas-net.by*

<sup>2</sup>*King Abdulaziz City for Science and Technology, Saudi Arabia*

Пучки Эйри является удобным инструментом, в частности, для захвата и манипуляции микрочастицами. Интерес к пучкам данного типа обусловлен исследованиями [1], где впервые экспериментально удалось получить поле, близкое к идеальному пучку Эйри с сохранением всех его уникальных характеристик. Дальнейшие исследования в области полей нового типа показали возможность генерации двойных пучков Эйри [2].

В данной работе исследованы двойные и квадратные пучки Эйри, полученные с использованием фазового пространственного модулятора света. Реализованы суперпозиции двух и четырех единичных пучков Эйри, отличающихся взаимной ориентацией и фазовым сдвигом. В итоге суммарный пучок становится глубоко модулированным в центральной области. Исследован процесс самовосстановления данных пучков и установлено, что наибольшее влияние на восстановление максимума таких пучков оказывают препятствия, блокирующие центральную область исходного гауссова пучка.

### Литература

1. Siviloglou G.A. Observation of accelerating Airy beams / G.A. Siviloglou, J. Broky, A. Dogariu, and D.N. Christodoulides // Phys. Rev. Lett. – 2007. – Vol. 99, № 21. – P. 213901.
2. C.-Y. Hwang, D. Choi, K.-Y. Kim, and B. Lee, “Dual Airy beam,” Opt. Express 18(22), 23504–23516 (2010).

УДК 535.24

В.А.Длугунович<sup>1</sup>, В.А.Ждановский<sup>1</sup>, А.А.Липлянин<sup>1</sup>,  
С.В.Никоненко<sup>1</sup>, О.Б.Тарасова<sup>2</sup>

## **СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ЮСТИРОВКИ СВЕТОДИОДОВ ПРИ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ**

*<sup>1</sup>Институт физики НАН Беларуси  
[s.nikonenko@dragon.bas-net.by](mailto:s.nikonenko@dragon.bas-net.by)  
<sup>2</sup>БелГИМ*

В настоящее время, универсальной геометрии измерений оптических характеристик светодиодов (СИД), применимой к большому числу типов, не существует. Поэтому в международной метрологической практике, эти измерения проводят, основываясь на рекомендациях Международной комиссии по освещению CIE 127:2007 Technical report CIE. Measurement of LEDs. При измерении оптических характеристик СИД рекомендуется устанавливать СИД на оптической оси ориентируя на его механический центр. Применение широко распространенных методов юстировки источников излучения, используемых в оптической радиометрии, крайне трудоемко и недостаточно точно, т.к. современные СИД имеют малые размеры и зачастую сложную форму вторичной оптики.

В работе рассмотрен способ и устройство, обеспечивающие одновременную юстировку СИД в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Основным функциональным блоком устройства является система визуализации, которая содержит три цифровые видеокамеры, позволяющие одновременно выводить на экран монитора компьютера изображение СИД в трех проекциях. Такой подход обеспечивает значительное сокращение временных затрат на проведение юстировочных работ, особенно в случае СИД, имеющих сложную форму вторичной оптики.



## **СПЕКЛ-ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ И ПОЛНОАЗИМУТАЛЬНАЯ МИКРОСКОПИЯ КОНИЧЕСКИМИ ПУЧКАМИ**

*<sup>1</sup>Институт физики НАН Беларуси  
[p.ropot@dragon.bas-net.by](mailto:p.ropot@dragon.bas-net.by)*

В машиностроении существует острая потребность в неразрушающих дистанционных методах контроля качества цилиндрических изделий, особенно в условиях производства. Известно, что ультразвуковые и акустооптические методы дефектоскопии цилиндрических объектов сложны в практической реализации, а магнито-стрикционные методы пригодны только для ферромагнитных материалов. Оптические методы неразрушающего контроля качества цилиндрических поверхностей в условиях производства в настоящее время развиты слабо.

С применением оптических схем на основе конической оптики нами реализован спекл-фотометрический метод дефектоскопии цилиндрических объектов. Для обнаружения трещин и приповерхностных дефектов движущейся проволоки предложен подход, основанный на зондировании коническим лазерным пучком цилиндрической поверхности объекта с возбуждением в нем нестационарного теплового поля. Полученные спекл-изображения обрабатываются специальными алгоритмами, включая корреляционный анализ пространственной структуры и временной динамики спекл-поля. Устройство обладает высокой виброустойчивостью и способно контролировать изделия диаметром 4-8мм с неоптическим качеством поверхности при скорости движения до 2 м/с. Размер контролируемых дефектов - 100мкм и более. Применение некогерентного источника света в устройстве позволяет реализовать микроскоп полноазимутального видения.

УДК 37.016:53+004

А.Е. Василевич, Н.В. Матецкий, О.Г. Харазян

**РАБОТА ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА  
«ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ  
ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА»**

*Гродненский государственный университет  
имени Янки Купалы,  
[vasil@grsu.by](mailto:vasil@grsu.by)*

В данной работе используется экспериментальная установка, состоящая из персонального компьютера, измерительно-управляющего устройства «ТехноЛаб», оптической скамьи с источником лазерного излучения, держателя с дифракционной решёткой, держателя с поляризатором, держателя с фотодиодом, держателя с измерительной сеткой и экрана.

Использование данной экспериментальной установки позволяет:

- 1) определить длину волны излучения полупроводникового лазера с помощью дифракционной решётки;
- 2) определить расходимость лазерного излучения;
- 3) исследовать зависимость величины тока, протекающего через полупроводниковый лазер от приложенного напряжения;
- 4) определить рабочее напряжение, рабочий ток, а также сопротивление балластного резистора;
- 5) исследовать зависимость мощности потребляемой лазером от силы тока и напряжения, т. е.  $P(I)$ ,  $P(U)$ .
- 7) определить коэффициент полезного действия лазера;
- 8) исследовать зависимость степени поляризации излучения от величины тока, протекающего через полупроводниковый лазер.

УДК 551. 551; 551. 501

А. П. Иванов, А. П. Чайковский, Ф. П. Осипенко,  
М. М. Король, Д. А. Савицкий

**ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ВЗВЕШЕННЫХ  
ЧАСТИЦ И ИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ВОЗДУШНОМ  
БАССЕЙНЕ Г. МИНСКА ПО ДАННЫМ ЛИДАРНЫХ  
И РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

*Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси  
[ivanovap@dragon.bas-net.by](mailto:ivanovap@dragon.bas-net.by)*

Исследования характеристик взвешенных частиц в воздушном бассейне, выполненных в период 2010 – 2011 гг., проводилась на основе обработки совместных данных дистанционных лидарных и радиометрических измерений по методике [1] и локальных измерений концентрации частиц РМ-10, полученных на двух станциях Республиканского центра радиационного контроля и мониторинга окружающей среды в Минске и Березинском заповеднике. Получены следующие результаты. Средняя концентрация частиц РМ-10 в Березинском заповеднике составляет  $14 \text{ мкг/м}^3$  при уровне ПДК равном  $50 \text{ мкг/м}^3$ . Средняя концентрация частиц РМ-10 в городе на станции 1 (загрязненный район)  $23 \text{ мкг/м}^3$ , на станции 13 (чистый район)  $45 \text{ мкг/м}^3$ . На последней уровень ПДК превышает регулярно.

**Литература**

1. Chaikovsky A., Dubovik O., Holben B. N., Thompson A., Goloub Ph., O'Neill N., Sobolewski P., Bosenberg J., Ansmann A., Wandinger U., Mattis I. // Optica Pura у Aplicada 2004. V. 37. N 3. P. 3241 – 3246.

## **МИНИМИЗАЦИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ КАЛИБРОВКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Институт физики НАН Беларуси,  
[e.kruplevich@dragon.bas-net.by](mailto:e.kruplevich@dragon.bas-net.by)*

Высокая точность измерений и широкий динамический диапазон современных измерителей мощности лазерного излучения предъявляют повышенные требования к установкам для их калибровки, которые должны обеспечить передачу размера единицы средней мощности лазерного излучения калибруемым средствам измерений в определенном динамическом и спектральном диапазоне с минимальной неопределенностью. Для выполнения этих требований калибровочные установки должны обладать высокостабильными источниками лазерного излучения с достаточно большим набором определенных длин волн.

В данной работе исследованы стабильность мощности и спектральные характеристики лазеров, используемых в создаваемой в Институте физики НАН Беларуси установке для калибровки средств измерений мощности лазерного излучения. Показано влияние указанных характеристик на суммарную стандартную неопределенность калибровки. Приводятся результаты измерения мощности лазерного излучения разными типами (фотодиодными и термоэлектрическими) первичных измерительных преобразователей в различных спектральных и динамических диапазонах и показано влияние спектрального состава излучения на точность результатов измерений. Калибровка средств измерений с фотодиодными детекторами на тех же длинах волн, на которых осуществляется их эксплуатация, позволяет значительно уменьшить погрешности измерений.

УДК 535.231.11

В.А.Длугунович, А.В.Исаевич, Е.А.Круплевич,  
Л.Н.Насенник

## **КОМПЛЕКС ДЛЯ КАЛИБРОВКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Институт физики НАН Беларуси,  
[e.kruplevich@dragon.bas-net.by](mailto:e.kruplevich@dragon.bas-net.by)*

В Институте физики создается комплекс для калибровки средств измерений (СИ) мощности и энергии лазерного излучения (ЛИ), в состав которого будут входить установка для калибровки СИ средней мощности ЛИ (УКСИМ) и установка для калибровки СИ энергии (УКСИЭ). Комплекс выполняется на основе современной элементной базы и в соответствии с требованиями международных стандартов ГОСТ ИСО 11554-2007 и СТБ МЭК 61040-2004.

В установках комплекса применяется последовательная схема построения с контролем стабильности мощности лазерного излучения с помощью приемника-«свидетеля». Каждая из установок будет состоять из трех основных частей: системы измерения мощности (энергии) ЛИ, основу которой составляют эталонные СИ средней мощности (энергии); системы передачи размера единицы мощности (энергии) ЛИ калибруемым СИ; системы управления, регистрации и обработки результатов измерений.

Динамический диапазон воспроизведения единицы средней мощности ЛИ составляет от  $10^{-7}$  до 40 Вт, единицы энергии ЛИ – от  $10^{-7}$  до 100 Дж. УКСИМ позволит воспроизводить единицу средней мощности ЛИ на длинах волн 0,40; 0,46; 0,53; 0,63; 0,75; 0,81; 0,98; 1,06; 1,34; 1,55 и 10,6 мкм. Рабочие длины волн установки при воспроизведении единицы энергии ЛИ: 0,35; 0,53; 0,85; 1,06 и 1,54 мкм. Стандартная неопределенность воспроизведения и передачи единиц средней мощности и энергии ЛИ не превышает 3 %.

**ДИФРАКЦИЯ СВЕТА НА УЛЬТРАЗВУКОВЫХ  
ВОЛНАХ ЛЭМБА ВЫСОКИХ ПОРЯДКОВ**

*Мозырский государственный педагогический  
университет  
им. И.П. Шамякина  
[g.kulak@mail.ru](mailto:g.kulak@mail.ru)*

В работе [1] экспериментально исследована акустооптическая диагностика волн Лэмба высших порядков при их распространении и отражении от края пластины из кварца. В настоящей работе теоретически исследованы поляризационные и энергетические характеристики световых волн  $s$ - и  $p$ - поляризации, дифрагированных на бегущих ультразвуковых (УЗ) волнах Лэмба высоких порядков пластины с целью их диагностики. Численные расчеты проводились для плоскопараллельного слоя из плавленого кварца ( $SiO_2$ ), расположенной в воздухе. Исследованы зависимости коэффициентов пропускания  $T_{1s}$  и отражения  $R_{1s}$  дифрагированных волн первого порядка на симметричных и антисимметричных модах Лэмба, возбуждаемых в пластинке из плавленого кварца, от толщины пластинки  $h$  и амплитуды деформации УЗ волны  $U$ . Показано, что коэффициент пропускания  $T_{1s}$  и отражения  $R_{1s}$  достигает максимального значения лишь в узком интервале толщин пластины  $\Delta h \sim 0,01$  мм. При увеличении амплитуды деформации  $U$  коэффициент отражения и пропускания возрастает, достигая максимального значения. Исследована зависимость азимута поляризации прошедшей  $\psi_1^t$  и отраженной  $\psi_1^r$  дифрагированной световой волны от амплитуды деформации  $U$  и толщины слоя  $h$ .

**Литература**

1. Diodati, P. // Appl. Phys. Lett. – 1985. – V.47. – № 6. – P. 573–575.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЛНОВОДНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ

*Белорусско-Российский университет*  
*primak\_igor@mail.ru*

Исследованы возможности волноводного метода измерения коэффициента усиления в схеме призмного возбуждения мод тонкопленочной структуры. При измерениях используются накачивающий и зондирующий лазерные пучки, с помощью которых осуществляется возбуждение двух мод. Одна из мод создает инверсию населенности энергетических уровней в волноводе, а вторая – испытывает в данных условиях усиление. При этом регистрируется угловое распределение интенсивности отраженного от призмы зондирующего лазерного пучка, так называемая  $m$ -линия. Предложена процедура определения коэффициента усиления моды  $\alpha$ , основанная на обработке  $m$ -линии. При этом в ходе решения обратной задачи о восстановлении комплексной постоянной распространения волноводной моды учитывалась ограниченность призмного устройства. Выявлены условия наиболее эффективного определения коэффициента  $\alpha$ . На примере волновода в стекле, легированного эрбием (EDWA), проведено численное моделирование отражения зондирующего пучка и тестирование указанной процедуры. В частности, продемонстрирована возможность определения коэффициента усиления моды  $\alpha = 34 \text{ м}^{-1}$  с погрешностью  $\sim 5\%$ .

УДК 551.501.793:551.510

А.Ю. Лопатин<sup>1,2</sup>, А.П. Чайковский<sup>1</sup>, О.В. Дубовик<sup>2</sup>,  
Т. В. Лапенко<sup>2</sup>, Ф. Голоуб<sup>2</sup>, Д. Танре<sup>2</sup>

## **ОБЪЕДИНЕНИЕ ЛИДАРНЫХ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ**

*<sup>1</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси, [lopatsin@scat.bas-net.by](mailto:lopatsin@scat.bas-net.by)  
<sup>2</sup>Univercité Lille 1, Sciencse et Technologies*

Дистанционное зондирование атмосферы полагается на лидарные и фотометрические измерения, которые дают различную информацию о свойствах атмосферного аэрозоля. Фотометрическое дистанционное зондирование, в отличие от лидарного, практически нечувствительно к вертикальной структуре аэрозоля.

В последнее время, с целью одновременного получения более качественной информации о вертикальных оптических свойствах аэрозоля, получили развитие методы объединяющие лидарные и фотометрические измерения.

Данная работа посвящена разработке алгоритма совместного численного обращения комбинированных лидарно-фотометрических измерений, который восстанавливает полный набор микрофизических параметров аэрозоля, представляя его в виде смеси двух фракций, мелкой и крупной. Алгоритм, применённый к многоволновым лидарным и спектрально-угловым фотометрическим измерениям, восстанавливает распределение по размерам, комплексный показатель преломления, вертикальное распределение концентрации и альbedo однократного рассеяния для мелкой и крупной аэрозольных фракций одновременно.



## **ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ**

*ОАО “МНИПИ”, [lisenkovmnipi@fut.by](mailto:lisenkovmnipi@fut.by)*

Постоянный рост объёмов использования полупроводниковых излучателей ставит задачу автоматизации измерения их электрических и энергетических характеристик, обработки и документирования результатов измерений.

Поставленную задачу целесообразно решать с помощью разработанных нами измерителей ИППП-1 и ИППП-3, включающих источники-измерители (ИИ) тока и напряжения, компьютер и управляющий пакет программного обеспечения.

Измерение вольтамперной характеристики полупроводникового излучателя выполняют с помощью одного ИИ. Для измерения его энергетических характеристик требуется как минимум два ИИ. Второй ИИ используется для преобразования в цифровую форму аналогового сигнала от внешнего фотоприемного устройства. Данные, полученные с помощью фотоприемного устройства, обрабатывают с учетом определенных заранее калибровочных коэффициентов, соответствующих этому устройству.

ИППП-1 обеспечивает формирование и измерение токов от  $\pm 10 \mu\text{A}$  до  $\pm 200 \text{mA}$  при базовой погрешности 0,5%, а ИППП-3 – от 0,2 нА до 2,5 А при базовой погрешности 1,5%. Величина дискрета в каждом из диапазонов измерения тока и напряжения (разрешающая способность) для ИППП-1 составляет  $1/200000$  (0,0005%), при максимальном значении времени интегрирования.

УДК 681.785.554

Е. С. Воропай, И. М. Гулис, А. Г. Костюкевич,  
А. Г. Купреев

## **МОНОХРОМАТОР ИЗОБРАЖЕНИЯ С ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКОЙ**

*Белорусский государственный университет  
[kostukevich.alex@mail.ru](mailto:kostukevich.alex@mail.ru)*

В мультиспектральной съемке для выделения спектральных полос традиционно применяются дискретные либо перестраиваемые фильтры, однако их относительно широкие полосы и низкий уровень спектрального контраста существенно снижают информативность.

В [1] предложена оптическая схема монохроматора изображения, реализованного как двойной монохроматор с вычитанием дисперсии. В настоящей работе предлагается принципиально другая схема. Принцип схемного решения заключается в формировании коллиматорным объективом монохроматора из прошедшего через входную щель излучения промежуточного изображения анализируемого объекта вблизи диспергирующего элемента (поверхности дифракционной решетки); монохроматизированная компонента изображения передается через выходную щель камерным и далее изображающим объективами на двумерный фотоприемник.

Проведен теоретический анализ и компьютерное моделирование оптической схемы монохроматора, определены условия минимизации aberrаций, предложены пути оптимизации. Изготовлен макет прибора.

### **Литература**

5. Гулис И. М., Купреев А. Г., Костюкевич А. Г. Двойной монохроматор изображения с вычитанием дисперсии // Вестник БГУ. Серия 1: Физ. Мат. Информ. – 2011. №2. – С. 19–23

УДК 535.34 + 539.1.047+543.42

Т.Ф. Райченко<sup>1</sup>, И.В. Скорняков<sup>1</sup>, Г.Б. Толсторожев<sup>1</sup>,  
О.К. Базыль<sup>2</sup>, В.Я. Артюхов<sup>2</sup>, Г.В. Майер<sup>2</sup>

## ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА И СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФАРМАКОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СУЛЬФОН- ПРОИЗВОДНЫХ АМИНОФЕНОЛОВ

<sup>1</sup> *Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси [gbt@imaph.bas-net.by](mailto:gbt@imaph.bas-net.by)*

<sup>2</sup> *Томский государственный университет, Россия*

В докладе представлены квантово-химические расчеты и экспериментальные данные по исследованиям строения, люминесцентных, ИК спектроскопических и биомедицинских свойств молекул сульфон-производных аминифенолов (СПАФ).

Найдено, что проявление высокой анти-ВИЧ активности молекул СПАФ обусловлено повышением отрицательной электронной плотности на атомах кислорода гидроксильной группы ОН, когда образуются внутримолекулярные водородные связи разных типов  $O-H\cdots N$  и  $O-H\cdots O=S=O$ .

Выявление спектральных признаков противовирусной активности СПАФ представляется важным и актуальным для организации направленного синтеза новых фармакологически эффективных препаратов.

### Литература

1. Базыль О.К., Артюхов В.Я., Майер Г.В., Толсторожев Г.Б., Райченко Т.Ф., Скорняков И.В., Шадыро О.И., Сорокин В.Л., Ксендзова Г.А. Электронная структура и спектроскопические свойства анти-ВИЧ активных молекул аминифенолов // Оптика и спектроскопия. –2012. –Т. 112. –№ 2. –С. 248-257

УДК 535.34 + 539.1.047+543.42

М.В. Бельков<sup>1</sup>, Г.Б. Толсторожев<sup>1</sup>, И.В. Скорняков<sup>1</sup>,  
О.И. Шадыро<sup>2</sup>, С.Д. Бринкевич<sup>2</sup>, С.Н. Самович<sup>2</sup>

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ АНТИВИРУСНОЙ АКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДНЫХ БЕНЗАЛЬДЕГИДА

<sup>1</sup> *Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси [gbt@imaph.bas-net.by](mailto:gbt@imaph.bas-net.by)*

<sup>2</sup> *Белорусский государственный университет,  
[shadyro@open.by](mailto:shadyro@open.by)*

Гидроксильированные и метоксилированные производные бензальдегида (БА) обладают высокими антиоксидантными, радикалрегуляторными и биомедицинскими свойствами. В докладе анализируются особенности ИК Фурье-спектров БА и его производных, которые обладают разной активностью против вируса герпеса [1].

Между процессами образования водородных связей в молекулах БА и его производных и наличием антивирусных свойств имеет место эмпирическая корреляция. Для проявления противовирусной активности необходимо наличие в БА незамещенных гидроксильных групп, которые участвуют в образовании водородных связей O–H...O и O–H...O=C типа.

Выявленные особенности ИК спектров бензальдегидов нужны и актуальны для организации целенаправленного синтеза соединений с нужными фармакологическими свойствами.

### Литература

1. Толсторожев Г.Б., Скорняков И.В., Бельков М.В., Шадыро О.И., Бринкевич С.Д., Самович С.Н. Инфракрасные спектры бензальдегида и его производных в разных агрегатных состояниях // Оптика и спектроскопия. –2012. –Т. 113. –№ 1. –С. 1-5

## ОПТИКО-АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ТРЕЩИН НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ

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

<sup>2</sup>*Мозырский государственный университет им.*

*И.П. Шамякина*

*g.kulak@mail.ru*

Для возбуждения коротких акустических импульсов перспективно применение оптико-акустических методов при импульсном лазерном воздействии [1]. Оптико-акустические источники ультразвуковых (УЗ) волн имеют ряд преимуществ перед традиционными: отсутствие контакта со средой, возможность легкого изменения геометрических параметров акустической антенны, диагностики объектов, движущихся с любой скоростью [1]. В настоящей работе использованием метода функций Грина, получена временная форма продольной ( $U_{Rx}(t)$ ) и поперечной ( $U_{Rz}(t)$ ) составляющих рассеянного на трещине акустического импульса рэлеевских УЗ волн в области приемника. Предполагалось, что трещина, расположенная в металле, длиной  $l$  имеет плоскую границу. Показано, что при увеличении длины трещины амплитуда рассеянного импульса вначале растет, а при дальнейшем ее увеличении - уменьшается, достигая минимального значения. Данные особенности рассеяния связаны с резонансными свойствами рассеивающего центра, когда на его длине укладывается целое число полуволн ПАВ. Исследована зависимость амплитуды рассеяния ПАВ Рэлея на трещине в обратном направлении.

### Литература

1. Zang S. Y., Paul M., Fassbendtr S., Schleichert U. and Arnold W. // Res. Nondestr. Eval. 1990. V. 2. P. 143-155.

**ИНФОРМАТИВНОСТЬ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ  
И НЕФЕЛОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ  
В ДИАГНОСТИКЕ МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ЭРИТРОЦИТОВ**

*Белорусский государственный университет,  
[kugeiko@bsu.by](mailto:kugeiko@bsu.by)*

В медицине знание микрофизических параметров (МФП) крови – функции распределения форменных элементов крови по размерам, их концентрации и показателя преломления позволяет оценивать состояние организма человека, а также устанавливать многие заболевания. Например, наблюдение эритроцитов крови дает показание о функциональном состоянии костного мозга; существенные нарушения, связанные с изменением характеристик эритроцитов, наблюдаются при истинной полицитемии, множественной миеломе, острых и хронических лейкозах, анемиях. Кроме вопросов косвенной идентификации вещественного состава эритроцитов, определенно коррелирующего с этим параметром, данные об МФП необходимы в качестве априорной информации при решении некорректных обратных задач светорассеяния кровью.

В докладе рассматриваются полученные регрессионные соотношения между МФП эритроцитов крови человека и угловыми коэффициентами линейной поляризации  $P(\Theta)$ , а также между МФП эритроцитов и угловыми коэффициентами линейной поляризации  $P(\Theta)$  совместно с коэффициентами направленного рассеяния  $\beta(\Theta)$ . Оценена эффективность использования данных регрессионных соотношений для определения МФП эритроцитов. Показано, что привлечение поляризационных лазерных измерений позволяет улучшить точность восстановления МФП, а также функций распределения как по размерам, так и по объему до  $\sim 3\%$ .

УДК 535.423+617.7

Л.И. Краморева<sup>1\*</sup>, Е.С. Петрова<sup>2</sup>, А.И. Савицкий<sup>1</sup>

## **ДИАГНОСТИКА СВЕТОРАССЕИВАЮЩИХ СРЕД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАЗИБЕЗДИФРАКЦИОННЫХ СВЕТОВЫХ ПУЧКОВ**

<sup>1</sup>*Гомельский медицинский университет,  
[larisakram@tut.by](mailto:larisakram@tut.by),*

<sup>2</sup>*Гомельский государственный технический университет  
им. П.О. Сухого*

В настоящее время большой интерес в области биомедицины вызывают исследования биологических объектов, представляющих собой рассеивающие среды (например, помутнение роговицы, катаракта или гемофтальма). Наличие бездифракционного светового пучка, характеризующегося большой глубиной проникновения и высоким поперечным разрешением, является принципиальным для диагностики таких сред на относительно большую глубину. Таким образом, детальное изучение физических явлений, обусловленных взаимодействием квазибездифракционных световых пучков с рассеивающими средами, открывает новые возможности их использования в качестве зондирующего излучения для разработки методов оптической диагностики данных сред [1].

В работе численно и экспериментально исследуется эффект реконструкции поперечного профиля интенсивности зондирующего излучения при прохождении через различные типы светорассеивающих сред.

### **Литература**

1. Краморева Л.И. Оптическая когерентная томография // ЖПС. — 2010. — Т.77, №4. — С.485–506.

**СРАВНЕНИЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ  
СПОСОБОВ ПО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРИ  
ИССЛЕДОВАНИИ ОПТИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ  
С МАЛЫМИ ПОПЕРЕЧНЫМИ РАЗМЕРАМИ**

*Гродненский государственный университет имени Янки*

*Купалы*

*[amlialikov@grsu.by](mailto:amlialikov@grsu.by)*

В докладе проведен сравнительный анализ по чувствительности отображения оптических неоднородностей с малыми поперечными размерами для двух интерферометрических способов: двухлучевой интерферометрии с опорной волной и интерферометрии бокового сдвига.

В случае, если размеры исследуемой оптической неоднородности ограничены и меньше диаметра светового пучка, то при описании фазы световой волны, прошедшей такую оптическую неоднородность, волновой фронт можно разбить на зоны: возмущенную оптической неоднородностью и определяемую функцией  $\varphi(x, y)$  и невозмущенную, фаза в которой постоянна.

Теоретически показано и подтверждено экспериментально, что для интерферометрии бокового сдвига, в случае сдвига превышающего геометрические размеры оптической неоднородности, ход интерференционных полос в сдвиговой интерферограмме в области оптической неоднородности идентичен ходу полос в двухлучевой интерферограмме с опорной волной, но при этом величина изгиба полосы в два раза больше, что свидетельствует об удвоении чувствительности измерений.



## ЭЛЛИПСОМЕТРИЯ С КОНИЧЕСКИМИ СВЕТОВЫМИ ПУЧКАМИ

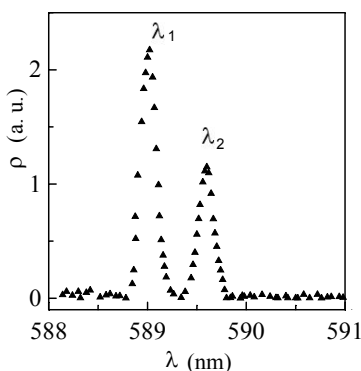
*<sup>1</sup>Институт физики НАН Беларуси  
[n.khilo@dragon.bas-net.by](mailto:n.khilo@dragon.bas-net.by)*

Конические световые пучки (КСП) это световые поля, амплитудное распределение которых описывается функциями Ханкеля первого и второго рода, которые являются точными решениями уравнений Максвелла. Экспериментально такие пучки могут быть получены с помощью аксиконов, кольцевых диафрагм, голограмм и др. методами. В случае достаточно большого диаметра данные пучки являются слабо-дифрагирующими и имеют хорошо определенные фазовые фронты с коническим профилем. В наиболее интересных случаях КСП имеют цилиндрическую симметрию, т.е. являются пучками ТН- и ТЕ- типов или их суперпозициями с эллиптической поляризацией. При условии разработки эффективного метода измерения параметров эллипса открываются перспективы построения соответствующих схем эллипсометрии. Такие схемы отличаются тем, что объектом измерений являются не плоские, а цилиндрические или конические изделия. Коническое поле симметрично освещает изделие со всех сторон, что исключает необходимость вращения объекта или светового пучка, а также резко упрощает обработку отраженного поля из-за отсутствия его искажений при отражении идеальной поверхностью. В качестве примера решена граничная задача отражения КСП металлической проволокой (золото) диаметром  $\sim 10$  мкм, покрытой защитным слоем алюминия толщиной  $\sim 17$  нм. Оценка показала, что измерение поворота эллипса поляризации отраженного пучка позволяет достигать разрешения при измерении толщины покрытия  $\sim 1$  нм.

**ВОЛНОВОДНЫЙ СПЕКТРОАНАЛИЗАТОР**

*Белорусско-Российский университет*  
[avkh@mogilev.by](mailto:avkh@mogilev.by)

Реализован волноводный спектроанализатор на основе призмного устройства возбуждения оптической моды в тестовой многослойной структуре и исследована его разрешающая способность на примере анализа частотного спектра излучения натриевого дублета. Принцип действия такого спектроанализатора основан на том, что в случае возбуждения одномодового волновода полихроматическим светом в отражённом свете будет наблюдаться серия тёмных  $m$ -линий, угловое положение каждой из которых будет определяться постоянной распространения моды для соответствующей хроматической компоненты анализируемого излучения. Для исследования частотного спектра мощности использована модифицированная схема волноводной спектроскопии. На рисунке представлен спектр излучения



$\Delta\lambda = 0,6$  нм.

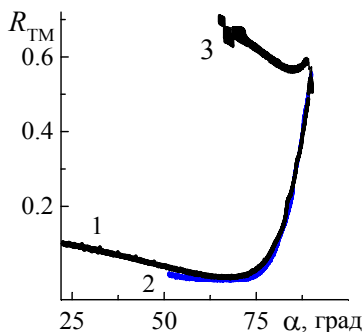
натриевого дублета ( $\lambda_1 = 589$  нм и  $\lambda_2 = 589,6$ ), восстановленный по результатам обработки измеренной угловой зависимости интенсивности светового пучка, отражённого от призмного устройства возбуждения волноводной моды тестовой структуры, в соответствии с разработанным алгоритмом. Предложенный подход позволяет разрешать спектральные линии с

## ВОЛНОВОДНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ НАНОРАЗМЕРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

<sup>1</sup>Могилевский государственный университет им. А.А.  
Кулешова

<sup>2</sup>Белорусско-Российский университет  
[avkh@mogilev.by](mailto:avkh@mogilev.by)

Предлагается новый метод контроля наноразмерных металлических покрытий, основанный на обработке измеренной угловой зависимости коэффициента отражения лазерного пучка от тонкопленочной структуры. При исследовании металлических пленок наноразмерной толщины на диэлектрических и полупроводниковых подложках целесообразно отказаться от использования призмы связи в



установке для волноводной спектроскопии. Тогда параметры металлической пленки (комплексный показатель преломления и толщина) могут быть определены путем минимизации надлежащей целевой функции. Для соответствующих вычислений мы разработали алгоритм, фильтрующий локальные

минимумы. Экспериментальные данные для коэффициента отражения пучка He-Ne лазера ТМ-поляризации от напыленных на кварцевую подложку пленок Al толщиной 1,5 нм до (1) и после окисления (2) и толщиной 20 нм (3) представлены на рисунке. Обработка приведенных графиков предлагаемым методом показала, что он, будучи гораздо более простым в реализации, обеспечивает точность результатов, сопоставимую с данными многоугловой эллипсометрии.

## **ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ ЖИЗНИ ВЕРХНЕГО ЛАЗЕРНОГО УРОВНЯ С УСТРАНЕНИЕМ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕПОГЛОЩЕНИЯ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
[i.kisialiou@gmail.com](mailto:i.kisialiou@gmail.com)*

Время жизни метастабильного уровня является одной из ключевых характеристик активной лазерной среды. Чем дольше время жизни, тем большую инверсию населённости можно поддерживать при той же накачке. Этот параметр напрямую определяет усиление и лазерную динамику в целом. В отсутствие вынужденного испускания из времени жизни верхнего уровня по формуле Фюхтбауэра-Ладенбурга вычисляется поперечное сечение испускания.

Как правило, время жизни верхнего уровня определяют по времени флуоресценции, однако при существенном наличии перепоглощения напрямую получить корректный результат подобным способом невозможно. Перепоглощение света может значительно исказить кинетику флуоресценции в объемных образцах лазерных материалов, имеющих частично перекрывающиеся полосы поглощения и усиления. Доклад посвящён применению метода динамических решёток для измерения времени жизни верхнего уровня в твердотельных лазерных материалах. Для описания перепоглощения в тонком слое лазерного материала построена теоретическая модель. Показано, что при соблюдении определённых условий перепоглощение практически не влияет на время жизни решётки показателя преломления. Приведены результаты экспериментов, подтверждающие эффективность метода динамических решёток.

**ВЕЛИЧИНА РЕГИСТРИРУЕМОГО  
ОТРАЖЕННОГО СВЕТОВОГО ПОТОКА ОТ КОЖИ  
ЧЕЛОВЕКА ПРИ РАЗНЫХ УГЛОВЫХ АПЕРТУРАХ  
ИЗЛУЧАТЕЛЯ И ПРИЕМНИКА**

*Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси,  
[ivanovap@dragon.bas-net.by](mailto:ivanovap@dragon.bas-net.by)*

Свет отраженный от кожи человека содержит в себе много сведений, как о структуре и составе кожного покрова, так и о свойствах крови, наличии и характере аномальных тканей в приповерхностной зоне. По нему также можно судить о глубине проникновения излучения в среду. Указанная информация нужна при поиске оптимальных условий физиотерапевтических процедур, хирургических операций с использованием лазерного луча, лучевой и фотодинамической терапии, разработки оптических методов определения структуры кожи. С целью реализации миниатюрных технических средств измерения отражательной способности кожи человека в работе дано аналитическое описание и проанализирована функция размытия излучения на поверхности разной кожи от мононаправленного точечного источника в спектральном интервале 400 – 800 нм. С ее использованием выполнен расчет излучения отраженного с круговой площадки, нормированного к падающему потоку, создающему на коже пятно также в виде круга. При этом радиусы кругов и расстояние между их центрами могут быть разным. Приведены примеры. Сопоставлены величины этих нормированных потоков с расчетными истинными коэффициентами отражения.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ МОЩНОСТИ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРОВ ЭТАЛОНА ДЛЯ ВОСП**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
[holenkov@dragon.bas-net.by](mailto:holenkov@dragon.bas-net.by)*

Создание эталона единиц средней мощности, ослабления и длины волны оптического излучения для волоконно-оптические системы связи и передачи информации (ВОСП) с учетом рекомендаций международных стандартов с одной стороны позволит расширить единое информационное пространство и развивать кооперацию Беларуси со странами ближнего и дальнего зарубежья, а с другой стороны предъявляет дополнительные требования к метрологическим характеристикам создаваемого оборудования и прежде всего к источникам излучения.

В данной работе приводятся результаты исследования стабильности мощности источников лазерного излучения создаваемого эталона. Показано, что долговременная стабильность одномодовых лазеров (длины волны излучения 1309, 1547 и 1628 нм) при вариации мощности излучения не превышает 0,3%, многомодовых (длины волны излучения 655 и 851 нм) – 0,5%, средневременная стабильность мощности излучения – 0,1% и 0,3% соответственно. Установлено, что подключение коммуникационных элементов приводит к ухудшению долговременной стабильности в 1,2 – 4 раза в зависимости от способа и типа подключаемых элементов. Найдены способы подключения и типы подключаемых элементов, позволяющие минимизировать их влияние на стабильность мощности источников лазерного излучения.

Данные исследования позволяют уменьшить неопределенности воспроизведения единицы средней мощности лазерного излучения эталоном.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИКРОФИЗИЧЕСКИХ  
ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ  
ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОГО И НАЗЕМНОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ**

*Белорусский государственный университет,  
[kugeiko@bsu.by](mailto:kugeiko@bsu.by)*

Разработана методика восстановления микрофизических параметров фонового и поствулканического стратосферного аэрозоля из результатов совместных измерений коэффициента аэрозольного обратного рассеяния лидарными системами на основе Nd:YAG-лазера и коэффициента аэрозольного ослабления спутниковой аппаратурой SAGE-III. Для каждого из рассматриваемых микрофизических параметров (концентрация, площадь поверхности, объем, эффективный размер частиц мелко- и крупнодисперсной фракций аэрозоля) определен наиболее информативный набор оптических характеристик. Получены полиномиальные множественные регрессии между оптическими и микрофизическими характеристиками аэрозоля, позволяющие решать обратную задачу с учетом полимодального распределения сернокислотных и пылевых частиц, различия их показателей преломления и дисперсии параметра формы частиц. Проведено сравнение полученных результатов с независимыми экспериментальными данными. Оценены погрешности восстановления микрофизических параметров аэрозоля для различных ситуаций в стратосфере. Показано, что разработанная методика позволяет восстанавливать комплекс микрофизических параметров аэрозоля с погрешностями приемлемыми для решения задач экологии, климатологии, химии и физики атмосферы.

**РЕГРЕССИОННЫЕ МЕТОДЫ НЕИНВАЗИВНОЙ  
ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ МЕДИКО-  
БИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТКАНЕЙ  
ОРГАНИЗМА**

*Белорусский государственный университет,  
[lisenko@bsu.by](mailto:lisenko@bsu.by)*

В докладе рассматривается разработанный автором метод оперативного определения структурных параметров и компонентного состава биологических тканей, основанный на измерении спектральных и пространственных характеристик поля отраженного тканью светового, в том числе и лазерного, излучения и использовании простых аналитических выражений, связывающих измеряемые и определяемые параметры ткани. Вышеотмеченные аналитические выражения получаются на основе модели переноса излучения в биологической ткани при широких вариациях ее параметров. Показывается, что совместная интерпретация спектральных и пространственных характеристик диффузного отражения тканей позволяет существенно повысить точность определения их медико-биологических параметров по сравнению со случаями раздельной интерпретации спектральной или пространственной составляющих информации. Рассматриваются различные варианты систем, реализующих разработанный метод. Среди них системы мультиспектральной визуализации и оптоволоконные спектрометрические системы с пространственно разнесенными каналами возбуждения и регистрации излучения. Приводятся примеры количественной интерпретации экспериментальных спектров диффузного отражения кожи, слизистых оболочек полости рта и желудка, сетчатки глаза.



УДК 536.51.083: 681.7.068: 535.372  
М.А.Ходасевич<sup>1</sup>, Г.В.Синицын<sup>1</sup>, Ю.А.Варакса<sup>1</sup>, В.А. Асеев<sup>2</sup>,  
А.Н.Абдршин<sup>2</sup>

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМИ ДАТЧИКАМИ НА ОСНОВЕ СТЕКЛОКЕРАМИК, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ ЭРБИЯ, ХРОМА И НЕОДИМА**

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[y.varaxa@ifanbel.bas-net.by](mailto:y.varaxa@ifanbel.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет  
информационных технологий, механики и оптики*

В последнее десятилетие активно исследуются оптические, в частности, флуоресцентные датчики температуры, обладающие рядом преимуществ по сравнению с традиционными термоэлектрическими и пирометрическими датчиками. С точки зрения применения оптоволоконных технологий, позволяющих осуществлять дистанционные и распределенные измерения, для улучшения параметров таких датчиков перспективны стеклокерамические материалы, активированные редкоземельными элементами и переходными металлами. Нами рассмотрена эффективность измерения температуры датчиками, определяющими отношение интенсивностей флуоресценции двух температурно связанных уровней ионов эрбия, хрома или неодима в свинцово-фторидных стеклокерамиках. Полагая шумы системы регистрации и оптические шумы, обусловленные стохастическим характером люминесценции, фактором, ограничивающим рабочие характеристики оптического датчика и используя экспериментальные спектры флуоресценции наностеклокерамик, мы определили рабочий диапазон и точность измерения температуры. При сравнении материалов по чувствительности лучшей оказалась стеклокерамика, активированная ионами эрбия ( $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ), значительно ей уступают стеклокерамики, активированные неодимом или хромом.



**Секция 7. Применения  
лазеров в научных  
исследованиях и технике**

## **СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

*Научно-исследовательский институт «Полюс»  
им. М.Ф. Стельмаха,  
[simakov2002@yahoo.com](mailto:simakov2002@yahoo.com)*

В настоящей работе изложены результаты работ по разработке источников излучения для перспективных лазерных информационных систем, выполненных в 2005-2012 г., и отражающих современный уровень российской элементной базы ориентированной на надежную работу в жестких климатических и эксплуатационных условиях. Выполнение качественной разработки и организации последующего серийного выпуска возможно только при наличии современной высокотехнологичной базы: от выращивания эпитаксиальных наногетероструктур и формирования активных элементов (чипов) до изготовления законченных приборов и их тестирования в соответствии с требованиями заказчика. Основными направлениями нашей деятельности в этот период являлись разработка и поставка:

- мощных импульсных полупроводниковых лазеров с высокой энергетической яркостью для систем управления малоразмерными скоростными объектами;
- широкополосных (1-12 ГГц) волоконно-оптических передающих и приемных модулей для управления фазированными антенными решетками;
- цифровых до 120 Мбит/с волоконно-оптических передающих и приемных модулей для локальных информационных сетей мобильных пунктов управления;
- высокостабильных источников накачки космических атомных стандартов частоты системы ГЛОНАСС;
- суперлюминесцентных излучателей для волоконно-оптических гироскопов.

Учитывая значительный интерес к системам ночного видения и тепловидения, и используя потенциал нашего технологического комплекса организован массовый (до 50 000 шт.) выпуск эпитаксиальных пластин для фотокатодов электронно-оптических преобразователей поколения 3+, ведется проработка в области создания квантово-каскадных лазеров, фотоприемников на основе множественных квантовых ям, солнечно слепых фотоприемников.

**ЭВОЛЮЦИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ И ФОНОННОЙ  
ТЕМПЕРАТУР В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ЗОЛОТА  
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИНТЕНСИВНЫХ  
УЛЬТРАКОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ**

*Центр физических наук и технологий, Вильнюс, Литва  
[aldement@ktl.mii.lt](mailto:aldement@ktl.mii.lt)*

Выравнивание температур в двухтемпературных системах исследовано на примере пространственно-временной эволюции электронной и фононной температур в тонких пленках золота при плотностях энергии лазерного излучения, меньших пороговых плотностей энергии абляции, когда не происходит удаления материала мишени. Отметим, что известные аналитические оценки температур в приповерхностном слое металлов при воздействии ультракоротких импульсов лазерного излучения (и введенное на их основе время установления теплового равновесия) не учитывают влияния теплопроводностей. Поэтому обычно считается, что электронная температура всегда превышает температуру решетки и лишь стремится к ней асимптотически. Проведенные численные расчеты показывают, что высокая электронная теплопроводность может приводить к таким ситуациям, когда температура электронной подсистемы становится ниже температуры решетки, причем такая ситуация сохраняется и при значительных превышениях времени наблюдения над так называемыми временами релаксации температур [1].

### **Литература**

1. Du G., Chen F., Yang Q., Si J., Hou X. Ultrafast thermalization characteristics in Au film irradiated by temporally shaped femtosecond laser pulses // Opt. Commun. - 2011. – V.284, No.2 . – P. 640-645.

УДК 621.375(075.8)

В.А.Горобец, В.В.Кабанов, В.П.Кабашников,  
Б.Ф.Кунцевич, Н.С.Метельская, В.О.Петухов, И.Н.Пучковский,  
Д.В.Шабров

## **ВСЕПОГОДНАЯ СИСТЕМА ВИДЕНИЯ ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С НАШЛЕМНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИЕЙ**

*Институт физики НАН Беларуси,  
[v.gorobets@ifanbel.bas-net.by](mailto:v.gorobets@ifanbel.bas-net.by)*

Разработана активно-импульсная система видения (АИСВ) для обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов (например, вертолетов) в условиях ограниченной прозрачности атмосферы: туман, дымка, дождь, снег и т.д.

АИСВ состоит из нашлемного блока визуализации, конструктивно представляющего собой совмещенный нашлемный электронно-оптический блок и малогабаритный наглазный монитор, и лазерного прожектора, выполненного в виде панели лазерных диодов, снабженных соответствующими электронными драйверами и объективами. Осветитель может размещаться как внутри, так и на внешней поверхности летательного аппарата. Возможна моноблочная конструкция.

Для создания эффективной и мощной подсветки прожектор содержит восемь лазерных диодов. Для обеспечения наблюдения с разной высоты предлагается применять объективы двух типов с фокусными расстояниями  $F=26$  мм и  $F=6$  мм.

Рассмотрены особенности работы АИСВ на наклонных трассах, установлена зависимость отраженного сигнала от длительности импульса, времени задержки открытия ЭОП, дальности до объекта и состояния атмосферы. Приведены оценки оптической передаточной функции замутненной атмосферы и помехи обратного рассеяния.

УДК 539.2: 621.373.826

А.Н. Чумаков, Н.А. Босак, П.И. Веренич,  
И.С. Никончук

## **ОБРАЗОВАНИЕ НАНО И МИКРОСТРУКТУР НА ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
[nick@imaph.bas-net.by](mailto:nick@imaph.bas-net.by)*

Исследованы особенности модификации поверхности ряда металлов и сплавов (сталь 9ХС, Х12, AISI 304, кобальто-хромовый сплав, магниевый сплав с Al–С–Ti- покрытием, дюралюминий Д16Т и др.) в воздухе при одно- и многоимпульсном лазерном воздействии на длинах волн 1064, 532, 355 и 266 нм при частотах повторения лазерных импульсов 1-10 Гц и 20-50 кГц в условиях образования приповерхностной плазмы. Методами оптической и электронной микроскопии изучена зависимость морфологии и структуры модифицированной поверхности от материала облученных образцов, длины волны лазерного излучения, параметров и условий лазерного облучения.

Установлены условия формирования на поверхности облученных металлов и сплавов регулярных зернистых нано- и микроструктур с управляемым размером зерен в диапазоне от 30 нм до 10 мкм в зависимости от режимов и условий лазерного облучения, что может найти практическое использование для модификации поверхностных свойств ряда материалов, включая повышение их стойкости к коррозии и износу.

Показано, что формирование регулярной зернистой структуры на металлах и сплавах облегчается при их облучении лазерными пучками с периодическими возрастаниями плотности мощности лазерного излучения в сечении пучка, а также при увеличении числа воздействующих лазерных импульсов.



УДК 551. 551; 551. 501

А. П. Чайковский, А. П. Иванов, А. С. Слесарь,  
С. В. Денисов, Ф. П. Осипенко

## **СОПОСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ НАЗЕМНОГО И СПУТНИКОВОГО ЛИДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АЭРОЗОЛЯ**

*Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси  
[ivanovap@dragon.bas-net.by](mailto:ivanovap@dragon.bas-net.by)*

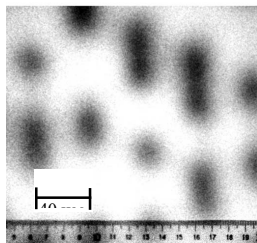
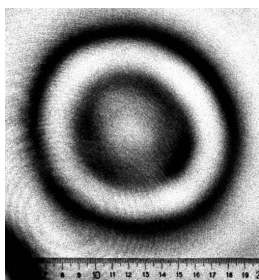
Информация о пространственных распределениях параметров атмосферных компонентов составляет основную ценность данных космических измерений. Космические лидары, в силу очевидных ограничений не могут достигнуть такого качества данных, которая доступна на стационарных лидарных станциях. Поэтому наземные лидарные станции призваны обеспечить валидацию данных космических лидаров. Для реализации этой задачи должен быть высокий технический уровень базовых наземных станций, унифицированы методики измерений и ключевые аппаратные блоки. Очевидно, все перечисленные мероприятия эффективны только в рамках международного научного сотрудничества. Начиная с 2006 г., когда был запущен спутник CALIPSO с лидаром, осуществляется международный эксперимент по валидации данных спутниковых измерений и сопоставления их с результатами наземного зондирования на станциях Европейской лидарной сети EARLINET. Дан анализ распределения относительных разностей между измерениями обратного рассеяния данных CALIPSO и станций EARLINET.

**ЛАЗЕРНЫЙ ПРОЕКЦИОННЫЙ МИКРОСКОП**

*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси*

*[a.agashkov@ifanbel.bas-net.by](mailto:a.agashkov@ifanbel.bas-net.by)*

Основным ограничением оптической микроскопии является предельное разрешение, определяемое выражением  $r = 0.61\lambda / NA$ , где  $\lambda$  – длина волны источника освещения,  $NA$  – числовая апертура объектива. Т.к. стандартные системы освещения микроскопов не обеспечивают необходимой яркости изображения при работе на пределе разрешения, то выход был найден в использовании лазерных источников. В данной работе представлены варианты лазерных микроскопов, работающих как на пропускание, так и на отражение. Исключительно высокая яркость изображения позволяет получать увеличение на проекционном экране  $> 10^4$ . На рисунке приведен пример изображений эритроцита крови человека с размером  $\sim 7 \mu\text{m}$  (а) и поверхности DVD-ROM (б), полученных с помощью многомодового He-Ne лазера ( $\lambda = 0.6328 \mu\text{m}$ ) мощностью 10 мВт. В микроскопе использован объектив  $60\times$ ,  $NA = 0.85$  и окуляры  $12.5\times$  (а) и  $16\times$  (б). Расстояние от объекта до экрана 340 см, цифры на шкале внизу рисунка – сантиметры. Микроскопы данного типа могут найти широкое применение при исследовании субмикронных объектов и в микробиологии.



УДК 535.373.3

Э.И. Зенькевич<sup>1</sup>, А.П. Ступак<sup>2</sup>, Д. Коверко<sup>3</sup>, Т. Блаудек<sup>4</sup>,  
К. фон Борцисковски<sup>4</sup>

**ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ ОДИНОЧНЫХ  
КОМПОЗИТОВ «ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ  
НАНОКРИСТАЛЛ CdSe/ZnS – ОРГАНИЧЕСКИЙ  
КРАСИТЕЛЬ»**

<sup>1</sup>*Белорусский национальный технический университет,  
[zenkev@tut.by](mailto:zenkev@tut.by)*

<sup>2</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[sagun@imaph.bas-net.by](mailto:sagun@imaph.bas-net.by)*

<sup>3</sup>*Университет Цюриха, [danny.kowerko@physik.tu-chemnitz.de](mailto:danny.kowerko@physik.tu-chemnitz.de)  
Технологический университет Хемнитца,  
[borczyskowski@physik.tu-chemnitz.de](mailto:borczyskowski@physik.tu-chemnitz.de)*

Для реализации практических задач (наносенсорика, фотоэлектроника, нанобиотехнологии) остается не решенным ряд структурных, термодинамических и фотофизических вопросов, определяющих эффективность фотолюминесценции (ФЛ) полупроводниковых нанокристаллов (НК) в самособирающихся нанокомпозитах «НК-органический лиганд».

В данной работе методами лазерной спектроскопии одиночных центров исследованы специфика и закономерности взаимодействия полупроводниковых НК CdSe/ZnS с функциональными органическими молекулами красителей (порфирины, перилен-бисимиды) при 77-320 К: 1) мерцание («blinking») интенсивности ФЛ НК, 2) температурная перестройка поверхностного слоя стабилизатора (триоктилфосфин оксида и/или длинноцепочечных аминов), 3) временная динамика спектров ФЛ НК при связывании с молекулами функциональных лигандов, 4) энергетика поверхностных ловушек и низших экситонных состояний при вариации температуры и состава нанокомпозитов.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГПНИ «Конвергенция 3.2.08».

УДК 535.37 + 535.34:541.14

М.П. Самцов<sup>1\*</sup>, С.А. Тихомиров<sup>2</sup>, О.В. Буганов<sup>2</sup>,  
Л.С. Ляшенко<sup>3</sup>, Д.С. Тарасов<sup>2</sup>, А.С. Сташевский<sup>2</sup>, Е.С. Воропай<sup>3</sup>

## ФОТОНИКА МОЛЕКУЛ ТРИКАРБОЦИАНИНОВОГО КРАСИТЕЛЯ В РАСТВОРАХ

<sup>1</sup>*НИИПФП имени А.Н. Севченко БГУ, [samtsov@bsu.by](mailto:samtsov@bsu.by)*

<sup>2</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси, [tikhomirov@imaph.bas-net.by](mailto:tikhomirov@imaph.bas-net.by)*

<sup>3</sup>*Белорусский государственный университет  
[voropay@bsu.by](mailto:voropay@bsu.by)*

Катионные полиметиновые красители широко используются в качестве биологических меток различных, возможно их использование в качестве фотосенсибилизаторов для фотохимиотерапии. Механизм фотоактивности этого класса соединений не укладывается в рамки схемы, в которой повреждение опухолевых клеток обусловлено исключительно образованием синглетного кислорода. Индотрикарбоцианиновые красители в раковых клетках локализованы в области с низкой диэлектрической проницаемостью и находятся преимущественно в виде контактных ионных пар. Это обстоятельство и данные о сохранении фотоактивности красителей в гипоксических условиях позволяли предполагать в качестве стартового механизма повреждения раковых клеток фотоиндуцированное образование свободных радикалов вследствие переноса заряда в контактных парах. В данной работе на основании сопоставления фотофизических свойств красителя 1,3,3';1',3',3'-гексаметил-2,2'-индотрикарбоцианина (НТС) с противоионами I, Br и ClO<sub>4</sub> в малополярном дихлорбензоле и высокополярном этаноле, анализа закономерностей необратимых фотопревращений НТС в обескислороженных и воздухомыщенных растворах и данных по фемтосекундной спектроскопии показано, что при фотовозбуждении тесных контактных пар вследствие сверхбыстрого переноса заряда происходит образование свободных радикалов.

UDC 535:621.373.826

V.S.Burakov<sup>1</sup>, A.V.Butsen<sup>1</sup>, N.V.Tarassenko<sup>1</sup>,  
M. Brikas<sup>2</sup>, M. Maciulevicius<sup>2</sup>, A. Vinciunas<sup>2</sup>,  
G. Raciukaitis<sup>2</sup>

## **LASER ASSISTED GENERATION AND ON-LINE CHARACTERIZATION OF GOLD NANOPARTICLES IN LIQUIDS**

<sup>1</sup>*B.I. Stepanov Institute of Physics NAN Belarus,  
[tarasenk@imaph.bas-net.by](mailto:tarasenk@imaph.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Center for Physical Sciences and Technology,  
[graciukaitis@ar.fi.lt](mailto:graciukaitis@ar.fi.lt)*

In this study we report about the synthesis and characterization of Au nanoparticles produced by laser ablation of gold plate immersed in distilled water and aqueous fructose/glucose solutions. The motivation of such research lies in the practical great potential applications of noble metal nanoparticles in biotechnology, chemical catalysis, novel types of electronic and optical devices.

The experiments were carried out by using of the second harmonic (532nm, 10 ns, 10 Hz) of a Nd:YAG laser (LOTIS TII, LS2134) and a picosecond laser PL10100 (EKSPLA) with a repetition rate (15 kHz). The prepared nanoparticles were examined by UV-Visible absorption spectroscopy and transmission electron microscopy (TEM).

Optical absorption spectra of nanoparticles were studied depending on the experimental conditions (laser irradiation parameters, a type of surfactant solutions and concentration). It is shown that the optical response of nanoparticles can be used for controlled regulation of the mean size of nanoparticles formed and their size distribution function. Using of lasers with the high pulse repetition frequency was shown to be preferable for increasing productivity of the technique and development of competitive technology. A promising combination of laser ablation with post-ablation laser irradiation of the colloids for modification of the morphology and structure of the formed particles was demonstrated. The experimental conditions were found to produce rather small (5 – 10 nm) and long-term stable gold nanoparticles.

УДК 535.3;621.315.592

В.Л. Малевич<sup>1</sup>, Р. Адомавичюс<sup>2</sup>, А.Кроткус<sup>2</sup>

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕРАГЕРЦОВЫХ ИМПУЛЬСОВ С ФОТОНОСИТЕЛЯМИ ЗАРЯДА В ПОЛУПРОВОДНИКЕ**

*<sup>1</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,*

*<sup>2</sup>Центр физических исследований и технологий, Вильнюс  
[v.malevich@dragon.bas-net.by](mailto:v.malevich@dragon.bas-net.by)*

Поглощение терагерцовых (ТГц) электромагнитных импульсов в полупроводниках определяется их взаимодействием с плазмой свободных носителей заряда. Исследуя пропускание ТГц импульсов через фотовозбужденный полупроводник и сравнивая его с результатами моделирования, можно находить эффективные массы и времена релаксации носителей заряда по энергии и импульсу. Варьируя временную задержку между возбуждающим оптическим и ТГц импульсами, можно исследовать субпикосекундную динамику внутризонной релаксации фотовозбужденных электронов и дырок, измерять характерные времена междолинных переходов электронов, а также определять степень непараболичности электронного и дырочного спектров.

На основе метода частиц нами разработаны алгоритм и программа для численного моделирования пропускания ТГц импульса через предварительно возбужденный фемтосекундным оптическим импульсом полупроводник. При описании взаимодействия ТГц импульса с фотовозбужденным полупроводником динамика электрического поля и транспорт носителей заряда рассматривались самосогласованно. Конкретные расчеты и экспериментальные измерения были проведены для полупроводника  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  с  $x=0.2$  и  $0.53$ . Сравнение результатов расчета с экспериментальными зависимостями ТГц пропускания от времени задержки позволило определить времена релаксации электронов по энергии, а также параметры непараболичности.

УДК 621.37:543.42

М.В. Бельков<sup>1</sup>, Е.М. Довнар-Запольская<sup>2</sup>,  
Е.В. Клячковская<sup>1</sup>, С.Н. Райков<sup>1</sup>

## ЛАЗЕРНЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ МИКРОАНАЛИЗ ИСТОРИКО-ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ЦЕННОСТЕЙ

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси*  
[raikov@imaph.bas-net.by](mailto:raikov@imaph.bas-net.by)

<sup>2</sup>*Институт искусствоведения, этнографии и фольклора*  
*имени К. Крапивы НАН Беларуси*

Разработаны эмиссионные лазерные спектрометры (в стационарных и мобильном вариантах) для экспрессного микроанализа твердотельных образцов применительно к задачам искусствоведения, археологии, исторической и криминалистической экспертизы, включая анализ уникальных музейных экспонатов, произведений живописи и национальных раритетов с выездом на место экспертизы.



Завершена комплексная технологическая, искусствоведческая и историческая экспертиза произведений живописи предположительно авторства М.Шагала, В.Кандинского, И.Хруцкого, А.Марке, П.Якобса, Тициана, М.Волошина, И.Айвазовского, И.Левитана, В.Коровина, Н.Гончаровой, И.Пуни и др., икон, фресок (Полоцк, XI в.), археологических находок, ювелирных украшений, представляющих музейную ценность, и т.д.

## **ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМООПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРЕВОГО ЭФФЕКТА РАНКА- ХИЛША МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ РЕФРАКТОМЕТРИИ**

*<sup>1</sup>Институт прикладных физических проблем имени  
А.Н.Севченко БГУ*

*[vkp@bk.ru](mailto:vkp@bk.ru)*

*<sup>2</sup>Белорусский Государственный Университет*

*[kugeiko@bsu.by](mailto:kugeiko@bsu.by)*

Результаты проведенных исследований свидетельствуют об оригинальных возможностях, обеспечиваемых термооптическими характеристиками газодинамических вихревых систем. Следует отметить пригодность их для формирования разных профилей интенсивности (с провалом в центре, кольцевых) световых пучков с диаметрами от 0,003 до 0,056 м; способность систем фокусировать или дефокусировать пучки упомянутых размеров в широком интервале фокусных расстояний (0,3 -800 м); применимость их для работы в широком спектральном диапазоне (от УФ до дальнего ИК) с зондирующими, приемными и спектрально-селектирующими элементами различных спектрофотометрических устройств. Рассмотренные системы в силу газоконвективного принципа их функционирования являются самовосстанавливающимися и позволяют работать с лазерным излучением мощностью от долей ватта до порога оптического пробоя газового потока. Полученные результаты важны при разработке методов и средств локационной диагностики спектральных и микрофизических характеристик газовых и аэрозольных выбросов в атмосферу. Это обусловлено тем, что кольцевые световые пучки обладают «банановой» самофокусировкой и повышенной устойчивостью к боковому ветру, что повышает дальность, пространственное разрешение зондирования и точность.



УДК 535.37: 621.373

С.А.Тихомиров<sup>1</sup>, О.В. Буганов, А.Н.Понявина<sup>1</sup>,  
Т.Н.Смирнова<sup>2</sup>, П.В. Ежов<sup>2</sup>, Л.М. Кохтич<sup>2</sup>

## **ДИНАМИКА РЕЛАКСАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ ВОЗБУЖДЕНИЙ В ФОТОПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНКАХ, ДОПИРОВАННЫХ ПЛАЗМОННЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА И ЗОЛОТА**

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,*

*[bouganov@imaph.bas-net.by](mailto:bouganov@imaph.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Институт физики НАН Украины*

Изучение динамики электронных возбуждений в плазмонных наноструктурах важно для решения практических задач, связанных с оптической обработкой информации, интегральной оптикой, лазерной физикой и телекоммуникационными системами.

В настоящей работе с использованием фемтосекундного спектрометра исследованы спектрально-кинетические характеристики голографических фотополимерных пленок с хаотически распределенными в них наночастицами серебра или золота. Показано, что изменение типа фотоинициатора (кетон Михлера-камфорхинон или Irgacure 1700) не приводит к существенному изменению характерных констант затухания, определяющих динамику электронных возбуждений. Установлено, что для фотополимерных пленок с “in situ” синтезированными наночастицами серебра [1] в спектральной области вблизи поверхностного резонанса плазмонного поглощения (ПРПП) время релаксации составляет примерно 1.6-2 псек. При допировании фотополимерных пленок наночастицами золота время релаксации в области ПРПП возрастает до 2-3 псек.

### **Литература**

1. Sakno O.V., Stumpe J., Goldenberg L.M., Smirnova T.N., Kokhtych L.M. Diffractive-optical elements via all-optical patterning of photopolymers and nanocomposites. J. Photopol. Sci. Technol. 2010. V. 23 . P.20–27.

УДК 543.42:546.791.6

Д.С. Умрейко, А.П. Зажогин, А.И. Комяк, С.Д. Умрейко,  
Ж.И. Булойчик, Е.В. Вилейшикова

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ  
КОМПЛЕКСОВ УРАНА ПЕРЕМЕННОЙ ВАЛЕНТНОСТИ  
С ОРГАНИЧЕСКИМИ ЛИГАНДАМИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ  
МЕТОДОВ ФОТОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ  
УРАНИЛСОДЕРЖАЩИХ РАСТВОРОВ**

*Белорусский государственный университет*  
*[zajogin\\_an@mail.ru](mailto:zajogin_an@mail.ru)*

Возможность использования оптического излучения для стимулирования химических реакций и управления ими привлекает к себе большое внимание.

Целью настоящей работы являлось изучение процессов фотохимического образования комплексов четырех- и пятивалентного урана при облучении растворов  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  в ДМФА с добавлением  $\text{CCl}_4$  и  $\text{UO}_2(\text{ClO}_4) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  в ДМФА при светодиодном облучении (430—450 нм) систем. В первом случае (растворы  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  в ДМФА с  $\text{CCl}_4$ ) при облучении в течении несколько часов наблюдается появление полос принадлежащих комплексам четырех и пятивалентного урана. При облучении раствора  $\text{UO}_2(\text{ClO}_4) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  в ДМФА в течение 2 часов скорость образования комплексов четырех и пятивалентного урана существенно выше. Здесь следует отметить существенную разницу между двумя этими системами, а именно: облученный раствор уранилнитрата с ДМФА и  $\text{CCl}_4$  после некоторого времени хранения начал релаксировать в исходное состояние. Характеристики облученного раствора  $\text{UO}_2(\text{ClO}_4) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  в ДМФА после нескольких дней также изменились, образовался мелкодисперсный осадок.

УДК 543.42:546.791.6

Д.С. Умрейко, А.А. Зажогин, А.И. Комяк,  
А.П. Зажогин, С.Д. Умрейко

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФОТОХИМИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ НАНОКЛАСТЕРОВ УРАНА ПЕРЕМЕННОЙ ВАЛЕНТНОСТИ В ОРГАНИЧЕСКИХ РАСТВОРИТЕЛЯХ**

*Белорусский государственный университет, Беларусь  
[zajogin\\_an@mail.ru](mailto:zajogin_an@mail.ru)*

Большой интерес в последнее время проявляется к фотохимии комплексных соединений уранила, так как в системе уранил—органический растворитель уран может выступать катализатором полимеризации органических соединений.

Процессы фотохимического образования комплексов четырех- и пятивалентного урана и полимеризации при светодиодном облучении (430—450 нм) растворов  $UO_2(ClO_4) \cdot 5H_2O$  в ацетоне и ДМФА изучены с использованием спектров электронного и ИК поглощения.

Установлена существенная разница между двумя этими системами, а именно: облученный раствор уранилперхлората с ацетоном полимеризуется с образованием темнокоричневого вязкого раствора. Анализ спектров показал, что в области  $400\text{ см}^{-1}$  появляются полосы принадлежащие комплексам четырехвалентного урана  $UO_2$ , а в области  $1700\text{ см}^{-1}$  появляется интенсивная полоса принадлежащая этой группе в составе окиси мезитила ( $\approx 1700\text{ см}^{-1}$ ). При увеличении концентрации уранила до 1 М и времени облучения в спектрах появляется ряд новых полос в этой области, что свидетельствует о появлении соединений - продуктов полимеризации.

Во второй системе установлено образование комплексов хлоридов и оксидов урана переменной валентности. Со временем оксид четырехвалентного урана  $UO_2$  выпадает в осадок. Продуктов полимеризации не обнаружено.

УДК 543.42:546.791.6

Д.С. Умрейко, А.А. Зажогин, А.И. Комяк,  
С.Д. Умрейко, А.П. Зажогин

## **РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНА В РАСТВОРАХ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ИСКРОВОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ**

*Белорусский государственный университет  
[zajogin\\_an@mail.ru](mailto:zajogin_an@mail.ru)*

Технологический контроль процессов переработки жидких радиоактивных отходов, а также процессов концентрирования их обеспечивается постоянным аналитическим сопровождением.

Целью данной работы являлась разработка методик определения содержания урана и ряда других сопутствующих элементов в растворах лазерным атомно-эмиссионным методом, обеспечивающих достаточную точность и высокую безопасность проведения анализов.

Для проведения исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1.

Для проведения экспериментов кусочек беззольного фильтра диаметром 10 мм наклеивался на поверхность держателя образцов, а затем на поверхность фильтра наносилось по 10 мкл водных растворов гидроксида аммония, а затем растворы, содержащие различные количеством уранилнитрата (5 %, 0,5 %,  $5 \cdot 10^{-2}$  % и  $5 \cdot 10^{-3}$  % и т.д. по урану). Все образцы помещались в герметичные стеклянные контейнеры, в которых и проводился анализ. Для определения концентрации урана использована одна из наиболее интенсивных в спектрах ионная линия U II ( $\lambda=385,958$  нм). Используются суммарные результаты по пяти точкам. Для повышения чувствительности можно суммировать результаты по большему количеству точек.

## **СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ РАДИКАЛОВ АЮ В ПЛАЗМЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ОКСИДИРОВАННЫЙ АЛЮМИНИЙ СЕРИЯМИ СДВОЕННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ**

*Белорусский государственный университет, Беларусь  
[pcwco@rambler.ru](mailto:pcwco@rambler.ru), [zajogin\\_an@mail.ru](mailto:zajogin_an@mail.ru)*

Цель работы состояла в том, чтобы определить условия получения методом абляции сериями сдвоенных лазерных импульсов оксидированных алюминиевых мишеней нанокластеров алюминия и (или) соединений алюминия, типа радикалов АЮ, для использования в технологиях напыления тонких пленок в воздушной атмосфере.

Для проведения исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1. Динамика изменения атомного и ионного состава приповерхностной плазмы и образования АЮ в глубине кратера исследована методом многоканальной атомно-эмиссионной многоканальной спектрометрии при воздействии сдвоенных лазерных импульсов на пластинки алюминия толщиной 1 мм оксидированного в серной и щавелевой кислотах от энергии их (15-60 мДж), изменения временного интервала между ними (1-12 мкс) и параметров расфокусировки излучения.

Динамика образования радикала АЮ, изучена по эмиссионным спектрам этой молекулы при воздействии серии одиночных и сдвоенных лазерных импульсов. Наибольшая интенсивность полос наблюдается при интервале между импульсами порядка 10 мкс и точной фокусировке.

Установлено, что скорость процесс образования радикалов АЮ существенно увеличивается для образцов алюминия оксидированных в щавелевой кислоте. Для образцов алюминия оксидированных в серной кислоте и не оксидированных интенсивность полос несколько меньше.

УДК 533.9; 621.793.6

Фадаиян А.Р., Е.С. Воропай, А.В.Арсенов, А.П. Зажогин

## **СПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАЗОВАНИЯ НИТРИДОВ АЛЮМИНИЯ В ПЛАЗМЕ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА АЛЮМИНИЙ СЕРИЯМИ СДВОЕННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ**

*Белорусский государственный университет, Беларусь  
[pcwco@rambler.ru](mailto:pcwco@rambler.ru), [zajogin\\_an@mail.ru](mailto:zajogin_an@mail.ru)*

Лазерная абляция твердых тел наносекундными импульсами умеренной интенсивности используется во многих научных и практических приложениях.

Цель работы состояла в том, чтобы показать возможность и определить условия для получения методом абляции сериями сдвоенных лазерных импульсов алюминиевых мишеней в воздушной атмосфере нанокластеров алюминия и (или) соединений алюминия, типа AlN, для использования в технологиях напыления тонких пленок..

Для проведения исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1. Динамика изменения атомного и ионного состава приповерхностной плазмы и образования AlN в глубине кратера исследована методом многоканальной атомно-эмиссионной многоканальной спектрометрии при воздействии сдвоенных лазерных импульсов на пластинку алюминиевого сплава толщиной 1 мм от энергии их (15-60 мДж), изменения временного интервала между ними (1-12 мкс) и параметров расфокусировки излучения.

Динамика образования молекулы AlN, одного из продуктов взаимодействия атомов алюминия с азотом, изучена по эмиссионным спектрам этой молекулы при воздействии серии одиночных и сдвоенных лазерных импульсов на алюминиевую мишень. Наибольшая интенсивность полос наблюдается при интервале между импульсами порядка 10 мкс и точной фокусировке. Расфокусировка на  $\pm 1$  мм уменьшает интенсивность линий почти на порядок.

Установлено, что процесс образования радикалов AlN существенно увеличивается с увеличением энергии импульсов до 67 мДж и особенно это заметно с увеличением глубины кратера.

УДК 533.9; 621.793.6

А.Р. Фадаиян, С.В. Проценко, А.П. Зажогин

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ ТИТАНА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СДВОЕННЫМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ**

*Белорусский государственный университет, Беларусь  
[pcwco@rambler.ru](mailto:pcwco@rambler.ru), [zajogin\\_an@mail.ru](mailto:zajogin_an@mail.ru)*

При использовании метода лазерной абляции сдвоенными лазерными импульсами возможно целенаправленно влиять на компонентный и зарядовый состав потока лазерной плазмы.

Основная цель работы состояла в установлении условий для оптимального влияния дополнительного лазерного импульса на целенаправленное формирование компонентного и зарядового состава приповерхностной лазерной плазмы титана.

Для проведения исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1.

Динамика изменения ионного состава приповерхностной плазмы исследована методом многоканальной атомно-эмиссионной спектрометрии при воздействии сдвоенных лазерных импульсов на пластинки из титана и титаната бария от энергии их (40-60 мДж), изменения временного интервала между ними (0-20 мкс)

Выполненные спектроскопические исследования приповерхностной лазерной плазмы, образуемой вблизи поверхности алюминиевой мишени, при воздействии на нее двух последовательных импульсов показали возможность контроля и управления степенью ионизации плазмы. Определены временные интервалы между импульсами (5-15 мкс), параметры расфокусировки, обеспечивающие возможность получения максимальной интенсивности линий одно- и двукратно ионизированных атомов титана.

УДК 533.9.082.5; 621.373.826; 621.793.79

Чинь Нгок Хоанг<sup>1</sup>, Фам Уиен Тхи<sup>1</sup>, И.Д.Пашковская<sup>2</sup>,  
Ж.И. Булойчик<sup>1</sup>, Н.И. Нечипуренко<sup>2</sup>, А.Л. Танин<sup>2</sup>,  
А.П. Зажогин<sup>1</sup>

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФОСФАТОВ К И Na НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАТИОНОВ Ca и Mg В ВЫСОХШИХ НА БУМАЖНЫХ ФИЛЬТРАХ КАПЛЯХ БЕЛКА МЕТОДОМ ЛОКАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АТОМНО- ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ**

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, Беларусь*  
[ngochoangch10@yahoo.com](mailto:ngochoangch10@yahoo.com), [zajogin\\_an@mail.ru](mailto:zajogin_an@mail.ru)  
<sup>2</sup>*РНПЦ неврологии и нейрохирургии, Беларусь*

Процессы, протекающие при высыхании капли биологической жидкости на твердой смачиваемой подложке при комнатных условиях привлекают пристальное внимание исследователей уже несколько десятков лет. Метод позволяет на основании анализа структур, образовавшихся при высыхании капли биологической жидкости (плазма крови, спинномозговая жидкость, слюна и т.д.), выявлять широкий набор различных заболеваний.

В настоящей работе для разработки методик оценки радиального распределения элементов анализируется влияние фосфатов К и Na, в качестве анионов-осадителей, на распределение кальция и магния, одних из основных элементов, входящих в состав белков, на их распределение при высыхании капли водного раствора яичного альбумина на поверхности пористого тела (бумажного фильтра) методом локальной лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии.

Для проведения исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1.

Показано, что предварительное нанесение на подложку фосфатов существенно уменьшает скорость движения катионов к периферии при высыхании капли биологической жидкости.



УДК 533.9.082.5; 621.373.826; 621.793.79

Чинь Нгок Хоанг<sup>1</sup>, Фам Уиен Тхи<sup>1</sup>, И.Д.Пашковская<sup>2</sup>,  
Ж.И. Булойчик<sup>1</sup>, Н.И. Нечипуренко<sup>2</sup>, А.Л. Танин<sup>2</sup>, А.П. Зажогин<sup>1</sup>

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАДИАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАТИОНОВ Са, Mg В ВЫСОХШИХ НА БУМАЖНЫХ ФИЛЬТРАХ КАПЛЯХ БЕЛКА МЕТОДОМ ЛОКАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АТОМНО- ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ**

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, Беларусь*

[ngochoangch10@yahoo.com](mailto:ngochoangch10@yahoo.com), [zajogin\\_an@mail.ru](mailto:zajogin_an@mail.ru)

<sup>2</sup>*РНПЦ неврологии и нейрохирургии, Беларусь*

Интерес к высохшим каплям биологической жидкости вызван тем, что в последние годы в медицинской диагностике нашел применение метод клиновидной дегидратации. Однако до сих пор нет полной ясности относительно химического состава периферической и центральной части высушенных капель при различных температурах.

В настоящей работе для разработки методик оценки радиального распределения элементов анализируется влияние температуры (30-80 °С) на распределение хлоридов кальция и магния при высыхании капли водного раствора яичного альбумина на поверхности пористого тела (бумажного фильтра) методом локальной лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии.

Для проведения исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1.

На основании проведенных исследований были определены наиболее оптимальные параметры: энергии импульсов излучения 58 и 42 мДж (первый и второй импульсы соответственно) и временной интервал между удвоенными импульсами 8 мкс.

Показано, что повышение температуры существенно увеличивает скорость движения катионов к периферии капли.

УДК 543.42

В.И. Журавлева<sup>1</sup>, М.И. Маркевич<sup>2</sup>, А.М. Чапланов<sup>2</sup>.

## **ЛАЗЕРНЫЙ ЭМИССИОННЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА ДИСИЛИЦИДА ТИТАНА НА КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖКАХ**

<sup>1</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
проспект Независимости, 68, 220072, г. Минск,  
[zhuravleva@imaph.bas-net.by](mailto:zhuravleva@imaph.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Физико-технический институт НАН Беларуси*

Разработка способов синтеза тонких пленок  $\text{TiSi}_2\text{C}(49)$  на кремниевых пластинах с заданными параметрами и фотоэлектрическими свойствами, требует всестороннего их исследования и использования различных методов, в частности лазерного эмиссионного спектрального анализа для экспрессного контроля элементного состава материала.

В настоящей работе с использованием лазерного эмиссионного спектрального анализа проведено определение элементного состава материала образцов тонких пленок дисилицида титана на кремниевых подложках с целью оценки возможности контроля качества материала в процессе изготовления.

Установлено, что при воздействии лазерного излучения в режиме сдвоенных импульсов с плотностью мощности около  $2,5 \times 10^9$  Вт/см<sup>2</sup> интенсивность спектральных линий элементов Ti и As в спектрах материала покрытий с одинаковой толщиной возрастает в 1,5-2 раза с повышением температуры БТО образцов. Полученные результаты свидетельствуют о влиянии параметров БТО на процесс формирования структуры, в частности, о перераспределении элементов в исследуемых структурах при повышении температуры БТО.

УДК 533.9.082.5; 621.373.826; 621.793.79

Чинь Нгок Хоанг<sup>1</sup>, М.П. Патапович<sup>1</sup>, Фам Уиен Тхи<sup>1</sup>,  
И.Д. Пашковская<sup>2</sup>, Ж.И. Булойчик<sup>1</sup>, Н.И. Нечипуренко<sup>2</sup>,  
А.Л. Танин<sup>2</sup>, А.П. Зажогин<sup>1</sup>

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРООКИСЕЙ К И Na НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КАТИОНОВ Ca и Mg В ВЫСОХШИХ НА БУМАЖНЫХ ФИЛЬТРАХ КАПЛЯХ БЕЛКА МЕТОДОМ ЛОКАЛЬНОЙ ЛАЗЕРНОЙ АТОМНО- ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ**

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, Беларусь*  
[ngochoangch10@yahoo.com](mailto:ngochoangch10@yahoo.com), [zajogin\\_an@mail.ru](mailto:zajogin_an@mail.ru)  
<sup>2</sup>*РНПЦ неврологии и нейрохирургии, Беларусь*

Процессы, протекающие при высыхании капли биологической жидкости на твердой смачиваемой подложке при комнатных условиях привлекают пристальное внимание исследователей уже несколько десятков лет. Метод позволяет на основании анализа структур, образовавшихся при высыхании капли биологической жидкости (плазма крови, спинномозговая жидкость и т.д.), выявлять широкий набор различных заболеваний.

В настоящей работе для разработки методик оценки радиального распределения элементов анализируется влияние гидроокисей К и Na на распределение кальция и магния, одних из основных элементов, входящих в состав белков, на их распределение при высыхании капли водного раствора яичного альбумина на поверхности пористого тела (бумажного фильтра) методом локальной лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии.

Для проведения исследований использовался лазерный многоканальный атомно-эмиссионный спектрометр LSS-1.

Показано, что предварительное нанесение на подложку гидроокисей существенно уменьшает скорость движения катионов к периферии при высыхании капли биологической жидкости.

## РАССЕЯНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЧАСТИЦАМИ КРЕМНИЯ И КРЕМНЕЗЕМА С НАНОПОРИСТОЙ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЮЩЕЙ ОБОЛОЧКОЙ

*<sup>1</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
[ponyavina@imaph.bas-net.by](mailto:ponyavina@imaph.bas-net.by)*

Важным направлением развития оптических методов исследования атмосферы и космоса является изучение процессов, происходящих на поверхности частиц пыли [1].

В настоящей работе рассматриваются частицы кремния и кварца с приповерхностным нанопористым или наногранулярным слоем, который образуется на аэрозольных частицах и частицах космической пыли в результате процессов деструкции, адсорбции и коагуляции. Для описания оптических свойств нанокompозитных оболочек ( $SiO_2/(H_2O+NH_3+aC)$ ,  $Si/(H_2O+NH_3+aC)$ ,  $SiO_2/aC$ ,  $Si/aC$ ) предлагается новая комбинированная модель эффективной среды. Эта модель, в отличие от широко распространенной формулы Максвелла Гарнетта, может быть применима в ситуациях, когда увеличение концентрации одной из компонент нанокompозита приводит к инверсии материалов матрицы и включений.

Расчеты характеристик рассеяния и поглощения частиц выполнялись с использованием расширенной теории Ми для видимой области спектра при варьировании степени пористости оболочки от 0 до 1, для широкой области размеров частиц и толщины оболочки от 0.1 до 2.5 мкм.

Установлена зависимость оптических сечений двухслойных частиц кварца и кремния с углеродсодержащим приповерхностным слоем от размеров их ядра, толщины и степени пористости оболочки, что может быть использовано при мониторинге нанокompозитных пылевых частиц космического, вулканического и техногенного происхождения.

### Литература

1. Polarimetric Detection, Characterization, and Remote Sensing / Ed. by M.I.Mishchenko, Ya.S.Yatskiv, V.K.Rosenbush, G.Videen: Springer. Netherlands, 2011.

УДК 539.23

K.I. Rusakov<sup>1</sup>, A.A. Gladyshchuk<sup>1</sup>, Z.V. Rusakova<sup>1</sup>,  
S.V. Chugunov<sup>1</sup>, Y.P. Rakovich<sup>2</sup>, D.I. Savateeva<sup>2</sup>

## **MICROSPHERES WITH J-AGGREGATES**

<sup>1</sup>*Brest State Technical University, [chugunovsv@ya.ru](mailto:chugunovsv@ya.ru)*

<sup>2</sup>*Materials Physics Center (CFM), CSIC-UPV/EHU, San Sebastian,  
Spain*

We report on development of active whispering-gallery microcavities integrated with shell of organic dye molecules in a J-aggregate state. Results of high-resolution micro-photoluminescence spectroscopy and photoluminescence lifetime imaging confirm strong coupling of J-aggregate emission to whispering gallery modes of spherical microcavity. Highly efficient luminescence from J-aggregate/microcavity system suggests that such photonic structures will find use as both microsensors and microlasers.

**УШИРЕНИЕ ЛИНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ ПЕРЕХОДА  
10<sup>0</sup>0-00<sup>0</sup>1 МОЛЕКУЛЫ СО<sub>2</sub> СТОЛКНОВЕНИЯМИ  
С МОЛЕКУЛАМИ СО**<sup>1</sup>*Институт технической акустики НАН Беларуси,  
[itaaki@yandex.ru](mailto:itaaki@yandex.ru)*<sup>2</sup>*Белорусский национальный технический университет,  
[v.v.nev@bk.ru](mailto:v.v.nev@bk.ru)*<sup>3</sup>*Институт оптики атмосферы им.В.Е. Зуева СО РАН,  
[lnn@iao.ru](mailto:lnn@iao.ru)*

Цель работы заключается в определении относительных коэффициентов столкновительного уширения линий поглощения перехода 10<sup>0</sup>0-00<sup>0</sup>1 молекулы СО<sub>2</sub> буферным газом СО ( $b_{CO}$ ) в диапазоне температур 300–700 К. Методика основана на измерениях коэффициентов поглощения на центральных частотах линий R-ветви перехода 10<sup>0</sup>0-00<sup>0</sup>1 в чистом СО<sub>2</sub> и в бинарной смеси СО<sub>2</sub>:СО=1:1 при давлении 100 Тор, обеспечивающих лоренцевские контуры линий поглощения. Значения  $b_{CO}$  определялись из соотношения

$$\alpha_{CO_2} / \alpha_{CO_2-CO} = 1 + b_{CO} \cdot \quad (1)$$

В качестве иллюстраций приведены: а) результаты измерений коэффициентов поглощения в чистом СО<sub>2</sub> и в смеси СО<sub>2</sub>:СО=1:1 на центральных частотах линий R10÷R38 перехода 10<sup>0</sup>0-00<sup>0</sup>1 при давлении 100 Тор и температурах  $T=300-700$  К; б) зависимость относительного коэффициента столкновительного уширения  $b_{CO}$  от вращательного квантового числа  $J$  для линий R-ветви перехода 10<sup>0</sup>0-00<sup>0</sup>1 молекулы СО<sub>2</sub> при температуре  $T=(300\pm 0.3)$  К; в) температурные зависимости относительных коэффициентов столкновительного уширения линий поглощения R10, R22 и R34 колебательного перехода 10<sup>0</sup>0–00<sup>0</sup>1 молекулы СО<sub>2</sub> молекулами СО.

## **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПРИПОВЕРХНОСТНЫЕ ПРОЦЕССЫ В МЕТАЛЛАХ**

*Гродненский государственный университет им. Я.*

*Купалы*

*[s.vasilijev@grsu.by](mailto:s.vasilijev@grsu.by)*

Излучение рубинового лазера ГОР-100М, работавшего в режиме свободной генерации, пройдя через фокусирующую систему, направлялось через отверстие в электроде на облучаемый металлический образец, который сам являлся вторым электродом. Напряженность поля между электродами изменилась от 0 до  $10^6$  В/м. Для изучения пространственной и временной эволюции лазерного факела в ходе воздействия ЛИ на образец использовался метод скоростной голографической кино съемки. Для исследования формы поверхности образовавшегося на пластине кратера использовался метод проекции полос. Исследования показали, что при любой полярности приложенного к образцу напряжения топография кратера практически идентична и определяется распределением энергии по пятну фокусировки лазерного излучения. При подаче на образец как положительного, так и отрицательного напряжения на его поверхности после лазерного воздействия наблюдается множество мелких капель со средним размером менее 0,1 мм на расстоянии до 2 см от центра лунки. Максимальный размер капель не превышал  $\sim 0,4$  мм. Средние скорости разлета плазменного факела составили 350 м/с (при отрицательном напряжении на мишени), 310 м/с (без поля), 270 м/с (при положительном напряжении на мишени). Максимальный размер пароплазменного облака на втором электроде равнялся  $\sim 2$  см (при отрицательном напряжении на мишени), 1,7 см (без поля), 1,5 см (при положительном напряжении на мишени).

УДК 535.391: 621.376

С.В. Васильев, А.Ю. Иванов, В.И.Недолугов

## **ВЛИЯНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА ПРИПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СТАЛИ Ст-3**

*Гродненский государственный университет им.*

*Я.Купалы*

*[ion\\_ne@mail.ru](mailto:ion_ne@mail.ru)*

Целью данной работы является определение оптимальных режимов упрочнения стали Ст-3. Экспериментально исследована зависимость характера упрочнения стали марки Ст-3 от режима ее лазерной обработки. Приведены зависимость изменения температуры обрабатываемого материала от глубины и времени нагрева и аналогичная зависимость на стадии охлаждения металла. Получена зависимость изменения твердости металла от плотности потока воздействующего лазерного излучения. Показано, что при использовании излучения лазера ГОР-100М, работающего в режиме свободной генерации (длительность импульса – 1,2 мс, плотности потока от  $10^4$  до  $10^6$  Вт/см<sup>2</sup>), происходит формирование на этапе нагрева аустенитной структуры с её последующим превращением в мартенсит на этапе охлаждения. Показано, что при использовании излучения лазера ИЛГИ-405Б (длительность импульса – 20 нс, частота повторения импульсов 20 Гц, плотности потока до  $10^8$  Вт/см<sup>2</sup>) наблюдались локальная закалка и местный наклёп. Указано, что лазерную закалку следует проводить в узком интервале режимов обработки, обеспечивающих образование мартенсита с достаточным содержанием углерода. Данные условия обеспечиваются при лазерной закалке без оплавления либо с минимальным оплавлением. Полученные результаты могут быть применены на промышленных предприятиях, использующих лазерную обработку материалов.



УДК 535.37: 621.373

С.А.Тихомиров<sup>1</sup>, О.В. Буганов<sup>1</sup>, А.Н. Понявина<sup>1</sup>,  
А.Д. Широканов<sup>1</sup>, Г.П. Шевченко<sup>2</sup>, В.А. Журавков<sup>1</sup>

**ДИНАМИКА РЕЛАКСАЦИИ ЭЛЕКТРОННЫХ  
ВОЗБУЖДЕНИЙ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА  
В КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРАХ В ПРИСУТСТВИИ  
КОМПЛЕКСОНОВ КАРБОКСИАЛКИЛИРОВАННЫХ  
АМИНОВ**

*<sup>1</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,*

*[tikhomirov@imaph.bas-net.by](mailto:tikhomirov@imaph.bas-net.by)*

*<sup>2</sup>НИИ физико-химических проблем при БГУ*

Необходимость повышения эффективности активных плазмонных материалов требует совершенствования методик их приготовления, направленных на снижение негативного влияния полимерных оболочек образующихся в процессе синтеза наночастиц. В [1] предложен метод формирования наночастиц серебра в коллоидных растворах золь серебра в присутствии комплексонов карбоксиалкилированных аминов. Окружение наночастиц может оказывать влияние на динамику их релаксации после возбуждения фемтосекундными импульсами.

В настоящей работе с использованием фемтосекундного спектрометра исследовались спектрально-кинетические характеристики нелинейно-оптического отклика наночастиц серебра, синтезированных по методу, предложенному в [1]. Анализ экспериментальных данных показал, что при небольших интенсивностях возбуждения отклик образцов является характерным для металлических плазмонных наночастиц. Увеличение интенсивности возбуждения приводит к качественным изменениям в отклике. Наблюдается возникновение дополнительной полосы просветления со временем нарастания несколько десятков пикосекунд с максимумом на длинноволновом крыле плазмонного резонанса. Затухание данной полосы происходит примерно за 2 нс.

Наблюдаемые эффекты объяснены в рамках представлений о разрыве и восстановлении связей наночастица - комплексон в ходе процессов релаксации энергии электронного возбуждения.

### **Литература**

1. Г.П.Шевченко, Е.В.Третьяк // Наноструктурные материалы – 2008: (НАНО - 2008): материалы I Межд. науч. конф. – Минск., С.149-150.

УДК 535.21, 535.24

А.А. Афанасьев<sup>1</sup>, Л.С. Гайда<sup>2</sup>, Д.В. Гузатов<sup>2</sup>,  
И.И. Кургузенкова<sup>2</sup>, Е.В. Матук<sup>2</sup>

## **ТРАНСПОРТИРОВКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОЧАСТИЦ В ВЯЗКОЙ СРЕДЕ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*<sup>1</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,*

*<sup>2</sup>ГрГУ им. Янки Купалы,  
[gls@grsu.by](mailto:gls@grsu.by)*

Цель работы – теоретическое исследование вопросов транспортировки сферических металлических наночастиц в вязкой среде с помощью силы светового давления лазерного излучения, при учете слабого нагрева наночастиц лазерным излучением и теплообмена с окружающей средой. Получены и исследованы решения уравнений, описывающих смещение сферической наночастицы под действием силы светового давления лазерного излучения в вязкой среде. Показано, что преимущественная транспортировка наночастиц происходит вдоль лазерного (гауссова) пучка, а величина смещения наночастицы обратно пропорциональна коэффициенту вязкости среды. Получены и исследованы решения для температуры сферической металлической наночастицы при ее слабом нагреве лазерным излучением и для температуры, приобретаемой окружающей средой, при ее нагреве наночастицей. Показано, что наночастица прогревается до некоторой максимальной температуры и дальнейшее воздействие лазерного излучения не увеличивает ее температуру. Оценен эффективный объем среды, нагреваемый наночастицей. Полученные в работе результаты могут быть использованы как при расчетах транспортировки металлических наночастиц с помощью лазерного излучения, так и для оценки оптимальных условий проведения экспериментальных исследований по воздействию силы светового давления на наночастицы.

**ФОРМИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОГО  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАМАТЕРИАЛОВ И СИСТЕМ  
НАНОРАЗМЕРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ**

*Белорусский государственный университет,  
[malv@bsu.by](mailto:malv@bsu.by)*

Формирование поверхностных и объемных наноразмерных систем заданной топологии является одной из ключевых проблем современной микро- и наноэлектроники. Предельные возможности фотолитографических технологий ограничены дифракционным размытием изображений трафаретов, существованием спеклов и т.д.

Описаны базирующиеся на методе минимальных автономных блоков вычислительные модели взаимодействия оптического излучения с метаматериалами, композитами и системами металлических частиц.

Рассмотрены возможности использования метаматериалов для устранения спеклов. Установлено, что наиболее перспективным для решения этой задачи является применение метаматериалов с близкими к нулю значениями диэлектрической и магнитной проницаемостей.

Численно исследовано взаимодействие оптического излучения с системами наноразмерных металлических частиц в условиях плазмонного резонанса. Исследовано влияние формы, размеров, количества и взаимного расположения частиц на распределение электромагнитного поля в ближней зоне. Установлена потенциальная возможность использования систем резонансных металлических частиц, расположенных на поверхности плоского диэлектрического слоя, в качестве трафаретов для формирования заданной топологии засветки в фотолитографических технологиях.

УДК 551.501.7

А.П. Чайковский<sup>1</sup>, Л.И. Чайковская<sup>1</sup>, С.В. Денисов<sup>1</sup>,  
Я.О. Грудо<sup>1</sup>, А.Ю. Лопатин<sup>1</sup>, Я.А. Король<sup>1</sup>

## **АЛГОРИТМ И ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ ДЛЯ СОВМЕСТНОГО ЛИДАРНО-РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ**

*<sup>1</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
[chaikov@dragon.bas-net.by](mailto:chaikov@dragon.bas-net.by)*

Солнечные радиометры используются многочисленными научными группами по всему миру для исследования атмосферного аэрозоля в рамках глобальной сети AERONET. Важным достоинством алгоритмов, работающих в рамках этой радиометрической сети, является возможность восстановления микрофизических параметров атмосферного аэрозоля, таких как размеры частиц и их комплексный показатель преломления.

В данном докладе представляются алгоритм и программный пакет, позволяющие дополнить микрофизическую информацию, получаемую с помощью радиометрических измерений, информацией о высотном распределении аэрозоля, получаемой с помощью многоволнового атмосферного лидара [1]. В результате своей работы, данный алгоритм позволяет восстанавливать высотные профили для трех аэрозольных фракций: мелких сферических частиц (радиусом порядка 0.05—0.4 мкм), крупных сферических частиц (радиусом порядка 0.4—1.5 мкм) и крупных несферических частиц.

### **Литература**

1. Chaikovsky A. P., Dubovik O., Holben B. N., Bril A. I. Methodology to retrieve atmospheric aerosol parameters by combining ground-based measurements of multi-wavelength lidar and sun sky-scanning radiometer // Proceeding of SPIE. – 2002. – V. 4678. – P. 257–268.

УДК 621.373.826

А.Н. Сердюков<sup>1</sup>, Е.Б. Шершнев<sup>1</sup>,  
Ю.В. Никитюк<sup>1</sup>, С.И. Соколов<sup>1</sup>

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОРАСКАЛЫВАНИЯ КВАРЦЕВОГО СТЕКЛА В РАМКАХ ЛИНЕЙНОЙ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ**

<sup>1</sup>УО «Гомельский государственный университет  
им. Ф. Скорины»,  
[sokolov@gsu.by](mailto:sokolov@gsu.by)

Высокая термостойкость кварцевого стекла, обусловленная низкими значениями коэффициента линейного термического расширения, вызывает необходимость предварительного нанесения дефекта в обрабатываемом материале. При этом от формы и размера дефекта зависит надежность процесса инициализации лазерно-индуцированной трещины. В связи с этим возникает необходимость проведения моделирования процесса лазерного термораскалывания кварцевых стекол в рамках теории термоупругости и линейной механики разрушения.

В данной работе для моделирования процесса лазерного термораскалывания кварцевого стекла в качестве критерия, определяющего формирование и развитие лазерно-индуцированной трещины, был использован коэффициент интенсивности напряжения. При этом в качестве условий роста лазерно-индуцированной трещины использовались следующие: напряжения в вершине трещины должны быть растягивающими; расчетные значения коэффициента интенсивности напряжений в вершине трещины должны превышать значения критического коэффициента интенсивности напряжений кварцевого стекла.

Использование разработанной модели обеспечивает возможность расчета параметров процессов лазерного термораскалывания кварцевого стекла.

УДК 621.37/.39:621.9.048.7

А.Н. Сердюков, С.В. Шалупаев,  
Ю.В. Никитюк, А.А. Серeda

## **ДВУЛУЧЕВОЕ ЛАЗЕРНОЕ ТЕРМОРАСКАЛЫВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ**

*УО «Гомельский государственный университет  
им. Ф. Скорины»,  
[sereda@gsu.by](mailto:sereda@gsu.by); [shalupaev@gsu.by](mailto:shalupaev@gsu.by)*

В данной работе выполнено конечно-элементное моделирование управляемого лазерного термораскалывания кристаллического кремния при одновременном воздействии на обрабатываемый материал двух лазерных пучков с различными длинами волн. Расчет термоупругих полей, формируемых в монокристаллической кремниевой пластине при управляемом лазерном термораскалывании, осуществлялся для трех различных вариантов: I – трехмерный анализ анизотропной пластины, вырезанной в плоскости (100), II – трехмерный анализ анизотропной пластины, вырезанной в плоскости (110), III – трехмерный анализ анизотропной пластины, вырезанной в плоскости (111). Моделирование проводилось для случая воздействия лазерного излучения с длинами волн равными 1,06 мкм и 0,808 мкм. Результаты, полученные в данной работе, могут быть использованы при оптимизации процесса прецизионного разделения приборных кремниевых пластин на кристаллы.

## ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ НАНОМИШЕНИ

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет,  
[romanov@bsu.by](mailto:romanov@bsu.by)*

<sup>2</sup>*ИТМО им. А.В. Лыкова НАН Беларуси*

Металлические наночастицы привлекают интерес исследователей в связи с их многочисленными потенциальными применениями, в частности для маркировки биологических объектов, терапии онкологических заболеваний и т.д. [1].

В работе представлены результаты теоретического исследования процессов воздействия фемтосекундных лазерных импульсов на металлические наноструктуры различной геометрии (сферические частицы, нанопроволоки, нанопленки). Нагрев металлов под действием сверхкоротких лазерных импульсов описывается в рамках двухтемпературной модели для электронного газа и ионной решетки [2]. Пространственно-временная динамика возбуждения и распространения терагерцовых акустических колебаний внутри наночастиц и в окружающей среде исследуется на основе численного решения уравнений движения сплошных сред в форме Лагранжа [3]. Рассчитаны поля изменения температур, давления, плотности среды в зависимости от параметров лазерных импульсов и размеров наномишеней.

### Литература

1. Климов В.В. Наноплазмоника. М.: Физматлит, 2009.
2. Анисимов С.И., Имас Я.А., Романов Г.С., Ходыко Ю.В. Действие излучения большой мощности на металлы. М.: Наука. 1970.
3. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука. 1966.



## ИЗМЕРЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ИМПУЛЬСА ТЯГИ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОГО МИКРОДВИГАТЕЛЯ

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
проспект Независимости, 68, 220072 Минск, Беларусь  
[chekan@imaph.bas-net.by](mailto:chekan@imaph.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Институт подготовки научных кадров НАН Беларуси,  
ул. Кнорина, 1, 220049, г. Минск, Беларусь  
[shkurko@ipnk.basnet.by](mailto:shkurko@ipnk.basnet.by)*

Для решения задач управления малыми космическими аппаратами необходимы двигатели малой тяги. В Институте физики НАН Беларуси совместно с ФГУП ЦНИИМАН разработаны образцы таких лазерно-плазменных двигателей (ЛПД) на основе лазеров с диодной накачкой [1, 2].

В работе выполнены измерения удельного импульса тяги для двух образцов ЛПД на основе развитой времяпролетной методики с использованием электрических и оптических зондов. Выполненные измерения показали, что удельный импульс тяги растет с уменьшением атомного номера элементов, входящих в состав рабочего тела, а также с увеличением плотности мощности воздействующего лазерного излучения, асимптотически приближаясь к зависимости  $I_{sp} \sim q^{1/3}$ , и достигает для разработанных образцов ЛПД значений  $I_{sp} \sim 4580$  с.

### Литература

1. Лазерно-плазменный двигатель: патент РФ № 2338918 / А.Н. Чумаков [и др.] // Институт физики НАН Беларуси.
2. Любченко Ф.Н., Феденев А.В., Босак Н.А., Чумаков А.Н., Панченко А.Н., Тарасенко В.Ф. Новая концепция лазерно-плазменного двигателя // Космонавтика и ракетостроение. – 2009. – №3 (56). – С. 62–74.

УДК 621.373.826:533.9

А.Н. Чумаков<sup>1</sup>, С.А. Петров<sup>2</sup>, Н.А. Босак<sup>1</sup>

**ОСОБЕННОСТИ ОСАЖДЕНИЯ  
АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПЛЕНОК  
ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ЛАЗЕРНОМ ОБЛУЧЕНИИ  
ГРАФИТА**

*<sup>1</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,*

*[chumakov@imaph.bas-net.by](mailto:chumakov@imaph.bas-net.by)*

*<sup>2</sup>Научно-исследовательское учреждение “Институт  
прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко”*

*Белорусского государственного университета,*

*[ermakovichol@tut.by](mailto:ermakovichol@tut.by)*

Получены алмазоподобные углеродные пленки (АУП) при высокой скорости осаждения в условиях многоимпульсного лазерного облучения графита в вакууме с частотой повторения импульсов лазерного излучения до  $f = 20$  кГц. Методами электронографии “на отражение” и оптической спектроскопии исследована структура и оптические свойства углеродных пленок на подложках из стекла и монокристаллического кремния (111)-ориентации.

Установлены условия лазерного облучения графита ( $\lambda = 1060$  нм,  $\tau = 85$  нс,  $q = 15 - 16$  МВт/см<sup>2</sup>,  $f = 16 - 19$  кГц), обеспечивающие осаждение однородных наноструктурных аморфных АУП с сохранением высокой степени кристаллического совершенства приповерхностного слоя кремниевой подложки. Показано, что максимальная прозрачность АУП на стеклянной подложке в ИК- и видимом диапазонах спектра достигается при  $q = 15,3$  МВт/см<sup>2</sup> и  $f = 19,6$  кГц ( $N = 68$  импульсов). Выявлен также ряд преимуществ многоимпульсного лазерного осаждения АУП по сравнению с традиционным моноимпульсным лазерно-плазменным осаждением пленок на горячую подложку в высоком вакууме.

УДК 778.38:77.02

В.А. Пилипович, А.М. Поликанин, А.И. Конойко

## **ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЛЬЕФНО- ФАЗОВЫХ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ РЕШЕТОК**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
[polam@inel.bas-net.by](mailto:polam@inel.bas-net.by)*

Предложена технология создания светочувствительной термопроявляемой композиции (СК) на основе фотохимически активных комплексных неорганических солей (фотоинициатор), диспергированных в водорастворимом полимерном связующем (матрица). В таких СК оптическим или голографическим способом могут созданы периодические неоднородности рельефа, показателя поглощения, показателя преломления, что позволяет модулировать спектральные и пространственно-временные характеристики зондирующего оптического излучения и использовать их для создания различных оптических устройств.

В основе записи информации на СК, сформированной в виде тонких, прозрачных в видимой области спектра, пленок толщиной 10-15 мкм, лежит фотохимическое разложение фотоинициатора с достаточно высоким квантовым выходом с последующей модификацией продуктами его фотолиза окружающей матрицы, вследствие протекания темновых постэкспозиционных реакций с возможностью регулирования их скоростями.

В докладе рассмотрены особенности голографической записи амплитудных, фазовых и рельефно-фазовых голограмм на пленках СК, технологические аспекты формирования рельефа на поверхности слоя путем постэкспозиционной обработки пленок и применение созданных оптических элементов.

УДК 537.528

В.В. Тарковский<sup>1</sup>, В.Ю. Курстак<sup>1</sup>, С.С. Ануфрик<sup>1</sup>,  
Г.Г. Сазонко<sup>1</sup>

## **ТЕРМООПТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ И АНОМАЛЬНАЯ СПЕКТРАЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГЕНЕРАЦИИ КРАСИТЕЛЕЙ В РАСТВОРАХ И ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МАТРИЦАХ**

<sup>1</sup> *Учреждение образования «Гродненский  
государственный университет имени Янки Купалы»,  
[tarkovsky@grsu.by](mailto:tarkovsky@grsu.by)*

Исследована аномальная спектральная эффективность генерации красителей в растворах и твердотельных матрицах (нанопористом стекле; гибридных нанокompозитах) при микросекундной когерентной накачке. Наблюдаемый эффект заключается в том, что КПД генерации по мере изменения длины волны возбуждающего излучения вначале возрастает, затем вблизи максимума полосы поглощения падает, с последующим ростом на длинноволновом склоне; спектры генерации при этом обнаруживают смещение, а в области максимального «провала» наблюдается двухполосная генерация.

Установлено, что наличие провала в зависимости КПД генерации лазера на красителях от длины волны излучения накачки вблизи максимума поглощения красителя наряду с перепоглощением излучения в канале возбужденных синглетных уровней может быть обусловлено индуцируемыми накачкой термооптическими искажениями в активной среде. Поэтому при использовании лазера на красителях, работающего при микросекундной длительности возбуждения, следует обеспечить минимальные термооптические искажения, создаваемые накачкой в активной среде. Показано, что не целесообразно работать при больших превышениях пороговой плотности мощности накачки (в данных условиях не выше пяти порогов), поскольку будет снижаться к.п.д. генерации лазера.

УДК:621.373.826:533.9

Г.А. Гусаков, Д.Р. Исмаилов, М.В. Пузырев

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГОВ ИСПАРЕНИЯ Al, Cu, МИШЕНЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ**

*НИИПФП им.А.Н.Севченко БГУ  
[puzryev@bsu.by](mailto:puzryev@bsu.by)*

Современные требования к изделиям микроэлектроники приводят к увеличению плотности размещения элементов. Это в свою очередь требует уменьшения ширины дорожек внутренних соединений. В технологическом процессе создания дорожек наиболее часто используется медь, алюминий.

Для определения порога разрушения металлов применялся импульсный YAG:Nd<sup>3+</sup> лазер (1,06 мкм) LS-2137 фирмы Lotis-TII с длиной волны  $\lambda = 1064$  нм и длительностью импульса  $\tau = 20$  нс.

Воздействие производилось на медь, алюминий при разных пятнах облучения 1мм, 2 мм, 3 мм. Энергия для металлов во всех экспериментах составляла: медь 400 мДж, алюминий 230 мДж.

Оценки проводились по ширине кратера на мишени после воздействия лазерного излучения, учитывая гауссово распределение энергии в пятне, а также используя эмпирические формулы [1].

Эксперименты показали, что порог разрушения для меди составляет  $1 \cdot 10^7$  Вт/см<sup>2</sup>, для алюминия  $7,79 \cdot 10^6$  Вт/см<sup>2</sup>.

### **Литература**

1. Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н. Методы поверхностной лазерной обработки. М.: Высшая школа, 1987.

Н.А. Немкович<sup>1</sup>, Х. Детерт<sup>2</sup>, Ю.В. Крученок<sup>1</sup>,  
А.Н. Рубинов<sup>1</sup>

## ЭФФЕКТ ЛОКАЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ НОВЫХ КВАДРУПОЛЬНЫХ И ОКТУПОЛЬНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ

<sup>1</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[N.Nemkovich@ifanbel.bas-net.by](mailto:N.Nemkovich@ifanbel.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Институт органической химии университета  
Й. Гутенберга*

Симметричные органические молекулы, олигофениленвинилены, с квадрупольным и октупольным расположением донорных и акцепторных групп электронов обладают большим поперечным сечением двухфотонного поглощения и применяются в фотодинамической терапии, микроэлектронике и нелинейной оптике. С помощью электрооптического абсорбционного метода [1] в данной работе измерены дипольные моменты новых олигофениленвиниленов. Значения дипольных моментов в основном равновесном состоянии олигофениленвиниленов составляют  $3,4 \cdot 10^{-30}$  Кл·м –  $4,9 \cdot 10^{-30}$  Кл·м и увеличиваются при возбуждении во франк-кондоновское состояние на  $8,2 \cdot 10^{-30}$  Кл·м -  $48,3 \cdot 10^{-30}$  Кл·м. Проведенные квантово-химические расчеты показывают, что конфигурация молекул не является плоской. Вследствие такой геометрии соединений  $\pi$ - $\pi$  сопряженная система локализуется на наиболее плоской части красителей и эта часть молекулы ответственна за поглощение света в области 300-450 нм. Эффект локального возбуждения красителей обуславливает значительное изменение их дипольного момента и большие значения нелинейной поляризуемости.

### Литература

1. Nemkovich N.A., Detert H., Schmitt V., Localized excitation effect on dipole moments of oligophenylenevinylenes in their excited Franck-Condon state // Chem. Phys. -2010 –V.378, - P.37-41.

Н.А. Немкович<sup>1</sup>, А.Н. Собчук<sup>1</sup>, В. Бауман<sup>2</sup>,  
А.Н. Рубинов<sup>1</sup>,

## ЛАЗЕРНАЯ СПЕКТРОФЛУОРИМЕТРИЯ И СПЕКТРОСКОПИЯ МОЛЕКУЛЯРНОГО ЭФФЕКТА ШТАРКА ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ ЗОНДОВ ПРОДАН И ЛАУРДАН

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси*  
*[N.Nemkovich@ifanbel.bas-net.by](mailto:N.Nemkovich@ifanbel.bas-net.by)*

*<sup>2</sup>Институт физической химии университета Й.  
Гутенберга*

Исследованы стационарные и разрешенные во времени спектрально-люминесцентные характеристики известных флуоресцентных зондов продан и лаурдан в растворителях и мембранах эритроцитов, а также измерены их дипольные моменты в равновесном основном и возбужденном франк-кондоновском состояниях.

Обнаружено образование молекулами лаурдан в глицерине ассоциатов с высокой степенью агрегации. Из-за флуктуации локальных электрических полей в ассоциатах электронные спектры зондов неоднородно уширены.

Деформация мгновенных спектров флуоресценции в наносекундном диапазоне, а также распределение времен затухания флуоресценции свидетельствуют о существовании двух конфигурационных состояний молекул лаурдана в мембранах, локально возбужденного (LE) и с внутримолекулярным переносом заряда (CT).

Из анализа электрооптических спектров поглощения зондов установлено, что они имеют два близко расположенных электронных состояния  $\pi - \pi$  и  $n - \pi$ . С помощью электрооптического абсорбционного метода измерены дипольные моменты продан и лаурдан в равновесном основном и возбужденном франк-кондоновском состояниях.

УДК 621.315.592

Е.И. Гацкевич<sup>1</sup>, Г.Д. Ивлев<sup>2</sup>, В.А. Гнатюк<sup>3</sup>,  
В.П. Велешук<sup>3</sup>

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНО-  
ИНДУЦИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТВЕРДЫХ  
РАСТВОРАХ НА ОСНОВЕ ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ  
ПРИ НАНОСЕКУНДНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

*1 Институт физики им. Б.И.Степанова НАН Беларуси,  
[gatskevich@inel.bas-net.by](mailto:gatskevich@inel.bas-net.by)*

*2 Белорусский государственный университет,  
[ivlev\\_gennadii@mail.ru](mailto:ivlev_gennadii@mail.ru)*

*3 Институт физики полупроводников им. В.Е.  
Лашкарева НАН Украины,  
[yvvit@ukr.net](mailto:yvvit@ukr.net)*

Проведено моделирование процессов нагрева, плавления и испарения в соединениях  $Cd_{1-x}Zn_xTe$ ,  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  и  $Cd_{1-x}Hg_xTe$  при воздействии импульсов излучения рубинового лазера. Моделирование проводилось в одномерном приближении на основе численно решения задачи Стефана. При моделировании учитывались зависимости оптических и теплофизических параметров от температуры, фазового состояния и состава. Получены данные о температуре, длительности жидкой фазы, о глубинах плавления и испарения, о скоростях перемещения межфазных границ, а также о перегревах и переохлаждениях на границах фазовых переходов. Расчетные данные сравниваются с имеющимися экспериментальными результатами. Проведен сравнительный анализ действия различных режимов облучения в исследуемых материалах.

Работа выполнена при частичной поддержке БРФФИ (проект № Ф11К-098) и ГФФИ Украины (проект № Ф 41.1/032).



УДК 536.331, 539.219.3, 539.388.2

В.П. Велещук<sup>1</sup>, А.И. Власенко<sup>1</sup>, В.А. Гнатюк<sup>1,4</sup>,  
С.Н. Левицкий<sup>1</sup>, Е.И. Гацкевич<sup>2</sup>, Г.Д. Ивлев<sup>3</sup>, Т. Аоки<sup>4</sup>

## АКУСТИЧЕСКИЙ ОТКЛИК ПРИ НАНОСЕКУНДНОМ ЛАЗЕРНОМ ОБЛУЧЕНИИ CdTe и In/CdTe В ЖИДКОСТИ

<sup>1</sup>*Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева  
НАН Украины*

[vvvit@ukr.net](mailto:vvvit@ukr.net)

<sup>2</sup>*Институт физики НАН Беларуси,*

[gatskevich@inel.bas-net.by](mailto:gatskevich@inel.bas-net.by)

<sup>3</sup>*Белорусский государственный университет,*

[ivlev\\_gennadii@mail.ru](mailto:ivlev_gennadii@mail.ru)

<sup>4</sup>*Research Institute of Electronics, Shizuoka University,*

[Japan\\_rtaoki@ipc.shizuoka.ac.jp](mailto:Japan_rtaoki@ipc.shizuoka.ac.jp)

Одной из основных проблем при изготовлении диодов для детекторов разного рода ионизирующих излучений на основе CdTe является формирование мелкого и резкого *p-n*-перехода. Для этого перспективно использовать метод лазерного легирования в жидкой среде, когда реализуются нетепловые механизмы диффузии примеси. При наносекундном облучении в воде таким механизмом является бародиффузия за счет больших градиентов давления, при этом необходим контроль процессов плавления и абляции. В настоящей работе исследован акустический отклик (частотный диапазон 200–2000 кГц) при облучении CdTe импульсами излучения неодимового Nd:YAG лазера ( $\lambda = 532$  нм,  $\tau = 7$  нс) в воде. Установлено, что при облучении в воде системы In/CdTe, тонкая пленка индия на кристаллической подложке, можно получать диодные структуры с резкими выпрямительными свойствами.

Работа выполнена при частичной поддержке ГФФИ Украины (проект № Ф 41.1/032) и БРФФИ (проект № Ф11К-098), а также Collaborative Project COCAE (grant agreement No 218000) of the European Community's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013).

УДК 621.315.592

Г.Д. Ивлев<sup>1</sup>, Е.И. Гацкевич<sup>2</sup>, В.А. Гнатюк<sup>3</sup>,  
В.П. Велешук<sup>3</sup>, Дворецкий С.А.<sup>4</sup>, Михайлов Н.Н.<sup>4</sup>

## **ДИНАМИКА ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ ПРИ НАНОСЕКУНДНОМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет,  
[ivlev\\_gennadii@mail.ru](mailto:ivlev_gennadii@mail.ru)*

<sup>2</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[gatskevich@inel.bas-net.by](mailto:gatskevich@inel.bas-net.by)*

<sup>3</sup>*Институт физики полупроводников им. В.Е.  
Лашкарева НАН Украины  
[yvvit@ukr.net](mailto:yvvit@ukr.net)*

<sup>4</sup>*Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова  
Сибирского отделения РАН*

Методом оптического зондирования исследована динамика отражательной способности  $R(t)$  твердых растворов на основе теллурида кадмия при лазерно-индуцированных фазовых превращениях. В качестве объектов исследования использовались монокристаллы  $Cd_{1-x}Zn_xTe$ ,  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  и  $Cd_{1-x}Hg_xTe$ . Образцы облучались одиночными импульсами излучения рубинового лазера длительностью 80 нс в широком диапазоне плотностей энергий облучения. Зондирование проводилось на длинах волн  $\lambda_1=1.06$  мкм и  $\lambda_2=0.53$  мкм. Установлено, что изменения  $R(t)$  более выражены на  $\lambda_1$ . Проведено сравнение динамик отражательной способности различных образцов.

Работа выполнена при частичной поддержке БРФФИ (проект № Ф11К-098) и ГФФИ Украины (проект № Ф 41.1/032).

УДК 543.42:621.373

С.С.Ануфрик, В.Ч.Белаш, С.В. Васильев, А.Ю. Иванов

## **ТЕРМОДИФФУЗИЯ МЕТАЛЛОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ ЛАЗЕРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

*Гродненский государственный университет им.*

*Я.Купалы*

*s.vasilijev@grsu.by*

Излучение рубинового лазера ГОР-100М, работавшего в режиме свободной генерации, пройдя через фокусирующую систему, направлялось облучаемый металлический образец. Плотность потока воздействующего излучения варьировалась от  $10^4$  до  $5 \times 10^5$  Вт/см<sup>2</sup>. Элементный состав мишени до и после облучения исследовался с использованием рентгеновского спектрометра ElvaX. Исследования показали, что содержание некоторых элементов в приповерхностном слое образца после нразрушающей лазерной обработки существенно изменяется. В частности, при воздействии на тонкий (несколько мкм) слой никеля, нанесенный на подложку из титана, носле облучения концентрация титана в приповерхностном слое значительно (в 1,5 раза и более) увеличивалась. Содержание других примесей (кобальт, хром, железо и др.), имевшихся в незначительном количестве (десятые доли процента) в приповерхностном слое, практически не изменялось. Существенно, что концентрация титана монотонно увеличивалась при увеличении плотности потока воздействующего лазерного излучения в указанном интервале. Это свидетельствует об активной диффузии металла из подложки в покрытие в зоне импульсного нагрева образца лазерным излучением.

**ОПТОАКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ  
ПОВЕРХНОСТНЫХ НЕСПЛОШНОСТЕЙ**

<sup>1</sup>*Институт прикладной физики НАН Беларуси,  
[baev@iaph.bas-net.by](mailto:baev@iaph.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
[gudelev@dragon.bas-net.by](mailto:gudelev@dragon.bas-net.by)*

Выполнен подробный анализ оптоакустического тракта интерферометрической измерительной системы и предложены новые схемы импульсного лазерного возбуждения и приема поверхностных акустических волн (ПАВ) для выявления поверхностных трещин. Экспериментально изучены закономерности прохождения и отражения генерируемой ПАВ в зависимости от геометрии и расположения пятна оптического излучения (ПОИ) на объекте по отношению к положению трещины, а также изменения безразмерной ширины ПОИ  $d^* = fd/c$ , где  $f$  – рабочая частота приемника,  $d$  – эффективная ширина ПОИ,  $c$  – скорость ПАВ. Были исследованы усталостные трещины микронного раскрытия с глубиной  $\sim 400$ - $500$  мкм. Установлено, что при возбуждении ультразвука в термоупругом режиме и варьировании  $d^*$  в диапазоне  $0,2$ – $5$  амплитудная зависимость зондирующего сигнала  $\Xi$  от ширины ПОИ имеет максимум  $\Xi_m$ , достигаемый при пересечении трещины. Если же ПОИ находится в окрестности трещины, то безразмерный коэффициент  $\varepsilon_\Xi = \Xi/\Xi_m$  принимает минимальное значение  $(0,15-0,2)$  для  $d^* \approx 1,8 - 2,2$ .

**Литература**

1. Гусев В.Е., Карабутов А.А. Лазерная оптоакустика. - М.: Наука 1991. – 304 с.

УДК 535.3

П.И. Ропот<sup>1</sup>, В.Г. Гуделев<sup>1</sup>, Н.И. Буримов<sup>2</sup>,  
С.М. Шандаров<sup>2</sup>, В.В. Шепелевич<sup>3</sup>

## ПРИМЕНЕНИЕ АДАПТИВНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АМПЛИТУДЫ ВИБРАЦИЙ

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,*

*[p.ropot@dragon.bas-net.by](mailto:p.ropot@dragon.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Томск. ун-т систем упр. и радиоэлектроники,*

*[shand@ed.tusur.ru](mailto:shand@ed.tusur.ru)*

<sup>3</sup>*МГПУ им. И.П. Шамякина,*

*[vasshep@inbox.ru](mailto:vasshep@inbox.ru)*

Адаптивные интерферометрические системы, построенные на основе динамических голограмм в фоторефрактивных кристаллах, применяются для диагностики и неразрушающего контроля объектов в реальных условиях [1].

В данной работе рассмотрены схемы адаптивного интерферометра на основе встречного взаимодействия в кристалле  $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}\cdot\text{Fe,Cu}$  толщиной 1.15 мм, позволяющие реализовать фазовую демодуляцию сигнальной волны и определить амплитуду вибраций исследуемой поверхности. Анализ полученных экспериментальных результатов позволяет прийти к выводу, что использование адаптивного интерферометра с описанным выше кристаллическим образцом и стандартным оборудованием позволяет измерять колебания отражающей поверхности с амплитудой порядка десяти пикометров.

### Литература

1. Колегов А.А., Быков В.И., Шандаров С.М., Каргин Ю.Ф. Адаптивная интерферометрия с использованием голограмм Денисюка в кубических фоторефрактивных кристаллах // Известия высших учебных заведений. Сер. физ. – 2010. – № 8/1. – С. 23-28.

## CARRIER RECOMBINATION IN TlGaSe<sub>2</sub> LAYERED CRYSTALS

<sup>1</sup> *Institute of Applied Research, Vilnius University,  
[vitalijus.bikbajevs@ff.vu.lt](mailto:vitalijus.bikbajevs@ff.vu.lt)*

<sup>2</sup> *Institute of Technical Acoustic, National Academy of  
Sciences of Belarus*

TlGaSe<sub>2</sub> belongs to a group of ternary semiconductors possessing many unusual physical properties due to the layered crystal structure. The depth-resolved free-carrier absorption (FCA) technique has been applied for the investigation of the majority hole recombination lifetime,  $\tau_R$ .

The FCA is a convenient and versatile tool for monitoring of the free carrier dynamics at various levels of excitation. Using different geometry of the experimental setup it is possible to obtain not only temporal but spatial distribution of the nonequilibrium carriers as well. These data provides a way to determine a lot of physical parameters characterizing a material, such as carrier lifetime, mechanism of recombination, absorption coefficient, etc. [1].

The pronounced  $\tau_R$  reduction with increasing of the injection level is attributed to the trapping effect of minority electrons. No carrier diffusion related to the recombination on the external crystal surfaces is detected. Moreover, abnormally sharp  $\tau_R$  drop is found for the carrier concentration in excess of the injection level of about  $10^{17}$  cm<sup>-3</sup>.

### References

1. J. Linnros and V. Grivickas, Carrier lifetime: Free carrier absorption, photoconductivity, and photoluminescence // in: Characterization of Materials (Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 2003), pp. 427-456.

UDC 621.315.592+544.537.224

E. Jelmakas<sup>1</sup>, M. Alsys<sup>1</sup>, A. Kadys<sup>1</sup>, T. Malinauskas<sup>1</sup>,  
T. Grinys<sup>1</sup>, R. Tomašiūnas<sup>1</sup>, P. Gečys<sup>2</sup>, G. Račiukaitis<sup>2</sup>

## **GALLIUM NITRIDE GROWTH USING ELO METHOD ON LASER ABLATED SAPPHIRE SUBSTRATES**

<sup>1</sup> *Vilnius University, Institute of Applied Research,  
Saulėtekio Ave. 10, LT-10222 Vilnius, Lithuania,  
[edgaras.jelmakas@gmail.com](mailto:edgaras.jelmakas@gmail.com)*

<sup>2</sup> *Center for Physical Sciences and Technology, Savanoriu  
Ave. 231, LT-02300 Vilnius, Lithuania*

Laser micromachining is a well-established technique for fabrication of microstructures [1]. In our work we present use of surface patterning by picosecond laser technique for growth of high quality gallium nitride. Laser ablation is much cheaper and less time consuming technique as photolithography. Quality improvements by use of epitaxial lateral overgrowth (ELO) technique were investigated.

In this work c-plane sapphire surface micromachining was accomplished using Nd:Yag picosecond laser forth harmonic. After ablation sapphire wafers were cleaned using aqua regia and etched using sulphuric and phosphoric acids solution. Undoped gallium nitride samples were grown by metal-organic chemical vapour deposition (MOCVD).

Quality of grown GaN samples was examined using SEM, AFM and micro PL measurements. The latest results show that the best gallium nitride layer, grown using ELO method parameters (dislocation density) is obtained at 300mW patterned laser power.

### **Literature**

1. W. Kautek at all. Femtosecond pulse laser ablation of anodic oxide coatings on aluminium alloys with on-line acoustic observation Applied Surface Science vol. 186, pages 374-380, 2002.

УДК 535:621.373.826:539

В.С. Бураков, А.В. Буцень, Е.А. Невар,  
М.И. Неделько, Н.В. Тарасенко

## **ФОРМИРОВАНИЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЦИНКА В ВОДЕ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,  
[nedelko@imaph.bas-net.by](mailto:nedelko@imaph.bas-net.by)*

В последние годы успешно развиваются лазерно-плазменные методы синтеза низкоразмерных частиц металлов, основанные на процессах лазерной абляции в жидкофазных средах. Метод лазерной абляции твердых тел отличается простотой реализации, отсутствием побочных примесей в конечном продукте, может быть применен для различных материалов как проводящих, так и непроводящих, полупроводников, а также тугоплавких материалов[1].

В настоящей работе метод лазерной абляции в воде применен для формирования наноразмерных структур оксида цинка. Исследованы фазовый состав и люминесцентные свойства синтезируемых структур ZnO. Методом сканирующей электронной микроскопии получено изображение поверхности образца ZnO, осажденного из коллоидного раствора на поверхность монокристаллического кремния. Найдены оптимальные условия для синтеза наноразмерных порошков с практически стопроцентным содержанием оксида. Показано, что метод получения оксида цинка при лазерной абляции в воде обеспечивает эффективный синтез наноразмерных структур и позволяет выделить из коллоидного раствора частицы с определенными размерами.

### **Литература**

1. А. Н. Жерихин, А. И. Худобенко, Р. Т. Вильямс и др. Лазерное напыление пленок ZnO на кремниевые и сапфировые подложки // Кв. электрон. –2003. – Т. 33, №1. – С. 975 – 980.



УДК 504.32+535.6

Л.И. Чайковская<sup>1</sup>, О.В. Дубовик<sup>2</sup>, П.Литвинов<sup>2</sup>, С.М. Пригарин<sup>3</sup>, Я.О. Грудо<sup>1</sup>, Ф.А.Сперанский<sup>1</sup>, А.П. Чайковский<sup>1</sup>, С.В.Денисов<sup>1</sup>, А.Ю.Лопатин<sup>1,2</sup>

## **АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПЕРЕНОСА ПОЛЯРИЗОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ ДЛЯ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ КОМПЛЕКСНЫХ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ И ЛИДАРНЫХ ДАННЫХ**

*<sup>1</sup>Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
Беларуси,*

*[l.chaikovskaya@dragon.bas-net.by](mailto:l.chaikovskaya@dragon.bas-net.by)*

*<sup>2</sup>Лаборатория оптики атмосферы Лилльского  
университета,*

*[anton.lapatsin@ed.univ-lille1.fr](mailto:anton.lapatsin@ed.univ-lille1.fr)*

*<sup>3</sup>Новосибирский государственный университет  
[sergeim.prigarin@googlemail.com](mailto:sergeim.prigarin@googlemail.com)*

Использование алгоритмов обработки комплексных лидарных и радиометрических данных зондирования атмосферы сопряжено с проведением очень большого объема вычислений. Поэтому важно, для упрощения и ускорения вычислений, создавать быстрые аналитические методы расчета функций моделирующих измерения.

В докладе представлены результаты наших разработок по созданию аналитических методик для определения параметров поляризованного излучения рассеянного в атмосфере. Полученные приближенные решения определяют яркость и поляризацию излучения в рассеивающем и поглощающем слое с подстилающей двунаправлено отражающей поверхностью. Их адаптация будет сделана для проведения расчетов сигналов наземного солнечного радиометра в новой версии алгоритма, что позволит обеспечить реальное время обработки экспериментальных данных.

УДК 533.9.08;535.33;543.42

Е.А. Ершов-Павлов<sup>1</sup>, К.Ю. Кацалап<sup>1</sup>, Л.К. Станциц<sup>2</sup>,  
К.Л. Степанов<sup>2</sup>

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНО-ЭРОЗИОННЫХ ФАКЕЛОВ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ**

<sup>1</sup>*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси,  
[ershov@imaph.bas-net.by](mailto:ershov@imaph.bas-net.by)*

<sup>2</sup>*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН  
Беларуси, [kls@htmi.ac.by](mailto:kls@htmi.ac.by)*

Описана модель для расчета линейчатого спектра излучения факелов, возникающих при воздействии лазерного луча на твердые материалы при анализе их химического (элементного) состава методами эмиссионной спектроскопии. Модель включает модули для вычисления равновесного состава эрозионной плазмы, определения ее локальной испускательной способности и получения результирующих спектров излучения лазерных факелов путем решения уравнения переноса излучения. Предполагается, что плазма неоднородна, нестационарна и находится в состоянии локального термодинамического равновесия при постоянном давлении.

Пространственно-временное распределение параметров плазмы задается в параметрическом виде. В частности, распределение температуры вдоль линии наблюдения (перпендикулярно оси факела) представлено параболической функцией, изменение максимальной температуры со временем задано линейной зависимостью. Изменение параметров распределений используется при подгонке результатов расчета и данных экспериментальных измерений.

Модель позволяет определить и учесть влияние пространственно-временных и оптических характеристик лазерных факелов на результаты элементного анализа материалов методами эмиссионной спектроскопии.

## **ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДВУНАПРАВЛЕННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ, ОСВЕЩАЕМЫХ ПОЛЯРИЗОВАННЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси  
[v.dlugunovich@dragon.bas-net.by](mailto:v.dlugunovich@dragon.bas-net.by)*

Исследованы закономерности двунаправленного отражения поляризованного излучения He-Ne лазера терморегулирующими покрытиями и теплозащитными материалами при угле падения  $\theta_i = -5^\circ$  и угле регистрации  $\theta_r$ , изменяющемся от  $5^\circ$  до  $80^\circ$ . Объектом исследований являлись терморегулирующие покрытия (серебристая (ВЭ-30), белые (КО-5191, ТП-15М и АК-573), черные (АК-512 и АК-243) эмали), а также полимерные композитные материалы (фенольный пластик, окрашенный зеленой краской, и углепластик КМУ-4 без покрытия).

Экспериментально показано, что излучение, деполяризованное вследствие многократного подповерхностного рассеяния в объеме белых покрытий с глянцевой поверхностью, повторно поляризуется при прохождении через их поверхность наружу под углами, отличающимися от направления зеркального отражения. Установлена зависимость функции распределения двунаправленного коэффициента отражения исследованных образцов от угла регистрации. Определены параметры исследованных материалов, знание которых позволяет рассчитать их функцию распределения двунаправленного коэффициента отражения при любой геометрии освещения и наблюдения в условиях освещения как линейно поляризованным, так и неполяризованным излучением.

В.В.Ажаронок<sup>1</sup>, Л.Е.Кратько<sup>1</sup>, И.В.Воцула<sup>1</sup>,  
А.Г.Анисович<sup>2</sup>, Л.В.Бислюк<sup>2</sup>

## ЛАЗЕРНЫЙ МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТИ ЧУГУНА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАДИОВОЛНОВОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

<sup>1</sup>Институт физики НАН Беларуси, [azharonok@imaph.bas-net.by](mailto:azharonok@imaph.bas-net.by)

<sup>2</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси,

С применением гониофотометрического Стокс-поляриметра и КРС-спектрометра исследованы изменения индикатрис отношения параллельной  $R_p$  и перпендикулярной  $R_s$  компонент коэффициентов отражения (рис. А) плоскополяризованного лазерного излучения (ЛИ) на длине волны  $\lambda=0,63$  мкм и спектров комбинационного рассеяния ЛИ (рис. Б) с  $\lambda=0,53$  мкм от металлографического шлифа на поверхности чугуна ЧН15Д7 в результате воздействия на чугун электромагнитного поля с частотой 5,28 МГц и напряженностью магнитной и электрической составляющих  $\sim 590$  А/м и 12 700 В/м. Распределения 1- до, 2- после воздействия поля.

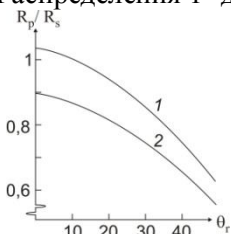


Рис. А

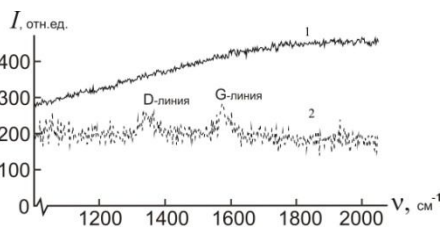


Рис. В

Наблюдаемые изменения вероятнее всего связаны с перераспределением в результате воздействия э/м поля относительного вклада в отражательную способность чугуна железной и графитовой составляющих, изменениями морфологической структуры, плотности и кристаллического строения поверхности, происходящего упорядочения в содержащихся в чугуне углеродных структурах.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРОВ С МИНИМАЛЬНОЙ СРЕДНЕЙ ЭНЕРГИЕЙ КОРРЕЛЯЦИИ В ЗАДАЧАХ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

*Ярославский Государственный Технический Университет  
[peteri2002@mail.ru](mailto:peteri2002@mail.ru)*

Одной из важных задач оптической обработки информации является задача распознавания изображений. Особенный интерес представляет задача распознавания объектов, подвергнутых сложным преобразованиям геометрии. Довольно популярным решением является применение оптикоэлектронных корреляторов изображений. Основной функцией данного устройства является вычисление корреляционной функции входных данных с эталонным объектом, реализованным в виде голографического фильтра. К сожалению, использование в качестве эталона изображения самого распознаваемого объекта наталкивается на существенные трудности. Весьма привлекательным подходом являются алгоритмы синтеза фильтров (КФ) на основе вычисления инвариантного параметра, в первую очередь, фильтры с минимальной средней энергией корреляции (МСЭК) и их модификации. Вид фильтра представлен выражением (1):

$$h = D^{-1} X (X^+ D^{-1} X)^{-1} u \quad (1)$$

В работе был проведен синтез на ПЭВМ и моделирование применения вышеуказанного КФ при распознавании объектов, подвергнутых преобразованиям геометрии.

Результаты моделирования показывают рост качественных характеристик корреляционного пика для распознавания изображений, подвергнутых преобразованию поворота и изменению масштаба.

## **УНИВЕРСАЛЬНАЯ ВЕБ-СИСТЕМА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ЛАЗЕРНОЙ ЭКСПРЕССНОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ**

*Учреждение образования «Гродненский государственный  
университет имени Янки Купалы»,  
[rudikowa@gmail.com](mailto:rudikowa@gmail.com)*

В настоящее время широкое развитие получили лазерные методы для анализа состава различных материалов, накоплена обширная база по спектральным линиям химических элементов [1, 2]. Однако до сих пор отсутствует программное обеспечение, которое хранит и обрабатывает сопутствующую информацию, связанную с лазерной экспрессной экспертизой.

Предлагаемая система представляет собой сложный Интернет-комплекс, включающий совокупность программно-независимых функциональных модулей. Каждый модуль содержит отдельную логику работы с данными, их обработку. В силу этого для разрабатываемой веб-системы выбрана сервисно-ориентированная архитектура, в которой каждое звено (сервис) может функционировать также и самостоятельно. Архитектура такого плана позволяет организовать распределенную обработку данных путем развертывания сервисов на отдельных физических машинах, что позволяет каждому сервису использовать максимально возможные вычислительные ресурсы компьютера. Таким образом, в дальнейшем можно создать некоторую универсальную систему поддержки принятия решения в сфере лазерной экспрессной экспертизы.

### **Литература**

1. Петух, М.Л. Атлас спектральных линий для призмического стилоскопа // М.Л. Петух, А.А. Янковский. – Мн., 1988.
2. Петух, М.Л. Атлас спектральных линий для дифракционного стилоскопа // М.Л. Петух, А.А. Янковский. – Мн., 1991.



