



**VI Международный симпозиум
по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых
соединений и структур**

Москва–Звенигород 22-25 ноября 2017 года

*Программа
Сборник тезисов докладов*

Москва

ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ П.Н. ЛЕБЕДЕВА
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЖУРНАЛ «КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

**VI Международный симпозиум
по когерентному оптическому излучению
полупроводниковых соединений и структур**

Москва–Звенигород 22-25 ноября 2017 года

*Программа
Сборник тезисов докладов*

Москва

ББК 22.379
УДК 537.311.322(06):621.375.826(06)
С 23

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур. 22-25 ноября 2017 года. Программа. Сборник тезисов докладов. Москва, НИЯУ МИФИ, 2017.– 92 с.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур (КОИПСС) является научным форумом, в котором участвуют все ведущие научные учреждения, работающие по современным направлениям фундаментальных исследований в области когерентного оптического излучения полупроводниковых соединений и структур.

К рассматриваемым на Симпозиуме разделам относятся: полупроводниковые лазеры на гетероструктурах, исследование мощного когерентного излучения инжекционных лазеров, полупроводниковые лазеры с оптической и электронной накачкой, униполярные полупроводниковые лазеры, перспективные направления создания оптических когерентных источников, физика разрушения и деградации полупроводниковых структур и т.п.

Тезисы издаются в авторской редакции

ISBN 978-5-7262-2444-2

© Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2017

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

О симпозиуме

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур (КОИПСС) является научным форумом, в котором участвуют все ведущие научные учреждения, работающие по современным направлениям фундаментальных исследований в области когерентного оптического излучения полупроводниковых соединений и структур.

К рассматриваемым на Симпозиуме разделам относятся: полупроводниковые лазеры на гетероструктурах, исследование мощного когерентного излучения инжекционных лазеров, полупроводниковые лазеры с оптической и электронной накачкой, униполярные полупроводниковые лазеры, перспективные направления создания оптических когерентных источников, физика разрушения и деградации полупроводниковых структур и т.п. I КОИПСС состоялся в Звенигороде в 2007 г. На нем было принято решение проводить Симпозиум регулярно раз в два года. II - V Симпозиумы были проведены в Москве и Звенигороде в ноябре 2009, 2011, 2013 и 2015гг.

За время проведения Симпозиумов по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур симпозиум приобрел статус международного. Во II-VСимпозиумах наряду с российскими принимали участие сотрудники ведущих мировых научных центров и университетов из Финляндии, Великобритании, Белоруссии и Украины.

Участие российских и зарубежных ученых в работе Симпозиума позволяет представить результаты на широкое научное обсуждение и поставить новые научные цели в области изучения фундаментальных основ когерентного оптического излучения полупроводниковых соединений и структур. Широко представлены на Симпозиуме молодежные научные работы.

В 2015 к организаторам Симпозиума добавился Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

Место и время проведения

VI КОИПСС пройдет в Москве в НИЯУ МИФИ и в пансионате РАН «Звенигородский» с 22 по 24 ноября 2017.

Рабочий язык школы: русский и английский

Научная программа

Программа симпозиума состоит из пленарных и приглашенных докладов, круглого стола и стендовых докладов.

Организаторы симпозиума

Отделение физических наук РАН
Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».
Российский фонд фундаментальных исследований
Журнал «Квантовая электроника»

Председатель оргкомитета

академик Крохин Олег Николаевич Научный руководитель Высшей школы физиков имени Н.Г. Басова НИЯУ МИФИ, г.н.с. ФИАН

Заместитель председателя оргкомитета

Завестовская Ирина Николаевна Директор ИФИБ НИЯУ МИФИ

Ответственный секретарь оргкомитета

Шестухина Анна Анатольевна Секретарь руководителя Отделения КРФ ФИАН, инженер каф.№88 ИФИБ НИЯУ МИФИ

Организационный комитет

Безотосный В.В. В.н.с. ФИАН, доцент каф.№88 ИФИБ НИЯУ МИФИ

Ананская А.А. Инженер каф. №88 ИФИБ НИЯУ МИФИ

Алещенко Ю.А. В.н.с. ФИАН, профессор каф. №88 ИФИБ НИЯУ МИФИ

Микаелян Г.Т. Профессор каф. №88 ИФИБ НИЯУ МИФИ

Семенов А.С. Редактор журнала «Квантовая Электроника»

Стародуб А.Н. Заведующий лабораторией ФИАН

Чешев Е.А. В.н.с. ФИАН. доцент каф.№88 ИФИБ НИЯУ МИФИ

Козловский В.И. Заведующий лабораторией ФИАН, доцент каф. №88 ИФИБ НИЯУ МИФИ

Бреви В.С. Ведущий инженер-электроник ФИАН

Фроня А.А. Доцент каф. №88 ИФИБ НИЯУ МИФИ

Вишванюк А.В. Специалист по УМР, институт магистратуры НИЯУ МИФИ

Родионова О.В. Инженер лаборатории «Бионанофотоника» ИФИБ НИЯУ МИФИ

Евсович А.В. Зам. начальника отдела ИФИБ НИЯУ МИФИ

Карпов Н.В. Инженер каф. № 88 ИФИБ НИЯУ МИФИ

Контакты:

Сайт Симпозиума: <http://corscs.mephi.ru/>

E-mail: corscs@mephi.ru

***VI Международный симпозиум
по когерентному оптическому излучению
полупроводниковых соединений и структур***

Программа

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

22 Ноября, Среда
НИЯУ МИФИ, Конференц-зал 3 этаж

09.00 - 10.00

Регистрация. Кофе.

10.00 - 10.30

Открытие Симпозиума
Академик Крохин Олег Николаевич
Семинар 1 - Председатель Ю.М. Попов

10.30 - 11.00

Кульчин Юрий Николаевич
ИАПУ ДВО РАН, НИЯУ МИФИ
Формирование массивов плазмонных наноструктур импульсным лазерным излучением

11.00 - 11.30

Орлович Валентин Антонович
ИФ им. Степанова НАНБ, Беларусь
Нелинейно-оптическое преобразование излучения наносекундных Nd:АИГ лазеров с поперечной диодной накачкой

11.30 - 12.00

Микаелян Геворк Татевосович
Группа компаний «Вартон», НИЯУ МИФИ
Замкнутый цикл производства диодных лазеров и систем на их основе

12.00 - 12.30

Кочаровский Владимир Владиленович
ИПФ РАН, Нижний Новгород
Сравнительный анализ динамических спектров поляризации активной среды и электромагнитного поля в сверхизлучающих полупроводниковых лазерах

12.30 - 13.00

Пихтин Никита Александрович
ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
Мощные лазерные диоды спектрального диапазона 1400-1600 нм

13.00 – 13.30

Мажукин Владимир Иванович
ИПМ РАН, НИЯУ МИФИ
The structure of plasma plume at ns-pla of al target in the air

13.30 - 14.00

Обед

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

13.00 – 15.00

Стендовые доклады
Читальный зал НИЯУ МИФИ

15.00

Отъезд участников Симпозиума в пансионат РАН «Звенигородский» от НИЯУ МИФИ, Каширское шоссе 31

17.00 – 19.00

Регистрация участников Симпозиума и поселение в пансионате РАН «Звенигородский»

19.00 - 20.00

Круглый стол «Инженерная физика для биомедицины»
Модератор И.Н. Завестовская

Участники: О.Н. Крохин, И.Н. Завестовская, С.Д. Захаров, Л.Л. Чайков, В.В. Безотосный, Е.А. Чешев, Л.Д. Михеев и др.

20.00 – 22.00

Банкет

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

23 Ноября, Четверг
Завтрак

09.00 – 09.30

Лекционная аудитория
Пансионата РАН «Звенигородский»

Семинар 2 - Председатель Ю.П. Яковлев

09.30 - 09.55

Завестовская Ирина Николаевна
НИЯУ МИФИ

Взаимодействие электромагнитного излучения с коллоидными наночастицами: модель и применение

09.55 - 10.20

Мармалюк Александр Анатольевич
АО «НИИ «Полус» им. М.Ф.Стельмаха, Москва
Одномодовые полупроводниковые лазеры на основе гетероструктур AlGaInAs/InP с выходной мощностью свыше 300 мВт

10.20 - 10.45

Котова Светлана Павловна
СФ ФИАН, Самара
Оптимизация фазовых масок для 3D локализации наноразмерных излучателей

10.45 - 11.10

Олещенко Владислав Александрович
ФИАН, НИЯУ МИФИ, Москва
Modelling and experimental study of temperature profiles in continuous wave laser diode bars

11.10 – 11.25

Перерыв

Семинар 3 - Председатель А.Н. Стародуб

11.25 - 11.50

Яковлев Юрий Павлович
ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
Коллективные моды в двоянных полупроводниковых дисковых лазерах на модах шепчущей галереи

11.50 - 12.15

Соколова Зинаида Николаевна
ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург
Эволюция характеристик мощного полупроводникового лазера с квантовыми ямами

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур

12.15 - 12.40

Ладугин Максим Анатольевич
АО "НИИ "Полус" им. М.Ф. Стельмаха
Многоэлементные лазерные излучатели спектрального
диапазона 800-850 нм

12.40 - 13.05

Дураев Владимир Петрович
ЗАО "Нолатех", Москва
Перестраиваемые одночастотные полупроводниковые
лазеры и их применение

13.05 – 14.00

Обед

14.00 – 19.00

Экскурсия

19.00 - 20.00

Ужин

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

24 Ноября, Пятница
Завтрак

09.00 – 09.30

Лекционная аудитория
Пансионата РАН «Звенигородский»

Семинар 4 - Председатель В.В. Безотосный

09.30 - 09.55

Шастин Валерий Николаевич

ИФМ РАН, Н. Новгород

Лазеры ИК диапазона на переходах кулоновских центров в полупроводниках.

09.55 - 10.20

Захаров Станислав Дмитриевич

ФИАН, Москва

Possibilities for applications lasers in erygenetic therapy

10.20 - 10.45

Засавицкий Иван Иванович

ФИАН, Москва

Квантовый каскадный лазер на основе гетеропары GaInAs/AlInAs с длиной волны излучения 5,6 мкм и рабочей температурой более 300 К

10.45 - 11.10

Крыса Андрей Богданович

Университет Шеффилда, Великобритания

MOVPE of InAs QDs on InP for single photon emitters and laser applications

11.10 – 11.30

Перерыв

Семинар 5 - Председатель В.Н.Шастин

11.30 - 11.55

Слипченко Сергей Олегович

ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, С.-Петербург

Новые подходы для генерации мощных лазерных импульсов на основе многопереходных гетероструктур лазеров-тиристоров

11.55 - 12.20

Козловский Владимир Иванович

ФИАН, НИЯУ МИФИ

Перестраиваемый в спектральной области 3.75-4.82 мкм Fe:ZnSe лазер с высокой выходной энергией, работающий при термоэлектрическом охлаждении

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

12.20 - 12.45

Тупицын Иван Михайлович

ФИАН

Генерационные характеристики лазерной керамики производства ГЛП «РАДУГА»

12.45 - 13.10

Бицкий Руслан Романович

ООО ЛАССАРД, Обнинск

Optimization of the diod-pumped solid-state laser parameters of a solid-state Nd: YAG with transverse pumping by laser diode»

13.10 – 13.30

Закрытие симпозиума

Принятие решения. О.Н. Крохин

14.00 – 15.00

Обед

16.00

Отъезд участников из пансионата «Звенигородский» в Москву

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

Стендовые доклады
22 Ноября, Среда
Читальный зал НИЯУ МИФИ

1. **Алыкова Алида Файзрахмановна (НИЯУ МИФИ)**
Анализ структурных свойств кремниевых наночастиц методом спектроскопии комбинационного рассеяния света
2. **Ананская Анастасия Аликовна (НИЯУ МИФИ, ФИАН)**
Theoretical modeling of laser metal nanoparticles fragmentation in water
3. **Андронов Александр Александрович (ИФМ РАН, Н.-Новгород)**
Stimulated THz emissions on Bloch and Wannier-Stark transitions from simple superlattice outside NDC region
4. **Ассилбаева Р.Б. (Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, Казахский национальный университет имени аль-Фараби)**
Silicon nanostructures for visible and infrared photonic devices
5. **Балаиов Владимир Владимирович (ИРЭ РАН, Фрязино)**
Керамика на основе оксида иттрия, легированного редкоземельными ионами (Тм, Ho), для твердотельных лазеров двухмикронной области спектра
6. **Бобрецова Юлия Константиновна (ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, С.-Петербург)**
Рост внутренних оптических потерь в гетероструктурах лазеров спектрального диапазона 1-1.1 мкм
7. **Борулева Е.А. (НИЯУ МИФИ)**
Исследование взаимодействия мезотетрапорфирина с детонационными наноалмазами методом флуоресцентной спектроскопии
8. **Бухаров Дмитрий (Владимирский государственный университет)**
Percolation model of the electrical conductivity of pbte island films
9. **Бутаев Марат (ФИАН)**
Формирование супергауссова пучка в фемтосекундной гибридной системе
10. **Веселов Дмитрий Александрович (ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, С.-Петербург)**
Моделирование характеристик мощных полупроводниковых лазеров спектрального диапазона 1500-1600 нм

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

11. **Григорьева Мария Сергеевна** (ФИАН, НИЯУ МИФИ)
Теоретическое исследование лазерной модификации пористых дефектов в металлах
12. **Золотарев Василий Владимирович** (ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, С.-Петербург)
Повышенная температурная стабильность спектра генерации полупроводникового лазера с поперечным распределением брэгговским зеркалом
13. **Исаев Евгений Анатольевич** (НИУ «Высшая школа экономики»)
Перспективные способы передачи информации по оптическим каналам связи
14. **Козырев Антон Андреевич** (НИЯУ МИФИ, ООО «НПП «Инжэкт», Саратов)
Оптические характеристики плёнок TiO_2 полученных методом электронно-лучевого испарения в вакууме с ионным ассистированием
15. **Корибут Андрей Валерьевич** (МФТИ, г. Долгопрудный)
New technique for femtosecond pulse self-shortening based on the transient regime of multiple filamentation in kerr media
16. **Коромыслов Алексей Леонидович** (ФИАН, Москва)
Двухволновая генерация в лазере с линзоподобным активным элементом Nd:YLF при модуляции добротности резонатора пассивным Cr^{4+} :YAG затвором
17. **Кузнецов И.О.** (НИЯУ МИФИ)
Simulation of thermalization of a weakly interacting bose gas by kinetic equations
18. **Лопухин Кирилл Валерьевич** (ФирЭ им. Котельникова, г. Фрязино)
Получение керамики на основе иттрий алюминиевого граната для пассивных затворов лазеров.
19. **Плеханов А.А.** (НИЯУ МИФИ)
Установка для получения изображений в ТГц диапазоне со спектральным разрешением
20. **Игорь Скрыбин** (Владимирский государственный университет)
Laser synthesis of colloidal gallium nitride systems
21. **Секербаев К.С.** (Казахский национальный университет имени аль-Фараби)
Enhanced photoluminescent properties of organometal perovskites deposited on nanostructured semiconductor substrates

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

22. **Смирнов Сергей Владимирович** (Астраханский государственный университет)
Исследование зависимости характеристик излучения полупроводниковых лазеров от величины тока через p-n-переход
23. **Фроня Анастасия Андреевна** (НИЯУ МИФИ, ФИАН)
Современная подготовка кадров в НИЯУ МИФИ для наукоемких технологий в области полупроводниковой квантовой электроники
24. **Шагурина Анастасия** (Владимирский государственный университет)
Формирование оптических низкоразмерных структур для элементов фотоники
25. **Юнусова Наида Рабадановна** (НИЯУ МИФИ)
Исследование нанопроволок нитрида алюминия, полученных методом импульсного лазерного осаждения
26. **Якунин В.Г.** (МГУ им. М.В. Ломоносова)
Laser diagnostics of fractal silicon nanostructures on crystalline silicon wafers

***VI Международный симпозиум
по когерентному оптическому излучению
полупроводниковых соединений и структур***

Пленарные доклады

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

OPTIMIZATION OF THE DIOD-PUMPED SOLID-STATE LASER PARAMETERS OF A SOLID-STATE Nd: YAG WITH TRANSVERSE PUMPING BY LASER DIODE

R. R. Bitskiy^{1,2,3}, **G. T. Mikalyan**^{1,3}, **S. C. Tariverdiyev**¹, **M. R. Butayev**¹,
V. A. Reutsky¹

¹ LLC "LASSARD systems", Obninsk, Russia

² Prokhorov General Physics Institute, Moscow, Russia

³ NRNU MEPhI, Moscow, Russia

e-mail: r.bitskiy@varton.ru

Diode-pumped solid-state lasers (DPSSLs) are solid-state lasers made by pumping a solid gain medium, for example, a ruby or a neodymium-doped YAG crystal, with a laser diode. The transition to high-power diode lasers instead of low-efficiency lasers emitting in a wide spectral range, having low reliability of pump lamps, makes it possible to create powerful reliable solid-state lasers of compact dimensions and with high efficiency.

Diode-pumped solid-state lasers have a very wide range of applications. Indeed, they are used in all of the areas mentioned in the article on laser applications. [1]

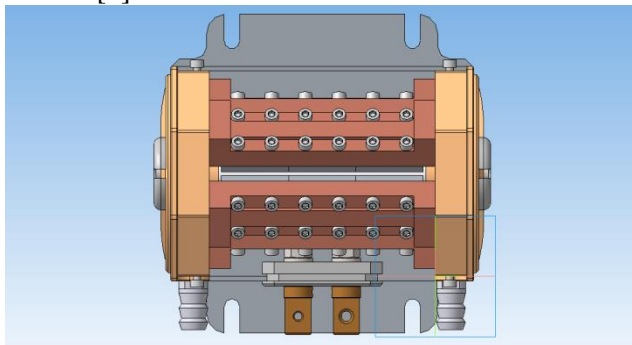


Fig.1. The design of the DPSSLs (top view)

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

The efficiency of the output characteristics of a DPSSLs depends to a large extent on the location of the diode laser matrices around the active element, the efficiency of absorption of the pump radiation by the active element, the heat removal efficiency of the diode laser, and the active element. This DPSSLs is designed for a five-beam transverse pumping scheme.

Table 1. Characteristics of the DPSSLs.

Pumping power	Output energy	Pulse duration
30kW	>1 J	250 μ s
Dimensions of the DPSSLs	Intensity	Wavelength
140x133x91 cm.	0.2J/cm ²	1064nm

When creating this laser, our group faced the following problems:

1. Due to the uneven distribution of the cooling liquid, a temperature difference has arisen in different heat exchangers of the pump diode. Because of what the wavelength shift occurred, which led to uneven pumping of the active element.
2. When using the standard scheme of symmetric pumping of the active element on five sides [2] , the generation profile is unevenly measured. The middle of the beam is much stronger than the edges. The above problems were solved in the course of our work. Detailed description in the presentation.

[1] https://www.rp-photonics.com/diode_pumped_lasers.html

[2] И.В. Глухих,1 С.А. Димаков,2 Р.Ф. Курунов,1 С.С. Поликарпов,1 С.В. Фролов Мощные твердотельные лазеры на Nd:YAG с поперечной диодной накачкой и улучшенным качеством излучения \ Журнал технической физики, 2011, том 81, вып. 8

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

TUNABLE IN THE 3.75-4.82 μm RANGE, UP TO 7.5 J PULSED Fe:ZnSe LASER OPERATING WITH THERMOELECTRIC COOLER

V.I. Kozlovsky^{1,2}, M.P. Frolov^{1,3,4}, Yu.V. Korostelin¹, B.M. Lavrushin¹, Yu.P. Podmar'kov¹, Ya.K. Skasyrsky¹.

¹ *P.N. Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

² *National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia*

³ *Moscow Institute of Physics and Technology, State University, Dolgoprudny, Russia*

⁴ *Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia*
viko2@sci.lebedev.ru

A lot of scientific, commercial, and military applications for high power and high energy mid-IR lasers have emerged in recent years. Laser based on ZnSe doped by Fe is the most perspective one for spectral range close to 4 μm , being an atmospheric-transmission band. A 10.6 J pulsed Fe²⁺:ZnSe laser was realized at pumping by the 1.3 ms pulse Er:YAG laser and liquid nitrogen temperature of the Fe:ZnSe crystal [1]. However using of cryogenic cooling is not acceptable for many practical applications. Unfortunately the threshold of the Fe²⁺:ZnSe laser increases strongly with temperature because of temperature activation of nonradiative recombination in this crystal. The life time of excited Fe²⁺ ion on the top laser level drops from 60 μs at $T = 80$ K to 0.37 μs at room temperature (295 K). Although the effective lasing with output energy of 1.67 J at room temperature was achieved at pumping by the nanosecond pulsed HF laser [2], this pump laser is too bulky and toxic. Besides, at using short pulses, pump intensity is close to a radiation resistance limit of the crystal that restricts laser reliability. Therefore in this work we wanted to obtain a high energy pulse at long duration pump by the Er:YAG laser but at temperature achieved by multistage thermoelectric cooler. The first such attempt was done by us in [3]. Then we obtained only 0.14 J. At present we increased considerably the pump energy up to 25 J and grew a new high quality crystal with the active length of 17 mm and the lateral size of 25x25 mm.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

The setup for study of the Fe:ZnSe laser characteristics was close to one described in [1]. Only we used a thermoelectric unit from company Kryotherm instead of the liquid nitrogen cryostat. Crystal temperature was close to 220 K. Crystal surfaces did not have any antireflection coating. The dependence of the output laser pulse energy on the pump energy is presented in fig. 1.

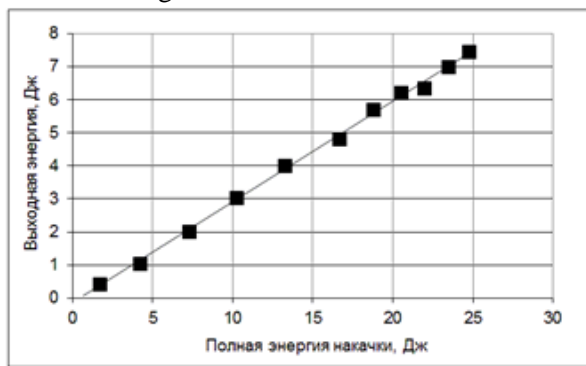


Fig.1. Dependence of output laser pulse energy on pump energy.

Maximal output was as high as 7.5 J at slope efficiency of 30%. It has been found that the output is restricted by formation of a strong thermal lens inside the crystal.

Tuning of laser line was realized from 3.75 μm to 4.82 μm at output energy of 3.1 J in the maximum of the tuning curve. At the ends of this spectral range, laser wavelength jumped to about 4.1 μm because lasing in the cavity formed by crystal surfaces became more effective.

[1] V.I.Kozlovsky, Y.V.Korostelin, Y.P.Podmar'kov, Y.K.Skasyrsky, M.P.Frolov, "Middle infrared Fe²⁺:ZnS, Fe²⁺:ZnSe and Cr²⁺:CdSe lasers: new results", Journal of Physics: Conference Series **740**, 012006 (2016).

[2] С.Д. Великанов, Е.М. Гавришук, Н.А. Зарецкий, А.В. Захряпа, В.Б. Иконников, С.Ю. Казанцев, И.Г. Кононов, А.А. Манешкин, Д.А. Машковский, Е.В. Салтыков, К.Н. Фирсов, Р.С. Чуваткин, И. М.Юткин, "Импульсно-периодический Fe:ZnSe-лазер со средней мощностью излучения 20 Вт при комнатной температуре поликристаллического активного элемента", Квантовая электроника, **47**, 303-307 (2017).

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур

[3] А.А.Воронов, В.И.Козловский, Ю.В.Коростелин, А.И.Ландман, Ю.П.Подмарьков, М.П.Фролов, “Лазерные характеристики кристалла Fe:ZnSe в диапазоне температур от 85 до 255 К”, *Квантовая электроника*, **35**, №9, 809-812 (2005).

MOVPE OF INAS QDS ON INP FOR SINGLE PHOTON EMITTERS AND LASER APPLICATIONS

A.B. Krysa^{1,2}

¹ *University of Sheffield, Sheffield, United Kingdom*

² *A.P.N. Lebedev Physical Institute, RAS, Moscow, Russian Federation
a.krysa@sheffield.ac.uk*

We have studied metalorganic vapour phase epitaxy of self-assembled InAs quantum dots (QDs) on InP in the regimes of Stranski-Krastanow (SK) growth and droplet epitaxy. In the both growth regimes, low QD densities ($<10^9$ cm⁻²) were achieved, and the QD emission represented an ensemble of narrow emission lines. These allowed optical access to individual QDs without additional fabrication steps. Several materials systems were considered for distributed Bragg reflectors (DBRs). Earlier, we have demonstrated DBRs based on InGaAsP/InP and AlGaInAs/AlInAs [1-3]. However, the composition of the former is rather sensitive to the growth temperature, and the latter would affect the growth of InP matrix in the active region due to arsenic contamination. As a compromise, we have developed DBRs based on AlGaInAs/InP. The resulting DBR surface was atomically flat, and optical cavities incorporating InAs QDs for single-photon emitters operating around 1.55 μ m were grown [4, 5]. Laser diode structures based on high density ($\sim 10^{10}$ cm⁻²) SK QDs operating at ~ 1.8 μ m were also fabricated.

- [1] C.-P. Liu et al, IEICE Transactions on Electronics **E86-C** (2003) 1281.
- [2] M. Pantouvaki et al, IEEE Photonics Technology Letters **16** (2004) 617.
- [3] C.-H. Chuang et al., J. Lightwave Technology **26** (2008) 2671.
- [4] J. Skiba-Szymanska et al, Physical Review Applied **8** (2017) 014013.
- [5] T. Müller et al, “A quantum light emitting diode for the standard telecom window around 1550 nm”, <https://arxiv.org/abs/1710.03639> .

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

THE STRUCTURE OF PLASMA PLUME AT NS-PLA OF AL TARGET IN THE AIR

V.I. Mazhukin^{1,2}, A.V. Shapranov^{1,2}, O.N. Koroleva^{1,2}, A.V. Mazhukin^{1,2}

¹*Keldysh Institute of Applied Mathematics of RAS, Moscow*

²*National Research Nuclear University MEPhI, Moscow*

tel: 8(499) 220 79 86

e-mail: vim@modhef.ru

The processes that accompany pulsed laser ablation (PLA) are used in a number of diagnostic and technological applications. Modeling of processes of pulse ablation involves into the consideration of the laser target heating (Fig. 1), heterogeneous phase transitions of the first kind (melting, evaporation), ionization of the vaporized material and ambient gas in the field of laser radiation, the space-time transport of mass, momentum and energy (the heat, radiation of the plasma) [1]. The mathematical description of the processes in the target is carried out in the approximation of 1-D unsteady hydrodynamic multi-front Stefan problem. In the gaseous medium processes are described in the framework of the 1-D radiative gas dynamic model. Using in simulation the dynamic adaptation method [2,3] allowed to explicitly allocate and monitor the dynamics of phase and contact boundaries and fronts of shock waves, to establish the role of phase transitions, laser plasma, thermal and contact interaction of the plasma plume with the evaporating surface of the target. Detailed modeling has allowed to introduce the structure of a laser-plasma torch in which were highlighted the periods of heterogeneous evaporation and condensation of evaporated substance on the target surface during the laser pulse, as well as the appearance and evolution of the 2-contact boundaries and 3 shock waves (Fig. 2).

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

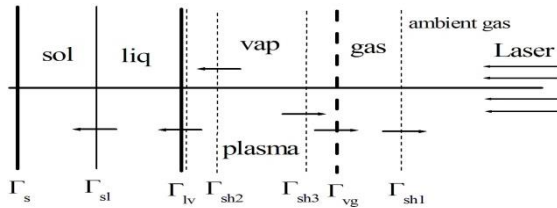


Fig.1. The scheme of the spatial position and direction of motion of shock wave fronts and interphase and contact boundaries

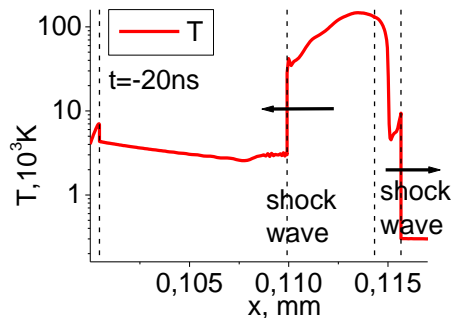


Fig. 2. Two shock waves after generation of plasma, $J = 70 \text{ J/cm}^2$, $\tau = 20 \text{ ns}$.

Acknowledgements. The work was carried out with the financial support of the RSCF project No 15-11-00032.

References:

- [1] V.I. Mazhukin, A.V. Mazhukin, M. G. Lobok. Comparison of Nano- and Femtosecond Laser Ablation of Aluminium. Laser Physics, vol. 19, № 5, pp. 1169 – 1178, (2009)
- [2] Breslavsky P.V., Mazhukin V.I., Dynamically Adapted Grids for Interacting Discontinuous Solutions, Computational Mathematics and Mathematical Physics, 47 (4), 687 – 706 (2007).
- [3] Mazhukin A.V., Mazhukin V.I., Demin M.M., Modeling of femtosecond ablation of aluminum film with single laser pulses, Applied Surface Science, 257, 5443–5446 (2011).

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

MODELLING AND EXPERIMENTAL STUDY OF TEMPERATURE PROFILES IN CONTINUOUS WAVE LASER DIODE BARS

**V.V. Bezotosnyi^{1,2}, V.P. Gordeev², O.N. Krokhin^{1,2},
V. A. Oleschenko¹, V.F. Pevtsov¹, Yu. M. Popov^{1,2}, E.A. Cheshev^{1,2}**

¹ *P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

² *MEPHI, Kashirskoye shosse 31, Moscow, Russia
on-vlad@yandex.ru +7(962)948-68-89*

With the help of a three-dimensional thermal model, the profiles of the temperature distribution along the width of the radiating aperture in continuous wave (CW) laser diode bars are calculated at different pumping levels. A standard CW laser bar design with a width of 10 mm, having 19 radiating clusters and a Fill factor $FF = 50\%$, mounted on a standard heat sink element of the C-S mount type is considered [1]. The calculated temperature profiles for individual clusters are obtained depending on their position at the radiating aperture and depending on the length of the laser bar resonator.

Uniformity of power and spectra of individual emitting clusters in the laser bar is very important parameter for increasing the operational characteristics including the reliable output power, which is now approaching kW –class level [2].

Spectral measurements of the radiation for the individual emitting clusters on experimental samples of laser bars with a continuous power of up to 60 W depending on the pump current are carried out.

Comparison and discussion of the calculated and experimental results are presented in order to increase the continuous output power in the resource reliable mode of operation.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

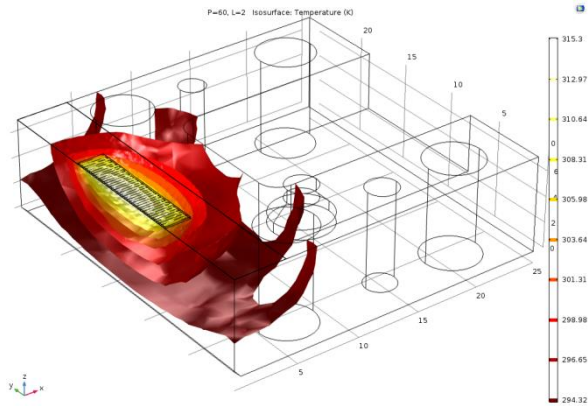


Fig.1. Calculated isothermic surfaces in CW laser diode bar on C-S mount.

- [1] Bezotosnyi V. V., Kozyrev, A. A.; Kondakova, N. S.; et al. 60-W continuous wave laser diode arrays emitting at a wavelength of 808 nm. Bulletin of the Lebedev Physics Institute, Vol. 43, p. 369. 2016.
- [2] S.G. Strohmaier, G. Erbert, A.H. Meissner-Schenk, M. Lommel, B. Schmidt, T. Kaul, M. Karow and P. Crump. kW-class Diode Laser Bars. TRUMPF Laser GmbH, Niederlassung Berlin, Berlin, Germany. / Proc. of SPIE Vol. 10086.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

POSSIBILITIES FOR APPLICATIONS LASERS IN EPIGENETIC THERAPY

S.D. Zakharov^{1,2}

¹ *P.N. Lebedev Physical Institute of RAN, Moscow, Russia*

² *National Research Nuclear University (MEPhI), Moscow, Russia
szakhar@sci.lebedev.ru*

The majority of attributes of individual (growth, weight, features of thinking, behavior, etc.) cannot be explained by his genetic data only. The role of epigenetic mechanisms is most obvious in early development when from single germ cell an adult organism have been formed with myriads of different specialized cells. Researches of last years strengthen interest to use spectrum-selective optical radiation for treatment of many somatic diseases.

The special role in health maintenance belongs to oxygen supply of organism. Usually disease begins with oxygen deficit in any part of body because of decrease of red blood cell deformability. The optical excitation of oxygen molecules into patient's blood allows counteracting to the oxygen starvation successfully. Diode lasers are the most suitable tool for realization of the method.

[1] D.J. Morre, M.C. Pharris, R.L. Pendleton, D.M. Morre, S.V. Gudkov, S.D. Zakharov. Oscillations in water luminescence recapitulate periodic changes attributed to ortho-para spin pairs of water hydrogens. *J. Phys. Chem. Biophys.*, vol. 6, 1000211 (2016).

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

INTERACTION OF ELECTROMAGNETIC WAVES WITH COLLOIDAL NANOPARTICLES: MODELING AND APPLICATIONS

I.N. Zavestovskaya^{1,2}

1- National Research Nuclear University “MEPhI”, Moscow, Russia

*2- N.G. Basov Quantum Radiophysics Department of P.N. Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia
INZavestovskaya@mephi.ru*

Solid-state nanoparticles (NPs) can efficiently absorb the energy of electromagnetic radio-frequency (RF) radiation and subsequently release it into surrounding medium in the form of heat. A wide variety of materials was proposed to design novel NP-based contrast agents in thermal-related medical technologies.

In present paper, we review our recently obtained data on developing the model of the interaction of spherical colloidal nanoparticles with low-frequency electromagnetic waves. The aim was to describe quantitatively the interaction of NP-electrolyte system with low-frequency electromagnetic waves for medical applications.

We consider the RF heating of a nanoparticle immersed into the electrolyte solutions of varied conductivity. The proposed model allowed us to successfully describe the previously observed effect of strong heating of aqueous suspension of Si and Au NPs under RF irradiation with frequencies varied from 0.1 MHz to 500 MHz. We focused only on the description of heating in MHz region and did not take into account the dielectric losses in water. Our phenomenological analysis shows that presence of NPs can significantly affect the RF heating, especially at low electrolyte conductivities. The model explains the heating dependence on frequency of electromagnetic waves. We also found that optimum particle conductivity for maximum heating is located in range 0.1-1 Sm/m at 30 MHz and -50 mV zeta-potential, while the NP size shows quite insignificant impact on the heating.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

The developed model can be useful to design and develop new contrast agents for RF-acoustic tomography and solid sensitizers for the RF hyperthermia of cancer.

Silicon nanostructures look as a prominent example of such nanostructures. Si nanoparticles are not only biocompatible, but also biodegradable as in biological tissue they normally decay into orthosilicic acid $\text{Si}(\text{OH})_4$, which is naturally excreted from the body through the urine. In addition, Si nanoparticles can be prepared in pure, uncontaminated state by e.g. using methods of laser ablation in gaseous or aqueous ambience, which excludes any secondary biotoxicity related to the contamination of the nanoparticle surface. Finally, Si nanoparticles can exhibit a series of unique properties, including room temperature photoluminescence, singlet oxygen generation under photoexcitation, infrared radiation-induced and ultrasound-induced hyperthermia, which can be applied in parallel to the RF hyperthermia approach.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ ОДНОЧАСТОТНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

В.Дураев¹, С.Медведев²

^{1,2} Россия, Москва, ЗАО «Нолатех», nolatech@mail.ru

Представлены результаты работ по созданию одночастотных перестраиваемых по длине волны полупроводниковых лазеров с внешним резонатором на основе волоконных брэгговских решеток, сформированных в одномодовом волоконном световоде. Рассмотрены способы плавной перестройки длины волны излучения. Представленные лазеры способны генерировать стабильное излучение с узкой шириной линии в диапазоне 635-1650 нм. Приведены основные области их применения.

Основными элементами конструкции являются: двухпроходный оптический усилитель с отражающим покрытием на задней грани резонатора 90% и просветляющим покрытием на передней грани 0,01% и брэгговская решетка, сформированная в одномодовом световоде. Коэффициент отражения решетки обычно составляет 10-20%, селективность 0,1...10 нм. Для лучшего согласования лазерного кристалла с волоконным световодом на конце последнего формируется микролинза, увеличивающая эффективность стыковки до 80%. Для уменьшения обратных отражений на микролинзу наносится просветляющее покрытие.

Плавная перестройка длины волны может быть осуществлена в пределах спектра отражения решетки за счет изменения тока инжекции или температуры ЛД.

Более стабильная перестройка в более широком диапазоне возможна за счет изменения показателя преломления волокна в области решетки. Волокно с решеткой помещается на пьезокерамику, способную изменять линейные размеры.

Получены следующие результаты для плавной перестройки: диапазон перестройки — 1,5 нм; шаг перестройки — менее 0,1 нм; мощность излучения — до 100 мВт (до 1 Вт в импульсе); ширина линии генерации — <100 кГц.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

КВАНТОВЫЙ КАСКАДНЫЙ ЛАЗЕР НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПАРЫ GaInAs/AlInAs С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ 5,6 МКМ И РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ БОЛЕЕ 300 К

**И.И.Засавицкий¹, Н.Ю.Ковбаса¹, А.В.Лобинцов², Ю.В.Курнявко²,
П.В. Горлачук², А.Б. Крыса³, Д.Г. Ревин³, J.W. Cockburn³**

¹ *Физический институт им. П.Н. Лебедева, 119991 Москва, Ленинский проспект 53*

² *АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», 117342 Москва, ул. Введенского, д. 3*

³ *University of Sheffield, Sheffield, S1 3JD United Kingdom*

На основе напряженно-компенсированной гетеропары Ga_{0,4}In_{0,6}As/Al_{0,58}In_{0,42}As создан квантовый каскадный лазер, работающий в области длин волн 5,5 – 5,6 мкм в импульсном режиме при температуре до 350 К. Это стало возможным благодаря увеличению глубины квантовой ямы (разрыва зоны проводимости) и использованию двухфононного механизма опустошения нижнего лазерного уровня. Рассчитанный вольтовый дефект составляет около 100 мэВ. Лазерная гетероструктура была выращена методом МОС-гидридной эпитаксии. Характеризация структуры проведена методом рентгеновской дифрактометрии высокого разрешения. Показано, что структура обладает высоким качеством, ширина основных спутных пиков составляет 55 угл. сек. Толщина одного каскада активной области, измеренная по расстоянию между спутниками, составляет 50,5 нм, что согласуется с заданным технологическим значением 51,2 нм. Пороговая плотность тока составляет 1,6 кА/см² при 300 К. Характеристическая температура составляет T₀ = 161 К для интервала температур 200 - 350 К. Максимальная мощность излучения лазера с размерами 30 мкм×3 мм и сколотыми зеркалами составляет 550 мВт при 80 К и 50 мВт при 300 К.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ОПТИМИЗАЦИЯ ФАЗОВЫХ МАСОК ДЛЯ 3D ЛОКАЛИЗАЦИИ НАНОРАЗМЕРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

**В.Г. Волостников¹, Е.Н. Воронцов¹, С.П. Котова^{1,2}, Н.Н. Лосевский¹,
Д.В. Прокопова^{1,2}, С.А. Самагин¹А.**

¹ Самарский филиал ФИАН, Самара, Россия

*² Самарский национальный исследовательский университет имени
ак. С.П. Королева, Самара, Россия
e-mail: kotova@fian.smr.ru*

Один из развиваемых в настоящее время методов определения продольных координат излучающих наноразмерных объектов состоит в модификации оптической передаточной функции микроскопа с помощью фазовой маски, преобразующей изображение точечного объекта в световое поле с двумя выделенными максимумами интенсивности (гантелеподобное или двухлепестковое поле). Его ориентация в поперечной плоскости зависит от продольной координаты излучателя. Данная работа посвящена поиску фазового пропускания маски, позволяющей эффективно осуществить указанное преобразование.

Показано, что сформировать двухлепестковое поле с вращением распределения интенсивности вблизи плоскости фокусировки можно с помощью фазового распределения соответствующего спирального пучка. С использованием итерационного алгоритма получены фазовые маски, обладающие большей энергетической эффективностью [1]. Исследованы особенности и качество формирования световых полей, в том числе при наличии амплитудных и фазовых искажений.

[1] В.Г. Волостников, Е.Н. Воронцов, С.П. Котова, Н.Н. Лосевский, Д.В. Прокопова, Дифракционный элемент на основе спиральных пучков для определения глубины залегания излучающих объектов, Известия РАН. серия Физическая, 841–845 (2016).

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ПОЛЯРИЗАЦИИ АКТИВНОЙ СРЕДЫ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В СВЕРХИЗЛУЧАЮЩИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРАХ

Вл.В.Кочаровский, А.С.Гаврилов, Е.Р.Кочаровская, А.В.Мишин, И.С.Рябинин, А.Ф.Селезнев, В.В.Кочаровский*

*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, РФ
Техасский A&M университет, г. Колледж Стейшэн, США

Как показано в обзоре Кочаровский Вл.В. и др. УФН **187** (№ 4) 367 (2017), недавняя экспериментальная реализация суперфлюоресценции (коллективного спонтанного излучения Дике при импульсной накачке) в ряде полупроводниковых структур свидетельствует о возможности создания сверхизлучающего гетеролазера с непрерывной накачкой. В представленной работе впервые показано, что исследование режимов его генерации, имеющей сложный многомодовый импульсный характер, может быть основано на анализе динамических спектров поляризации активной среды, т.е. на изучении спектрально-временной динамики оптических дипольных колебаний активных центров, обладающих различными собственными частотами в рассматриваемом случае неоднородного уширения спектральной линии активной среды. Дело в том, что именно поляризация в существенной мере определяет динамические свойства сверхизлучающего лазера, в котором время её поперечной некогерентной релаксации T_2 значительно превышает время жизни фотонов в модах низкодобротного лазерного резонатора T_E .

В докладе проведено сравнение динамических спектров поляризации активной среды и поля излучения лазера для различных режимов его работы, рассчитанных путём численного решения уравнений Максвелла-Блоха для двухуровневой активной среды в комбинированном резонаторе Фабри-Перо с распределённой брэгговской связью встречных волн. Для типичных наборов параметров активной среды и резонатора, допускающих генерацию импульсов сверхизлучения при непрерывной накачке, установлено, что дина-

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

мические спектры поляризации позволяют наиболее полно охарактеризовать режимы генерации и физические процессы взаимодействия как лазерных мод, так и различных групп активных центров. Предложенный подход анализа динамических спектров поляризации представляется перспективным для изучения сложной когерентной динамики лазерных систем сверхизлучательного типа и особенностей кооперативного поведения активных центров в различных многочастичных ансамблях, в том числе демонстрирующих неравновесные фазовые переходы.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ФОРМИРОВАНИЕ МАССИВОВ ПЛАЗМОННЫХ НАНОСТРУКТУР ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Ю.Н.Кульчин

*Институт автоматики и процессов управления ДВО РАН и Национальный исследовательский университет «МИФИ»
kulchin@iacp.dvo.ru*

Биосенсорика является бурно развивающимся направлением, что обусловлено прежде всего активным использованием различных видов сенсоров в медицине. Биосенсоры используются для проведения сложных биохимических анализов в клинических условиях, например, для определения содержания метаболитов, лекарств или гормонов в биологических жидкостях человека. Однако в последнее время все большее распространение получают биосенсоры, предназначенные для индивидуального анализа в домашних условиях. Использование биосенсоров позволяет снизить риск ошибки при постановке диагноза, проводить экспресс-диагностику, не прибегая к услугам лабораторий, а также уменьшить затраты на проведение анализов. Плазмонные биосенсоры являются на сегодняшний день одними из наиболее эффективных инструментов для исследования биомолекулярных взаимодействий, детектирования определенных химических или биологических соединений и микроорганизмов. Они дают возможность детектировать молекулы, бактерии, клеточные органеллы и т.д. с концентрацией менее 1 нг/мл. В зависимости от нанесенной на сенсор адсорбционно-селективной среды сенсор может использоваться для детектирования разных веществ. Именно это обуславливает разнообразие областей, в которых в настоящее время применяются оптические биосенсоры. Одним из распространенных, универсальных и исключительно дешевых (по сравнению с литографией) способов создания суб-микронных и наномасштабных упорядоченных структур для плазмонных оптических биосенсоров является одно- или многоимпульсное воздействие сильнофокуси-

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

рованного пико- и фемтосекундного лазерного излучения на металлические пленки из благородных металлов, нанесенных на диэлектрические или полупроводниковые подложки.

В работе [1] впервые было показано, что прямое облучение сфокусированным фемтосекундным лазерным импульсом тонких пленок серебра и золота на стеклянной подложке позволяет получить куполоподобные выступы, возникающие вследствие комбинации процессов быстрой плавки, акустической релаксации, деформации и рекристаллизации металлической пленки. Этот метод получил развитие в работах [2-4], в которых было предложено производить последующую полировку обработанной лазером поверхности расфокусированным пучком ионов аргона. Это позволило создавать на поверхности подложки разнообразные массивы плазмонных структур. Было показано, что подбор режимов лазерной абляции, а также толщины модифицируемой пленки позволяют контролировать геометрические размеры формируемых плазмонных структур.

В настоящем докладе приводятся результаты исследований по формированию упорядоченных массивов плазмонных наноструктур импульсным лазерным излучением в зависимости от параметров лазерного излучения, материала и толщины металлической пленки, а также демонстрируются возможности их использования в качестве элементов биосенсоров.

[1] A. Kuchmizhak, O. Vitrik, Yu. Kulchin, D. Storozhenko, A. Mayor, A. Mirochnik, S. Makarov, V. Milichko, S. Kudryashov, V. Zhakhovsky, N. Inogamov, Laser printing of resonant plasmonic nanovoids. *Nanoscale*, (2016). DOI: 10.1039/c6nr01317a

[2] A. A. Kuchmizhak, S.O. Gurbatov, Y.N. Kulchin, O.B.Vitrik, Plasmon mode excitation and photoluminescence enhancement on silver nanoring. *Optics Communications*, 356, 1-6, (2015).

[3] A. Kuchmizhak, S. Gurbatov, O. Vitrik, Y. Kulchin, V. Milichko, S. Makarov, S. Kudryashov, Ion-beam assisted laser fabrication of sensing plasmonic nanostructures. *Scientific Reports*, 6, 19410, (2016).

[4] A. Kuchmizhak, A. Ionin, S. Kudryashov, S. Makarov, A. Rudenko, Yu. Kulchin, T. Efimov, Flash-imprinting of intense femtosecond surface plasmons for advanced nanoantenna fabrication. *Optics letters*, 40(8), 1687-1690, (2015).

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 800-850 НМ

**М.А. Ладугин, А.А. Мармалюк, А.В. Лобинцов,
С.М. Сапожников, В.А. Симаков**

*АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»,
Москва, 117342, ул. Введенского, 3, корп. 1
maximladugin@mail.ru*

Мощные лазерные линейки и решетки ближнего инфракрасного спектрального диапазона (800-850 нм) благодаря непрерывному улучшению своих параметров нашли огромное количество практических применений. Их успехи были достигнуты за счет развития и совершенствования трех этапов их изготовления: МОС-гидридной эпитаксии, технологии формирования активного элемента и технологии сборки многоэлементных излучателей [1].

В работе представлены результаты исследований и разработок, целями которых было увеличение предельной мощности и КПД лазера путем уменьшения потерь, снижения электрических и тепловых сопротивлений. Большая часть работы была посвящена исследованию различных вариантов конструкций и технологии получения квантоворазмерных гетероструктур AlGaAs/GaAs и их взаимосвязи с излучательными характеристиками. Кроме того, обсуждено влияние технологии сборки активного элемента на приборные параметры многоэлементных излучателей.

В результате предпринятых действий удалось достичь высоких значений коэффициента преобразования электрической мощности в оптическую ($> 60\%$) и высокой плотности выходной оптической мощности ($> 5 \text{ кВт/см}^2$) для лазерных решеток в различных спектральных диапазонах (795 нм, 808 нм, 826 нм и 852 нм).

[1] M. Ladugin et al., Laser diode bars based on AlGaAs/GaAs quantum-well heterostructures with an efficiency up to 70%, QUANTUM ELECTRON, vol. 47 (4), 291–293 pp., (2017)

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ОДНОМОДОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ОСНОВЕ AlGaInAs/InP С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ СВЫШЕ 300 мВт

А.А. Мармалюк, Ю.Л. Рябоштан, П.В. Горлачук, М.А. Ладугин, А.А. Падалица, Ю.Л. Курнявко, А.В. Лобинцов, С.М. Сапожников, В.Д. Курносов, В.И. Романцевич, Р.В. Чернов, К.В. Курносов, А.В. Иванов, В.А. Симаков

*АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», Москва, Россия
e-mail address: almarm@mail.ru*

Во многих практических приложениях востребованы мощные полупроводниковые лазеры на основе гетероструктур AlGaInAs/InP, излучающие на длине волны 1500-1600 нм. Для повышения уровня выходной мощности таких приборов хорошо зарекомендовал себя подход по использованию широких волноводов при создании многомодовых излучателей (например, [1]). В данной работе исследованы перспективы распространения данного подхода для получения одномодовых полупроводниковых лазеров указанного спектрального диапазона с повышенной выходной мощностью.

Представлены результаты влияния конструкции гетероструктур на уровень выходной мощности полупроводниковых лазеров.

Показано, что использование асимметричных расширенных волноводов позволяет создавать одномодовые полупроводниковые лазеры с выходной мощностью свыше 300 мВт в спектральном диапазоне 1500-1600 нм.

[1] П.В. Горлачук, Ю.Л. Рябоштан, А.А. Мармалюк, В.Д. Курносов, К.В. Курносов, О.В. Журавлева, В.И. Романцевич, Р.В. Чернов, А.В. Иванов, В.А. Симаков, Мощные импульсные лазерные излучатели спектрального диапазона 1.5-1.6 мкм, Физика и техника полупроводников, Т. 48, С. 100-103, (2014).

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ НАНОСЕКУНДНЫХ Nd:АИГ ЛАЗЕРОВ С ПОПЕРЕЧНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

В.А. Орлович¹, Р.В. Чулков¹, В.И. Дашкевич¹, А.П. Шкадаревич², В.Ю. Маркевич¹, А.А. Русак¹, Д.Д. Молотков³

¹*Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

²*Научно-технический центр «ЛЭМТ «БелОМО», Минск, Беларусь*

³*ЗАО «Солар-ЛС», Минск, Беларусь.*

e-mail: v.orlovich@dragon.bas-net.by

Лазерные диоды широко используются для накачки твердотельных лазеров. Уменьшение тепловых эффектов при поперечной диодной накачке обеспечивает благоприятные условия для получения излучения с высокой средней мощностью при нелинейно-оптическом преобразовании.

В настоящем докладе излагаются результаты исследований и создания лазерно-нелинейно-оптической системы, включающей в себя импульсный Nd:АИГ лазер с кольцевым резонатором и «сухим» квантроном (ИФ НАНБ) с поперечной диодной накачкой, параметрический генератор света (ПГС) на кристалле КТР и лазеры на основе вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР-лазеры) в кристаллах нитрата бария (NB) и KGW.

Nd:АИГ лазер генерирует импульсы длительностью ~ 14,5 нс с частотой следования до 25 Гц, энергия импульсов на основной-четвертой гармониках – 160, 100, 32 и 30 мДж, соответственно, расходимость < 1,5 мрад. Его основная гармоника служила накачкой для кольцевого ПГС. Получена стабильная долговременная (>10⁶ импульсов) генерация на длине волны 1570 нм с энергией импульсов до 30 мДж.

Вторая гармоника накачивала ВКР-лазеры с высокоселективными трехзеркальными резонаторами, обеспечивающими эффективную генерацию излучения любой из 3-х стоксовых компонент. Диэлектрические зеркала с высокой лучевой прочностью (≥ 2.5 ГВт/см²) и сложным профилем коэффициента отражения в диапа-

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

зоне 532 – 800 нм (НТЦ «ЛЭМТ») позволили получить генерацию на длинах волн 559,563, 588, 599, 621 и 639 нм с энергией импульсов, соответственно, 30, 34, 24, 22, 23 и 25 мДж. Излучение с длиной волны 281,5 нм на удвоенной частоте 1-ой стоксовой компоненты NB было использовано для зондирования озона в атмосфере.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

МОЩНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ДИОДЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 1400-1600 НМ

**Н.А.Пихтин¹, Д.А.Веселов¹, А.В.Лютецкий¹, С.О. Слипченко¹,
К.В. Бахвалов¹, П.В. Горлачук², М.А.Ладугин², А.А.Мармалюк²,
А.А.Падалица², Ю.Л.Рябоштан²**

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, 26

² ООО «Сигм плюс», 117342, г. Москва, ул. Введенского, 3
e-mail: nike@hpld.ioffe.ru

В последнее время мощные лазерные диоды спектрального диапазона 1400-1600 нм длин волн стали востребованы во многих областях (медицина, дальнометрия, специальные применения) в силу их большей безопасности для глаз в сравнении с мощными лазерами микронного диапазона длин волн.

В докладе будут обсуждаться результаты исследований мощностных, спектральных и пространственных характеристик, а также КПД и срок службы мезаполосковых лазерных диодов с апертурой 100 мкм на основе разработанных AlGaInAsP/InP квантово-размерных гетероструктур раздельного ограничения различных конструкций, выращенных МОС-гидридной эпитаксией.

Для обеспечения линейности ватт-амперной характеристики лазера при высоких токах накачки разработана конструкция гетероструктуры с расширенным волноводом, снижающим внутренние оптические потери, и слоем энергетического барьера, который повышает внутренний квантовый выход стимулированного излучения. Это позволило обеспечить в лазерах максимальный КПД 40% и выходную оптическую мощность 4 Вт в непрерывном режиме при комнатной температуре.

Для достижения максимальных оптических мощностей предложена конструкция лазера со сверхузким волноводом, которая обеспечивает 4.5 Вт непрерывной и 20 Вт пиковой оптической мощности (длительность импульса 100 нс, частота 1 кГц).

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

**НОВЫЕ ПОДХОДЫ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ МОЩНЫХ
ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ОСНОВЕ
МНОГОПЕРЕХОДНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР
ЛАЗЕРОВ-ТИРИСТОРОВ**

**С.О. Слипченко¹, А.А. Подоскин¹, В. Головин¹, Н.А. Пихтин¹,
Т.А. Багаев², М.А. Ладугин², А.А. Мармалюк², В.А. Симаков²**

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

² НИИ "Полус" им. М.Ф. Стельмаха, Москва, Россия
e-mail: serghpl@mail.ioffe.ru

Представлены последние результаты в области экспериментальных и теоретических исследований динамики электрооптических характеристик мощных лазеров-тиристоров на основе многопереходных гетероструктур. Показано, что пространственная локализация тока определяет динамику лазерной генерации в режиме генерации импульсов в диапазоне длительностей от суб-нс до единиц нс. Экспериментально продемонстрирована возможность генерации высокочастотной последовательности лазерных импульсов длительностью 100пс лазерами-тиристорами с узким полосковым контактом. Показано, что процесс формирования суб-нс лазерных импульсов может быть описан в рамках квази-двухсекционной конструкции Фабри-Перо резонатора, включающей секцию насыщающегося поглотителя и секцию усиления, сформированные в результате пространственной локализации тока накачки. Разработаны и исследованы конструкции лазеров-тиристоров, обеспечивающие генерацию лазерных импульсов пиковой мощностью до 200Вт с одиночного кристалла лазера-тиристора. Показано, что эффективная лазерная генерация может сохраняться в одиночных кристаллах лазера-тиристора с выходной апертурой до 1000мкм. Полученные результаты должны позволить в будущем создать компактный монолитный генератор лазерных импульсов с пиковой мощностью кВт уровня на базе монолитных кристаллов лазеров-тиристоров.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ЭВОЛЮЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МОЩНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ

З.Н. Соколова¹, Н.А. Пихтин¹, Л.В. Асрян²

¹*ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая, 26, Россия*

²*Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, USA
zina.sokolova@mail.ioffe.ru*

Теоретически исследованы полупроводниковые лазеры с квантовыми ямами, характеристики которых могут состоять из двух ветвей. Вторая ветвь появляется в лазерных структурах после достижения второго порога генерации, выше которого лазерные характеристики становятся вырожденными. Наличие второй ветви обусловлено ростом внутренних оптических потерь лазера с увеличением тока накачки. В наших расчетах мы также учитывали: 1) немгновенность захвата носителей заряда из волноводного области (области оптического ограничения) в квантовые ямы; 2) глобальную электронейтральность, которая заключается в равенстве суммарного заряда электронов в активной области и в волноводного области суммарному заряду дырок в этих двух областях.

Продемонстрировано различное поведение лазерных характеристик в зависимости от тока накачки для первой и второй ветвей. Ватт-амперная характеристика, например, приобретает вид "лестка". Внутренняя дифференциальная квантовая эффективность для второй ветви во всей области существования второй ветви больше единицы и имеет немонотонный характер, в то время как для первой ветви она меньше единицы и убывает с увеличением тока накачки.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ГЕНЕРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРНОЙ КЕРАМИКИ ПРОИЗВОДСТВА ГЛП «РАДУГА»

**В.В. Безотосный^{1,2}, В.В. Балашов³, В.Д. Булаев⁴, А.Ю.Канаев⁴,
В.Б.Кравченко³, А.В. Киселев⁴ Ю.Л.Копылов³,
А. Л. Коромыслов¹, О.Н. Крохин^{1,2}, К. В. Лопухин³, С.Л. Лысенко⁴,
М.А.Панков⁴, К.А. Полезов^{1,2}, Ю.М.Попов^{1,2}, Е.А. Чешев^{1,2},
И.М. Тупицын^{1,2}**

(imtupitsyn@yandex.ru)

¹ – ФИАН, 119991, Москва, Ленинский проспект, д.53

² – НИЯУ МИФИ, 115409, г. Москва, Каширское ш., 31

³ - ФирЭ РАН им. В.А. Котельникова, 141190, г. Фрязино Московская область, пл. Введенского 1

⁴ – ФКП «ГЛП «Радуга», г. Радужный, а/я 771

Исследованы генерационные характеристики лазерной керамики производства ФирЭ РАН им. В.А. Котельникова и ФКП «ГЛП «Радуга». Лазерная керамика изготовлена с использованием технологии, разработанной ФирЭ РАН. Оценены времена жизни лазерного уровня в Nd:YAG керамиках с концентрацией иона-активатора 1, 2, 3, 4% ат., Полученные значения времен жизни 240, 183, 136 и 105 мкс при указанных концентрациях иона активатора хорошо согласуются с данными зарубежных исследований [1,2]. Генерационные характеристики лазерных керамик «ГЛП «Радуга», ФирЭ РАН и Konoshima Chem. Corp.

Ltd, как эталонного образца, исследованы в условиях синхронизации поперечных мод при продольной диодной накачке, т.е. в условиях, проявляющих высокую чувствительность к концентрации остаточных пор [3]. Исследованы зависимости порогов генерации от длины резонатора в области полуконфокальной конфигурации резонатора и пространственные распределения излучения в полуконфокальной конфигурации. Порог генерации вблизи полуконфокальной конфигурации образцов керамики «ГЛП «Радуга» практически совпадает с порогом генерации керамики Konoshima Chem. Corp. Ltd, что дает оценку концентрации остаточных пор в

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

керамике ГЛП «Радуга» не более 1...2 ppm. Вид пространственного распределения интенсивности излучения в лазерах на указанных керамиках в полуконфокальной конфигурации резонатора в условиях синхронизации поперечных мод позволяет заключить, что лазерное качество керамик ФИРЭ РАН и «ГЛП «Радуга» не уступает керамике Konoshima Chem. Corp. Ltd. В схемах с продольной и поперечной накачкой для образцов керамик измерен дифференциальный КПД. В случае продольной накачки измеренное значение составило 62%, с поперечной- 70%. Большее значение КПД в последнем случае объясняется равномерной прокачкой активного элемента. Таким образом, можно утверждать, что отечественная технология производства лазерной керамики позволяет получать керамику не уступающую лучшим мировым образцам.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-32-00834, № 16-52-00138 и при поддержке программы президиума РАН I.25П "Фундаментальные и прикладные проблемы фотоники и физика новых оптических материалов".

1. J.-F. Bisson, K. Ueda et al *Recent Res. Devel. Applied Phys.*, 7, 475-496 (2004)

2. J.Lu, M.Prabhu, K.Ueda, H.Yagi, T.Yanagitani, A.Kudryashov, and A.A. Kaminskii //Potential of Ceramic YAG Lasers // *Laser. Phys.* 11, 1053-1057 (2001)

3. Kaminskii, A. A.; Balashov, V. V.; Cheshev, E. A.; et al, High quality Y3Al5O12 doped transparent ceramics for laser applications, role of sintering additives, V International Symposium on Coherent Optical Radiation of Semiconductor Compounds and Structures, Volume: 740, 2016

ЛАЗЕРЫ ИК-ДИАПАЗОНА НА ПЕРЕХОДАХ КУЛОНОВСКИХ ЦЕНТРОВ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ

Шагин В.Н.

*Институт физики микроструктур РАН, ГСП-105, Н. Новгород, Россия
e-mail: shastin@ipmras.ru*

Целью доклада является краткий обзор теоретических и экспериментальных исследований эффектов стимулированного излучения длинноволнового ИК-диапазона на внутрицентровых переходах доноров и акцепторов в полупроводниках при их оптическом возбуждении. Единственным полупроводником, на котором к настоящему времени подобные эффекты удалось получить, является кремний, легированный донорами V группы (Sb, P, As, Bi; Рис.1) или акцепторами бора. Существенным недостатком отмеченных сред являются низкие рабочие температуры, которые по причине термоионизации верхних рабочих состояний не превышают 20 К [1-3]. Предполагается вынести на обсуждение и возможность получения стимулированного излучения, на межзонных переходах оптически возбуждаемых дырок в структурах с размерным квантованием на основе GaAs или Ge. Привлекает возможность реализовать данную схему на SiGe/Ge структурах, и она может работать при температуре жидкого азота и выше.

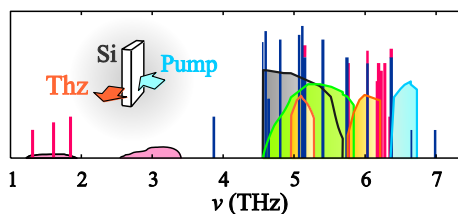


Рис.1. Частоты излучения кремниевых лазеров с донорами Sb, P, As, Bi.
[1] К.А. Ковалевский и др., *Квантовая электроника*, **45**:2,113 (2015)
[2] S.G. Pavlov, et al., *Phys.Rev.X* 4, 021009 (2014)
[3] S.G. Pavlov, et al., *Phys. Status Solidi B* **250**, No.1, 9-36 (2013)

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

КОЛЛЕКТИВНЫЕ МОДЫ В СДВОЕННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИСКОВЫХ ЛАЗЕРАХ НА МОДАХ ШЕПЧУЩЕЙ ГАЛЕРЕИ

М.А. Ройз^а, А.Н. Баранов^б, А.Н. Именков^а, Д.С. Буренина^а, А.А. Пивоварова^а, А.М. Монахов^а, Е.А. Гребенщикова^а, Ю.П. Яковлев^а

^а *Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: michaelroyz11@gmail.com*

^б *Institut d'Electronique du Sud (IES), Universite Montpellier, Montpellier, France*

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию коллективных и нелинейных явлений в полупроводниковых WGM-лазерах с одиночными и сдвоенными резонаторами на основе квантово-размерной нано-гетероструктуры GaInAsSb/AlGaAsSb. Сдвоенные оптические резонаторы (их еще называют фотонными молекулами) представляют большой интерес, так как в них проявляются нетривиальные эффекты, которые могут найти свое применение в различных областях науки и техники. В большинстве работ, посвященных фотонным молекулам, рассматриваются системы, состоящие из пассивных оптических элементов (микрорезонаторы с оптической накачкой). Отличительная особенность данной работы заключается в том, что она направлена на изучение коллективных явлений в лазерных системах с электрической накачкой. Мы предлагаем как традиционные, так и совершенно новые методы и подходы к решению поставленных задач. В ходе исследований будет подробно изучена модовая структура и динамика работы полупроводниковых WGM-лазеров с одиночными и сдвоенными резонаторами. Отдельное внимание будет уделено созданию физических моделей, которые помогут объяснить физические механизмы, происходящие в рассматриваемых лазерных системах.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур

Стеновые доклады

THEORETICAL MODELING OF LASER METAL NANOPARTICLES FRAGMENTATION IN WATER

A. A. Ananskaya^{1,2}, **I. N. Zavestovskaya**^{1,2}, **A. P. Kanavin**^{1,2},
O. V. Rodionova²

¹ *P.N. Lebedev Physical Institute of RAS, Moscow, Russia*

² *National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia*

korolek2512@yandex.ru

Due to the unique optical, physical and chemical properties, metal nanoparticles become more and more popular, and find wide applications in optics, electronics, biomedicine, analytical chemistry and photochemistry. Gold nanoparticles are of special interest because of their chemical stability. There are various methods to produce the nanoparticles. Of special note is the laser ablation. Laser ablation in liquids is an effective physical method to produce the nanoparticles in the form of colloids. However, ablation in water and other solutions in the absence of chemically active components results in the formation of rather large-sized nanoparticles with a wide size spectrum. In this connection, to reduce the size of nanoparticles their colloids are additionally treated by ultrashort laser pulses, and this results in the fragmentation of produced nanoparticles [1]. For example, Werner et al [2] investigated femto-second fragmentation of the aqueous solution of gold nanoparticles with a diameter of 60 nm. Using in situ microscopy and transmission electron microscopy thresholds of fragmentation were identified: (7.3 ± 1.5) mJ/cm² for irradiation at a wavelength of 400 nm and (3.6 ± 0.5) mJ/cm² for 532 nm.

The aim of this work was to study the physical model of the processes of electrization and fragmentation of gold nanoparticles in water under the action of femtosecond laser pulses. To test this model, we also needed to identify thresholds of fragmentation of gold nanoparticles and compare them with experimental data.

All numerical calculations in this study were conducted in the MATLAB software environment. For approximation of obtained dependencies, Origin8 was used. The considered physical model of metal

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

nanoparticle fragmentation is based on the electrization of metal nanoparticles heated by a laser pulse, and their division under the development of instability of a charged liquid metal drop. As a mechanism of electrization we have considered the process of hot electrons' emission from the surface of a nanoparticle and further solution in water [3]. A numerical solution has been performed of the problem of gold nanoparticle heating under the absorption of femtosecond laser pulses. A system of equations which describe the propagation of electrons in the dielectric medium taking into account their spatial self-charge was formulated and numerically solved.

The estimates of the potential gained by the nanoparticle due to the electron thermionic emission and their further solution have been obtained. On the basis of the Rayleigh drop model, the criterion of nanoparticle fragmentation has been found, as well as the dependence on the nanoparticle size. It has been shown that at the moment of nanoparticle complete melting the potential gained by the particle due to the electron thermionic emission turns to be significantly higher than the stability threshold of the gold charged drop, and the particle disintegrate. The calculated critical values of laser radiation F_{melt} needed to completely melt the 60 nm nanoparticles for $\tau_{pul}=150$ fs and $\lambda=400$ nm and 532 nm are in good agreement with the critical values of such nanoparticles' disintegration obtained experimentally and confirmed by numerical calculations in [2]. Thus as soon as the gold nanoparticle goes into a liquid state it turns to be Rayleigh unstable. The discussed mechanism of gold nanoparticle fragmentation does exist in practice.

- [1] Besner S., Kabashin A.V., Meunier M., Appl. Phys. Lett. **89**, 233122 (2006)
- [2] Werner D., Furube A., Okamoto T., Hashimoto S., J. Phys. Chem. C **115**, 8503 (2011)
- [3] Zavestovskaya I.N., Kanavin A.P., Makhlysheva S.D., Bulletin of the Lebedev Physics Institute, **40**, 335-338 (2013)

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

STIMULATED THZ EMISSIONS ON BLOCH AND WANNIER-STARK TRANSITIONS FROM SIMPLE SUPERLATTICE OUTSIDE NDC REGION

A.A.Andronov, A.V.Ikonnikov, K.V. Маремьянин, V.I.Pozdnykova, Y.N. Nozdrin¹⁾, A.A. Marmalyuk, A. Padalitsa, M. Ladugin²⁾, V. Belyakov, I. Ladenkov, A. Fefelov³⁾

1. Inst. for Physics of Microstructures RAS, Nizhny Novgorod, Russia

2. Sigm-Plus, Moscow, Russia

3. «Salut», Nizhny Novgorod, Russia

andron@ipmras.ru

Narrow band THz emissions at 2.6 - 2.8 THz are observed from liquid helium cooled 1 mm disk chips made from two wafers (N 1755 and 2239) with very low n type doped weak barrier GaAs-GaAlAs superlattice of 1000 periods. The emissions (both above and below the Bloch frequency) are at of about 8.0 - 18.0 V pulsed voltage applied to chips in region of chip positive DC differential conductivity that guaranties absence of inhomogeneous electric field domains in chips.

Frequencies of the emission bands are characterized by cyclotron resonance filter which show that the band width is of about that of narrow band of a THz quantum cascade laser. By using long voltage pulses chip heating beyond 100~K is achieved with almost no (low) change in the emission power.

We speculate that the emissions are super luminescence (amplification) of whispering gallery modes in the chip as a result of inverted Wannier-Stark level transitions under bias.

These results are the first world demonstration of THz stimulated emission in simple superlattice within region of positive DC differential conductivity; they give strong impetus for development of THz and higher frequency sources based on such simple superlattices which should compete well with THz quantum cascade lasers in particular at elevated temperatures.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

SILICON NANOSTRUCTURES FOR VISIBLE AND INFRARED PHOTONIC DEVICES

**R.B. Assilbayeva¹, A. Zh. Turmukhamedov¹, K. S. Sekerbayev²,
E. T. Taurbayev², V. E. Nikulin², T. I. Taurbayev², S. P. Rodichkina³,
V.Yu. Timoshenko^{3,4,5}**

¹*Kazakh National Research Technical University after K.I. Satpayev, 050013
Almaty, Kazakhstan*

²*al-Farabi Kazakh National University, Physical-Technical Department,
050040 Almaty, Kazakhstan*

³*M.V.Lomonosov Moscow State University, 119991 Moscow, Russia*

⁴*National Research Nuclear University "MEPhI", 115409 Moscow, Russia*

⁵*Lebedev Physical Institute of RAS, 119333 Moscow, Russia*

Various types of silicon-based nanostructures as porous silicon (PSi) and multilayer structures of PSi possess tunable optical properties, which are promising for applications in different photonic devices as mirrors, filter, polarizers etc. Silicon nanowires (SiNWs), which are formed by metal-assisted chemical etching (MACE), are characterized by very low reflectance in the UV and visible spectral regions and are promising for applications as antireflection coatings for Si-based solar cells. In our work the photonic properties of PSi and SiNWs structures formed by electrochemical etching, stain etching and MACE have been comparatively studied. Theoretical analysis and experimental data showed that it was possible to select a profile of the effective refractive index of PSi layer with total thickness about 500 nm, which allowed us to achieve a very low reflection about 1-4% and transmittance up to 96% in the range from 400 to 1100 nm. SiNWs were formed by MACE of lightly and heavily boron-doped p-type (100) c-Si substrates. SiNW layers with thickness above 500 nm demonstrated a strong decrease of the total reflectance below 1% in the spectral region of 300-1000 nm that could be used as antireflection coating for solar cells. Numerical simulations predict a strong influence of free charge carriers with concentration above 10^{18} cm^{-3} in the cores of SiNWs on both the reflection and absorption in the spectral range below 1 μm . The obtained experi-

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур

mental data confirm the theory predictions and indicate that such kind of Si nanostructures can be useful to create modulators, optical switches and other photonic devices in the visible and infrared spectral regions.

PERCOLATION MODEL OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF PBTE ISLAND FILMS

D. Bukharov¹, A. Istratov¹, A. Osipov¹

¹ *A.G and N.G. Stoletov Vladimir State University (VSU), Vladimir, Russia, 600000*

E-mail: buharovdn@gmail.com

Percolation theory is well-suited for modeling and describing the electrophysical properties of nanocomposite materials.

With this approach, the island PbTe film is represented as a percolation cluster which was modeled by the site percolation method and grouped by the Hoshen-Kopelman method [1].

To simulate the current-voltage characteristics, conduction paths (vertical and horizontal) were distinguished, to which Ohm's law was applied for the chain section.

For this calculation of the integral conductivity of the entire film, a model of a system of a parallel-series system of resistors was used.

In our calculations, the permeability ranged from 0.65 to 09, which allowed us to estimate the dimensions and characteristics of the percolation cluster, calculate conduction paths, evaluate their resistance, and calculate the conductivity. When modeling the voltage-current characteristic, the voltage varied from 0.01 to 1 V.

The proposed approach allowed to describe with sufficient reliability the important features of the electrically conductive properties considered in [2-3].

[1] Moskalev P. V. Analysis of the Percolation Cluster Structure. Technical Physics, vol. 54, № 6, pp. 763–769, 2009.

[2] Antipov A.A. Araklian etc. Electrical properties of metal cluster structures formed on the surface of dielectrics. Technical Physics Letters, vol. 40, № 6, pp. 529-532, 2014.

[3] Kavokin, A. [Kutrovskaya, S.](#) etc. The crossover between tunnel and hopping conductivity in granulated films of noble metals Superlattices and Microstructures, vol. 111, pp. 335-339, 2017.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

NEW TECHNIQUE FOR FEMTOSECOND PULSE SELF-SHORTENING BASED ON THE TRANSIENT REGIME OF MULTIPLE FILAMENTATION IN KERR MEDIA

A.V. Koribut¹, Ya.V. Grudtsin², L.D. Mikheev^{2,3}, V.A. Trofimov⁴

¹*Moscow Institute of Physics and Technology (State University), Dolgoprudny, Moscow Region, Russia;*

²*P.N.Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia*

³*National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia;*

⁴*Moscow State University, Moscow, Russia*

Presenting author e-mail address: andrew-koribut@yandex.ru

At present, the chirped pulse amplification (CPA) method has achieved a petawatt (10^{15} W) power level in solid-state femtosecond systems. As a rule, in such systems it is difficult to obtain pulses shorter than 20-30 fs because of narrowing of the spectrum during amplification. At the same time, for numerous applications in the strong fields – matter interaction and femtosecond optics (obtaining high-order harmonics and generating isolated attosecond pulses, investigating the dynamics of ultrafast processes, etc.), it is important to obtain shorter pulses approaching a period of light wave. The solution to this problem is the development of nonlinear methods for pulse reduction at the output of femtosecond systems. The methods currently used are based on the broadening of the spectrum due to self-phase modulation (SPM) in media with Kerr nonlinearity with compensation of acquired phase modulation by using additional dispersive elements or without the use of these elements if the spectrally-limited pulses are formed directly in a nonlinear medium (self-compression). At the same time, currently developed self-compression methods are limited in energy by tens of mJ and do not have the prospect of further energy scaling.

In this paper, we present the results of investigations of a new mechanism for self-shortening of the duration of femtosecond pulses in thin optically transparent materials with Kerr nonlinearity. It is based on the formation of multiple filaments in the trailing edge of the pulse, which

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

leads to a sharp increase in diffraction and refraction losses in the near-axis region. Experimental studies were carried out in a convergent Gaussian beam incident on a 1 mm thick fused silica plate. The duration of the original spectrally-limited pulse was 87 fs at a wavelength of 475 nm. The intensity of the radiation on the fused silica plate varied in the range of 0.8-2.9 TW/cm² in a beam 0.63 mm in diameter at 1/e² level. Using a diaphragm 100 μm in diameter, adjacent to the back surface of the sample, a region of uniform intensity in the central part of the beam was selected. The radiation at the exit of the diaphragm consisted of a central core whose size did not depend on the intensity in the initial beam, and conical emission with a divergence angle of up to 0.1 rad (the angle of convergence of the initial radiation was <0.01 rad). At intensity of 3 TW/cm², the radiation spectrum of the core had a shape close to Gaussian with a center at a wavelength of ~ 495 nm. The pulse duration was reduced to 19 fs.

The obtained experimental data show that the output pulse in the near-axis region is formed at the leading edge of the pulse, which is not subject to filamentation. At the same time, due to the SPM, the broadening and red shifting of the spectrum take place.

The mechanism of the observed phenomenon indicates that the method of self-shortening pulses based on transient regime of multiple filamentation allows its energy scaling.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

SIMULATION OF THERMALIZATION OF A WEAKLY INTERACTING BOSE GAS BY KINETIC EQUATIONS

P.F. Kartsev, I.O. Kuznetsov

National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia

In this work we study the relaxation of the distribution function of Bose gas in various conditions, including interaction with phonon subsystem, i.e. energy exchange with thermal bath. The two-particle interaction affects the rate of thermalization in the system, while the interaction with the phonon subsystem is important for energy exchange with the environment.

Early in work [1], we studied the thermalization of a lattice Bose gas due to the two-particle interaction in 3D:

$$\hat{V} = U_0 \sum_{\substack{klpq: \\ k+l=p+q}} a_k^+ a_l^+ a_p a_q \quad (1)$$

In this work, we investigate the role of various interactions in the process of thermalization.

The system of kinetic equations [2] based on the 'Fermi's golden rule' is solved numerically. The effects of two-particle and phonon interactions on relaxation processes are demonstrated. Two-dimensional geometry is also studied, based on the interest to 2D polaritons [3].

The possibility to achieve the state of Bose-Einstein condensation with specific values of parameters, is discussed.

The work is supported by Russian Foundation for Basic Research, grant No. 15-02-02764.

[1] P.F.Kartsev, I.O.Kuznetsov, J. Phys.: Conf. Ser. **737** 012033 (2016)

[2] Griffin A, Nikuni T and Zaremba E Bose-condensed gases at finite temperatures (Cambridge: Cambridge University Press) (2009)

[3] A. A. Elistratov and Yu. E. Lozovik, Phys. Rev. B **93** 104530 (2016)

ENHANCED PHOTOLUMINESCENT PROPERTIES OF ORGANOMETAL PEROVSKITES DEPOSITED ON NANOSTRUCTURED SEMICONDUCTOR SUBSTRATES

K. S. Sekerbayev¹, E. T. Taurbayev¹, V. E. Nikulin¹, T. I. Taurbayev¹, A. N. Baranov², V.Yu. Timoshenko^{2,3}

¹ *al-Farabi Kazakh National University, IETP and Physical-Technical Department, 050040 Almaty, Republic of Kazakhstan*

² *M.V.Lomonosov Moscow State University, 119991 Moscow, Russia*

³ *National Research Nuclear University "MEPhI", 115409 Moscow, Russia*

Organometal halide perovskites (OHP) represent a new class of semiconductor materials with outstanding photovoltaics and photoluminescence (PL) properties. In our paper the PL properties of thin films of OHP obtained by a two-step deposition from solutions on different substrates as glass, crystalline Si (c-Si) wafers, porous silicon (PSi) and gallium nitride (GaN) nanowires (NWs) were investigated under one-photon and two-photon excitation by continuous wave and nanosecond lasers. The optical absorption data indicate an enhancement of the excitonic transition for the bromine-based perovskites in comparison with iodine-based ones. An analysis of the band gap values shows that the bromide-based perovskite has larger band gap and the complete replacement of iodine to bromine leads to an increase of the direct band gap from 1.65 eV to 2.4 eV. The exciton peak in the absorption spectrum was found to be particularly notable for $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$. An approximation of the exciton peak allows us to estimate the exciton binding energy about 10 and 20 meV for $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ and $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbBr}_3$, respectively. The larger value for the latter can be explained by an enhancement of the exciton interaction in the material with a smaller ionic radius. PL spectra of OHP were almost centered near the corresponding band gap that indicates a low density of the defect states below the band gap. The PL intensity was found to be stronger for the films deposited on nanostructured substrates than for the flat ones. The OHP films on GaN NWs substrates exhibited an enhancement of the PL under two-photon excitation with nanosecond laser at 1.16 eV. This fact indicates the role of local electric fields at the OHP/GaN NW interface for the light emission under strong optical excitation.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

LASER SYNTHESIS OF COLLOIDAL GALLIUM NITRIDE SYSTEMS

I. Skryabin, A. Shagyrina, V. Samyshkin, G. RibakA.

*Vladimir State University,
Vladimir, Russia
e-mail: sk-ig@mail.ru*

Modern information systems and different photonics applications require the creation of a new class of materials that allow them to reconstruct their physical properties in a wide range. In particular, quantum computers based on optical calculations need to create new optical logic elements. The transition to optical elements of logic will allow ultra-fast and broadband transmission and processing of data. In such systems, photons act as carriers of information, which allows an order of magnitude increase in the amount of information transmitted even by narrow-band elements and overcome the delays between connections and minimize the generation of heat associated with conventional embedded electronic circuits.

New promising optoelectronic materials with a wide range of practical applications are structures based on semiconductor nitrides, in particular, gallium nitride. The use of nanoparticles of gallium nitride is widely used in modern photonics. This material is superior to silicon in some respects: it has high thermal, chemical and radiation resistance, high electrical conductivity. Gallium nitride also provides good thermal conductivity, which removes many cooling problems in the working area of the chip.

Gallium nitride is very strong and transparent material. Synthesis of nanoparticles was carried out by femtosecond laser radiation. Nanoparticles have a size of about 80-90 nm (Fig.1). Synthesis of colloidal solutions of gallium nitride was carried out in an alcohol medium. The deposited nanoparticles on the prepared silicon substrates were studied.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

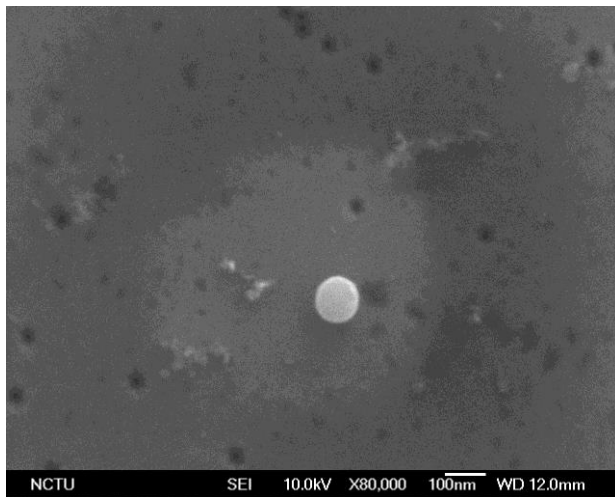


Fig.1. Nanoparticles of GaN

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

LASER DIAGNOSTICS OF FRACTAL SILICON NANOSTRUCTURES ON CRYSTALLINE SILICON WAFERS

V. G. Yakunin¹, V. P. Saviunov¹, D. E. Presnov¹, R. B. Assilbayeva², T. Yu. Grevtzeva³, Z. Zh. Zanabayev³, V. Yu. Timoshenko^{1,4,5}

¹*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, 119991 Moscow, Russia*

²*Kazakh National Research Technical University after K.I. Satpayev, 050013 Almaty, Kazakhstan*

³*al-Farabi Kazakh National University, Physical-Technical Department, 050040 Almaty, Kazakhstan*

⁴*National Research Nuclear University "MEPhI", 115409 Moscow, Russia*

⁵*Lebedev Physical Institute of RAS, 119333 Moscow, Russia*

Silicon nanostructures formed by spark discharge ablation (SDA) or by metal-assisted chemical etching (MACE) of crystalline silicon (c-Si) wafers were investigated by means of scanning electron microscopy (SEM) and laser optical spectroscopy. According to the digital analysis of SEM images the samples prepared by SDA exhibit porous morphology with sizes of Si nanoparticles and pores in the range from 10 to 1000 nm. The mean porosity and fractal dimensions of SDA films account 30-40% and 1.8-1.9, respectively. The MACE prepared samples are characterized by mean size of Si nanocrystals of about 50-500 nm, porosity of about 40-70%, and fractal dimensions of 1.8-1.95, depending on the preparation conditions. Optical measurements revealed a strong light scattering from the SDA and MACE prepared samples and it can be explained by elastic light-matter interaction in the fractal nanostructure. The prepared samples exhibit an enhanced Raman scattering on the optical phonons at 520-521 cm⁻¹, which was several times stronger than that for the corresponding c-Si wafers. The obtained experimental data indicate that fractal Si nanostructures are promising to realize the enhanced light-matter interaction in the visible and near-infrared spectral regions for various applications in photonics and sensorics.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ КРЕМНИЕВЫХ НАНОЧАСТИЦ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА

А.Ф. Алыкова¹, И.Н. Завестовская^{1,2}, В.Ю. Тимошенко^{1,2,3}

1Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, 115409 Москва, Россия

2Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 119333 Москва, Россия

3Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова, физический факультет, 119991 Москва, Россия

E-mail: waiste15@bk.ru

В работе исследованы особенности комбинационного рассеяния света на оптических фонах в ансамблях нанокристаллов кремния (Si), полученных различными методами, затем помещенных в водную среду.

Слои кристаллических нанонитей, мезопористые наночастицы, нанокристаллы Si и нанооблированные частицы анализировались после различного времени нахождения в водной среде в условиях свободного выхода продуктов растворения (диализ). Установлено, что нанонити с кремния со средними поперечными размерами 20-100 нм после выдержки в воде или физрастворе в течение 2 недель устойчивы к растворению как к воде, так и к физиологическому раствору.

Мезопористые наночастицы кремния при нахождении в воде в течение уже первых суток демонстрируют уменьшение частоты пика рассеяния, сдвиг полосы и увеличение вклада аморфной фазы кремния, что объясняется уменьшением размеров содержащихся в них нанокристаллов до размеров менее 10 нм, т.е. эффективным растворении. Комбинационное рассеяние света от непористых нанокристаллов Si с размерами от 5 до 100 нм, полученных плазмохимическим и лазерно-абляционным методами, свидетельствует о частичном растворении наночастиц, приводящем к уменьшению общего числа и средних размеров наночастиц. При этом лазерно-аблированные наночастицы проявляют существенно более низкую

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

скорость растворения, по сравнению с наночастицами, полученными плазмо-химическим методом, что можно объяснить более высокой концентрацией структурных дефектов для последних.

Полученные результаты позволяют сформулировать рекомендации по использованию различных видов нанокремния в качестве активных элементов биосенсоров или биометок в биохимических датчиках (биомедицинских целях). Наночастицы мезопористого кремния проявляют свойства быстро биодеградируемого материала, что можно использовать для целей экспресс-терапии различных заболеваний, например, гипертермии рака. В то же время, плазмохимический нанокремний, имеющий заметный сигнал рамановского рассеяния, даже после нахождения в водной среде в течение суток, может быть рассмотрен как агент для одновременной оптической диагностики и терапии (продолженного терапевтического воздействия (тераностики)).

A. V. Kabashin, V.Yu. Timoshenko. What theranostic applications could ultrapure laser-synthesized Si nanoparticles have in cancer. *Nanomedicine*, 11 (17): 2247-2250 (2016).

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

**КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ОКСИДА ИТТРИЯ,
ЛЕГИРОВАННОГО РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ
(Tm, Ho), ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ
ДВУХМИКРОННОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА**

**В.В. Балашов^{1*}, Ю.Л. Копылов¹, В.Б. Кравченко¹, К.В. Лопухин¹,
П.А. Рябочкина², А.Н. Чабушкин²**

¹ *Институт Радиотехники и Электроники им. В.А. Котельникова РАН,
Фрязино, Россия*

² *Мордовский Государственный Университет им. Н.П. Огарева, Саранск,
Россия*

** e-mail: vvb215@ire216.msk.su*

Использование оптической керамики на основе оксида иттрия, легированного редкоземельными ионами, в качестве активной среды для твердотельных лазеров является перспективным. Высокое значение теплопроводности оксида иттрия, превосходящее аналогичную величину для иттрий-алюминиевого граната, позволит реализовать на данных средах мощные твердотельные лазеры.

На данный момент, основным препятствием для использования керамики на основе оксида иттрия в качестве лазерной среды твердотельных лазеров, является сложность изготовления образцов керамики необходимых размеров и качества. Производство керамики из чистого порошка оксида иттрия предполагает спекание при очень высоких температурах (более 1900⁰С). Для снижения температуры спекания, а также, для улучшения оптических свойств керамики используются спекающие добавки.

В данной работе были получены образцы керамики с различными ионами-активаторами (Tm, Ho). В качестве спекающих добавок использовались оксиды лантана и циркония. Полученные образцы были изучены на предмет наличия пор, распределения их в объеме образца, определения их концентрации. Также выполнены исследования на предмет выявления других дефектов, влияющих на оптические свойства.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

Зарегистрированы спектры пропускания для образцов с различными ионами-активаторами и изучены люминесцентные и лазерные свойства некоторых из этих образцов.

[1] П.А. Рябочкина, А.Н. Чабушкин, Ю.Л. Копылов, В.В. Балашов, К.В. Лопухин. Квантовая Электроника **46**(7) 597 – 600 (2016)

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

РОСТ ВНУТРЕННИХ ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ ЛАЗЕРОВ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 1-1.1 МКМ

Бобрецова Ю.К.¹, Веселов Д.А.¹, Слипченко С.О.¹, Соколова З.Н.¹, Пихтин Н.А.

¹ *ФТИ им. А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: dmitriy90@list.ru*

Проведены исследования токовых и температурных зависимостей внутренних оптических потерь в AlGaAs/InGaAs/GaAs двойных гетероструктурах раздельного ограничения с квантовыми ямами в активной области, излучающими в диапазоне 1.0-1.1 мкм. Измерения проводились с помощью метода ввода в волновод лазера зондирующего излучения.

Показано, что измеренный рост внутренних оптических потерь позволяет описать как импульсную, так и непрерывную ватт-амперную характеристики лазеров. Исследованы гетероструктуры с волноводами различных конструкций (лазеры с широким волноводом, лазеры со сверхузким волноводом, лазеры с различным составом волновода).

Установлено, что для лазеров с волноводом GaAs зависимость величины оптических потерь от плотности тока накачки имеет значительно меньший градиент, чем для AlGaAs волновода, что объясняется лучшими транспортными свойствами более качественного материала. С другой стороны, для лазеров с GaAs волноводом наблюдается более сильная делокализация носителей из активной области, что приводит к падению внутренней квантовой эффективности стимулированного излучения.

Исследования лазеров со сверхузкими волноводами показали необходимость принудительной локализации носителей заряда вблизи активной области, которую можно обеспечить введением в конструкцию гетероструктуры широкозонных слоёв энергетических барьеров.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЗОТЕТРАПОРФИРИНА С ДЕТОНАЦИОННЫМИ НАНОАЛМАЗАМИ МЕТОДОМ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Е.А. Борулёва¹, Л.А. Бутусов^{2,3}, И.А.Наговицын^{1,2,4}, Г.К. Чудинова^{1,2}

¹ НИЯУ МИФИ, Москва, Россия

² ИОФ РАН, Москва, Россия

³ РУДН, Москва Россия

⁴ ИХФ РАН, Москва, Россия

В последние годы, исследования, связанные с взаимодействием наноалмазов (НА) с биологическими структурами и флуоресцентными биомакромолекулами, приобрели большое значение, так как из всех углеродных наночастиц детонационные НА имеют самую низкую токсичность и используются, например, для создания биосенсоров, лечения опухолей и создания биосовместимых имплантатов [1].

Подобными наночастицами можно модифицировать различные полициклические органические молекулы типа порфиринов, с помощью которых осуществляются важнейшие биологические, фотохимические и ферментативные функции в живой природе, например: фотосинтез, перенос кислорода, транспорт электронов.

Уникальные свойства порфиринов заключаются, в том числе, в возможности модификации периферии и центра макроцикла путем введения различных заместителей, поэтому цель данной работы заключалась в исследовании взаимодействия биомакромолекул ряда порфиринов с детонационными НА.

Порфирин растворялся в хлороформе до концентрации 10^{-4} М, затем к образцу добавляли 20 мкл НА (размер 10нм) концентрации 4 мг/мл.

Измерения раствора проводились в течение 6 дней, спектры флуоресценции раствора регистрировались с интервалом в 1 день, изменения спектральных характеристик приведены на рисунке 1.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

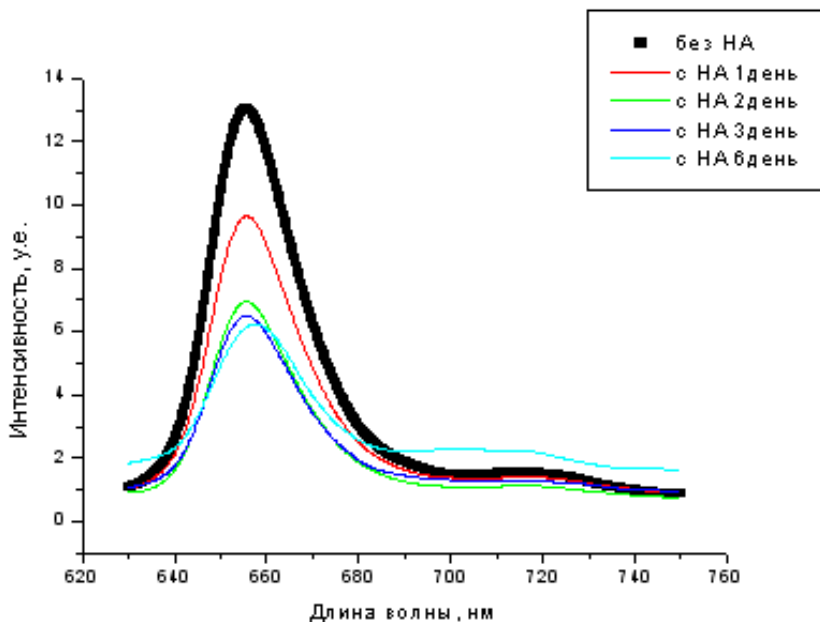


Рис.1. Зависимость длины волны от интенсивности раствора порфирина с НА в различных временных точках и контроль: порфирин без НА

Зафиксировано падение интенсивности флуоресценции во времени в зависимости от длительности взаимодействия порфирина с нанодIAMAZO. Тушение флуоресценции сопровождается небольшим bathochromным смещением максимума флуоресценции, обусловленное, *по-видимому, агрегацией порфирина*

[1] R. Kaur, I. Badea, Nanodiamonds as novel nanomaterials for biomedical applications: drug delivery and imaging systems, J. Nanomedicine, vol. 8, pp. 203–220, 2013.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 1500-1600 НМ

Веселов Д.А.¹, Бобрецова Ю.К.¹, Слипченко С.О.¹, Соколова З.Н.¹, Пихтин Н.А.¹

¹ *ФТИ им. А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург, Российская Федерация
E-mail: dmitriy90@list.ru*

Теоретически исследуются мощные торцевые полупроводниковые лазеры на основе двойных гетероструктур раздельного ограничения с квантовыми ямами в активной области и расширенным волноводом, изготовленные на основе твёрдых растворов AlGaInAs/InP с использованием AlInAs слоёв энергетических барьеров. Для лазеров с апертурой 100 мкм проведены теоретические расчёты ватт-амперных характеристик (ВтАХ) в импульсном (100 нс/1кГц) и непрерывном режимах. Учитывались следующие основные процессы: рост концентрации носителей заряда в волноводе, рост концентрации носителей заряда в активной области, Оже-рекомбинация в волноводе и в активной области. Указанный рост концентрации носителей заряда приводит к росту внутренних оптических потерь и падению внутреннего квантового выхода стимулированного излучения и, следовательно, насыщению ВтАХ. Расчёт проводился для лазеров с различной длиной резонатора. Был рассчитаны вклады различных механизмов насыщения ВтАХ лазеров. Показано, что в импульсном режиме основную роль в насыщении ВтАХ играет транспорт носителей заряда через волновод, а в непрерывном режиме определяющую роль играют процессы в квантовых ямах активной области.

Получено хорошее соответствие расчётных данных экспериментальным. Разработанные расчётные модели позволяют выбирать оптимальные параметры лазерного резонатора для работы в том или ином режиме.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ ПОРИСТЫХ ДЕФЕКТОВ В МЕТАЛЛАХ

М.С. Григорьева^{1,2}, И.Н. Завестовская^{1,2}, А.П. Канавин^{1,2}

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
115409, Москва, Россия*

² *Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 119991, Москва, Россия*

Проведено теоретическое исследование лазерной модификации пористых дефектов в металлах. Показано, что определяющую роль в динамике схлопывания пор играет давление в расплавленном материале, которое, с одной стороны, определяет скорость усредненного гомогенного движения расплава от поверхности к области схлопывания, а с другой стороны – скорость затекания расплава в пустые поры. В предложенной модели для того чтобы при плавлении пористого материала лазерным излучением происходило схлопывание пор, скорость плавления должна быть меньше некой критической скорости V_{cr} , определяющейся из равенства отрицательного давления в расплаве и капиллярного давления. При этом ширина области, в которой происходит схлопывание пор, является универсальной функцией, зависящей от отношения V_m / V_{cr} , где V_m – скорость движения фронта плавления. При приближении V_m к V_{cr} размер области схлопывания увеличивается.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

**ПОВЫШЕННАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ
СТАБИЛЬНОСТЬ СПЕКТРА ГЕНЕРАЦИИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА С П-РБЗ**
**В.В. Золотарев, А.Ю. Лешко, В.С. Головин, З.Н. Соколова,
Н.А. Пихтин**

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия
Zolotarev.bazil@mail.ioffe.ru

Полупроводниковый лазер с поверхностным распределенным брэгговским зеркалом высокого порядка дифракции (П-РБЗ) обладает существенно более узким спектром генерации (менее 3 \AA) по сравнению с диодными лазерами с резонаторами Фабри-Перо [1]. Резонатор с П-РБЗ обеспечивает повышенную температурную стабильность спектра генерации лазера. Форма и поведение спектра генерации определяется спектром отражения П-РБЗ, а не спектром усиления активной области лазера. Зависимость спектр отражения П-РБЗ от температуры определяется температурной зависимостью показателя преломления материала гетероструктуры, которая существенно слабее температурной зависимости ширины запрещенной зоны активной области.

В работе были исследованы экспериментальные образцы полупроводниковых лазеров с П-РБЗ ($\Lambda=2\text{ мкм}$, 15 порядок), излучающие на длине волны 1050 нм , изготовленных из двойной гетероструктуры раздельного ограничения на основе твердых растворов $\text{AlGaAs/GaAs/InGaAs}$. Экспериментально продемонстрировано, что температурное смещение спектра генерации П-РБЗ полупроводникового лазера составляет 0.9 \AA/K , что значительно ниже аналогичной величины для Фабри-Перо полупроводниковых лазеров $3\div 5\text{ \AA/K}$. Исследования проводились в температурном диапазоне $-60\text{ }^\circ\text{C}$ — $+60\text{ }^\circ\text{C}$. Продемонстрировано существенное улучшение температурной стабильности спектральных свойств полупроводниковых лазеров за счет П-РБЗ высокого порядка дифракции.

[1] В.В.Золотарев, А.Ю.Лешко, Н.А.Пихтин, С.О.Слипченко, З.Н.Соколова, Я.В.Лубянский, Н.В.Воронкова, И.С.Тарасов Квантовая Электроника, 45, с. 1091–1097 (2015)

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО ОПТИЧЕСКИМ КАНАЛАМ СВЯЗИ

Е.А. Исаев¹, П. А. Тарасов²

¹ *Национальный Исследовательский Университет "Высшая Школа Экономики", Москва, Россия; E-mail: Eisaev@hse.ru*

² *Национальный Исследовательский Университет "Высшая Школа Экономики", Москва, Россия*

Рассматриваются перспективные способы передачи информации в оптических каналах связи, основанные на новейших достижениях квантовой физики, которые в ближайшем будущем могут позволить решить как проблему создания оптического канала, проводящего с физически неограниченной пропускной способностью, так и проблему скрытной передачи информации в волоконно-оптическом информационном канале. Описаны результаты новейших экспериментов, связанных с квантовыми свойствами фотонов, использованием солитонов в качестве носителей информационного сигнала, а также шума оптических усилителей для передачи данных в волоконно-оптических линиях связи.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЁНОК TiO_2 ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ИСПАРЕНИЯ В ВАКУУМЕ С ИОННЫМ АССИСТИРОВАНИЕМ

А.А. Козырев^{1,2}, А.Д. Лебедев^{2,3}

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия*

² *ООО «НПП «Инжект», Саратов, Россия*

³ *Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени н.г. чернышевского, Саратов, Россия
equilibriummm@yandex.ru*

Оптические свойства TiO_2 широко исследуются, поскольку этот материал обладает высоким показателем преломления и используется при изготовлении интерференционных многослойных покрытий для лазерной оптики. Получение плёнок TiO_2 , имеющих стабильные во времени оптические характеристики, является актуальной технологической задачей [1].

Были получены плёнки оксида титана (IV) TiO_2 с помощью реактивного напыления TiO в среде ионов кислорода с энергией 120 эВ. Давление плазмы варьировалось в пределах 0,01-0,04 Па. Оценка качества полученной плёнки проводилась путём сравнения изменения её оптических характеристик (Δn и Δk) в вакууме и после выдержки в атмосфере. При этом, оценивалась также величина показателя преломления и поглощения.

В результате проведённых исследований, было получено минимальное $\Delta n = 0.14$ и $\Delta k = 0.01$ при давлении плазмы 0,017 Па, при этом, максимальное значение $n = 2.25$ и минимальное значение $k = 1 \cdot 10^{-4}$ было получено при давлении 0,019 Па. При уменьшении давления значение k возрастает, и при давлении 0,01 Па составляет $2,4 \cdot 10^{-4}$ Па, что свидетельствует о неполном окислении TiO и нестехиометричности состава полученной плёнки TiO_2 .

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур

Таким образом, было получено оптимальное значение давления плазмы ионов кислорода для получения оптически стабильных во времени плёнок оксида титана (IV) TiO_2 .

[1] Т. Amotchkina, М. Trubetskov, А. Tikhonravov и др., Reliable optical characterization of e-beam evaporated TiO_2 films deposited at different substrate temperatures, APPLIED OPTICS, vol. 53, №4, pp. 8-15, (2013).

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ДВУХВОЛНОВАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В ЛАЗЕРЕ С ЛИНЗОПОДОБНЫМ АКТИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ Nd:YLF ПРИ МОДУЛЯЦИИ ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАТОРА ПАССИВНЫМ Cr⁴⁺:YAG ЗАТВОРОМ

В.В. Безотосный^{1,2}, М.В. Горбунков¹, А. Л. Коромыслов¹
(akorom@mail.ru), К.А. Полевов^{1,2}, В.Г. Тункин³, И.М. Тупицын^{1,2},
Е.А. Чешев^{1,2}

¹ – ФИАН, 119991, Москва, Ленинский проспект, д.53;

² – НИЯУ МИФИ, 115409, г. Москва, Каширское ш., 31;

³ – МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1.

Получена двухчастотная QCW-генерация с длинами волн 1047 нм и 1053 нм в резонаторах с линзоподобным Nd:YLF [100] активным элементом (АЭ) при пассивной модуляции добротности резонатора пассивным Cr⁴⁺:YAG затвором в условиях неоднородной продольной диодной накачки.

Экспериментально определены условия, при которых двулучепреломление в активном элементе позволяет осуществлять двухчастотную генерацию.

Показано, что в лазере с линзоподобным АЭ двухчастотный режим генерации обеспечивается расщеплением областей частотного вырождения мод резонатора для обыкновенной (1053 нм) и необыкновенной (1047 нм) волн, связанным с бифокальностью двулучепреломляющего АЭ.

Представляется перспективным использование двухчастотного лазера на кристалле Nd:YLF с пассивной модуляцией добротности в компактных источниках терагерцового излучения в схемах генерации разностной частоты. [1]

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 16-32-00834, № 16-52-00138 и при поддержке программы президиума РАН I.25П "Фундаментальные и прикладные проблемы фотоники и физика новых оптических материалов.

Angeluts A.A., Bezotosnyi V.V., Cheshev E.A., et al, Las. Phys. Lett. 11(1), p. 015001 (2014).

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ИТРИЙ АЛЮМИНИЕВОГО ГРАНАТА ДЛЯ ПАССИВНЫХ ЗАТВОРОВ ЛАЗЕРОВ

К.В.Лопухин^а, Ю.Л.Копылов^а, В.Б.Кравченко^а, Е.А Чешев^б, В.В Балашов^а, А.А.Каминский^в

а ФИРЭ им.В.А. Котельникова

*б Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН
в Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова РАН*

Лазеры с пассивным затвором имеют много применений, таких как нелинейная оптика, обработка материалов и т.п. Пассивный затвор обычно создаётся при использовании иттрий алюминиевого граната (ИАГ/УАГ) легированного Cr^{4+} [1]. В данной работе мы получили образцы керамики $\text{YAG}:\text{Cr}^{4+}$ путём реактивного твёрдофазного спекания и исследовали зависимость спектров пропускания от температуры отжига. Также было проведено сравнение характеристик данной керамики как пассивного затвора с образцами затворов основанных на монокристаллах $\text{YAG}:\text{Cr}^{4+}$. В качестве спекающих добавок были выбраны оксиды кальция и магния, которые одновременно выступают в качестве компенсаторов заряда для ионов Cr^{4+} . Порошки были смешаны в стехиометрическом соотношении и размолоты в планетарной мельнице. После помола и последующей сушки порошки были односторонне отпрессованы при давлении 200МПа и спечены при температуре 1840°C в течении 5 часов. Отжиг проводился на воздухе при температурах 900-1200°C.

¹К. Takaichi, J. Lu, T. Murai, T. Uematsu, A. Shirakawa, K. Ueda, H. Yagi, T. Yanagitani, and A. A. Kaminskii, Jpn. J. Appl. Phys., Part 2 41, L96 2002.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ТГц ДИАПАЗОНЕ СО СПЕКТРАЛЬНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

**А. Э. Акмалов¹, К. И. Козловский¹, Г. Е. Котковский¹,
Ю. А. Митягин², А. А. Плеханов¹, А. А. Чистяков¹**

¹*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

²*Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН*

e-mail: andyplekhanov81@gmail.com

В докладе представлена разработка и исследование ТГц стенда, позволяющего получать изображения объектов в отраженном и прошедшем излучении со спектральным разрешением. В качестве источника ТГц излучения использовалась полупроводниковая фотопроводящая антенна на основе GaAs с возбуждением мощным фемтосекундным лазерным импульсом. Для получения ТГц изображения использовалась специальная ТГц видеокамера, которая устанавливалась после Фурье-спектрометра, обеспечивающего требуемое спектральное разрешение. Для оптимизации работы фотопроводящей антенны проведены экспериментальные и теоретические исследования возбуждения фототока и формирования ТГц импульса при фемтосекундном лазерном воздействии на неё. Также в работе изучались изображения различных полимерных материалов со спектральным разрешением в диапазоне 0,5 – 2,5 ТГц.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ТОКА ЧЕРЕЗ *p-n*-ПЕРЕХОД

Нургалиев Р.К., Алыкова О.М., Смирнов В.В., Смирнов С.В.

Астраханский государственный университет

В работе проводилось исследование характеристик полупроводникового лазера типа HLDPМ12-655-10 для дальнейшего использования источников излучения такого типа в учебном и научном эксперименте.

Разработана методика проведения и выполнен эксперимент при различных режимах работы лазерного модуля.

Получены экспериментальные зависимости $I_{фд}$ от $U_{лм}$, выявлена точка перехода из светодиодного в лазерный режим работы лазерного модуля, степени его линейной поляризации от тока через *p-n*-переход. Показано, что данные зависимости характеризуют степень когерентности излучения.

Разработанная методика является основой для дальнейшего исследования характеристик полупроводниковых лазеров и лазерных модулей различных типов. Несомненно, это послужит более широкому использованию полупроводниковых лазеров как наиболее доступных источников когерентного монохроматического излучения в учебном и научном эксперименте и других научно-технических приложениях.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

СОВРЕМЕННАЯ ПОДГОТОВКА КАДРОВ В НИЯУ МИФИ ДЛЯ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

О.Н. Крохин^{1,2}, И.Н. Завестовская^{1,2}, А.А. Фроня^{1,2}, Г.Т. Микаелян^{1,3}

1 Национальный исследовательский университет «МИФИ», Москва

2 Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

3 ООО «ЛАССАРД», Калужская область, город Обнинск

Проблема развития наукоемких технологий в настоящее время особенно актуальна для экономики России. Для разрыва между получаемым образованием, и требованиями, предъявляемыми к кадрам на современных производствах, требуется аккумуляция усилий науки, образования, производства и государства, их непрерывное и последовательное взаимодействие на всех этапах подготовки и реализации образовательных программ.

Одной из современных форм взаимодействия предприятий и университета в подготовке кадров является создание в университете базовой кафедры предприятия. В НИЯУ МИФИ с 2013 года работает базовая кафедра №88 «Полупроводниковая квантовая электроника», которая ведет подготовку кадров для высокотехнологичных отраслей по магистерской и аспирантской образовательным программам.

За время существования кафедры состоялось два выпуска магистров. Выпускники базовой кафедры востребованы на рынке труда и работают в сфере инновационной экономики. Так часть магистров сразу после окончания обучения была зачислена в штат молодой интенсивно развивающейся компании ООО «Лассард» в городе Обнинск Калужской области. Часть выпускников магистратуры продолжили обучение в аспирантуре.

При создании базовая кафедра «Полупроводниковая квантовая электроника» ставила главной целью подготовку и повышение квалификации научных, инженерно-технических и управленческих кадров в области полупроводниковых лазеров и технологий. За 3,5 года работы кафедры достигнуты значительные результаты. Разра-

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ботанная и реализуемая образовательная программа магистратуры позволяет готовить кадры, соответствующие требованиям промышленных предприятий и научно-исследовательских организаций, о чем свидетельствуют профессиональные траектории выпускников. Кафедра является организатором научно-образовательных мероприятий, площадкой, где взаимодействуют образование, наука, бизнес, промышленность и инновации.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ФОТОНИКИ

А.Ю. Шагурина¹, С.В. Кутровская¹, О.А. Новикова¹, А.В. Шагурин¹

¹ *Владимирский Государственный Университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), Владимир, Россия*
e-mail: shaqurina.a@mail.ru

Наночастицы благородных металлов, таких как серебра, золота хорошо известны поверхностной плазмонной резонансной локализацией на оптических частотах [1]. Среди множества заметных явлений, возникающих в плазмонных структурах, особое внимание заслуживает направленное распространение света, наблюдаемое на границе диэлектрик-металл. Тогда особый интерес представляет нанесение на поверхность диэлектрика кластерных пленок серебра и золота с контролируемым рельефом [2].

В настоящее время существуют различные методы создания на поверхности подложки структур по заранее подготовленному шаблону. В данной работе был предложен новый метод электроиндуцированного осаждению кластеров серебра и/или золота с нанометровым уровнем пространственного разрешения, при использовании приборной базы АСМ в контактном режиме. Кластеры металлов высаживались на верхний слой брэгговского зеркала (БЗ). Локальный рельеф формировался по траектории движения проводящей иглы за счет локальной электроиндуцированной диссоциации соли металла в насыщенном верхнем слое БЗ. Средняя толщина (от 0.7 до 4 нм) полученных структур хорошо контролируется напряжением смещения, подаваемым между иглой и поверхностью образца. Среднее значение ширины дорожки определяется диаметром водяного мениска между проводящей иглой и насыщенной кремниевой пластиной и составляет не более 100 нм.

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

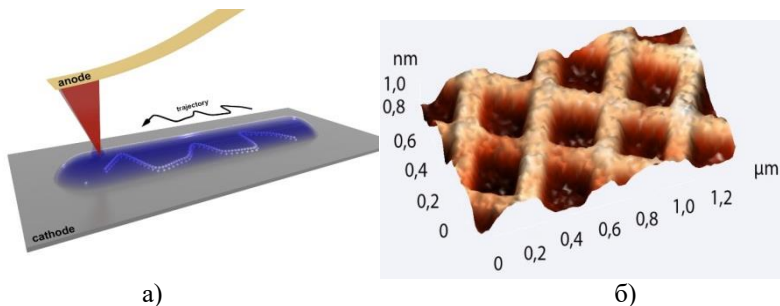


Рис. 1. (а) - Эскиз процесса электро-индуцированного осаждения на базе АСМ; (б) - АСМ-изображение образца, выполненного из серебра на поверхности GaAs / AlGaAs БЗ

Работа выполнена в рамках Гранта РФФИ №16-42-330461 р_а.

- [1] A. Antipov, S. Arakelyan, T. Vartanyan et al. Optical properties of nanostructured gold–silver films formed by precipitation of small colloid drops, *Optics and Spectroscopy*, vol. 119, pp 119–123, (2015).
- [2] S. Arakelyan, V. Veiko, S. Kutrovskaia et al., Reliable and well-controlled synthesis of noble metal nanoparticles by continuous wave laser ablation in different liquids for deposition of thin films with variable optical properties, *J. Nanopart Res*, vol. 18, pp. 154-158, (2016).

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОПРОВОЛОК НИТРИДА АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ОСАЖДЕНИЯ

Каргин Н.И., Рындя С.М., Гусев А.С., Юнусова Н.Р., Антоненко С.В., Тимофеев А.А.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
г. Москва*

e-mail: naida.yunusova1994@mail.ru

Сочетание уникальных свойств нитрида алюминия (AlN) таких как большая ширина запрещенной зоны (6,2 эВ), высокая теплопроводность (320 Вт/м·К при 300 К), высокое значение напряженности поля пробоя (17 кВ/мм) и относительно невысокая стоимость делают его перспективным материалом для применения в приборах силовой и СВЧ электроники. Нитрид алюминия может применяться в качестве подложки при создании интегральных схем, мощных транзисторов и в качестве диэлектрических, пассивирующих и теплоотводящих слоев полупроводниковых приборов [1, 2].

В настоящее время интенсивно разрабатываются гетероструктуры для нужд микроэлектроники, связи и вычислительной техники. Особый интерес вызывают наноразмерные элементы из нанопроволок и нитевидных кристаллов.

Целью данной работы было получение образцов нанопроволок нитрида алюминия на поверхности подложек Si (100) при импульсном лазерном распылении керамической мишени AlN. Для достижения поставленной цели проводилось распыление керамической мишени AlN стехиометрического состава с помощью эксимерного лазера KrF с длиной волны 248 нм, длительностью импульса 20 нс и частотой следования импульсов 15 Гц в условиях вакуума при остаточном давлении $10^{-5} - 10^{-6}$ Па. Далее испаренный лазером материал мишени осаждался на предварительно нагретую полупроводниковую подложку Si (100). Экспериментальные образцы нанопроволок AlN были получены в диапазоне температур 700 – 850 °С. На рис. 1 представлены РЭМ изображения образцов нанопроволок

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

AlN, полученных при температурах подложки 700 °С (а) и 800 °С (б).

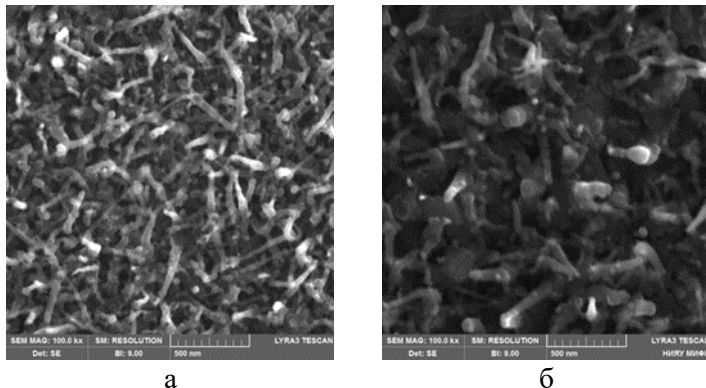


Рис.1. РЭМ изображения образцов нанопроволок AlN, осажденных при следующих температурах подложки: а – 700°С, б – 800°С.

Как видно из рис. 1 диаметр полученных проволок находится в диапазоне от 35 до 50 нм. На концах нанопроволок наблюдаются капли в виде полусферы с диаметром равным диаметру растущей проволоки. Нанопроволоки равномерно покрывают всю поверхность образца. Также происходит рост нескольких нанопроволок из одного основания, т.е. рост в виде кораллов.

Образование нанопроволок AlN скорее всего идёт по механизму пар – жидкость – кристалл (ПЖК). При распылении мишени AlN в вакууме на поверхности подложки осаждается избыточный Al, который при плавлении собирается в виде нанок капель, являющихся катализаторами роста нанопроволок. Таким образом, осуществляется самокаталитический рост нанопроволок, т.к. в качестве катализатора роста используется элемент соединения AlN.

[1] M. Hirano, K. Kato, T. Isobe and T. Hirano // Sintering and characterization of fully dense aluminium nitride ceramics /Journal of Materials Science, 1993, Vol. 28, P. 4725 – 4730.

[2] Пурьжинский С.З., Пebaлк Д.В., Калашников А.Ю. // Микроструктурные исследования поверхности плат из нитрида алюминия различных производителей / В мире научных открытий, 2015, № 8, С. 216 – 231

Содержание

VI Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ПРОГРАММА

5

Пленарные доклады

OPTIMIZATION OF THE DIOD-PUMPED SOLID-STATE LASER
PARAMETERS OF A SOLID-STATE Nd: YAG WITH TRANS-
VERSE PUMPING BY LASER DIODE

R. R. Bitskiy, G. T. Mikalyan, S. C. Tariverdiyev, M. R. Butayev, V. A. Reutsky

16

TUNABLE IN THE 3.75-4.82 μm RANGE, UP TO 7.5 J PULSED
Fe:ZnSe LASER OPERATING WITH THERMOELECTRIC COOLER

V.I. Kozlovsky, M.P. Frolov, Yu.V. Korostelin, B.M. Lavrushin, Yu.P. Podmar'kov, Ya.K. Skasyrsky

18

MOVPE OF INAS QDS ON INP FOR SINGLE PHOTON EMITTERS
AND LASER APPLICATIONS

A.B. Krysa

21

THE STRUCTURE OF PLASMA PLUME AT NS-PLA OF AL TAR-
GET IN THE AIR

V.I. Mazhukin, A.V. Shapranov, O.N. Koroleva, A.V. Mazhukin

22

MODELLING AND EXPERIMENTAL STUDY OF TEMPERATURE
PROFILES IN CONTINUOUS WAVE LASER DIODE BARS

V. A. Oleschenko, V.V. Bezotosnyi, V.P. Gordeev, O.N. Krokhin, V.F. Pevtsov, Yu. M. Popov, E.A. Cheshev

24

POSSIBILITIES FOR APPLICATIONS LASERS IN EPYGENETIC
THERAPY

S.D. Zakharov

26

INTERACTION OF ELECTROMAGNETIC WAVES WITH COL-
LOIDAL NANOPARTICLES: MODELING AND APPLICATIONS

I.N. Zavestovskaya

27

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ ОДНОЧАСТОТНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ <i><u>В.Дураев, С.Медведев</u></i>	29
КВАНТОВЫЙ КАСКАДНЫЙ ЛАЗЕР НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПАРЫ GaInAs/AlInAs С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ 5,6 МКМ И РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ БОЛЕЕ 300 К <i><u>И.И.Засавицкий, Н.Ю.Ковбаса, А.В.Лобинцов, Ю.В.Курнякко, П.В.Горлачук, А.Б. Крыса, Д.Г. Ревин, J.W. Cockburn</u></i>	30
ОПТИМИЗАЦИЯ ФАЗОВЫХ МАСОК ДЛЯ 3D ЛОКАЛИЗАЦИИ НАНОРАЗМЕРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ <i><u>С.П. Котова, В.Г. Волостников, Е.Н. Воронцов, Н.Н. Лосевский, Д.В. Прокопова, С.А. Самагин</u></i>	31
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ПОЛЯРИЗАЦИИ АКТИВНОЙ СРЕДЫ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В СВЕРХИЗЛУЧАЮЩИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРАХ <i><u>Вл.В.Кочаровский, А.С.Гаврилов, Е.Р.Кочаровская, А.В.Мишин, И.С.Рябинин, А.Ф.Селезнев, В.В.Кочаровский</u></i>	32
ФОРМИРОВАНИЕ МАССИВОВ ПЛАЗМОННЫХ НАНОСТРУКТУР ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ <i><u>Ю.Н.Кульчин</u></i>	34
МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 800-850 НМ <i><u>М.А. Ладугин, А.А. Мармалюк, А.В. Лобинцов, С.М. Сапожников, В.А. Симаков</u></i>	36
ОДНОМОДОВЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ОСНОВЕ AlGaInAs/InP С ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ СВЫШЕ 300 мВт <i><u>А.А. Мармалюк, Ю.Л. Рябоштан, П.В. Горлачук, М.А. Ладугин, А.А. Падалца, Ю.Л. Курнякко, А.В. Лобинцов, С.М. Сапожников, В.Д. Курносков, В.И. Романичевич, Р.В. Чернов, К.В. Курносков, А.В. Иванов, В.А. Симаков</u></i>	37
НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ НАНОСЕКУНДНЫХ Nd:АИГ ЛАЗЕРОВ С ПОПЕРЕЧНОЙ ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ <i><u>В.А. Орлович, Р.В. Чулков, В.И. Дашкевич, А.П. Шкадаревич, В.Ю. Маркевич, А.А. Русак, Д.Д. Молотков</u></i>	38

СОДЕРЖАНИЕ

МОЩНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ДИОДЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 1400-1600 НМ	
<u>Н.А.Пихтин, Д.А.Веселов, А.В.Лютецкий, С.О. Слипченко, К.В. Бахвалов, П.В. Горлачук, М.А.Ладугин, А.А.Мармалюк, А.А.Падалица, Ю.Л.Рябоштан</u>	40
НОВЫЕ ПОДХОДЫ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ МОЩНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ОСНОВЕ МНОГОПЕРЕХОДНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР ЛАЗЕРОВ-ТИРИСТОРОВ	
<u>С.О. Слипченко, А.А. Подоскин, В.Головин, Н.А. Пихтин, Т.А. Багаев, М.А. Ладугин, А.А. Мармалюк, В.А. Симаков</u>	41
ЭВОЛЮЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МОЩНОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ	
<u>З.Н. Соколова, Н.А. Пихтин, Л.В. Асрян</u>	42
ГЕНЕРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРНОЙ КЕРАМИКИ ПРОИЗВОДСТВА ГЛП «РАДУГА»	
<u>И.М. Тупицын, В.В. Безотосный, В.В. Балашов, В.Д. Булаев, А.Ю.Канаев, В.Б.Кравченко, А.В. Киселев Ю.Л.Копылов, А. Л. Коромыслов, О.Н. Крохин, К. В. Лопухин, С.Л. Лысенко, М.А.Панков, К.А. Полезов, Ю.М.Попов, Е.А. Чешев</u>	43
ЛАЗЕРЫ ИК-ДИАПАЗОНА НА ПЕРЕХОДАХ КУЛОНОВСКИХ ЦЕНТРОВ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ	
<u>Шастин В.Н.</u>	45
КОЛЛЕКТИВНЫЕ МОДЫ В СДВОЕННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДИСКОВЫХ ЛАЗЕРАХ НА МОДАХ ШЕПЧУЩЕЙ ГАЛЕРЕИ	
<u>Ю.П. Яковлев, М.А. Ройз, А.Н. Баранов, А.Н. Именков, Д.С. Буренина, А.А. Пивоварова, А.М. Монахов, Е.А. Гребенищикова</u>	46
<u>Стеновые доклады</u>	
THEORETICAL MODELING OF LASER METAL NANOPARTICLES FRAGMENTATION IN WATER	
<u>A. A. Ananskaya, I. N. Zvestovskaya, A. P. Kanavin, O. V. Rodionova</u>	48

СОДЕРЖАНИЕ

STIMULATED THZ EMISSIONS ON BLOCH AND WANNIER-STARK TRANSITIONS FROM SIMPLE SUPERLATTICE OUTSIDE NDC REGION	
<u><i>A.A.Andronov, A.V.Ikonnikov, K.V. Маремьянин, V.I.Pozdnykova, Y.N. Nozdrin, A.A. Marmalyuk, A. Padalitsa, M. Ladugin, V. Belyakov, I. Ladenkov, A. Fefelov</i></u>	50
SILICON NANOSTRUCTURES FOR VISIBLE AND INFRARED PHOTONIC DEVICES	
<u><i>R.B. Assilbayeva, A. Zh. Turmukhamedov, K. S. Sekerbayev, E. T. Taurbayev, V. E. Nikulin, T. I. Taurbayev, S. P. Rodichkina, V.Yu. Timoshenko</i></u>	51
PERCOLATION MODEL OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF PBTE ISLAND FILMS	
<u><i>D. Bukharov, A. Istratov, A. Osipov</i></u>	53
NEW TECHNIQUE FOR FEMTOSECOND PULSE SELF-SHORTENING BASED ON THE TRANSIENT REGIME OF MULTIPLE FILAMENTATION IN KERR MEDIA	
<u><i>A.V. Koribut, Ya.V. Grudtsin, L.D. Mikheev, V.A. Trofimov</i></u>	54
SIMULATION OF THERMALIZATION OF A WEAKLY INTERACTING BOSE GAS BY KINETIC EQUATIONS	
<u><i>I.O. Kuznetsov, P.F. Kartsev</i></u>	56
ENHANCED PHOTOLUMINESCENT PROPERTIES OF ORGANOMETAL PEROVSKITES DEPOSITED ON NANOSTRUCTURED SEMICONDUCTOR SUBSTRATES	
<u><i>K. S. Sekerbayev, E. T. Taurbayev, V. E. Nikulin, T. I. Taurbayev, A. N. Baranov, V.Yu. Timoshenko</i></u>	57
LASER SYNTHESIS OF COLLOIDAL GALLIUM NITRIDE SYSTEMS	
<u><i>I. Skryabin, A. Shagyrina, V. Samyshkin, G. Ribaka</i></u>	58
LASER DIAGNOSTICS OF FRACTAL SILICON NANOSTRUCTURES ON CRYSTALLINE SILICON WAFERS	
<u><i>V. G. Yakunin, V. P. Saviunov, D. E. Presnov, R. B. Assilbayeva, T. Yu. Grevtzeva, Z. Zh. Zanabayev, V.Yu. Timoshenko</i></u>	60

СОДЕРЖАНИЕ

АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ КРЕМНИЕВЫХ НАНОЧАСТИЦ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ СВЕТА	
<u><i>А.Ф. Алыкова, И.Н. Завестовская, В.Ю. Тимошенко</i></u>	61
КЕРАМИКА НА ОСНОВЕ ОКСИДА ИТРИЯ, ЛЕГИРОВАННОГО РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ (Tm, Ho), ДЛЯ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ ДВУХМИКРОННОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА	
<u><i>В.В. Балашиов, Ю.Л. Копылов, В.Б. Кравченко, К.В. Лопухин, П.А. Рябочкина, А.Н. Чабушкин</i></u>	63
РОСТ ВНУТРЕННИХ ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ ЛАЗЕРОВ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 1-1.1 МКМ	
<u><i>Бобрецова Ю.К., Веселов Д.А., Слипченко С.О., Соколова З.Н., Пихтин Н.А.</i></u>	65
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЗОТЕТРАПОРФИРИНА С ДЕТОНАЦИОННЫМИ НАНОАЛМАЗАМИ МЕТОДОМ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ	
<u><i>Е.А. Борулева, Л.А. Бутусов, И.А.Наговицын, Г.К. Чудинова</i></u>	66
МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 1500-1600 НМ	
<u><i>Веселов Д.А., Бобрецова Ю.К., Слипченко С.О., Соколова З.Н., Пихтин Н.А.</i></u>	68
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ ПОРИСТЫХ ДЕФЕКТОВ В МЕТАЛЛАХ	
<u><i>М.С. Григорьева, И.Н. Завестовская, А.П. Канавин</i></u>	69
ПОВЫШЕННАЯ ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ СПЕКТРА ГЕНЕРАЦИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА С П-РБЗ	
<u><i>В.В. Золотарев, А.Ю. Лешко, В.С. Головин, З.Н. Соколова, Н.А. Пихтин</i></u>	70
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО ОПТИЧЕСКИМ КАНАЛАМ СВЯЗИ	
<u><i>Е.А. Исаев, П. А. Тарасов</i></u>	71

СОДЕРЖАНИЕ

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛЁНОК TiO_2 ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ИСПАРЕНИЯ В ВАКУУМЕ С ИОННЫМ АССИСТИРОВАНИЕМ	
<u><i>А.А. Козырев, А.Д. Лебедев</i></u>	72
ДВУХВОЛНОВАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В ЛАЗЕРЕ С ЛИНЗОПОДОБНЫМ АКТИВНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ Nd:YLF ПРИ МОДУЛЯЦИЕЙ ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАТОРА ПАССИВНЫМ $\text{Cr}^{4+}:\text{YAG}$ ЗАТВОРОМ	
<u><i>А. Л. Коромыслов, В.В. Безотосный, М.В. Горбунков, К.А. Полезов, В.Г. Тункин, И.М. Тупицын, Е.А. Чешев</i></u>	73
ПОЛУЧЕНИЕ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ИТТРИЙ АЛЮМИНИЕВОГО ГРАНАТА ДЛЯ ПАССИВНЫХ ЗАТВОРОВ ЛАЗЕРОВ	
<u><i>К.В. Лопухин, Ю.Л. Копылов, В.Б. Кравченко, Е.А. Чешев, В.В. Блашов, А.А. Каминский</i></u>	74
УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ТГЦ ДИАПАЗОНЕ СО СПЕКТРАЛЬНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ	
<u><i>А. А. Плеханов, А. Э. Акмалов, К. И. Козловский, Г. Е. Котковский, Ю. А. Митягин, А. А. Чистяков</i></u>	75
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ТОКА ЧЕРЕЗ p-n-ПЕРЕХОД	
<u><i>Смирнов С.В., Нургалиев Р.К., Алыкова О.М., Смирнов В.В.</i></u>	76
СОВРЕМЕННАЯ ПОДГОТОВКА КАДРОВ В НИЯУ МИФИ ДЛЯ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЛАСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ	
<u><i>А.А. Фроня, О.Н. Крохин, И.Н. Завестовская, Г.Т. Микаелян</i></u>	77
ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ ФОТОНИКИ	
<u><i>А.Ю. Шагурина, С.В. Кутровская, О.А. Новикова, А.В. Шагурин</i></u>	79
ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОПРОВОЛОК НИТРИДА АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ОСАЖДЕНИЯ	
<u><i>Юнусова Н.Р., Каргин Н.И., Рындя С.М., Гусев А.С., Антоненко С.В., Тимофеев А.А.</i></u>	82

Подписано в печать 21.11.2017
Формат 60×84 1/16 Заказ №150. Тираж 50 экз. Печ. л. 5,75.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Типография НИЯУ МИФИ
115409, Москва, Каширское ш., 31