

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ имени Б.И. СТЕПАНОВА  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ  
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ имени А.Ф. ИОФФЕ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

1-ая Международная конференция  
**ЛАЗЕРЫ, ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ  
И СИСТЕМЫ НА ИХ ОСНОВЕ**

(Lasers, Semiconductor Emitters and Systems, *LSES Minsk 2022*)

23–27 мая 2022 г., Минск, Беларусь

(May 23–27, 2022, Minsk, Belarus)



**ПРОГРАММА И ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

Минск 2022

## Organizing Committee

**G. Ryabtsev** (B.I. Stepanov Institute of Physics), Chairman of the Organizing Committee,

tel.: +375-17-270-8398 (office), +375-29-120-9741 (mob.),

**V. Kalinov** (B.I. Stepanov Institute of Physics), Vice-chairmen of the Organizing Committee,

**E. Jarnikova** (B.I. Stepanov Institute of Physics),

**A. Ryabtsev** (B.I. Stepanov Institute of Physics),

**M. Leanenia** (B.I. Stepanov Institute of Physics),  
Scientific Secretary of LSES Minsk 2022

## Correspondence

### Organizing Committee, Proceedings, Passport and Visa

Ulyana [Malashenok \(Ульяна Малашенко\)](#),

[e-mail: u.malashenok@ifanbel.bas-net.by](mailto:u.malashenok@ifanbel.bas-net.by)

B.I. Stepanov Institute of Physics NASB, [tel.: +375-17-270-8398](tel:+375-17-270-8398),  
68-2 Nezavisimosti Ave., Minsk 220072, Belarus

[Zinaida Sokolova \(Зинаида Соколова\)](#),

[e-mail: zina.sokolova@mail.ioffe.ru](mailto:zina.sokolova@mail.ioffe.ru)

Ioffe Institute, St.-Petersburg, Russia,  
tel.: (812)-292-79-95

1-ая Международная конференция

## ЛАЗЕРЫ, ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ И СИСТЕМЫ НА ИХ ОСНОВЕ

23–27 мая 2022, Минск, Беларусь

### ПРОГРАММА

**23 мая, понедельник**

**08.00-14.00** *Registration, meeting and visiting to the B.I. Stepanov Institute of Physics NASB, excursion around Minsk*

**14.00-14.30** **Открытие конференции – Conference Opening**

*Introductory Greetings:* М.В. Богданович, Ю.П. Яковлев, Н.Д. Жуков, Н.А. Пихтин

**Section 1 – Лазерные излучатели, технология**

*Приглашенный доклад*

**14.30–15.00** **Мощные полупроводниковые лазеры ближнего ИК: современное состояние**

**Н.А. Пихтин**

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

*Приглашенный доклад*

**15.00–15.30** **Мощные квантово–каскадные лазеры среднего ИК**

**Г.С. Соколовский**

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

*Приглашенный доклад*

**15.30–16.00** **Источники одиночных фотонов на основе квантовых точек для систем квантовых вычислений и коммуникаций**

**А.А. Торопов**

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

**16.00–16.45** *Coffee Break*

*Приглашенный доклад*

**16.45–17.15** **Quantum cascade laser in compact methane pad gas analyzer**

**D.B. Kolker**<sup>1</sup>, I.V. Sherstov<sup>2,1</sup>, A. Boyko<sup>1,2</sup>, N. Kostyukova<sup>1,2</sup>, E.Yu. Erushin<sup>1,2</sup>, A.V. Pavluck<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Novosibirsk State University, Research Laboratory of Quantum Optics Technologies, Pirogova 1, Novosibirsk, Russia;*

*Приглашенный доклад*

- 17.15–17.45 Молекулярно-пучковая эпитаксия нитридов для оптоэлектроники**  
**Е.В. Луценко**, Н.В. Ржеуцкий, А.В. Нагорный, А.Г. Войнилович,  
В.А. Шуленкова, Г.П. Яблонский  
*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

**24 мая, вторник**

**Section 2 – Лазерные излучатели, теория, приборы**

*Приглашенный доклад*

- 09.00–09.30 Монослойные гетероструктуры GaN/AlN: развитие технологий, свойства и применения в УФС оптоэлектронике**  
**В.Н. Жмерик**<sup>1</sup>, А.А. Торопов<sup>1</sup>, В.Ю. Давыдов<sup>1</sup>, В.И. Козловский<sup>2</sup>,  
Е.В. Луценко<sup>3</sup>, С.В. Иванов<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия;*  
<sup>2</sup>*Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия;*  
<sup>3</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

*Приглашенный доклад*

- 09.30–10.00 Исследование характеристик керамик Yb:LuYAG с различной степенью замещения Y на Lu в матрице**  
В.В. Балашов<sup>1</sup>, Л.Ю. Захаров<sup>1</sup>, А.В. Инюшкин<sup>2</sup>, А.Ю. Канаев<sup>3</sup>,  
А.И. Козлов<sup>4</sup>, С.М. Козлова<sup>1</sup>, А.Л. Коромыслов<sup>5</sup>, К.В. Лопухин<sup>1</sup>,  
В.А. Лузанов<sup>1</sup>, В.А. Орлович<sup>6</sup>, И.М. Тупицын<sup>5</sup>, Д.А. Чернодубов<sup>2</sup>,  
**Е.А. Чешев**<sup>5</sup>  
<sup>1</sup>*Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники, им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Московская обл., Россия;*  
<sup>2</sup>*НИЦ “Курчатовский институт”, Москва, Россия;*  
<sup>3</sup>*ФКП “ГЛП “РАДУГА”, Радужный, Владимирская обл., Россия;*  
<sup>4</sup>*АО “НИИ “Полус им. М.Ф. Стельмаха”, Москва, Россия;*  
<sup>5</sup>*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия;*  
<sup>6</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

*Приглашенный доклад*

- 10.00–10.30 Prototypes of the future laser-induced topological nanocluster devices – quantum dots and nonlinear dynamics regimes**  
D. Bukharov, A. Antipov, O. Butkovsky, T. Khudaiberganov, **Sergei Arakelian**  
*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия*

- 10.30–10.45 Одноэлектронные и однофотонные процессы в наночастице с квантоворазмерной частицей**  
**Н.Д. Жуков**  
*ООО “НПП Волга”, Саратов, Россия*

- 10.45–11.00 Зеркала для квантовых каскадных лазеров среднего инфракрасного диапазона**  
**К.А. Подгаецкий**, А. Лобинцов, М. Ладугин, А. Мармалюк  
*АО “НИИ “Полус” им. М.Ф. Стельмаха”, Москва, Россия*

- 11.00–11.45 Coffee Break**

- 11.45–12.00 Два порога и два режима генерации в полупроводниковых лазерах на квантовых ямах**  
**З.Н. Соколова**<sup>1</sup>, Н.А. Пихтин<sup>1</sup>, С.О. Слипченко<sup>1</sup>, Л.В. Асрян<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия;*  
<sup>2</sup>*Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA 24061, USA*
- 12.00-12.15 Способ формирования фронта тока накачки для многоэлементных лазерных излучателей**  
**Е.В. Смолина**  
*Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия*
- 12.15-12.30 Semiconductor optical-to-THz devices for efficient spectroscopy and imaging**  
**D. Ponomarev**<sup>1,2</sup>, D. Lavrukhin<sup>1</sup>, R. Khabibullin<sup>1</sup>, M. Skorobogatiy<sup>3</sup> and K. Zaytsev<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>*Institute of Ultra-High Frequency Semiconductor Electronics RAS, Moscow, Russia;*  
<sup>2</sup>*Prokhorov General Physics Institute of the RAS, Moscow, Russia;*  
<sup>3</sup>*Département de Génie Physique, Polytechnique Montréal, Canada*
- 12.30-12.45 Периодические оптически связанные волноводы для создания полупроводниковых лазеров спектрального диапазона 1,5 – 1,6 мкм с узкой диаграммой направленности**  
**О.О. Багаева**, Ю.Л. Рябоштан, А.А. Мармалюк, В.Н. Светогоров, М.А. Ладугин, А.А. Падалица, А.В. Лобинцов, С.М. Сапожников, В.Д. Курносков, В.И. Романцевич, К.В. Курносков, А.В. Иванов  
*АО “НИИ “Полюс” им. М.Ф. Стельмаха”, Москва, Россия*
- 12.45-13.00 Термоупругие напряжения в твердотельных лазерных активных элементах с боковыми рассеивающими покрытиями**  
**М.А. Барулина**<sup>1</sup>, М.В. Богданович<sup>2</sup>, В.Н. Дудиков<sup>2</sup>, А.Г. Рябцев<sup>2</sup>, Д.В. Кондратов<sup>1</sup>, М.А. Сидорова<sup>1</sup>, И.А. Изнаилов<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>*Институт проблем точной механики и управления Саратов, Россия;*  
<sup>2</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь*
- 13.00-14.30 Перерыв на обед
- Приглашенный доклад*
- 14.30-15.00 1300-1550 nm wafer-fused high-speed VCSELs**  
S.A. Blokhin<sup>1</sup>, A.V. Babichev<sup>2,3</sup>, A.Yu. Egorov<sup>3</sup>, A.G. Gladyshev<sup>2,3</sup>,  
**L.Ya. Karachinsky**<sup>2,3</sup>, N.A. Maleev<sup>1</sup>, **I.I. Novikov**<sup>2,3</sup>, K.O. Voropaev<sup>4</sup>  
<sup>1</sup>*Ioffe Institute, Saint Petersburg, Russia;*  
<sup>2</sup>*ITMO University, Kronverkskiy 49, 197101, Saint Petersburg, Russia;*  
<sup>3</sup>*Connector Optics LLC, Saint Petersburg, Russia;*  
<sup>4</sup>*JSC OKB-Planeta, Veliky Novgorod, Russia*
- Приглашенный доклад*
- 15.00–15.30 Мощные одномодовые лазеры и линейки на их основе для спектрального диапазона 1040–1080 нм**  
**С.О. Слипченко**, И.С. Шашкин, А.Д. Бондарев, Д.Н. Николаев, Н.В. Воронкова, А.В. Лютецкий, А.Ю. Лешко, Н.А. Пихтин, П.С. Копьев

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

- 15.30-15.45** **Сенсор водорода на основе структур палладий–фосфид индия**  
В.А. Шутаев<sup>1</sup>, Е.А. Гребенщикова<sup>1</sup>, В.Г. Сидоров<sup>2</sup>, **Ю.П. Яковлев<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия;*  
<sup>2</sup>*ООО «АИБИ», 194021 Санкт-Петербург, Россия*
- 15.45-16.00** **MBE- and MOCVD-grown THz quantum cascade lasers with two-photon emission in the gain module**  
**Р.А. Хабибуллин**  
*Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники РАН, Москва, Россия*
- 16.00-16.15** **Быстродействующие air–bridge фотоприемники для средней ИК области спектра**  
**А.А. Пивоварова**, Е.В. Куницына, Г.Г. Коновалов, С.О. Слипченко, А.А. Подоскин, И.А. Андреев, Н.А. Пихтин, Н.Д. Ильинская, Ю.П. Яковлев  
*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия*
- 16.15-16.30** **III–N светоизлучающие гетероструктуры, выращенные на подложках SiC/Si**  
**А.Ф. Пацельников<sup>1</sup>**, А.В. Сахаров<sup>1,2</sup>, А.Е. Николаев<sup>1,2</sup>, В.В. Лундин<sup>2</sup>, С.О. Усов<sup>1</sup>, Л.К. Марков<sup>1,2</sup>, И.П. Смирнова<sup>1,2</sup>, А.С. Павлюченко<sup>1,2</sup>, А.С. Гращенко<sup>3</sup>, С.А. Кукушкин<sup>3</sup>, Н.А. Черкашин<sup>4</sup>, А.А. Осипов<sup>5</sup>  
<sup>1</sup>*НТИЦ Микроэлектроники РАН, СПб, Россия;*  
<sup>2</sup>*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия;*  
<sup>3</sup>*Институт проблем машиноведения РАН, СПб, Россия;*  
<sup>4</sup>*CEMES-CNRS and Université de Toulouse, Toulouse, France;*  
<sup>5</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет, СПб, Россия*
- 16.30-16.45** **Особенности волоконных излучателей с солнечной накачкой при использовании вблизи Земли**  
**Б.А. Кузяков**  
*Российский технологический университет МИРЭА, Москва, Россия*
- 16.45-17.00** **Система синхронизации многоканальных время-пролётных спектрометров, совмещающая различные моды синхронизации в единой среде**  
**А.А. Рубан**, А.Н. Козырев, Г.Н. Федотович, А.Б. Логашенко  
*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, Новосибирск, Россия*
- 17.00-18.00** **Стендовая сессия (кофе–пауза)**
- Ст–1** **Comparison of wavelengths and gains in lasers with quantum well, quantum dot and transition dimension active regions**  
**Г.О. Kornyshov<sup>1</sup>**, N.Yu. Gordeev<sup>2</sup>, Yu.M. Shernyakov<sup>2</sup>, A.A. Beckman<sup>2</sup>, A.S. Rayusov<sup>2</sup>, S.A. Mintairov<sup>2</sup>, N.A. Kalyuzhnyy<sup>2</sup>, M.V. Maximov<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>*Санкт–Петербургский национальный исследовательский университет РАН им. Ж.И. Алфорова, СПб, Россия;*  
<sup>2</sup>*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург,*

Россия

- Ст–2 **Исследование тепловых свойств мощных полупроводниковых лазеров ближнего ИК-диапазона**  
**В.А. Крючков**, Д.А. Веселов, В.В. Золотарев, Н.А, Рудова, А.Е. Казакова, С.О. Слипченко, Н.А. Пихтин  
*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия*
- Ст–3 **High-power AlGaInN LEDs and LED assemblies for pumping of solid-state lasers**  
**A.V. Aladov**<sup>1</sup>, А.Е. Chernyakov<sup>1</sup>, А.Е. Ivanov<sup>1,2</sup>, А.Л. Zakgeim<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>*Submicron Heterostructures for Microelectronics, Research & Engineering Center, RAS, Saint-Petersburg, Russia;*  
<sup>2</sup>*Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI" Saint-Petersburg, Russia.*
- Ст–4 **Особенности пространственно–энергетического профиля активно-импульсных систем видения при учете шумового порога**  
**Б. Ф. Кунцевич**<sup>1</sup>, И.Н. Пучковский<sup>1</sup>, С.С. Шафель<sup>1</sup>, Д.В. Шабров<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>*ГНПО “Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника”, Минск, Беларусь;*  
<sup>2</sup>*Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь*
- Ст–5 **Микролазер на Nd:YAG с длиной волны генерации 946 нм, пассивный затвор Cr:YAG: численная модель расчета характеристик**  
С.Л. Лысенко, И.М. Тупицын, А.Б. Козлов, А.Л. Коромыслов,  
**Е.А. Чешев**  
*Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия*
- Ст–6 **Исследование дальних полей излучения микродисковых лазеров с квантовыми ямами–точками InGaAs в активной области**  
**Э.И. Моисеев**<sup>1</sup>, Н.В. Крыжановская<sup>1</sup>, Н.А. Фоминых<sup>1</sup>, А.В. Нагорный<sup>2</sup>, Б.Д. Урманов<sup>2</sup>, Ф.И. Зубов<sup>3</sup>, М.В. Максимов<sup>3</sup>, С.А. Минтаиров<sup>4</sup>, Н.А. Калюжный<sup>4</sup>, М.М. Кулагина<sup>4</sup>, А.Е. Жуков<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>*Высшая школа экономики, Международная лаборатория квантовой оптоэлектроники, СПб, Россия;*  
<sup>2</sup>*Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь;*  
<sup>3</sup>*СПБАУ РАН им. Ж.И. Алфёрова, СПб, Россия;*  
<sup>4</sup>*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия*
- Ст-7 **Сравнительный анализ тепловых потерь в лазерных диодах на основе InGaAs/AlGaAs/GaAs гетероструктур спектрального диапазона 940 - 980 нм**  
**Н.В. Гультиков**<sup>1</sup>, М.А. Ладугин<sup>1</sup>, Н.А. Волков<sup>1</sup>, К.Ю. Телегин<sup>1</sup>, А.А. Мармалюк<sup>1</sup>, Л.И. Шестак<sup>2</sup>, В.А. Панарин<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>*ООО “Сигм плюс”, Москва, Россия;*  
<sup>2</sup>*ООО “НПП «Инжект»”, Саратов, Россия*
- Ст–8 **Использование экстрактов лекарственных растений в качестве фотосенсибилизаторов в лазерно–оптических технологиях преодоления антимикробной резистентности**  
**А.В. Микулич**<sup>1</sup>, Р.К. Нагорный<sup>1</sup>, А.И. Третьякова<sup>1</sup>, Н.В. Дудчик<sup>2</sup>, О.А. Емельянова<sup>2</sup>, А.И. Жабровская<sup>2</sup>, А.Н. Собчук<sup>1</sup>, Т. С. Ананич<sup>1</sup>, Л.Г. Плавская<sup>1</sup>, О.Н. Дудинова<sup>1</sup>, И.А. Леусенко<sup>1</sup>, В.Ю. Плавский<sup>1</sup>, Tran

Quoc Tien<sup>3</sup>, Quang Cong Tong<sup>3</sup>, Thanh-Phuong Nguyen<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь;

<sup>2</sup>Государственное предприятие “НППЦГ”, Минск, Беларусь;

<sup>3</sup>Институт материаловедения ВАНТ, Ханой, Вьетнам;

<sup>4</sup>Школа инженерной физики Ханойского университета науки и технологий, Ханой, Вьетнам

- Ст–9 Безопасный для глаз импульсный кольцевой параметрический генератор света. Численное моделирование**  
Г.И. Тимофеева<sup>1</sup>, В.И. Дашкевич<sup>1</sup>, П.А. Апанасевич<sup>1</sup>, А.П. Шкадаревич<sup>2</sup>, **В.А. Орлович<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь;  
<sup>2</sup>НТЦ ЛЭМТ БелОМО, Минск, Беларусь
- Ст–10 Backward and forward picosecond SRS near water–air interface**  
**A. Vodchits<sup>1</sup>**, S. Pershin<sup>2</sup>, I. Khodasevich<sup>1</sup>, V. Orlovich<sup>1</sup>, A. Kudryavtseva<sup>3</sup>, and N. Tcherniega<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь;  
<sup>2</sup>Prokhorov General Physics Institute of RAN, Moscow, Russia;  
<sup>3</sup>Lebedev Physical Institute of RAN, Moscow, Russia
- Ст–11 Лазерный фотоакустический детектор метана ближнего ИК диапазона**  
**А.Л. Уласевич**, А.А. Кузьмук  
Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь
- Ст–12 Contribution of fluctuations of band potential and hetero-interface disorder into reduction and efficiency droop phenomena in nitride–based LEDs**  
**E. Shabunina<sup>1</sup>**, A. Chernyakov<sup>2</sup>, A. Ivanov<sup>2</sup>, A. Kartashova<sup>1</sup>, V. Kuchinskii<sup>1,3</sup>, D. Poloskin<sup>1</sup>, N. Talnishnikh<sup>2</sup>, N. Shmidt<sup>1</sup>, A. Zakgeim<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия;  
<sup>2</sup>Submicron Heterostructures for Microelectronics Research and Engineering Center RAS, St. Petersburg, Russia  
<sup>3</sup>Saint Petersburg Electro-technical University “LETI”, St. Petersburg, Russia
- Ст–13 Селекция модового состава латерального волновода полупроводникового РБЗ лазера**  
**В.В. Золотарев<sup>1</sup>**, А.Э. Ризаев<sup>1,2</sup>, С.О. Слипченко<sup>1</sup>, Н.А. Пихтин<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия;  
<sup>2</sup>СПбПУ, С.-Петербург, Россия
- Ст–14 Селекция мод во внешнем резонаторе для микролинейки одномодовых лазеров (1060нм)**  
А.А. Подоскин, **В.В. Золотарев**, С.О. Слипченко, Д.Н. Романович, О.С. Соболева, В.А. Стрелец, В.А. Капитонов, К.В. Бахвалов, А.Е. Казакова, Е. Фомин, Н.А. Пихтин  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия
- Ст–15 Оптимизация конструкции лазерных диодов для генерации субнаносекундных импульсов в режиме модуляции усиления**  
В.С. Головин, С.О. Слипченко, **А.А. Подоскин**, М.Г. Растегаева, Н.А. Пихтин  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия



Россия

- Ст–16** **Линейки мощных полупроводниковых лазеров для генерации 100 нс импульсов кВт диапазона на основе туннельно-связанных гетероструктур (910нм)**  
**А.А. Подоскин**<sup>1</sup>, С.О. Слипченко<sup>1</sup>, Д.А. Веселов<sup>1</sup>, В.А. Стрелец<sup>1</sup>, Н.А. Рудова<sup>1</sup>, Н.А. Пихтин<sup>1</sup>, Т.А. Багаев<sup>2</sup>, М.А. Ладугин<sup>2</sup>, А.А. Мармалюк<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия;  
<sup>2</sup>АО “НИИ “Полюс” им. М.Ф. Стельмаха”, Москва, Россия
- Ст–17** **Изотипные инжекционные гетероструктуры на основе InGaAs/AlGaAs/GaAs с эффективной межзонной излучательной рекомбинацией**  
С.О. Слипченко, **О.С. Соболева**, Н.А. Пихтин  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия
- Ст–18** **Дальнее поле линеек одномодовых лазеров (1060 нм) с сильной оптической связью между излучателями**  
И.С. Шашкин, С.О. Слипченко, Д.Н. Романович, **О.С. Соболева**, В.А. Стрелец, В.А. Капитонов, К.В. Бахвалов, А.Е. Казакова, Е.В. Фомин, Н.А. Пихтин  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия
- Ст–19** **Фотолюминесценция транзисторных структур III–N, легированных железом и углеродом**  
**А.В. Сахаров**<sup>1</sup>, Д.С. Артеев<sup>1</sup>, Е.Е. Заварин<sup>1</sup>, А.Е. Николаев<sup>1</sup>, В.В. Лундин<sup>1</sup>, А.Ф. Цацульников<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург, Россия;  
<sup>2</sup>НТЦ Микроэлектроники РАН, СПб, Россия
- Ст–20** **Влияние порядка брэгговского отражения и самопоглощения активной среды на энергетику одиночных пикосекундных импульсов РОС-лазера на красителях, возбуждаемого субнаносекундным Nd:LSB микролазером с диодной накачкой**  
**В. М. Катаркевич**, Т. Ш. Эфендиев  
Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь
- Ст–21** **Пикосекундное ВКР в поликристаллических порошках нитратов**  
**А. Водчиц**<sup>1</sup>, А. Пятышев<sup>2</sup>, А. Скрабатун<sup>2</sup>, В. Орлович<sup>1</sup>, И. Ходасевич<sup>1</sup>, О. Корожан<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Беларусь;  
<sup>2</sup>Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

**18.00-21.45** **Товарищеский ужин**

**25 мая, среда**

**09.00–16.00** **Section 3 – Круглый стол: обсуждение перспективных направлений совместных исследований в области квантовой электроники**

Н.А. Пихтин “Перспективные полупроводниковые излучатели для накачки твердотельных лазеров нового поколения”;

Е.А. Чешев “Твердотельные лазеры с диодной накачкой и керамическими активными элементами”;

Г.И. Рябцев “Тепловые проблемы и пути минимизации процессов деполяризации в Nd:YAG и Yb,Er твердотельных лазерах с поперечной диодной накачкой”;

Ю.П. Яковлев “Лазерные диоды и фотоприемники на основе узкополосных гетероструктур”;

Г.С. Соколовский “Перспективы сотрудничества в области квантово-каскадных лазеров среднего ИК–диапазона”;

Г.П. Яблонский “Перспективные технологии для оптоэлектронных приборов нового поколения на основе нитрида галлия”.

**26 мая, четверг**

#### **Section 4 – Лазеры и их применение**

##### **Приглашенный доклад**

- 09.00–09.30 Чувствительность бычьего коронавируса к УФ излучению**  
И.Н. Завестовская<sup>1,2</sup>, В.А. Гушин<sup>3</sup>, Л.И. Руссу<sup>3</sup>, **Е.А. Чешев<sup>1</sup>**,  
А.Л. Коромыслов<sup>1</sup>, И.М. Тупицын<sup>1</sup>, А.А. Фроня<sup>1,2</sup>, М.С. Григорьева<sup>1,2</sup>  
<sup>1</sup>Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия;  
<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,  
Москва, Россия;  
<sup>3</sup>Национальный исследовательский центр эпидемиологии и  
микробиологии им. почетного академика Н.Ф. Гамалеи, Москва, Россия

##### **Приглашенный доклад**

- 09.30–10.00 Влияние лазерного излучения на редокс–состояние клеток**  
**В.Ю. Плавский<sup>1</sup>**, О.Н. Дудинова<sup>1</sup>, Л.Г. Плавская<sup>1</sup>, А.И. Третьякова<sup>1</sup>,  
А.В. Микулич<sup>1</sup>, А.Н. Собчук<sup>1</sup>, Т.С. Ананич<sup>1</sup>, Ю.В. Крученок<sup>1</sup>,  
И.А. Леусенко<sup>1</sup>, Р.К.Нагорный<sup>1</sup>, С.В. Якимчук<sup>1</sup>, А.И. Будевич<sup>2</sup>,  
Д.М. Богданович<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь;  
<sup>2</sup>РУП “Научно-практический центр НАН Беларуси по  
животноводству”, г. Жодино

##### **Приглашенный доклад**

- 10.00–10.30 Лазеры на основе гетероструктур с квантовыми ямами**  
**HgCdTe/CdHgTe с квазирелятивистским законом дисперсии**  
**носителей для среднего и дальнего ИК диапазонов**  
**С.В. Морозов**  
Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия

##### **Приглашенный доклад**

- 10.30–11.00 Мощные импульсные полупроводниковые лазеры (1030 нм) с**  
**кратным увеличением излучающей эффективности на основе**  
**расширенного волновода с интегрированными туннельными**  
**переходами**

С.О. Слипченко, И.С. Шашкин, В.В. Шамахов, В.А. Крючков,  
Д.Н. Николаев, Л.С. Вавилов, Н.А. Рудова, Н.А. Пихтин, П.С. Копьев  
*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, СПб, Россия*

11.00–11.45 *Coffee Break*

**11.45–12.00 Быстродействие микродисковых лазеров с InGaAs/GaAs  
квантовыми точками, синтезированных на подложках GaAs**

Н.В. Крыжановская, Э.И. Моисеев, Н.А. Фоминых, Ф.И. Зубов,  
М.В. Максимов, С.А. Минтаиров, Н.А. Калюжный, М.М. Кулагина,  
А.Е. Жуков  
*Санкт–Петербургский национальный исследовательский университет  
РАН им. Ж.И. Алферова, СПб, Россия*

**12.00-12.15 Ultra-compact HgCdTe-based quantum cascade laser operating in the  
GaAs phonon Reststrahlen band**

А.А. Dubinov<sup>1</sup>, D.V. Ushakov<sup>2</sup>, A.A. Afonenko<sup>2</sup>, R.A. Khabibullin<sup>3</sup>,  
S.V. Mogozyov<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>*Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия;*  
<sup>2</sup>*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь;*  
<sup>3</sup>*Institute of Ultra-High Frequency Semiconductor Electronics RAS, Nagorny  
pr.7/5, Moscow, Russia*

**12.15–12.30 Пространственное развитие пучков нелинейно–преобразованного  
излучения фемтосекундных инфракрасных импульсов в кристалле  
YVO<sub>4</sub>**

И.А. Ходасевич, Н.В. Ржеутский, Е.В. Луценко, А.С. Грабчиков  
*Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

**12.30–12.45 Yb:LuAlO<sub>3</sub> crystal as active medium for solid–state diode pumped  
picosecond lasers**

В.Э. Кисель  
*НИЦ Оптических материалов и технологий филиала Белорусского  
национального университета "Научно-исследовательский  
политехнический институт", Минск, Беларусь*

**12.45–13.00 Параметры зон видимости активно–импульсных систем видения  
на наклонных трассах**

Б.Ф. Кунцевич<sup>1</sup>, Д.В. Шабров<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>*ГНПО "Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника", Минск,  
Беларусь;*  
<sup>2</sup>*Институт физики им. Б.И. Степнова НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

13.00–14.30 Перерыв на обед

### *Приглашенный доклад*

**14.30–15.00 Мощные полупроводниковые лазеры - перспективные изделия  
полупроводниковой фотоники**

Д. А. Автайкин, А.А. Козырев, М.А. Копёнкин, А.И. Куницкий,  
Г.Т. Микаелян, В.А. Панарин, С.Н. Соколов, М.Ю. Старынин,  
Л.И. Шестак  
*ООО "НПП «ИНЖЕКТ»", Саратов, Россия*

**15.00–15.15 Эффект насыщения усиления и многофотонные дизайны  
квантово–каскадных структур ТГц диапазона**

**Д.В. Ушаков**

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*

- 15.15–15.30 Исследование квантово-каскадного лазера с длиной волны излучения 8 мкм**  
**А.Е. Шепелев**<sup>1</sup>, А.А. Антипов<sup>1</sup>, А.Г. Путилов<sup>1</sup>, С.М. Аракелян<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>*Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН – филиал ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН, Шатура, Россия;*  
<sup>2</sup>*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых, Владимир, Россия*
- 15.30–15.45 Электронно-накачиваемый ультрафиолетовый излучатель ( $\lambda = 266$  нм) с импульсной мощностью выше 40 Вт на основе структуры с множественными квантовыми ямами GaN/AlN (On-Line)**  
**М.М. Зверев**<sup>1</sup>, Н.А. Гамов<sup>1</sup>, В.И. Козловский<sup>1</sup>, Я.К. Скасырский<sup>1</sup>, Д.В. Нечаев<sup>2</sup>, А.Н. Семенов<sup>2</sup>, В.Н. Жмерик<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>*ФИАН им. П.Н. Лебедева, Москва, Россия;*  
<sup>2</sup>*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, СПб, Россия*
- 15.45–16.00 Нелинейно–оптическое взаимодействие в двухчастотном лазере с вертикальным излучением (On-Line)**  
**Ю.А. Морозов**  
*Институт радиотехники и электроники им В.А. Котельникова РАН (Саратовский филиал), Саратов, Россия*
- 16.00–16.45 *Coffee Break*
- 16.45–17.00 Экситоны и экситон-поляритоны в наноструктурах на основе MoS<sub>2</sub>**  
**Т.В. Шубина**, М.В. Рахлин, А.Х. Галимов, Д.Р. Казанов, И.А. Елисеев  
*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, СПб, Россия*
- 17.00-17.15 Спонтанное и стимулированное излучение в кристаллах CuInSe<sub>2</sub> и тонких пленках твердых растворов Cu(In<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>)(S<sub>y</sub>Se<sub>1-y</sub>)<sub>2</sub>**  
**В.Н. Павловский**<sup>1</sup>, Е.В. Луценко<sup>1</sup>, Е.В. Муравицкая<sup>1</sup>, Г.П. Яблонский<sup>1</sup>, О.М. Бородавченко<sup>2</sup>, В.Д. Живулько<sup>2</sup>, А.В. Мудрый<sup>2</sup>, М.В. Якушев<sup>3,4</sup>  
<sup>1</sup>*Институт физики им. Б.И. Степнова НАН Беларуси, Минск, Беларусь;*  
<sup>2</sup>*Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Беларусь;*  
<sup>3</sup>*Институт физики металлов им. М.Н. Михеева Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия;*  
<sup>4</sup>*Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия*
- Приглашенный доклад*
- 17.15-17.45 Theory of operating characteristics of quantum dot lasers with asymmetric barrier layers (On-Line)**  
**L. Asryan**  
*Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA 24061, USA*

**27 мая, пятница**

**Section 5 – Устные доклады, закрытие конференции**

- 09.00-09.15 Бесконтактная характеристика гетероструктур**

Е.В. Луценко, А.В. Нагорный, Б.Д. Урманов, Н.В. Ржеуцкий, В.Н. Павловский, Г.П. Яблонский  
*Институт физики им. Б.И. Степнова НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

- 09.15-09.30 Сравнительный анализ добротности резонаторов диоднонакачиваемых узкополосных лазеров на основе Nd:YAG кристалла и Yb,Er стекла**  
М.В. Богданович, А.В. Григорьев, В.Н. Дудиков, К.И. Ланцов, А.Г. Рябцев, Г.И. Рябцев, Л.Л. Тепляшин  
*Институт физики им. Б.И. Степнова НАН Беларуси, Минск, Беларусь*
- 09.30-12.30 Обсуждение представленных результатов и планов дальнейшего взаимодействия научных коллективов, принявших участие в LSES 2022 (Н.А. Пихтин, А.А. Торопов, С.Н. Соколов, Е.А. Чешев, Г.П. Яблонский, Д.Б. Колкер и др.)**
- 12.30–13.00 Закрытие конференции.**

## **ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

### **МОЩНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ БЛИЖНЕГО ИК: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ**

Н.А. Пихтин

*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПб, Россия*

*e-mail: nike@hpld.ioffe.ru*

Доклад посвящен современным тенденциям в области разработок и исследований торцевых полупроводниковых лазеров, излучающих в диапазоне длин волн 900-2000 нм. Будут обсуждаться конструкции лазерных диодов на основе квантоворазмерных гетероструктур, выращенных на подложках GaAs и InP методом газофазной эпитаксии из металлорганических соединений. Главное внимание будет уделено их основным выходным электрооптическим характеристикам - оптическая мощность, КПД, спектральная и пространственная яркость, температурная стабильность, а также надежность и стоимость. Будут рассмотрены следующие типы излучателей, работающие в непрерывном и импульсном (длительность от 0.1 нс до 100 нс) режимах:

- мощные многомодовые одиночные полупроводниковые лазеры с широкой апертурой излучения (100-800 мкм);
- мощные лазерные линейки и матрицы;
- одномодовые и маломодовые лазерные диоды.

### **МОЩНЫЕ КВАНТОВО-КАСКАДНЫЕ ЛАЗЕРЫ СРЕДНЕГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА**

Г.С. Соколовский

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

*e-mail: gs@mail.ioffe.ru*

В настоящее время квантово-каскадные лазеры (ККЛ) являются наиболее эффективными источниками когерентного излучения среднего инфракрасного диапазона, известного широкими окнами прозрачности атмосферы, а также интенсивными линиями поглощения многих молекул. Поэтому ККЛ среднего ИК диапазона находят многочисленные применения в беспроводной оптической связи, газоанализе и биомедицинских исследованиях. В докладе будут обсуждаться результаты разработки и исследования ККЛ среднего ИК диапазона, демонстрирующих рекордную мощность излучения, при изготовлении которых все технологические операции выполнены в России.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 21-72-30020).

### **ИСТОЧНИКИ ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ НА ОСНОВЕ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК ДЛЯ СИСТЕМ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ И КОММУНИКАЦИЙ**

А.А. Торопов

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

*e-mail: toropov@beam.ioffe.ru*

Коммерчески доступные источники фотонов (ИФ) на основе микрорезонаторов с квантовыми точками (КТ) InAs/GaAs обеспечивают достижение беспрецедентно хороших значений основных параметров однофотонного излучения на длине волны вблизи 925 нм. Тем не менее, активное внедрение подобных устройств при разработке квантовых систем защищенной связи сдерживается отсутствием достаточно эффективных ИФ, излучающих в телекоммуникационных спектральных диапазонах, а функциональность ИФ, предназначенных для реализации перспективных фотонных систем квантовых вычислений, должна включать возможность генерации не только одиночных неразличимых фотонов, но также пар запутанных фотонов и многофотонных кластерных состояний. Для решения этих задач в ФТИ им. А.Ф. Иоффе разрабатывается технология изготовления ИФ на базе фотонных наноантенн и микрорезонаторов с одиночными КТ в системах (Al,Ga,In)As и (Cd,Zn,Mg)(Se,S). Изготавливаемые ИФ работают в диапазоне 500 – 700 нм, соответствующем окну прозрачности атмосферы, с чистотой однофотонного излучения свыше 90% при эффективности более 15% (15 фотонов на 100 импульсов накачки), а также в оптоволоконном О-диапазоне (1310 нм) с эффективностью однофотонной генерации более 10%. С применением высокодобротных микрорезонаторов с КТ InAs/GaAs получена эффективная генерация неразличимых фотонов и показана возможность реализации биэкситонного излучательного каскада, что является основной предпосылкой достижения генерации фотонов, запутанных по поляризации.

Работа поддержана госкорпорацией “Росатом” в рамках Дорожной Карты Квантовые Вычисления (контракт No. 868-1.3-15/15-2021 от 5.10.2021 и контракт No. R2152 от 19.11.2021).

## QUANTUM CASCADE LASER IN COMPACT METHANE PAD GAS ANALYZER

D.B. Kolker<sup>1</sup>, I.V. Sherstov<sup>2,1</sup>, A. Boyko<sup>1,2</sup>, N. Kostyukova<sup>1,2</sup>, A.V. Pavluck<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Novosibirsk State University, Research Laboratory of Quantum Optics Technologies,  
Pirogova 1, Novosibirsk, Russia;*

<sup>2</sup>*Institute of Laser Physics SB RAS, Lavrentyev Av. 15b, Novosibirsk. Russia  
e-mail: dkolker@mail.ru*

For local gas analysis of the atmosphere and various gas mixtures, devices based on laser photoacoustic (OA) spectroscopy are widely used, which allow measuring the concentration of the gas under study in the composition of the analyzed gas sample in almost real time (unlike gas chromatography). The most sensitive OA-acoustic gas analyzers are implemented using resonant photoacoustic detectors (PAD) of various types. In this work we present the latest results on creation photo acoustic methane gas analyzer based on quantum cascade laser at 7,65  $\mu\text{m}$ .

The developed airmobile laser photoacoustic gas analyzer (methane sensor for UVS of light and ultra-light classes of multirotor type) is designed to determine the concentration of methane in the air in real time with reference to the coordinates of the sampling point of the analyzed sample during geophysical studies under conditions of continuous forced air pumping through block of optical-acoustic detectors and transmission of measurement results to the onboard automated geophysical information-measuring system (AGIIS) for further processing and registration in a non-volatile storage device. The optical scheme of the developed OA gas analyzer is based on a quantum cascade laser (QCL) and a resonant differential photoacoustic detector (PAD).

This work was supported by grant RSF 17-72-30006-II.

## МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВАЯ ЭПИТАКСИЯ НИТРИДОВ ДЛЯ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

Е.В. Луценко, Н.В. Ржеуцкий, А.В. Нагорный, А.Г. Войнилович,  
В.А. Шуленкова, Г.П. Яблонский

*Институт физики НАН Беларуси, г. Минск, пр-т Независимости, 68-2, 220072,  
Беларусь,  
e-mail: e.lutsenko@ifanbel.bas-net.by*

Разработана цифровая технология молекулярно-пучковой эпитаксии с плазменно активированным азотом с увеличенной подвижностью адатомов зародышевых слоев AlN на подложках сапфира. Использование этих зародышевых слоев позволило растить высококачественные буферные слои AlN с шероховатостью  $\sim 0.3$  нм. Слои AlGaIn, выращенные на таких темплейтах цифровой молекулярно-пучковой эпитаксией с плазменно активированным азотом показали отличное качество, низкие) порог стимулированного излучения  $\sim 300$  кВт/см<sup>2</sup> при  $\lambda = 285$  нм, что позволяет применять их не только для транзисторов и ультрафиолетовых фотоприемников и излучателей, но и для лазеров. Одним из центральных вопросов в оптоэлектронике является вопрос создания р- и n- типа областей в широкозонных полупроводниках. Нами была оптимизирована аммиачная молекулярно-пучковая эпитаксия р-типа GaN:Mg и AlGaIn:Mg. Концентрации дырок, полученная для GaN:Mg, составила более  $1 \cdot 10^{18}$  см<sup>-3</sup> при подвижности более 10 см<sup>2</sup>/В·с и удельным сопротивлением менее 0,5 Ом·см, что является неплохим результатом для данного вида слоев. Для AlGaIn:Mg концентрации дырок также достигала  $1 \cdot 10^{18}$  см<sup>-3</sup>, удельное сопротивление 0,5 Ом·см. Слои n-типа GaN:Si были получены плазменной молекулярно-пучковой эпитаксией с рекордными характеристиками: концентрация электронов до  $4 \cdot 10^{20}$  см<sup>-3</sup>, удельное сопротивление  $2,5 - 3,5 \cdot 10^{-4}$  Ом·см. Также апробированы четыре различных вида молекулярно-пучковой эпитаксии Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> на основе аммиачной и плазменной молекулярно-пучковой эпитаксии с эффузивным источником кремния и моносиланом. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> являющегося важным элементом создания покровных изоляционных слоев и эпитаксии III-нитридов, а также служит для создания волноводов и различных оптоэлектронных схем на их основе. Все перечисленные технологии позволили получить слои с коэффициентом преломления  $> 2$  для  $\lambda < 1000$  нм. Молекулярно-пучковая эпитаксия с эффузивным источником кремния позволила получить гладкие слои с областью прозрачности (поглощение менее 1 см<sup>-1</sup> из данных эллипсометрии) менее 350 нм.

## МОНОСЛОЙНЫЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ GaN/AlN: РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ В УФС ОПТОЭЛЕКТРОНИКЕ

В.Н. Жмерик<sup>1</sup>, А.А. Торопов<sup>1</sup>, В.Ю. Давыдов<sup>1</sup>, В.И. Козловский<sup>2</sup>,  
Е.В. Луценко<sup>3</sup>, С.В. Иванов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия;

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

<sup>3</sup>Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Беларусь,  
e-mail: jmerik@pls.ioffe.ru

Доклад посвящен технологиям изготовления и свойствам монослойных (МС) гетероструктур GaN/AlN для глубокой ультрафиолетовой (УФС) фотоники. Структуры были выращены плазменно-активированной молекулярно-пучковой эпитаксией с прецизионным контролем толщин слоев и реализацией различных двумерных



механизмов роста. Структурные свойства гетероструктур изучались методами рентгеновской дифракции, сканирующей просвечивающей электронной микроскопии и спектроскопией комбинационного (Рамановского) рассеяния. Теоретические и экспериментальные исследования оптических свойств одиночных и множественных ультратонких (1-2МС) квантовых ям (КЯ) GaN/AlN подтвердили подавление в них квантово-размерного эффекта Штарка и ТЕ/ТМ переключения поляризации выходного УФС-излучения, а также экситонную природу излучения. Это обеспечило в таких структурах, излучающих на длине волны 235 нм, рекордно высокий внутренний квантовый выход 75%. Продемонстрированы возможности использования множественных КЯ МС-GaN/AlN для создания мощных (с пиковой выходной мощностью до нескольких десятков Ватт) УФС-эмиттеров в спектральном диапазоне 230-280 нм с электронно-лучевой накачкой. Кроме того, были выращены ультракороткопериодные сверхрешетки (цифровые твердые растворы) GaN/AlN общей толщиной несколько сотен нанометров, высокое оптическое качество которых подтверждается наблюдением в них при оптической накачке стимулированного излучения на длине волны 325 нм с минимальной пороговой плотностью мощности 500 кВт/см<sup>2</sup>.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИК Yb:LuYAG С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ЗАМЕЩЕНИЯ Y НА Lu В МАТРИЦЕ

В.В. Балашов<sup>1</sup>, Л.Ю. Захаров<sup>1</sup>, А.В. Инюшкин<sup>2</sup>, А.Ю. Канаев<sup>3</sup>, А.И. Козлов<sup>4</sup>,  
С.М. Козлова<sup>1</sup>, А.Л. Коромыслов<sup>5</sup>, К.В. Лопухин<sup>1</sup>, В.А. Лузанов<sup>1</sup>, В.А. Орлович<sup>6</sup>,  
И.М.Тупицын<sup>5</sup>, Д.А.Чернодубов<sup>2</sup>, Е.А. Чешев<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ФирЭ им. В.А. Котельникова РАН, 141190 Московская обл., г. Фрязино,  
пл. акад. Введенского 1, Россия;

<sup>2</sup>НИЦ “Курчатовский институт”, 123182, Москва, пл. Академика Курчатова 1;

<sup>3</sup>ФКП “ГЛП “РАДУГА”, 600910, Владимирская обл., г. Радужный, а/я 771,

<sup>4</sup>АО НИИ “Полюс им. М.Ф. Стельмаха”, Москва, Введенского 3,

<sup>5</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 119991 ГСП-1,  
Москва, Ленинский пр. 53, Россия;

<sup>6</sup>ИФ им. Б.И. Степанова НАН, Беларуси, Минск, пр-т Независимости 68-2  
e-mail: cheshev\_e2003@mail.ru

Для мощного лазера необходимы материалы с высокими термомеханическими свойствами. Одним из таких материалов является лютеций-алюминиевый гранат (LuAG), легированный иттербием. Он выгодно отличается от иттрий-алюминиевого граната (YAG) главным образом незначительным снижением теплопроводности с увеличением уровня легирования иттербием (Yb). Это обуславливает необходимость проведения прямого сравнительного исследования характеристик этих материалов и их переменных составов.

С этой целью была создана технология синтеза керамик Yb:LuYAG с различной степенью замещения Y на Lu в матрице элемента. Синтез образцов керамик осуществлен с использованием спекающих добавок В<sub>2</sub>О<sub>3</sub>, MgO, SiO<sub>2</sub>, которые позволили снизить температуру спекания. Исследованы оптические, структурные и лазерные характеристики для всех изготовленных образцов керамик. В широком диапазоне температур измерена теплопроводность образцов керамик. Также были измерены: кривые усадки, размер зерен, постоянные решетки и спектры пропускания образцов в диапазоне 200 нм – 1050 нм. Измерение генерационных характеристик осуществлялось в двухпроходной схеме накачки излучением лазерного модуля с длиной волны 940 нм. Из образцов керамик были изготовлены дисковые активные

элементы, смонтированные на теплоотводе CuW. Для дискового лазера с активным элементом 5% Yb:LuAG получена выходная мощность генерации 12 Вт на длине волны 1030 нм при 60 % дифференциальной эффективности.

Проведенные исследования позволяют заключить о перспективности применения Yb:LuYAG лазерных керамик для высокоэффективных лазерных систем с высокой выходной мощностью.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и БРФФИ в рамках научного проекта 20-52-00036 Бел\_а.

## **PROTOTYPES OF THE FUTURE LASER-INDUCED TOPOLOGICAL NANOCLUSTER DEVICES – QUANTUM DOTS AND NONLINEAR DYNAMIC REGIMES**

Dmitry Bukharov, Alexander Antipov, Oleg Butkovsky, Timur Khudaiberganov,  
Sergei Arakelian

*Stoletovs Vladimir State University, Gorky str., 87, Vladimir, Russia,  
e-mail: arak@vlsu.ru, +74922 333369*

1. We used a laser ablation as an initial procedure to form a cluster work-Net topological system of both different and many elements composition with any optimal concentration in thin films on solid surface being an analogue of a simple polycrystalline metallic sample with the element distribution in localized areas of the high configurational mixing entropy material.

2. Preliminary we experimentally obtained that the compounds exhibit the jump decrease of specific electrical resistivity coefficient (due to the topology) more than 4 orders (for gold, less 10 Ohm·nm, finally). The result may be explained by the electronic-state point of view in prepared inhomogeneous long-range disorder structures with varied density of states near the Fermi energy. This is a good platform to study the trends to a real superconductivity with selected both elemental and topology composition, but without high pressures and low temperatures. We present our new results of the study with the Cu and/or Ni element composition.

3. On the other hand, a new class of topological systems of a special type, so called a kagome crystal being the higher order topological insulators with presence of topological states with dimensionality one lower than that of the system in all, demonstrate both the near- and far-field interactions in electronic systems. The reasonable models for that to study the trend in development of necessary functional characteristics (optics+electrophysics) of the thin nanocluster film systems with different regular distributions of metallic islands and dielectric pores on surface, e.g. 2D, linear chains, quantum dots, are presented.

## **ОДНОЭЛЕКТРОННЫЕ И ОДНОФОТОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В НАНОЯЧЕЙКЕ С КВАНТОВОРАЗМЕРНОЙ ЧАСТИЦЕЙ**

Жуков Николай Дмитриевич  
ООО «НПП Волга», Саратов, Россия,  
e-mail: ndzhukov@rambler.ru

Исследуется одноэлектронные и однофотонные процессы электронной проводимости в коллоидных квантоворазмерных частицах (QP) на основе полупроводников CdSe, PbS, HgSe, InSb в межэлектродном нанозазоре туннельного

микроскопа. Характерным для полученных результатов является появление на ВАХ одиночных пиков тока и их сдвиг при освещении. Минимальная энергия фотонов в условиях высокой (однофотонной) чувствительности оценена величиной 0.1 эВ. Результаты объяснены в модели одноэлектронной резонансной проводимости в QP как глубокой протяжённой потенциальной яме.

В последние годы активно развивается направление однофотоники – однофотонные источники света на основе полупроводниковых квантовых точек [1] и детекторы на основе охлаждаемых лавинных фотодиодов InGaAs/InP или сверхпроводящих нанопроволок [2]. В нашей работе исследуются одноэлектронные и однофотонные процессы в квантоворазмерных частицах (QP) на основе полупроводников CdSe, PbS, HgSe, InSb в межэлектродном нанозазоре туннельного микроскопа. Эксперименты проведены на случайных выборках одиночных QP путём их изготовления, ТЕМ-контроля формы и размеров нанокристаллов, ПЛБ-осаждения на диэлектрическую подложку с проводящим ИТО-слоем, измерений темновых и световых ВАХ. Методические подробности экспериментов описаны в наших работах, например, [3, 4]. При продолжении исследований мы планируем изготавливать образцы в виде микрочипов с нано-ячейками.

На рисунке приведены типичные результаты: ТЕМ-снимок монослойного фрагмента QP на подложке, ВАХ по-электронной и по-фотонной проводимости. Характерным для полученных результатов является появление одиночных пиков тока и их сдвиг при освещении. Минимальная энергия фотонов в условиях высокой (однофотонной) чувствительности оценена величиной 0.1 эВ. Результаты объяснены в модели одноэлектронной проводимости в QP как глубокой протяжённой потенциальной яме, когда наблюдается эффект резонансного движения электрона при воздействующей на электрон энергии, значения которой находятся решением уравнения Шрёдингера.

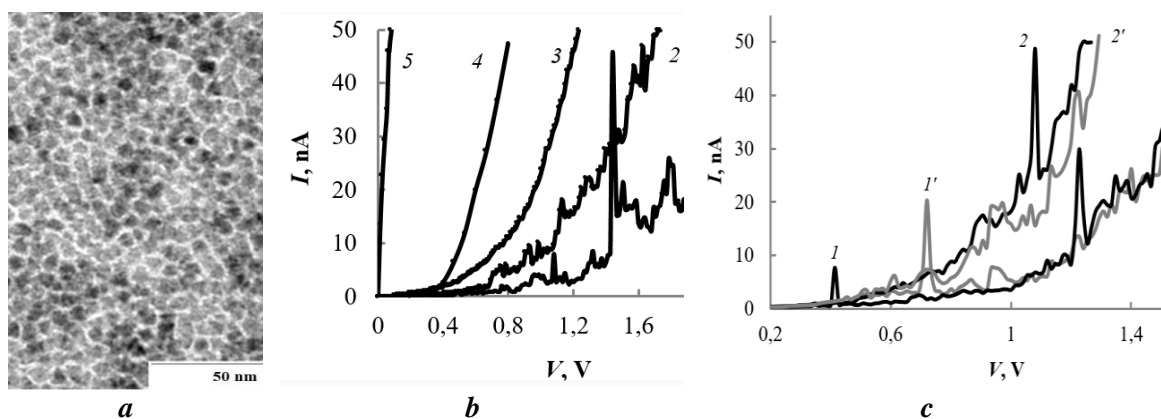


Рисунок 1. –Типичные результаты (как примеры): *a)* ТЕМ-снимок фрагмента монослоя QP-InSb; *b)* –типичные ВАХ: *1- 3* – квантоворазмерные частицы; *4* – микрочастицы; *5* – ИТО. *c)* ВАХ фотопроводимости QP-PbS *1, 2* – темновая, *1', 2'* – световая

1. P. Senellart, G. Solomon, A. White // NATURE NANOTECHNOLOGY, vol. 12, nov. 2017. - P. 1026 – 1039.
2. B.Sanguinetti, E.Amri, F.Richou // Photonics. – № 3 /63 / 2017. – P. 56-68.
3. Н.Д. Жуков, М.В. Гавриков // Письма в ЖТФ. – 2022. – Т. 48, вып. 8. – С. 18 – 22.
4. Н.Д. Жуков, О.Ю. Цветкова, М.В. Гавриков, А.Г. Роках, Т.Д. Смирнова, С.Н. Штыков // Физика и техника полупроводников.– 2022. – Т. 56, вып. 4. - С. 401-407.

## **ЗЕРКАЛА ДЛЯ КВАНТОВЫХ КАСКАДНЫХ ЛАЗЕРОВ СРЕДНЕГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА**

К. Подгаецкий, А. Лобинцов, М. Ладугин, А. Мармалюк  
АО “НИИ “Полюс” им. М.Ф. Стельмаха”, ул. Введенского, д. 3, корп. 1, Москва,  
Россия  
*e-mail: podgaetskykonstantin@yandex.ru*

Квантовые каскадные лазеры— это перспективные источники света для применения в инфракрасном спектральном диапазоне. Задача увеличения выходной оптической мощности таких излучателей является важной для их практического использования в различных областях. В данной работе представлены результаты расчетов и экспериментов по формированию зеркальных покрытий для квантовых каскадных лазеров среднего ИК-диапазона. Исследования проводились как среди диэлектрических, так и металлдиэлектрических зеркал. Показано, что для излучателей в диапазоне 4-5 и 8-12 мкм энергетический коэффициент отражения может превышать 95%, за счет оптимизации структуры многослойной системы и подбора соответствующих материалов. Экспериментально подтверждено, что применение диэлектрических зеркал для квантовых каскадных лазеров, работающих на длине волны 4.3 мкм, позволяет увеличить выходную оптическую мощность в 1.5 раза.

## **ДВА ПОРОГА И ДВА РЕЖИМА ГЕНЕРАЦИИ В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРАХ НА КВАНТОВЫХ ЯМАХ**

З.Н. Соколова<sup>1</sup>, Н.А. Пихтин<sup>1</sup>, С.О. Слипченко<sup>1</sup>, Л.В. Асрян<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26, Россия;*  
<sup>2</sup>*Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA 24061, USA*  
*e-mail: zina.sokolova@mail.ioffe.ru*

Проведенный нами теоретический анализ выявил возможность существования в полупроводниковых лазерах на квантовых ямах двух порогов генерации, а также второй ветви в лазерных характеристиках при токах инжекции, превышающих второй порог. Существование второй ветви в рабочих характеристиках (в частности, в ватт-амперной характеристике) лазера обусловлено конечностью скорости захвата носителей заряда из волноводной области в квантовую яму в сочетании с внутренними оптическими потерями, зависящими от концентрации носителей (в первую очередь, в волноводной области). Непосредственно за вторым порогом в режиме генерации, соответствующем второй ветви, квантовые ямы практически полностью заполнены как электронами, так и дырками (степени заполнения краёв электронной и дырочной подзон размерного квантования близки к 1). Ввиду высоких концентраций носителей заряда в квантовой яме и в волноводной области, на втором пороге генерации и непосредственно за ним имеет место интенсивная спонтанная электронно-дырочная рекомбинация и, соответственно, должно наблюдаться сильное спонтанное излучение как из квантовой ямы, так и из волноводной области.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект №19-79-30072).

## СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ФРОНТА ТОКА НАКАЧКИ ДЛЯ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

Е.В. Смолина

*ФГБУН “Институт лазерной физики” СО РАН, просп. Акад. Лаврентьева 15Б,  
Новосибирск, Российская Федерация  
e-mail: e.smolina@inbox.ru*

В настоящее время, в системах накачки твердотельных лазеров, а также, как самостоятельные источники когерентного излучения в комплексах дальнометрии, LIDAR системах на мобильных платформах, широко применяются сборки полупроводниковых диодных лазеров – матрицы лазерных диодов. Наиболее распространённой причиной выхода из строя этих устройств, является деградация их выходной мощности, связанная с потерей способности излучателей к лазерной генерации. К этому приводит повреждение выходного полупрозрачного зеркала резонатора. Время деградации зеркала очень мало, т.к. его теплоёмкость ничтожна, поэтому при вводе тока в лазерные линейки, важно обеспечить контроль скорости его нарастания.

В докладе рассматриваются традиционные методы формирования фронта тока, вводимого в лазерные излучатели, и предлагается новый способ, позволяющий оптимизировать время ввода тока, для сохранения ресурса излучателя. Суть способа заключается в формировании выходного тока лазерного драйвера так, чтобы его первая и, как минимум, вторая производная были непрерывны, с целью избежать запуска внутренних механизмов, приводящих к деградации структуры излучателя.

## SEMICONDUCTOR OPTICAL-TO-THZ DEVICES FOR EFFICIENT SPECTROSCOPY AND IMAGING

D. Ponomarev<sup>1,2</sup>, D. Lavrukhin<sup>1</sup>, R. Khabibullin<sup>1</sup>, M. Skorobogatiy<sup>3</sup> and K. Zaytsev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Ultra-High Frequency Semiconductor Electronics RAS, Nagorny pr. 7, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Prokhorov General Physics Institute of the RAS, Vavilov str. 38, Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*Département de Génie Physique, Polytechnique Montréal, Montreal, QC H3C 3A7, Canada  
e-mail: ponomarev\_dmitr@mail.ru*

In this work we report on our results in the development and fabrication of optical-to-THz emitters and detectors for the efficient THz spectroscopy and imaging. By using our seminal approaches, we have developed semiconductor devices operating at THz frequencies which are based on a photoconduction phenomenon when being illuminated with a fs-laser beams. We proposed a strain-induced superlattice featuring picosecond photocarrier lifetime while preserving moderate mobility that can be efficiently used for an ultra-low-noise THz detector demonstrating a dynamic range (signal-to-noise ratio) above 80 dB in the 4.5 THz frequency bandwidth. Earlier, we fabricated a plasmon-assisted THz emitter with a 5 THz bandwidth and optical-to-THz conversion of 2% that efficiently operate with low optical pump power ~ 1-5 mW avoiding any breakdown effects. Recently, we showed a 64 pixel THz detector based on a 2D array of photoconductive antennas and demonstrated its multichannel operation providing the accelerated THz spectral image acquisition of different objects.

# ПЕРИОДИЧЕСКИЕ ОПТИЧЕСКИ СВЯЗАННЫЕ ВОЛНОВОДЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 1.5 –1.6 МКМ С УЗКОЙ ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

О.О. Багаева, Ю.Л. Рябоштан, А.А. Мармалюк, В.Н. Светогоров, М.А. Ладугин, А.А. Падалица, А.В. Лобинцов, С.М. Сапожников, В.Д. Курносов, В.И. Романцевич, К.В. Курносов, А.В. Иванов

АО “НИИ “Полюс” им. М.Ф. Стельмаха” РФ, 117342, г. Москва, ул. Введенского, 3к1  
e-mail: kurnosovkv@niipolyus.ru

В работе исследованы два типа лазерных гетероструктур AlGaInAs/InP с волноводами различной конструкции. Гетероструктура первого типа основана на расширенном асимметричном волноводе, а в гетероструктуре второго типа волновод с *n*-стороны содержал несколько пар периодически повторяющихся слоев с низким и высоким коэффициентом преломления. Из всех гетероструктур были изготовлены и исследованы лазерные диоды (ЛД) мезаполосковой конструкции с шириной полоска 3 мкм.

Сравнение вольт-амперных (ВАХ) и ватт-амперных (ВтАХ) характеристик ЛД показало, что ВтАХ для ЛД второго типа лежит выше ВтАХ ЛД первого типа. Порог генерации для лазеров второго типа был ниже порога генерации традиционных лазеров первого типа. Однако ЛД с периодическим волноводом уступали ЛД раздельного ограничения по ВАХ. Для них характерны увеличенная отсечка и повышенное последовательное сопротивление.

Сравнение величины расходимости излучения перпендикулярно и параллельно *p-n* переходу по уровню 0.5 максимума показало, что введение периодического оптически связанного волновода способствует уменьшению расходимости излучения. В данном случае, такие ЛД продемонстрировали уменьшение расходимости в 1.5 раза в плоскости, перпендикулярной *p-n* переходу (с 45 до 30 градусов) при практическом сохранении пороговых и мощностных характеристик, свойственных обычным лазерам на основе двойной гетероструктуры с раздельным ограничением.

## ТЕРМОУПРУГИЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРНЫХ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ С БОКОВЫМИ РАССЕИВАЮЩИМИ ПОКРЫТИЯМИ

М.А. Барулина<sup>1</sup>, М.В. Богданович<sup>2</sup>, В.Н. Дудиков<sup>2</sup>, А.Г. Рябцев<sup>2</sup>, Д.В. Кондратов<sup>1</sup>,  
М.А. Сидорова<sup>1</sup>, И.А. Изнаиров<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем точной механики и управления Саратов, Россия

<sup>2</sup>Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости 68, Минск, Беларусь  
e-mail: marina@barulina.ru

В настоящей работе обсуждается метод математического моделирования термоупругих напряжений, возникающих в объеме лазерных активных элементов в результате нанесения на их боковые поверхности рассеивающих излучение покрытий различного типа. Кристалл Nd:YAG рассматривался в виде двухслойного цилиндра, один слой которого является активным элементом, а другой – рассеивающим излучение покрытием. Такое представление позволило сформулировать аналитически несвязанные плоские нестационарные задачи теплопроводности и термоупругости. Для поставленной задачи теплопроводности, с помощью метода интегральных преобразований, было

получено аналитическое решение в случае, когда тепловые воздействия носят гармонический или статический характер. Это позволило полностью исключить использование численных методов при моделировании нестационарного теплового воздействия на кристалл. Для решения задачи термоупругости, где температура определялась как решение соответствующей задачей теплопроводности, были получены аналитические выражения и разработано программное обеспечение для численного расчета термоупругого состояния. Расчетная схема согласуется с параметрами лазерных квантронов с мощной поперечной накачкой матрицами лазерных диодов.

### **1300-1550 nm WAFER-FUSED HIGH-SPEED VCSELS**

S.A. Blokhin<sup>1</sup>, A.V. Babichev<sup>2,3</sup>, A.Yu. Egorov<sup>3</sup>, A.G. Gladyshev<sup>2,3</sup>, L.Ya. Karachinsky<sup>2,3</sup>,  
N.A. Maleev<sup>1</sup>, I.I. Novikov<sup>2,3</sup>, K.O. Voropaev<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Ioffe Institute, Polytekhnicheskaya 26, 194021, Saint Petersburg, Russia;*

<sup>2</sup>*ITMO University, Kronverkskiy 49, 197101, Saint Petersburg, Russia;*

<sup>3</sup>*Connector Optics LLC, Domostroitel'naya 16, 194292, Saint Petersburg, Russia;*

<sup>4</sup>*JSC OKB-Planeta, Fedorovsky Ruchey 2/13, 173004, Veliky Novgorod, Russia*  
*e-mail: Leonid.Karachinsky@connector-optics.com*

We present our recent results on 1300 and 1550 nm vertical-cavity surface-emitting lasers (VCSELS) fabricated by molecular beam epitaxy (MBE) and wafer fusion technique. An original tunnel junction design which allowed using only MBE as a growth technique was suggested and realized. The 1300 nm and 1550 nm VCSELS have demonstrated more than 6 mW single mode CW power with a threshold current 1.5-2 mA at 20°C. The measured -3 dB bandwidth was about 8-10 GHz and the eye diagrams were open at ~ 20-30 Gbps using NRZ modulation standard at 20°C. Both types of VCSEL operated at temperatures up to ~ 85°C showing high-speed operation up to 20 Gbps. We believe that developed technology has a great potential to act as a universal platform for fabrication of different VCSELS of 1200-2000 nm spectral range.

### **МОЩНЫЕ ОДНОМОДОВЫЕ ЛАЗЕРЫ И ЛИНЕЙКИ НА ИХ ОСНОВЕ ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 1040-1080 нм**

С.О. Слипченко, И.С. Шашкин, А.Д. Бондарев, Д.Н. Николаев, Н.В. Воронкова,  
А.В. Лютецкий, А.Ю. Лешко, Н.А. Пихтин, П.С. Копьев

*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия,*  
*e-mail: serghpl@mail.ioffe.ru*

Разработаны подходы для создания мощных одномодовых лазеров и линеек на их основе. Экспериментально и теоретически показано, что дизайны гетероструктур с двойной асимметрией обеспечивают наибольшую устойчивость одномодового режима генерации. Продемонстрированы непрерывные одиночные полупроводниковые лазеры, работающие в одномодовом режиме до 500мВт и маломодовом режиме до 2Вт при RT.

Экспериментально и теоретически показано, что в линейках одномодовых лазеров со слабой оптической связью между элементами реализуется стабильное Гауссово распределение латерального поля до высоких уровней накачки. Продемонстрированы маломодовые линейки с низкой оптической связью и с высокой плотностью заполнения (10 излучателей, 200мкм суммарная апертура) с непрерывной мощностью 5Вт и импульсной мощностью 25Вт при RT.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-30072).

## СЕНСОР ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ СТРУКТУР ПАЛЛАДИЙ–ФОСФИД ИНДИЯ

В.А. Шутаев<sup>1</sup>, Е.А. Гребенщикова<sup>1</sup>, В.Г. Сидоров<sup>2</sup>, Ю.П. Яковлев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,  
194021 Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> ООО «АИБИ», 194021 Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: yakovlev.iropto@mail.ioffe.ru

В работе представлены результаты исследований по созданию фотоэлектрического сенсора водорода, не требующего нагрева чувствительного элемента. Для чувствительного элемента сенсора созданы структуры Pd/n-InP (диод Шоттки) и Pd/оксид/InP (металл-диэлектрик-полупроводник) и проведены исследования фототока и фотоэдс структур в зависимости от концентрации водорода в азотно-водородной газовой смеси в диапазоне 0.1–100 об. %.

Установлено, что скорость спада фотоэдс и фототока структур связаны с концентрацией водорода в газовой смеси экспоненциальной зависимостью:  $N_H = a \exp(bS)$ , где  $N_H$  – концентрация водорода в объемных %,  $S = dU/dt$  (В/с) или  $dI/dt$  (А/с) – скорость изменения фотоответа, начиная с момента контакта структуры с газовой смесью,  $a$  и  $b$  – постоянные, зависящие от толщины слоёв палладия и оксидной пленки на InP.

В результате созданы лабораторные образцы сенсора водорода для измерения концентрации водорода в интервале 100–30000 ppm с быстродействием (временем срабатывания) ~1–2 секунды, способные работать при комнатной температуре.

## MBE- and MOCVD-GROWN THz QUANTUM CASCADE LASERS with TWO-PHOTON EMISSION in the GAIN MODULE

Р.А. Хабибуллин

*Институт сверхвысокочастотной полупроводниковой электроники им. В.Г. Мокерова  
РАН, Москва, Нагорный проезд, д.7, стр.5, Россия,  
e-mail: khabibullin\_r@mail.ru*

A new lasing scheme with sequential two-photon emission in the gain module for terahertz quantum cascade laser (THz QCL) is proposed and experimentally demonstrated. Unlike the conventional lasing scheme with only one pair of laser levels, electrons pass through an additional laser level, which is the lower laser level for the first radiation transition and upper laser level for the second one, forming a sequence “resonant tunneling – photon – photon – phonon”. The presence of two-photon emission in the gain module reduces the gain saturation with an increase in photon density, which should potentially increase the radiation power. An optimized two-photon design based on GaAs/Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>As four-quantum wells was grown by two epitaxial techniques – molecular beam epitaxy (MBE) and metal organic chemical vapor deposition (MOCVD). THz QCLs based on both MBE and MOCVD structures have a lasing frequency of 3.8 THz and maximum operation temperature around 100 K. We believe that the proposed design can significantly improve the performance of low-frequency THz QCLs and increase the output power of QCLs operating in the THz range.



## БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЕ AIR-BRIDGE ФОТОПРИЕМНИКИ ДЛЯ СРЕДНЕЙ ИК ОБЛАСТИ СПЕКТРА

А.А. Пивоварова, Е.В. Куницына, Г.Г. Коновалов, С.О. Слипченко, А.А. Подоскин,  
И.А. Андреев, Н.А. Пихтин, Н.Д. Ильинская, Ю.П. Яковлев  
*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, СПб, Россия*  
*e-mail: pivovarova.antonina@gmail.com*

В работе представлены неохлаждаемые Air-Bridge фотоприемники на основе двойных гетероструктур InAs/InAsSbP для средней ИК области спектра. Конструкция Air-Bridge отличается тем, что контактная площадка вынесена за пределы фоточувствительной мезы и связана с ней только воздушным мостиковым контактом. Данная конструкция позволяет уменьшить площадь р-п перехода, и соответственно, ёмкость прибора, что приводит к увеличению его быстродействия без потерь в обнаружительной способности. Гетероструктуры InAs/InAsSbP выращивались методом МOCVD на подложках InAs с ориентацией (111). Разработанные фотоприемники обладали максимальной спектральной чувствительностью в диапазоне 2,8–3,1 мкм и дифференциальным сопротивлением в нуле смещения  $R_0=1,0-5,6$  кОм. Ёмкость лучших приборов составляла  $C=3,4-3,6$  пФ при  $U=0$  В. Проведено исследование быстродействия InAs/InAsSbP фотоприемников с помощью InP лазера с длиной волны излучения 1,55 мкм. Первые измерения показали, что фотоответ имеет резкий передний фронт и затяжку на спаде сигнала, что предположительно связано с несогласованностью измерительного тракта. Созданные Air-Bridge фотоприемники могут использоваться для регистрации лазерных импульсов в диапазоне длин волн 1.5-3.8 мкм.

## III-N СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ, ВЫРАЩЕННЫЕ НА ПОДЛОЖКАХ SiC/Si

А.Ф. Цацульников<sup>1</sup>, А.В. Сахаров<sup>1,2</sup>, А.Е. Николаев<sup>1,2</sup>, В.В. Лундин<sup>2</sup>, С.О. Усов<sup>1</sup>,  
Л.К. Марков<sup>1,2</sup>, И.П. Смирнова<sup>1,2</sup>, А.С. Павлюченко<sup>1,2</sup>, А.С. Гращенко<sup>3</sup>, С.А. Кукушкин<sup>3</sup>,  
Н.А. Черкашин<sup>4</sup>, А.А. Осипов<sup>5</sup>

<sup>1</sup>ИТЦ Микроэлектроники РАН, Политехническая 26, С-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>ФТИ им А.Ф. Иоффе, Политехническая 26, С-Петербург, Россия;

<sup>3</sup>Институт проблем машиноведения РАН, Большой проспект В.О. 61, СПб, Россия;

<sup>4</sup>CEMES-CNRS and Université de Toulouse, 29 rue Jeanne Marvig, Toulouse, France;

<sup>5</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская набережная  
7–9, Санкт-Петербург, Россия,  
*e-mail: andrew@beam.ioffe.ru*

Светоизлучающие III-N гетероструктуры выращены методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений на темплейтах SiC/Si (111), сформированных методом согласованного замещения атомов. Проведены исследования оптических и структурных свойств гетероструктур с целью выявления особенности формирования в них дефектов. Показано, что в выращенных гетероструктурах наблюдаются особенности роста буферного слоя (Al,Ga)N, связанные с наличием пор в Si под интерфейсом SiC/Si. Использование оптимизированного дизайна буферного слоя позволяет значительно уменьшить плотность дислокаций и сформировать активную область с хорошим структурным качеством. Из выращенных гетероструктур изготовлены светодиодные чипы и корпусированные светодиоды, исследованы их вольт-амперные характеристики, спектры излучения, зависимости мощности излучения и

внешней квантовой эффективности от величины тока. Показано, что наличие пор в подложке SiC/Si приводит к значительному повышению квантовой эффективности светодиодов, по сравнению с квантовой эффективностью светодиодов, изготовленных на кремнии без подслоя SiC.

## **ОСОБЕННОСТИ ВОЛОКОННЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ С СОЛНЕЧНОЙ НАКАЧКОЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВБЛИЗИ ЗЕМЛИ**

Б.А. Кузяков

*Российский технологический университет МИРЭА, Москва, Россия*

В докладе рассматриваются особенности волоконных излучателей, работающих в диапазоне 1,5 мкм с солнечной накачкой для применения вблизи Земли. Анализируются две конкурирующие схемы накачки. В первой схеме, накачка реализуется посредством набора полупроводниковых лазерных диодов, работающих на длине волны 0,9 мкм. Их энергоснабжение обеспечивается солнечными батареями соответствующей мощности. Во второй схеме, накачка волоконных излучателей производится прямым введением солнечного излучения во внутреннюю волоконную оболочку. Для снижения тепловой нагрузки применяются узкополосные фильтры солнечного излучения.

В докладе проводится сравнение эффективности накачки волоконных излучателей по обеим схемам. Приводятся особенности солнечной накачки волоконных излучателей в атмосфере, вблизи земной поверхности, и в ближнем космическом пространстве. Показывается, что при использовании волоконных излучателей в космосе, себя хорошо зарекомендовали концентраторы типа «солнечный парус». Наряду с этим, приведены методы снижения массо-габаритных параметров аккумуляторов, входящих в систему энергообеспечения всего устройства.

При наземном размещении волоконных излучателей для их накачки используются традиционные параболические концентраторы солнечного излучения. Однако, для повышения эффективности и оптимизации конструктивов приводятся данные по коэффициентам отражения различных материалов, применяемых для покрытия концентраторов. Представленные в докладе материалы позволяют ориентироваться на рациональный выбор схемы накачки волоконного излучателя при решении поставленной конкретной задачи, как в приземной атмосфере, так и в космосе.

## **СИСТЕМА СИНХРОНИЗАЦИИ МНОГОКАНАЛЬНЫХ ВРЕМЯ-ПРОЛЁТНЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ, СОВМЕЩАЮЩАЯ РАЗЛИЧНЫЕ МОДЫ СИНХРОНИЗАЦИИ В ЕДИНОЙ СРЕДЕ**

А.А. Рубан, А.Н. Козырев, Г.Н. Федотович, А.Б. Логашенко

*Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, просп. Акад. Лаврентьева 11,  
Новосибирск, Российская Федерация,  
e-mail: ruban@inp.nsk.su*

Время-пролётные спектрометры представлены во многочисленных применениях, от сравнительно небольших лабораторных установок до лидаров и огромных детекторов физики высоких энергий. Так, детектор КМД-3 комплекса ВЭПП-2000 ИЯФ СО РАН, Новосибирск, представляет собой универсальный адронный спектрометр, состоящий из

дрейфовой камеры, калориметра на жидком Хе, калориметров на кристаллах CsI и BGO, время-пролётной и мюонной систем. Общее число каналов регистрации около 10 тысяч. Требования к временному разрешению спектрометров лежат в диапазоне от десятков до сотен пикосекунд, независимо от размеров регистрирующих систем, методов и числа каналов регистрации. Для обеспечения необходимой точности, разработчиками решаются задачи прецизионной синхронизации стартов и стопов измерительных каналов, смены состояния накопителей энергии, запуска генераторов калибровки, считывания данных регистраторов, передачи данных в управляющий компьютер. Для каждой задачи традиционно применяется свой способ, называемый модами синхронизации. Прецизионный запуск измерений может быть только в синхронной моде, транспорт данных в линиях связи обычно происходит в плезиохронной моде, обмен данных с компьютером всегда происходит в изохронной моде, а для задач смены статуса узлов системы и калибровок хорошо подходит мезохронная мода синхронизации. На примере время-пролётной системы детектора КМД-3 рассматривается возможность организовать все моды в единой среде C-Link так, чтобы не возникало межмодовой интерференции. Контроллеры доступа к среде реализованы в виде модулей HDL-кода для ПЛИС, обеспечивающих единый интерфейс в системе.

## **COMPARISON OF WAVELENGTHS AND GAINS IN LASERS WITH QUANTUM WELL, QUANTUM DOT AND TRANSITION DIMENSION ACTIVE REGIONS**

G.O. Kornyshev<sup>1</sup>, N.Yu. Gordeev<sup>2</sup>, Yu.M. Shernyakov<sup>2</sup>, A.A. Beckman<sup>2</sup>, A.S. Payusov<sup>2</sup>, S.A. Mintairov<sup>2</sup>, N.A. Kalyuzhnyy<sup>2</sup> and M.V. Maximov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Alferov University, 8/3 Khlopina, St Petersburg, Russia*

<sup>2</sup>*Ioffe Institute, 26 Polytechnicheskaya, St Petersburg, Russia,*

*e-mail: supergrigoir@gmail.com*

InGaAs nanostructures such as quantum wells (QWs) and quantum dots (QDs) are widely used as active region in commercial diode lasers. Our team has proposed a novel promising active media – quantum well dots (QWDs), which is a transition dimension material (0D-2D), combining the properties of both QWs and QDs. High material gain and reduction of elastic stress in the active region allowed obtaining >14 W cw optical power in edge-emitting lasers and significantly increasing the efficiency of microdisk lasers. In this work, we systematically investigate dozens of InGaAs/GaAs QW, QD and QWD laser wafers emitting around 1 mkm. To compare diverse active regions, embedded in different waveguides, we have introduced a measurable parameter referred as the layer gain constant. We have investigated and analyzed the lasing wavelengths against this constant in a wide pumping current range and shown that quantum well-dots having a specific density of states allow obtaining material and modal gains much higher than in QW and QD active media. This feature and QWD broad gain spectra are essential for high-power diode lasers, bars and amplifiers.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ БЛИЖНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА**

В.А. Крючков, Д.А. Веселов, В.В. Золотарев, Н.А. Рудова, А.Е. Казакова, С.О. Слипченко, Н.А. Пихтин

Для лазеров ближнего инфракрасного диапазона остро стоит проблема разогрева, который вызван генерацией высокой плотности мощности (оптической, электрической), плохим отводом генерируемого тепла через слои лазерной гетероструктуры. Объектом исследования являются AlGaInAsP/InP лазеры, излучающие на длине волны 1,55 мкм. Цель работы – изучение и улучшение тепловых свойств данных лазеров.

В ходе работы производилась обработка монтажа лазеров на различные носители (медь, медь-вольфрам, нитрид алюминия и CVD-алмаз) и припой различных типов (ПОС, индий, золото-олово). Образцы тестировались и проходили процедуру измерения теплового сопротивления по методике, основанной на температурном сдвиге спектра излучения лазера. Среди рассмотренных носителей преимущество по тепловому сопротивлению имеют образцы, напаянные на алмазном носителе с применением индиевого припоя, имеющие тепловое сопротивление 2,65 К/Вт, при том, что опорные образцы на медном теплоотводе показали 3,66 К/Вт.

В программе COMSOL Multiphysics был смоделирован разогрев лазера в процессе работы. Расхождение теплового сопротивления для эксперимента и теплового моделирования для лазеров разных конструкций составило от 65% (для меди и CVD-алмаза) до 83% (для AlN-носителя) и говорит о том, что модель не учитывает некоторых эффектов, происходящих при пайке лазера на теплоотвод.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-30072).

## HIGH-POWER AlGaInN LEDs AND LED ASSEMBLES FOR PUMPING OF SOLID-STATE LASERS

A.V. Aladov<sup>1</sup>, A.E. Chernyakov, A.E. Ivanov<sup>1,2</sup>, A.L. Zakgeim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Submicron Heterostructures for Microelectronics, Research & Engineering Center, RAS, Politekhnicheskaya str. 26, Saint-Petersburg, Russia;*

<sup>2</sup>*Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Professora Popova str. 5, Saint Petersburg*

*e-mail: aaladov@mail.ioffe.ru*

A comparative study of various designs of high-power AlInGaN LEDs showed the advantage of the so-called UX:3 emitting chip to achieve the highest output power (energy per pulse) at high excitation levels. The distributed multipoint geometry of the contact pads, make possible to achieve a high uniformity of the current distribution of the p-n junction, avoid light shadowing by the contacts, and ensure efficient heat dissipation at high excitation levels. The operating of emitting chips with an area of  $\sim 1 \text{ mm}^2$  in a pulsed mode (0.1-5  $\mu\text{s}$ ) up to currents of more than 50 A was demonstrated, while the obtained optical powers amounted to 35 W. The emission spectra LEDs (wavelength  $\sim 460 \text{ nm}$ , FWHM  $\sim 20 \text{ nm}$ ) are well matched with the absorption spectra of Ti:Sapphire, make such emitters very promising for pumping such lasers. Assemblies were made from the described emitting chips adapted for transverse pumping of active elements Ti:Sapphire and the efficiency of photoluminescence excitation depending on the pumping modes, changes in the energy and spectral characteristics of the LEDs was studied. The efficiency of pump energy transfer, its distribution in the active element, and the conditions for achieving generation are analyzed.

# ОСОБЕННОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ АКТИВНО-ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМАХ ВИДЕНИЯ ПРИ УЧЕТЕ ШУМОВОГО ПОРОГА

Б.Ф. Кунцевич<sup>1</sup>, И.Н. Пучковский<sup>1</sup>, С.С. Шавель<sup>1</sup>, Д.В. Шабров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГНПО “Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника”, г. Минск, Беларусь.

<sup>2</sup>Институт физика НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь  
e-mail: bkun@ifanbel.bas-net.by;

Путем численного моделирования исследованы закономерности формирования пространственно-энергетического профиля (ПЭП) зоны видимости активно-импульсными системами видения (АИСВ). Наблюдение объектов, расположенных на расстоянии  $S_{об}$ , осуществляется путем приближения зоны видимости к объекту, «захвату» его (соответствует максимальной яркости объекта) и последующего удаления от него. При расчетах учитывается, что в блоке подсветки используются импульсно-периодические полупроводниковые лазеры типа Л-13.

Отличительной особенностью расчетов является учет энергии шумового порога  $E_{шп}$  и введение понятия контраста сигнала. При расчетах исследуется зависимость максимальных значений сигнала  $E_m$  и контраста  $K_m$  а также длины зоны видимости  $\Delta S_{ЗВ}$  при варьировании в широких пределах расстояния  $S_{об}$ . Учет  $E_{шп}$  приводит, в частности, к уменьшению  $\Delta S_{ЗВ}$  при увеличении расстояния  $S_{об}$ . Используемое ранее в литературе выражение  $\Delta S_{ЗВ} = c(\Delta t_{лаз} + \Delta t_{фп})/2$  (где  $\Delta t_{лаз}$  и  $\Delta t_{фп}$  – длительности прямоугольных импульсов лазерной подсветки и стробирования (экспозиции) фотоприемника) справедливо при значениях контраста сигнала, близких к единице. Экспериментально зарегистрировано уменьшение  $\Delta S_{ЗВ}$  при увеличении расстояния до объекта.

## МИКРОЛАЗЕР НА Nd:YAG С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ ГЕНЕРАЦИИ 946 НМ, ПАССИВНЫЙ ЗАТВОР Cr:YAG: ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК

С.Л. Лысенко<sup>1</sup>, И.М. Тупицын<sup>2</sup>, А.Б. Козлов<sup>3</sup>, А.Л. Коромыслов<sup>2</sup>, В.А. Орлович<sup>4</sup>,  
Е.А. Чешев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО КБточмаш им. А.Э.Нудельмана, Москва, Введенского 8;

<sup>2</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Ленинский 53;

<sup>3</sup>АО НИИ Полюс им. С.М.Стельмаха, Москва, Введенского 3;

<sup>4</sup>ИФ им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, пр-т Независимости 68-2  
e-mail: cheshev\_e2003@mail.ru

Лазеры с длиной волны 946 нм используются в различных областях науки и техники, от систем диагностики до биотехнологий. Излучение 946 нм соответствует квазитрехуровневому переходу в Nd:YAG  ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{9/2}$ . Генерация излучения 946 нм затруднена конкуренцией с основным переходом Nd:YAG  ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{11/2}$  с длиной волны 1064 нм, а так же низким значением эффективного сечения вынужденного перехода  ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{9/2}$   $\sigma_{946} = 0.37 \times 10^{-19}$  см<sup>2</sup>.

В настоящей работе мы представляем опыт создания микролазера на кристалле Nd<sup>3+</sup>:YAG с пассивным затвором Cr<sup>4+</sup>:YAG и приводим численную модель расчета его характеристик. Кинетические уравнения модели описывают инверсную населенность лазерного уровня, интенсивность генерируемого излучения, динамику насыщающегося поглотителя с учетом зависимостей характеристик активной среды от температуры, параметров диодной накачки и резонатора. Рассчитанные характеристики лазера находятся в хорошем согласии с данными измерений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и БРФФИ в рамках научного проекта 20-52-00036 Бел\_а.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДАЛЬНИХ ПОЛЕЙ ИЗЛУЧЕНИЯ МИКРОДИСКОВЫХ ЛАЗЕРОВ С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ-ТОЧКАМИ INGAAS В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ

Э.И. Моисеев<sup>1</sup>, Н.В. Крыжановская<sup>1</sup>, Н.А. Фоминых<sup>1</sup>, А.В. Нагорный<sup>2</sup>, Б.Д. Урманов<sup>2</sup>,  
Ф.И. Зубов<sup>3</sup>, М.В. Максимов<sup>3</sup>, С.А. Минтаиров<sup>4</sup>, Н.А. Калюжный<sup>4</sup>, М.М. Кулагина<sup>4</sup>,  
А.Е. Жуков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> НИУ ВШЭ, Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 3, корп. 1, лит. А, Россия

<sup>2</sup> Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, пр-т Независимости,  
68-2 Беларусь

<sup>3</sup> СПбАУ РАН им. Ж.И. Алфёрова, Санкт-Петербург, ул. Хлопина, 8, корп. 3, лит. А,  
Россия

<sup>4</sup> ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26, Россия  
e-mail: emoiseev@hse.ru

В работе проведено исследование спектрально-угловых зависимостей интенсивности излучения дальнего поля полупроводниковых инжекционных микролазеров с резонатором, поддерживающим моды шепчущей галереи, с активной областью на основе квантовых ям-точек  $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}/\text{GaAs}$ . Гетероструктура синтезирована методом МОС-гидридной эпитаксии на подложке GaAs. Методами фотолитографии и плазмохимического травления сформированы микрорезонаторы с диаметром от 30 до 200 мкм. Показано, что в вертикальном направлении (по углу места) основная часть излучения распространяется в диапазоне углов 0-20° и имеет модуляцию интенсивности, обусловленную интерференцией с отраженным от подложки излучением лазера. В горизонтальном направлении (по азимутальному углу) до порога лазерной генерации наблюдается изотропная карта излучения. При токе накачки выше порогового появляется модуляция интенсивности, обусловленная интерференцией мод шепчущей галереи различных азимутальных и радиальных порядков. Экспериментальные данные согласуются с результатами численного моделирования и могут быть востребованы при разработке эффективных методов вывода излучения из микрорезонаторов.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ЛАЗЕРНЫХ ДИОДАХ НА ОСНОВЕ InGaAs/AlGaAs/GaAs ГЕТЕРОСТРУКТУР СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 940 - 980 нм

Н.В. Гультиков<sup>1</sup>, М.А. Ладугин<sup>1</sup>, Н.А. Волков<sup>1</sup>, К.Ю. Телегин<sup>1</sup>, А.А. Мармалюк<sup>1</sup>,  
Л.И. Шестак<sup>2</sup>, В.А. Панарин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО “Сигм плюс», Москва, 117342, ул. Введенского, 3

<sup>2</sup>ООО “НПП “Инжест»”, Россия, 410033, г. Саратов, ул. Элмашевская, 3а  
e-mail: nikita.gultickov@yandex.ru

В настоящей работе представлены результаты сравнения тепловых потерь в лазерных диодах (ЛД) на основе  $\text{InGaAs}/\text{AlGaAs}/\text{GaAs}$  гетероструктур (ГС) с расширенным асимметричным волноводом спектрального диапазона 940 - 980 нм. Данные приборы могут использоваться для накачки твердотельных и волоконных лазеров, в различных телекоммуникационных системах и лазерной обработке

материалов. Исследовались три различные конструкции ГС, сформированные методом МОС-гидридной эпитаксии. Первая ГС имела асимметричный расширенный волновод с мольной долей AlAs  $x_w = 0.3$ , вторая -  $x_w = 0.15$ , а третья -  $x_w = 0.1$ . Лазерные элементы изготавливались по стандартной технологии, кристалл монтировался на теплоотвод р-контактом вниз. Изготовленные лазерные диоды имели полосковый контакт шириной 100 мкм. Длина резонатора варьировалась от 3 до 4 мм. Для всех ЛД измерены вольт- и ватт-амперные характеристики (ВАХ и ВтАХ), из которых были рассчитаны тепловые потери. Отмечено, что при уменьшении содержания Al в волноводе наблюдается сохранение наклона ВтАХ при увеличении рабочих токов. При этом обнаружено снижение последовательного сопротивления, также заметное падение напряжения отсечки с 1.4 В ( $x_w = 0.3$ ) до 1.32 В для  $x_w = 0.15$  и до 1.29 В для  $x_w = 0.1$ , что позволило повысить КПД с 45 до 56 % при токах накачки более 10 А. Из полученных зависимостей тепловой мощности от тока выделены компоненты, отвечающие разным тепловым источникам. Так же в работе выполнены численные расчеты распределения температуры и теплового сопротивления ЛД.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКСТРАКТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ В КАЧЕСТВЕ ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОРОВ В ЛАЗЕРНО-ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПРЕОДОЛЕНИЯ АНТИМИКРОБНОЙ РЕЗИСТЕНТНОСТИ**

А.В. Микулич<sup>1</sup>, Р.К. Нагорный<sup>1</sup>, А.И. Третьякова<sup>1</sup>, Н.В. Дудчик<sup>2</sup>, О.А. Емельянова<sup>2</sup>,  
А.И. Жабровская<sup>2</sup>, А.Н. Собчук<sup>1</sup>, Т.С. Ананич<sup>1</sup>, Л.Г. Плавская<sup>1</sup>,  
О.Н. Дудинова<sup>1</sup>, И.А. Леусенко<sup>1</sup>, В.Ю. Плавский<sup>1</sup>, Tran Quoc Tien<sup>3</sup>,  
Quang Cong Tong<sup>3</sup>, Thanh-Phuong Nguyen<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь;*

<sup>2</sup>*Государственное предприятие "НПЦГ", Минск, Беларусь;*

<sup>3</sup>*Институт материаловедения ВАНТ, Ханой, Вьетнам;*

<sup>4</sup>*Школа инженерной физики Ханойского университета науки и технологий, Ханой, Вьетнам*

*e-mail: a.mikulich@ifanbel.bas-net.by*

В данной работе мы представляем результаты, свидетельствующие о возможности использования экстрактов лекарственных растений в качестве перспективных фотосенсибилизаторов. Исследованы спектрально-люминесцентные свойства, эффективность генерации синглетного кислорода, а также на культуре клеток млекопитающих, и грамотрицательных и грамположительных микроорганизмах изучено фотосенсибилизирующее действие экстрактов лекарственных растений (жидкого экстракта из смеси цветков ромашки аптечной и календулы лекарственной, травы тысячелистника обыкновенного на 65% этаноле (коммерческое название «Ротатит»); препарата на основе травы зверобоя продырявленного на 65% этаноле; препарата из листьев эвкалипта прутовидного на 64% этаноле).

В составе указанных экстрактов методами абсорбционной и флуоресцентной спектроскопии обнаружены соединения хлорофилловой и гиперициновой природы, эффективно генерирующие синглетный кислород: квантовый выход генерации  $^1\text{O}_2$  составляет 64 % для препарата «Ротатит», 40 % – для препарата на основе травы зверобоя продырявленного, 48% - для препарата из листьев эвкалипта прутовидного. Выраженное фотосенсибилизирующее действие установлено как по отношению к культуре клеток млекопитающих, так и к микроорганизмам различных таксономических групп.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект № Ф21ВТНГ-001) и Министерства науки и технологий Вьетнама (проект № NĐT.73BLR/19).

## **БЕЗОПАСНЫЙ ДЛЯ ГЛАЗ ИМПУЛЬСНЫЙ КОЛЬЦЕВОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР СВЕТА. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ**

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

<sup>1</sup>*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, пр. Независимости 68-2,  
Минск, Беларусь,*

<sup>2</sup>*НТЦ “ЛЭМТ” БелОМО”, ул. Макаенка, 23, Минск, Беларусь  
e-mail: v.orlovich@dragon.bas-net.by*

Для построения импульсных безопасных для глаз источников излучения средней и большой мощности перспективно использовать кольцевые параметрические генераторы света (ПГС). Естественным требованием к таким ПГС является высокая долговременная стабильность выходных параметров, ограничиваемая прежде всего оптическим пробоем нелинейных кристаллов.

В настоящем докладе сообщаются результаты численного моделирования работы трехзеркальных ПГС на кристаллах КТР при широком варьировании параметров возбуждающего излучения (длительность импульсов, их энергия, форма поперечного распределения и диаметр пучка накачки) и ПГС (длины кристаллов КТР, параметры резонатора). Установлено, что основной причиной, приводящей к оптическому пробое кристаллов, является неоптимальное значение в резонаторе резонансной связи по сигнальной волне, в результате чего интенсивность сигнальной волны может превышать интенсивность излучения накачки на входе в ПГС и порог оптического пробоя кристаллов. Определены параметры пучка накачки и резонатора ПГС, позволяющие избежать оптического пробоя в кристаллах КТР при сохранении высокой эффективности ПГС.

## **BACKWARD AND FORWARD PICOSECOND SRS NEAR WATER-AIR INTERFACE**

A. Vodchits<sup>1</sup>, S. Pershin<sup>2</sup>, I. Khodasevich<sup>1</sup>, V. Orlovich<sup>1</sup>, A. Kudryavtseva<sup>3</sup>,  
N. Tcherniega<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*B.I. Stepanov Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus, 68-2  
Nezavisimosti Ave., 220072 Minsk, Belarus*

<sup>2</sup>*Prokhorov General Physics Institute of Russian Academy of Sciences, 38 Vavilova Street,  
119991 Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*Lebedev Physical Institute of Russian Academy of Sciences, Leninskii pr., 53, Moscow,  
119991, Russia*

*e-mail: a.vodchits@dragon.bas-net.by*

For the first time, as far as we know, a new phenomenon of nonlinear optics has been discovered: the suppression of backward stimulated Raman scattering (BSRS) of picosecond (57 ps, 532 nm) pulses due to optical breakdown in the near-surface (1-3 mm) water layer when the focal plane of the beam caustic moves to the water-air interface without changing the pump



pulse energy ( $\sim 1.3-1.5$  mJ). However, the generation of forward SRS is stably repeated. When the focal plane is aligned with the surface, the optical breakdown is not reached, and BSRS generation is restored, despite an increase in the pump intensity. The mechanism of the discovered phenomenon of anomalous energy concentration with an increase of the intensity of interacting fields, pump and BSRS on the beam axis near the water surface is discussed. Also, a scenario of the conversion of the pump pulse energy into SRS components, as well as the self-consistent summation of nonlinear optical processes such as electrostriction, Kerr-lenses and self-focusing of the beams, beam wavefront reversal, and the backward SRS pulse compression inside under-surface layer with the BSRS pulse energy reflection towards the focal plane is discussed.

## ЛАЗЕРНЫЙ ФОТОАКУСТИЧЕСКИЙ ДЕТЕКТОР МЕТАНА БЛИЖНЕГО ИК ДИАПАЗОНА

*А.Л. Уласевич, А.А. Кузьмук*

*Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости 68-2, г. Минск, Беларусь  
e-mail: a.ulasevich@ifanbel.bas-net.by*

В докладе представлены результаты разработки портативного детектора метана. Его работа основана на методе инфракрасной фотоакустической спектроскопии. В качестве источника излучения использован одномодовый терморегулируемый лазерный диод с распределённой обратной связью (длина волны генерации  $\lambda \approx 1653$  нм). В данном спектральном диапазоне присутствуют относительно слабые спектральные линии поглощения метана. Длина волны лазера перестраивается вблизи одной из линий при помощи низкоамплитудной модуляции тока накачки диода. Частота модуляции соответствует половине частоты одного из акустических резонансов фотоакустической камеры, заполненной исследуемой газовой средой с примесью метана. Возникающие в газе при поглощении излучения акустические волны регистрируются с помощью электретного микрофона на частоте резонанса фотоакустической камеры. Разработанный прибор отличается высокой селективностью измерения концентрации метана по отношению к другим газам, низкой стоимостью изготовления и эксплуатации, малыми габаритами и небольшим весом. Также созданный детектор обладает возможностями удаленного мониторинга при длительной автономной работе. Данная разработка предназначена для обнаружения утечек метана в областях горнодобывающей и химической промышленности, а также для задач экологического мониторинга.

## CONTRIBUTION OF FLUCTUATIONS OF BAND POTENTIAL AND HETERO-INTERFACE DISORDER INTO REDUCTION AND EFFICIENCY DROOP PHENOMENA IN NITRIDE-BASED LEDs

*E. Shabunina<sup>1</sup>, A. Chernyakov<sup>2</sup>, A. Ivanov<sup>2</sup>, A. Kartashova<sup>1</sup>, V. Kuchinskii<sup>1,3</sup>, D. Poloskin<sup>1</sup>, N. Talnishnikh<sup>2</sup>, N. Shmidt<sup>1</sup>, A. Zakgeim<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Ioffe Institute, 26 Politekhnikeskaya, 194021 St. Petersburg, Russia;*

*<sup>2</sup>Submicron Heterostructures for Microelectronics Research and Engineering Center RAS, 26 Politekhnikeskaya, St Petersburg 194021, Russia*

*<sup>3</sup>Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", st. Professora Popova 5, St. Petersburg 197376, Russia  
e-mail: jenni-85@mail.ru*

The phenomenon of efficiency droop in nitride-based LEDs is still under discussion. Another subject of debuts is the reduction in external quantum efficiency (EQE) at maximum over an In (green gap problem) and Al (deep ultraviolet problem) concentration increase. Analysis of experimentally obtained distributions of peak EQE values over wavelengths and current densities in green LEDs allows us to clarify that the cause of EQE reduction is the charge carriers (CC) trapping by cations, localized at disordered hetero-interface (HI) of QWs situated in a depletion region (DR) around p-n junction. The gradual EQE droop in LEDs beginning at  $j > 10 \text{ A/cm}^2$  is due to the filling of QWs situated outside of DR by carriers tunneling through the field of lateral band fluctuation potential (LBFP). LBFR levels out at  $j > 30 \text{ A/cm}^2$  in pulse mode and the tunneling carrier transport changes to a diffusion one. As a result, the crowding effect reduces the volume of radiative recombination and the entire defect system including dislocations and grain boundaries in QWs and GaN contributes to non-radiative losses (NRL). The contribution of HI disorder in NRL in lasers and deep ultraviolet LEDs will be considered as well.

## СЕЛЕКЦИЯ МОДОВОГО СОСТАВА ЛАТЕРАЛЬНОГО ВОЛНОВОДА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО РБЗ ЛАЗЕРА

В.В. Золотарев<sup>1</sup>, А.Э. Ризаев<sup>1,2</sup>, С.О. Слипченко<sup>1</sup>, Н.А. Пихтин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ул. Политехническая 26, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>СПбПУ, ул. Политехническая 29, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: Zolotarev.bazil@mail.ioffe.ru

Одномодовые полосковые лазеры являются востребованным источником лазерного излучения с высоким КПД и высоким качеством пространственных характеристик луча. Увеличение ширины апертуры излучения позволяет увеличить оптическую мощность, но приводит к неодномодовому режиму генерации. Показано, что коэффициенты связи для различных латеральных мод TE<sub>00</sub> и TE<sub>01</sub> с поверхностным РБЗ отличаются, это обеспечивает селекцию латеральных мод полоскового лазера за счет разницы пороговых условий генерации.

В работе проведены расчеты спектров отражения и коэффициентов связи РБЗ для различных латеральных мод полоскового волновода лазера на основе AlGaAs/GaAs/InGaAs гетероструктур, излучающего на длину волны 1060 нм. Период РБЗ составляет 0.15 мкм. Расчеты проводились для различных геометрических параметров РБЗ и волновода - глубина решетки, ширина полоска и глубина ограничивающего его мезаканавок.

Расчеты продемонстрировали, что оптимизация геометрических параметров позволяет добиться дискриминации коэффициента отражения для мод TE<sub>00</sub> и TE<sub>01</sub>. Селекция наблюдается лишь для последней появившейся моды, до тех пор, пока она слабо локализована под полосковым контактом. Это позволяет увеличить ширину излучающей апертуры при сохранении одномодового режима генерации. Для модельной конструкции лазера удалось достичь увеличение ширины полоскового волновода с 3 мкм до 4.5 мкм, а дискриминация коэффициента отражения для мод TE<sub>00</sub> и TE<sub>01</sub> составила более 50%.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (грант № 19-79-30072)

## СЕЛЕКЦИЯ МОД ВО ВНЕШНЕМ РЕЗОНАТОРЕ ДЛЯ МИКРОЛИНЕЙКИ ОДНОМОДОВЫХ ЛАЗЕРОВ (1060нм)

А.А. Подоскин, В.В. Золотарев, С.О. Слипченко, Д.Н. Романович, О.С. Соболева,  
В.А. Стрелец, В.А. Капитонов, К.В. Бахвалов, А.Е. Казакова, Е. Фомин, Н.А. Пихтин

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

*e-mail: Zolotarev.bazil@mail.ioffe.ru*

Работа лазерной линейки на единой моде латерального волновода позволяет снизить расходимость до величин менее  $1^\circ$ , что важно для создания мощных источников лазерного излучения с высокой яркостью. Основные проблемы реализации такого режима это многомодовый латеральный волновод и слабая модовая дискриминация. Для решения данной проблемы была разработана линейка одномодовых лазеров на основе асимметричной InGaAs/AlGaAs/GaAs гетероструктуры с высокой оптической связью между полосками. Показано, что линейки без внешнего резонатора с AR-HR (5-95%) демонстрировали оптическую связь между полосками в режиме «out-of-phase», что подтверждалось спектрами лазерной генерации, диаграммой направленности и распределением интенсивности в ближней зоне. Однако режим работы латерального волновода был многомодовый, что подтверждалось большой расходимостью на уровне FWHM, достигающей  $5^\circ$ . Для модовой селекции был использован внешний резонатор. Образцы линеек имели отражающие (5%) и просветляющие (менее 1%) AlN покрытия для подавления генерации собственных мод резонатора Фабри-Перо. Образцы с внешним зеркалом демонстрировали наличие эффективной обратной связи между полосками, что выражалось в изменении диаграммы направленности излучения. Для управления селекцией использовалась щель, ограничивающая ширину сколламированного пучка между линзой и зеркалом. В результате была продемонстрирована генерация как на четных, так и на нечетных модах высших порядков, ширина отдельных лепестков диаграммы направленности была около  $1^\circ$ .

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект 19-79-30072).

## ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ СУБНАНОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ В РЕЖИМЕ МОДУЛЯЦИИ УСИЛЕНИЯ

В.С. Головин, С.О. Слипченко, А.А. Подоскин, М.Г. Растегаева, Н.А. Пихтин.

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

*e-mail: podoskin@mail.ioffe.ru*

В работе с помощью численного моделирования рассмотрены принципы конструирования лазерных гетероструктур, предназначенных для генерации одиночных субнаносекундных лазерных импульсов максимальной достижимой мощности при исходно заданной длительности в режиме модуляции усиления. В основе модели – сосредоточенные скоростные уравнения. Искомые параметры – фактор оптического ограничения активной области, длина резонатора и амплитуда (форма импульса – задается как исходный параметр) импульса тока накачки. На примере гетероструктуры с тремя InGaAs КЯ на длину волны 1060нм показано, что максимально достижимые мощности импульса при прочих заданных исходных параметрах в первую очередь определяются требуемой длительностью оптического импульса и незначительное её изменение может оказывать сильное влияние на достижимую амплитуду оптического импульса. Показано, что для требуемой длительности импульса область оптимальных

значений длин резонатора и соответствующих им амплитуд токов накачки имеет резкую границу, переход которой в область меньших  $\Gamma$ -факторов приводит к отсутствию решений с требуемой длительностью, а движение в область больших  $\Gamma$ -факторов – к плавному (монотонному) падению максимальной оптической мощности. Так же показано, что с увеличением требуемой длительности импульса происходит рост достижимой максимальной выходной мощности и требуемых амплитуды тока накачки и длины резонатора,  $\Gamma$ -фактор при этом снижается.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект 19-79-30072).

### **ЛИНЕЙКИ МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ 100 нс ИМПУЛЬСОВ кВт ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ ТУННЕЛЬНО- СВЯЗАННЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР (910 нм).**

А.А. Подоскин<sup>1</sup>, С.О. Слипченко<sup>1</sup>, Д.А. Веселов<sup>1</sup>, В.А. Стрелец<sup>1</sup>, Н.А. Рудова<sup>1</sup>, Н.А. Пихтин<sup>1</sup>, Т.А. Багаев<sup>2</sup>, М.А. Ладугин<sup>2</sup>, А.А. Мармалюк<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup>НИИ “Полюс” им. М.Ф. Стельмаха, Москва, Россия

*e-mail: podoskin@mail.ioffe.ru*

Разработаны и исследованы импульсные источники лазерного излучения на длину волны 910нм на основе вертикально-интегрированных решеток в виде трех туннельносвязанных излучающих AlGaAs/InGaAs/GaAs гетероструктур. Для достижения максимальной яркости излучения и работы в области линейности ВТАХ были разработаны постростовые конструкции микролинеек с высоким (до 70%) фактором заполнения, включающие 3 полоска с шириной излучающей области 800 мкм. Так же осуществлена реализация полного цикла изготовления разработанной конструкции излучателей. Проведены исследования излучательных характеристик изготовленных линеек с помощью разработанного высокоточного импульсного источника накачки с амплитудой тока более 750А/135нс. В ходе предварительных измерений одиночных чипов с апертурой 800мкм была подобрана оптимальная длина резонатора 2500мкм. В результате для линейки 3x800мкм продемонстрирована возможность генерации лазерных импульсов с пиковой мощностью 1150Вт (25°С/135нс/1кГц. Расходимость излучения в дальней зоне составила для линейки 22° и 13° по быстрой и медленной оси соответственно (полувысота). Ширина интегрального спектра лазерной генерации составила от 4nm/150А до 6nm/700А (полувысота). Дополнительно проведены исследования излучательных характеристик при повышенной температуре теплоотводов. Так, повышение рабочей температуры до 75°С привело к незначительному падению излучательных характеристик, что выразилось в демонстрации пиковых мощностей 1020Вт/720А/50°С и 900Вт/720А/75°С.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект 19-79-30072).

### **ИЗОТИПНЫЕ ИНЖЕКЦИОННЫЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ InGaAs/AlGaAs/GaAs С ЭФФЕКТИВНОЙ МЕЖЗОННОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬНОЙ РЕКОМБИНАЦИЕЙ**

С.О. Слипченко, О.С. Соболева, Н.А. Пихтин

В данной работе предлагается конструкция изотипной гетероструктуры с токовой накачкой на основе материалов AlGaAs/GaAs с квантово-размерной InGaAs активной областью. Результаты этой работы могут быть использованы для других материальных систем, например, HgCdTe, AlGaIn, где существует проблема легирования р-типа, а также для снижения внутренних оптических потерь в лазерных AlGaAs лазерных диодах, за счет исключения высоколегированного эмиттера р-типа.

В предлагаемых изотипных гетероструктурах генерация носителей противоположного знака (в данном случае дырок) происходит посредством ударной ионизации в области домена электрического поля, сформированного на границе  $N_0/N_+$  AlGaAs. Для эффективной излучательной рекомбинации предлагается конструкция, включающая низколегированный  $n_0$ - GaAs слой с квантовыми ямами для накопления носителей и низколегированный  $N_0$ -AlGaAs (30%) слой для генерации носителей, в котором формируется домен электрического поля, а также широкозонные высоколегированные AlGaAs (40%) эмиттеры n-типа. Исследованы особенности транспорта и излучательной рекомбинации в предлагаемых структурах с использованием модели энергетического баланса. В структурах с тремя InGaAs квантовыми ямами продемонстрированы ток излучательной рекомбинации 43 А при токе накачки 200 А и максимальная внутренняя квантовая эффективность 28 % (при токе накачки 55-65 А). При токах выше 15 А плотность накопленных носителей в активной области достигает значения  $3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , что свидетельствует о возможности создания лазерных диодов на основе исследуемых изотипных гетероструктур.

## **ДАЛЬНЕЕ ПОЛЕ ЛИНЕЕК ОДНОМОДОВЫХ ЛАЗЕРОВ (1060 нм) С СИЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗЬЮ МЕЖДУ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ**

И.С. Шашкин, С.О. Слипченко, Д.Н. Романович, О.С. Соболева, В.А. Стрелец,  
В.А. Капитонов, К.В. Бахвалов, А.Е. Казакова, Е.В. Фомин, Н.А. Пихтин  
*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, центр физики наногетероструктур, Политехническая 26,  
Россия  
e-mail: Soboleva@mail.ioffe.ru*

Исследовано поведение оптической мощности в разные моменты импульса в дальней зоне для линейки лазеров ( $\lambda=1060 \text{ нм}$ ) на основе InGaAs/AlGaAs/GaAs. Структура, выращенная методом MOCVD включала 1.5 мкм AlGaAs ( $x = 10\%$ ) волновод, две КЯ InGaAs, 0.2 мкм р-волновод, AlGaAs ( $x = 35\%$ ) р-эмиттер, и AlGaAs ( $x = 15\%$ ) п-эмиттер. Исследования дальнего поля проведены при комнатной температуре с использованием фотоприёмника InGaAs G10899-003K  $\varnothing=0.3 \text{ мм}$ , установленного на поворотный механизм с осью вращения, совпадающей с выходным зеркалом лазерной линейки. Угловое разрешение  $< 0.5^\circ$ . В линейке из 10 лазерных диодов с прямыми узкими полосковыми контактами шириной по 6.5 мкм и периодом расположения 20 мкм без распределенной обратной связи благодаря неоптимальной остаточной после травления толщине слоя р-эмиттера в области канав возникает сильная оптическая связь между соседними излучателями, приводящая к возникновению узких пиков в диаграмме направленности линейки. Сравнение ватт-амперных характеристик, полученных в импульсном режиме (130 нс/1 кГц) для лазерных линеек с оптической обратной связью и без неё, демонстрирует, что оптическая связь не оказывает влияния на наклон ватт-

амперной характеристики. Также обнаружено, что ширина пиков в дальнем поле слабо зависит от момента времени во время импульса при различных амплитудах тока.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-30072).

## **ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ ТРАНЗИСТОРНЫХ СТРУКТУР III-N ЛЕГИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗОМ И УГЛЕРОДОМ**

А.В. Сахаров<sup>1</sup>, Д.С. Артеев<sup>1</sup>, Е.Е. Заварин<sup>1</sup>, А.Е. Николаев<sup>1</sup>, В.В.Лундин<sup>1</sup>,  
А.Ф. Цацульников<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФТИ им А.Ф. Иоффе, Политехническая 26, С-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> ИТЦ Микроэлектроники РАН, Политехническая 26, С-Петербург, Россия

*e-mail: val.beam@mail.ioffe.ru*

В работе представлены данные по исследованию фотолюминесцентных (ФЛ) и электрических свойств как транзисторных НЕМТ структур, так и слоев GaN легированных железом и углеродом. Продемонстрировано, что легирование глубокими примесями железа и углерода (в том числе совместное) позволяет создать изолирующие слои с высоким пробивным напряжением. Показано, что по данным ФЛ возможна количественная оценка концентрации железа в области канала транзистора; однако для легирования углеродом такая оценка крайне затруднена. Проведено сопоставление интенсивности полосы ФЛ, связанной с примесью Fe с электронными свойствами НЕМТ структур AlGaIn/GaN. Данные исследований могут быть использованы для контроля свойств структур для полевых транзисторов.

## **ВЛИЯНИЕ ПОРЯДКА БРЭГГОВСКОГО ОТРАЖЕНИЯ И САМОПОГЛОЩЕНИЯ АКТИВНОЙ СРЕДЫ НА ЭНЕРГЕТИКУ ОДИНОЧНЫХ ПИКОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСОВ РОС-ЛАЗЕРА НА КРАСИТЕЛЯХ, ВОЗБУЖДАЕМОГО СУБНАНОСЕКУНДНЫМ Nd:LSB МИКРОЛАЗЕРОМ С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ**

В.М. Катаркевич, Т.Ш. Эфендиев

*Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

*e-mail: katarkevich@dragon.bas-net.by*

Одним из наиболее важных достоинств лазеров на красителях со светоиндуцированной распределенной обратной связью (РОС) является возможность получения перестраиваемых по спектру одиночных сверхкоротких импульсов (СКИ) пикосекундной длительности как при пикосекундном, так и нано-/субнаносекундном возбуждении. Последний из указанных выше способов, основанный на использовании режима релаксационных колебаний выходной интенсивности излучения при не слишком больших превышениях порога, является особенно привлекательным, так как позволяет значительно упростить и удешевить пикосекундную лазерную систему. Использование в качестве источников возбуждения РОС-лазеров субнаносекундных твердотельных микролазеров с диодной накачкой позволяет создавать перестраиваемые источники СКИ, отличающиеся предельной компактностью, надежностью и высокой стабильностью характеристик. Практически важной является задача повышения энергетики генерируемых РОС-лазером одиночных СКИ. Ранее нами было установлено, что при использовании в качестве источника возбуждения РОС-лазера Nd:LSB

микрoлазера с диодной накачкой ( $\lambda = 532$  нм;  $\tau_{0.5} \sim 0.5$  нс), в отсутствие самопоглощения активной среды переход от 1-го ко 2-му порядку брэгговского отражения позволяет более чем в два раза повысить энергию и пиковую мощность генерируемых одиночных СКИ. В настоящей работе впервые экспериментально показано, что при наличии самопоглощения (случай активных сред с малым стоковым сдвигом, в частности, родаминов) использование 2-го порядка сопровождается возрастанием энергии и пиковой мощности одиночных СКИ РОС-лазера в 7-13 и 8-10 раз, соответственно. Это существенно расширяет возможности практического применения подобных пикосекундных лазеров.

## **ПИКОСЕКУНДНОЕ ВКР В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКАХ НИТРАТОВ**

А. Водчиц<sup>1</sup>, А. Пятышев<sup>2</sup>, А. Скрабатун<sup>2</sup>, В. Орлович<sup>1</sup>, И. Ходасевич<sup>1</sup>, О. Корожан<sup>1</sup>

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

*220072 Минск, пр. Независимости, 68-2, Беларусь*

<sup>2</sup>*Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук*

*119991 Москва, Ленинский пр., 53, Россия*

*e-mail: a.vodchits@dragon.bas-net.by*

Впервые исследовано многочастотное вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) в поликристаллических порошках нитратов калия, натрия и стронция (размеры частиц не превышают 5 – 10 мкм). Возбуждение ВКР в порошках осуществлялось пикосекундным лазерным излучением на длинах волн 532 и 355 нм. Длительность импульсов не превышала 60 пс на длине волны 532 нм, частота следования составляла 15 Гц. Лазерные пучки фокусировались в порошки линзой с фокусным расстоянием 19 см. Интенсивность излучения в фокусе достигала 1 ТВт/см<sup>2</sup> и выше. Спектры ВКР регистрировались с помощью световода (регистрация на отражение под углом) и мини-спектрометра. При возбуждении поликристаллов нитратов на длине волны 355 нм обнаружена генерация трёх стоковых компонент ВКР. При возбуждении на длине волны 532 нм генерировались три стоковые и одна антистоксовая компоненты ВКР. Спектральные компоненты ВКР обусловлены внутренними полносимметричными колебательными модами группы (NO<sub>3</sub>).

## **ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ БЫЧЬЕГО КОРОНАВИРУСА К УФ ИЗЛУЧЕНИЮ**

И.Н. Завестовская<sup>1,2</sup>, В.А. Гуцин<sup>3</sup>, Л.И. Руссу<sup>3</sup>, Е.А. Чешев<sup>1</sup>, А.Л. Коромыслов<sup>1</sup>,  
И.М. Тупицын<sup>1</sup>, А.А. Фроня<sup>1,2</sup>, М.С. Григорьева<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, 119991 ГСП-1 г. Россия,  
Москва, Ленинский проспект, д. 53;*

<sup>2</sup>*ФГАОУ ВО Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, 115409,  
Россия, Москва, Каширское шоссе, 31;*

<sup>3</sup>*ФГБУ Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии имени  
почетного академика Н.Ф. Гамалеи, 123098, Россия, Москва, ул. Гамалеи, 18  
e-mail: Zavestovskayain@lebedev.ru*

Действующая эпидемиологическая ситуация с SARS-CoV-2 обострила необходимость поиска решений фундаментальной научной проблемы по выявлению

механизмов инактивации вирусов и бактерий при поглощении света в безопасном для человека диапазоне длин волн ультрафиолетового излучения, а также изучении деструктивных изменений, приводящих к нарушению функциональной активности патогенных агентов.

Анализ работ последних лет по инактивации патогенных микроорганизмов с использованием источников излучения с длинами волн в диапазоне ультрафиолетового диапазона UV (100-400 нм) демонстрирует большой интерес к этой тематике [1-3]. Следует отметить, что большая доля исследований посвящены диапазону UVC.

Однако UVC не является безопасным излучением для человека. Изучение имеющихся работ по воздействию излучения диапазона UVA на патогенные организмы демонстрирует положительные результаты по инактивации патогенов [4-7].

В представленной работе по облучению вирусов в качестве источников излучения были выбраны светодиоды, по длинам волн покрывающие диапазон UVC (270 нм), UVB (308 нм), UVA (325, 340, 371, 385, 395 и 401 нм). Это важная особенность работы, которая нацелена на выявление возможности инактивации патогенов UV излучением с различными длинами волн. В работе решались следующие задачи - определение дозы UV излучения, при которой вирус чувствителен к излучению, выделение спектральных диапазонов, дающих максимальный противовирусный эффект, и наиболее безопасных для человека.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-04-60292.

1. F. Chiappa et al. The efficacy of ultraviolet light-emitting technology against coronaviruses: a systematic review. *Journal of Hospital Infection* 114 (2021) 63e78 <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2021.05.005>

2. Y. Gerchman, et al. *J. of Photochemistry & Photobiology, B: Biology* 212 (2020) 112044

3. M G Strakhovskaya, G A Meerovich, A N Kuskov, S A Gonchukov, V B Loschenov. Photoinactivation of coronaviruses: going along the optical spectrum *Laser Phys. Lett.* 17 (2020) 093001 <https://doi.org/10.1088/1612-202X/abab14>

4. L. Horton, et al. *Photochem. Photobiol. Sci.* (2020) Vol.19, No.10, pp. 1262–1270

5. M. E. R. Darnell, et al. *J. Virol. Methods* (2004) Vol.121, No.1, pp. 85–91

6. K. Song, et al. *Water Res.* (2019) Vol.163, p. 114875; C. S. Heilingloh, *Am. J. Infect. Control* (2020) Vol.48, No.10, pp. 1273–1275

7. I.N. Zavestovskaya et al. Inactivation of coronaviruses under irradiation by UVA-range light-emitting diodes. *Quantum Electron* (2022) 52 83.

## **ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕДОКС-СОСТОЯНИЕ КЛЕТОК**

В.Ю. Плавский<sup>1</sup>, О.Н. Дудинова<sup>1</sup>, Л.Г. Плавская<sup>1</sup>, А.И. Третьякова<sup>1</sup>, А.В. Микулич<sup>1</sup>,  
А.С. Собчук<sup>1</sup>, Т.С. Ананич<sup>1</sup>, Ю.В. Крученок<sup>1</sup>, И. А. Леусенко<sup>1</sup>, Р.К. Нагорный<sup>1</sup>,  
С.В. Якимчук<sup>1</sup>, А.И. Будевич<sup>2</sup>, Д.М. Богданович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Институт физики НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь,*

<sup>2</sup>*РУП “Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству”, г. Жодино,  
e-mail: v.plavskii@ifanbel.bas-net.by*

В работе представлены данные, полученные с использованием различных типов клеток (эукариот, прокариот, клеток крови (эритроцитов), сперматозоидов), свидетельствующие, что в основе биологического действия оптического излучения низкой интенсивности видимой области спектра лежит светоиндуцированное изменение окислительно-восстановительного статуса клеток. Показано, что инициируемое светом образование активных форм кислорода (АФК) в результате возбуждения эндогенных



фотосенсибилизаторов способно влиять на протекание метаболических процессов в клетке. В зависимости от концентрации образующихся АФК (синглетный кислород, гидроперекись, супероксиданионрадикал и др.) воздействие света может приводить как к стимуляции клеточных процессов, так и к их угнетению, а также инициировать летальный исход. Зависимость метаболической активности клеток от энергетической дозы представляет собой типичную двухфазовую кривую, описываемую известным законом Арндта-Шульца: при малых дозах живой организм отвечает на воздействие стимуляцией; по мере возрастания дозы стимулирующий эффект достигает максимума, затем сменяется угнетением, а при дальнейшем увеличении дозы – гибелью организма.

## **ЛАЗЕРЫ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ HgCdTe/CdHgTe С КВАЗИРЕЛЯТИВИСТСКИМ ЗАКОНОМ ДИСПЕРСИИ НОСИТЕЛЕЦ ДЛЯ СРЕДНЕГО И ДАЛЬНЕГО ИК ДИАПАЗОНОВ**

С.В. Морозов

*Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия*

В работе впервые наблюдалось стимулированное излучение СИ в гетероструктурах с квантовыми ямами (КЯ) на основе HgCdTe в области длин волн 20–31 мкм (практически недоступной для квантово-каскадных лазеров на основе  $A^3B^5$  гетероструктур) в импульсном и непрерывном режимах с пороговой плотностью мощности возбуждения менее  $1 \text{ Вт/см}^2$ . Последнее удалось достигнуть благодаря увеличению толщины CdTe буфера с 10 до 15 мкм, что привело к уменьшению порога СИ на 3 порядка за счет улучшения локализации ТЕО моды и уменьшения модовых потерь.

Это оказалось возможным, в частности, благодаря оптимизации состава и толщины квантовой ямы, при которой удалось существенно подавить безызлучательный канал Оже-рекомбинации носителей путем точной настройки зонной структуры квантовых ям HgCdTe. Из-за резкого падения показателя преломления в GaAs подложке в области остаточных лучей удалось в достаточной степени локализовать поле в волноводе и получить СИ на длине волны 31 мкм при 8 К.

В докладе обсуждаются первые результаты по достижению лазерной генерации с оптической накачкой в торцевых резонаторах на полосках и резонаторах с модами шепчущей галереи, изготовленных методом ионного травления. Получены спектры многомодовой лазерной генерации на длинах волн 4-10 мкм с шириной линий  $\sim 0.4 \text{ см}^{-1}$  ( $\sim 0.05 \text{ мЭВ}$ ), что более чем на порядок уже характерных ширин линий СИ для этих же структур.

## **МОЩНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ (1030 нм) С КРАТНЫМ УВЕЛИЧЕНИЕМ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ, НА ОСНОВЕ РАСШИРЕННОГО ВОЛНОВОДА С ИНТЕГРИРОВАННЫМИ ТУННЕЛЬНЫМИ ПЕРЕХОДАМИ**

С.О. Слипченко, И.С. Шашкин, В.В. Шамахов, В.А. Крючков, Д.Н. Николаев,  
Л.С. Вавилова, Н.А. Рудова, Н.А. Пихтин, П.С. Копьев

*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия*  
*e-mail: serghpl@mail.ioffe.ru*

Предложен дизайн гетероструктур, обеспечивающий кратное увеличение выходной излучательной эффективности в одномодовом режиме генерации поперечного волновода для лазеров на 1030-1060нм, в которых поперечный одномодовый волновод спроектирован для работы на моде высшего порядка, области усиления располагались в максимумах интенсивности волноводной моды. Для кратного увеличения внутренней и внешней квантовой эффективности внутри волновода размещались тонкие слои туннельных р-п переходов (ТТ), а для снижения оптических потерь ТТ смещались в минимумы интенсивности волноводной моды. Разработаны и выращены методом МOCVD гетероструктуры, работающий на общей 2 моде с 2 туннельными р-п переходами. Разработанные лазерные диоды демонстрировали устойчивую работу на 2 поперечной моде и излучательную эффективность 2.4Вт/А, что в 2.3раза выше, чем для классических лазеров. Для апертуры 100мкм при накачке импульсами длительностью 1мкс продемонстрирована мощность 15Вт при токе 10А. Дальнейшее повышение амплитуды тока накачки при сохранении излучательной эффективности позволит создавать компактные лазеры кВт уровня мощности с рекордно высокой яркостью.

Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-30072).

### **БЫСТРОДЕЙСТВИЕ МИКРОДИСКОВЫХ ЛАЗЕРОВ С InGaAs/GaAs КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ НА ПОДЛОЖКАХ GaAs**

Н.В. Крыжановская<sup>1,2</sup>, Э.И. Моисеев<sup>1</sup>, Н.А. Фоминых<sup>1</sup>, Ф.И. Зубов<sup>2</sup>, М.В. Максимов<sup>2</sup>,  
С.А. Минтаиров<sup>3</sup>, Н.А. Калюжный<sup>3</sup>, М.М. Кулагина<sup>3</sup>, А.Е. Жуков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИУ ВШЭ, Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 3, корп. 1, лит. А, Россия;

<sup>2</sup>СПбАУ РАН им. Ж.И. Алфёрова, Санкт-Петербург, ул. Хлопина, 8, корп. 3, лит. А,  
Россия

<sup>3</sup>ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26, Россия  
e-mail: nataliakryzh@gmail.com

Полупроводниковые микролазеры с модами шепчущей галереи, такие как микрокольцевые и микродисковые лазеры, с малой занимаемой площадью и излучением, выходящим в латеральной плоскости широко сейчас исследуются как эффективный и компактный источник когерентного излучения для оптической связи. Важными характеристиками такого источника, является возможность прямой высокочастотной модуляции, низкое энергопотребление и надежность. В данной работе исследованы параметры быстродействия микродисковых лазеров на основе GaAs с активной областью, представляющей собой плотный массив InGaAs/GaAs квантовых точек. Получена максимальная частота модуляции 8 ГГц на уровне 3 дБ в микролазере диаметром 19 мкм. Токи смещения, при которых достигается максимальная частота модуляции, находятся в диапазоне 30 мА. Исследовано влияние улучшения теплоотвода на частоту отсечки микролазеров, выполнена оценка К-фактора и предельного быстродействия, ограниченного К-фактором,  $\approx 13$  ГГц. Исследовано энергопотребление (energy-to-data ratio, EDR) в микролазерах при прямой модуляции. Экспериментальные значения EDR уменьшаются с уменьшением диаметра микродиска и достигают 1,5 пДж/бит для наименьшего из исследуемых диаметров (10,5 мкм).

# ULTRA-COMPACT HgCdTe-BASED QUANTUM CASCADE LASER OPERATING IN THE GaAs PHONON RESTSTRAHLEN BAND

A.A. Dubinov<sup>1</sup>, D.V. Ushakov<sup>2</sup>, A.A. Afonenko<sup>2</sup>, R.A. Khabibullin<sup>3</sup> and S.V. Morozov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute for Physics of Microstructures RAS, Academicheskay str. 7, Nizhny Novgorod, Russia;*

<sup>2</sup>*Belarusian State University, Nezavisimosti av. 4, Minsk, Belarus;*

<sup>3</sup>*Institute of Ultra-High Frequency Semiconductor Electronics RAS, Nagorny pr.7/5, Moscow, Russia*

*e-mail: sanya@ipmras.ru*

The lack of radiation sources in the frequency range of 6-10 THz is associated with strong absorption of the THz waves on optical phonons within the GaAs Reststrahlen band. To avoid such absorption, we propose to use HgCdTe as an alternative material for THz quantum cascade lasers thanks to a lower phonon energy than in III-V semiconductors. In this work, HgCdTe-based quantum cascade lasers operating in the GaAs phonon Reststrahlen band with a target frequency of 8.3 THz have been theoretically investigated using the balance equation method. The optimized active region designs, which are based on three and two quantum wells, exhibit the peak gain exceeding  $100 \text{ cm}^{-1}$  at 150 K. We have analyzed the temperature dependence of the peak gain and predicted the maximum operating temperatures of 170 K and 225 K for three- and two-well designs, respectively. It was shown that only 4 three well cascades are sufficient for lasing due to the large gain in the active medium of the HgCdTe -based quantum cascade laser at a lattice temperature 80 K. This will simplify the fabrication of ultra-compact HgCdTe-based quantum cascade lasers for operation in the GaAs phonon Reststrahlen band inaccessible to existing quantum cascade lasers.

## ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗВИТИЕ ПУЧКОВ НЕЛИНЕЙНО-ПРЕОБРАЗОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ИНФРАКРАСНЫХ ИМПУЛЬСОВ В КРИСТАЛЛЕ $\text{YVO}_4$

И.А. Ходасевич, Н.В. Ржеутский, Е.В. Луценко., А.С. Грабчиков

*Институт физики им. Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси,  
пр. Независимости 68-2, 220072 Минск, Беларусь*

*e-mail: a.grabtchikov@dragon.bas-net.by*

В докладе приводятся данные по измерениям пространственных характеристик нелинейно-преобразованного излучения, полученного при возбуждении кристалла ванадата иттрия ( $\text{YVO}_4$ ) инфракрасным (ИК) излучением фемтосекундных импульсов.  $\text{YVO}_4$  является одноосным кристаллом с широкой областью пропускания и характеризуется высоким значением коэффициента нелинейности, что делает его привлекательным для нелинейного преобразования фемтосекундных импульсов. Возбуждение осуществлялось последовательностью импульсов длительностью 280 фс при частоте их следования 66 кГц и средней мощности до 1 Вт на длине волны 1030 нм. Получено преобразование в спектрально широкополосное излучение, охватывающее значительную часть видимой области. В условиях развитого преобразования спектр полученного излучения заполняет фактически сплошным образом диапазон от инфракрасной до зеленой области. Преобразование характеризуется порогом возникновения. В стадии развития процесса вблизи порога преобразования вдоль оси распространения ИК излучения генерируется пучок излучения суперконтинуума (осевой пучок). С повышением уровня возбуждения развивается конусное излучение,

направленное под углом к оси распространения ИК импульсов и образующее кольца разных цветов. Конусное излучение практически является пространственно непрерывным и с ростом угла конуса длина волны излучения уменьшается. Предполагается, что конусное излучение развивается по механизму Черенковской генерации, связанному с формированием филамента и обусловленному превышением групповой скоростью фемтосекундных импульсов скорости света в среде. Оба процесса генерации, суперконтинуума и Черенковского излучения, связаны пространственно-временной динамикой.

## **Yb:LuAlO<sub>3</sub> CRYSTAL AS ACTIVE MEDIUM FOR SOLID-STATE DIODE PUMPED PICOSECOND LASERS**

*V.E. Kisel*

*Centrum for optical materials and technologies, Belarus national technical university  
65 Nezavisimosti ave., Minsk, Belarus  
e-mail: vekisel@bntu.by*

In this work we report on the experimental study results of picosecond non-soliton mode-locked laser based on Yb: LuAlO<sub>3</sub> crystal together with mathematical simulation of such operation performed with the Haus master equation. 2 ps pulses with up to 12W of average power obtained with 38% optical efficiency. The laser pulses were obtained at the central wavelength near 1000nm with extremely low quantum defect between pump (near 980nm) and laser wavelength (lower than 2%) and therefore with substantially reduced thermal load on the active element. Additionally, preliminary results on second harmonic (SH) generation and synchronous pumping of the OPO are presented using the developed picosecond Yb: LuAlO<sub>3</sub> laser as a pump source.

## **ПАРАМЕТРЫ ЗОН ВИДИМОСТИ АКТИВНО-ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ ВИДЕНИЯ НА НАКЛОННЫХ ТРАССАХ**

Б.Ф. Кунцевич<sup>1</sup>, Д.В. Шабров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГНПО “Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника”, Минск, Беларусь,

<sup>2</sup>Институт физика НАН Беларуси, Минск, Беларусь

*e-mail: bkun@ifanbel.bas-net.by*

Численно исследованы закономерности формирования пространственно-энергетического профиля (ПЭП) зон видимости активно-импульсными системами видения (АИСВ) на наклонных трассах при диффузном отражении вертикально и горизонтально ориентированных объектов. Рассмотрение ограничено случаем наблюдения путем перемещения зоны видимости в окрестности объектов, расположенных на расстоянии  $S_{об}$ , которое варьируется в представляющих интерес пределах. Предполагается, что в блоке подсветки объектов используются импульсно-периодические полупроводниковые лазеры типа Л-13.

Учитывается наличие в АИСВ шумового порога и вводится понятие контраста сигнала, что позволило приблизить результаты численного моделирования потенциальных возможностей АИСВ к реализуемым экспериментально. Вычисляются такие параметры ПЭП, как максимальные значения регистрируемых сигналов и контрастов, длины зон видимости.

Показано, что используемое ранее положение, когда длина зоны видимости однозначно определяется суммой длительностей импульсов подсветки и стробирования, справедливо в случае, если величина контраста сигнала близка к единице. При рассмотренных типичных параметрах предельная дальность наблюдения вертикальных объектов приблизительно в 5 раз превышает аналогичную величину для горизонтальных объектов. При увеличении высоты установки АИСВ величины максимальных значений сигналов для вертикальных объектов монотонно падают, а для горизонтальных практически линейно возрастают.

## **МОЩНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ – ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ФОТОНИКИ**

Д.А. Автайкин, А.А. Козырев, М.А. Копёнкин, А.И. Куницкий, Г.Т. Микаелян,  
В.А. Панарин, С.Н. Соколов, М.Ю. Старынин, Л.И. Шестак  
*ООО “НПП «ИНЖЕКТ»”, Саратов, Россия*

Сообщается о современных изделиях полупроводниковой фотоники - линейках лазерных диодов (ЛД), наборных ЛД решетках, микрооптических асферических элементах для коллимации излучения ЛД, ЛД модулях с выводом излучения через световод и др. Представлен ряд новых изделий:

- ЛД модуль с выходной мощностью излучения 500 Вт в непрерывном режиме работы с длиной волны лазерного излучения 940 нм, диаметр сердцевины выходного световода 800 мкм ( $NA=0,22$ ), для накачки лазеров и технологических применений;

- наборная ЛД решетка с широким спектром излучения 800-811 нм, выходная мощность оптического излучения - 1800 Вт, режим работы QСW: 300 мкс, 10 Гц, для накачки лазеров, работающих в широком интервале рабочих температур;

- наборная ЛД решетка с пиковой выходной мощностью излучения – 20 кВт, длина волны излучения 940 нм, режим работы QСW: до 1,5 мс, до 20 Гц, для накачки высокоэнергетических Yb лазеров;

- ЛД линейка с пиковой выходной мощностью излучения – 200 Вт, длина волны излучения 940 нм, режим работы QСW: до 5 мс, до 20 Гц, для накачки компактных твердотельных лазеров на основе Ег-стекле;

- квантрон на основе кристалла Nd-YAG с диодной накачкой мощностью 33 кВт, с длиной волны излучения 1064 нм, с частотой следования импульсов до 100 Гц, выходной энергией импульса 3,6 Дж.

## **ЭФФЕКТ НАСЫЩЕНИЯ УСИЛЕНИЯ И МНОГОФОТОННЫЕ ДИЗАЙНЫ КВАНТОВО-КАСКАДНЫХ СТРУКТУР ТГц ДИАПАЗОНА**

Д.В. Ушаков

*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь*

На основе системы балансных уравнений проведен анализ эффекта насыщения усиления в квантово-каскадных структурах с 2–4 квантовыми ямами в периоде. Показано, что параметр нелинейности уменьшается при увеличении скорости релаксации лазерных уровней, но при этом растет полный ток через структуру. Использование предложенных многофотонных дизайнов приводит к уменьшению параметра нелинейности без увеличения рабочего тока. Например, в двух фотонной

схеме лазерных переходов достигается приближенно в 2 раза более медленное насыщение коэффициента усиления с ростом плотности фотонов, что обуславливает высокую эффективность генерации, чем в однофотонных схемах. Многофотонные дизайны лазерных переходов могут быть перспективны для получения непрерывного режима генерации AlGaAs квантово-каскадных структур в диапазоне до 3 ТГц.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КВАНТОВ–КАСКАДНОГО ЛАЗЕРА С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ 8 МКМ

А.Е. Шепелев<sup>1</sup>, А.А. Антипов<sup>1</sup>, А.Г. Путилов<sup>1</sup>, С.М. Аракелян<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН – филиал ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН, Шатура, Россия;  
<sup>2</sup>ФГБОУ ВО “Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых”

Благодаря сочетанию уникальных свойств, квантово-каскадные лазеры (ККЛ) нашли ряд применений в многочисленных приложениях современной науки и техники. Перспективным является излучение спектрального диапазона вблизи 8 мкм, в части использования в медицинских приложениях, таких как анализ выдыхаемого воздуха, лазерная хирургия, а также в составе беспроводной оптической связи и системах мониторинга окружающей среды.

В настоящей работе представлены результаты исследований ККЛ, генерирующего излучение с длиной волны 8 мкм в геометрии резонатора Фабри–Перо, работающего в импульсном режиме накачки при комнатной температуре. Излучающая область ККЛ состояла из чередующихся гетеропар  $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$  /  $\text{Al}_{0.48}\text{In}_{0.52}\text{As}$  имеющих 50 одинаковых квантовых каскадов. Параметры излучения были следующие: длительность и частота следования импульсов 70 нс и 48 кГц соответственно, средняя мощность  $\approx 3$  мВт. Ширина диаграммы направленности излучения в направлении роста гетероструктуры и в плоскости подложки составила 112,3 градуса и 76,5 градусов соответственно. Для коллимации излучения ККЛ рассчитана оптическая система, в качестве которой предложено использовать германиевый объектив с одной асферической поверхностью.

## ЭЛЕКТРОННО-НАКАЧИВАЕМЫЙ УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ ( $\lambda = 266$ нм) С ИМПУЛЬСНОЙ МОЩНОСТЬЮ ВЫШЕ 40 Вт НА ОСНОВЕ СТРУКТУРЫ С МНОЖЕСТВЕННЫМИ КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ GaN/AlN

М.М. Зверев<sup>1</sup>, Н.А. Гамов<sup>1</sup>, В.И. Козловский<sup>1</sup>,  
Я.К. Скасырский<sup>1</sup>, Д.В. Нечаев<sup>2</sup>, А.Н. Семенов<sup>2</sup>, В.Н. Жмерик<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФИАН им. П.Н. Лебедева, 119991, Москва, Ленинский пр. 53, Россия;  
<sup>2</sup>ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ул. Политехническая 26, Санкт-Петербург, Россия,  
e-mail: mzverev@mail.ru

В последние годы во всем мире уделяется большое внимание разработке различных типов ультрафиолетовых (УФ) излучателей С-поддиапазона ( $< 280$  нм). В частности, с использованием электронной накачки структур с множественными квантовыми ямами (КЯ) GaN/AlN были продемонстрированы эмиттеры УФ-С излучения с импульсной мощностью более 2 Вт [1]. В настоящей работе исследовались структуры GaN/AlN,

состоявшие из 400 КЯ с номинальной толщиной 0.375 нм (1.5 монослоя), которые были выращены плазменно-активированной молекулярно-пучковой эпитаксией. Для их накачки использовался импульсный сильноточный электронный пучок (вплоть до 1.7 А), получаемый с помощью электронной пушки с сегнетоэлектрическим катодом. Излучение структуры регистрировалось со стороны подложки и при ускоряющем напряжении 12-13 кВ, длительности импульса накачки около 0.5 мкс и частоте следования импульсов 1.5 Гц максимальное значение импульсной мощности излучения составило 46 Вт. Максимум мощности в спектре соответствовал длине волны 266 нм, спектр состоял из набора линий, расстояние между которыми составляло 140-170 мЭВ. В докладе обсуждается природа этих линий, и в качестве наиболее вероятных причин их появления рассматриваются генерация фононных повторений и интерференция света на внутренних поверхностях структуры.

1. Y. Wang, X. Rong et al. Deep ultraviolet light source from ultrathin GaN/AlN MQW structures with output power over 2 Watt. Adv. Optical Mater. 2019, 1801763.

## **НЕЛИНЕЙНО-ОПТИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В ДВУХЧАСТОТНОМ ЛАЗЕРЕ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

Ю.А. Морозов

*Институт радиотехники и электроники им В.А. Котельникова РАН  
(Саратовский филиал), ул. Зеленая 38, Россия,  
e-mail: yuri.mor@rambler.ru*

Представлен обзор нелинейно-оптического преобразования частоты излучения в двухчастотном лазере с вертикальным внешним резонатором (ЛВВР) [1]. В общем случае, в кристалле с квадратичным типом нелинейности возможна генерация излучения на удвоенных, суммарной и разностной частоте. Основное внимание в докладе уделяется рассмотрению генерации на разностной частоте, которая может находиться в длинноволновой части инфракрасного и терагерцевом диапазонах спектра электромагнитного излучения. Теоретический анализ проводится на основе оригинального подхода [2], при котором лазер рассматривается как динамическая система с запаздыванием излучения во внешнем резонаторе. Исследованы стационарные состояния, их устойчивость и динамика излучения в условиях нарушения устойчивости. Показано, в частности, что развитие неустойчивости происходит в виде квазипериодических осцилляций с периодом, равным времени запаздывания и медленно (на масштабе  $10^3 - 10^4$  времен запаздывания) меняющейся амплитудой. Выполненный анализ может быть полезен при создании полупроводниковых лазеров с нелинейно-оптическим преобразованием частоты в диапазонах, доступных в настоящее время, главным образом, с помощью квантово-каскадного принципа действия.

1. T. Leinonen, Yu. A. Morozov, A. Harkonen, M. Pessa. Vertical external-cavity surface-emitting laser for dual-wavelength generation. IEEE Phot. Techn. Lett., 2005, Vol.17, No.12, pp.2508-2510.

2. Yu. A. Morozov, M. Yu. Morozov, M. I. Balakin, L. A. Kochkurov, A. I. Konyukhov. Time-delay model of nonlinear frequency down-conversion in the cavity of a semiconductor disk laser. Phys. Rev. Applied, 2019, Vol.11, P.044027 (8pp).

## **ЭКСИТОНЫ И ЭКСИТОН-ПОЛЯРИТОНЫ В НАНОСТРУКТУРАХ НА ОСНОВЕ MoS<sub>2</sub>**

Т.В. Шубина, М.В. Рахлин, А.Х. Галимов, Д.Р. Казанов, И.А. Елисеев  
ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021, Санкт Петербург, ул. Политехническая 26, Россия

MoS<sub>2</sub> – основной и наиболее изученный материал в семействе дихалькогенидов переходных металлов (ДПМ), отличительной особенностью которых является зависимость зонной структуры (прямозонной или непрямозонной) от числа монослоев. Тонкая структура экситонного спектра 2D MoS<sub>2</sub> характеризуется наличием разрешенных (светлых) и запрещенных (темных) по спину или моменту состояний, последовательность которых и величина расщепления между ними определяет интенсивность и характерные времена затухания фотолюминесценции (ФЛ). Мы смогли установить тонкую структуру экситонных состояний в монослоях и бислоях MoS<sub>2</sub>, а также обнаружить ее зависимость от величины деформации, используя спектроскопию микро-ФЛ с временным разрешением совместно с методикой микро-спектроскопии комбинационного рассеяния для определения напряжений в специально сформированных атомарно тонких наноструктурах [1]. Нанотрубки ДПМ представляют собой оптические резонаторы, способные поддерживать моды шепчущих галерей (МШГ) [2]. Сильное взаимодействие между экситонами и оптическими модами в резонаторах МШГ способствует формированию экситонных поляритонов, что было ранее нами показано теоретически [3]. В данной работе мы приводим результаты спектроскопии микро-отражения, впервые экспериментально подтверждающие формирование экситон-поляритонов в одиночных трубках MoS<sub>2</sub>. Полученные результаты интересны не только с фундаментальной, но и с практической точки зрения; в частности, они показывают возможность формирования источников одиночных фотонов на основе монослоев ДПМ путем введения напряжений для формирования состояний, подобных квантовым точкам, а также усиления излучения в трубчатых резонаторах.

Работа Шубиной и др. поддержана госкорпорацией “Росатом” в рамках Дорожной Карты Квантовые Вычисления (контракт No. 868-1.3-15/15-2021 от 5.10.2021 и контракт No. R2152 от 19.11.2021).

1. I.A. Eliseyev et al., Phys. Status Solidi - RRL, 2100263 (2021)
2. T.V. Shubina et al., Annalen der Physik 1800415 (2019).
3. D. Kazanov et al., Nanomaterials 10, 373 (2020).

## СПОНТАННОЕ И СТИМУЛИРОВАННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В КРИСТАЛЛАХ CuInSe<sub>2</sub> И ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ Cu(In<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>)(S<sub>y</sub>Se<sub>1-y</sub>)<sub>2</sub>

В.Н. Павловский<sup>1</sup>, Е.В. Луценко<sup>1</sup>, Е.В. Муравицкая<sup>1</sup>, Г.П. Яблонский<sup>1</sup>,  
О.М. Бородавченко<sup>2</sup>, В.Д. Живулько<sup>2</sup>, А.В. Мудрый<sup>2</sup>, М.В. Якушев<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup>Институт физики Национальной академии наук Беларуси, 220072 Минск, Беларусь;

<sup>2</sup>Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по  
материаловедению, 220072 Минск, Беларусь;

<sup>3</sup>Институт физики металлов им. М.Н. Михеева Уральского отделения Российской  
академии наук, 620108 Екатеринбург, Россия;

<sup>4</sup>Уральский федеральный университет, 620002 Екатеринбург, Россия,  
e-mail: v.pavlovskii@ifanbel.bas-net.by

Изучена экситонная и примесная фотолюминесценция (ФЛ) кристаллов CuInSe<sub>2</sub> высокого качества при низких температурах (10 К), возбуждаемая непрерывным и импульсным лазерным излучением с плотностью мощности от 0.01 до 100 кВт/см<sup>2</sup>. Стимулированное излучение из этих кристаллов возникало при интенсивности возбуждения 25 кВт/см<sup>2</sup> с энергией квантов 1.035 эВ. Дальнейшее увеличение интенсивности накачки до 40 кВт/см<sup>2</sup> приводит к возникновению на полосе стимулированного излучения структуры эквидистантных линий лазерного излучения.



Исследованы спектры излучения тонких пленок прямозонных твердых растворов  $\text{Cu}(\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x)(\text{S}_y\text{Se}_{1-y})_2$  (CIGSSe) с нанокристаллической структурой в составе солнечных элементов при непрерывном (0.1-0.5 Вт/см<sup>2</sup>) и наносекундном импульсном лазерном возбуждении в диапазоне плотности мощности возбуждения 0.1–53 кВт/см<sup>2</sup> и температурах 10–300 К. Показано, что в тонких пленках CIGSSe стимулированное излучение возникает в интервале температур от 10 до 90 К в спектральной области  $h\nu = 1.062\text{--}1.081$  эВ с минимальным уровнем пороговой накачки 1 кВт/см<sup>2</sup>. С ростом интенсивности возбуждающего излучения полосы стимулированного излучения смещаются в сторону больших энергий. Установлено, что полоса фотолюминесценции при низких уровнях возбуждения и полоса стимулированного излучения смещаются с ростом температуры в сторону высоких энергий, а полоса ФЛ при высоких уровнях возбуждения смещается при этом в сторону низких энергий. Обсуждаются возможные причины и механизмы влияния температуры и интенсивности возбуждения на спектральные положения полос спонтанного и стимулированного излучения пленок CIGSSe.

## **THEORY OF OPERATING CHARACTERISTICS OF QUANTUM DOT LASERS WITH ASYMMETRIC BARRIER LAYERS**

Levon V. Asryan

*Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA 24061, USA,  
e-mail: asryan@vt.edu*

A theory of static (threshold and power) and dynamic characteristics of novel diode lasers – quantum dot (QD) lasers with asymmetric barrier layers (ABLs) – is discussed.

In conventional semiconductor lasers, the recombination of electron-hole pairs outside of the low-dimensional active region is among the major factors that adversely affect the operating characteristics. To suppress this parasitic recombination, the use of ABLs has been proposed. The barrier layers are asymmetric in that they have considerably different heights for the carriers of opposite signs. The ABL located on the electron- (hole-) injecting side of the structure provides a low barrier (ideally no barrier) for electrons (holes) [so that it does not prevent electrons (holes) from easily approaching the active region] and a high barrier for holes (electrons) [so that holes (electrons) injected from the opposite side of the structure do not overcome it]. The use of ABLs should thus ideally prevent the simultaneous presence of electrons and holes (and hence parasitic electron – hole recombination) outside the QDs.

In this presentation, the effects of different factors on the operating characteristics of QD lasers with ABLs are analyzed. The best-case scenario and obstacles to achieving it are discussed.

## **БЕСКОНТАКТНАЯ ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР**

Е.В. Луценко, А.В. Нагорный, Б.Д. Урманов, Н.В. Ржеуцкий, В.Н. Павловский,  
Г.П. Яблонский

*Институт физики НАН Беларуси, г. Минск, пр-т Независимости, 68-2, 220072,  
Беларусь*

*e-mail: e.lutsenko@ifanbel.bas-net.by*

Современные бесконтактные, в том числе лазерные, методы позволяют определить большое количество характеристик полупроводниковых гетероструктур без их разрушения, что позволяет использовать эти гетероструктуры в дальнейшей научно-

производственной цепочке и дает возможность определения непосредственного влияния тех или иных параметров гетероструктур на конкретные характеристики конечных приборов. Это становится особенно важным при разработке и оптимизации параметров роста и дизайна гетероструктур для широкого спектра полупроводниковых лазеров, оптоэлектронных и микроэлектронных приборов.

Представлены бесконтактные методы и аппаратура, разработанные в Институте физики, для проведения оптических, люминесцентных, рамановских и СВЧ измерений для испытаний пластин гетероструктур. Рассмотрены примеры определения механических напряжений, состава, шероховатости поверхности, концентрации и подвижности равновесных носителей заряда в слоях и в двумерном электронном газе, и т.д. Рассмотрено также картирование этих параметров по пластине гетероструктур. Показано на примере III-нитридных, в том числе лазерных, гетероструктур как данные методы помогают разобраться в особенностях эпитаксии, а также измерить локальную температуру в конечных приборах на основе гетероструктур для определения реального времени жизни этих приборов.

### **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАТОРОВ ДИОДНОНАКАЧИВАЕМЫХ УЗКОПОЛОСНЫХ ЛАЗЕРОВ НА ОСНОВЕ Nd:YAG И Yb,Er СТЕКЛА**

М.В. Богданович, А.В. Григорьев, В.Н. Дудиков, К.И. Ланцов, А.Г. Рябцев, Г.И. Рябцев,  
Л.Л. Тепляшин

*Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь  
e-mail: ryabtsev@ifanbel.bas-net.by*

Развитие моноимпульса лазера с пассивным затвором в виде просветляющего фильтра происходит следующим образом. С подачей импульса возбуждения интенсивность излучения  $I$  в резонаторе линейно возрастает от уровня спонтанных шумов до уровня, когда в момент времени  $t_0$  выполняется условие генерации при непросветленном фильтре. При  $t > t_0$  фильтр начинает просветляться, зависимость  $I(t)$  становится нелинейной (экспоненциальный рост) и выделяются моды, конкурирующие в процессе формирования результирующего выходного излучения лазера. Различие в коэффициентах потерь для этих мод быстро растет с увеличением числа проходов  $k_{ph}$  генерируемых фотонов по лазерному резонатору, вплоть до момента достижения максимальной мощности генерируемого излучения  $P_m$  при  $t = t_m$ . Чем больше длительность временного интервала  $\Delta t = t_m - t_0$ , тем сильнее при прочих равных условиях проявляется “естественная” селекция продольных мод и тем сильнее сужается спектральная полоса генерации. Величина  $k_{ph}$  может варьироваться от единиц до десятков тысяч проходов, в зависимости от оптических параметров активного элемента (АЭ) и пассивного затвора.

В настоящей работе выполнен сравнительный анализ селекционирующих свойств диоднонакачиваемых лазеров с активными элементами на основе Nd:YAG кристалла или Yb,Er-стекла и модуляторами добротности в виде просветляющихся кристаллов  $Cr^{4+}:YAG$  или  $Co^{2+}:MgAl_2O_4$  соответственно. В рамках модели скоростных дифференциальных уравнений для исследуемых лазерных систем определены значения временных интервалов  $\Delta t_1 = t_{m1} - t_{01}$  (Nd:YAG,  $Cr^{4+}:YAG$ ) и  $\Delta t_2 = t_{m2} - t_{02}$  (Yb,Er-стекло,  $Co^{2+}:MgAl_2O_4$ ). Сравнение эффективности селекции продольных мод для Nd:YAG- и Yb,Er-лазеров выполнено путем сопоставления значений  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$  и результатов экспериментальных исследований.

## Программа

1-ой Международной конференции

# **ЛАЗЕРЫ, ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ И СИСТЕМЫ НА ИХ ОСНОВЕ**

23–27 мая 2022 г., Минск, Беларусь

---

—  
Подписано к печати 04.05.2022 г.  
Тип бумаги: офисная.  
Объём:  
Заказ №

Формат 60x90 1/16.  
Печать: ризография.  
Тираж: 70 экз.

---

—  
Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси  
220072 Минск, пр. Независимости, 68-2  
Отпечатано на ризографе Института физики НАН Беларуси

---

—