



3-я Международная конференция

ЛАЗЕРЫ, ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ И СИСТЕМЫ НА ИХ ОСНОВЕ

LSES Minsk 2026

**ПРОГРАММА
И ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

25-29 мая 2026 года
Республика Беларусь,
Минск

3-я Международная конференция
**ЛАЗЕРЫ, ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ И
СИСТЕМЫ НА ИХ ОСНОВЕ**

25 – 29 мая 2026 г., Минск, Республика Беларусь



ПРОГРАММА И ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



Организаторы

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ АКАДЕМИЙ НАУК

Государственное научное учреждение
«ИНСТИТУТ ФИЗИКИ имени Б.И. СТЕПАНОВА
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»

Государственное научно-производственное объединение
«Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук

Научно-техническая ассоциация «ОПТИКА И ЛАЗЕРЫ»

Программный комитет

С.В. Иванов (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ),	Е.А. Чешев (Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, РФ),
Н.А. Пихтин (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ),	Ю.П. Яковлев (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ),
М.В. Богданович (ГНПО «Оптика, птоэлектроника и лазерная техника», Минск, Республика Беларусь),	М.С. Тиванов (Белгосуниверситет, Минск, Республика Беларусь),
С.В. Гапоненко (Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь),	В.А. Богуш (БГУИР, Минск, Республика Беларусь),
А. Мармалюк (НИИ ПОЛЮС им. М.Ф. Стельмаха, Москва, РФ),	В.Э. Кисель (БНТУ, Минск, Республика Беларусь),
Г.Т. Микаелян (LASSARD, ИНЖЕКТ, РФ),	Г.П. Яблонский (Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь)
С.Н. Соколов (ИНЖЕКТ, Саратов, РФ),	

Организационный комитет

Г.И. Рябцев (Институт физики НАН Беларуси), Председатель Оргкомитета,
А.В. Григорьев (Институт физики НАН Беларуси), зам. Председателя Оргкомитета,
З.Н. Соколова (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ), ученый секретарь комитета,
Е.А. Невар (Институт физики НАН Беларуси), ученый секретарь комитета,
Е.С. Жарникова, И.А. Сулим, Н.В. Варapai, Д.С. Василевская, О.М. Борздова, Д.В. Шабров, А.Г. Рябцев, В.С. Шершень, Д.А. Королько, А.А. Таболич, И.И. Русак, А.Ю. Ильин, Е.С. Леоненя, А.С. Пилипович

При поддержке



ЗАО «СЛС Прайм Технолоджи»



ООО «ФОТНИКС ИНСТРУМЕНТС»



3-я Международная конференция
**ЛАЗЕРЫ, ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ
И СИСТЕМЫ НА ИХ ОСНОВЕ**

25–29 мая 2026, Минск, Беларусь

ПРОГРАММА

25 мая, понедельник

09.00-14.00 *Регистрация*

14.00-14.20 **Открытие конференции**

Вступительное слово: М.В. Богданович, С.В. Гапоненко, Ю.П. Яковлев,
Н.А. Пихтин, В.А. Богуш

Секция 1 – Физика, техника и применение лазерных излучателей

Секция 2 – Физика и технологии создания новых материалов

Приглашенный доклад

14.20–15.00 **Мощные многомодовые и одномодовые инжекционные лазеры с длиной волны 1550 нм**

Н.А. Пихтин

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, СПб., РФ

Приглашенный доклад

15.00–15.40 **Наноплазмоника для усиления взаимодействия излучения с квантовыми точками**

С.В. Гапоненко

Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

Приглашенный доклад

15.40–16.20 **Мощные квантово-каскадные лазеры и детекторы среднего ИК диапазона**

Г.С. Соколовский

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ

16.20–16.40

Кофе-пауза



Приглашенный доклад

16.40–17.20 Молекулярно-пучковая эпитаксия для ультрафиолетовой оптоэлектроники

Е.В. Луценко

*Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск,
Республика Беларусь*

Приглашенный доклад

17.20–18.00 Лазер с распределенной обратной связью на основе структур с КЯ HgCdTe при накачке ККЛ

С.В. Морозов¹, В.В. Уточкин¹, А.А. Разова¹, М.А. Фадеев¹,
В.В. Румянцев¹, К.А. Мажукина¹, А.А. Янцер¹, Д.В. Шенгуров¹,
В.И. Гавриленко¹, Е.Е. Морозова¹, Н.С. Гусев¹, В.В. Барышев²,
Н.С. Гинзбург², Е.Д. Егорова², Н.Н. Михайлов³, А.А. Дубинов¹,
В.Я. Алешкин¹, Г.С. Соколовский⁴, В.В. Дюделев⁴, А.Ю. Егоров⁴

¹*ИФМ РАН, Н.-Новгород, д. Афонино, РФ*

²*ИПФ РАН, Н.-Новгород, РФ*

³*ИФП СО РАН, Новосибирск, РФ*

⁴*ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, Спб., РФ*



26 мая, вторник

Секция 1 – Физика, техника и применение лазерных излучателей

Приглашенный доклад

09.00–09.40 **Высокоскоростные энергоэффективные вертикально-излучающие лазеры спектрального диапазона 1300-1550 нм, изготовленные методами молекулярно-пучковой эпитаксии и спекания**

Л.Я. Карачинский^{1,2}, Я.Н. Ковач^{2,3}, С.А. Блохин³, И.И. Новиков^{1,2},
А.В. Бабичев^{1,2}, А.Г. Гладышев¹, В.В. Андрюшкин^{1,2}, П.Е. Копытов^{1,2},
Д.С. Папылев^{1,2}, К.О. Воропаев⁴, А.Ю. Егоров^{1,2}

¹ООО «Коннектор Оптикс», СПб., РФ

²Университет ИТМО, СПб., РФ

³ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ

⁴АО «ОКБ-Планета», Великий Новгород, РФ

09.40–10.00 **Необратимое повреждение оптико-электронных устройств беспилотных летательных аппаратов видимого спектрального диапазона лазерным излучением высокой плотности мощности**

А.П. Шкадаревич, А.А. Станкевич, **Д.И. Губин**, К.И. Галашев,
М.А. Кривомазов

Унитарное предприятие «НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО», Минск, Республика Беларусь

10.00–10.20 **Мощный импульсный полупроводниковый лазер, интегрированный с системой накачки и термостабилизации**

Д.А. Веселов, Ю.К. Кириченко (Бобрецова), В.А. Дементьева,
А.А. Климов, С.О. Слипченко, Н.А. Пихтин

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ

10.20–10.40 **Суперлюминесцентные диоды InGaAs/GaAs ваттного уровня мощности**

Н.Ю. Гордеев¹, Г.О. Корнышов¹, Ю.М. Шерняков¹, А.А. Бекман¹,
А.С. Паюсов¹, Ю.А. Салий¹, М.М. Кулагина¹, С.А. Минтаиров¹,
Н.А. Калюжный¹, М.В. Максимов²

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ

²Алферовский университет, СПб., РФ

10.40–11.00

Кофе-пауза



Приглашенный доклад

11.00–11.40 Разработка одночастотных квантово-каскадных лазеров с селективным кольцевым резонатором

А.В. Бабичев¹, Н.Ю. Харин², Е.С. Колодезный¹, Д.С. Папылев¹, Д.А. Михайлов³, Г.В. Вознюк³, М.И. Митрофанов^{3,4}, В.В. Дюделев³, А.Г. Гладышев¹, С.О. Слипченко³, А.В. Лютецкий³, В.П. Евтихийев³, В.Ю. Паневин², Л.Я. Карачинский¹, И.И. Новиков¹, Г.С. Соколовский³, Н.А. Пихтин³, А.Ю. Егоров¹

¹Университет ИТМО, СПб., РФ

²Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, СПб., РФ

³ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ

⁴НТЦ микроэлектроники РАН, СПб., РФ

11.40–12.00 Оптимизация волновода на поверхностном плазмоне для перспективного ККЛ на основе КРТ

А.А. Дубинов¹, А.А. Афоненко², Д.В. Ушаков²

¹Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, РФ

²Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

12.00–12.20 Амплитудные шумы одномодовых вертикально-излучающих лазеров диапазона 89Х нм

Я.Н. Ковач¹, М.А. Бобров¹, А.А. Блохин¹, Н.А. Кузьменкова¹, А.Г. Кузьменков¹, А.П. Васильев², Н.А. Малеев¹, С.А. Блохин¹

¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, СПб., РФ

²НТЦ Микроэлектроники и субмикронных гетероструктур, СПб., РФ

12.20–12.40 Исследование температурной стабильности микродисковых лазеров с активной областью на основе AlGaIn/AlGaIn квантовых ям

И.А. Мельниченко¹, Э.И. Моисеев¹, Д.А. Масютин¹, К.А. Иванов¹, А.Г. Войнилович², Е.В. Луценко², А.А. Пивоварова³, Н.Д. Ильинская³, И.П. Смирнова³, Л.К. Марков³, Н.В. Крыжановская¹, А.Е. Жуков¹

¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» СПб., РФ

²Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

³ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ

12.40-14.00 *Перерыв на обед*

14.00–14.20 Генерация ЭДС в диодах шотки Pd/InP в атмосфере водорода

Ю.П. Яковлев, Е.А. Гребенщикова, В.А. Шутаев

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ

14.20–14.40 **ОЖЕ-рекомбинация в прямозонных полупроводниках A^3B^5**

З.Н. Соколова

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ

14.40–15.00 **Лазерная генерация в УФ диапазоне и фотодинамические процессы в широкозонных диэлектрических кристаллах, активированных ионами Ce^{3+}**

А.С. Низамутдинов, С.Л. Кораблева, А.К. Наумов, А.А. Шавельев,
А.А. Макарова, Я. Хамдан, В.В. Семашкоя

Казанский федеральный университет, Казань, РФ

15.00–15.20 **Волоконные линзы как инструмент повышения эффективности ввода излучения лазерных диодов в оптоэлектронных модулях**

А.С. Паньков, Ф.Е. Хаснуллин, Р.С. Пономарев

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, РФ

15.20–15.40 **On-line: Современные полупроводниковые лазеры и их применения**

И.В. Галушка, В.В. Галушка, О.В. Коренченко, А.В. Кулаков,
А.Н. Миряха, В.А. Панарин, **С.Н. Соколов**

ООО «НПП «Инжект», Саратов, РФ

15.40–16.00 **On-line: Сфокусированный ионный пучок для пост-производственной коррекции ближнего и дальнего поля лазерных диодов**

И.Н. Григоренко¹, Г.В. Вознюк¹, А.С. Лиля¹, М.И. Митрофанов^{1,2},
А.С. Паюсов¹, В.П. Евтихийев¹

¹*ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, СПб., РФ*

²*НТЦ микроэлектроники РАН, СПб., РФ*

16.00–16.20 **Светодиоды для детектирования углекислого газа и паров воды в диапазоне 2,6 – 2,8 мкм**

Е.В. Куницына, Э.В. Иванов, Я.А. Пархоменко, А.А. Пивоварова,
И.А. Андреев, Н.Д. Ильинская, Ю.П. Яковлев

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, СПб., РФ

16.20–16.40

Кофе-пауза

16.40–17.00 **Полупроводниковые лазерные излучатели в курсо-гладной системе посадки самолетов**

А.Н. Миряха, **М.И. Свердлов**

ООО «Кантегир», Саратов, РФ

17.00–17.20 Стимулированное излучение в волноводных гетероструктурах с квантовыми ямами HgTe/CdHgTe при различных длинах волн оптической накачки

К. А. Мажукина¹, В.Я. Алешкин^{1,2}, А.А. Дубинов^{1,2}, В.В. Уточкин¹, Е.Ю. Горячкина^{1,2}, Н.Н. Михайлов³, С.А. Дворецкий³, С.В. Морозов¹, В.В. Румянцев^{1,2}

¹Институт физики микроструктур РАН, д. Афонино, Кстовский р-н, Нижегородская обл., РФ

²ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, РФ

³Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова, Новосибирск, РФ

26 мая 2026 года

18.00 – 22.30 *Товарищеский ужин*

27 мая, среда

09.00 – 19.00 **Экскурсия**

«Гранитный карьер в Микашевичах»



Гранитный карьер в Микашевичах — крупнейший действующий карьер в Беларуси, который уже более 40 лет остается важнейшим центром добычи гранита. Его масштабы поражают: ширина карьера достигает 2 км, длина — 3 км, а глубина составляет 150 м, что делает его одним из самых глубоких карьеров страны. Примечательно, что он расположен на 20 метров ниже уровня Балтийского моря.

Этот индустриальный объект отличается особым пейзажем, который нехарактерен для равнинной Беларуси. Массивные каменные уступы, извилистые дороги, ведущие на дно, и мощная карьерная техника создают впечатляющую картину. Здесь можно увидеть настоящих гигантов среди грузовиков — БелАЗы, которые снуют по карьеру, перевозя тонны добытой породы. Благодаря своим внушительным размерам и необычной для страны панораме карьер привлекает внимание не только специалистов, но и туристов, которые могут посетить его в рамках экскурсий по Беларуси.

28 мая, четверг

Секция 1 – Физика, техника и применение лазерных излучателей

Секция 2 – Физика и технологии создания новых материалов

Приглашенный доклад

9.00-9.40 Лазерно-индуцированные микро-нанокластерные поверхностные структуры заданной конфигурации для управления функциональными характеристиками образцов: фундаментальные основы и экспериментальная реализация

А.В. Жданов¹, Д.Н. Бухаров¹, А.О. Кучерик¹, С.М. Аракелян²

¹Владимирский государственный университет, Владимир, РФ

²Независимый исследователь, Владимир, РФ

9.40-10.00 Лазеры на NV-центрах в алмазе: характеристики и особенности

Д.Е. Генин¹, Е.И. Липатов^{1,2}, П.Е. Комарова^{1,2}, В.Г. Винс³

¹Институт сильноточной электроники, Томск, РФ

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, РФ

³ООО «Велман», Новосибирск, РФ

10.00-10.20 Технология плазменно-активированной молекулярно-пучковой эпитаксии высококачественных темплейтов AlN/c-Al₂O₃ для УФ-оптоэлектроники

Д.В. Нечаев, А.Н. Семенов, П.А. Алексеев, А.В. Мясоедов, В.Н. Жмерик
ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, СПб., РФ

10.20-10.40 Гетероструктуры InGaAs/GaAs со смешанной квантовой размерностью и оптоэлектронные приборы на их основе

А.С. Паюсов¹, Г.О. Корнышов¹, А.А. Бекман¹, А.А. Харченко²,
А.М. Надточий², С.А. Минтаиров¹, Н.А. Калюжный¹, М.М. Кулагина¹,
Ю.М. Задиранов¹, Ф.И. Зубов², Ю.М. Шерняков¹, Н.Ю. Гордеев¹,
М.В. Максимов²

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, СПб., РФ,

²Академический университет им. Ж.И. Алферова, СПб., РФ

10.40–11.00

Кофе-пауза

11.00-11.20 Факторы, ограничивающие отражение в резонансных брэгговских структурах InGaIn

А.В. Сахаров^{1,2}, Д.С. Артеев^{1,2}, А.А. Иванов¹, А.Е. Николаев^{1,2},
В.В. Чалдышев¹, А.Ф. Цацульников²

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, СПб., РФ,

²НТЦ микроэлектроники РАН, СПб., РФ



- 11.20-11.40 Моделирование квантово-каскадных GaAs/AlGaAs лазеров с многофотонными схемами переходов в области ~1 ТГц**
Д. В. Ушаков¹, А. А. Афоненко¹, Р. А. Хабибуллин², А. А. Дубинов³
¹Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь
²МФТИ (государственный университет), Долгопрудный, РФ
³Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, РФ
- 11.40-12.00 Генерация стимулированного излучения при комнатной температуре в гетероструктурах с квантовыми ямами HgCdTe/CdHgTe в окне прозрачности атмосферы 3 - 5 мкм**
А.А. Янцер¹, М.А. Фадеев¹, К.Е. Кудрявцев¹, В.В. Румянцев¹, В.В. Уточкин¹, А.А. Разова¹, К.А. Мажукина¹, А.А. Дубинов¹, В.Я. Алешкин¹, Н.Н. Михайлов², С.В. Морозов¹
¹Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, РФ
²Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, РФ
- 12.00-12.20 Микродисковые лазеры на основе гетероструктур с квантовыми ямами HgCdTe**
М.А. Фадеев¹, А.А. Разова¹, В.В. Румянцев¹, В.В. Уточкин¹, Д.В. Шенгуров¹, Е.Е. Морозова¹, Н.С. Гусев¹, К.А. Мажукина¹, А.А. Янцер¹, Н.Н. Михайлов², С.А. Дворецкий², С.В. Морозов¹
¹Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, РФ
²Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, РФ
- 12.20-12.40 Формирование сфокусированным ионным пучком галлия дифракционных решеток в кольцевых квантово-каскадных лазерах**
Г.В. Вознюк¹, **М.И. Митрофанов**^{1,2}, А.В. Бабичев³, Д.А. Михайлов¹, Н.Ю. Харин⁴, В.П. Евтихийев¹
¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ
²НТЦ микроэлектроники РАН, СПб., РФ
³Университет ИТМО, СПб., РФ
⁴СПбПУ, СПб., РФ

12.40–14.00

Перерыв на обед

- 14.00-14.20 Высокочувствительная квантовая магнитометрия для медицинских приложений**
А.О. Макаров¹, К.С. Козлова¹, Д.В. Бражников¹, В.А. Васильев¹, В.И. Вишняков¹, А.М. Михайлов¹, А.Н. Гончаров¹, М.А. Бобров², Я.Н. Ковач², А.А. Блохин², Н.А. Малеев², С.А. Блохин²
¹Институт Лазерной Физики СО РАН, Новосибирск, РФ,
²Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, СПб., РФ

14.20-14.40 Амфотерицин в как фотосенсибилизатор для антимикробной фотодинамической терапии

Р.К. Нагорный, А.Л. Шमितько, А.Н. Собчук, Т.С. Ананич,
А.В. Микулич, Н.Д. Прокопенко, А.И. Третьякова, В.Ю. Плавский
Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

14.40-15.00 Спектральная зависимость антимикробного действия излучения видимой области спектра

В.Ю. Плавский, А.И. Третьякова, Р.К. Нагорный, А.В. Микулич,
А.Л. Шमितько, А.Н. Собчук, Л.Г. Плавская, Т.С. Ананич, О.Н. Дудинова,
Н.Д. Прокопенко, С.В. Якимчук, И.А. Леусенко
Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

15.00-15.20 ЗАО «СЛС ПРАЙМ ТЕХНОЛОДЖИ» - лазеры и лазерные системы для научных исследований и промышленности (рекламный)

А.В. Бобчик, А.Е. Гулевич
ЗАО «СЛС Прайм Технолоджи», Минск, Республика Беларусь

Стендовая секция: 15.20-18.00

Ст-1 Исследование спектральных характеристик материалов с применением современных лазерных технологий

Ю.Д. Воевода, А.Н. Купо
*Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Гомель, Республика Беларусь*

Ст-2 Мониторинг качества молочных продуктов с использованием многоволнового ТЕА лазера


С. С. Шавель, В. А. Горобец, С. Б. Бушук
*ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Минск,
Республика Беларусь*


Ст-3 Имитатор атмосферной оптической трассы для проверки лидаров-облакомеров в лабораторных условиях

П.Н. Назаренко
*ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Минск,
Республика Беларусь*

Ст-4 Закономерности формирования зоны видимости активно-импульсными системами наблюдения при сравнительно малой длительности экспозиции фотоприемника

С.Б. Бушук, М.С. Снежко, И.Н. Пучковский, С.С. Шавель,
Б.Ф. Кунцевич
*ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Минск,
Республика Беларусь*

- 
- Ст-5** **Энергетические и временные характеристики мощного кольцевого ПГС: численное моделирование**
А.А. Русак¹, В.А. Орлович¹, И.А. Ходасевич¹, А.П. Шкадаревич²,
Д. Унурбилэг³, П. Мунхбаатар⁴
¹Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь
²УП НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО, Минск, Республика Беларусь
³Институт физики и технологии Монгольской академии наук, Улан-Батор, Монголия
⁴Центр лазерных исследований Монгольского национального университета, Улан-Батор, Монголия
- Ст-6** **ВКР преобразование излучения Nd:YAG микрочип-лазера в CVD-алмазе**
В.П. Козич¹, В.А. Орлович¹, Е.А. Чешев², И.М. Тупицын²
¹Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь
²Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, РФ
- Ст-7** **Система передачи информации по беспроводной линии связи на основе полупроводникового лазера**
А.Н. Смехович, И.П. Петрович, Д.И. Конон, Б.П. Бахвалов,
Э.Т. Али-заде
УП НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО», Минск, Республика Беларусь
- Ст-8** **Пикосекундное вынужденное комбинационное рассеяние света в насыщенном водном растворе нитрата натрия в ультрафиолетовой области спектра**
А.И. Водчиц¹, В.А. Орлович¹, Л.Е. Батай¹, И.А. Ходасевич¹, Т.А. Павич¹,
С.М. Першин²
¹Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь
²Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, РФ
- Ст-9** **МШГ микролазеры с $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ квантовыми ямами, излучающие в диапазоне 413-415 нм при комнатной температуре**
Д.А. Масютин¹, И.А. Мельниченко¹, Э.И. Моисеев¹, А.Г. Войнилович²,
Е.В. Луценко², А.А. Пивоварова³, Н.Д. Ильинская³, И.П. Смирнова³,
Л.К. Марков³, Н.В. Крыжановская¹, А.Е. Жуков¹
¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», СПб., РФ
²Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь
³Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ
- Ст-10** **Моделирование кинетики генерации РОС-лазера на красителях, возбуждаемого РОС-лазером**
В.М. Катаркевич
Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

- 
- Ст-11 **Deep accumulation and moving target detection technology for weak signals in laser ranging based on FPGA**
Dongmei Li
Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China
- Ст-12 **High-uniformity large-aperture fiber laser beam expanding method**
Guanxin Zhang, Dongmei Li, Xiangkai Zhao
Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China
- Ст-13 **Исследование показателя преломления пассивного затвора Cr⁴⁺:YAG интерферометрическими методами**
М.В. Богданович^{1,2}, А.В. Григорьев¹, А.Г. Рябцев^{1,2}, Г.И. Рябцев¹, Л.Л. Тепляшин¹
¹*Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*
²*ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*
- Ст-14 **Полностью оптический квантовый магнитометр на основе NV-центров в алмазе: динамические характеристики и оптимизация лазерной накачки**
Д.С. Филимоненко, А.П. Низовцев, С.Я. Килин
Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь
- Ст-15 **Характеризация сверхрешеток AlGaAs/GaAs для QWIP методом малоугловой рентгеновской рефлектометрии**
Д.С. Папылев^{1,2}, В.В. Андрияшкин^{1,2}, А.Л. Дудин³, Л.С. Богословская^{3,4}, И.И. Новиков^{1,2}
¹*ООО «Коннектор Оптикс», СПб., РФ*
²*Университет ИТМО, СПб., РФ*
³*АО «Светлана-Рост», СПб., РФ*
⁴*СПбГЭТУ «ЛЭТИ», СПб., РФ*
- Ст-16 **Узкозонные наногетероструктуры в системе InSb-In(Ga)As(Sb,P) для спектрального диапазона 4-6 мкм**
К.Д. Моисеев, В.В. Романов, Я.А. Пархоменко, Ю.П. Яковлев
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ
- Ст-17 **Получение гетероструктур на основе AlInGaN/SiC методом MOCVD для лазерных диодов, излучающих в диапазоне 450-460 нм**
И.И. Марончук, Д.Д. Санникович, **М.В. Меженный**, А.А. Чельный, П.С.Рыбин, А.С. Тарасов
АО «Оптрон», Москва, РФ



- Ст-18** **Выращивание гетероструктур на основе AlInGaN/Al₂O₃ методом МOCVD для светоизлучающих диодов в диапазоне 510-530 нм**
И.И. Марончук, Д.Д. Санникович, М.В. Меженный, А.А. Чельный, П.С.Рыбин, А.С. Тарасов
АО «Оптрон», Москва, РФ
- Ст-19** **Характеризация наночастиц YF₃:Nd³⁺ и YF₃:Nd³⁺/Yb³⁺ для люминесцентного температурного зондирования**
Е.И. Шошева¹, М.С. Пудовкин¹, В.В. Семашко^{1,2}
¹*Казанский (Приволжский) Федеральный университет, Казань, РФ*
²*Физико-технический институт им. В.Н. Завойского, ФГБУ «Казанский научный центр» РАН, Казань, РФ*
- Ст-20** **Исследование влияния ионов Vi³⁺ на локальную структуру ионов Yb³⁺ в наночастицах CeO₂ методами ЭПР и оптической спектроскопии**
А.К. Докудовская¹, О.А. Морозов^{1,2}, С.Л. Кораблева¹, Р.М. Рахматуллин¹, В.В. Семашко^{1,2}, А.А. Родионов¹, М.С. Пудовкин¹
¹*Институт физики, Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Казань, РФ*
²*Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН, Казань, РФ*
- Ст-21** **Электролюминесцентные исследования гетероструктуры с квантовой ямой InGaAs/GaAs/AlGaAs, выращенной на Si подложке**
М.И. Кондратов, С.О. Слипченко, В.В. Шамахов, Д.Н. Николаев, А.Е. Гришин, Д.С. Смарагдов, Н.А. Пихтин
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ
- Ст-22** **Недеградирующие ГКР-активные подложки на основе тонких сплавных пленок медь/серебро на макропористом кремнии для плазмонной сенсорики**
Д.Д. Лапутько¹, **А.А. Бурко**¹, А.В. Бондаренко¹, С.В. Дубков², С.А. Гаврилов²
¹*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Республика Беларусь*
²*Научно-исследовательский университет «Московский институт электронной техники», Москва, РФ*
- Ст-23** **Исследование материалов разбавленных нитридов GaPN(As), выращенных методом молекулярно-пучковой эпитаксии на подложках кремния**
Е.В. Никитина^{1,2}, К.Ю. Шубина¹, С.Н. Хруль¹, О.А. Синицкая¹, Е.В. Пирогов¹, М.С. Соболев¹, А.К. Кавеев²
¹*СПбАУ РАН им. Ж.И. Алферова, СПб., РФ*
²*ФТИ им. А. Ф. Иоффе РАН, СПб., РФ*



Ст-24

Исследование формы диэлектрической маски на распределение скорости роста GaAs при селективной эпитаксии

А.Е. Гришин, А.Е. Маричев, В.В. Шамахов, М.И. Кондратов, Д.С. Сорокин, Д.С. Смарагдов, Н.В. Шувалова, С.О. Слипченко, Н.А. Пихтин

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ

Ст-25

Повышение цветопередачи и стабильности белых светодиодов с использованием перовскитных квантовых точек, инкапсулированных в стекле и слое SiO₂

Е.С. Тон¹, Л.Н. Сурвило¹, Н.Н. Грушко¹, Ю.В. Трофимов¹, С. Zheng², J. Fan², С.И. Лишик¹

¹*Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь*

²*Фуданьский университет, Шанхай, Китай*

Ст-26

Стеклолюминофорные преобразователи, устойчивые к лазерному возбуждению до 18 Вт/мм²

С.И. Лишик¹, В.И. Цвирко¹, Н.Н. Грушко¹, Л.Н. Сурвило¹, Е. С. Тон¹, Ю.В. Трофимов¹, S. Zhang², C. Ji², Z. Liu²

¹*Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь*

²*Shandong Energy Research Institute, Jinan, China*

Ст-27

Стеклолюминофорные преобразователи на основе 3D-микроструктурированных металлических подложек для источников белого света с лазерной накачкой

С.И. Лишик¹, Д.В. Град¹, Н.Н. Грушко¹, Л.Н. Сурвило¹, Д.А. Асиненко¹, А.В. Прохоцкий², S. Zhang³, C. Ji³, Z. Liu³

¹*Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь*

²*ООО «Тридэхаб», Минск, Республика Беларусь*

³*Shandong Energy Research Institute, Jinan, China*

Ст-28

Определение тепловой цепи лазерного диода

А.А. Бекман^{1,2}, А.Е. Черняков¹, А.Л. Закгейм¹

¹*НТЦ Микроэлектроники РАН, СПб., РФ*

²*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, СПб., РФ*

Ст-29

Разработка новых эффективных люминесцентных конвертеров для СИД светильников

В.А. Лапина¹, Т.А. Павич¹, П.П. Першукевич¹, Н.Н. Трофимова², А.В. Трофимов², Ю.Б. Цаплев²

¹*Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

²*Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля Российской АН, Москва, РФ*



Ст-30 **Лазерно-плазменный метод формирования гетероструктур на основе оксидов металлов и кремния**

В.Г. Корнев¹, М.И. Неделько¹, В.В. Малютина-Бронская²,
А.В. Данильчик¹, Е.В. Луценко¹, Н.В. Тарасенко¹

¹*Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

²*ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Минск, Республика Беларусь*

Ст-31 **Система скоростной фоторегистрации лазерной плазмы с наносекундным временным разрешением**

А.В. Горунович¹, Д.Н. Григорьев², К.Ф. Ермалицкая¹, А.А.Зотов²,
М.Н. Коваленко¹, В.Ф. Казанин², К.В. Козадаев¹, Е.А. Чесновская¹

¹*Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь*

²*Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск, РФ*

Ст-32 **Численная модель непрерывных волоконных лазеров, обеспечивающая устойчивость решений**

В.Э. Кисель, А.И. Лазарчук, А.С. Ясюкевич

НИЦ ОМТ, Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

29 мая, пятница 2026 г.

Секция 1 – Физика, техника и применение лазерных излучателей

Секция 2 – Физика и технологии создания новых материалов

9.00-9.20 **Applications of nanoassemblies based on semiconductor quantum dots and porphyrin macrocycles in medicine: singlet oxygen generation and theranostics**

E.I. Zenkevich^{1,3}, N.D. Strekal², C. von Borczyskowski³

¹Belarussian National Technical University, Minsk, Belarus

²Grodno State University named Ya. Kupala, Grodno, Belarus

³Chemnitz University of Technology, Chemnitz, Germany

9.20-9.40 **Удаленный люминофор на основе перовскитов для создания красных светодиодов**

В.В. Крюков¹, В.И. Цвирко², О.С. Кулакович¹, А.А. Романенко¹,
Ю.В. Трофимов², С.В. Гапоненко¹

¹Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси», Республика Беларусь

09.40-10.00 **Динамические процессы на низколежащих состояниях иона Er^{3+} в кристалле $\text{BaY}_{1,8}\text{Lu}_{0,2}\text{F}_8$**

А.В. Астраханцева¹, Т. М. Миннебаев¹, А. А. Шавельев¹,
А. Г. Николаев², К.Н. Болдырев³, А.С. Низамутдинов¹

¹Институт физики, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, РФ

²Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, РФ

³Институт спектроскопии РАН, Троицк, Москва, РФ

10.00-10.20 **On-line: Влияние метода синтеза $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ на качество люминесцентных характеристик**

К.А. Смирнова, А.А. Васильева, И.Е. Колесников

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии, СПб, РФ

10.20-10.40 **Динамика состояний ${}^3\text{F}_4 \rightarrow {}^3\text{H}_6$ и ${}^5\text{I}_7 \rightarrow {}^5\text{I}_8$ ионов Tm^{3+} и Ho^{3+} в смешанных кристаллах $\text{LiY}_{0,3}\text{Lu}_{0,7}\text{F}_4$**

Т.М. Миннебаев¹, А.С. Низамутдинов¹, А.А. Шавельев¹, В.В. Семашко^{1,2}

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, РФ

²Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН, Казань, РФ

10.40–11.00

Кофе-пауза



- 11.00-11.20** **Динамика сврхизлучательных компонентов в резонансном отражении квазидвумерного массива квантовых точек**
Е.В. Тимошенко¹, В.А. Юревич², Ю.В. Юревич²
¹Могилевский государственный университет им. А.А. Кулешова, Республика Беларусь
²Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Могилев, Республика Беларусь
- 11.20-11.40** **Роль состояний с переносом заряда в многократном увеличении интенсивности фотолюминесценции в монокристаллах $\text{Ca}(\text{Ba})\text{Ga}_2\text{S}_4:\text{Nd}, \text{Yb}$ и $\text{Ca}(\text{Ba})\text{Ga}_2\text{S}_4:\text{Tm}, \text{Yb}$**
П.П. Першукевич¹, О.Б. Тагиев², В. М. Гаджиева², Т.Ш. Ибрагимова², Ф.А. Казимова², М. В. Бельков¹, А. А. Таболич¹, Е.В. Луценко¹, В.Н. Павловский¹, А.В. Мудрый³, Г.П. Яблонский¹
¹Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь
²Институт физики Министерства науки и образования Азербайджана, Баку, Азербайджан
³Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Минск, Республика Беларусь
- 11.40- 12.00** **Исследование новых градиентно-активированных кристаллов с оптическими центрами Yb и Er на основе YAG**
Е.В. Строганова, В.В. Галуцкий
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» Краснодар, РФ
- 12.00-12.20** **Особенности динамики поверхностно-излучающих полупроводниковых лазеров в случае двух близких точек поляризационного переключения**
Л.И. Буров, Д.О.Гавриков
Белорусский государственный университет, 220030, Минск, Республика Беларусь
- 12.20-12.40** **Особенности обработки оптических материалов ионно-лучевыми методами**
М.В. Богданович^{1,2}, **А.В. Григорьев**¹, А.Г. Рябцев^{1,2}, Г.И. Рябцев¹, Н.Н. Новицкий³, А.И. Серокурова³, А.И. Войнилович¹
¹Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь
²ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь
³ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению», Минск, Республика Беларусь



12.40-13.00 **Расширение области применения кристаллических соединений структурного типа граната, активированных редкоземельными ионами: детекторные элементы для микрорадиографии**

М.В. Коржик¹, **В.А. Калинов**², Е.А. Борисевич¹, О.Е. Костик²,
В.А. Мечинский¹, А.А. Федоров¹

¹*НИИ ядерных проблем БГУ, Минск, Республика Беларусь,*

²*Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

13.00-13.20 **Заккрытие конференции**

ООО «ФОТОНИКС ИНСТРУМЕНТС» СПЕКТРАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Команда разработчиков, сервис-инженеров и производственных специалистов ООО «Фотоникс Инструментс», Минск, Беларусь, имеет 30-летний опыт разработки и производства спектрального оборудования. Качественные и надежные монохроматоры и спектрометры, разработанные и выпущенные нашей командой, установлены в исследовательских лабораториях Европы и Азии, а также являются частью аналитического оборудования, производимого известными мировыми компаниями. Качественно рассчитанные оптические схемы и точная надежная механика – неотъемлемые свойства нашей продукции – являются основными причинами ее популярности среди наших заказчиков.

Разработка новых приборных комплексов является одним из основных направлений нашего взаимодействия с заказчиками. Расчет и оптимизация оптических схем, согласование апертур оптических элементов с целью минимизации световых потерь в оптических системах, спектроскопия высокого разрешения, метрологические системы, дистанционный сбор излучения с удаленных объектов – это далеко не полный перечень тем наших с Вами потенциальных совместных проектов.

Команда наших опытных конструкторов и сервис-инженеров способна обеспечить самые короткие производственные циклы – минимальное время превращения идеи в продукт. Мы делаем приборы, с которыми Вам будет приятно работать!

ИЗМЕРИТЕЛИ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ЛАЗЕРОВ И ДИОДОВ С ПИКОМЕТРОВОЙ ТОЧНОСТЬЮ

Измерители длины волны WLMeter и WLMeter-NIR – это уникальные компактные приборы для измерения длины волны лазеров и диодов с пикометровой точностью. Уникально высокая точность в широком спектральном диапазоне, определение полуширины спектральной линии (FWHM) и анализ формы спектра, возможности отслеживания анализируемого излучения в реальном масштабе времени и работы

- Измерение длины волны непрерывных и импульсных лазеров и диодов
- Мониторинг длины волны, FWHM и формы спектра во времени



WLMeter

- спектральный диапазон 180-1200нм
- точность до ± 3 пм
- спектральное разрешение от 6 до 40пм
- ввод излучения через многомодовое волокно и диффузный аттенуатор (в комплекте), либо прямой ввод излучения в прибор
- питание и управление через USB интерфейс



WLMeter-NIR

- спектральный диапазон 600-1700нм
- точность до ± 15 пм
- спектральное разрешение от 150 до 430пм
- ввод излучения через многомодовое волокно и диффузный аттенуатор (в комплекте), либо прямой ввод излучения в прибор
- питание и управление через USB интерфейс

МОНОХРОМАТОРЫ-СПЕКТРОГРАФЫ

Монохроматоры-спектрографы "Фотоникс Инструментс" являются универсальным решением для работы в широком спектральном диапазоне с высоким качеством спектральной линии и минимальным уровнем рассеянного света. Модели монохроматоров:

- M140, фокусное расстояние 145 мм, отн. отверстие 1/3,6
- M300, фокусное расстояние 300 мм, отн. отверстие 1/3,8
- M500, фокусное расстояние 500 мм, отн. отверстие 1/5,5
- M700, фокусное расстояние 750 мм, отн. отверстие 1/9,1



Монохроматор может комплектоваться:

- 2-мя входными и 3-мя выходными портами (в зависимости от модели)
- турелью фильтров разделения порядков для работы в широком спектральном диапазоне;
- скрещенной автоматизированной входной щелью (регулируемый pinhole) для рамановских применений;
- оптикой, оптимизированной для работы в УФ или ИК областях;
- линейными и матричными датчиками изображения и ФЭУ;
- устройствами согласования световых апертур для корректного ввода излучения в прибор, для работы с оптическими волокнами и др.
- штуцером для продувки прибора инертным газом при необходимости работы в УФ.



КОМПАКТНЫЕ СПЕКТРОМЕТРЫ

Линейка спектрометров производства "Фотоникс Инструментс" включает три модели, каждая из которых имеет свои уникальные характеристики спектрального диапазона и разрешения, охватывая максимально широкий круг задач.



VIS100

- спектральный диапазон 190-1100нм
- спектральное разрешение 1,5нм
- USB интерфейс и программное обеспечение в комплекте
- нет необходимости в дополнительном питании
- волоконный вход SMA-905 (опционально FC) либо прямой ввод излучения в прибор



VIS150

- полный диапазон чувствительности кремниевых сенсоров 200нм-1100нм
- выбор рабочего спектрального диапазона и разрешения при формировании заказа
- USB интерфейс и программное обеспечение в комплекте, без дополнительного питания
- волоконный вход либо прямой ввод излучения в прибор



NIR100

- полный диапазон чувствительности InGaAs сенсоров 780нм-1700нм
- выбор рабочего спектрального диапазона и разрешения при формировании заказа
- USB интерфейс и программное обеспечение в комплекте, без дополнительного питания
- волоконный вход либо прямой ввод излучения в прибор

ЛАЗЕРЫ GRAPHITE

Импульсные Nd:YAG лазеры



Лучшее сочетание энергии и частоты
лазерных импульсов



Простота интеграции и управления



Выход всех гармоник по одной оси



Созданы для научных и промышленных задач



ЗАО «СЛС Прайм Технолоджи»

+375 (17) 382-00-55

www.sls-prime.com

sales@sls-prime.com

SLS

PRIME TECHNOLOGY

AZURITE 150

Компактные лазеры с диодной накачкой

Диодная накачка



Высокая стабильность параметров



Компактные размеры



OEM-решения



ЗАО «СЛС Прайм Технолоджи»

+375 (17) 382-00-55

www.sls-prime.com

sales@sls-prime.com



ДЛЯ ЗАМЕТОК



ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МОЩНЫЕ МНОГОМОДОВЫЕ И ОДНОМОДОВЫЕ ИНЖЕКЦИОННЫЕ ЛАЗЕРЫ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 1550 нм

Н.А. Пихтин, К.В. Бахвалов, Д.А. Веселов, А.В. Лютецкий, А.Э. Ризаев,
Н.А. Рудова, И.В. Шушканов, С.О. Слипченко
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ул. Политехническая 26, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: nike@hpld.ioffe.ru

В докладе обсуждаются экспериментальные результаты исследований мощностных, спектральных, пространственных и динамических характеристик торцевых лазерных диодов на основе AlGaInAsP/InP квантоворазмерных гетероструктур отдельного ограничения, выращенных МОС-гидридной эпитаксией. Проанализированы конструкции лазерных гетероструктур с расширенным и со сверхузким волноводами. Показано, как изменяется пространственная яркость в непрерывном режиме работы многомодовых лазеров на основе гетероструктуры со сверхузким волноводом с шириной полоска 20-150 мкм, максимальная величина яркости составила более 1 Вт/(мм*мрад) для ширины 20 мкм. Представлены особенности разработки конструкции меза-полоска для пространственно-одномодовых лазеров на основе той же гетероструктуры. Продемонстрирована максимальная оптическая мощность 250 мВт в одномодовом режиме при накачке непрерывным током. Проведены сравнительные измерения и моделирование мощных многомодовых лазеров (апертура 100 мкм) в режиме накачки короткими (менее 1 нс) токовыми импульсами амплитудой до 30 А. Показано, что форма оптического импульса излучения лазеров на основе гетероструктуры со сверхузкими волноводами заметно отличается от формы импульса излучения лазеров с широкими волноводами, позволяя выбирать наилучшую конструкцию лазера в зависимости от режима работы. Получены пиковые оптические мощности до 12 Вт при длительности импульса менее 1 нс по основанию и до 4 Вт при длительности импульса 80 пс на полувысоте в режиме модуляции усиления.

НАНОПЛАЗМОНИКА ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ С КВАНТОВЫМИ ТОЧКАМИ

Гапоненко С.В., Кулакович О.С.
Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости 68, Минск, Республика Беларусь
e-mail: s.gaponenko@ifanbel.bas-net.by

В настоящей работе представлен анализ возможностей применения коллоидных наночастиц благородных металлов для усиления взаимодействия излучения и вещества в различных устройствах на основе полупроводниковых квантовых точек: излучателях, солнечных элементах, светодиодах, фотодетекторах. Анализируются механизмы физических процессов, результаты моделирования и примеры успешной экспериментальной реализации композитных наноструктур с участием наночастиц металла и коллоидных полупроводниковых нанокристаллов (квантовых точек). 3 базовых эффекта: увеличение локального электрического поля на частоте оптического возбуждения (поглощения), увеличение плотности фотонных состояний на частоте вторичного излучения, рост вероятности безызлучательных переходов в различных

экспериментальных реализациях позволяют получить увеличение интенсивности излучения люминофоров примерно в 10 раз, увеличение квантового выхода и эффективности светодиодов в 1,5...2 раза, а также обеспечивают повышение фотостабильности полупроводниковых излучателей и быстродействия фотодетекторов. Одновременно увеличивается скорость рекомбинации, что важно для применения в системах Li-Fi – беспроводной оптической связи. Показано, что для светоизлучающих систем с оптической накачкой полезно использование понятия «оптический нанотрансивер», то есть приемо-передатчик, при этом металлический нанообъект выступает одновременно в роли приемной антенны, усиливая падающее излучение в точке нахождения излучателя, и передающей антенны, усиливая интенсивность вторичного излучения (скорость испускания фотонов).

МОЩНЫЕ КВАНТОВО-КАСКАДНЫЕ ЛАЗЕРЫ И ДЕТЕКТОРЫ СРЕДНЕГО ИК ДИАПАЗОНА

Г.С. Соколовский

*Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН,
194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26, Россия
e-mail: gs@mail.ioffe.ru*

Квантовые каскадные лазеры являются наиболее эффективными и компактными источниками перестраиваемого излучения в среднем ИК и терагерцовом диапазонах, востребованными в связи, биомедицине и газоанализе. Их ключевой особенностью является униполярный принцип работы, т.е. генерация за счёт межуровневых переходов электронов в квантовых ямах, что обеспечивает квантовую эффективность заметно выше 100%. Это особенно важно для задач с высокими потерями, таких как дистанционный газоанализ и атмосферная связь.

При разработке мощных ККЛ важны повышение эффективности и теплоотвод, поскольку высокие напряжения и пороговые токи приводят к нагреву. С учётом этих факторов нами достигнута пиковая мощность более 21 Вт на длине волны 8 мкм при импульсной накачке (100 нс, 11 кГц). Оптимизация конструкции позволила получить одночастотную генерацию до 1,5 Вт во внешнем резонаторе по схеме Литрова и обеспечить непрерывную перестройку более 600 нм ($>100 \text{ см}^{-1}$) с перспективой расширения диапазона, что делает такие ККЛ перспективными для дистанционного газоанализа.

Нами также продемонстрированы квантово-каскадные детекторы, созданные из гетероструктур мощных ККЛ, работающие при комнатной температуре и нулевом смещении с максимальной чувствительностью более 100 мА/Вт в области 7.5-8 мкм. Исследования быстродействия ККД показали, что их полоса пропускания превышает 1 ГГц.

МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВАЯ ЭПИТАКСИЯ ДЛЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

Е.В. Луценко, Д.А. Шохонов, В.В. Микулич, А.Г. Войнилович,
Б.Д. Урманов, А.В. Нагорный, В.А. Шуленкова
*Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости 68-2, 220072 Минск,
Республика Беларусь*
e-mail: e.lutsenko@ifanbel.bas-net.by

В связи с бурным развитием полупроводниковых ультрафиолетовых светодиодов и лазеров на основе гетероструктур AlGaIn, ультрафиолетовая область (УФ) спектра становится все более востребованной для технологических процессов промышленного, пищевого и сельскохозяйственного производства связанных с фотополимеризацией, стерилизацией, дезинфекцией и т.д., что также актуализирует вопросы фото- и дозиметрии в УФ излучения. В настоящей работе обсуждаются результаты по фотолюминесценции и стимулированному излучению активной области гетероструктур AlGaIn с одиночной и множественными квантовыми ямами, выращенных аммиачной молекулярно-пучковой эпитаксией (МПЭ). Приводятся и обсуждаются результаты спектральной чувствительности гетероструктур ультрафиолетовых AlGaIn p-i-n фотодиодов, выращенных аммиачной МПЭ, возможности построения на их основе мониторинга и фотометрии УФ излучения.

ЛАЗЕР С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ НА ОСНОВЕ СТРУКТУР С КЯ HgCdTe ПРИ НАКАЧКЕ ККЛ

С.В. Морозов¹, В.В. Уточкин¹, А.А. Разова¹, М.А. Фадеев¹, В.В. Румянцев¹,
К.А. Мажукина¹, А.А. Янцер¹, Д.В. Шенгуров¹, В.И. Гавриленко¹, Е.Е. Морозова¹,
Н.С. Гусев¹, В.В. Барышев², Н.С. Гинзбург², Е.Д. Егорова², Н.Н. Михайлов³,
А.А. Дубинов¹, В.Я. Алешкин¹, Г.С. Соколовский⁴, В.В. Дюделев⁴, А.Ю. Егоров⁴
¹ИФМ РАН, 603087, г. Нижний Новгород, д. Афонино, ул. Академическая, д. 7
²ИПФ РАН, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, д. 46
³ИФП СО РАН, 630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, д. 13
⁴ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26
e-mail: more@ipmras.ru

Компактные источники излучения среднего ИК-диапазона остаются востребованными для решения ряда задач фундаментального и прикладного характера, связанных со спектроскопией газов и твердых тел. Среди полупроводниковых лазеров в данный момент лучшие характеристики по мощности и рабочим температурам в среднем ИК-диапазоне демонстрируют квантовые каскадные лазеры (ККЛ). Альтернативными компактными источниками могут быть межзонные лазеры на основе гетероструктур с квантовыми ямами (КЯ) узкозонных твердых растворов HgCdTe/CdHgTe [1]. Достижение оптического усиления и генерации электромагнитного излучения в таких материалах оказалось возможным для носителей заряда с квазирелятивистским законом дисперсии носителей, благодаря подавлению основного механизма потерь, связанного с безызлучательной оже-рекомбинацией. В связи с известными сложностями р-типа легирования структур с КЯ HgCdTe и, как следствие, вытекающими из этого трудностями по реализации лазерных диодов представляется возможной реализация таких компактных лазеров с оптической накачкой диодными лазерами ближнего ИК-

диапазона или упомянутыми выше ИК ККЛ [2]. Отдельный интерес представляет собой реализация лазера с распределенной обратной связью (РОС), который обладает высокой стабильностью по частоте, что для ряда прикладных задач имеет приоритетное значение.

В данной работе в изготовленном РОС-лазере на основе КЯ HgCdTe получена генерация на 13.5 мкм при накачке 8 мкм отечественным ККЛ. РОС-лазер был сформирован на волноводной структуре с пятью КЯ $\text{Hg}_{0.89}\text{Cd}_{0.11}\text{Te}/\text{Cd}_{0.66}\text{Hg}_{0.34}\text{Te}$ толщиной 7.4 нм, которая была выращена в ИФП СО РАН методом МПЭ. Важно отметить, что за счет нетипичного для большинства полупроводниковых материалов значения эффективного показателя преломления, которое в HgCdTe для этого частотного диапазона составляет 2.89, можно обеспечить РОС и вывод излучения в вертикальном направлении под углом 210 к поверхности с помощью брэгговской решет-ки третьего порядка. Для этого на поверхности структуры методом ионного травления была сформирована одномерная диэлектрическая решетка с периодом 7.5 мкм. Оптическая накачка осуществлялась различными источниками. Использовались как импульсный ККЛ (8 мкм, ~ 4 Вт в пучке диаметром ~2.5 мм), так и импульсные или непрерывные CO_2 лазеры (длина волны генерации 10.6 мкм) и непрерывный волоконный лазер (длина волны генерации 1.9 мкм). В исследуемом РОС-лазере обнаружена узкополосная лазерная генерация с $\text{FWHM} < 0.15 \text{ см}^{-1}$ (4.5 ГГц) на длине волны ~13.5 мкм. Наблюдалась свойственная РОС лазерам температурная стабильность положения линии лазерной генерации, а размер пятна излучения на расстоянии 15 см не превышал 3 мм. Таким образом, при накачке ИК ККЛ в РОС лазере на основе волноводной структуры с КЯ на основе HgCdTe продемонстрирована одночастотная лазерная генерация на длине волны 13.5 мкм.

Работа была выполнена при финансовой поддержке РФ грант № 22-12-00310-П.

[1] К.А. Мажукина и др., ПЖЭТФ, 118 (5), 311-316 (2023).

[2] V.V. Romyantsev et al., Appl. Phys. Lett., 124 (16), 161111 (2024).

ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ВЕРТИКАЛЬНО-ИЗЛУЧАЮЩИЕ ЛАЗЕРЫ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 1300-1550 нм, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ МЕТОДАМИ МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВОЙ ЭПИТАКСИИ И СПЕКАНИЯ

Л.Я. Карачинский^{1,2}, Я.Н. Ковач^{2,3}, С.А. Блохин³, И.И. Новиков^{1,2},
А.В. Бабичев^{1,2}, А.Г. Гладышев¹, В.В. Андрюшкин^{1,2}, П.Е. Копытов^{1,2},
Д.С. Папылев^{1,2}, К.О. Воропаев⁴, А.Ю. Егоров^{1,2}

¹ООО «Коннектор Оптикс», ул. Домостроительная 16Б, Санкт-Петербург, Россия

²Университет ИТМО, пр. Кронверкский 49, Санкт-Петербург, Россия

³ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Политехническая ул. 26, Санкт-Петербург, Россия

⁴АО «ОКБ-Планета», ул. Большая Московская 13а, Великий Новгород, Россия

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

В докладе представлены результаты по созданию и исследованию вертикально-излучающих лазеров (ВИЛ) диапазона длин волн 1300-1550 нм. ВИЛ в силу своей компактности и высокой энергоэффективности в настоящее время востребованы для передачи информации в центрах обработки данных (ЦОД). Гетероструктуры ВИЛ, исследованных в настоящей работе, представляют собой вертикальный микрорезонатор с выводом излучения вверх перпендикулярно подложке и состоят из нижнего и верхнего распределенных брэгговских отражателей (РБО) на основе гетеропары AlGaAs/GaAs, активной области на основе множественных квантовых ям InGaAs/InGaAlAs или короткопериодной сверхрешетки InGaAs/InGaAlAs и области с захороненным

туннельным переходом (ЗТП). Гетероструктуры изготавливались методом молекулярно-пучковой эпитаксии с использованием установки Riber 49, при этом РБО выращивались на подложках GaAs, а гетероструктура активной области с ЗТП – на подложке InP в результате двух эпитаксиальных процессов с промежуточным процессом формированием мезы ЗТП. Для изготовления итоговой гетероструктуры ВИЛ использовался метод спекания гетероструктур, созданных на подложках InP и GaAs. Полученные ВИЛ демонстрировали мощность оптического излучения в одночастотном режиме до 6 мВт, эффективную частоту модуляции до 13 ГГц, цифровую скорость передачи данных до 40 Гбит/с. Исследования энергоэффективности оптоволоконных линий связи на основе стандартного одномодового оптического волокна ITU-T G.652.D и ВИЛ спектрального диапазона 1550 нм показали принципиальную возможность снижения затрачиваемой энергии на передачу одного бита информации (энергоэффективности), приведенную к протяженности линии связи, ниже 100 фДж/бит·км при передаче данных на скорости 10 Гбит/с по оптоволоконной линии длиной 10 км.

Работа авторов из Университета ИТМО по реализации экспериментов по передаче данных поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание № FSER-2025-0025).

НЕОБРАТИМОЕ ПОВРЕЖДЕНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ВИДИМОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ МОЩНОСТИ

А.П. Шкадаревич, А.А. Станкевич, Д.И. Губин, К.И. Галашев, М.А. Кривомазов
Унитарное предприятие «НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО», Минск, Республика Беларусь
e-mail: gubin.fiz@gmail.com

Актуальной задачей является лазерное поражение оптико-электронных устройств (ОЭУ) беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Оптическая часть ОЭУ БПЛА состоит из объектива и матрицы; повреждение любого из этих элементов приводит к потере работоспособности устройства. Для большинства ОЭУ БПЛА повреждение матрицы излучением на длине волны 1 мкм не происходит из-за наличия ИК-фильтра в объективе. В настоящем исследовании показана возможность повреждения матрицы ОЭУ БПЛА излучением на длине волны, спектрально прозрачной для фильтра. Для повышения эффективности использовалось импульсное лазерное излучение на длине волны 532 нм.

Степень поражения находится в прямой зависимости от плотности энергии излучения в плоскости матрицы. Плотность энергии определяется энергетическими и геометрическими параметрами лазерного пучка в плоскости матрицы. Проведён анализ прохождения лазерного излучения через объектив, позволивший определить количество энергии, достигающей матрицы. Выполнена оценка размера и распределения энергии в пятне в плоскости матрицы на примере существующих объективов ОЭУ БПЛА. Экспериментально исследовано поражение матриц импульсным лазерным излучением, определены конкретные значения плотности энергии, необходимые для вывода из строя ОЭУ БПЛА, а также подобраны параметры лазерного источника.

МОЩНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ЛАЗЕР, ИНТЕГРИРОВАННЫЙ С СИСТЕМОЙ НАКАЧКИ И ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ

Д.А. Веселов, Ю.К. Кириченко (Бобрецова), В.А. Дементьева,
А.А. Климов, С.О. Слипченко, Н.А. Пихтин
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ул. Политехническая 26, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: dmitriy90@list.ru

В докладе представлены результаты разработки и изготовления серии лазерных приборов, построенных на основе общей конструкции. Приборы предназначены для стабильной генерации импульсно-периодического лазерного излучения с заданными параметрами (оптическая мощность, частота следования импульсов, длительность импульса). Базовая конструкция представляет собой систему накачки и термостабилизации полупроводникового лазера, размещённого в корпусе стандарта NHL (high heat load) с микроконтроллерным управлением. В зависимости от задачи в приборы можно устанавливать различные лазерные кристаллы, обеспечивая практически любые длины волн, доступные для полупроводниковых излучателей. Модульная система накачки позволяет работать с пиковыми импульсными оптическими мощностями от 1 мВт до 100 Вт и частотами от 1 Гц до 1 МГц. Точность поддержания температуры лазерного кристалла составляет 0.1 0С. Вывод излучения может производиться через окно в корпусе, либо через оптоволокно. Интеграция лазера и всех систем, обеспечивающих его работу, позволила обеспечить компактность (120x56x27 мм³), а модульный принцип – гибкость адаптации под нужды заказчиков в условиях мелкосерийного производства.

СУПЕРЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ДИОДЫ InGaAs/GaAs ВАТТНОГО УРОВНЯ МОЩНОСТИ

Н.Ю. Гордеев¹, Г.О. Корнышов¹, Ю.М. Шерняков¹, А.А. Бекман¹, А.С. Паюсов¹,
Ю.А. Салий¹, М.М. Кулагина¹, С.А. Минтаиров¹, Н.А. Калюжный¹, М.В. Максимов²
¹*ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия*
²*Алферовский университет, Санкт-Петербург, Россия*
e-mail: gordeev@switch.ioffe.ru

Суперлюминесцентные диоды (СЛД) представляют особый класс полупроводниковых излучателей, которые после достижения инверсии населённости не переходят в режим лазерной генерации, а работают в режиме усиления спонтанного излучения (суперлюминесцентном режиме). Такой режим позволяет сочетать малую временную когерентность за счёт широкого спектра излучения и достаточно высокую оптическую мощность – параметры, востребованные, например, для оптической когерентной томографии, волоконных гироскопов, спектроскопии, оптической передачи данных и генерации случайных чисел. Недавно мы предложили новую простую конструкцию полоскового волновода, позволяющую эффективно подавлять обратную связь в СЛД, получившую название скользящего полоскового волновода. В работе представлены результаты исследования СЛД со скользящим полосковым волноводом с активной областью на основе InGaAs/GaAs квантовых яма-точек, излучающих на длине волны около 1 мкм, для которых характерно высокое оптическое усиление. СЛД такого типа позволили получить оптическую мощность более 1.5 Вт при непрерывной накачке с шириной спектра 20 нм (ширина на половине высоты). Обсуждаются особенности спектров излучения и причины ограничения максимальной выходной мощности.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-72-00038, <https://rscf.ru/project/23-72-00038/>.

РАЗРАБОТКА ОДНОЧАСТОТНЫХ КВАНТОВО-КАСКАДНЫХ ЛАЗЕРОВ С СЕЛЕКТИВНЫМ КОЛЬЦЕВЫМ РЕЗОНАТОРОМ

А.В. Бабичев^{1,2}, Н.Ю. Харин³, Е.С. Колодезный¹, Д.С. Папылев¹, Д.А. Михайлов⁴, Г.В. Вознюк⁴, М.И. Митрофанов^{4,5}, В.В. Дюделев⁴, А.Г. Гладышев², С.О. Слипченко⁴, А.В. Лютецкий⁴, В.П. Евтихийев⁴, В.Ю. Паневин³, Л.Я. Карачинский¹, И.И. Новиков¹, Г.С. Соколовский⁴, Н.А. Пихтин⁴, А.Ю. Егоров¹

¹Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

²Коннектор Оптикс, Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, СПб, Россия

⁴ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

⁵НТЦ микроэлектроники РАН, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: a.babichev@itmo.ru

В настоящей работе представлены экспериментальные результаты, отраженные в цикле работ, посвященных разработке одночастотных поверхностно-излучающих квантово-каскадных лазеров (ККЛ) с селективным кольцевым резонатором. Перспективность подхода состоит в возможности монолитной интеграции одночастотного лазера и детектора на одном кристалле, для создания компактных газовых сенсоров, используемых в диодно-лазерной абсорбционной спектроскопии. За счет последовательной перестройки длины волны излучения одночастотных ККЛ и малой полуширины линии генерации возможно оценить положение узких линий поглощения газов (к примеру SO_2 и $^{12}\text{CH}_4/^{13}\text{CH}_4$ на длинах волн 7.4 мкм и 7.8 мкм соответственно).

В ходе исследований разработан оригинальный метод формирования дифракционной решетки (прямая ионная литография), позволяющий осуществлять селекцию мод шепчущей галереи. Для реализации поверхностной генерации в лазерах на основе межподзонных переходов (ТМ поляризация излучения) применена конструкция дифракционной решетки второго порядка. Для дифракционной решетки с фиксированной глубиной травления реализована одночастотная (коэффициент подавления боковых мод, SMSR – 25 дБ) генерация при температуре 83 К. Применение оригинальной конструкции с переменной глубиной травления штрихов дифракционной решетки позволило повысить рабочую температуру до 300 К. Максимальная величина SMSR составила 28 дБ и 23 дБ для конструкций ККЛ с активными областями на основе двухфононного опустошения нижнего лазерного уровня и на основе однофононного опустошения нижнего лазерного уровня с последующим выбросом носителей через минизону.

ОПТИМИЗАЦИЯ ВОЛНОВОДА НА ПОВЕРХНОСТНОМ ПЛАЗМОНЕ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ККЛ НА ОСНОВЕ КРТ

А.А. Дубинов¹, А.А. Афоненко², Д.В. Ушаков²

¹Институт физики микроструктур РАН, ул. Академическая 7, Нижний Новгород, Россия

²Белорусский государственный университет, пр. Независимости 4, Минск, Республика Беларусь

e-mail: sanya@ipmgras.ru

В настоящей работе было проведено моделирование волноводных характеристик квантово-каскадного лазера (ККЛ) на основе структуры кадмий-ртуть-теллур (КРТ) с волноводом на основе поверхностного плазмона. Проведенная оптимизация толщин

слоев волновода позволила добиться снижения порогового материального усиления в ККЛ до величины $\sim 200 \text{ см}^{-1}$. Использование такого волновода для ККЛ с активной средой, составленной из каскадов квантовых ям и барьеров $\text{Hg}_{0.8}\text{Cd}_{0.2}\text{Te}/\text{Hg}_{0.6}\text{Cd}_{0.4}\text{Te}$, позволит генерировать излучение в недоступной из-за сильного фононного поглощения в составляющих их полупроводниках для современных ККЛ области частот ($\sim 8.3 \text{ ТГц}$) вплоть до температуры 125 К.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ (№ 22-12-00310-П).

АМПЛИТУДНЫЕ ШУМЫ ОДНОМODOVЫХ ВЕРТИКАЛЬНО-ИЗЛУЧАЮЩИХ ЛАЗЕРОВ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 89X нм

Я.Н. Ковач¹, М.А. Бобров¹, А.А. Блохин¹, Н.А. Кузьменкова¹, А.Г. Кузьменков¹,
А.П. Васильев², Н.А. Малеев¹, С.А. Блохин¹

¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

²НТЦ Микроэлектроники и субмикронных гетероструктур, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: j-n-kovach@mail.ioffe.ru

В работе представлены результаты исследований амплитудных шумов (шумов относительной интенсивности) одномодовых вертикально-излучающих лазеров спектрального диапазона 89Xнм на основе гибридного микрорезонатора с внутриврезонаторными контактами и композитными брэгговскими решетками. Амплитудные шумы одномодовых поляризационно-стабильных лазеров демонстрируют шум $1/f^n$ -вида ($n \sim 1-1.4$) в низкочастотной области и белый шум $1/f^0$ -вида в высокочастотной области. С ростом тока граница перехода $1/f^n - 1/f^0$ сдвигается в сторону больших частот и снижается уровень белого шума. Зависимость шумов от оптической мощности/тока имеет W-образный вид из-за эффекта саморазогрева: чем меньше размер оксидной токовой апертуры, тем раньше наблюдается аномальный рост шумов. Для лазеров с большим размером апертуры необходимо учитывать состояние поляризации излучения и степень подавления боковых мод: увеличение вклада мод высокого порядка ведет к росту шумов. Повышение температуры ведет к смещению границы перехода $1/f^n - 1/f^0$ в сторону больших частот и аддитивному росту $1/f^0$ -шума как при сравнимых оптических мощностях, так и при фиксированном токе. Увеличение времени жизни фотонов в резонаторе снижает $1/f^0$ -шум, однако падение дифференциальной эффективности требует увеличения рабочих токов для достижения требуемого уровня мощности, что, в конечном счете, ведет к усилению саморазогрева и росту шумов. Показана возможность достижения уровня амплитудных шумов ниже -130 дБ/Гц на частотах выше 1 кГц при повышенной температуре. Результаты исследований важны для создания компактных квантовых сенсоров на основе паров атомов ^{133}Cs .

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ МИКРОДИСКОВЫХ ЛАЗЕРОВ С АКТИВНОЙ ОБЛАСТЬЮ НА ОСНОВЕ AlGaN/AIGaN КВАНТОВЫХ ЯМ

И.А. Мельниченко¹, Э.И. Моисеев¹, Д.А. Масютин¹, К.А. Иванов¹, А.Г. Войнилович²,
Е.В. Луценко², А.А. Пивоварова³, Н.Д. Ильинская³, И.П. Смирнова³, Л.К. Марков³,
Н.В. Крыжановская¹, А.Е. Жуков¹

¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
Санкт-Петербург, Россия

²Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

³Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: imelnichenko@hse.ru

Полупроводниковые источники излучения в глубоком ультрафиолетовом диапазоне (UV-C, 200–280 нм) востребованы в системах связи, фотонике, стерилизации и дезинфекции [1,2]. Перспективными материалами для создания таких источников являются нитриды III группы, позволяющие варьировать ширину запрещённой зоны. Однако получение высококачественных слоёв AlGaN осложнено особенностями эпитаксии на чужеродных подложках; для решения этой проблемы используются подложки AlN или буферные слои AlN на сапфире. Большинство УФ-С лазеров основано на резонаторах Фабри–Перо, однако необходимость дальнейшего уменьшения размеров таких приборов обуславливает использование микрорезонаторов аксиальной формы, в частности микродисков с модами шепчущей галереи.

В данной работе исследовались оптические характеристики и температурная стабильность микродисковых лазеров с активной областью, содержащей три Al_{0.5}Ga_{0.5}N/Al_{0.6}Ga_{0.4}N квантовые ямы, выращенные методом молекулярно-пучковой эпитаксии. Микродиски диаметром 2–4 мкм сформированы сухим травлением с никелевой маской и обработкой КОН. При импульсной оптической накачке ($\lambda=213$ нм, ~ 1 нс, 100 Гц) при комнатной температуре продемонстрирована лазерная генерация на ~ 255 нм. Минимальная удельная пороговая энергия составила ~ 9 пДж (диаметр микролазера 2 мкм). Лазерная генерация сохраняется до 195 °С; характеристическая температура составила $T_0 \approx 70$ К, $d\lambda/dT \approx 0.043$ нм/К, суммарный сдвиг ~ 7 нм (293–468 К). Полученные результаты свидетельствуют о высокой температурной стабильности и перспективности таких микролазеров.

Работа выполнена при поддержке программы НИУ ВШЭ «Международное академическое сотрудничество».

ГЕНЕРАЦИЯ ЭДС В ДИОДАХ ШОТТКИ Pd/InP В АТМОСФЕРЕ ВОДОРОДА

Ю.П. Яковлев, Е.А. Гребенщикова, В.А. Шутаев

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: vadimshutaev@mail.ru

Создан генератор ЭДС на основе диода Шоттки Pd/InP площадью 1 мм², работающий в атмосфере 100% водорода в условиях полной темноты. Величина ЭДС увеличивается по абсолютному значению от 0 до 170 мкВ с понижением температуры от 300 до 90 К. Генерация ЭДС может быть обусловлена образованием дополнительных электронов за счет образования гидроксида палладия при взаимодействии водорода с Pd-слоем и их разделением на потенциальном барьере около границы раздела Pd/InP. Показано, что

увеличение ЭДС в атмосфере водорода с ростом температуры связано с увеличением высоты потенциального барьера диода в интервале температур 90 – 300 К. Предложен механизм управления величиной генерации ЭДС посредством изменения температуры диода Шоттки Pd/InP.

ОЖЕ-РЕКОМБИНАЦИЯ В ПРЯМОЗОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ A^3B^5

З.Н. Соколова, В.В. Золотарев, А.С. Некрасов, Н.А. Пихтин, С.О. Слипченко
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: zina.sokolova@mail.ioffe.ru

В докладе исследованы процессы оже-рекомбинации в объемных и двумерных прямозонных полупроводниках A^3B^5 при использовании наших оригинальных теоретических и экспериментальных результатов.

Оже-рекомбинация – фундаментальный безызлучательный процесс, в котором участвуют три частицы из зоны проводимости и валентной зоны полупроводника. В результате кулоновского притяжения происходит рекомбинация электрона и дырки, а выделившаяся энергия передается третьей частице – электрону или дырке. В объемных полупроводниках эти процессы обычно описываются коэффициентом оже-рекомбинации, который в них является характеристикой материала.

В двумерных полупроводниках (квантовых ямах) коэффициенты оже рекомбинации зависят от параметров квантовой ямы – геометрии, ширины и энергетической глубины. Коэффициенты Оже в квантовых ямах являются характеристикой только конкретной квантовой ямы. Вычисление этих коэффициентов является сложной задачей.

Для определения влияния оже-рекомбинации в двумерных структурах экспериментально исследовался набор структур широкого диапазона длин волн (0.8 – 1.9 мкм). Показано, что оправданной характеристикой гетероструктур с тонкими квантовыми ямами является величина отношения скоростей излучательной и Оже рекомбинаций. Отметим, что в структурах с тонкими квантовыми ямами неправомерно использовать значения коэффициентов Оже и коэффициентов излучательной рекомбинации для объемных полупроводников.

Работа выполнена по Госзаданию ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

ЛАЗЕРНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ В УФ ДИАПАЗОНЕ И ФОТОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ШИРОКОЗОННЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ, АКТИВИРОВАННЫХ ИОНАМИ Ce^{3+}

А.С. Низамутдинов, С.Л. Кораблева, А.К. Наумов, А.А. Шавельев,
А.А., Макарова, Я. Хамдан, В.В. Семашко
Казанский федеральный университет, ул. Кремлевская 18, Казань, Россия
e-mail: anizamutdinov@mail.ru

Актуальным для технологических применений является переход к лазерам, обеспечивающим генерацию в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне спектра и имеющим короткую длительность импульса. Одним из перспективных методов получения УФ-генерации является использование в качестве активных сред фторидных кристаллов, легированных ионами Ce^{3+} . В настоящей работе представлены новые эффективные активные среды перестраиваемых лазеров УФ диапазона спектра, и показана их

перспективность в биомедицине. В частности, на основе математического моделирования показано, что фотодинамические процессы в Ce^{3+} -активированных фторидных кристаллах позволяют управлять внутрирезонаторными потерями и строить лазерные излучатели с заданными временными характеристиками импульса. Выявлены закономерности влияния катионного состава на спектрально-кинетические, фотохимические и лазерные характеристики смешанных кристаллов двойных фторидов со структурой шеелита, активированных ионами Ce^{3+} . Показано, что при изменении соотношения концентрации ионов Lu^{3+} и Y^{3+} в составе смешанных кристаллов $\text{LiF-LuF}_3\text{-YF}_3\text{:Ce}^{3+}$ удается добиться увеличения коэффициента распределения ионов Ce^{3+} , увеличения полосы усиления оптического УФ излучения, изменения сечения поглощения из возбужденного состояния ионов Ce^{3+} , сечения поглощения и времени жизни центров окраски, индуцированных излучением накачки. Также была получена лазерная генерация в форме одиночных коротких импульсов длительностью 400 ± 50 пс на длине волны 311 нм, как результат модуляции внутрирезонаторных потерь. Варьированием температуры активной среды удалось управлять количеством коротких импульсов в последовательности импульсов, по-видимому, за счет управления населенностью центров окраски. Предложенные излучатели были апробированы в приложениях биомедицины.

ВОЛОКОННЫЕ ЛИНЗЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВВОДА ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ В ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЯХ

А.С. Паньков, Ф.Е. Хаснуллин, Р.С. Пономарев

*Пермский государственный национальный исследовательский университет Пермь,
Россия*

e-mail: lab.photon.psu@gmail.com

В настоящей работе рассматривается проблема потерь оптического излучения при стыковке лазерных диодов с волоконными световодами. Несоответствие модовых полей лазерного источника и оптического волокна приводят к значительным потерям на этапе ввода оптического пучка в волокно. Для минимизации оптических потерь при стыковке данных оптических элементов предлагается использование линзованных оптических волокон. Они представляют собой волокна, на торце которых сформированы структуры, способные фокусировать и уменьшать размер модового пятна. В работе рассматриваются методы изготовления волоконных микролинз. Описываемые методы позволяют получать микролинзы с различными фиксированными параметрами. Основными параметрами, характеризующие волоконные микролинзы, являются: фокусное расстояние, размер модового пятна, значение вносимых оптических потерь линзованной структурой и для линз с сохранением поляризации – коэффициент поляризационного затухания. Предложенные методы изготовления позволяют формировать линзованные структуры на волоконных световодах SMF-28, MMF и волокнах типа PANDA. Авторами работы предложены автоматизированные методы измерения параметров микролинз. В результате работы были получены образцы линзованных волокон с фокусным расстоянием в диапазоне от 5 до 30 мкм, размером пучка 2 мкм и вносимыми потерями порядка 1,5 дБ на одну линзу.

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ПОВЕРХНОСТНО-ИЗЛУЧАЮЩИХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ В СЛУЧАЕ ДВУХ БЛИЗКИХ ТОЧЕК ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ

Л.И.Буров, Д.О.Гавриков
Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь
E-mail: burov@bsu.by

Численное моделирование на основе разработанного метода поляризационных компонент [1,2] показало, что в одномодовом режиме работы для поверхностно-излучающих полупроводниковых лазеров (VCSELs) может существовать не более двух точек поляризационного переключения (ПП), взаимное расположение которых можно менять при изменении температуры [3]. При близком расположении точек ПП возможна реализация двух режимов работы:

1. При частотной модуляции инжекционного тока с частотой выше критических значений (зависящих от сдвига точек ПП) происходит нивелирование (сглаживание) поляризационного переключения;

2. При слабой частотной модуляции тока, когда среднее значение несколько смещается относительно середины интервала между точками ПП, на выходе получаем последовательность импульсов переменной поляризации, причем перепад значений степени поляризации определяется как смещением среднего значения тока, так и амплитудой модулируемого сигнала.

1. Буров Л.И., Клищенко А.П., Листопад А.П. /Обобщенный метод описания формирования поляризованного излучения в лазерах на растворах красителей // Журнал прикладной спектроскопии. – 1997, –Vol.64, №5, – P.595-602

2. Буров Л.И., Горбачевич А.С., Джадан М., Соколов Е.С. / Переключение поляризации излучения в одномодовом инжекционном полупроводниковом лазере. // Журнал прикладной спектроскопии. – 2009, – Vol.76, №5, – P.717-724

3. Burov L.I., Lobatsevich P.M. / Modelling thermal effects on polarisation switching in surface - emitting semiconductor lasers. // Journal of the Belarusian State University. Physics. – 2024, №2, – P. 20–29.

СФОКУСИРОВАННЫЙ ИОННЫЙ ПУЧОК ДЛЯ ПОСТ-ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ КОРРЕКЦИИ БЛИЗНЕГО И ДАЛЬНОГО ПОЛЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ

И.Н. Григоренко¹, Г.В. Вознюк¹, А.С. Лиля¹, М.И. Митрофанов^{1,2},
А.С. Паюсов¹, В.П. Евтихийев¹

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

²НТЦ микроэлектроники РАН, ул. Политехническая 26, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: ilyagrigorenko@mail.ru

В работе продемонстрирована возможность коррекции поперечных мод в полупроводниковых лазерах с волноводной структурой, формируемой усилением активной среды. Исследовались лазеры с шириной волновода 50 мкм. Глубина мезозатрава не превышала 350 нм. Гетероструктура лазера выполнена на основе GaAs/InGaAs и состояла из волновода толщиной 320 нм, активной области толщиной 6 нм и эмиттерных слоёв AlGaAs. При помощи сфокусированного ионного пучка (ионы Ga⁺, энергия 30 кэВ) проводилось локальное облучение переднего зеркала лазера. Мы облучили прямоугольную область размером 300 нм × 2,5 мкм, соответствующую зоне

максимума интенсивности мод высшего порядка, которые наблюдались в ближнем поле при увеличении тока накачки. В результате удалось подавить генерацию нежелательных поперечных мод без существенного ухудшения электрических характеристик прибора. Пороговая плотность тока после облучения увеличилась незначительно – с 178,9 до 185,7 А/см² (рост на 3,6%), а дифференциальная эффективность лазера осталась неизменной. При этом зафиксированы контролируемые изменения в ближнем и дальнем полях излучения. Таким образом, предложенный метод позволяет корректировать модовый состав готовых лазерных диодов, открывая новое применение сфокусированной ионной литографии для тонкой пост-производственной настройки оптических характеристик полупроводниковых лазеров.

СВЕТОДИОДЫ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА И ПАРОВ ВОДЫ В ДИАПАЗОНЕ 2.6–2.8 мкм

Е.В. Куницына, Э.В. Иванов, Я.А. Пархоменко, А.А. Пивоварова,
И.А. Андреев, Н.Д. Ильинская, Ю.П. Яковлев
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: kunitsyna@iropt9.ioffe.ru

Разработаны светодиоды на основе твердых растворов GaInXAsSb, выращенных методом ЖФЭ вблизи границы области несмешиваемости при температуре $T = 560$ °С. Наличие свинца в жидкой фазе в качестве нейтрального растворителя позволило изменить соотношение компонентов в растворе-расплаве и обеспечить высокое содержание индия ($x = 0.26$) в четверном твердом растворе. Созданные светодиоды позволяют детектировать как углекислый газ в полосах поглощения вблизи длин волн $\lambda \approx 2.70$ мкм и $\lambda \approx 2.77$ мкм, так и пары воды в окрестности $\lambda \approx 2.60$ мкм, $\lambda \approx 2.68$ мкм и 2.78 мкм. Два типа полученных гетероструктур n -GaSb/ n -GaIn x AsSb/ p -GaSb различались концентрацией носителей в активной области: $n \sim 3 \cdot 10^{17}$ см⁻³ (А) и $n \sim 5 \cdot 10^{16}$ см⁻³ (В). При $T = 300$ К максимум спектров электролюминесценции обеих структур приходится на $\lambda_{\max} = 2.52$ мкм ($h\nu_{\max} = 0.49$ eV), а ширина на половине высоты составляла $\Delta \lambda \approx 420$ нм или $\Delta(h\nu) \approx 80$ meV.

В спектрах наблюдались характерные провалы, обусловленные поглощением ИК излучения молекулами CO₂ и H₂O в атмосфере. При использовании гетероструктуры В светодиоды демонстрируют более высокую оптическую мощность (1.8–4.7 мВт при токе $I = 150$ мА), чем в случае структуры А (1.4–2.6 мВт при $I = 150$ мА).

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ В КУРСО- ГЛИССАДНОЙ СИСТЕМЕ ПОСАДКИ САМОЛЕТОВ

А.Н. Миряха, М.И. Свердлов
ООО «Кантегир», Саратов, Россия

В настоящем сообщении приводятся результаты разработки и испытаний визуальной лазерной курсо-глиссадной системы посадки самолетов на основе полупроводниковых лазеров. В системе работают лазерные диоды (ЛД), с длиной волны 635 нм, одной поперечной модой и мощностью излучения ~ 60 мВт. ЛД вместе с платой управления и оптической коллимирующей системой размещается в отдельном

корпусе (лазерный модуль – ЛМ)). Расходимость излучения ЛМ составляет 0,5 мрад. ЛМ устанавливаются в корпус лазерного излучателя (ЛИ) в специальное устройство (по 9 штук в каждое), которое регулирует направление лазерных лучей и одновременно является теплоотводом. В корпусе ЛИ также устанавливается нагревательный элемент и система контроля температуры. Лучи ЛМ сводятся в один луч, расходимость которого составляет – 0,9 мрад., а сечение на выходе из ЛИ – 6 x 6 см. ЛИ устанавливается на регулировочную платформу в корпусе, подобном корпусу маяка светосигнальной системы РАРІ, применяемой в авиации.

Система посадки включала в себя три лазерных маяка, установленных определенным образом в начале взлетно-посадочной полосы. Направление лазерных лучей маяков относительно курса и глиссадной плоскости рассчитывалось по правилам проективной геометрии. Экипаж самолета при посадке наблюдает «посадочный» символ, созданный проекциями трех лучей. При изменении положения самолета экипаж наблюдает изменение формы этого символа. Правильной траектории снижения соответствует строго определенная форма «посадочного» символа, которую экипаж, управляя самолетом, должен удерживать в своем поле зрения. Испытания системы проводились в РФ в г. Саратове и г. Самаре, а также в Антарктиде на аэродроме станции «Новолазаревская».

СТИМУЛИРОВАННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ В ВОЛНОВОДНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ HgTe/CdHgTe ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ДЛИНАХ ВОЛН ОПТИЧЕСКОЙ НАКАЧКИ

К.А. Мажукина¹, В.Я. Алешкин^{1,2}, А.А. Дубинов^{1,2}, В.В. Уточкин¹,
Е.Ю. Горячкина^{1,2}, Н.Н. Михайлов³, С.А. Дворецкий³, С.В. Морозов¹,
В.В. Румянцев^{1,2}

¹*Институт физики микроструктур РАН, ул. Академическая, д. 7, д. Афонино,
Кстовский р-н, Нижегородская обл., Россия*

²*ННГУ им. Н.И. Лобачевского, пр. Гагарина, 23, Нижний Новгород, Россия*

³*Институт физики полупроводников им. А. В. Ржанова,
пр. Академика Лаврентьева, 13, Новосибирск, Россия
e-mail: mazhukina@ipmras.ru*

В настоящей работе выполнены исследования характеристик (температуры гашения и пороговой интенсивности накачки) стимулированного излучения (СИ) в области 19 – 25 мкм из гетероструктур с КЯ HgTe/CdHgTe при оптическом возбуждении с различной длиной волны (10.6 мкм и 2.0 мкм).

В последнее годы наблюдается возрождение интереса к квантовым ямам (КЯ) HgCdTe/CdHgTe как к активной среде для компактных межзонных полупроводниковых лазеров среднего ИК диапазона, способных работать в спектральной области, недоступной для квантовых каскадных лазеров (ККЛ): длина волны от 28 до 50 мкм. Сложности в технологии легирования р-типа для HgCdTe требуют реализации оптической накачки структур, предпочтительно миниатюрным источником излучения. В работе показано, что накачка более коротковолновым излучением приводит к уменьшению предельной температуры генерации из-за дополнительного разогрева носителей заряда, однако позволяет более чем на порядок снизить порог генерации при низких температурах из-за более эффективного поглощения излучения накачки и «умножения» числа носителей из-за процессов ударной ионизации. Одной из особенностей исследуемых структур является рост на GaAs-подложке в направлении (013), что делает невозможным формирование резонатора методом скола граней и требует использования методов ионного/химического

травления. В работе также исследовано влияние различных процессов травления на характеристики СИ.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФМ РАН (124050300055-9/FFUF-2024-0045).

ЛАЗЕРНО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ МИКРО- НАНОКЛАСТЕРНЫЕ ПОВЕРХНОСТНЫЕ СТРУКТУРЫ ЗАДАННОЙ КОНФИГУРАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ОБРАЗЦОВ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

А.В. Жданов¹, Д.Н. Бухаров¹, А.О. Кучерик¹, С.М. Аракелян²

¹*Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых,
Владимир, Россия*

²*Независимый исследователь, Владимир, Россия
e-mail: arak@vlsu.ru*

Проблема создания многослойных структур с регулируемой конфигурацией на поверхности твердого тела является одним из принципиальных разделов современной топологической фотоники. Именно с помощью подобной лазерной инженерии удастся разрабатывать элементы и системы с управляемыми в заданном направлении функциональными свойствами, в частности, прочностными и электрофизическими. В настоящей работе в результате развития комплексных нелинейно-неравновесных процессов рассматривается данное возбуждение неупорядоченных структур специфического типа с локальными кластерными островковыми микро- и наноконфигурациями фрактального типа при лазерном воздействии с определенными пространственно-временными параметрами.

Разработан оригинальный лазерно-гибридный технологический комплекс (с соответствующей конструкторской документацией) с диодными и волоконно-оптическими источниками лазерного излучения с регулируемыми их мощностными параметрами для послойной поверхностной лазерной микро- и наномодификации при обработке металлических изделий разной формы как с целью их термоупрочнения, так и также для управления электрофизическими характеристиками, с адаптивной автоматизированной системой управления. Последнее направление включает в себя и обработку цилиндрической поверхности (типа металлического провода), в том числе и с использованием лазерного излучения с 10-ю лазерными пучками, распределенными по боковой поверхности облучаемого провода с реализацией выбираемых режимов лазерной обработки его поверхности.

Полученные результаты экспериментов и проведенное численное имитационное моделирование позволяют говорить в общем случае о физике и технологиях для разработки топологических направлений в создании новых материалов и изделий с требуемыми функциональными и конструкционными характеристиками. Кроме того, выполненные демонстрационные исследования фиксируют тенденции и тренды для достижения фазовых физических состояний с высокой поверхностной электропроводимостью с разными механизмами ее достижения в таких неупорядоченных поверхностных структурах. При использовании определенных материалов с подбираемым значением их удельного сопротивления рассмотрены перспективы реализации в них подобной топологической высокотемпературной сверхпроводимости.

ФАКТОРЫ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ОТРАЖЕНИЕ В РЕЗОНАНСНЫХ БРЭГГОВСКИХ СТРУКТУРАХ InGaAlN

А.В. Сахаров^{1,2}, Д.С. Артеев^{1,2}, А.А. Иванов¹, А.Е. Николаев^{1,2},

В.В. Чалдышев¹, А.Ф. Цацульников²

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

²НТЦ микроэлектроники РАН, Санкт-Петербург, Россия

Резонансная брэгговская структура (РБС) представляет собой оптическую решетку из квантовых ям (КЯ) разделенных барьерами с толщиной, соответствующей длине волны экситонов в КЯ. В идеальной РБС, составленной из N КЯ, оптически активной оказывается единственная мода, сила осциллятора которой в N раз больше по сравнению с одиночной КЯ. Идеальная РБС предполагает строгую периодичность, идентичность КЯ и минимальное неоднородное уширение. В реальной структуре присутствует беспорядок, поскольку толщину и состав слоев возможно контролировать с определенной точностью. Кроме того, используемые твердые растворы InGaN и GaAlN создают статистические флуктуации состава, что приводит к дополнительному неоднородному уширению состояний в КЯ, а поглощение в барьерах дополнительно снижает отражение от РБС.

В работе рассмотрено влияние как физических, так и технологических факторов на оптические свойства РБС на основе InGaAlN. На основе экспериментально верифицированных расчетов, показано ограничение на создание РБС с большим числом периодов и предложены варианты оптимизации структур для практических применений.

ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАЗМЕННО-АКТИВИРОВАННОЙ МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВОЙ ЭПИТАКСИИ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ТЕМПЛЕЙТОВ AlN/c-Al₂O₃ ДЛЯ УФ-ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

Д.В. Нечаев, А.Н. Семенов, П.А. Алексеев, А.В. Мясоедов, В.Н. Жмерик

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

e-mail: Nechayev@mail.ioffe.ru

В работе анализируется рост с помощью плазменно-активированной молекулярно-пучковой эпитаксии (ПА МПЭ) высококачественных темплейтов AlN на коммерчески доступных подложках с-сапфира для приборов УФ-оптоэлектроники. Основное внимание уделяется подавлению зарождения прорастающих дислокаций (ПД) в нуклеационных слоях AlN за счет варьирования температуры роста от 780 до 900 °C и стехиометрии на ростовой поверхности: от азот- до металл (Al)-обогащенных условий роста. Измерения полуширин симметричного (0002) и асимметричного (10-15) пиков рентгенодифракционного отражения показали, что увеличение температуры гетероэпитаксии при сохранении неизменных стехиометрических условий роста хотя и приводит к существенному снижению плотностей винтовых ПД до $1.7 \times 10^8 \text{ см}^{-2}$, но при этом резко возрастает плотность краевых ПД до $5 \times 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Лишь переход в Al-обогащенные условия роста темплейтов AlN/c-Al₂O₃ с толщиной 2 мкм обеспечивает в них одновременное снижение плотностей винтовых и краевых ПД до значений $7 \times 10^7 \text{ см}^{-2}$ и $2.2 \times 10^9 \text{ см}^{-2}$ соответственно. Это свидетельствует о необходимости поддержания двумерного роста нуклеационных слоев AlN с самого начала их роста.

С помощью разработанной системы многолучевой оптической рефлектометрии во время описанного роста темплейтов AlN/c-Al₂O₃ была обнаружена генерация растягивающих напряжений, величина которых могла контролироваться за счет введения ультратонких вставок 3D-слоев GaN вплоть до значений $> 1 \text{ GPa}$. Поскольку

постростовое охлаждение темплейтов приводило вследствие разницы КТР к генерации сжимающих напряжений, то это позволило получить темплейты с планарной поверхностью при комнатной температуре.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 25-22-00898.

ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ InGaAs/GaAs СО СМЕШАННОЙ КВАНТОВОЙ РАЗМЕРНОСТЬЮ И ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ НА ИХ ОСНОВЕ

А.С. Паюсов¹, Г.О. Корнышов¹, А.А. Бекман¹, А.А. Харченко², А.М. Надточий²,
С.А. Минтаиров¹, Н.А. Калюжный¹, М.М. Кулагина¹, Ю.М. Задиранов¹, Ф.И. Зубов²,
Ю.М. Шерняков¹, Н.Ю. Гордеев¹, М.В. Максимов²

¹*ТИ им. А.Ф. Иоффе, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая 26*
²*Академический университет им. Ж.И. Алферова, 194021 Санкт-Петербург,
ул. Хлопина 8, корп.3, литер. А*
E-mail: plusov@mail.ioffe.ru

Полупроводниковые оптоэлектронные приборы для ближнего инфракрасного диапазона крайне востребованы при создании систем машинного зрения, лидаров, волоконных сенсоров, медицинских приборов и т.д. Активная область оптических излучателей и усилителей данного диапазона, как правило, содержит InGaAs/GaAs квантовые ямы (КЯ) или квантовые точки InAs/InGaAs/GaAs (КТ), сформированные в режиме Странского-Крастанова. Каждый тип активной области обладает набором характерных особенностей. Например, оптическое усиление одного слоя КЯ на порядок превышает соответствующее усиление КТ. В свою очередь, структурные особенности КТ позволяют создавать активную область из 10-20 слоев без формирования дислокаций, в то время как для выращивания трёх и более КЯ InGaAs/GaAs необходимо использовать технологические методы компенсации упругих напряжений. Несомненно, квантово-размерные гетероструктуры InGaAs/GaAs, объединяющие преимущества КЯ и КТ, могут стать основой более совершенных оптоэлектронных приборов.

Мы создали и исследовали гетероструктуры нового типа – квантовые яма-точки InGaAs/GaAs, которые представляют собой массив обогащенных по In островков внутри In-обеднённой квантовой ямы. Поверхностная плотность островков на порядок превышает плотность традиционных КТ. Синтез квантовых яма-точек происходит без перехода к трехмерному росту (режим Франка – Ван дер Мерве), причем возможен рост 15 и более слоев высокого структурного качества. Материально усиление одного слоя яма-точек в несколько раз превышает усиление КЯ, а ширина спектра усиления сопоставима с КТ. В работе обсуждаются подходы, позволяющие реализовать преимущества квантовых яма-точек для совершенствования характеристик оптоэлектронных приборов диапазона 0,9 – 1,1 мкм.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-72-00038, <https://rscf.ru/project/23-72-00038/>.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАНТОВО-КАСКАДНЫХ GaAs/AlGaAs ЛАЗЕРОВ С МНОГОФОТОННЫМИ СХЕМАМИ ПЕРЕХОДОВ В ОБЛАСТИ ~ 1 ТГц

Д.В. Ушаков^{1*}, А.А. Афоненко¹, Р.А. Хабибуллин², А.А. Дубинов³

¹Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, Минск, 220030, Республика Беларусь

²Московский физико-технический институт (государственный университет), 141701 г. Долгопрудный, Россия

³Институт физики микроструктур РАН, ул. Академическая, д. 7, Нижний Новгород, 607680, Россия

E-mail: *ushakovdv@bsu.by

В настоящее время компактные полупроводниковые источники излучения в диапазоне частот около 1 ТГц востребованы для различных применений: спектроскопии, медицинских исследованиях и промышленных приложениях [1]. Одним из важных требований к таким источникам является генерируемая мощность излучения. Проблема получения большой мощности излучения в ККЛ лазерах связана с эффектом насыщения усиления, который состоит в уменьшении коэффициента усиления на фиксированной частоте излучения с ростом амплитуды напряженности электромагнитного поля в резонаторе. В подавляющем большинстве терагерцевых ККЛ в активном каскаде работает одна пара лазерных уровней, в рамках которой реализуется инверсная населённость. При этом электронный транспорт в данных дизайнах сопровождается резонансным туннелированием с уровня инжектора на верхний лазерный уровень, испусканием терагерцевого фотона и резонансным опустошением нижнего лазерного уровня за счёт испускания продольного оптического фонона при переходе на уровень инжектора следующего активного каскада. Недавно [2,3] было предложено включить дополнительную «ступень» в энергетическую лестницу электронных уровней активного каскада, т. е. использовать два последовательных оптических перехода с испусканием терагерцевого фотона. В предложенном двухфотонном дизайне инверсная населённость перераспределяется между двумя оптическими переходами ($2 \hbar\omega$). Выигрыш данного подхода состоит в более медленном (приблизительно в 2 раза) падении коэффициента нелинейного усиления α с ростом плотности фотонов по сравнению с традиционной однофотонной схемой. Это должно привести либо (при совпадении энергии переходов) к увеличению мощности выходного излучения либо (при не совпадении энергии переходов) – к широкому спектру генерации. В данной работе впервые предлагаются двух- и трехфотонные схемы лазерных переходов в GaAs/AlGaAs квантово-каскадных лазерах для частот генерации в области ~ 1 ТГц.

Разработаны дизайны для генерации в области 1.1-1.4 ТГц при среднем легировании на каскад $2-5 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. На рис. 1 приведены результаты расчета уровней энергии и волновых функций для структуры $\text{Al}_{0.12}\text{Ga}_{0.88}\text{As}/\text{GaAs}$ с 4 КЯ. Рабочее напряжение на одном каскаде близко к сумме двух-трех энергий излучения и энергии продольного оптического фонона $2-3 \hbar\omega + \hbar\omega_{\text{LO}}$. Как показывают расчеты, использование трехфотонной схемы переходов не дает увеличения мощности излучения, однако позволяет отстроиться от “паразитного” пика на вольт-амперной характеристике в области 37 мэВ за счет увеличения суммарной энергии $3 \hbar\omega$ лазерных переходов.

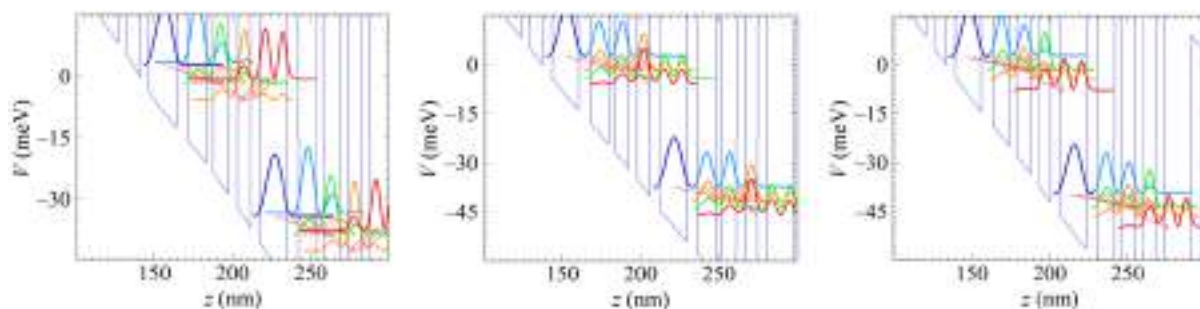


Рисунок 1 – (а) Диаграмма зоны проводимости и квадраты модулей волновых функций электронов ККЛ с 1 (а) 2-х (б) и 3-х (в) фотонными схемами переходов при напряжении в одном модуле 37 (а), 40 (б) и 42 мВ (б) и температуре $T = 60$ К.

1. A. Leitenstorfer, A.S. Moskalenko, T. Kampfrath et al. J. Phys. D: Appl. Phys. 2023. V.56. P. 223001.
2. Д.В. Ушаков, А.А. Афоненко, Р.А. Хабибуллин и др. // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-мат. наук. 2022. Т. 58. С. 237–244.
3. Д.В. Ушаков, А.А. Афоненко, Д.С. Пономарев и др. // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. 2022. Т. 65. С. 505–515.

ГЕНЕРАЦИЯ СТИМУЛИРОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ HgCdTe/CdHgTe В ОКНЕ ПРОЗРАЧНОСТИ АТМОСФЕРЫ 3 – 5 мкм

А.А. Янцер¹, М.А. Фадеев¹, К.Е. Кудрявцев¹, В.В. Румянцев¹, В.В. Уточкин¹,
А.А. Разова¹, К.А. Мажукина¹, А.А. Дубинов¹, В.Я. Алешкин¹,
Н.Н. Михайлов², С.В. Морозов¹

¹Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия

²Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск, Россия
e-mail: yantser@ipmras.ru

В данной работе приводятся результаты исследования спектров стимулированного излучения при оптической накачке в волноводных структурах с несколькими квантовыми ямами (КЯ) Hg(Cd)Te/CdHgTe (КРТ). Исследовалась температурная зависимость эффективного коэффициента оже-рекомбинации от температуры в КЯ КРТ [1], излучающих на длинах волн 3.5–4.5 мкм. Было обнаружено, что коэффициент оже-рекомбинации достигает максимума в момент, соответствующий резонансу основного межзонного перехода и перехода второй дырки с основной подзоны размерного квантования валентной зоны (E_{v1}) в континуум валентной зоны (E_{vbar}). Предложен механизм подавления беспороговых оже-процессов в КЯ КРТ. В структурах с длиной волны 4–5 мкм необходимо увеличивать содержание Cd в барьерных слоях, что увеличивает разрыв валентной зоны. Из-за этого энергии межзонного перехода становится недостаточно для выброса дырки в континуум при температурах ниже 300 К. С другой стороны, из-за технологических ограничений для структур диапазона 3–4 мкм невозможно вырастить достаточно высокие барьеры, чтобы полностью подавить беспороговые оже процессы, поэтому необходимо уменьшать содержание кадмия в барьерных слоях, чтобы резонанс происходил в низких температурах, и не оказывал влияния при комнатной температуре. Такая оптимизация позволила

впервые при оптической накачке получить стимулированное излучение на длинах волн 3.5–4.8 мкм при комнатной температуре.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 22-12-00310).

[1] К.Е. Kudryavtsev et al., Applied Physics Letters., 123, 182102 (2023).

МИКРОДИСКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ HgCdTe

М.А. Фадеев¹, А.А. Разова¹, В.В. Румянцев¹, В.В. Уточкин¹, Д.В. Шенгуров¹,
Е.Е. Морозова¹, Н.С. Гусев¹, К.А. Мажукина¹, А.А. Янцер¹,
Н.Н. Михайлов², С.А. Дворецкий², С.В. Морозов¹

¹Институт физики микроструктур, Академическая 7, Афонино, Россия

²Институт физики полупроводников им А.В. Ржанова, пр. ак. Лаврентьева, 13,
Новосибирск, Россия

e-mail: fadeev@ipmras.ru

Данная работа посвящена исследованию лазерной генерации в микродисковых резонаторах на основе гетероструктур с квантовыми ямами на основе HgCdTe. Такие гетероструктуры могут использоваться для создания компактных перестраиваемых лазеров среднего ИК диапазона в диапазоне от 3 до 31 мкм. Однако для получения лазерного излучения (ЛИ) необходимо было сформировать резонатор. Из-за вицинальной ориентации подложки (013) метод скола граней не позволяет получать качественные зеркала на торцах полосковых резонаторов. Поэтому в качестве основного метода изготовления резонаторов была использована лазерная литография в сочетании с ионным травлением. В данной работе приводится обзор оптических свойств микродисковых лазеров на основе HgCdTe/CdHgTe, изготовленных с использованием различных масок и режимов ионного травления. Показано, максимальная температура ЛИ уменьшается по сравнению со стимулированным излучением из непоцессированных структур. В качестве основных механизмов уменьшения выступают оптические потери на вывод излучения, которые уменьшаются при увеличении диаметра микродиска, и увеличение вероятности безызлучательной рекомбинации, происходящей через примесно-дефектные центры, число которых можно уменьшить за счет уменьшения глубины травления и времени воздействия ионов при ионном травлении [3].

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФМ РАН (124050300055-9/FFUF-2024-0045).

[1] S.V. Morozov et al.// ACS Photonics. 2021. V. 8, no 12. P. 3526-3535.

[2] A. A. Razova, V et al. // Appl. Phys. Lett. 2025. V. 126, no. 12. P. 121102

ФОРМИРОВАНИЕ СФОКУСИРОВАННЫМ ИОННЫМ ПУЧКОМ ГАЛЛИЯ ДИФРАКЦИОННЫХ РЕШЁТОК В КОЛЬЦЕВЫХ КВАНТОВО-КАСКАДНЫХ ЛАЗЕРАХ

Г.В. Вознюк¹, М.И. Митрофанов^{1,2}, А.В. Бабичев³, Д.А. Михайлов¹,
Н.Ю. Харин⁴, В.П. Евтихийев¹

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе, ул. Политехническая 26, Санкт-Петербург, Россия

²НТЦ микроэлектроники РАН, ул. Политехническая 26, Санкт-Петербург, Россия

³Университет ИТМО, пр. Кронверкский, 49, лит. А, Санкт-Петербург, Россия

⁴СПбПУ, ул. Политехническая, 29 литера Б, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: glebufa0@gmail.com, mitrofanov@mail.ioffe.ru

В работе представлены технологические особенности формирования сфокусированным ионным пучком Ga⁺ дифракционных решёток в кольцевых квантово-каскадных лазерах. Кольцевые квантово-каскадные лазеры представляли из себя готовый лазерный чип с контактами, смонтированный на теплоотвод. Прямой литографией сфокусированным ионным пучком галлия в лазерной гетероструктуре через контактный слой формировались дифракционные решётки для модовой селекции и вывода излучения с поверхности лазера. Рассмотрены конструкции дифракционных решёток как с однородной глубиной штрихов, так и с переменной. Подробно обсуждаются технологические факторы и ограничения, влияющие на качество литографического рисунка.

ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ КВАНТОВАЯ МАГНИТОМЕТРИЯ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ

А.О. Макаров¹, К.С. Козлова¹, Д.В. Бражников¹,

В.А. Васильев¹, В.И. Вишняков¹, А.М. Михайлов¹, А.Н. Гончаров¹,

М.А. Бобров², Я.Н. Ковач², А.А. Блохин², Н.А. Малеев², С.А. Блохин²

¹Институт Лазерной Физики СО РАН, Новосибирск, Россия

²Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: werklore@mail.ru

Атомные магнитометры (АМ), основанные на лазерной спектроскопии атомов щелочных металлов, представляют большой интерес для решения многих прикладных задач. Для медицинской диагностики критически важна не только чувствительность измерений, но и динамический диапазон, малое тепловыделение и миниатюризация сенсорной головки. Современные диагностические системы на основе АМ функционируют в режиме подавленной спин-обменной релаксации. Обеспечивая высокую чувствительность (~ 10 фТл/ $\sqrt{\text{Гц}}$), данный режим требует повышенной температуры атомной ячейки (≈ 150 °С) и высокой степени экранировки сенсора от внешнего магнитного поля (≤ 5 нТл), что ограничивает область применений.

В нашей работе предложен метод атомной магнитометрии с использованием миниатюрной (~ 0.1 см³) ячейки с парами Cs при температуре ≤ 90 °С, который является развитием метода Белла-Блума и использует частотно-модулированное эллиптически-поляризованное излучение диодного лазера с вертикальным резонатором. Оцененная чувствительность АМ составляет около 100 фТл/ $\sqrt{\text{Гц}}$, что достаточно для магнитокардиографии и магнитомиографии. Предложенный метод не требует высокой степени магнитной экранировки сенсора от магнитного поля Земли.

Исследования поддержаны Российским научным фондом (грант № 26-12-00132). Работа группы из ФТИ поддержана Минобрнауки РФ (госзадание FFUG-2025-0006).

АМФОТЕРИЦИН В КАК ФОТОСЕНСИБИЛИЗАТОР ДЛЯ АНТИМИКРОБНОЙ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ

Р.К. Нагорный, А.Л. Шмицько, А.Н. Собчук, Т.С. Ананич, А.В. Микулич,
Н.Д. Прокопенко, А.И. Третьякова, В.Ю. Плавский
Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости 68, Минск, Республика Беларусь
e-mail: r.nagorny@dragon.bas-net.by

В работе проведена оценка потенциала полиенового антибиотика амфотерицина В в качестве фотосенсибилизатора для антимикробной фотодинамической терапии. Методами абсорбционной, флуоресцентной и хемилюминесцентной спектроскопии установлено, что в мономерной форме амфотерицин В интенсивно поглощает излучение с длиной волны 405 нм и генерирует активные формы кислорода, включая синглетный кислород с квантовым выходом 4,0%. Экспериментальная оценка фотосенсибилизирующей активности проведена на грамотрицательной бактерии *Escherichia coli* М-17 и дрожжеподобном грибе *Candida albicans* 10231. В отношении *E. coli* М-17 продемонстрирован выраженный синергетический эффект: применение амфотерицина В в концентрации 10,0 мг/л совместно с лазерным излучением (403 нм, 65,0 мВт/см²) обеспечило снижение титра жизнеспособных клеток на 98,2% за 10 минут экспозиции. Штамм *C. albicans* 10231, проявивший признаки сниженной чувствительности к фунгистатическому действию антибиотика, был полностью инактивирован при фотодинамическом подходе (15,0 мг/л, 407 нм, 50,0 мВт/см²) за 60 минут. Полученные результаты демонстрируют, что амфотерицин В является эффективным фотосенсибилизатором, позволяющим усиливать антимикробное действие, преодолевать резистентность патогенных грибов и расширять спектр активности на патогенные бактерии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Ф25В-010).

СПЕКТРАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ АНТИМИКРОБНОГО ДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ВИДИМОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

В.Ю. Плавский, А.И. Третьякова, Р.К. Нагорный, А.В. Микулич, А.Л. Шмицько,
А.Н. Собчук, Л.Г. Плавская, Т.С. Ананич, О.Н. Дудинова, Н.Д. Прокопенко,
С.В. Якимчук, И.А. Леусенко
Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости 68, Минск, Республика Беларусь
e-mail: v.plavskii@ifanbel.nas-net.by

Используя твердотельный импульсный лазер с плавной перестройкой длины волны излучения и хемилюминесцентный метод контроля уровня активных форм кислорода (АФК), исследована зависимость светосуммы хемилюминесценции ($S_{\text{хл.}}$) от длины волны излучения (λ) при постоянной плотности мощности ($I=43$ мВт/см²). Показано, что в диапазоне 360–480 нм зависимость $S_{\text{хл.}}=f(\lambda)$ для суспензии бактериальных клеток *E.coli* описывается ниспадающей кривой без выраженных точек экстремумов.

Сделан вывод, что такая зависимость обусловлена вкладом в образование АФК большого числа эндогенных фотосенсибилизаторов с перекрывающимися спектрами поглощения: коферменты NADH и NADPH, флавины (флавиномононуклеотид (FMN) и флавинадениндинуклеотид (FAD)); свободные основания порфиринов – безметалльные порфирины; копропорфирин, уропорфирин, протопорфирин; цинковые комплексы указанных порфиринов. Правомерность указанных выводов подтверждена, исследуя влияние лазерного излучения на способность микроорганизмов образовывать колонии (колониеобразующие единицы).

Авторы признательны Белорусскому республиканскому фонду фундаментальных исследований за поддержку работы в рамках проекта № Ф25УЗБ-132.

APPLICATIONS OF NANOASSEMBLIES BASED ON SEMICONDUCTOR QUANTUM DOTS AND PORPHYRIN MACROCYCLES IN MEDICINE: SINGLET OXYGEN GENERATION AND THERANOSTICS

E.I. Zenkevich^{1,3}, N.D. Strekal², C. von Borczyskowski³

¹*Belarussian National Technical University, Prospect Nezavisimosti 65, 220013 Minsk, Belarus*

²*Grodno State University named Ya. Kupala, Ozheshko str. 22, 230023 Grodno, Belarus*

³*Chemnitz University of Technology, Reichenhainer Str. 70, 09107 Chemnitz, Germany*
e-mail: zenkev@tut.by

At the moment, because of their chemical tunability and photofunctional properties organic/inorganic nanomaterials based on semiconductor quantum dots (QD) and organic molecules have found applications in various areas of nanotechnology. The intent of this report is to provide a representative description of some medical applications of QD-based nanoassemblies, especially their interaction with molecular oxygen leading to the singlet oxygen ($^1\Delta_g$) generation as a basic agent of the photodynamic therapy (PDT) of cancer.

A quantitative comparative analysis of interaction of molecular oxygen with semiconductor QDs (TOPO capped CdSe/ZnS QDs and glutathione stabilized Ag-In-S₂/ZnS/GSH QDs) and especially with their hybrid nanoassemblies containing porphyrin macrocycles evidently showed that the formation and QD-porphyrin nanoassemblies manifests itself in a pronounced quenching of QD photoluminescence (PL) accompanied by $^1\Delta_g$ generation with essentially higher efficiency compared to merely QDs or even non-complexed porphyrin molecules. It was quantitatively shown that the efficiency of $^1\Delta_g$ generation is directly coupled with the corresponding efficiency of the energy transfer QD→porphyrin. Moreover, it was experimentally and theoretically argued that the main part of the observed QD PL quenching is due to the competing non-radiative electron tunneling through ZnS barrier in the conditions of quantum confinement.

In addition, it was found that for QDs Ag-In-S₂ with surface active groups of polyethylenimine (PEI), time-resolved and steady-state PL parameters are strongly dependent on pH in water solutions at 293 K. Using Stark model and assuming the absence of the electrical field on the QD surface (ZnS shell) in environments with a neutral pH and in healthy biological tissues of the ovary, it was justified that a change in the pH of solutions, both to acidic and alkaline side, causes a change in the electrical field in the local environment of the QD, which manifests itself in changes in its PL parameters (λ_{\max} , intensity, average lifetime). It was found that Ag-In-S₂/PEI QDs may act as a contrast agent in medical morphology. Using confocal microspectrometry, it was shown that these QDs may be used for both the visualization and screening of ovarian malignancies.

These studies demonstrate that the combination of experimental techniques and molecular-level insight into QD morphology may increase our molecular-level understanding of the surface chemistry and photophysical events in QD-dye nanoassemblies. Basic results being obtained and discussed here, may be useful in the directed formation of new nanoscale QD-dye nanocomposites and offer significant advantages in a wide areas of applications in medical theranostics.

УДАЛЁННЫЙ ЛЮМИНОФОР НА ОСНОВЕ ПЕРОВСКИТОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КРАСНЫХ СВЕТОДИОДОВ

В.В. Крюков¹, В.И. Цвирко², О.С. Кулакович¹, А.А. Романенко¹,
Ю.В. Трофимов², С.В. Гапоненко¹

¹Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси», Минск, Республика Беларусь
e-mail: v.krukov@dragon.bas-net.by

В работе исследованы композитные структуры на основе нанокристаллов перовскитов CsPbI₃ с оболочкой из (3-меркаптопропил)триметоксисилана, диспергированных в матрице полиметилметакрилата. Целью являлось исследование возможности применения данных композитных структур в качестве излучающего слоя (удалённого люминофора) для светодиодов. Для этого синтезировали нанокристаллы CsPbI₃ и покрывали оболочкой (3-меркаптопропил)триметоксисилана для повышения их фазовой стабильности и фотостабильности. Смесь нанокристаллов и полиметилметакрилата наносили на синий светодиод ($\lambda_{\text{макс}}=451$ нм) капельным методом, спектрально люминесцентные характеристики светодиода с покрытием измерялись в интегрирующей сфере. Люминофор на основе перовскитов излучал в красной области спектра с максимумом 702 нм. При исследовании стабильности люминесценции на светодиод подавали ток 20 мА (мощность излучения 34.3 мВт) в течение 7 минут, за это время световой поток слоя люминофора снизился с 51 до 43 мВт, положение пика люминесценции НК сместилось менее чем на 1 нм в коротковолновую область с сохранением симметричности и полуширины. При данных параметрах внутренний КПД образца составил 31%, а максимальный – 38% при токе 1 мА. Результаты демонстрируют потенциал для создания красных светодиодов, однако требуется дальнейшая оптимизация стабильности и сохранения квантовой эффективности композитной структуры при высоких мощностях возбуждающего излучения.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА НИЗКОЛЕЖАЩИХ СОСТОЯНИЯХ ИОНА Er^{3+} В КРИСТАЛЛЕ $\text{BaY}_{1,8}\text{Lu}_{0,2}\text{F}_8$

А.В. Астраханцева¹, Т.М. Миннебаев¹, А.А. Шавельев¹, А.Г. Николаев²,
К.Н. Болдырев³, А.С. Низамутдинов¹

¹Институт физики, Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Казань, Россия

²Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский (Приволжский)
федеральный университет, Казань, Россия

³Институт спектроскопии РАН, Троицк, Москва, Россия
e-mail: anya4324@gmail.com

В настоящей работе обсуждается возможность снятия условия самоограниченности для перехода ${}^4\text{I}_{11/2} \rightarrow {}^4\text{I}_{13/2}$ (2,7 мкм) в высококонцентрированных кристаллах $\text{BaY}_{1,8}\text{Lu}_{0,2}\text{F}_8:\text{Er}^{3+}$ за счет процессов ап-конверсии и кросс-релаксации, которые способствуют расселению нижнего лазерного уровня ${}^4\text{I}_{13/2}$ и заселению верхнего состояния ${}^4\text{I}_{11/2}$, а также за счет влияния матрицы. На основе спектрально-кинетических характеристик в инфракрасной области спектра были определены параметры передачи энергии W_{11} и W_{22} между ионами Er^{3+} в смешанном кристалле $\text{BaY}_{1,8}\text{Lu}_{0,2}\text{F}_8$ в рамках теории Ферстера-Декстера для трехуровневой схемы, включающей только процессы ап-конверсии с уровней ${}^4\text{I}_{11/2}$ и ${}^4\text{I}_{13/2}$. Также были определены константа передачи энергии СДА и критический радиус R_0 . Для схемы, включающей в себя процессы ап-конверсии с уровней ${}^4\text{I}_{11/2}$ и ${}^4\text{I}_{13/2}$, была построена система скоростных уравнений для оценки распределения населенностей возбужденных состояний и коэффициента усиления при импульсной накачке разной мощности. При длительности импульса накачки 10 мс, частоте повторения импульсов 10 Гц и мощности накачки 4 Вт коэффициент усиления составил $0,05 \text{ см}^{-1}$ для образца с концентрацией ионов Er^{3+} 30 ат. %.

Работа выполнена в рамках субсидии, выделенной Казанскому (Приволжскому) федеральному университету на выполнение государственного задания в сфере научной деятельности, проект No. FZSM-2024-0004.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА СИНТЕЗА $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ НА КАЧЕСТВО ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

К.А. Смирнова, А.А. Васильева, И.Е. Колесников

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт химии,
Санкт-Петербург, Россия

e-mail: Panfilova24022005@yandex.ru

Оксиды редкоземельных элементов (далее – РЗЭ) широко используются в качестве люминофоров и сцинтилляторов [1]. Также оксиды Lu_2O_3 , допированные атомами РЗЭ, применяются в качестве мультипараметрических люминесцентных термометров и люминофоров видимой области спектра [2]. Однако было обнаружено, что свойства этих материалов зависят от различий в методах и условиях их получения [3]. Понимание этих зависимостей важно для целенаправленного управления свойствами люминофоров в соответствии с потребностями применения.

В данной работе были получены две серии образцов $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{2\%}$, синтезированных гидротермальным методом (НТ) и методом вспенивания (foaming). Каждый образец прокаливался в муфельной печи в течение 1 часа при температурах 650, 800,

1000 °С (а также 500 °С в гидротермальном методе синтеза). Методом порошкового рентгенофазового анализа было показано, что все полученные образцы монофазны (кубическая фаза, Ia-3). Структурные свойства синтезированных образцов были изучены с помощью КР-спектроскопии. Также были исследованы стационарные и кинетические люминесцентные свойства образцов, включая спектры люминесценции, спектры возбуждения люминесценции и времена жизни возбужденного уровня). На рисунке 1 представлены спектры люминесценции полученных образцов при длине волны возбуждения 465 нм.

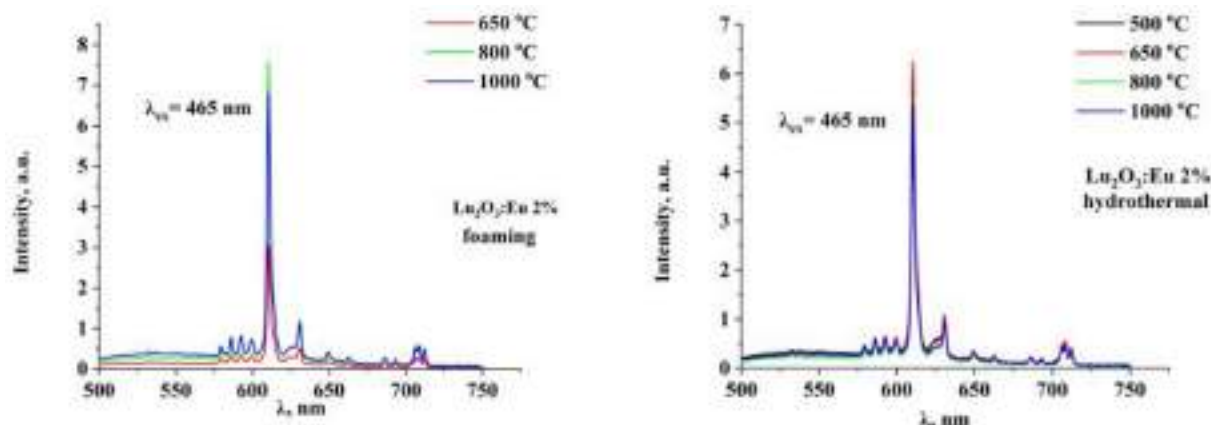


Рисунок 1 – Результаты люминесцентной спектроскопии для образцов, полученных методом вспенивания (слева) и гидротермальным методом (справа).

Таким образом, в результате работы были получены образцы $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ 2 ат.% двумя различными методами синтеза: гидротермальным методом и методом вспенивания. Образцы были исследованы с помощью рентгенофазового анализа, КР-спектроскопии и люминесцентной спектроскопии. Обнаружено, что основное влияние на люминесцентные свойства оказывает финальная температура отжига.

Благодарности:

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ №25-79-10050. Авторы выражают благодарность РЦ «Оптические и лазерные методы исследования вещества», «Рентгенодифракционные методы исследования», МРЦ по направлению «Нанотехнологии» Научного парка СПбГУ.

Список литературы:

1. Radio-, Thermo- and Photoluminescence Properties of $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}$ and $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Tb}$ Nanopowder and Film Scintillators. Pawel Popielarski, Justyna Zeler, Paulina Bolek, Yuriy V Zorenko. DOI:10.3390/cryst9030148;
2. Water-soluble hybrids $\text{LaVO}_4:\text{Eu}^{3+}$ @diamine phosphine with photoswitchable butyrylcholinesterase inhibition and luminescent imaging. Ilya Kolesnikov, Gulia Bikbaeva, Anastasiya Egorova, Anna Pilip. DOI:10.1016/j.optmat.2025.117522;
3. Lu_2O_3 -based storage phosphors. An (in)harmonious family. Dagmara Kulesza, Paulina Bolek, Adrie J.J. Bos, Eugeniusz Zych. DOI:10.1016/j.ccr.2016.05.006

ДИНАМИКА СОСТОЯНИЙ ${}^3F_4 \rightarrow {}^3H_6$ И ${}^5I_7 \rightarrow {}^5I_8$ ИОНОВ Tm^{3+} И Ho^{3+} В СМЕШАННЫХ КРИСТАЛЛАХ $LiY_{0,3}Lu_{0,7}F_4$

Т.М. Миннебаев¹, А.С. Низамутдинов¹, А.А. Шавельев¹, В.В. Семашко^{1,2}

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

²Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН, Казань, Россия

e-mail: timurminnebaev271@mail.ru

Практический интерес к ионам Tm^{3+} и Ho^{3+} связан с возможностью создания лазерных систем, генерирующих излучение в инфракрасном диапазоне от 1,8 до 2,0 мкм. Такие источники света востребованы в медицинских целях, а также в системах экологического мониторинга. Все эти применения возможны благодаря сильному поглощению излучения на этих длинах волн молекулами воды.

Лазерная генерация в средах, активированных только Tm^{3+} или Ho^{3+} , ограничена сильными процессами кросс-релаксации. Эффективная генерация на длине волны 2 мкм достигается в соактивированных кристаллах по схеме сенсibilизированной люминесценции, где ионы Tm^{3+} передают энергию возбуждения ионам Ho^{3+} на переходах ${}^3F_4 \rightarrow {}^3H_6$ и ${}^5I_7 \rightarrow {}^5I_8$ соответственно. Достижение инверсной населенности в такой системе осуществляется с использованием излучения с длиной волны 790 нм, которое может быть получено с использованием доступных лазерных диодов. Применение смешанных матриц $LiY_{1-x}Lu_xF_4$ способствует уширению спектральных линий, что потенциально повышает эффективность передачи энергии и расширяет полосу усиления, обеспечивая более широкий диапазон перестройки длины волны лазера, а также увеличению интеграла спектрального перекрытия.

В ходе исследований зарегистрирована интенсивная сенсibilизированная люминесценция ионов Ho^{3+} при возбуждении на переход ионов Tm^{3+} ${}^3H_6 \rightarrow {}^3F_4$. Проанализированы поляризационные зависимости спектров поглощения и люминесценции, соответствующие электронным переходам Tm^{3+} ${}^3H_6 \rightarrow {}^3H_4$, ${}^3F_4 \rightarrow {}^3H_6$ и Ho^{3+} ${}^5I_8 \rightarrow {}^5I_5$, ${}^5I_7 \rightarrow {}^5I_8$. Полученные спектрально-кинетические данные использованы для количественной оценки параметров миграции энергии в исследуемой системе. Также обсуждаются перспективы достижения лазерной генерации в данной активной среде в сравнении с другими кристаллическими матрицами.

Работа выполнена в рамках субсидии, выделенной Казанскому (Приволжскому) федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности, проект № FZSM-2024-0004.

ДИНАМИКА СВЕРХИЗЛУЧАТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ В РЕЗОНАНСНОМ ОТРАЖЕНИИ КВАЗИДВУМЕРНОГО МАССИВА КВАНТОВЫХ ТОЧЕК

Е.В. Тимощенко¹, В.А. Юревич², Ю.В. Юревич²

¹Могилевский государственный университет им. А.А. Кулешова

²Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий,

Могилев, Республика Беларусь

e-mail: evtima@gmail.com

В настоящем сообщении обсуждаются результаты моделирования осцилляторного отклика квазидвумерной решётки элементарных дипольных центров, образованной полупроводниковыми квантовыми точками (КТ). Показано, что благодаря высокой поверхностной плотности КТ и значительной величине силы осциллятора при

взаимодействии с когерентным излучением в резонансном отклике поляризуемого тонкого слоя возникают оптические переходные процессы, обусловленные фазовой памятью ансамбля дипольных центров. Длительность фазовой памяти определяется характерными временами формирования и релаксации поляризации ансамбля КТ. В резонансном отклике такой системы существенную роль приобретают сверхизлучательные компоненты поляризации. Данные компоненты обуславливают нефренелевские составляющие резонансного поглощения и отражения квазидвумерного массива КТ. В рамках рассматриваемого подхода на основе системы уравнений Максвелла–Блоха анализируется влияние сверхизлучательных компонентов, индуцированных диполь-дипольным взаимодействием и поглощением на квазирезонансных переходах, на эффективную диэлектрическую проницаемость массива КТ.

Показано, что колебательная система, образованная квазидвумерным массивом КТ с высокой поверхностной плотностью и внешним резонансным излучением, способна переходить в неустойчивое равновесное состояние с автоколебаниями динамических переменных. Этот переход обусловлен периодической потерей когерентности между осцилляциями поля и поляризации с последующим восстановлением фазовой памяти резонансных центров. Возникающее состояние представляет собой квазистационарный режим с нелинейной модуляцией. Физически это соответствует автоколебательному режиму резонансного отражения с квазипериодическими или периодическими пульсациями интенсивности. Такой режим обеспечивает преобразование светового сигнала с постоянной огибающей интенсивности в модулированный сигнал, параметры которого управляются изменением падающей световой мощности.

РОЛЬ СОСТОЯНИЙ С ПЕРЕНОСОМ ЗАРЯДА В МНОГОКРАТНОМ УВЕЛИЧЕНИИ ИНТЕНСИВНОСТИ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В МИКРОКРИСТАЛЛАХ $\text{Ca}(\text{Ba})\text{Ga}_2\text{S}_4:\text{Nd}, \text{Yb}$ И $\text{Ca}(\text{Ba})\text{Ga}_2\text{S}_4:\text{Tm}, \text{Yb}$

П.П. Першукевич¹, О.Б. Тагиев², В.М. Гаджиева², Т.Ш. Ибрагимова²,
Ф.А. Казимова², М.В. Бельков¹, А.А. Таболич¹, Е.В. Луценко¹,
В.Н. Павловский¹, А.В. Мудрый³, Г.П. Яблонский¹

¹*Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

²*Институт физики Министерства науки и образования Азербайджана,
Баку, Азербайджан*

³*Научно-практический центр НАН Беларуси по материаловедению, Минск,
Республика Беларусь*

e-mail: p.persh@ifanbel.bas-net.by

Показано, что солегирование ионами иттербия соединений щелочноземельных тиогаллатов $\text{CaGa}_2\text{S}_4:3\%\text{Nd}$ и $\text{CaGa}_2\text{S}_4:5\%\text{Tm}$ способствует возрастанию интенсивности их фотолюминесценции на 1–2 порядка при низких и высоких уровнях оптического возбуждения.

При комнатной температуре в широком диапазоне уровней непрерывного и импульсного оптического возбуждения в интервале длин волн 240–2100 нм измерены спектры фотолюминесценции (ФЛ), спектры возбуждения ФЛ (СВФЛ) и кинетика ФЛ в несолегированных и солегированных соединениях $\text{CaGa}_2\text{S}_4:3\%\text{Nd}$, $\text{CaGa}_2\text{S}_4:5\%\text{Tm}$, $\text{CaGa}_2\text{S}_4:3\%\text{Nd}, 5\%\text{Yb}$, $\text{CaGa}_2\text{S}_4:5\%\text{Tm}, 5\%\text{Yb}$. Обнаружено и изучено возникновение новых интенсивных полос в СВФЛ и многократное возрастание интенсивности люминесценции, благодаря солегированию, главных ИК полос в соединениях с ионами Nd^{3+} и Tm^{3+} на 2 и на 1 порядок соответственно. Такое гигантское возрастание

интенсивности фотолюминесценции после солегирования ионами иттербия объяснено возникновением состояний с переносом заряда (СПЗ) от атомов лиганда CaGa_2S_4 с ионами неодима и туллия к ионам Yb^{3+} . В кинетике свечения люминесценции в ИК полосах с разгоранием происходит рост интенсивности на начальном этапе возбуждения при возбуждении в пределах СПЗ-полосы. Это интерпретируется в рамках модели безызлучательного переноса энергии (Förster Resonance Energy Transfer), в соответствии с которой возбуждение люминесценции осуществляется за счет безызлучательной передачи энергии с возбужденных донорных состояний (СПЗ) на акцепторные состояния (ионы Nd^{3+}). Обсуждается также влияние на эффективность и спектрально-люминесцентные характеристики ФЛ замены в титгаллатах Ca на Ba.

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ГРАДИЕНТНО-АКТИВИРОВАННЫХ КРИСТАЛЛОВ С ОПТИЧЕСКИМИ ЦЕНТРАМИ Yb И Er НА ОСНОВЕ YAG

Е.В. Строганова, В.В. Галуцкий

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет» Краснодар, Россия

e-mail: stroganova@kubsu.ru

В настоящей работе обсуждаются результаты исследований новых градиентно-активированных кристаллов с заданной функцией распределения примесных центров вдоль оси роста кристаллов на основе кристаллической матрицы YAG:Yb,Er . Получены образцы кристаллов YAG:Yb,Er с двойными концентрационными профилями оптических центров Yb^{3+} (практически не меняющаяся концентрация в районе 10 ат.%) и Er^{3+} (уменьшение концентрации от 3,7 до 2,9 ат.%). Проведены спектрально-кинетические и люминесцентные исследования кристаллов в спектральных диапазонах 1,4 – 1,7 мкм и 2,5 – 3 мкм. Определены зависимости спектральных характеристик градиентно-активированных кристаллов YAG:Yb,Er от продольных координат (координата вдоль оси роста кристалла), подтверждено наличие концентрационных профилей оптических центров в градиентно-активированном кристалле методами оптической спектроскопии. Подтверждено соответствие теоретических функций распределения концентраций оптических центров Yb^{3+} и Er^{3+} относительно продольных координат кристалла, с реализованными в процессе роста концентрационным профилям Yb^{3+} и Er^{3+} в градиентно-активированных кристаллах YAG:Yb,Er . Определены параметры безызлучательного переноса энергии электронного возбуждения $\text{Er} \leftrightarrow \text{Yb}$ и их зависимость от концентрационных профилей оптических центров в кристаллах. В приближении уравнений скоростного баланса для идеализированной сенсibilизированной лазерной среды без учета кумулятивных и нелинейных эффектов определены пороговые генерационные параметры лазерной среды на основе градиентно-активированных кристаллов YAG:Yb,Er .

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ОПТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ИОННО-ЛУЧЕВЫМИ МЕТОДАМИ

М.В. Богданович^{1,2}, А.В. Григорьев¹, А.Г. Рябцев^{1,2}, Г.И. Рябцев¹,
Н.Н. Новицкий³, А.И. Серокурова³, А.И. Войнилович¹

¹Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» НАН Беларуси, Минск,
Республика Беларусь

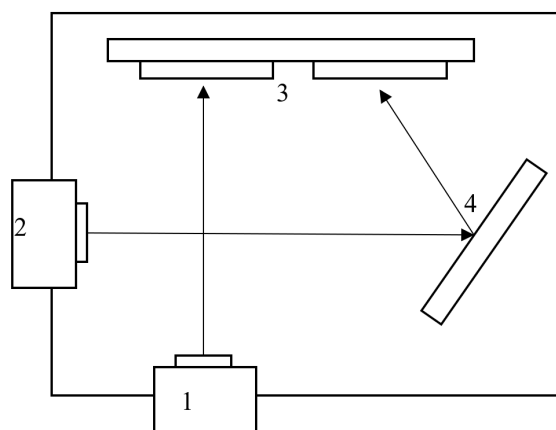
³ГНПО «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по
материаловедению», Минск, Республика Беларусь

e-mail: a.hryhoryeu@ifanbel.bas-net.by

Современный уровень развития лазерной техники предъявляет высокие требования к качеству обработки оптических поверхностей. Традиционные методы механического шлифования и полирования зачастую не позволяют достичь необходимого уровня шероховатости поверхности из-за появления дефектного поверхностного слоя и микроцарапин [1]. Одним из наиболее перспективных методов бесконтактной финишной обработки является ионная полировка. Данная технология основана на эффекте ионного распыления материала под воздействием бомбардировки ускоренными частицами, что позволяет проводить прецизионную коррекцию поверхности оптических элементов без внесения механических напряжений и удалять нарушенный слой, оставшийся после предварительной механической обработки [2].

В настоящей работе обсуждаются возможности обработки ионно-лучевыми методами подложек из стекла марки КУ-1, наиболее часто используемого для изготовления лазерных зеркал в излучателях ближнего ИК-диапазона.

Установка для ионной полировки представляет собой вакуумную камеру с двумя ионными источниками, один из которых обрабатывает ионами кислорода оптические детали, а второй используется для распыления мишени из оксида кремния ионами аргона (рисунок 1).

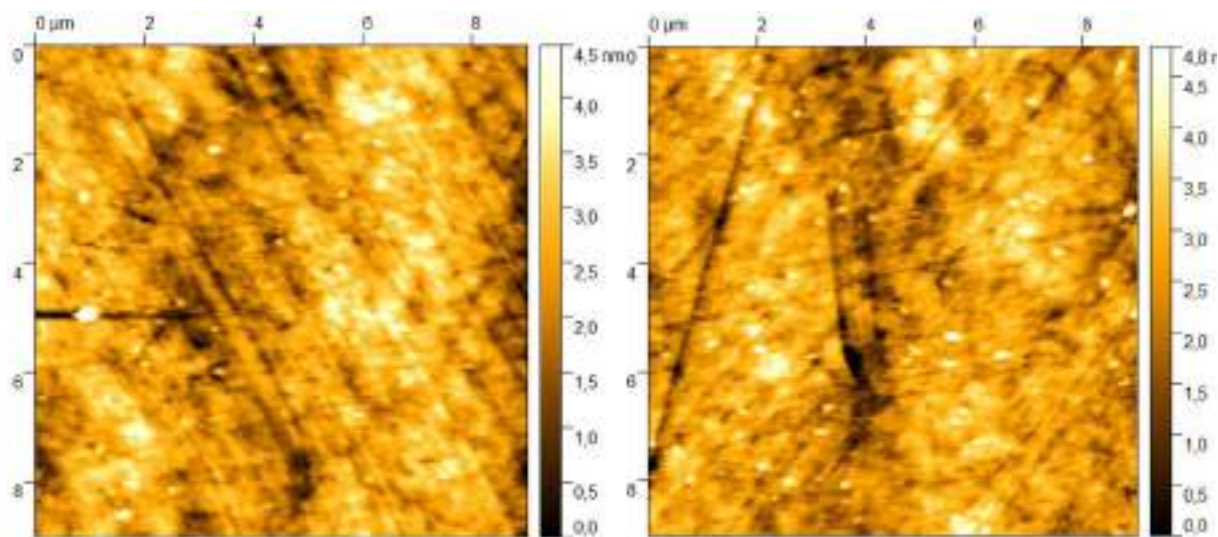


1, 2 – источники ионов, 3 – подложкодержатель, 4 – мишень из оксида кремния

Рисунок 1 – Схема установки ионной полировки.

В качестве обрабатываемых образцов использовались плоские подложки цилиндрической формы с толщиной 3 мм и диаметром 8 мм из КУ-1, предварительно обработанные методом глубокой шлифовки-полировки (ГШП). Исходные значения

среднеквадратичной шероховатости поверхности образцов, рассчитанные на основании данных с атомно-силового микроскопа на участке поверхности $10 \times 10 \text{ мкм}^2$ лежали в диапазоне 0.6 – 0.9 нм, при этом на поверхности заметны следы механической обработки (рисунок 2).

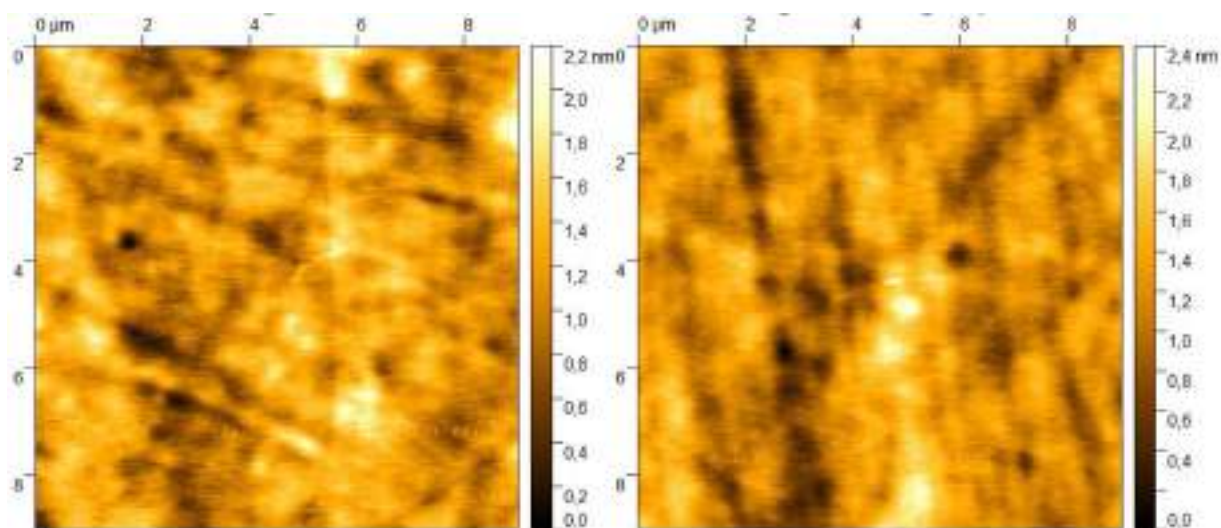


а) RMS = 0.72 нм

б) RMS = 0.67 нм

Рисунок 2 – Характерные АСМ-изображения поверхности подложек после ГШП.

В процессе экспериментов подбирались оптимальные режимы обработки образцов для получения максимально гладкой поверхности. Установлено, что наибольший эффект планаризации поверхности достигается в результате длительного (90 минут) распыления поверхности ионами кислорода с энергией около 300 эВ, с последующим повторением 3-5 циклов осаждения-распыления планаризирующего слоя оксида кремния. В результате удалось достичь уровня среднеквадратичной шероховатости поверхности около 0.3 нм, при этом следы механической обработки стали намного менее выражены (рисунок 3).



а) RMS = 0.28 нм

б) RMS = 0.29 нм

Рисунок 3 – Характерные АСМ-изображения поверхности подложек после ионной обработки

Достигнутый уровень среднеквадратичной шероховатости подтверждает применимость данного метода для создания прецизионных оптических поверхностей, отвечающих современным требованиям лазерной техники.

1. Семенов А. П., Белюк С. И. Ионно-лучевая обработка поверхностей. – Новосибирск: Наука, 1993. – 216 с.

2. Стогний А. И., Новицкий Н. Н., Стукалов О. М. Ионно-лучевое полирование наноразмерного рельефа поверхности оптических материалов // Письма в ЖТФ. – 2002. – Т. 28, № 1. – С. 39–48.

РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ СТРУКТУРНОГО ТИПА ГРАНАТА, АКТИВИРОВАННЫХ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМИ ИОНАМИ: ДЕТЕКТОРНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ МИКРОРАДИОГРАФИИ

М.В. Коржик¹, В.А. Калинов², Е.А. Борисевич¹, О.Е. Костик²,
В.А. Мечинский¹, А.А. Федоров¹

¹НИИ ядерных проблем БГУ, ул. Бобруйская 11, Минск, Республика Беларусь

²Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости 68, Минск, Республика Беларусь
e-mail: v.kalinov@ifanbel.bas-net.by

В настоящей работе обсуждается расширение области применения кристаллических соединений структурного типа граната, активированных редкоземельными ионами. Такие материалы являются не только лазерными средами, но также и сцинтилляционными для регистрации различных типов ионизирующего излучения. Обсуждаются вопросы получения тонких слоев сцинтилляционного материала для использования в микрорадиографии. Пространственное разрешение в рентгеновской микрорадиографии, основанной на измерении прошедшего через объект мягкого рентгеновского излучения, зависит не только от качества оптики, проецирующей изображение сцинтиллятора на фоточувствительную матрицу, но и от его толщины. Рассмотрены спектроскопические и сцинтилляционные свойства кристаллических соединений $(\text{Gd}, \text{Y}, \text{Lu})_3(\text{Al}, \text{Ga})_3\text{O}_{12}:(\text{Ce}, \text{Tb})$, изготовленных в виде керамики. Получены данные об эффективности поглощения рентгеновского излучения в зависимости от состава материала и толщины слоя. Обсуждаются методы обработки материала для получения толщин менее 100 мкм.

Исследования выполняются в рамках ГПНИ «Фотоника и микроэлектроника» на 2026 – 2030 годы».

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ю.Д. Воевода, А.Н. Купо

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Советская ул., 104, Гомель, Республика Беларусь

e-mail: trondina@gsu.by

Твердотельные лазеры с диодной накачкой, лазерные диоды и квантово-каскадные лазеры обеспечивают уникальные методы диагностики материалов, позволяя изучать их структуру с высокой точностью, тем самым непосредственно способствуют цифровой

трансформации научных исследований.

В данной работе на примере использования комбинационного рассеяния света показано, как современные технические решения с использованием лазерных технологий помогают исследователям решать прикладные задачи физики конденсированного состояния. Рассмотрена методика анализа углеродных покрытий, легированных титаном и кремнием, с помощью спектрометра SENTERRA и программы OPUS. Лазерное излучение с длиной волны 532 нм инициирует процесс неупругого рассеяния, а цифровая обработка данных позволяет разложить полученный спектр на D- и G-пики.

D-пик ($1350 \pm 30 \text{ см}^{-1}$) связан с дефектами кристаллической решетки. G-пик ($1580 \pm 30 \text{ см}^{-1}$) соответствует колебаниям sp^2 -гибридизированных атомов углерода в графеноподобных кластерах и отражает степень упорядоченности структуры. Отношение интенсивностей этих пиков (I_D/I_G) является ключевым параметром для оценки размера нанокластеров и степени графитизации материала.

Легирование углеродных покрытий титаном приводит к смещению G-пика в низкочастотную область и росту отношения I_D/I_G , что свидетельствует об увеличении неупорядоченности структуры. Легирование кремнием, напротив, вызывает высокочастотный сдвиг и снижение этого отношения, указывая на формирование алмазоподобной фазы.

Таким образом, использование в современных спектрометрах лазерного излучения позволяет проводить высокоточную диагностику материалов, в том числе в области нанотехнологий.

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНГОВОЛНОВОГО ТЕА ЛАЗЕРА

С.С. Шавель, В.А. Горобец, С.Б. Бушук

ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Минск, Республика Беларусь
e-mail: shavel_s07@mail.ru

Для мониторинга качества молочных продуктов в процессе их производства предлагается использовать многоволновой ТЕА лазер, генерирующий в диапазонах 1,1–3,5 мкм и 9,2–10,8 мкм, где присутствуют сильные линии генерации на инертных газах (генерация на молекуле Хе, 1,73 и 2,02 мкм) и на молекуле CO_2 , (10,6 мкм). Указанные области спектра принадлежат ближнему и среднему ИК диапазонам и представляют интерес для получения эффективной одновременной генерации с целью создания дистанционных лазерных анализаторов. Анализ экспериментально полученных спектров отражения молочных продуктов и, в частности, сыра, показал, что в них вносят существенный вклад спектры поглощения и отражения их биологических составляющих, в том числе различных видов плесени, присутствующих на поверхности продуктов. Наличие существенных различий в ИК спектрах отражения чистого сыра и загрязненного плесенью позволяют, в дополнение к использованию излучения в видимом оптическом диапазоне, использовать многоволновые ТЕА лазеры, генерирующие в ближнем и среднем ИК диапазонах, для определения наличия и идентификации присутствующих в молочных продуктах плесневых грибов. Применение устройства, основанного на многоволновом ТЕА лазере с быстрым переключением каналов генерации, позволит осуществлять непрерывный мониторинг молочной продукции в условиях промышленного производства.

ИМИТАТОР АТМОСФЕРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТРАССЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЛАЗЕРНЫХ ОБЛАКОМЕРОВ

П.Н. Назаренко

*Государственное научно-производственное объединение «Оптика, оптоэлектроника и измерительная техника, пр. Независимости, 68-1, 220072 Минск, Республика Беларусь
e-mail: nprn05@mail.ru*

Специфика работы атмосферных лидаров заключается в измерении параметров среды, которые не могут быть воссозданы при необходимости в атмосферной трассе. Как следствие невозможно проконтролировать точность измерения параметров атмосферы, поскольку невозможно создать эталон реальной атмосферной трассы с точно заданными параметрами.

В настоящей работе описываются лабораторный имитатор атмосферной трассы с заранее точно определенными и контролируемыми параметрами, которые соответствуют среднестатистическим параметрам реальной атмосферы, и метод формирования пространственно-временного амплитудного профиля отраженного зондирующего сигнала, основанный на концепции применения оптоволоконных технологий. Метод моделирования уширения отраженного зондирующего сигнала на атмосферной трассе заключается в представлении формы принимаемого лидаром импульса излучения через ступенчатую кривую, получаемую в результате квантования амплитуды импульса излучения лидарного передатчика с последующей временной задержкой каждого последующего кванта излучения относительно предыдущего, соответствующей длительности импульса. Имитатор включает в себя сплиттер (оптический демультиплексор), многоканальный программируемый аттенуатор, массив дискретных оптоволоконных линий задержки с калиброванными длинами и оптический мультиплексор. Импульс излучения передатчика лидара вводится в сплиттер, в котором квантуется. Через оптоволоконные каналы кванты излучения подаются на входы аттенуатора, ослабляются по заданному алгоритму и через массив дискретных оптоволоконных линий задержки подаются на входы оптического мультиплексора. Протяженный ступенчатый сигнал с выхода мультиплексора поступает в приемный канал лидара.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНЫ ВИДИМОСТИ АКТИВНО-ИМПУЛЬСНЫМИ СИСТЕМАМИ НАБЛЮДЕНИЯ ПРИ СРАВНИТЕЛЬНО МАЛОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЭКСПОЗИЦИИ ФОТОПРИЕМНИКА

С.Б. Бушук, М.С. Снежко, И.Н. Пучковский, С.С. Шавель, Б.Ф. Кунцевич
*ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», Минск, Республика Беларусь
e-mail: boris_kuntsevich@mail.ru*

В активно-импульсных системах наблюдения (АИСН) объекты освещаются периодически повторяющимися лазерными импульсами. В приемном блоке фотоприемник синхронно включается обычно на сравнимое время (строб-импульс). Регулировка времени задержки между началами импульсов подсветки и стробирования изменяет расстояние до зоны наблюдения. В настоящей работе рассматривается случай неподвижных относительно АИСН объектов, когда длительность строб-импульсов в десять и более раз меньше длительности импульсов подсветки. Предложена модель формирования пространственно-энергетического профиля (ПЭП) зоны видимости.

Получены аналитические выражения, связывающие характерные расстояния (точки) ПЭП зоны видимости с длительностями строб-импульсов и не регулируемой (обычно не известной) технической задержки между началами импульсов подсветки и стробирования, а также параметрами импульсов подсветки при разной временной форме (трапециевидной, треугольной или прямоугольной). Численные расчеты подтвердили справедливость полученных аналитических выражений. Продемонстрирована возможность управления формой, длительностями фронта и спада ПЭП путем изменения соответствующих параметров импульсов подсветки. Установлено и экспериментально подтверждено, что при передвижении от начальной точки зоны видимости к конечной ПЭП с учетом определенных закономерностей воспроизводит (отображает) временную форму импульса подсветки, следуя от его начала к концу.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ И ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОЩНОГО КОЛЬЦЕВОГО ПГС: ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

А.А. Русак¹, В.А. Орлович¹, И.А. Ходасевич¹, А.П. Шкадаревич²,
Д. Унурбилэг³, П. Мунхбаатар⁴

¹Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости 68-2, Минск,
Республика Беларусь

e-mail: a.rusak@ifanbel.bas-net.by

²УП НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО, Минск, Республика Беларусь

³Институт физики и технологии Монгольской академии наук, Улаанбаатар, Монголия

⁴Центр лазерных исследований Монгольского национального университета,
Улаанбаатар, Монголия

В настоящей работе обсуждаются результаты численного моделирования энергетических (E_c) и временных (τ_c) характеристик импульсов выходного излучения сигнальной волны трехзеркального однорезонаторного параметрического генератора света в зависимости от параметров зеркал и количества кристаллов, энергии импульсов (E_n) и пространственного распределения поля излучения накачки. Установлено, что для пучка накачки с радиусом $r_n = 3,5$ мм энергетические зависимости являются линейными функциями при наличии в резонаторе 3 кристаллов ($11 \times 11 \times 20$ мм³), оптимальная добротность резонатора достигается при $R_{\text{вых}} = 30\%$ и обеспечивает $E_c \approx 0,2$ Дж импульсов сигнальной волны с длительностью $\tau_c \approx 8,4$ нс. Для импульсов накачки с фиксированной $E_n = 0,75$ Дж и $E_n = 1$ Дж, пучки которых имеют $r_n = 4,3$ мм и $r_n = 5$ мм, существуют оптимальные условия преобразования в сигнальную волну, зависящие от добротности резонатора и от количества находящихся в нем кристаллов. Показано, что в резонаторе с $R_{\text{вых}} = 30\%$ без повреждения кристаллов ($12 \times 12 \times 20$ мм³) можно получить импульсы выходного излучения с близкими параметрами $E_c \approx 0,3$ Дж и $\tau_c \approx 10$ нс, используя в резонаторе 2 таких кристалла при накачке с $r_n = 5$ мм и $E_n = 0,9$ Дж или пучок накачки с $r_n = 4,3$ мм с $E_n = 0,75$ Дж и 3 кристалла. Также можно достичь импульсов с $E_c \approx 0,43$ Дж и $\tau_c \approx 12,5$ нс при использовании как 2-х, так и 3-х кристаллов ($12 \times 12 \times 20$ мм³) при накачке пучком с $r_n = 5$ мм и $E_n = 1$ Дж. Работа выполнена при финансовой поддержке совместного белорусско-монгольского проекта БРФФИ-МФНТ (Ф25МН-002).

ВКР ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ Nd:YAG МИКРОЧИП-ЛАЗЕРА В CVD-АЛМАЗЕ

В.П. Козич¹, В.А. Орлович¹, Е.А. Чешев², И.М. Тупицын²
¹Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости 68-2, Минск,
Республика Беларусь
²Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия
e-mail: v.orlovich@dragon.bas-net.by

Исследовано вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) в монокристалле искусственного алмаза CVD (chemical vapor deposition), помещенного в резонатор микрочип-лазера.

Микрочип-лазер построен на основе композитного кристалла (активного элемента/пассивного затвора) Nd:³⁺YAG/Cr⁴⁺:YAG. Накачка производилась излучением диодного лазера ($\lambda_n=808$ нм) с мощностью 2,5 – 5 Вт. Варьирование мощности накачки приводило к изменению частоты следования генерируемых на ($\lambda_l=1064$ нм) импульсов от 7 до 22 кГц.

Резонатор лазера длиной 12,6 мм состоял из входного зеркала, нанесенного на грань активного элемента, и вогнутого выходного зеркала с радиусом кривизны -100мм и максимальными коэффициентами отражения $R_{808\&1064}$. Кристалл CVD алмаза (6 мм) размещался вблизи выходного зеркала. Резонатор ВКР-преобразователя длиной 8 мм образован выходным зеркалом лазера с $R_{1240} = 76\%$ или 40% и зеркальным напылением на грани кристалла затвора.

Энергия лазерных импульсов в зависимости от экспериментальных условий варьировалась в пределах 3,5–16 мкДж, при этом их длительность (τ_l) находилась в диапазоне 2,5–4 нс. Импульсы первой стоксовой компоненты ($\lambda_{1C} = 1240$ нм) имели энергию 1,7–3,5 мкДж, а τ_{1C} сокращалась до 0,6–1 нс по сравнению с τ_l .

Проведенные исследования различных режимов, поиск эффективного теплоотвода от кристалла алмаза открывает путь для использования такого кристалла для ВКР-преобразования излучения перспективных в настоящий момент дисковых лазеров. Работа выполнена в рамках белорусско-российского проекта БРФФИ (Ф26РНФ-084) и РФФИ (№25-42-10031).

ПИКОСЕКУНДНОЕ ВЫНУЖДЕННОЕ КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В НАСЫЩЕННОМ ВОДНОМ РАСТВОРЕ НИТРАТА НАТРИЯ В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА

А.И. Водчиц¹, В.А. Орлович¹, Л.Е. Батай¹, И.А. Ходасевич¹,
Т.А. Павич¹, С.М. Першин²
¹Институт физики НАН Беларуси, пр. Независимости, 68-2, 220072 Минск,
Республика Беларусь
²Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, ул. Вавилова, 38, 119991
Москва, Россия
e-mail: a.vodchits@dragon.bas-net.by

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований нелинейно-оптического процесса вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) в насыщенном водном растворе нитрата натрия (NaNO₃) в ультрафиолетовой (УФ) области спектра. В качестве возбуждающего излучения использовались пикосекундные

импульсы третьей гармоники (длина волны 355 нм) Nd:YAG лазера (LS-2151, LOTIS ТП, Беларусь). Длительность импульсов составляла 35-40 пс при частоте следования 15 Гц, максимальная энергия импульсов достигала 8 мДж. Лазерный пучок фокусировался сферической линзой в центральную область кварцевой кюветы, заполненную насыщенным раствором NaNO_3 в дистиллированной деионизованной лёгкой воде (H_2O). После кюветы устанавливалась корректирующая линза, а затем с помощью двух призм Пеллин-Брока осуществлялось спектральное и пространственное разделение выходящего из кюветы излучения. Оптимальные параметры фокусирующей линзы и длина кюветы определялись с точки зрения эффективности процесса ВКР-преобразования и составили $f = 250$ мм и $l = 100$ мм соответственно. В таких условиях были исследованы спектральные и энергетические характеристики ВКР. Впервые, насколько нам известно, в насыщенном растворе NaNO_3 в H_2O получена генерация двух стоксовых компонент ВКР в УФ области спектра на длинах волн вблизи 369 нм и 384 нм. Данные компоненты обусловлены основным колебанием группы NO_3 нитрата натрия (частота комбинационно-активной моды 1050 см^{-1}). Работа выполнена в рамках проекта БРФФИ (Ф25МС-003).

СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО БЕСПРОВОДНОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА

А.Н. Смехович, И.П. Петрович, Д.И. Конон, Б.П. Бахвалов, Э.Т. Али-заде
УП НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО», Минск, Республика Беларусь
e-mail: smehovich.lemt@gmail.com

В устройствах для управления летательными аппаратами (далее – ЛА) широко применяются оптико-механические модуляторы, создающие необходимое поле управления ЛА. Их недостатками является невозможность оперативно изменять параметры модулированного лазерного излучения, а также потери энергии излучения на модулирующем диске. Для устранения этих недостатков был реализован метод модуляции лазерного излучения в квазинепрерывном режиме работы. Излучение полупроводникового лазерного диода (далее – ЛД) с центральной длиной волны $\lambda = 1064$ нм и выходной мощностью порядка 1 Вт модулируется током накачки с фиксированным набором частот, вплоть до максимальной частоты $f = 50$ кГц. Данная схема модуляции упрощает конструкцию передающего устройства, а также позволяет управлять высокоскоростным ЛА, на котором установлен тракт фотоприемного устройства (далее – ФПУ), декодер полученных сигналы, преобразующий их в команды управления. Благодаря узкой полосе частот тракта ФПУ представляется возможность реализовать устойчивую передачу команд по беспроводной линии связи на дальностях до 3 км, при использовании лазеров сравнительно небольшой мощности.

МШГ МИКРОЛАЗЕРЫ С $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ, ИЗЛУЧАЮЩИЕ В ДИАПАЗОНЕ 413-415 нм ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Д.А. Масютин¹, И.А. Мельниченко¹, Э.И. Моисеев¹, А.Г. Войнилович²,
Е.В. Луценко², А.А. Пивоварова³, Н.Д. Ильинская³, И.П. Смирнова³,
Л.К. Марков³, Н.В. Крыжановская¹, А.Е. Жуков¹

¹Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”,
Санкт-Петербург, Россия

²Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

³ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: dmasyutin@hse.ru

Микролазеры на основе резонаторов с модами шепчущей галереи (МШГ) и InGaN/GaN активной областью являются перспективными компактными источниками когерентного излучения в видимом и ближнем УФ-диапазонах. В работе продемонстрирована лазерная генерация в InGaN/GaN МШГ-микрорезонаторах при оптической накачке и комнатной температуре. Гетероструктура с активной областью на основе квантовых ям $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ была синтезирована методом металлорганической газофазной эпитаксии на подложке Al_2O_3 . Микрорезонаторы дисковой формы диаметром от 8 до 12 мкм были сформированы с помощью фотолитографии и плазмохимического травления. Оптическая накачка обеспечивалась импульсным лазером (длина волны 355 нм, длительность импульса 20 нс, частота 10 кГц).

Получена лазерная генерация в спектральном диапазоне излучения $\text{In}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}/\text{GaN}$ квантовых ям на длине волны 413-415 нм для лазеров диаметром 8-12 мкм, которая подтверждается выраженным перегибом на зависимости интенсивности лазерной линии от энергии накачки и уменьшением ширины линии. Достигнутые значения добротности (5200) и порога генерации (пороговая энергия 1.96 нДж, средняя плотность мощности ≈ 400 кВт/см²) при комнатной температуре подтверждают высокий потенциал таких микролазеров с активной областью на основе InGaN/GaN квантовых ям для создания миниатюрных излучателей синего диапазона высокой яркости.

Авторы выражают признательность профессору Синьян Ванг (Пекинский университет, КНР) за предоставленный эпитаксиальный материал. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Санкт-Петербургского научного фонда.

МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ГЕНЕРАЦИИ РОС-ЛАЗЕРА НА КРАСИТЕЛЯХ, ВОЗБУЖДАЕМОГО РОС-ЛАЗЕРОМ

В.М. Катаркевич

Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

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

В настоящей работе с использованием модели скоростных уравнений для плотности фотонов и населенности верхнего лазерного уровня выполнено численное моделирование кинетики генерации лазера на красителе (оксазин 17 в этаноле, $\lambda_r = 645$ нм) со светоиндуцированной распределенной обратной связью (РОС) на основе пространственной решетки усиления, формируемой двумя интерферирующими пучками излучения РОС-лазера на этанольном растворе родамина 6Ж ($\lambda_r = 568$ нм), возбуждаемого субнаносекундным твердотельным Nd:LSB микролазером с диодной

накачкой ($\lambda_n = 532$ нм; $\tau_{0,5} \sim 0,5$ нс). В расчетах в качестве возбуждающих использовались аппроксимированные с помощью набора гауссовых функций цуги пикосекундных импульсов, а также структурные субнаносекундные импульсы излучения реального РОС-лазера, зарегистрированные с помощью электронно-оптической камеры «Агат-СФЗ» (временное разрешение до ~ 2 пс) при различных мощностях его возбуждения микролазером. Показано, что при всех использованных в расчетах формах и длительностях импульса возбуждения кинетика генерации РОС-лазера носит качественно подобный характер и зависит от уровня накачки $\gamma = E_n/E_{пор.}$, где E_n – энергия накачки, а $E_{пор.}$ – пороговая энергия возбуждения. При $\gamma > 1,6 - 1,8$ в нем генерируется цуг пикосекундных импульсов, в то время как при $1 < \gamma < 1,6 - 1,8$ – одиночные пикосекундные импульсы с длительностью $\tau_{0,5} \leq 20$ пс.

DEEP ACCUMULATION AND MOVING TARGET DETECTION TECHNOLOGY FOR WEAK SIGNALS IN LASER RANGING BASED ON FPGA

Dongmei Li

Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences

e-mail: lidongmei@semi.ac.cn

To address the technical bottlenecks of weak echo signals in long-range laser ranging and the limitations of solely relying on increasing single-pulse energy, we propose a weak signal deep accumulation and real-time moving target detection technology based on a Field Programmable Gate Array (FPGA). Targeting laser detection terminals with a repetition frequency of 20 Hz, this architecture constructs a hardware acceleration pathway at the FPGA underlying layer that supports the dynamic accumulation of 1 to 100 pulses. The system introduces a matched filtering mechanism for signal preprocessing and integrates a customized moving target detection algorithm, effectively resolving the target range walk compensation issue under long multi-pulse integration periods. Test validations demonstrate that this underlying digital processing architecture can stably extract extremely weak echo signals with an input signal-to-noise ratio (SNR) as low as -6.3 dB. Considering the two-way atmospheric attenuation effect with a visibility of 20 km, under the conditions where the transmit energy, receiving aperture, and core devices remain unchanged, relying purely on algorithm-level gains, the effective operating range of the system for stationary extended targets is enhanced from 10 km to 21.64 km. Concurrently, for point targets moving at a velocity of 20 m/s, the effective operating range is improved from 3.3 km to 5.23 km.

HIGH-UNIFORMITY LARGE-APERTURE FIBER LASER BEAM EXPANDING METHOD

Guanxin Zhang, Dongmei Li, Xiangkai Zhao

Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences

e-mail: zhangguanxin@semi.ac.cn

To address the inherent limitation that fiber lasers cannot easily achieve both a large aperture and high uniformity in their direct output beam, we propose an integrated optical design scheme that combines beam shaping and beam expanding functions. The method is based on a three-stage optical system architecture comprising collimation, shaping, and expansion. The

output beam from the fiber laser is first collimated by a collimating lens to obtain a parallel beam of $\Phi 10$ mm. It is then shaped by an aspheric lens group into a circular flat-top beam of $\Phi 15$ mm with a uniformity of no less than 95%. Finally, a $20\times$ beam expanding system, consisting of focusing optics and a collimator, achieves an output aperture of $\Phi 300$ mm. Experimental results show that within the effective aperture of $\Phi 240$ mm, the uniformity of the output beam can be stably maintained above 93%. While maintaining a compact structure, this system effectively resolves the challenge of optical field manipulation of fiber lasers in far-field applications, providing a feasible engineering technical pathway for fields such as outdoor optical environment simulation and testing.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ПАССИВНОГО ЗАТВОРА Cr^{4+} :YAG ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

М.В. Богданович^{1,2}, А.В. Григорьев¹, А.Г. Рябцев^{1,2}, Г.И. Рябцев¹, Л.Л. Тепляшин¹

¹*Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

²*ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

e-mail: l.teplyashin@dragon.bas-net.by

В работе обсуждаются возможности применения интерферометрических подходов для изучения эффектов, связанных с динамическими изменениями показателя преломления в пассивном затворе Cr^{4+} :YAG при прохождении через него мощных лазерных пучков. Такого рода явления могут возникать в Cr^{4+} :YAG как из-за нагрева объема кристалла, так и вследствие изменения населенности электронно-колебательных уровней (различия поляризуемостей основного и возбужденного состояний) ионов хрома под воздействием излучения Nd:YAG лазера.

Динамические изменениями показателя преломления исследовались в образцах Cr^{4+} :YAG с коэффициентами начального пропускания от 20 до 80 %. Схема установки для измерения динамических изменений показателя преломления Cr^{4+} :YAG была разработана на базе интерферометра Жамена, в один из каналов которого помещался исследуемый образец затвора, зондируемый высокостабильным He-Ne лазером. Образец затвора возбуждался импульсами излучения Nd:YAG лазера длительностью 8-10 нс (длина волны 1064 нм).

Разделение интерференционных откликов, связанных с электронным и тепловым механизмами изменения показателя преломления, осуществлялось путем анализа сдвигов интерференционных полос, регистрируемых сразу после воздействия импульса излучения Nd:YAG лазера на образец Cr^{4+} :YAG в течение десятков наносекунд (времена, характерные для электронно-колебательных процессов) и спустя 500-1000 микросекунд (временной интервал, характерный для установления теплового равновесия). Полученные экспериментально значения динамических изменений показателя преломления сопоставлялись с соответствующими величинами, получаемыми расчетным путем, используя формулу Лоренц-Лоренца [1] и спектроскопические параметры кристалла Cr^{4+} :YAG.

Результаты оценки динамических вариаций показателя преломления Cr^{4+} :YAG позволяют более точно моделировать переходные процессы Nd:YAG лазера в момент перехода последнего в режим модулированной добротности.

1. С.А. Ахманов, С.Ю. Никитин. Физическая оптика. – 2004. – М: Наука.

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ СВЕРХРЕШЕТОК AlGaAs/GaAs ДЛЯ QWIP МЕТОДОМ МАЛОУГЛОВОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ РЕФЛЕКТОМЕТРИИ

Д.С. Папылев^{1,2}, В.В. Андриюшкин^{1,2}, А.Л. Дудин³, Л.С. Богословская^{3,4}, И.И. Новиков^{1,2}

¹ООО «Коннектор Оптикс», Санкт-Петербург, Россия

²Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

³АО «Светлана-Рост», Санкт-Петербург, Россия

⁴СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

e-mail: dspapylev@itmo.ru

В работе методом рентгеновской рефлектометрии (XRR) исследуются структурные параметры гетероструктур AlGaAs/GaAs, выращенных методом молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ), для фотодетекторов среднего инфракрасного диапазона (3–12 мкм) на квантовых ямах (QWIP). В таких гетероструктурах даже незначительные отклонения (на уровне монослоя) в толщинах слоев приводят к сдвигу энергии перехода и уширению спектральной линии, что снижает чувствительность и ухудшает селективность детектирования. Этим обуславливается важность предварительной характеристики толщин, ширины гетерограниц и однородности параметров гетероструктур перед процессированием чипов фотодетекторов.

Измерения проводились на дифрактометре высокого разрешения с последующим моделированием кривых XRR в программе Multifitting для восстановления профиля диэлектрической проницаемости, связанной с плотностью слоев гетероструктуры. Кривые XRR моделировались при неизменной плотности материала слоев сверхрешетки, на поверхности предполагались слои окислов, толщина и плотность которых варьировалась. Также в модели предполагались дрейф толщины периода слоев в процессе эпитаксиального роста и использование различных профилей диэлектрической проницаемости гетерограниц, обеспечивающие лучшее совпадение моделируемой и экспериментальной кривых XRR. С высокой, до 0,1 нм, точностью определен средний период сверхрешеток в гетероструктурах. XRR-моделирование позволило детализировать распределение толщин внутри периода, их изменчивость по площади пластины и по глубине гетероструктуры. Показано, что все структуры обладают резкими гетерограницами (ширина не более 7 Å), что делает их пригодными для создания QWIP среднего ИК-диапазона.

Работа частично выполнена в рамках государственного задания (проект FSER-2025-0005).

УЗКОЗОННЫЕ НАНОГЕТЕРОСТРУКТУРЫ В СИСТЕМЕ InSb-In(Ga)As(Sb,P) ДЛЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 4-6 мкм

К.Д. Моисеев, В.В. Романов, Я.А. Пархоменко, Ю.П. Яковлев

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

e-mail: mkd@iropt2.ioffe.ru

Спектральный диапазон (4-6 мкм) содержит интенсивные полосы поглощения целого ряда азотосодержащих химических соединений, представляющих большой интерес с точки зрения экологического мониторинга, медицинских приложений и газоанализа взрывоопасных веществ: закись азота N₂O (4.5 мкм), циан (CN)₂ (4.7 мкм), синильная кислота HCN (4.75 мкм) и др. С помощью комбинированной технологии на основе газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений были получены

узкозонные гетероструктуры, содержащие одиночный слой квантовых точек (КТ) InSb, помещенный в матрицу InAs. В спектрах электролюминесценции при низких температурах наблюдалась полоса излучения в районе 0.270 эВ (4.6 мкм), которая отвечала рекомбинационным переходам с участием собственных состояний КТ InSb. Изменение состава матричного слоя позволяло увеличить поверхностную плотность осаждаемых КТ на порядок ($2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ на InAs и $1.3 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ на слое $\text{In}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}_{0.9}\text{Sb}_{0.1}$). Предложена светодиодная гетероструктура на основе узкозонных соединений в системе In-Ga-As-Sb-P с асимметричными разрывами энергетических зон для барьерных слоев на гетерограницах активной области для минимизации инжекционных потерь при накачке внешним электрическим полем. Использование ступенчатого гетероперехода II типа (InGaAsSb/InSb, InAsSb/InAsSbP) вместо разьединенного (InAs/InSb) позволяет подавлять утечку носителей заряда через гетерограницы активной области.

ПОЛУЧЕНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ AlInGaN/SiC МЕТОДОМ МОСVD ДЛЯ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ, ИЗЛУЧАЮЩИХ В ДИАПАЗОНЕ 450-460 нм

И.И. Марончук, Д.Д. Санникович, М.В. Меженный, А.А. Чельный,
П.С.Рыбин, А.С. Тарасов
АО «Оптрон», ул. Щербаковская 53, Москва, Россия
e-mail: mvmezh@gmail.com

Авторами проведены работы по разработке технологии получения эпитаксиальных гетероструктур на основе твердых растворов AlInGaN на подложке SiC для лазерных диодов, излучающих в непрерывном режиме в диапазоне длин волн 450-460 нм. Обоснован дизайн структуры с определением положения энергетических уровней в квантовых ямах из условия согласования волновой функции внутри и вне ям с построением математической модели для подбора толщины и составов активной области. Решение трансцендентного уравнения осуществлялось с помощью среды Mathcad, расчет параметров волноводных слоев с использованием программы Wave. Определены оптимальные толщины эпитаксиальных структур послойно и составы их твердых растворов, уровни легирования. Проведен комплекс физических экспериментов с подбором оптимальных технологических режимов выращивания, как послойно, так и с получением опытных образцов гетероструктур, по выбранному дизайну, на установке AIXTRON CCS 6X2 методом МОСVD с использованием штатных контрольных систем роста структур *in situ*. Выполнены исследования характеристик полученных структур методами оптической и электронной микроскопии, рентгеновской дифрактометрии и методом Холла. Измерения спектров электролюминесценции гетероструктур показали наличие излучения в диапазоне длин волн 450 ± 5 нм.

ВЫРАЩИВАНИЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ AlInGaN/Al₂O₃ МЕТОДОМ МOCVD ДЛЯ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ В ДИАПАЗОНЕ 510-530 нм

И.И. Марончук, Д.Д. Санникович, М.В. Меженный, А.А. Чельный,
П.С. Рыбин, А.С. Тарасов
АО «Оптрон», ул. Щербаковская 53, Москва, Россия
e-mail: igimar@mail.ru

В работе проведены исследования по разработке технологии получения эпитаксиальных гетероструктур на основе твердых растворов AlInGaN на подложке Al₂O₃ для светоизлучающих диодов имеющих длины волн излучения в диапазоне 510-530 нм. Разработан и обоснован дизайн гетероструктуры, на основе которого проведен теоретический анализ зависимости внешней квантовой эффективности от свойств используемых материалов применяемых при формировании контактных слоев и активной области. Определены оптимальные толщины эпитаксиальных структур послойно и составы их твердых растворов и уровней легирования. Проведен комплекс физических экспериментов с подбором оптимальных технологических режимов выращивания, как послойно, так и с получением опытных образцов гетероструктур, по выбранному дизайну, на установке AIXTRON CCS 6X2 методом МOCVD с использованием штатных контрольных систем роста структур in situ: пирометрическое определение тепловых характеристик ARGUS и измерительного комплекса Laytec EpiCurveTT. Проведены исследования полученных структур на структурное совершенство методами оптической и электронной микроскопии, на состав твердых растворов и структурное совершенство рентгеновской дифрактометрией, а электрофизических параметров методом Холла. Измеренные спектры электролюминесценции опытных гетероструктур показали наличие излучения в диапазоне длин волн 510±5 нм.

ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ YF₃:Nd³⁺ И YF₃:Nd³⁺/Yb³⁺ ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Е.И. Шошева¹, М.С. Пудовкин¹, В.В. Семашко^{1,2}

¹Казанский (Приволжский) Федеральный университет, Казань, Россия

²Физико-технический институт им. В.Н. Завойского, ФГБУ «Казанский научный центр» РАН, Казань, Россия

e-mail: Kate15-05@mail.ru

Наночастицы YF₃: Nd³⁺ (C_{Nd}=0.1, 0.5, 1.0, 2.0 и 5.0 мол.%) и YF₃: Nd³⁺/Yb³⁺ (C_{Nd}=0.5, 1.0 и 5.0 мол.%, C_{Yb}=0.5 мол.%) орторомбической симметрии размером 50 нм были синтезированы традиционным методом совместного осаждения с последующей гидротермальной обработкой и отжигом на воздухе. Оптическое возбуждение проводилось импульсным лазером с длиной волны 355 нм. Время затухания люминесценции ионов Nd³⁺ (⁴F_{3/2}) в образцах YF₃: Nd³⁺ (C_{Nd}=0.5, 1.0, 2.0 мол.%) продемонстрировало нетипичный рост с повышением температуры из-за эффекта пленения излучения. Это явление не наблюдается для образцов YF₃: Nd³⁺ (C_{Nd}=0.1, 5.0 мол.%), поскольку для образца с низкой концентрацией эффект слабый, а для образца с концентрацией ионов Nd³⁺ 5.0 мол.% процессы тушения преобладают над пленением излучения. Эта закономерность повторяется для наночастиц с двойным легированием YF₃: Nd³⁺/Yb³⁺. Были оценены перспективы использования наночастиц с двойным легированием YF₃: Nd³⁺/Yb³⁺ для люминесцентной термометрии методом LIR с использованием пиков люминесценции Nd³⁺ (⁴F_{3/2} → ⁴I_{9/2}) и Yb³⁺ (²F_{5/2} → ²F_{7/2}) и температурных зависимостей кинетики люминесценции. Максимальное значение Sr, рассчитанное с помощью функции LIR, составило около 0.7 %/К при 300 К для образца YF₃: Nd³⁺ (5.0 мол.%), Yb³⁺ (0.5 мол.%), которые являются конкурентоспособными среди мировых аналогов.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНОВ V^{3+} НА ЛОКАЛЬНУЮ СТРУКТУРУ ИОНОВ Yb^{3+} В НАНОЧАСТИЦАХ CeO_2 МЕТОДАМИ ЭПР И ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

А.К. Докудовская¹, О.А. Морозов^{1,2}, С.Л. Кораблева¹, Р.М. Рахматуллин¹,
В.В. Семашко^{1,2}, А.А. Родионов¹, М.С. Пудовкин¹

¹Институт физики, Казанский (Приволжский) Федеральный Университет,
Казань, Россия

²Казанский физико-технический институт КазНЦ РАН, Казань, Россия
e-mail: fyz0561999@gmail.com

Влияние совместного легирования ионами V^{3+} на наночастицы $\text{CeO}_2:0,1\%\text{Yb}^{3+}$ было исследовано методами ЭПР и оптической спектроскопии. Спектры ЭПР ионов Yb^{3+} в наночастицах CeO_2 как легированных, так и не легированных ионами V^{3+} , отожженных при 600°C в течение 4 часов, выявили преимущественно кубические позиции, что указывает на удаленное расположение компенсаторов заряда. Наночастицы CeO_2 , совместно легированные $0,5\% \text{V}^{3+}$, продемонстрировали значительное увеличение количества тригональных позиций ионов Yb^{3+} , что объясняется близостью гидроксильных групп к легированным ионам редкоземельных элементов. Дальнейший отжиг наночастиц $\text{CeO}_2:0,1\%\text{Yb}^{3+}$ и $\text{CeO}_2:0,1\%\text{Yb}^{3+},0,5\%\text{V}^{3+}$ при 1000°C в течение 2 часов вызвал миграцию кислородных вакансий в позиции, соседние с ионами Yb^{3+} , что привело к появлению тригональных позиций ионов Yb^{3+} за счет компенсирующих заряд кислородных вакансий. Количество тригональных позиций, связанных с гидроксильными группами в наночастицах $\text{CeO}_2:0,1\%\text{Yb}^{3+},0,5\%\text{V}^{3+}$, значительно уменьшилось после отжига при 1000°C , что было подтверждено измерениями ИК-спектроскопии (FTIR). Методом люминесцентной спектроскопии идентифицированы эмиссионные линии, соответствующие позициям ионов Yb^{3+} с высокой и низкой симметрией, что согласуется с результатами ЭПР. Кроме того, люминесцентные измерения показали, что совместное легирование V^{3+} изменяет люминесценцию Yb^{3+} в наночастицах CeO_2 . Исследование указывает на то, что внедрение V^{3+} изменяет локальное окружение ионов Yb^{3+} , влияя тем самым на их оптические и структурные свойства.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВОЙ ЦЕПИ ЛАЗЕРНОГО ДИОДА

А.А. Бекман^{1,2}, А.Е. Черняков¹, А.Л. Закгейм¹

¹НТЦ Микроэлектроники РАН, Санкт-Петербург, Россия

²ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: spbgate21@gmail.com

Работа посвящена экспериментальному определению элементов тепловой цепи мощных лазерных диодов, где тепловые процессы ограничивают выходные характеристики. Анализ выполнен на основе дифференциальных структурных функций, полученных методом релаксации прямого напряжения на $p-n$ переходе с использованием прибора Thermal Transient Tester T3Ster.

Из структурных функций извлечены значения теплового сопротивления и теплоёмкости всех элементов тепловой цепи конструкции лазерного диода, включая теплоотвод, припой, металлизацию и отдельные слои лазерной гетероструктуры. Исследованы образцы с различной ориентацией кристалла (p -вверх и p -вниз). Показано, что переворот кристалла приводит к кратному увеличению теплового сопротивления за

счёт удлинения теплового пути через подложку. Сравнение теплового сопротивления и теплоёмкости для двух конфигураций с заведомо различными тепловыми путями позволяет однозначно идентифицировать вклад отдельных слоёв.

Измерения проведены в режимах спонтанного излучения и лазерной генерации на двух различных токах. В режиме спонтанного излучения практически вся приложенная электрическая мощность переходит в тепло, тогда как в режиме лазерной генерации значительная часть мощности уходит через зеркала резонатора в виде полезного оптического излучения. Установлено, что измеряемое тепловое сопротивление зависит от режима работы вследствие изменения локализации источников тепла относительно $p-n$ перехода.

НЕДЕГРАДИРУЮЩИЕ ГКР-АКТИВНЫЕ ПОДЛОЖКИ НА ОСНОВЕ ТОНКИХ СПЛАВНЫХ ПЛЕНОК МЕДЬ/СЕРЕБРО НА МАКРОПОРИСТОМ КРЕМНИИ ДЛЯ ПЛАЗМОННОЙ СЕНСОРИКИ

Д.Д. Лапутько¹, А.А. Бурко¹, А.В. Бондаренко¹, С.В. Дубков², С.А. Гаврилов²

¹*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
Минск, Республика Беларусь*

²*Научно-исследовательский университет «Московский институт электронной
техники», Зеленоград, Москва, Российская Федерация
email: d.laputko@bsuir.by*

Спектроскопия гигантского комбинационного рассеяния (ГКР) – активно развивающийся высокочувствительный метод молекулярного экспресс-анализа жидких сред при помощи плазмонных наноструктур. Несмотря на лидерство благородных металлов в плазмонике, отдельный интерес представляет медь благодаря плазмонному резонансу в красной области и низкой себестоимости. Однако, наноструктуры меди быстро окисляются за счет высокой удельной энергии их поверхности, что негативно сказывается на стабильности оптических параметров и сроке годности сенсоров. Успешное применение меди в ГКР-спектроскопии требует формирования наноструктур, где этот металл не контактирует с воздухом вплоть до момента анализа. В нашей работе показано, что перспективным решением этой проблемы являются сплавные пленки Cu-Ag, из которых вытравливается серебро непосредственно перед нанесением аналита. Пленки Cu-Ag толщиной 380 нм формировались магнетронным распылением на поверхности окисленного макропористого кремния. Перед нанесением аналита из раствора 10^{-6} M R6G образцы погружались на 1-5 мин в смесь HCl/C₃H₈O (1:1) для удаления серебра. Затем были зарегистрированы ГКР-спектры аналита на микроскопе-спектрометре Confotec NR500 с использованием объектива 100× и лазера 633 нм. Установлено, что при выдержке полученных подложек на воздухе в течение 15 ч интенсивность полосы 1360 см^{-1} ГКР-спектра уменьшается в 4 раза, а по истечении 20 ч ГКР-активность пропадает. Для нивелирования этого эффекта разработаны режимы дополнительной обработки подложек в смеси H₃PO₄/H₂O (1:99).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №24-19-00610, <https://rscf.ru/project/24-19-00610/>.

ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ С КВАНТОВОЙ ЯМОЙ InGaAs/GaAs/AlGaAs, ВЫРАЩЕННОЙ НА Si ПОДЛОЖКЕ

М.И. Кондратов, С.О. Слипченко, В.В. Шамахов, Д.Н. Николаев, А.Е. Гришин,
Д.С. Смарагдов, Н.А. Пихтин
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: mikondratov@mail.ioffe.ru

Методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений была выращена на подложке Si светоизлучающая гетероструктура с квантовой ямой InGaAs/GaAs/AlGaAs, с использованием GaAs буферного слоя. Для исследования светоизлучающих свойств были использованы выколотые из структуры кристаллы, размерами 500x500 мкм², напаянные *p*-стороной на медные теплоотводы. Продемонстрирована электролюминесценция выращенной инжекционной гетероструктуры при комнатной температуре в режимах импульсной (длительность импульса 50 – 1000 нс, плотность тока накачки 2.8 – 4 кА/см²) и непрерывной накачки током (плотность тока накачки 2 А/см²). Максимум спектра электролюминесценции соответствует 1017 нм и его положение не зависит от длительности импульса. Однако, при длительности импульса 1000 нс, возникает дополнительный пик на длине волны 905 нм. Проведенные исследования в будущем могут быть использованы для создания источника лазерного излучения, монолитно выращенного на подложке Si.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ РАЗБАВЛЕННЫХ НИТРИДОВ GaPN(As), ВЫРАЩЕННЫХ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНО-ПУЧКОВОЙ ЭПИТАКСИИ НА ПОДЛОЖКАХ КРЕМНИЯ

Е.В. Никитина^{1,2}, К.Ю. Шубина¹, С.Н. Хруль¹, О.А. Синицкая¹, Е.В. Пирогов¹,
М.С. Соболев¹, А.К. Кавеев²
¹*СПбАУ РАН им. Ж.И. Алферова, Санкт-Петербург, Россия*
²*ФТИ им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия*
e-mail: mail.nikitina@mail.ru

В настоящей работе проведено исследование гетероструктур на основе разбавленных нитридов с мольной долей азота на уровне нескольких процентов методами сканирующей электронной микроскопии, фотолюминесценции и рентгеновской дифрактометрии. Гетероструктуры были выращены методом молекулярно-пучковой эпитаксии на подложках Si(100) с разориентацией 4°. В качестве буферного слоя использовались слои низкотемпературного GaP. Активная область исследуемых гетероструктур представляла собой объемные GaPN и GaPNAs слои, а также GaPN/GaPNAs сверхрешетки. Для *p-i-n* гетероструктур на основе твердых растворов GaPN и GaPNAs в работе представлены исследования фотоэлектрических свойств.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант № 23-79-00032.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАСКИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ РОСТА GaAs ПРИ СЕЛЕКТИВНОЙ ЭПИТАКСИИ

А.Е. Гришин, А.Е. Маричев, В.В. Шамахов, М.И. Кондратов, Д.С. Сорокин,
Д.С. Смарагдов, Н.В. Шувалова, С.О. Слипченко, Н.А. Пихтин
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: ar.grish@mail.ioffe.ru

С целью разработки технологии создания фотонных интегральных схем проведено моделирование вариативности скорости роста при гомоэпитаксии GaAs/GaAs методом селективной газофазной эпитаксии с использованием металлоорганических соединений. Исследовалось влияние формы маски на пространственное распределение скорости осаждения GaAs в рамках концентрационной модели газофазной диффузии. Форма маски из диэлектрического материала варьировалась таким образом, чтобы обеспечить минимальный перепад скорости роста в окне. При этом окно во всех моделях оставалось неизменно и составляло 10x10 мкм. Результаты расчета демонстрируют разность пространственного распределения скорости роста в латеральном направлении между диагональю квадратного окна и линий, проходящих через центр окна. Минимального перепада скорости роста для данного окна можно добиться, используя маску квадратной формы, в которой вершины являются перпендикулярами к сторонам окна и делят эти стороны поровну. При этом длина этой нормали составляет 10 мкм. Обнаружена зависимость изменения скорости роста от линейного размера маски. Показано, что усиление скорости роста прямо пропорционально расстоянию между вершиной и краем маски в диагональном направлении. Уменьшение этого расстояния может позволить использовать все преимущества селективной эпитаксии с минимальной неоднородностью толщины материала внутри ростового окна.

ПОВЫШЕНИЕ ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ И СТАБИЛЬНОСТИ БЕЛЫХ СВЕТОДИОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРОВСКИТНЫХ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК, ИНКАПСУЛИРОВАННЫХ В СТЕКЛЕ И СЛОЕМ SiO₂

Е.С. Тон¹, Л.Н. Сурвило¹, Н.Н. Грушко¹, Ю.В. Трофимов¹, С. Zheng²,
J. Fan², С.И. Лишик¹

¹Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси», 220090 Минск,
Республика Беларусь

²Фуданьский университет, 200433 Шанхай, Китай
e-mail: rnd@ledcenter.by

В работе исследована возможность повышения индекса цветопередачи (CRI) белых светодиодов (СИД) путём добавления перовскитных квантовых точек (КТ) CsPb(Br_{0.25}I_{0.75})₃, синтезированных в стеклянной матрице («КТ-в-стекле»). Целью являлось улучшение спектральных характеристик за счёт компенсации дефицита красной составляющей, характерного для стандартных белых СИД на основе YAG:Ce³⁺. КТ синтезировали методом высокотемпературной плавки в стекле, затем стекло измельчали до частиц 20–50 мкм. Часть материала дополнительно инкапсулировали методом плазменно-стимулированного атомно-слоевого осаждения (PEALD) слоем SiO₂. Смесь порошка КТ-в-стекле с силиконовой смолой (концентрации 10 и 20 % по массе) наносили на белые СИД с коррелированной цветовой температурой 3000 и 5000 К. Спектральные

измерения проводили на системе CAS 140D с интегрирующей сферой при 25 °С и токе 100 мА. КТ $\text{CsPb}(\text{Br}_{0,25}\text{I}_{0,75})_3$ обеспечивали дополнительный пик фотолюминесценции в красной области с максимумом ~648 нм. Максимальный прирост CRI составил 21,5 % (с 73,0 до 88,7) для неинкапсулированных КТ и 19,9 % для КТ с PEALD-покрытием. При испытаниях на старение в течение 7 ч скорость деградации CRI у образца с PEALD-покрытием оказалась на 28 % ниже, чем у необработанного аналога. Прогнозное время снижения CRI до 95 % от начального значения (t_{95}) для образца с покрытием составило ~35,5 ч, что более чем в 2 раза превышает показатель для необработанного КТ (~16 ч). Снижение общего светового потока за 7 ч не превысило 1 %, что подтверждает деградацию именно КТ, а не кристалла или матрицы. Результаты демонстрируют эффективность использования перовскитных КТ-в-стекле для значительного повышения CRI белых светодиодов, а PEALD-инкапсуляция SiO_2 обеспечивает замедление деградации CRI в процессе эксплуатации, что перспективно для создания стабильных устройств с высоким качеством цветопередачи.

СТЕКЛОЛЮМИНОФОРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ, УСТОЙЧИВЫЕ К ЛАЗЕРНОМУ ВОЗБУЖДЕНИЮ ДО 18 Вт/мм²

С.И. Лишик¹, В.И. Цвирко¹, Н.Н. Грушко¹, Л.Н. Сурвило¹,
Е.С. Тон¹, Ю.В. Трофимов¹, S. Zhang², C. Ji², Z. Liu²

¹Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси», 220090 Минск,
Республика Беларусь

²Shandong Energy Research Institute, Jinan, China
e-mail: rnd@ledcenter.by

В работе изготовлены и исследованы стеклолюминофорные преобразователи на основе стеклянной матрицы (марка SCHOTT) и смеси люминофоров с максимумами излучения 520, 555 и 650 нм. Концентрация люминофорной смеси варьировалась в пределах 20–40 мас.%. Целью работы являлось исследование возможности создания преобразователей, устойчивых к лазерному возбуждению, и их применение для преобразования излучения лазеров с длиной волны 440–450 нм. Для этого методом трафаретной печати на подложки из поликора наносилась люминофорная композиция, содержащая в качестве связующего 4%-ный раствор этилцеллюлозы в терпинеоле. Многоступенчатая термообработка образцов проводилась в печи ЭКСП–10 в оптимальном для используемой стеклянной матрицы режиме. Спектрально-световые характеристики измерялись с помощью спектрорадиометра SPECTRO320 и интегрирующей сферы ISP500. Изготовленные преобразователи демонстрируют устойчивость к лазерному возбуждению мощностью до 18 Вт/мм². При данной мощности плотности возбуждения световой поток составил 300–350 лм, индекс цветопередачи (CRI) – 80–82, коррелированная цветовая температура (КЦТ) – 4500–5000 К. Важно отметить, что при достигнутой мощности накачки сохраняется линейная зависимость светового потока от мощности возбуждения, что указывает на отсутствие насыщения люминесценции и потенциал для работы при более высоких плотностях мощности. Результаты демонстрируют высокую устойчивость разработанных стеклолюминофорных преобразователей к лазерной накачке. Дальнейшие исследования предполагают использование более мощных лазерных источников для определения предельных эксплуатационных характеристик. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта № Ф24КИТГ-010 (ГКНТ–Китай).

СТЕКЛОЛЮМИНОФОРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ 3D-МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ БЕЛОГО СВЕТА С ЛАЗЕРНОЙ НАКАЧКОЙ

С.И. Лишик¹, Д.В. Град¹, Н.Н. Грушко¹, Л.Н. Сурвило¹,
Д.А. Асиненко¹, А.В. Прохоцкий², S. Zhang³, C. Ji³, Z. Liu³

¹Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси», 220090 Минск,
Республика Беларусь

²ООО «Тридэхаб», 223060 Минск, Республика Беларусь

³Shandong Energy Research Institute, Jinan, China

e-mail: rnd@ledcenter.by

Проведено термомеханическое моделирование стеклолюминофорных преобразователей (СЛП) на микроструктурированных (массив микроштырьков диаметром 28,8 мкм, высотой 10–150 мкм) и плоских металлических подложках. Установлено, что микроструктурированная подложка снижает максимальную рабочую температуру СЛП до 150 °С по сравнению с плоской. В плоской подложке механические напряжения в люминофорном слое превышают предел прочности стекла, тогда как на микроструктурированной остаются низкими. Увеличение зазора между микроштырьками ведёт к росту напряжений. Протестированы два метода изготовления микроструктурированных подложек: 3D-печать металлом и лазерная микрообработка. Изготовлены медные подложки с микроштырьками квадратного сечения (40×40 мкм, высота 20 мкм). На поверхность подложек нанесена стеклолюминофорная композиция на основе боросиликатного стекла и смеси люминофоров YAG, LuAG и CASN. Спекание проведено в инертной атмосфере при ~700 °С. Экспериментально подтверждена устойчивость образцов к удельной мощности лазерной накачки до 13 Вт/мм². Разработанные СЛП перспективны для использования в сверхъярких источниках белого света с лазерной накачкой. Работа выполнена при поддержке проекта ГКНТ-БРФФИ №Ф24КИТГ-010.

СТЕКЛОЛЮМИНОФОРНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ОСНОВЕ 3D-МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ БЕЛОГО СВЕТА С ЛАЗЕРНОЙ НАКАЧКОЙ

С.И. Лишик¹, Д.В. Град¹, Н.Н. Грушко¹, Л.Н. Сурвило¹,
Д.А. Асиненко¹, А.В. Прохоцкий², S. Zhang³, C. Ji³, Z. Liu³

¹Государственное предприятие «ЦСОТ НАН Беларуси», 220090 Минск,
Республика Беларусь

²ООО «Тридэхаб», 223060 Минск, Республика Беларусь

³Shandong Energy Research Institute, Jinan, China

e-mail: rnd@ledcenter.by

Проведено термомеханическое моделирование стеклолюминофорных преобразователей (СЛП) на микроструктурированных (массив микроштырьков диаметром 28,8 мкм, высотой 10–150 мкм) и плоских металлических подложках. Установлено, что микроструктурированная подложка снижает максимальную рабочую температуру СЛП до 150 °С по сравнению с плоской. В плоской подложке механические напряжения в люминофорном слое превышают предел прочности стекла, тогда как на микроструктурированной остаются низкими. Увеличение зазора

между микроштырьками ведёт к росту напряжений. Протестированы два метода изготовления микроструктурированных подложек: 3D-печать металлом и лазерная микрообработка. Изготовлены медные подложки с микроштырьками квадратного сечения (40×40 мкм, высота 20 мкм). На поверхность подложек нанесена стеклолюминофорная композиция на основе боросиликатного стекла и смеси люминофоров YAG, LuAG и CASN. Спекание проведено в инертной атмосфере при ~700 °С. Экспериментально подтверждена устойчивость образцов к удельной мощности лазерной накачки до 13 Вт/мм². Разработанные СЛП перспективны для использования в сверхъярких источниках белого света с лазерной накачкой. Работа выполнена при поддержке проекта ГКНТ-БРФФИ №Ф24КИТГ-010.

ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННЫЙ МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ МЕТАЛЛОВ И КРЕМНИЯ

В.Г. Корнев¹, М.И. Неделько¹, В.В. Малютина-Бронская², А.В. Данильчик¹,
Е.В. Луценко¹, Н.В. Тарасенко¹

¹Институт физики НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника» НАН Беларуси, Минск,
Республика Беларусь

e-mail: v.kornev@ifanbel.bas-net.by

В настоящей работе обсуждается несколько схем формирования гетероструктур, комбинирующих слои из лазерно-синтезированных наночастиц с различным типом проводимости. В частности, для использования в качестве активного слоя фотодетектирующего устройства сформированы гетероструктуры $n\text{-ZnO}/p\text{-CuO}$, а также $n\text{-ZnO}/p\text{-Cu}_2\text{O}$ на подложках из оксида индия-олова (ITO). Для подтверждения потенциальных фотоэлектрических применений полученных структур измерялись их вольт-амперные характеристики в условиях наличия и отсутствия освещения. Установлено, что гетероструктура $n\text{-ZnO}/p\text{-CuO}$ проявляет нелинейное диодоподобное поведение. Нелинейная вольт-амперная характеристика перехода $n\text{-ZnO}/p\text{-CuO}$ типична для р-п гетеропереходов, и поэтому можно предположить, что такое поведение обусловлено интерфейсом между $p\text{-CuO}$ и $n\text{-ZnO}$. Увеличенный ток, наблюдаемый при освещении двухслойной структуры, указывает на фоточувствительную природу структуры. Другая возможность формирования пленочных структур на подложке ITO продемонстрирована посредством последовательного лазерного распыления мишеней из прессованных порошков оксидов меди и цинка в вакуумной камере.

Методы лазерного распыления мишени из прессованного порошка оксида цинка, а также осаждения коллоидного раствора НЧ ZnO применялись также для формирования пленки оксида цинка на поверхности кремниевой подложки с дырочной проводимостью. Установлены электрофизические и спектральные характеристики полученных структур $\text{SiSn}/p\text{-Si}$ и $\text{ZnO}/p\text{-Si}$ для оценки их потенциала в качестве компонентов фотовольтаических (фотодетекторных) устройств. Сформированные тестовые образцы продемонстрировали диодоподобное поведение фоточувствительного характера в спектральном диапазоне (400 – 1100 нм), что свидетельствует о потенциальной возможности их использования в оптоэлектронных устройствах.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

И.В. Галушка, В.В. Галушка, О.В. Коренченко, А.В. Кулаков, А.Н. Миряха,
В.А. Панарин, С.Н. Соколов
ООО «НПП «Инжект», Саратов, Россия
e-mail: s.sokolov@nppinject.ru

Сообщается о новых видах лазерных модулей непрерывного и квазинепрерывного режима работы, излучающих в диапазоне длин волн 800–1064 нм. Перспективные области применений – накачка лазерных систем, прямая обработка материалов излучением мощных полупроводниковых лазеров, медицинские и косметологические системы, научные исследования.

Приведен обзор промышленных применений технологий лазерной обработки материалов на основе мощного многолучевого полупроводникового технологического лазера PLD-6 с выходной мощностью 6 кВт, разработанного и выпускаемого в НПП «Инжект». Оптическая система многолучевого лазера формирует прямоугольное пятно лазерного воздействия с большими размерами ~ 22x2 мм без использования сканера. Лазер обеспечивает регулировку профиля интенсивности в пятне воздействия без сканера. В результате лазерного термоупрочнения деталей - распредвала, роликов прокатного стана, штока плунжерного насоса микротвердость поверхности деталей, изготовленных из стали 40Х увеличивается с 15 HRC до 57 HRC. Износостойкость металла в упрочненной зоне увеличивается в 1,5-5 раз в зависимости от условий эксплуатации деталей. Проведена наплавка металлическим порошком поверхностей валов, режущих ножей сельхозмашин. Начался серийный выпуск роботизированной установки лазерной пайки на основе полупроводникового лазерного модуля для автоматизированного массового производства РЭА.

Работа по внедрению лазерных технологий обработки материалов проводится в рамках проекта, под эгидой Евразийской Экономической Комиссии, ООО «НПП «Инжект» совместно с ФТИ НАН, г. Минск, Республика Беларусь и Северо-Казахстанским университетом им. М. Козыбаева, г. Петропавловск, Республика Казахстан.

СИСТЕМА СКОРОСТНОЙ ФОТОРЕГИСТРАЦИИ ЛАЗЕРНОЙ ПЛАЗМЫ С НАНОСЕКУНДНЫМ ВРЕМЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

А.В. Горунович¹, Д.Н. Григорьев², К.Ф. Ермалицкая¹, А.А.Зотов², М.Н. Коваленко¹,
В.Ф. Казанин², К.В. Козадаев¹, Е.А. Чесновская¹

¹Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

²Институт ядерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия

e-mail: kovalenkom@bsu.by

В настоящей работе обсуждается созданная нами аппаратура для изучения процессов плазмообразования и разлета продуктов при абляции образцов одиночными и сдвоенными лазерными импульсами наносекундной длительности в атмосфере воздуха. В качестве регистрирующей фотоприемной матрицы используется фотоматрица "КМОП 1300" формата 1280x1024 ячеек размером 13x13 мкм. Особенностью фоточувствительных ячеек фотоматрицы, позволивший реализовать режим фотографирования изображения с наносекундным временным разрешением является возможность остановить цикл чтения накопленных фотодиодами и микроконденсаторами зарядов в состоянии сброса их до темнового уровня. После появления сигнала запуска фотографирования, состояние сброса

снимается на время экспозиции снимка и заменяется состоянием чтения фотоячеек. В дальнейшем фотоячейки могут быть опрошены мультиплексорами чтения кадра для получения снимка регистрируемого процесса. Система использовалась для регистрации процесса образования лазерной плазмы, измерения скорости вылета продуктов при одно и двухимпульсном возбуждении. Получено минимальное время экспозиции 50 нс. с программируемой задержкой начала регистрации кадра относительно сигнала запуска фотографирования с шагом 10 нс.

ЛАЗЕРЫ НА NV-ЦЕНТРАХ В АЛМАЗЕ: ХАРАКТЕРИСТИКИ И ОСОБЕННОСТИ

Д.Е. Генин¹, Е.И. Липатов^{1,2}, П.Е. Комарова^{1,2}, В.Г. Винс³

¹*Институт сильноточной электроники, Томск, Россия*

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Томск, Россия*

³*ООО «Велман», Новосибирск, Россия
e-mail: de.genin@hcei.ru*

Алмаз обладает целым рядом уникальных физических свойств, в частности, высокой теплопроводностью и малым коэффициентом температурного расширения. Это делает его перспективным материалом для изготовления активных элементов твердотельных лазеров: такое сочетание свойств позволяет в перспективе создавать лазеры с высоким уровнем средней мощности. Алмаз является непрямозонным материалом, в связи с чем изготовление алмазных светоизлучающих устройств возможно только на основе образцов, содержащих центры окраски, которые создают локальные уровни внутри запрещённой зоны. Примером таких центров окраски являются NV-центры, где N – атом азота в замещающей позиции, V – стоящая в соседнем узле решётки вакансия. В настоящее время алмазы с NV-центрами широко используются в исследованиях по квантовым технологиям, в частности по квантовой магнитометрии.

За последние несколько лет был достигнут значительный прогресс в развитии лазеров на основе алмазов с NV-центрами. Доклад посвящён описанию основных особенностей таких лазеров, а также обзору достигнутых параметров, перспектив совершенствования данного класса устройств и их практического применения.

Исследование проведено при поддержке РФФ, проект № 25-29-00702.

ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ НЕПРЕРЫВНЫХ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ РЕШЕНИЙ

В.Э. Кисель, А.И. Лазарчук, А.С. Ясюкевич

НИЦ ОМТ, Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

e-mail: vekisel@bntu.by

Большинство работ, посвященных разработке теоретических моделей непрерывных волоконных лазеров используют систему уравнений, в которых рассматривается эволюция мощностей излучения накачки и генерации, распространяющихся в резонаторе лазера навстречу друг другу. Эта система уравнений представляет собой краевую задачу с

двумя граничными условиями, которые не являются независимыми друг от друга. Сходимость решений в методах, которые обычно применяются для решения такой задачи, в значительной степени зависит удачного выбора начального граничного значения мощности генерируемого излучения. Нами разработана численная модель непрерывных волоконных лазеров, где учитывается пространственное распределение интенсивностей излучения накачки и генерируемого излучения, а также населенностей лазерных уровней. Алгоритм вычислений устойчив к выбору начального значения мощности генерируемого излучения на одной из границ волокна. Устойчивость решений свидетельствует о том, что предложенная модель отражает существенную особенность непрерывных лазеров, а именно, наличие отрицательной обратной связи в режиме генерации – насыщение усиления в активной среде, которая и обуславливает выход лазера в стационарный режим, в котором обеспечивается равенство усиления и потерь. Показано, также что предложенная модель позволяет эффективно рассчитывать характеристики как иттербиевых и неодимовых волоконных лазеров с двойной оболочкой, так и иттербиевых одномодовых лазеров.

Программа и тезисы докладов
3-й Международной конференции
**ЛАЗЕРЫ, ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ И
СИСТЕМЫ НА ИХ ОСНОВЕ**
25 - 29 мая 2026 г., Минск, Беларусь

3-d International Scientific Conference
LASERS, SEMICONDUCTOR EMITTERS AND SYSTEMS
(LSES Minsk 2026)
Minsk, 2026, May 25–29

Лазеры, полупроводниковые излучатели и системы на их основе : прогр. и тез. докл. 3-й Междунар. конф., Минск, 25 - 29 мая 2026 г. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.] ; под ред. Г.И. Рябцева, З.Н. Соколовой, Е.А. Невар. – Минск : Институт физики НАН Беларуси, 2026. – 80 с.

Lasers, semiconductor emitters and systems: program and book of abstracts of 3d Int. conf., Minsk, May 25 - 29, 2026 / Nat. Acad. of Sciences of Belarus [and others]; edited by G.I. Ryabtsev, Z.N. Sokolova, A.A. Nevar. – Minsk: Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Belarus, 2026. – 80 p.

Подписано к печати 19.05.2026 г.
Тип бумаги: офисная.
Объём: 9.45 печ. л
Заказ №

Формат 60x84 1/8.
Печать: ризография.
Тираж: 90 экз.

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ НАН Беларуси
220072 Минск, пр. Независимости, 68-2
Отпечатано на ризографе ИНСТИТУТА ФИЗИКИ НАН Беларуси



Контакты:



ises2026@ifanbel.bas-net.by



+ 375 (17) 270-83-98
+ 375 (17) 270-80-19