

ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ П.Н. ЛЕБЕДЕВА РАН

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ЖУРНАЛ «КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

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

*Памяти выдающегося российского физика
Петра Георгиевича Елисеева*

Москва 23-25 ноября 2021 года

*Программа
Сборник тезисов докладов*

Москва

ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ П.Н. ЛЕБЕДЕВА РАН

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

ЖУРНАЛ «КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

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

*Памяти выдающегося российского физика
Петра Георгиевича Елисеева*

Москва 23-25 ноября 2021 года

*Программа
Сборник тезисов докладов*

Москва

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

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур. 23-25 ноября 2021 года. Программа. Сборник тезисов докладов. Москва, ФИАН, 2021.– 112 с.

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

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

Тезисы издаются в авторской редакции

ISBN

© Физический институт им. П.Н. Лебедева
РАН, 2021

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

О симпозиуме

Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур (КОИПСС) является регулярным научным форумом, в котором участвуют сотрудники ведущих научных учреждений, работающие по современным направлениям фундаментальных исследований в области когерентного оптического излучения полупроводниковых соединений и структур.

VIII Симпозиум КОИПСС-2021 посвящен памяти выдающегося российского физика Петра Георгиевича Елисеева.

К рассматриваемым на КОИПСС-2021 разделам относятся: полупроводниковые лазеры на гетероструктурах, с оптической и электронной накачкой, униполярные полупроводниковые лазеры, исследование мощного когерентного излучения инжекционных лазеров, перспективные направления создания оптических когерентных источников, лазерные технологии, включая биомедицинские применения и др. Предусмотрено проведение круглого стола «Технологии фотоинактивационного воздействия на вирусы и бактерии».

Участие ученых Москвы, Владивостока, Нижнего Новгорода, Самары, Санкт-Петербурга, а также иностранных коллег из стран СНГ и дальнего зарубежья в работе Симпозиума позволяет представить результаты на широкое научное обсуждение и поставить новые научные цели в области изучения фундаментальных основ когерентного оптического излучения полупроводниковых структур.

Место проведения

VIII Международного симпозиума по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур КОИПСС-2021 - Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН.

Даты работы КОИПСС-2021: с 23 по 25 ноября 2021г.

Рабочий язык: русский и английский

Научная программа

Программа симпозиума состоит из пленарных и приглашенных докладов, круглого стола и стендовых докладов. Тема круглого стола КОИПСС-2021 «Технологии фотоинактивационного воздействия на вирусы и бактерии».

Организаторы симпозиума

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

Состав программного и организационного комитета

Председатель — академик О.Н. Крохин (ФИАН)

Зам. председателя — И.Н. Завестовская (ФИАН, НИЯУ МИФИ)

Ответственный секретарь — М.С. Григорьева (НИЯУ МИФИ, ФИАН)

Члены

Алещенко Ю.А. (ФИАН, НИЯУ МИФИ)
Безотосный В.В. (ФИАН)
Каргин Н.И. (НИЯУ МИФИ)
Котова С.П. (СФ ФИАН)
Кочаровский В.В. (ИПФ РАН)
Кульчин Ю.Н. (ДВО РАН)
Лебедев В.С. (ФИАН, МФТИ)
Макаров В.А. (МГУ)
Микаелян Г.Т. (ООО «Лассард»)
Пихтин Н.А. (ФТИ РАН)
Попов Ю.М. (ФИАН)
Семенов А.С. (Журнал «Квантовая Электроника»)
Стародуб А.Н. (ФИАН)
Шастин В.Н. (ИФМ РАН)

Члены локального оргкомитета

Фроня А.А., руководитель (НИЯУ МИФИ, ФИАН)
Алыкова А.Ф. (НИЯУ МИФИ)
Бреви В.С. (ФИАН)
Григорьев А.А. (ФИАН, НИЯУ МИФИ)
Шестухина А.А. (ФИАН)

Контакты:

Сайт Симпозиума: <https://corscs.lebedev.ru/>

E-mail: corscs@lebedev.ru

О Елисееве Петре Георгиевиче

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур (КОИПСС-2021) посвящен памяти выдающегося российского физика Петра Георгиевича Елисева.

Петр Георгиевич Елисеев (03.02.1936 – 15.01.2021 гг.), доктор физико-математических наук, профессор – выдающийся советский и российский физик, достижения которого в области полупроводниковых лазеров признаны и высоко оценены российским и мировым научным сообществом.

Петр Георгиевич Елисеев родился в г. Ленинграде, СССР. Окончил физический факультет МГУ в 1959 г. Получил степень кандидата наук в 1965 году и степень доктора наук в 1974 году в Физическом институте им. П.Н. Лебедева Академии наук СССР, г. Москва, Россия. В 1981 году он возглавил лабораторию инжекционных лазеров Отделения квантовой радиофизики ФИАН

С 1995 по 2015 год П. Г. Елисеев работал профессором — исследователем в Центре высокотехнологичных материалов (Департамент ЕЕСЕ) Университета Нью-Мексико, г. Альбукерке, штат Нью-Мексико, США

Областями исследований П.Г. Елисеева были физика полупроводников, лазерная физика и оптоэлектроника. Пионерские работы П.Г. Елисеева в области полупроводниковых лазеров:

В 1968 году была впервые получена лазерная генерация в материалах GaAsP, InP, InGaAs, InAsP. В 1970 году — реализован первый CW лазерный диод комнатной температуры и была разработана теория волноводов для лазеров на гетеропереходах.

Была продемонстрирована лазерная генерация в системах InGaAsP/InP (1974 г.), AlGaAsSb/GaSb (1976 г.) и — в системах InGaAsSb/GaSb в 1978 году. В 1974-1985 годах были получены результаты по нелинейным эффектам в лазерных диодах, включая первое наблюдение асимметричного нелинейного взаимодействия спектральных мод.

В 1984 г. в составе авторского коллектива П.Г. Елисеев был удостоен Государственной премии СССР.

В 1995-2005 годах он работал над излучательными процессами в гетероструктурах на основе InGaN/GaN; лазерами с кольцевыми резонаторами с интегральной оптикой; исследованием спектров биения мод лазерных диодов; исследованием спектральных возмущений в полупроводниковых лазерах и генерацией медленного/быстрого света; исследованием полупроводниковых лазеров с квантовыми точками; квантовых каскадных лазеров.

В 2004 году он получил премию Н. Холоняка от Оптического общества Америки (OSA) за вклад в область развития физики полупроводниковых лазеров.

Научные труды П.Г. Елисеева опубликованы в более, чем 550 трудах, включая 3 авторские монографии и множество глав в различных книгах.

П.Г. Елисеев был членом-корреспондентом Российской академии естественных наук (1992 г.), членом Московского физического общества, членом международных организаций IEEE и SPIE, членом редколлегии журналов «Квантовая электроника», «Soviet Lighwave Communications», «Радиотехника и электроника», членом Консультативного совета Международного журнала “Оптоэлектронные обзоры”, членом организационных комитетов большого количества международных конференций в области полупроводниковых лазеров и оптоэлектроники.

За годы своей научной деятельности П.Г. Елисеев создал свою научную школу, в которую вошли российские и иностранные ученые – 22 кандидата и PhD и 10 докторов физико-математических наук.

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

Программа

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

23 Ноября, Вторник
Колонный зал Главного корпуса ФИАН,
Москва, Ленинский, 53

09.30 – 11.00

Регистрация участников.

11.00 – 11.20

Открытие Симпозиума.
Памяти Петра Георгиевича Елисеева
Семинар 1 - Председатель И.Н. Завестовская

11.20 – 12.00

Геворк Татевосович Микаелян
ООО «НПП «Инжект», ООО «Лассард»
Пленарный доклад «Мощные инъекционные лазеры и лазерные системы: разработка и производство»

12.00 – 12.40

Юрий Николаевич Кульчин
ИАПУ ДВО РАН
Пленарный доклад «Artificial Intelligence Technologies for Laser Additive Manufacturing»

12.40 – 13.20

Никита Александрович Пихтин
ФТИ им. А.Ф. Иоффе
Пленарный доклад «Современные инъекционные торцевые лазеры 630-1950 нм длин волн»

13.20 – 13.50

Геннадий Иванович Рябцев
Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси
Приглашенный доклад «Эрбиевые и неодимовые излучатели с поперечной накачкой лазерными диодными линейками и матрицами: проблема эффективности и надежности»

13.50 – 15.00

Обед

Семинар 2 - Председатель С.О. Слипченко

15.00 – 15.30

Александр Анатольевич Мармалюк
АО "НИИ "Полнос" им. М.Ф. Стельмаха"
Приглашенный доклад «Лазерные гетероструктуры повышенной эффективности»

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

15.30 – 16.00

Владимир Петрович Дураев
АО "Нолатех"

Приглашенный доклад «Перестраиваемые одночастотные
полупроводниковые лазеры с длиной волны излучения
630...1650 нм»

16.00 – 16.30

Валерий Николаевич Шастин

Институт физики микроструктур РАН

Приглашенный доклад «Far infrared lasing based on silicon»

16.30 – 17.00

Владимир Владиленович Кочаровский

Институт прикладной физики РАН

Приглашенный доклад «Неравновесный сверхизлучательный фазовый переход и нарушение зеркальной симметрии состояний активной среды и поля в низкодобротном резонаторе»

17.00 – 17.30

Левон Володяевич Асрян

Политехнический институт и государственный универси-
тет штата Вирджиния

Приглашенный доклад «Прямая токовая модуляция выходного излучения лазеров на квантовых точках»

18.00 – 20.00

Товарищеский ужин

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

24 Ноября, Среда

Круглый стол

«Технологии фотоинактивационного воздействия на вирусы и бактерии»

Колонный зал Главного корпуса ФИАН,

Москва, Ленинский, 53

09.30 – 10.30

Регистрация участников.

Семинар 3 - Председатель И.Н. Завестовская

10.30 – 11.00

Приветствие

11.00 – 11.30

Владимир Алексеевич Гуцин

НИЦЭМ им. Н.Ф. Гамалеи Минздрава РФ

Приглашенный доклад «Средства и технологии противодействия пандемии COVID-19»

11.30 – 12.00

Валерий Викторович Тучин

Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

Приглашенный доклад «Оптическое просветление тканей как новый подход в антимикробной и противогрибковой фототерапии»

12.00 – 12.30

Игорь Руфаилович Набиев

Реймский университет Шампань-Арденн, НИЯУ МИФИ

Приглашенный доклад «Детекция основных белковых антигенов SARS-CoV-2 при физиологических концентрациях с помощью спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния света»

12.30 – 13.00

Мария Руслановна Конникова

МГУ им. М.В. Ломоносова

Приглашенный доклад «Изучение адсорбции спайкового белка вируса SARS-CoV-2 методом терагерцовой импульсной спектроскопии с применением метаматериалов»

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

13.00 – 13.30

Виктор Борисович Лощенов

ИОФ РАН, НИЯУ МИФИ

Приглашенный доклад «Фотодинамика плюс метиленовый синий против COVID-19»

13.30 – 14.30

Обед

Семинар 4 - Председатель А.А.Фроня

14.30 – 14.55

Сергей Иванович Лишик

Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий
НАН Беларуси

Приглашенный доклад «Светодиодные устройства для обеззараживания воздуха и контактных поверхностей»

14.55 – 15.20

Олег Викторович Кузьмин

Laser BioMed LLC

Приглашенный доклад «Фотоинаktivация вирусов и не только: оценка эффективности использования излучения диапазона 290-320 нм в борьбе с пандемией COVID-19»

15.20 – 15.45

Виталий Юльянович Плавский

Институт физики НАН Беларуси

Приглашенный доклад «Самосенсибилизированная фотонаktivация микробных клеток: механизмы и методы усиления эффективности»

15.45– 16.05

Анастасия Андреевна Фроня

НИЯУ МИФИ, ФИАН

«Результаты по инаktivации коронавирусов УФ излучением»

16.05 – 16.30

Anderson S. L. Gomes

Physics Department, Universidade Federal de Pernambuco,
Recife, PE, Brazil

Приглашенный доклад «Photonics against SARS-CoV-2: UV-C (254nm) radiation for N95 mask decontamination »

16.30 – 19.00

Стендовая секция

Председатель - Ю.А. Алещенко

**Холл второго этажа главного корпуса ФИАН,
Москва, Ленинский, 53**

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур

25 Ноября, Четверг

**Колонный зал Главного корпуса ФИАН,
Москва, Ленинский, 53**

Семинар 5 - Председатель З.Н. Соколова

10.00 – 10.30

Иван Иванович Засавицкий

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Приглашенный доклад «О лазерах на основе узкозонных
полупроводников типа A4B6»

10.30 - 11.00

Сергей Олегович Слипченко

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Приглашенный доклад «Мощные полупроводниковые
одномодовые лазеры и линейки на их основе с высокой
стабильностью латерального дальнего поля»

11.00 – 11.30

Владимир Иванович Козловский

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Приглашенный доклад «Новые направления развития по-
лупроводниковых дисковых лазеров»

11.30 – 12.00

Владимир Николаевич Светогоров

НИИ "Полус" им. М.Ф. Стельмаха

Приглашенный доклад «Гетероструктуры
GaInAs/AlGaInAs/InP с компенсацией упругих напряже-
ний для мощных лазерных диодов спектрального диапа-
зона 1.9 – 2.0 мкм»

12.00 – 12.30

Зинаида Николаевна Соколова

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Приглашенный доклад «Влияние геометрии квантово-
размерных лазеров на их характеристики»

12.30 – 13.30

Обед

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

Семинар 6 - Председатель В.И. Козловский

13.30 – 13.50

Алексей Викторович Мишин
ИПФ РАН

«Изменение спектра и структуры поляритонных мод гетеролазера класса С под действием распределённой обратной связи волн»

13.50 – 14.10

Тимур Анатольевич Багаев
АО "НИИ "Полус" им. М.Ф. Стельмаха"

«Эпитаксиально-интегрированные гетероструктуры для мощных импульсных лазерных генераторов»

14.10 -14.30

Максим Анатольевич Ладугин
АО "НИИ "Полус" им. М.Ф. Стельмаха"

«Полупроводниковые гетероструктуры со сверхтонкими слоями для оптической и квантовой электроники»

14.30 – 14.50

Дмитрий Николаевич Лобанов
ИФМ РАН

«Near-infrared stimulated emission from indium-rich InGaN layers grown by plasma-assisted MBE»

14.50 – 15.10

Валентин Николаевич Жмерик
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе

«Мощные ультрафиолетовые излучатели с электронной накачкой на основе монослойных множественных квантовых ям GaN/AlN»

15.10 – 15.30

Заккрытие симпозиума. Принятие решения.

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур

Стендовая секция

24 Ноября, Среда

Председатель - Ю.А. Алещенко

Холл второго этажа главного корпуса ФИАН,

Москва, Ленинский, 53

1. **Алида Файзрахмановна Алыкова**
НИЯУ МИФИ
НАНОЧАСТИЦЫ КРЕМНИЯ – КАК СЕНСИБИЛИЗАТОРЫ ДЛЯ
БИМЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ
2. **Марат Бутаев**
НИЯУ МИФИ, ФИАН
ELECTRON-BEAM PUMPED VECSEL BASED on an $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ HETEROSTRUCTURE EMMITING at 780 nm
3. **Марат Бутаев**
НИЯУ МИФИ, ФИАН
SEMICONDUCTOR GREEN LASER BASED ON MOVPE GROWN
 $\text{CdS}/\text{ZnSe}/\text{ZnSSe}$ MQW HETEROSTRUCTURE WITH LONGITUDINAL
PUMPING BY BLUE LD
4. **Дмитрий Николаевич Бухаров**
Владимирский государственный университет
MODELING AND ESTIMATION OF PARAMETERS OF LASER ACTION
ON PBTE EPITAXIAL FILMS TO OBTAIN NANOCLUSTERS ON ITS
SURFACE
5. **Никита Владимирович Васильев**
Астраханский государственный университет
ЛИНЗЫ С ПЕРЕМЕННЫМ ФОКУСНЫМ РАССТОЯНИЕМ В СИ-
СТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ
6. **Полад Васиф оглы Велиев**
НИЯУ МИФИ, ФИАН
ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ПОЛУПРОЗРАЧНЫХ
СРЕД ИЗЛУЧЕНИЕМ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 248 НМ
7. **Дмитрий Веселов**
ФТИ им. А.Ф.Иоффе
МОЩНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ
ДЛЯ ДАЛЬНОМЕРНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

8. **Никита Александрович Волков**
ООО «Сигм плюс»
ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЛНОВОДНЫХ СЛОЕВ И КВАНТОВЫХ ЯМ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ
InGaAs/AlGaAs/GaAs
9. **Полина Сергеевна Гаврина**
Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН
ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ-ТИРИСТОРОВ С ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ ТОКА
10. **Андрей Андреевич Григорьев**
ФИАН
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОРИСТЫМИ СРЕДАМИ
11. **Никита Владимирович Гультиков**
АО «НИИ «Полус» им. М.Ф. Стельмаха»
ВЛИЯНИЕ БЕЗЫЗЛУЧАТЕЛЬНОЙ РЕКОМБИНАЦИИ НА МОЩНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР AlGaAs/GaAs и GaAsP/GaInP
12. **Александр Алексеевич Дубинов**
Институт Физики Микроструктур РАН
STIMULATED EMISSION IN FAR-IR WAVELENGTH RANGE FROM HgCdTe QUANTUM WELL STRUCTURES
13. **Ирина Александровна Евдокимова**
НИИУ МИФИ
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРА ПОР НА ПОРОГ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ
14. **Роман Хусейнович Жукавин**
ИФМ РАН
HELIUM-LIKE DONORS IN SILICON FOR STIMULATED RAMAN SCATTERING
15. **Василий Владимирович Золотарев**
ФТИ им. А.Ф. Иоффе
ДЕФЛЕКТОР ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ И С ПОВЕРХНОСТНОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКОЙ

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

16. **Олег Александрович Иванов**
НИЯУ МИФИ
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОУПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ ВБЛИЗИ
ЗЕРКАЛ РЕЗОНАТОРОВ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ
17. **Александр Александрович Климов**
Физико-Технический институт им. А.Ф. Иоффе
МОЩНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ДИОДЫ ИНТЕГРИРОВАННЫЕ С ПЛАТАМИ НАКАЧКИ
18. **Екатерина Рудольфовна Кочаровская**
ИПФ РАН
ОСОБЕННОСТИ ЯВЛЕНИЯ ДВОЙНОГО РЕЗОНАНСА ПРИ КОГЕРЕНТНОЙ САМОСИНХРОНИЗАЦИИ МОД В СИММЕТРИЧНОМ ГЕТЕРОЛАЗЕРЕ КЛАССА С
19. **Артем Алексеевич Лактионов**
АГУ (Астраханский государственный университет)
ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ
20. **Сергей Иванович Лишиик**
Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси
СВЕТОДИОДНЫЙ СВЕТИЛЬНИК - ДЕЗИНФЕКТОР ПОМЕЩЕНИЙ
21. **Сергей Иванович Лишиик**
Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси
СВЕТОДИОДНЫЕ СВЕТИЛЬНИКИ – РЕЦИРКУЛЯТОРЫ ВОЗДУХА
22. **Сергей Иванович Лишиик**
Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси
УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ СВЕТОДИОДНАЯ ЗАЩИТНАЯ МАСКА
23. **Александр Васильевич Микулич**
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ НАН Беларуси
ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ФОТОДИНАМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ
24. **Владислав Александрович Олещенко**
ФИАН
ДИНАМИЧЕСКАЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЛОКАЛИЗОВАННАЯ ФОТОГИПЕРТЕРМИЯ КРОВИ
25. **Александр Сергеевич Панов**
ООО "Лассард"
Процесс роста легированных Si монокристаллов GaAs методом Vertical Gradient Freeze (VGF) и его оптимизация с помощью компьютерного моделирования в CGSim

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

26. **Виталий Юльянович Плавский**
Институт физики НАН Беларуси
ТЕХНОЛОГИИ АНТИМИКРОБНОЙ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ, ОСНОВАННЫЕ НА СЕНСИБИЛИЗИРУЮЩЕМ ДЕЙСТВИИ АНТИСЕПТИКОВ – ПРОИЗВОДНЫХ НИТРОФУРАНА
27. **Константин Андреевич Подгаецкий**
АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха»
Постер АНАЛИЗ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗЕРКАЛ КВАНТОВЫХ КАСКАДНЫХ ЛАЗЕРОВ СРЕДНЕГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА
28. **Александр Подоскин**
ФТИ им. А.Ф. Иоффе
СТЕКИ МОЩНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ (100НС) ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ КВТ УРОВНЯ ПИКОВОЙ МОЩНОСТИ (1060НМ) НА ОСНОВЕ ПОЛОСКОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ СО СВЕРХШИРОКОЙ АПЕРТУРОЙ (800МКМ)
29. **Александр Владимирович Рудый**
ИОФРАН, НИЯУ МИФИ
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ НАНОЧАСТИЦ ГЕРМАНИЯ, СИНТЕЗИРОВАННЫХ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ОСАЖДЕНИЯ В ГАЗОВОЙ СРЕДЕ
30. **Александр Дмитриевич Рыбкин**
СПбПУ/ФТИ им. А.Ф. Иоффе
ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАЗОГРЕВА АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ (1060 НМ) СО СВЕРХШИРОКОЙ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ АПЕРТУРОЙ (800 МКМ)
31. **Максим Сергеевич Савинов**
НИЯУ МИФИ, ФИАН
МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗА УЛЬТРАКОРОТКИМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ
32. **Ольга Сергеевна Соболева**
ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УНИПОЛЯРНЫХ InGaAs/AlGaAs ГЕТЕРОСТРУКТУР С УДАРНОЙ ИОНИЗАЦИЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ПРИБОРОВ

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

33. **Индира Саматовна Султакаева**
Астраханский государственный университет
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ОТ ВРЕМЕНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ, МОЩНОСТИ И ДЛИНЫ ВОЛНЫ ЛАЗЕР-НОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
34. **Павел Алифтинович Тарасов**
НИУ "Высшая школа экономики"
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СКРЫТОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
35. **Самир Джабурович Таривердиев**
ООО "ЛАССАРД", НИЯУ МИФИ
ОПТИМИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ КВАНТРОНА НА БАЗЕ КРИСТАЛЛА ND:YAG С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ
36. **Ярослав Владимирович Ульянов**
ИОФ РАН, ФКП «ГЛП «Радуга»
ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ИСХОДНЫХ ОБРАЗЦОВ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛАЗЕРНОЙ КЕРАМИКИ АЛЮМОСИЛИКАТА-ИТТРИЕВОГО ГРАНАТА, ЛЕГИРОВАННОГО ИОНАМИ НЕОДИМА (ND³⁺:YAG)
37. **А Челябин**
Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси
СВЕТОДИОДНЫЙ УФ ДЕЗИНФЕКТОР ПОРУЧНЕЙ ЭСКАЛАТОРА
38. **Ирлан Витальевич Шабельников**
ООО "Химические системы"
ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ
39. **Виктор Валентинович Шамахов**
ФТИ им. А.Ф. Иоффе
ДИНАМИКА МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ И ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ InGaAs/AlGaAs/GaAs СТРУКТУР, ВЫРАЩЕННЫХ СЕЛЕКТИВНОЙ ЭПИТАКСИЕЙ
40. **Илья Сергеевич Шашкин**
ФТИ им. А.Ф. Иоффе
НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВОЛНОВОДА МОЩНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ, ОСНОВАННАЯ НА ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ С ТУННЕЛЬНЫМИ ПЕРЕХОДАМИ

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

Пленарные и приглашенные доклады

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур

ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES FOR LASER ADDITIVE MANUFACTURING

academician RAS Yu.N.Kulchin

*Institute of Automation and Control Processes FEB RAS, Radio St., 5, 690041,
Vladivostok, Russia
e-mail: kulchin@iacp.dvo.ru*

The development of industrial production in the modern world cannot do without the use of new technologies. Additive production technologies have been developed and investigated for more than 30 years. Laser additive technologies, due to the high accuracy and quality of fabrication of products, are able to supplement or even replace traditional additive processes. There are a wide range of applications for laser additive processes, since these technologies allow to create complex geometric shapes of products that cannot be manufactured using conventional production technologies, and cost-effectively produce customized parts even in small batches. Therefore, today additive production continues to be a subject of constant scientific and practical interest, and is projected to have a great impact on the development of industry in the future. In layer-by-layer laser additive prototyping of metal products, in particular composed alloy or material (Ni, Ti, Al, Pb, stainless steel and al.), direct laser metal deposition (LMD or DMD) technology is often used, in which powder entering directly into the laser beam is completely melted, which leads to the formation of completely dense layers without the need for subsequent processing of the product.

Rare earth magnets are well-known for their superior magnetic properties—high induction, and coercive force. More than 40 years these magnets remain the number one choice in applications that require high magnetic fields in extreme operating conditions (high demagnetization forces and high temperature). The traditional manufacturing technology of these magnets involves a number of sequential processes: melting, crushing, jet grinding, pressing, sintering and heat treatment. As a result, mass production of permanent rare earth magnets requires solving a number of important problems: reducing the time to develop the product and increasing the productivity and flexibility of production of various

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

types of magnets. Computer-aided design and manufacturing (CAD and CAM) can be used for the solution of this problem, which have remarkably improved production design and manufacturing stages, are used for this purpose. Rapid prototyping (RP) or layered manufacturing technologies have been extensively used to manufacture prototypes due to the short product development time and low costs of these technologies. New LMD additive manufacturing technologies allow extending existing RP technologies of rare earth magnets products.

The problem of fractures and bone deformation has always been urgent for mankind and required solutions throughout the development of medicine. Recently, biodegradable materials have been increasingly used in traumatology and orthopedics, avoiding subsequent surgery to remove the implant. Currently, alloys of various metals with magnesium, calcium phosphates, as well as various natural and synthetic polymers are used as such materials. Due to their unique mechanical properties, biodegradability and biocompatibility, magnesium-based materials become the most promising for creating biodegradable implants. The biocompatibility of implants, including those based on magnesium alloys, depends significantly on the design and surface structure of the implantable medical device. At the same time, proper selection and placement of the implant is of paramount importance, since mobility of the device after implantation can lead to chronic inflammation. Thus, the mechanical and biological properties of bone implants should be optimally tailored for each patient. This can be accomplished using CAD - technology of a digital personalized model of implant design based on X-ray tomography data of a patient's bone problem area and LMD-additive technology of making a personalized implant from a biodegradable magnesium alloy.

This report focuses on new Artificial Intelligence Technologies related to the use of LMD - additive process of layer-by-layer deposition of materials from rare-earth magnetic and magnesium alloys, promising for the creation of permanent rare-earth magnets and personality medical implants, which have been developed and investigated at the Institute of Automation and Control Processes of FEB RAS.

СОВРЕМЕННЫЕ ИНЖЕКЦИОННЫЕ ТОРЦЕВЫЕ ЛАЗЕРЫ 630-1950 НМ ДЛИН ВОЛН

Н.А.Пихтин

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

e-mail: nike@hpld.ioffe.ru

Доклад будет посвящен современным тенденциям в области разработок и исследований торцевых полупроводниковых лазеров ближнего ИК диапазона длин волн. Будут представлены последние результаты (в основном за прошедшие 2 года), достигнутые как в ФТИ им. А.Ф. Иоффе, в том числе и в сотрудничестве с АО НИИ «Полус» им. М.Ф. Стельмаха», так и в мире. Будут обсуждаться конструкции лазерных диодов на основе квантоворазмерных гетероструктур, выращенных на подложках GaAs (длины волн 630-1100 нм) [1-4] и InP (длины волн 1260-1950 нм) [5,6] методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений. Главное внимание будет уделено их основным выходным электрооптическим характеристикам - оптическая мощность, КПД, расходимость, спектральная и пространственная яркость, температурная стабильность. Будут рассмотрены следующие типы излучателей, работающие при непрерывной и импульсной (длительность от 1 нс до 100 нс) накачке:

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

- [1] V.V. Zolotarev et al., Semicond.Sci.Technol., v.35, 1 ArtNo:015009 (2020)
[2] И.С. Шашкин и др. ФТП, т.54, 4 стр. 408-413 (2020).
[3] D.A. Veselov et al., Semicond.Sci.Technol., v.36, 11 ArtNo: 115005 (2021)
[4] П.С. Гаврина и др., Квант. электроника, т.51(2), стр. 129-132 (2021).
[5] Н.А. Волков и др., Квант. электроника, т.51(4), стр. 283-286 (2021).
[6] В.Н. Святогоров и др., Квант. электроника, т.51(10), стр. 909-911 (2021).

**ЭРБИЕВЫЕ И НЕОДИМОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ С
ПОПЕРЕЧНОЙ НАКАЧКОЙ ЛАЗЕРНЫМИ ДИОДНЫМИ
ЛИНЕЙКАМИ И МАТРИЦАМИ: ПРОБЛЕМА
ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ**

М. Богданович, А. Григорьев, В. Дудиков, К. Ланцов,

А. Рябцев, Г. Рябцев, П. Шпак, М. Щемелев

Институт физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь,

тел.: +375-17-2708398. e-mail address: g.ryabtsev@dragon.bas-net.by

Диоднонакачиваемые твердотельные лазеры (ДТЛ) на основе Yb,Er- и Nd- содержащих активных сред широко применяются в дальнометрии, спектроскопии, специальных приложениях. Тема настоящего доклада – согласование параметров лазерных диодных линеек (ЛДЛ) и матриц (ЛДМ) с характеристиками ДТЛ с целью достижения максимальной эффективности и надежности

Yb, Er-лазеры. Методом моделирования и экспериментально определена наиболее эффективная геометрия расположения ЛДЛ относительно активного элемента (АЭ) с учетом характеристик как ЛДЛ и АЭ, так и конфигурации моды генерации. Для лазеров с АЭ, возбуждаемым по схеме поперечной накачки ЛДЛ с s-поляризованным излучением оптимальное расстояние между ЛДЛ и поверхностью АЭ равно 0,72 мм, что согласуется с экспериментом – 0,7 мм (накачка без фокусирующих элементов). Проведена оценка потерь излучения накачки (поперечная схема) для прямоугольного и цилиндрического АЭ.

Для InGaAs/AlGaAs ЛДЛ, применяемых для накачки трехуровневых Yb,Er- систем, установлено, что высокая эффективность возбуждения достигается, когда фактор заполнения излучением ближнего поля ЛДЛ составляет не менее 0,85.

Изучены спектральные и пороговые характеристики компактных Yb,Er-лазеров на фосфатном стекле ЛГС-ДЕ с пассивной модуляцией добротности при температурах $T = 233\text{--}328\text{ К}$.

Лазеры на основе Nd³⁺-содержащих сред. Высокая эффективность и при этом высокая однородность распределения поглощенной энергии накачки ЛДМ в объеме АЭ, а, следовательно, и интен-

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

сивности генерируемого излучения в сечении выходного пучка может быть обеспечена путем нанесения на боковую поверхность АЭ рассеивающего слоя. Лазерные квантроны с такими АЭ позволяют эффективно подавлять усиленную люминесценцию и/или неаксиальные моды генерации.

При выборе МЛД для Nd:YAG керамики следует учитывать, что высокое содержание ионов неодима может приводить к тому, что излучение накачки вследствие высокого коэффициента поглощения поглотится в приповерхностном слое керамического АЭ. Смещение максимума в сторону больших длин волн позволяет обеспечить более равномерное распределение излучения накачки внутри объема керамического АЭ и, таким образом, создать сравнимые условия возбуждения для керамических и кристаллических активных сред.

Для формирования импульсов излучения в условно безопасном для органов зрения спектральном диапазоне 1,5 – 1,6 мкм с энергиями свыше 30 мДж и частотами следования в интервале 1–20 Гц предложена оптическая схема параметрического генератора света, в которой используется задающий Nd:KGW лазер с двумя ортогонально ориентированными модулями поперечной диодной накачки. Двухмодульное возбуждение активной среды позволяет повысить однородность распределения интенсивности излучения, генерируемого задающим лазером, в сечении выходного пучка и обеспечить надежную работу параметрического генератора света.

С точки зрения разработчиков современных ДТЛ необходимо разрабатывать ЛДЛ и ЛДМ с минимальным температурным дрейфом максимума длины волны излучения, более высокими показателями однородности излучения в ближнем поле (особенно в случае ЛДМ). Для повышения надежности следует стремиться к повышению энергии активации. И, наконец, в будущих системах накачки, несомненно, доминирующее положение займут ЛДЛ и ЛДМ с VCSEL структурами.

ЛАЗЕРНЫЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ ПОВЫШЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

А.А. Мармалюк

*АО «НИИ «Полус» им. М.Ф. Стельмаха», Москва, Россия
e-mail: marmalyukaa@niipolyus.ru*

Новые задачи и области применения требуют повышения выходной мощности и КПД полупроводниковых лазеров. Ведущей причиной насыщения выходной мощности таких приборов является тепловой разогрев. В данной работе рассмотрены несколько подходов, призванных уже на этапе создания лазерной гетероструктуры способствовать снижению тепловыделения и, тем самым, создавать условия для повышения выходной мощности и КПД.

Представлены результаты создания гетероструктур со сверхузким волноводом. Такая конструкция позволяет улучшить теплоотвод от активной области и сохранить наклон ватт-амперной характеристики при больших токах накачки.

Перспективным вариантом развития концепции широких волноводов может служить подход по созданию расширенных сильно асимметричных волноводов, в которых квантовые ямы активной области вплотную приближены к р-эмиттеру. На основе таких гетероструктур созданы лазеры с повышенной выходной мощностью.

Улучшение вольт-амперной характеристики полупроводниковых лазеров позволяет добиться снижения тепловыделения и увеличения КПД. На этапе создания лазерных гетероструктур этому способствует использование легированных волноводов. Дальнейший прогресс в этом направлении может быть достигнут путем перехода к более узкозонным волноводам. Такие слои, как правило, характеризуются сниженным удельным сопротивлением, что при использовании расширенных волноводов позволяет заметно уменьшить последовательное сопротивление излучателей. На основе таких гетероструктур созданы лазеры с КПД 72%.

**ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ ОДНОЧАСТОТНЫЕ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ
ИЗЛУЧЕНИЯ 630...1650 НМ**

В.П. Дураев, С.В. Медведев, С.А. Воронченко, И.С. Молодцов

АО «НОЛАТЕХ», Россия, Москва

e-mail: nolatech@mail.ru

Представлены результаты работ по созданию перестраиваемых одночастотных полупроводниковых лазеров с внешним резонатором на основе волоконной брэгговской решётки (ВБР), сформированной в одномодовом световоде с сохранением поляризации. Рассмотрены способы перестройки длины волны с помощью пьезокерамики, температуры и тока инжекции. Представленные перестраиваемые одночастотные полупроводниковые лазеры способны работать в динамически стабильном одночастотном режиме генерации с узкой шириной линии и могут быть изготовлены в диапазоне длин волн от 630 нм до 1650 нм [1].

Основными элементами конструкции являются: активный элемент, брэгговская решетка и пьезокерамический элемент. В работе использовались эпитаксиальные структуры на основе GaAs или InP (в зависимости от длины волны) с квантово-размерными слоями, изготовленными методом МОС-гидридной эпитаксии [2,3]. Данные структуры были изготовлены АО «НИИ «Полус» им. М. Ф. Стельмаха». Активный элемент изготовлен на базе гребешкового волновода или по технологии зарощенной мезы [4]. На заднюю грань резонатора активного элемента наносилось отражающее покрытие с коэффициентом отражения 90%, а на переднюю грань просветляющее покрытие с коэффициентом отражения не более 0,01 % [5]. Для дополнительного уменьшения обратных отражений активный элемент был изготовлен по схеме двухпроходного усилителя — передняя грань активного элемента была скошена под углом 7 градусов относительно активного волновода. Волоконные брэгговские решётки были изготовлены методом фазовой маски или с помощью фемтосекундного лазера. Коэффициент отражения ВБР составляет 20%, спектральная ширина по уровню 0,5 —

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

0,08...0,15 нм. Для лучшей эффективности согласования лазерного диода с волоконным световодом на торце последнего формируется цилиндрическая микролинза, увеличивающая процент ввода излучения в волокно до 80% [6]. Для улучшения шумовых характеристик лазера на линзу наносилось просветляющее покрытие. Крепление волокна осуществлялось с помощью стеклоприпоя на микронагреватель. Такая конструкция позволяет также разместить в стандартном корпусе Butterfly пьезокерамический элемент, с помощью которого можно производить сжатие или растяжение оптического волокна с ВБР [7]. Стабилизация температуры лазера осуществляется с помощью элемента Пельтье и терморезистора.

Плавная перестройка длины волны может быть осуществлена в пределах спектральной ширины ВБР за счёт изменения тока инжекции или температуры ЛД [8]. Перестройка в более широком диапазоне возможна за счёт подачи напряжения на пьезокерамику (до 150 В).

Представленные лазеры изготавливаются на большую часть спектра в диапазоне 630 — 1650 нм и имеют следующие основные характеристики: диапазон перестройки длины волны с помощью пьезокерамики — до 1,5 нм; скорость токовой перестройки — 0,001 нм/мА; скорость температурной перестройки — 0,08 нм/°С; мощность непрерывного излучения — до 150 мВт (до 1 Вт в импульсном режиме). Линии генерации имеют ширину менее 100 кГц. Рабочий ресурс данных лазеров превышает 500 тысяч часов.

FAR INFRARED LASING BASED ON SILICON

V. Shastin

¹ IPM RAS, Nizhny Novgorod, Russia
e-mail: shastin@ipmras.ru

Compact, frequency tunable, efficient semiconductor sources of stimulated emission (SE) for middle as well as far infrared (FIR) domains of the electromagnetic spectrum have been the topic of active research for over 60 years since [1, 2]. Concerning silicon the first theoretical proposal appeared in 1986. It was shown the opportunity to get FIR lasing using light-heavy hole transitions or light hole cyclotron resonance in crossed electric and magnetic fields [3, 4]. Appropriate gain has been confirmed in [5]. In reality the first silicon laser was reported in 2000 [6]. It operates on the intracenter optical transitions due to population inversion of optically excited states of phosphorus donor center (line – 55.2 μm). Further in 2002 – 2004 similar SE effect has been obtained for all group-V donors Sb, As, Bi (series of lines in the range 48 – 65 μm). The first FIR Raman-type lasing from group-V donors was reported in 2006. Here we review major physical aspects and the performance of donor silicon lasers based on the population inversion and Raman scattering as well. Main attention will be paid to the laser effects in axially stressed silicon. The possibility to use double donors S, Se, Te for FIR lasing will be discussed in conclusion.

[1] H. Kromer, Proposed Negative-Mass Microwave Amplifier Phys. Rev., vol. 109, pp. 1856-1857 (1958).

[2] P.A. Wolff, Proposal for a cyclotron resonance maser in InSb, Physics, vol. 1, pp. 147-157 (1964).

[3] A.V. Muravjov et al, Population inversion of Landau levels in the valence band of silicon in crossed electric and magnetic fields, Phys. Status Solidi B, vol. 205, pp. 575-585 (1998).

[4] Andronov et al, Submillimeter wave lasers in semiconductors using hot holes, IAP AS USSR, Gorky (1986).

[5] E. Bründermann, E.E. Haller and A.V. Muravjov, Terahertz emission of population-inverted hot-holes in single-crystalline silicon, Appl. Phys. Lett., vol. 73, pp. 723-725 (1998).

[6] Shastin et al, Stimulated Emission from Donor Transitions in Silicon, Phys. Rev. Lett. vol. 22, pp. 5220-5023 (2000).

НЕРАВНОВЕСНЫЙ СВЕРХИЗЛУЧАТЕЛЬНЫЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД И НАРУШЕНИЕ ЗЕРКАЛЬНОЙ СИММЕТРИИ СОСТОЯНИЙ АКТИВНОЙ СРЕДЫ И ПОЛЯ В НИЗКОДОБРОТНОМ РЕЗОНАТОРЕ

**Вл.В. Кочаровский¹, Е.Р. Кочаровская¹, А.В. Мишин¹,
В.В. Кочаровский^{1,2}**

¹ *Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия*

² *Texas A&M University, College Station, USA*

e-mail: kochar@appl.sci-nnov.ru

Развиты основополагающие представления и выявлены свойства диссипативного (неравновесного) сверхизлучательного фазового перехода, имеющего место уже в простейшей одномерной модели достаточно плотного однородного ансамбля двухуровневых активных центров (атомов или экситонов), которые находятся в низкодобротном резонаторе Фабри-Перо под действием непрерывной нерезонансной накачки [1, 2]. Переход обусловлен когерентной динамикой поляризации и инверсии населённостей уровней активных центров под действием встречных волн и связан с образованием локализованного зеркала брэгговского типа внутри резонатора за счёт самосогласованной решётки инверсии населённостей.

В случае симметричного резонатора в широкой области параметров это зеркало формируется не в его центре, а вблизи одного из торцов, что приводит к спонтанному нарушению зеркальной симметрии и многократному отличию интенсивностей когерентного излучения из противоположных торцов, в общем случае подверженных автомодуляции благодаря осцилляциям Раби. Путём численного моделирования изучены зависимости свойств асимметричных состояний поля и активной среды от длины резонатора и коэффициента отражения его зеркал, от уровня и темпа непрерывной накачки и от основных параметров активных центров.

[1] Вл.В. Кочаровский, В.В. Железняков, Е.Р. Кочаровская, В.В. Кочаровский, Сверхизлучение: принципы генерации и реализация в лазерах, УФН, т. 187, № 4, с. 367-410 (2017).

[2] Вл.В. Кочаровский, В.А. Кукушкин, С.В. Тарасов, Е.Р. Кочаровская, В.В. Кочаровский, Асимметричная генерация в сверхизлучающем лазере с симметричным низкодобротным резонатором, Физика и техника полупроводников, т. 53, № 10, с. 1321-1328 (2019).

ПРЯМАЯ ТОКОВАЯ МОДУЛЯЦИЯ ВЫХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРОВ НА КВАНТОВЫХ ТОЧКАХ

Л.В. Асрян

Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, USA

e-mail: asryan@vt.edu

Обсуждается полоса частот прямой токовой модуляции выходного излучения лазеров на квантовых точках. Рассматриваются традиционная [1] и новые конструкции лазеров – лазеры с двойной туннельной инжекцией [2] и асимметричными барьерными слоями (АБС) [3]. Показывается, что, несмотря на то что максимальная полоса частот одинакова во всех трёх структурах (Рис.1), оптимальное значение j_0^{opt} постоянной компоненты тока накачки, при которой она достигается, сильно различается в этих структурах (Рис.1): j_0^{opt} заметно ниже в лазере с двойной туннельной инжекцией по сравнению с традиционным лазером и существенно ниже в лазере с АБС.

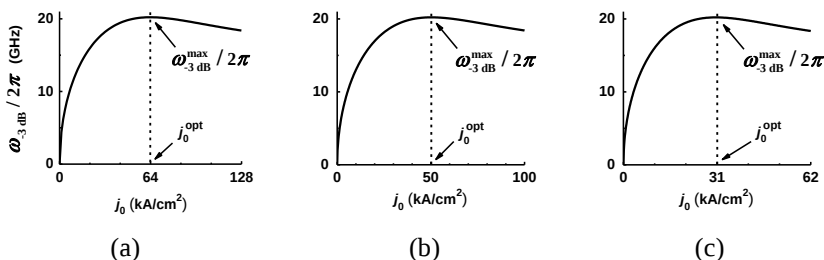


Рис.1. Полоса частот в зависимости от постоянной компоненты тока накачки в лазерах на КТ различных конструкций: (а) традиционной, (б) с двойной туннельной инжекцией и (с) с АБС.

- [1] L.V. Asryan, R.A. Suris, "Inhomogeneous line broadening and the threshold current density of a semiconductor quantum dot laser," *Semicond. Sci. Technol.*, 11, 554-567, (1996).
- [2] L.V. Asryan, S. Kar, "Modulation bandwidth of double tunneling-injection quantum dot lasers," *IEEE J. Quantum Electron.*, 55, 2000109, (2019).
- [3] L.V. Asryan, "Quantum dot lasers with asymmetric barrier layers: Close-to-ideal threshold and power characteristics," *Quantum Electron.*, 49, 522-528, (2019).

OPTICAL CLEARING OF TISSUES AS A NEW APPROACH IN ANTIMICROBIAL AND ANTIFUNGAL PHOTOTHERAPY

**Valery V. Tuchin^{1,2,3,4,5}, Elina A. Genina^{1,2,3}, Elena S. Tuchina^{1,6},
Yulia I. Svenskaya¹**

¹Science Medical Center, Saratov State University, Saratov 410012, Russian Federation

²Institute of Physics, Saratov State University, Saratov 410012, Russian Federation

³Laboratory of Laser Molecular Imaging and Machine Learning, National Research
Tomsk State University, Tomsk 634050, Russian Federation

⁴Laboratory of Laser Diagnostics of Technical and Living Systems, Institute of Precision
Mechanics and Control of the Russian Academy of Sciences, Saratov 410028, Russian
Federation

⁵A.N. Bach Institute of Biochemistry, Research Center of Biotechnology of the Russian
Academy of Sciences, Moscow 119071, Russian Federation

⁶Biological Department, Saratov State University, Saratov 410012, Russian Federation
e-mail: tuchinvv@mail.ru

Principles and novelties in the field of tissue optical clearing (TOC) technology, as well as application for optical monitoring of drug delivery and effective antimicrobial phototherapy are presented and discussed. TOC is based on altering the optical properties of tissue through the introduction of immersion optical cleaning agents (OCA), which impregnate the tissue of interest. We also analyze various methods and kinetics of delivery of photodynamic agents, nanocomposites and their mixtures with OCAs into the tissue depth in the context of antimicrobial and antifungal phototherapy. *In vitro* and *in vivo* studies of antimicrobial phototherapies, such as photodynamic, photothermal plasmonic and photocatalytic, are summarized, and the prospects of a new TOC technology for effective killing of pathogens are discussed.

**DETECTION OF SARS-COV-2 VIRAL ANTIGENS
WITH SERS-RESONATORS AT PHYSIOLOGICALLY
RELEVANT CONCENTRATIONS**

**K. Mochalov^{1,2}, I. Vaskan^{1,2}, A. Sarychev³, A. Ivanov³, I. Bykov³, N.
Bakholdin⁴, D. Vasina⁵, V. Gushchin^{5,6}, A. Tkachuk⁵, G. Nifontova^{1,7},
P. Samokhvalov¹, A. Sukhanova⁷, I. Nabiev^{1,7,*}**

¹ *National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics
Institute), Moscow, Russia*

² *Shemyakin–Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry, RAS, Moscow,
Russia*

³ *Institute of Theoretical and Applied Electrodynamics, RAS, Moscow, Russia*

⁴ *National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Mos-
cow, Russia*

⁵ *National Research Centre for Epidemiology and Microbiology named after
Honorary Academician N F Gamaleya, Moscow, Russia*

⁶ *Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

⁷ *Université de Reims Champagne-Ardenne, Reims, France*

* igor.nabiev@univ-reims.fr / igor.nabiev@gmail.com

Surface-enhanced Raman scattering (SERS) spectroscopy is a sur-
face- or cavity-enhanced variant of Raman scattering spectroscopy al-
lowing the detection of analytes with a sensitivity down to single mole-
cules. The main prerequisite for the effectiveness of this method is the
development of SERS-active surfaces or cavities capable of concentrat-
ing incident radiation into small mode volumes containing the analyte.

Here, we have demonstrated that concentration of light in an ul-
tranarrow metal–dielectric nano-cavity between a film of the SARS-
CoV-2 viral protein antigens and silver surface, which were formed via
interaction of sulfhydryl groups of the viral antigens with silver, allows
recording SERS spectra at concentrations sufficient for ultrasensitive
detection of SARS-CoV-2 at physiologically relevant (sub-picogram)
levels (Figure 1).

Our study is the first to obtain characteristic Raman and SERS spec-
tra of the key SARS-CoV-2 viral antigens directly, without the use of
low-molecular-weight Raman-reporter molecules. The possibility of

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

direct recording of characteristic spectra of viral protein antigens at the concentration orders of magnitude lower than those required for the detection of the whole virus in biological media makes the development of a high-performance optical method for detecting and analyzing the pathogen variants a realistic task.

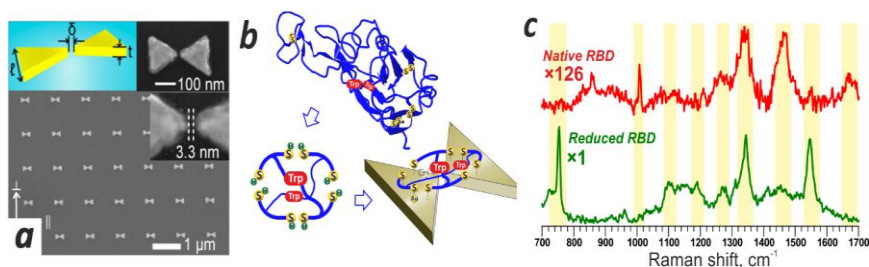


Fig.1. Concept sketch demonstrating SERS-based detection of the receptor-binding domain (RBD) of SARS-Cov2 spike-glycoprotein (S-GP) or entire viruses. Here, the plasmonic bowtie nanoantennae **(a)** is used to detect and study RBD **(b)** or whole deactivated viruses **(c)** in their native form or after reduction of proteins' S-S bonds for release of free thiol groups with high affinity to SERS-active surface, an approach which was approved by us in [1]. The SERS-spectra of the key viral protein antigen shown in **(c)** were recorded at the concentration orders of magnitude lower than those required for the detection of the whole virus in biological media.

This work is supported by the “Viruses” Call of the Russian Foundation for Basic Research, grant no. 20-04-60440.

[1] K. Mochalov, I. Vaskan, A. Sarychev, A. Ivanov, I. Bykov, N. Bakholdin, D. Vasina, V. Gushchin, A. Tkachuk, G. Nifontova, P. Samokhvalov, A. Sukhanova, I. Nabiev, Detection of the receptor-binding domain of the SARS-CoV-2 Spike glycoprotein at physiologically relevant concentrations using surface-enhanced Raman spectroscopy, (hal-03408225), <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03408225> (2021).

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ИЗУЧЕНИЕ АДСОРБЦИИ СПАЙКОВОГО БЕЛКА ВИРУСА SARS-COV-2 МЕТОДОМ ТЕРАГЕРЦОВОЙ ИМПУЛЬСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТАМАТЕРИАЛОВ

**М.Р.Конникова^{1,2}, О.П.Черкасова^{2,3,5}, Т.А.Гейнц^{1,2}, Е.С.Дизер^{2,4},
И.С.Васильевский⁴, А.А.Бутылин¹, Ю.В.Кистенев⁵, В.В.Тучин^{5,6,7},
А.П.Шкуринов^{1,2,5}**
konnikovamaria@gmail.com

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия

²Институт проблем лазерных и информационных технологий - филиал ФНИЦ "Кристаллография и фотоника" Российской академии наук, Шатура, Россия

³Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия

⁴Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

⁵Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

⁶Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Саратов, Россия

⁷Институт проблем точной механики и управления РАН, Саратов, Россия

Адгезия спайкового (S) белка вируса SARS-CoV-2 изучена методами колебательной спектроскопии с применением терагерцовых метаматериалов. Исследованы особенности поглощения метаструктуры при нанесении на нее пленок гистидина, альбумина и рецептор связывающего домена (RBD) спайкового белка S. В работе предложена численная методика оценки эффективности адгезии вируса на поверхностях метаматериалов.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (20-04-60505), Министерства Науки и Высшего Образования РФ в рамках Государственного задания филиала ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН (075-15-2019-1950), Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Фотонные и квантовые технологии. Цифровая медицина», гранта по Постановлению Правительства Российской Федерации № 220 от 09 апреля 2010 г. (Соглашение № 075–15-2021-615 от 04.06.2021 г.).

ФОТОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕРАПИЯ И МЕТИЛЕНОВЫЙ СИНИЙ ПРОТИВ COVID-19

Лощенко В.Б.¹, Ширяев А.А.² Решетов И.В.²

1. ИОФАН, МИФИ

2. Сеченовский университет

Наши исследования показали, что фотосенсибилизатор метиленовый синий (далее – МС) в концентрациях (1 мг/кг) обладает противовирусным эффектом, и может использоваться для предотвращения критических состояний течения COVID-19 при помощи фотодинамического (далее – фотодинамическая терапия, ФДТ) и окислительно-восстановительного воздействий.

Суть технологии:

- Принимается 200 грамм водного раствора Метиленового синего (МС) с концентрацией 0.5 мг/мл из расчета 1мг/кг веса пациента. Один раз в 3 дня для лечения COVID-19 или один раз в неделю для лечения постковидного синдрома или один раз в две недели в период пандемии для профилактики заражения.

- Проводиться бронхолегочная ингаляция через нос и рот одновременно водным раствором МС 10 мл с концентрацией (0.05 мг/мл). Дважды в день в процессе лечения или один раз в неделю в процессе постковидной реабилитации.

- Проводится смазывание носовых проходов ушной палочкой смоченной в водном растворе МС концентрации (0.5 мг/мл). Каждый день во время обострения пандемии и до или сразу после посещения многолюдных мест.

- Проводится облучение светодиодным облучателем (длина волны 660 нм, общая мощность 15 Вт, плотность мощности 100 мВт/см², суммарная доза (45 кДж), время облучения: 50 минут со стороны спины и подреберий, 10 минут ротоглотка. Дважды в день в процессе лечения.

- Три дня подряд после приема МС облучаются области подвергнутые постковидным осложнениям (легкие, суставы, мозг, абдоминальные органы, половые органы, сосудистая система мягких тканей).

Эффективность использования препарата

1. Метиленовый синий при пероральном приеме в дозе 1 мг/кг массы тела присутствует в организме в разрушительной для вируса концентрации в течение 2 – 2,5 дней даже без облучения. Блокирует рецепторы ACE2 эндотелиальных тканей для проникновения коронавируса. Его эффектив-

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ность многократно возрастает при освещении в красном спектральном диапазоне (ФДТ).

2. Препарат при ингаляционном введении покрывает поверхность слизистой оболочки носа, ротоглотки и эпителиальную ткань бронхов, блокирует наиболее уязвимые рецепторы ACE2, а в присутствии вируса – убивает его. При высокой вирусной нагрузке добавляется излучение в красном диапазоне спектра.

Характеристика препарата

– Метиленовый синий – это уникальный препарат, защищающий клетки от пагубного воздействия коронавируса на процесс кислородного дыхания за счет механизма разблокировки участка дыхательной цепи (цитохром-с-оксидазы) в митохондриальной мембране, что способствует быстрому восстановлению функциональной активности клеток.

– МС, наряду с некоторыми другими фотосенсибилизаторами, накапливается в кислородсодержащих моноцитах и макрофагах, которые являются причиной аутоиммунной атаки (так называемый «цитокиновый шторм») на различные органы, поврежденные коронавирусом (чаще всего в ткани легких, но могут быть и другие участки ткани – сосуды, почки, сердце, эндотелий кишечника и нервная ткань). При световом облучении препарат может их дезактивировать за счет фотодинамического эффекта.

– Препарат обладает свойством восстанавливать метгемоглобин до оксигемоглобина, что увеличивает насыщение крови кислородом пациентов и тем самым блокирует токсическое действие высвобождаемого железа в двухвалентной форме на стенки кровеносных сосудов.

Справка

Раствор красителя метиленовый синий имеет долгую историю использования. В настоящее время активно применяется как антидот при отравлениях угарным газом и химическими реактивами. При использовании в терапевтических дозах практически отсутствуют побочные эффекты.

История исследований

По результатам исследования 2,5 тысячи пациентов, принимавших метиленовый синий в дозе 1 мг/кг массы тела в качестве реабилитационной терапии после химиотерапии, ни один не заболел COVID-19 (Страсбург, Франция, 2020).

Фармацевтическая компания в Швейцарии приступила ко второй стадии клинических испытаний МС для лечения COVID-19.

Исследование российских ученых

В нашей стране, первый этап инициативного исследования эффективности МС при COVID-19 (под руководством академика Решетова И. В. и

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

проф. Лощенова В.Б.) в клинике Сеченовского университета успешно завершен со стопроцентным положительным результатом для пациентов с поражением легких от 0 до 75%. Исследования одобрены локальным этическим Комитетом Сеченовского университета (апрель 2020 г.). В 2021 г. исследование зарегистрировано в ВОЗ: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04933864?cond=Covid19+PDT&draw=2&rank=2>

Материалы и методы исследования Сеченовского университета

В исследовании приняли участие 50 пациентов с клиническими проявлениями COVID-19 и 50 добровольцев с высоким риском заражения (протокол ЛЭК № 08-20 от 24.04.2020). У всех пациентов при КТ выявлены патологические изменения в легких, характерные для вирусного поражения: 11 человек имели поражение легких менее 25%, 17 человек – 25-50%, 18 человек – 50-75%, 4 человека имели поражение легких более 75%.

Результаты исследования

Выздоровели 50 пациентов, включая больных с положительным тестом на вирус после лечения по схеме гидроксихлорохин + азитромицин, калетра. После ингаляционного применения МС с ФДТ на следующий день ПЦР-тест на SARS-CoV-2 давал отрицательный результат. После ФДТ с МС у пациентов отмечалось увеличение сатурации кислорода, улучшение самочувствия, исчезновение кашля, положительная динамика по компьютерной томографии.

Особенности использования

Несовместим с сильнодействующими психотропными препаратами. Моча приобретает лазурный цвет на три дня.

Часть фундаментальных исследований поддержана РФФИ «Разработка метода фотодинамического воздействия, направленного на предотвращение синдрома активации макрофагов при коронавирусной инфекции». Эти исследования проведены на приматах в «НИИ Медицинской Приматологии» Адлер, Краснодарский Край.

Список литературы

1. Kozlikina EI, Pominova DV, Ryabova AV, Efendiev KT, Skobeltsin AS, Rudenko NS, Kulik OG, Muhametzyanova EI, Karal-ogly DD, Zhemerikin GA, Bulgin DV, Shiryayev AA, Reshetov IV, Loschenov VB. Spectroscopic Measurement of Methylene Blue Distribution in Organs and Tissues of Hamadryas Baboons during Oral Administration *Photonics*. 2021; 8(8):294. <https://doi.org/10.3390/photonics8080294>
2. Henry, M., Summa, M., Patrick, L., & Schwartz, L. A cohort of cancer patients with no reported cases of SARS-CoV-2 infection: the possible preventive

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур

- role of Methylene Blue. *Substantia*, 2020. 4(1), 888. <https://doi.org/10.13128/Substantia-888>
3. Jiang, C., Yang, W., Wang, C., Qin, W., Ming, J., Zhang, M., Qian, H., & Jiao, T. Methylene Blue-Mediated Photodynamic Therapy Induces Macrophage Apoptosis via ROS and Reduces Bone Resorption in Periodontitis. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2019. Article ID 1529520 <https://doi.org/10.1155/2019/1529520>
4. Atamna, H.; Kumar, R. Protective role of methylene blue in Alzheimer's disease via mitochondria and cytochrome c oxidase *J.Alzheimer's Dis.* 2010, 20, S439–S452. <https://doi.org/10.3233/JAD-2010-100414>
5. Alamdari, D.H.; Moghaddam, A.B.; Amini, S.; Keramati, M.R.; et al. Application of methylene blue -vitamin C-N-acetyl cysteine for treatment of critically ill COVID-19 patients, report of a phase-I clinical trial *Eur. J. Pharmacol.* 2020, 885, 173494. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2020.173494>
6. Ticino, F.E. Evaluation of the Efficacy of Methylene Blue Administration in SARS-CoV2- Affected Patients: a Phase 2, Randomized, Placebo- Controlled, Single Blind Clinical Trial. Clinical trial registration NCT04635605, clinicaltrials.gov, 2021. Submitted: 28 September 2020. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04635605>
7. I.M. Sechenov First Moscow State Medical University. The Clinical Trial of Methylene Blue Application Combined With Photodynamic Therapy for Treatment of SARS-CoV-2 Infected Patients. Clinical trial registration NCT04933864, clinicaltrials.gov, 2021. Submitted: 15 June 2021. <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04933864>

ФОТОИНАКТИВАЦИЯ ВИРУСОВ И НЕ ТОЛЬКО: ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ДИАПАЗОНА 290-320 НМ В БОРЬБЕ С ПАНДЕМИЕЙ COVID-19

О. Кузьмин¹, Н. Фасхутдинова¹, М. Глузмин²

¹ *Laser BioMed LLC, Краснодар, Россия*

² *Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Россия*

e-mail: kuzmin@laser-biomed.com

Глобальное распространение коронавирусной инфекции, обусловленное вирусом SARS-CoV-2 и новыми штаммами коронавируса, требует внедрения безотлагательных и эффективных мер противодействия передаче вируса от человека к человеку. Передача инфекции происходит в помещениях через воздух или контактные поверхности [1]. Ручная уборка с использованием химических дезинфицирующих средств и бактерицидного света с длиной волны 254 нм малоэффективны, поскольку такая дезинфекция носит периодический характер.

Излучение диапазона 290-320 нм не только эффективно инактивирует вирусы, под его воздействием синтезируется иммуномодулирующий витамин D3, дефицит которого влияет на заболеваемость и смертность от COVID-19 [2, 3].

Разработан прототип устройства, излучающего в диапазоне длин волн 290-320 нм, которое в сочетании с другими мерами профилактики инфекций снизит риск передачи COVID-19 и наряду с вакцинами будет способствовать укреплению иммунитета.

[1]. A. Pitot, T. Julian, Community Transmission of SARS-CoV-2 by Surfaces: Risks and Risk Reduction Strategies, Environmental Science & Technology Letters, 8(3), 263–269 (2021).

[2]. T. Minamikawa, T. Koma, A. Suzuki et al. Quantitative evaluation of SARS-CoV-2 inactivation using a deep ultraviolet light-emitting diode, Scientific Reports, 11, 5070, (2021).

[3]. J. Mariani, V. Giménez, I. Tajer et al., Association Between Vitamin D Deficiency and COVID-19 Incidence, Complications, and Mortality in 46 Countries: An Ecological Study, Health Security 19(3), 302-308, (2021).

САМОСЕНСИБИЛИЗИРОВАННАЯ ФОТОИНАКТИВАЦИЯ МИКРОБНЫХ КЛЕТОК: МЕХАНИЗМЫ И МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ

**Плавский В.Ю.¹, Третьякова А.И.¹, Микулич А.В.¹, Дудчик Н.В.²,
Емельянова О.А.², Сысов В.А.¹, Плавская Л.Г.¹, Дудинова О.Н.¹,
Ананич Т.С.¹, Леусенко И.А.¹, Собчук А.Н.¹, Нагорный Р.К.¹**

¹Институт физики НАН Беларуси, г. Минск

²Республиканское унитарное предприятие

«Научно-практический центр гигиены», г. Минск

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

Цель работы – выяснение механизма антимикробного действия синего света (405 и 445 нм) на тест-штаммы микроорганизмов из коллекции типовых культур и на клинически выделенные изоляты в отсутствие экзогенных фотосенсибилизаторов, а также разработка методов усиления эффективности подавления роста патогенов.

Выполненные исследования показали наличие дозозависимого эффекта фотоинактивации грамотрицательных и грамположительных бактериальных культур, а также грибов. Как правило, скорость фотоинактивации увеличивается с увеличением энергетической дозы, что объясняется накоплением в клетках фотоповреждений и утратой способности к их репарации. Установлено присутствие во всех исследованных микроорганизмах эндогенных фотосенсибилизаторов порфиринового и флавинового типов, поглощающих излучение синей области спектра и сенсибилизирующих образование активных форм кислорода. Показано, что воздействие света вызывает фотоповреждение клеточной мембраны, регистрируемое по выходу ДНК и флуоресценции пропидиум йодида. Обнаружено также фотоповреждение внутриклеточных белков микробных клеток.

Проведены сравнительные исследования действия импульсного (наносекундного) и непрерывного излучения одной длины волны (405 нм) одинаковой средней плотности мощности. Установлено, что бактерицидный эффект более выражен при воздействии на патогены импульсного излучения.

Рассмотрены возможности усиления эффекта за счет оптимизации длины волны, одновременного воздействия света различных длин волн на различные клеточные мишени.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ИНАКТИВАЦИИ КОРОНАВИРУСОВ УФ ИЗЛУЧЕНИЕМ

**Завестовская И.Н.^{1,2}, Гушин В.А.³, Руссу Л.И.³, Чешев Е.А.¹,
Коромыслов А.Л.¹, Тупицын И.М.¹, Фроня А.А.^{1,2},
Григорьева М.С.^{1,2}**

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

*2 ФГАОУ ВО Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ,
115409, Россия, Москва, Каширское шоссе, 31*

*3 ФГБУ Национальный исследовательский центр эпидемиологии и микробиологии
имени почетного академика Н.Ф. Гамалеи, 123098, Россия, Москва, ул. Гамалеи,*

18

Одной из важных проблем является выявление физических основ чувствительности организмов, в том числе вирусов и бактерий, к оптическому и ультрафиолетовому излучению и изучение влияния интенсивности излучения на его повреждающее действие на организм. Выделяют два крупных типа деструктивных процессов, вызываемых излучением в организме: прямые и сенсibilизированные. УФС (200-290 нм) и УФВ (280-315 нм) излучение обладает высокой биологической активностью. В этом спектральном диапазоне происходит прямое поглощение квантов излучения важнейшими клеточными компонентами, в первую очередь, нуклеиновыми кислотами. А излучение диапазонов УФА (315-400 нм) и видимое (400-700 нм) такими клеточными компонентами непосредственно не поглощается, и его деструктивное действие обусловлено протеканием сенсibilизированных процессов. В связи с этим длина волны и интенсивность излучения являются критическими параметрами, определяющими действие излучения на живые организмы.

В последнее время в условиях пандемии активизировались работы по фотоинактивации патогенных микроорганизмов, в том числе нацеленные на решение задачи инактивации и эрадикации вируса SARS-CoV-2 (COVID-19). УФ излучение является перспективным для разработки бесконтактных методов обеззараживания воздушных потоков, контактных поверхностей, без использования

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

химических веществ. А работа в УФА спектральном диапазоне сделает такие методы обеззараживания доступными для использования в присутствии человека.

В докладе представлены результаты экспериментов по изучению влияния длины волны УФ излучения на инактивацию бычьего коронавируса, являющегося модельным для класса коронавирусов. В качестве источников излучения использовались светодиоды с длинами волн: 270, 308, 325, 340, 371, 385, 395, 401 нм. Проведена оценка дозы облучения для инактивации бычьего коронавируса с понижением титра вируса по крайней мере на 2 порядка. Для светодиода 370 нм получены результаты по полной инактивации вируса.

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

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

PHOTONICS AGAINST SARS-CoV-2: UV-C (254nm) RADIATION FOR N95 MASK DECONTAMINATION

Anderson S. L. Gomes

Physics Department, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brazil

The unexpected advent of the pandemics, caused by the SARS-CoV-2 which led to the COVID-19, made science and scientists worldwide make use of their scientific and technological arsenal to fight the virus. Several success cases have been reported, and of course many other were important as part of a learning process, even though they did not succeed in original proposals.

Photonics, an enabling technology, has been exploited to fight the SARS-CoV-2 virus in several different ways, from diagnostics tools to decontamination processes.

In this talk, I will describe novel applications of a known photonic tool, UV-C radiation, exploited to decontaminate N95 mask and different surfaces decontamination. After a brief introduction on the basics of the decontamination process by UV-C radiation, I will describe the outcomes of an international project which led to the development and characterization of UV-C (at $\lambda=254\text{nm}$) decontamination chambers used in hospitals in several countries for N-95 mask decontamination processes. Since 254nm radiation is harmful to the human being, I will point out recent development in using optical sources at 222nm, which has been shown not to harm skin or eyes, and therefore could be a great solution in many environments where decontamination processes are continuously required, as dental clinics and others.

О ЛАЗЕРАХ НА ОСНОВЕ УЗКОЗОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ТИПА A^4B^6

И. И. Засавицкий

*Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, г. Москва, Ленинский пр. 53
e-mail: zasavitii@lebedev.ru*

Полупроводники типа A_4B_6 представляют интерес как для генерации, так и для детектирования излучения в ИК области спектра. Особенно важно использовать их для разработки ИК диодных лазеров, так как эти материалы являются прямозонными. Рассмотрены три варианта разработки инжекционных лазеров: 1) использование четырехкомпонентных твердых растворов для согласования постоянных решетки используемого материала и подложки PbSe [1]; при этом учтена инверсия зон; 2) проанализировано рекордное значение достигнутой длины волны излучения 50 мкм и показано практическое применение таких лазеров для терагерцовой магнитоспектроскопии [2]; 3) на основе гетеропары PbEuTe/EuTe разработаны одномодовые лазеры с вертикальным выводом излучения при оптической накачке и продемонстрирована их температурная перестройка [3].

1. О.И. Даварашвили, Л.М. Долгинов, П.Г. Елисеев, И.И. Засавицкий, А.П. Шотов, Квантовая электроника, **4**, 904 (1977).
2. К.В. Маремьянин и др., ФТП, **52**, 1486 (2018).
3. Д.А. Пашкеев и др., ФТП, **50**, 229 (2016)

МОЩНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ОДНОМОДОВЫЕ ЛАЗЕРЫ И ЛИНЕЙКИ НА ИХ ОСНОВЕ С ВЫСОКОЙ СТАБИЛЬНОСТЬЮ ЛАТЕРАЛЬНОГО ДАЛЬНОГО ПОЛЯ

С.О. Слипченко

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

В настоящее время проблема повышения качества модовой структуры излучения является одной из основных в области физики мощных полупроводниковых лазеров. Актуальность ее решения обусловлена необходимостью повышения эффективности использования генерируемой мощности. Если поперечный волновод задается дизайном полупроводниковой гетероструктуры и обеспечивает устойчивую одномодовую работу, то латеральный волновод мощных полупроводниковых лазеров может удерживать десятки различных мод, а его свойства заметно меняются в широком диапазоне токов накачки. Решением проблемы многомодовых латеральных волноводов мощных полупроводниковых лазеров является использование различных конструкций линеек мощных одномодовых лазеров. В рамках доклада будут рассмотрены основные подходы по созданию InGaAs/AlGaAs/GaAs мощных одномодовых лазеров в спектральном диапазоне 1050-1070нм. В частности, продемонстрированы конструкции, обеспечивающие условия для генерации непрерывной мощности в одномодовом режиме до 500мВт и маломодовом режиме до 2Вт. Рассмотрены подходы по созданию линеек одномодовых лазеров с различной силой оптической связи. На примере 10-ти элементных конструкций линеек продемонстрированы возможности генерации непрерывной мощности 5Вт и импульсной мощности 25Вт при сохранении стабильного латерального поля $8\text{-}11^0$ с Гауссовым распределением в дальней зоне.

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

NEW DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF SEMICONDUCTOR DISK LASERS

V.I. Kozlovsky^{1,2}, M.R. Butaev^{1,2}

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

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

Presenting author e-mail address: kozlovskiyvi@lebedev.ru

The intensive development of semiconductor disk lasers (SDL) or surface-emitting semiconductor lasers with external resonator and optical pumping by laser diodes is associated with the ability to generate high-power radiation at high beam quality with high efficiency [1]. Currently, heterostructures with a build-in Bragg mirror based on III-V compounds that emit in the near-infrared (IR) range of the spectrum are mainly used in the SDL. Recently, a new type of SDL, the so-called membrane type, has been proposed, in which heterostructures without a Bragg mirror are used, and the cavity is formed by external mirrors [2]. This scheme allows you to significantly expand the range of materials from which you can grow active structures for SDL. In particular, you can use II-VI compounds, on the basis of which it is problematic to make a Bragg mirror.

Other new approach is to use heterostructures with band offset of the II-type. It has been shown that in such structures it is possible to achieve large gain coefficients sufficient for the implementation of SDL [3], which opens up new possibilities in the design of heterostructure.

Based on these trends, we are developing a SDL emitting in the green range based on a relatively new CdS/ZnSe heterostructures with band offset of the II-type. To date, we have succeeded in demonstrating lasing in a CdS/ZnSe SDL pumped by a repetitively pulsed N₂ laser [4].

This work was funded by RFBR, project number 20-32-90022.

- [1] M. Kuznetsov et al, IEEE Photon. Tech. Lett. 9 (1997) 1063-1065.
- [2] Hoy-My Phung et al, Optics Letters 45 (2020) 547-550.
- [3] H.K. Nirmal et al, Superlattices and Microstructures 88 (2015) 154-160.
- [4] M.R. Butaev et al, Quantum Electronics 50 (2020) 895–899.

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

**ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ GaInAs/AlGaInAs/InP С
КОМПЕНСАЦИЕЙ УПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ
ДЛЯ МОЩНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ СПЕКТРАЛЬНОГО
ДИАПАЗОНА 1.9 – 2.0 МКМ**

**В.Н. Светогоров¹, Ю.Л. Рябоштан¹, М.А. Ладугин¹, А.А. Мармалюк¹,
К.В. Бахвалов², Д.А. Веселов², А.В. Лютецкий², В.А. Стрелец²,
С.О. Слипченко², Н.А. Пихтин².**

¹ АО «НИИ «Полус» им. М.Ф. Стельмаха», Москва, Россия

² Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: laduginma@niipolyus.ru

Мощные лазерные диоды (ЛД), излучающие вблизи 2.0 мкм, находят применения в молекулярной спектроскопии, дистанционном зондировании атмосферных газов, медицине и многих других сферах деятельности. Для достижения указанной области длин волн используются различные системы материалов, но одной из более распространенных и удобных можно назвать систему материалов GaInAs/AlGaInAs с сильнонапряженными квантовыми ямами (КЯ).

На основе модели силового баланса спроектирована конфигурация активной области гетероструктуры (ГС) GaInAs/AlGaInAs, а также проанализирована вероятность образования дислокаций несоответствия (ДН) в формируемых многослойных ГС. Для длин волн вблизи 2.0 мкм предложена активная область, состоящая из КЯ GaInAs с расчетным напряжением сжатия +2.0 – +2.5 % и барьерные слои (БС) AlGaInAs с расчетным напряжением растяжения -0.5 – -0.4%. Указанные ГС получены методом МОС-гидридной эпитаксии и на их основе изготовлены ЛД с шириной полоскового контакта 100 мкм.

Созданные ЛД продемонстрировали выходную оптическую мощность 1.0 Вт в непрерывном режиме работы при комнатной температуре при токе накачки 6.5 А на длине волны 1.91 мкм и 7.2 А на длине волны 1.98 мкм.

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ КВАНТОВО-РАЗМЕРНЫХ ЛАЗЕРОВ НА ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

З.Н. Соколова¹, Н.А. Пихтин¹, С.О. Слипченко¹, Л.В. Асрян²

¹ *Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии
наук, 194021 Санкт-Петербург, Россия*

² *Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA 24061, USA
e-mail: zina.sokolova@mail.ioffe.ru*

Теоретически изучены характеристики полупроводниковых лазеров на квантовых ямах в зависимости от ширины волноводной области (ВО).

Показано, что для плотностей тока накачки j вплоть до 50 кА/см^2 мощность излучения рассмотренных лазеров слабо зависит от ширины ВО (b) при $b = 1.5\text{--}2.8 \text{ мкм}$. Этот результат является важным для создания лазеров с большой яркостью излучения, поскольку в таких лазерах для обеспечения малой расходимости излучения используется широкая ВО.

При $j > 50 \text{ кА/см}^2$ мощность излучения, как функция ширины ВО, имеет максимум. Спад выходной мощности при больших значениях ширины ВО связан не с возрастанием внутренних оптических потерь в ВО с ростом её ширины, а с сильным падением внутренней квантовой эффективности, особенно в лазерах с широкой ВО. Падение внутренней квантовой эффективности обусловлено возрастанием плотности тока спонтанной рекомбинации в ВО с ростом её ширины. Следует отметить, что существенная зависимость внутренней квантовой эффективности от ширины ВО начинает проявляться только при высоких плотностях тока накачки ($j > 30 \text{ кА/см}^2$).

Расчеты выявили очень сильную зависимость внутренних оптических потерь от плотности тока накачки и очень слабые зависимости как внутренних оптических потерь в ВО, так и суммарных потерь в лазерной структуре от ширины ВО при $b \geq 1.5 \text{ мкм}$ даже при очень высоких плотностях тока накачки (вплоть до 100 кА/см^2).

Работа поддержана грантом РФФИ N 19-79-30072.

ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРА И СТРУКТУРЫ ПОЛЯРИТОННЫХ МОД ГЕТЕРОЛАЗЕРА КЛАССА С ПОД ДЕЙСТВИЕМ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ВОЛН

А.В. Мишин, Е.Р. Кочаровская

*Институт прикладной физики РАН, г. Нижний Новгород, Россия
e-mail: mishin@ipfran.ru*

Доклад посвящён численному исследованию влияния однородной распределённой обратной связи встречных волн на поляритонный спектр и профили мод поля гетеролазера класса С с низкодобротным комбинированным резонатором Фабри-Перо и высокой спектральной и пространственной плотностью активных центров.

Анализ основан на совместном решении дисперсионного и характеристического уравнений, полученных линеаризацией уравнений Максвелла-Блоха в модели двухуровневой активной среды с однородным уширением спектральной линии и заданной однородной инверсией населённостей уровней активных центров [1-3].

Показано, что изменение амплитуды, периода и фазы брэгговской решётки позволяет управлять характеристиками поляритонных мод, в частности, обеспечивает прирост инкремента в комбинированном резонаторе по сравнению с резонатором Фабри-Перо.

Проведённое исследование является актуальным для выбора оптимальных параметров многослойных гетеролазеров с использованием слоёв экситонов или замагниченных квантовых ям с однородным уширением спектральной линии, в которых может быть реализована сверхизлучательная генерация на поляритонных модах. Согласно [1-3], именно спектральные и пространственные свойства таких мод во многом определяют режим работы лазера.

[1]. В.В. Железняков, Вл.В. Кочаровский, В.В. Кочаровский, Волны поляризации и сверхизлучение в активных средах, УФН, т. 159, с. 193 (1989).

[2]. V.I. Kocharovskiy, A.A. Belyanin, E.R. Kocharovskaya, V.V. Kocharovskiy, Superradiant lasing and collective dynamics of active centers with polarization lifetime exceeding photon lifetime, Springer Series in Opt. Sci., v. 193, p. 49 (2015).

[3]. Вл.В. Кочаровский, В.В. Железняков, Е.Р. Кочаровская, В.В. Кочаровский, Сверхизлучение: принципы генерации и реализация в лазерах, УФН, т. 187, с. 367 (2017).

ЭПИТАКСИАЛЬНО-ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ ДЛЯ МОЩНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

**Т.А. Багаев¹, А. А. Мармалюк¹, М. А. Ладугин¹, Ю.В. Курнявко¹,
А.М. Морозюк¹, В.В. Кричевский¹, В.П. Коняев¹, В.А. Симаков¹,
С.О. Слипченко², А.А. Подоскин², Н.А. Пихтин²**

¹ АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стедьмаха», 117342,

Москва, ул. Введенского, д. 3, корп. 1

² Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, 194021,

С.-Петербург, ул. Политехническая, 26

e-mail: bagaevta@niipolyus.ru

Источники мощного лазерного излучения спектрального диапазона 890–920 нм могут применяться во многих прикладных задачах, например, в мобильных лидарных комплексах. В импульсном режиме генерации полупроводникового лазера обычно используют схему управляемого включения с конденсатором и регулирующим элементом. Возможно различными методами интегрировать управляющий электронный ключ с гетероструктурой лазера – монолитно или гибридно, через припой. Увеличение мощности может быть достигнуто за счет соединения туннельными переходами нескольких лазерных гетероструктур в едином полупроводниковом кристалле.

В данной работе исследованы мощные полупроводниковые лазерные излучатели в виде гибридной сборки кристаллов тиристоров и интегрированного полупроводникового лазера с тремя излучающими областями. В качестве образца для сравнения использовался монолитный лазер-тиристор с тремя излучающими областями [1]. Гибридный лазер-тиристор по сравнению с интегрированным лазер-тиристором имеет повышенную выходную мощность (на 40%) с одновременным повышением массогабаритных параметров.

[1] Т. А. Багаев, М. А. Ладугин, А. А. Падалица, и др., Тройной интегрированный лазер-тиристор, Квантовая электроника, Т.50, С. 1001-1003, (2020).

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ СО СВЕРХТОНКИМИ СЛОЯМИ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОЙ И КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

М.А. Ладугин

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

В настоящее время существует большое количество научных и производственных задач, требующих для своего решения разработки и создания эпитаксиальных гетероструктур с тонкими и сверхтонкими слоями — одиночными и множественными квантовыми ямами и барьерами. От их правильно выбранной конструкции и технологии получения зависят выходные характеристики создаваемых приборов. Одним из современных и ведущих методов получения полупроводниковых гетероструктур является МОС-гидридная эпитаксия. Большая гибкость в выборе исходных материалов, широкий диапазон варьирования параметров роста, возможность получения резких гетерограниц и сверхтонких слоев, хорошая масштабируемость процесса роста и низкая себестоимость единицы изделия делают этот метод незаменимым при организации промышленного производства.

В представленной работе рассмотрены возможности указанного метода при формировании гетероструктур полупроводниковых соединений АЗВ5 для таких приборов оптической и квантовой электроники как генераторы Блоха, модуляторы лазерного излучения (Маха-Цендера), фотоприемники на квантовых ямах и полупроводниковые лазеры, в том числе квантово-каскадные среднего и дальнего ИК-диапазона спектра.

Приводятся и обсуждаются результаты разработки гетероструктур, квантовых ям и сверхрешеток InGaAs/InAlAs/InP и GaAs/AlGaAs/GaAs с заданными свойствами для перечисленных приборов, функционирующих преимущественно на межподзонных переходах. Представлены основные характеристики приборов.

NEAR-INFRARED STIMULATED EMISSION FROM INDIUM- RICH InGaN LAYERS GROWN BY PLASMA-ASSISTED MBE

**D. Lobanov^{1,2}, K. Kudryavtsev^{1,2}, B. Andreev¹, L. Krasilnikova¹,
P. Yunin^{1,2}, M. Kalinnikov¹, A. Novikov^{1,2}, Z. Krasilnik^{1,2}**

¹ Institute for Physics of Microstructures RAS, Nizhniy Novgorod, Russia

² Lobachevskiy Nizhniy Novgorod State University, Nizhniy Novgorod, Russia
e-mail: dima@ipmras.ru

Today, Ga-rich InGaN stands as a basic material for commercially available violet/blue lightemitting diodes and lasers. On the contrary, In-rich InGaN is mostly considered as a material for future solar cells, high-speed electronics, and chemical sensors with a limited role regarding near-IR light emitters.

We report on the stimulated emission (SE) in the near-infrared range from the planar InGaN epitaxial layers grown on sapphire substrates. By varying the indium content from 100% to 75%, the emission wavelength is tunable from 1.65 to 1.1 μm and minimum threshold intensities of 20–30 kW/cm^2 at $T = 77$ K were obtained for layers with an 80%–90% indium fraction emitting around 1.3 μm [1]. We suggest that at low temperatures, limitations for observation of SE from heavily doped InN and InGaN layers are mostly imposed by strong losses due to free carrier absorption approaching material gain at residual electron concentrations in excess of several 10^{19} cm^{-3} and not directly by Auger recombination of non-equilibrium charge carriers. At higher temperatures, Shockley–Read–Hall (SRH) recombination sets on as a dominant nonradiative process, which determines temperature quenching of stimulated emission at $T_{\text{max}} \sim 190\text{--}210$ K in a way very similar to that observed earlier for InN layers with a much lower background doping level of about 10^{17} cm^{-3} [2]. Thus, different defect centers are expected to provide free electrons for InN and InGaN layers under consideration and to contribute to the SRH recombination rate, which affects SE at high temperatures.

[1] D.N. Lobanov et al., Near-infrared stimulated emission from indium-rich InGaN layers grown by plasma-assisted MBE, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 118, p. 151902 (2021).

[2] B.A. Andreev et al., Towards the indium nitride laser: obtaining infrared stimulated emission from planar monocrystalline InN structures, *Scientific Reports*, vol. 8, p. 9454 (2018).

**WATT-POWER-RANGE ULTRAVIOLET EMITTERS BASED
ON MONOLAYER-THICK GaN/AlN MQW STRUCTURES
WITH E-BEAM PUMPING**

**D. Nechaev¹, A. Semenov¹, K. Orekhova¹, M. Yagovkina¹, P. Alexeev¹,
B. Borodin¹, V. Kozlovsky², M. Zverev^{2,3}, D. Sviridov²,
N. Gamov³, V. Jmerik¹**

¹ *Ioffe Institute, Saint Petersburg, Russia*

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

³ *Moscow Technological University, Moscow, Russia*

e-mail: jmerik@pls.ioffe.ru

We report powerful electron-beam pumped ultraviolet (UV) semiconductor emitters operating in the 230–260 nm spectral range that are effective for optical deactivation of various pathogens, including SARS-CoV-2. UV-emitters are based on structures with multiple quantum wells $N \times \{\text{GaN}_m/\text{AlN}_n\}$, where $N = 100\text{--}400$ is the number of wells, $m = 1.5\text{--}2.0$ ($n = 6\text{--}16$) are the numbers of monolayers (ML) in the wells (barriers) at a thickness $1\text{ML} = 0.249$ nm. The structures were grown using plasma-assisted molecular beam epitaxy [1]. The structural properties of the samples were investigated by X-ray diffraction analysis and atomic force microscopy, which revealed the main dependences of the characteristics of spiral step-flow growth of structures with atomically smooth surface topology on the growth parameters. The structures upon excitation with an electron beam with an energy of 10–30 keV showed single peaks of cathodoluminescence in the spectral range 230–260 nm with a typical width of 15–20 nm. The pulsed output optical power of the UV emitters was determined by the pumping current of the electron beam, which varied from tens of microamperes in standard electron guns to ~ 0.5 A in guns with a ferroelectric plasma cathode. In the latter case, the pulsed output power could reach ~ 10 W with an average pulse power of ~ 50 μJ .

[1] V. Jmerik et al., *Nanomaterials*, 11, 2553, (2021).

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур

Стеновые доклады

MODELING AND ESTIMATION OF PARAMETERS OF LASER ACTION ON PBTE EPITAXIAL FILMS TO OBTAIN NANOCLUSTERS ON ITS SURFACE

D. Bukharov

*A.G. & N.G. Stoletov Vladimir State University, Vladimir, Russia
e-mail: buharovdn@gmail.com*

Laser nanomodification of epitaxial PbTe films makes it possible to obtain nanocluster structures on a solid surface, which are promising for modern nanoelectronics and nanophotonics [1].

Laser nanomodification for PbTe films is implemented within narrow temperature limits. In this regard, it is useful to carry out a preliminary assessment of the key parameters of laser radiation, the action of which leads to the formation of nanoclusters. These parameters were described by the power and time of exposure to local spatial structures.

So the value of the radiation power was chosen taking into account its preliminary modeling based on the determination of the temperature field within the solution of the heat conduction equation with a moving Gaussian source, implemented in MATLAB LaserToolbox [2]. Thus, the frame power limits were obtained: less than 5 W, the film surface did not change, and at values above 10 W, a melted relief was observed. The most optimal mode of nanomodification was simulated for a power equal to 8 W and a spot diameter of 30 μm when scanning the surface at a speed of $v = 80 \mu\text{m} / \text{s}$. To preliminary estimate the time of controlled laser action on local spatial structures, we used a model based on the diffusion approach [3]. Thus, starting from 0.3 s, the region of surface modification was simulated with a histogram of the cluster size distribution with a bimodal character.

The modeling performed qualitatively correctly predicted the subsequent experimental results.

[1] Bagaev S.N. et al. Nano-optics of thin-film laser-induced topological structures on the surface of a solid: fundamental phenomena and their applications, Izvestiya RAN Physical series, vol. 84, pp. 245-249, (2020).

[2] Römer, G.R.B.E. Matlab Laser Toolbox, Physics Procedia, vol. 5. pp. 413-419, (2010).

[3] Makarov A.A., Kucherik A.O. Simulation modeling of the formation of an ensemble of nanoparticles with a bimodal size distribution under the action of continuous laser radiation on PbTe films, Bulletin of the Nizhny Novgorod University, vol. 3, pp. 218-223, (2013).

ELECTRON-BEAM PUMPED VECSEL BASED ON AN $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}/\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ HETEROSTRUCTURE EMMITING at 780 nm

**M.R. Butaev^{1,2}, A.Yu. Andreev³, I.V. Yarotskaya³, A.A. Marmalyuk³,
V.I. Kozlovsky^{1,2}, Y.K. Skasyrsky¹**

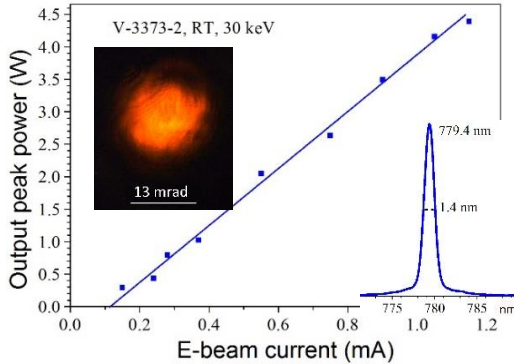
¹ P.N. Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia

² National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

³ OJSC M.F. Stel'makh Polyus Research Institute, Moscow, Russia

Presenting author e-mail address: mbutaev@mail.ru

A tunable laser with a wavelength near 780 nm and a line width of less than 1 kHz is needed to cool rubidium atoms. A vertical external cavity surface-emitting laser (VECSEL) has potential advantages over the currently used laser diode with an external resonator both in terms of the minimum line width and noise level [1]. A VECSEL emitting near 780 nm was implemented in [2]. The structure was grown by MBE without a built-in Bragg mirror and a new laser scheme, namely a membrane external-cavity surface-emitting laser scheme, was used. In this



paper, we report on the implementation of an e-beam pumped VECSEL on a heterostructure with a built-in Bragg mirror grown by MOCVD.

The heterostructure contained a Bragg mirror of 30 pairs of alternating layers and 10 quantum wells sequentially built on substrate GaAs. The cavity was formed by the Bragg mirror and the external concave mirror with a radius of curvature of 30 mm. The length of the resonator was 27 mm. The dependence of an output power on e-beam current is presented in figure. A far-field pattern and a laser spectrum are shown in inserts.

This work was funded by RFBR, project number 20-32-90022.

[1] P.H. Moriya et al, Optics Express 28 (2020)15943-1053.

[2] H. Kahle et al, Optics Letters 44 (2020) 1146-1149.

SEMICONDUCTOR GREEN LASER BASED ON MOVPE GROWN CdS/ZnSe/ZnSSe MQW HETEROSTRUCTURE WITH LONGITUDINAL PUMPING BY BLUE LD

M.R. Butaev^{1,2}, V.I. Kozlovsky^{1,2}, Y.K. Skasyrsky¹

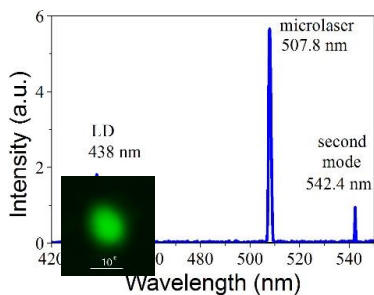
¹ P.N. Lebedev Physical Institute, Moscow, Russia

² National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

Presenting author e-mail address: mbutaev@mail.ru

The intensive development of semiconductor disk lasers (SDL) with optical pumping by laser diodes is associated with the ability to generate high-power radiation at high beam quality with high efficiency [1].

Recently, a new type of SDL, the so-called membrane type, has been proposed, in which heterostructures without a Bragg mirror are used, and the cavity is formed by external mirrors [2]. The use of InGaN/GaN heterostructures in this type of SDL for actual green-blue range is currently problematic, as it is difficult to separate them from the growth sapphire substrate. Concerning the ZnCdSe/ZnSSe heterostructures, it is believed that they are not reliable for laser applications due to their degradation problems.



Last time we study new CdS/ZnSe heterostructure which may be more stable for laser applications. We have already obtain lasing with these heterostructures using both microcavity [3] and external cavity [4] under pumping by N₂-laser. In this paper, we report on the generation of lasing in a microcavity upon longitudinal pumping by a blue LD.

The structure has been grown by MOVPE on GaAs. It contains 10 CdS/ZnSe/ZnSSe QW. Laser spectrum is presented in the figure. Far field pattern is shown in the insert in the figure.

This work was funded by RFBR, project number 20-32-90022.

[1] M. Kuznetsov et al, IEEE Photon. Tech. Lett. 9 (1997)1063-1065.

[2] Hoy-My Phung et al, Optics Letters 45 (2020) 547-550.

[3] M.R. Butaev et al, Quantum Electronics 50 (7) (2020) 683–687.

[4] M.R. Butaev et al, Quantum Electronics 50(10) (2020)895–899.

STIMULATED EMISSION IN FAR-IR WAVELENGTH RANGE FROM HgCdTe QUANTUM WELL STRUCTURES

A.A. Dubinov¹, S.V. Morozov¹, V.V. Rumyantsev¹, M.S. Zholudev¹, V.Ya. Aleshkin¹, V.V. Utochkin¹, M.A. Fadeev^{1,2}, K.E. Kudryavtsev¹, N.N. Mikhailov^{3,4}, S.A. Dvoretiskii^{4,5}, V.I. Gavrilenko¹, F. Teppe²

¹ Institute for Physics of Microstructures RAS, Nizhny Novgorod, Russia

² Laboratoire Charles Coulomb, University of Montpellier, Montpellier, France

³ Institute of Semiconductor Physics, SBRAS, Novosibirsk, Russia

⁴ Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

⁵ Tomsk State University, Tomsk, Russia

e-mail: sanya@ipmras.ru

The problem of developing compact far-IR wavelength emitters is one of the hottest topics in the applied physics. There is a spectral «gap» $\lambda = 20 - 60 \mu\text{m}$ in which no quantum cascade lasers (QCLs) are available (except for several specific wavelengths near $20 \mu\text{m}$) since the majority of QCLs are based on AIIIBV materials with strong lattice absorption in this spectral region. On the other hand, modern molecular beam epitaxy (MBE) delivers high quality HgTe/CdHgTe quantum well (QW) heterostructures. They allow tailoring the bandgap between hole and electron levels in QW to $\lambda = 20 - 60 \mu\text{m}$ and have TO phonon frequencies lying lower than this range. In addition, HgTe/CdHgTe structures offer strongly non-parabolic dispersion law resembling that of graphene but with a finite gap and finite carrier masses which set a considerable energetic threshold for Auger processes. We report on stimulated emission (SE) at wavelengths up to $31 \mu\text{m}$ from HgTe/HgCdTe QW heterostructures with wide-gap HgCdTe dielectric waveguide, grown by MBE on GaAs(013) substrates. For SE at $31 \mu\text{m}$ the mode localization is achieved due to Reststrahlen band in GaAs substrate. The mitigation of Auger processes in structures under study is exemplified and the promising routes towards the $30-40 \mu\text{m}$ wavelength range, where HgCdTe lasers may be competitive to currently known emitters, are discussed.

This work was supported by the RSF (№ 17-12-01360).

**RESEARCH PROPERTIES OF GERMANIUM
NANOPARTICLES SYNTHESIZED BY PULSE LASER
ABLATION IN A GAS**

**A.V. Rudy^{1,5}, A.A. Fronya^{1,2}, S.V. Antonenko¹, N.V. Karpov¹,
V.N. Pokryshkin¹, A.Yu. Kharin¹, S.M. Klimentov¹, V.Yu. Timoshenko^{1,2,3},
A.V. Kabashin^{1,4}**

1 National Research Nuclear University "MEPhI", Russia

2 Physical Institute named after P.N. Lebedev RAS, Russia

3 Moscow State University M.V. Lomonosov, Russia

4 Aix Marseille University, France

5 General Physics Institute A.M. Prokhorov Russian Academy of Sciences;

e-mail address: oyeebaby@icloud.com

The study and implementation into practice of various nanostructured materials for biomedical applications remains an extremely important task today. Germanium nanoparticles are considered as one of the promising materials, for example, for use in biovisualization [1].

The presented work is aimed at studying the photoluminescence (PL) properties and structural features of germanium (Ge) nanoparticles synthesized by pulsed laser deposition (PLD) in a gas medium. Ablation was carried out at various helium (He) pressures; one of the samples was obtained by adding a fraction of nitrogen (N₂) to He. The deposition experiment was carried out with an MBE-2000, PVDProduct system using a COMpexPro KrF excimer laser (248nm, 30ns, 1-105Hz).

The analysis of the structural, elemental and phase composition of the samples was carried out using such methods as scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction, Raman spectroscopy.

Samples of the deposited films contain nanocrystalline germanium, as shown by Raman spectroscopy. It was found by scanning electron microscopy that the samples contain germanium nanograins, and oxygen is also present in the samples, which may indicate the formation of germanium oxide films. A comparative analysis with silicon nanoparticles (Si) obtained under similar conditions is presented [2].

Samples of germanium films were suspended and subjected to centrifugation, then the sample that demonstrated the best transition to suspension was studied. Ge nanoparticles in an ethanol suspension have a

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

crystalline structure, which is confirmed by Raman spectroscopy and X-ray structural analysis. SEM methods revealed that particles in suspension have a size of about 50 nm, while tending to agglomeration, agglomerates have sizes of the order of a micron.

The resulting suspension samples exhibit identifiable photoluminescence. The photoluminescence spectral region falls into the first transparency window of biological tissues (650-900 nm).

The authors are grateful for the financial support of the Russian Science Foundation (grant no. 19-72-30012).

[1] James R., J. J. Shiang и A. P. Alivisatos. Germanium quantum dots: optical properties and synthesis. *Phys.* 101, 1607. (1994).

[2] A.A. Fronya, S.V. Antonenko, A.Yu. Kharin, et all. Tailoring photoluminescence from Si-based nanocrystals prepared by pulsed laser ablation in He-N₂ gas mixtures for biomedical applications. *Molecules* 2020, 25(3), 440.

HELIUM-LIKE DONORS IN SILICON FOR STIMULATED RAMAN SCATTERING

R.Kh. Zhukavin, V.V. Tsyplenkov, V.N. Shastin

*Institute for Physics of Microstructures, Nizhny Novgorod, Russia
e-mail: zhur@ipmras.ru*

The aim of the presented work was to investigate the possibility of using the helium-like donors in silicon as an active laser medium. For the case of optically pumped silicon doped with group-V donors with moderate concentrations one can reach both the inversion based lasing and stimulated raman scattering (SRS) [1]. In the latter case, the magnitude of the Stokes shift is determined by the energy difference between $1s(A_1)$ ground state (here the notation describing “inner” electron wave-function is omitted), and the $1s(E)$ state. The ground state for these centers (magnesium, sulfur, selenium, tellurium) turns out to be noticeably deeper (e.g. for S and Se the binding energies exceed 300 meV), while the energy of $1s(E)$ increases slightly. The presence of large “chemical” shift raises the problem of rapid depopulation of the $1s(E)$ state for group-VI donors (S, Se, Te) though not a case for Mg. The “chemical” shift also results in deeper positioning of the $2s(A_1)$ level which becomes noticeably deeper than odd states resulting in fast decay into the $1s(E)$, $1s(T_2)$ levels via emission of intervalley phonons. This feature makes it possible to obtain the SRS lasing at 2-3 THz, expanding the range of THz lasing in silicon doped by donors. The calculations of SRS cross-section give values up to 10^{-13} cm² in the case of resonances with odd states and up to 10^{-15} cm² out of resonances under pumping intensity of 200 kW/cm². In the case of Si:Mg it is also possible to expect the realization of SRS utilizing the $1s(A_1) - 1s(E)$ transition though the cross sections are about one order less due to smaller matrix elements for $np-1s(E)$ transitions in comparison with $np - 2s(A_1)$ ones.

The work was supported by Russian Foundation for Basic Research (project 19-02-00979).

[1] S. G. Pavlov et al. Competing Inversion-Based Lasing and Raman Lasing in Doped Silicon, Physical Review X, vol. 8, pp. 041003 (1-8), 2018.

НАНОЧАСТИЦЫ КРЕМНИЯ – КАК СЕНСИБИЛИЗАТОРЫ ДЛЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

А.Ф. Алыкова^{1,2}, И.Н. Завестовская^{1,3}, В.Ю. Тимошенко^{1,3,4}

¹Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Инженерно-физический институт биомедицины, Москва, Россия

²Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия

³Физический институт им П.Н. Лебедева РАН, 119333 Москва, Россия

⁴Московский государственный университет им М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия
e-mail: afalykova@mephi.ru

В работе было проведено исследование наночастиц кремния (НЧ Si) как эффективных сенсibilизаторов для биомедицинских применений. Одним из перспективных направлений является применение наночастиц кремния в качестве сенсibilизаторов терапии, в том числе в технологиях фотогипертермии. Для исследования этих механизмов была изучена растворимость НЧ лазерно-аблированного кремния (ABL Si) в зависимости от показателя среды pH, определено время растворения, найдена зависимость температуры водных суспензий НЧ ABL Si от режима лазерного излучения, изучена жизнеспособность клеток на биологической модели – одноклеточных организмах *Paramecium caudatum* в изучаемых средах под действием лазерного излучения. Инфузории *Paramecium caudatum* были выбраны в связи с тем, что, несмотря на простоту организации, сочетают в себе признаки отдельной клетки и целостного организма. К примеру скорость движения клеток *Paramecium caudatum* резко возрастает при повышении температуры от 25 до 30°C, в то время как дальнейшее повышение температуры выше 40°C обычно приводит к гибели клеток. Последний умеренный уровень близок к хорошо известному порогу гипертермии для раковых клеток [1].

Скорость растворения НЧ в растворах с pH = 5,0; 7,0 и 8,0 измерили по данным спектров экстинкции. Скорость растворения зависела от показателя кислотности pH, причем более высокие скорости наблюдались для растворов с более высоким показателем pH, в то время как характерные времена растворения для всех образцов находились в диапазоне нескольких дней. Следует отметить, что время растворения было значительно больше прогнозируемого времени воздействия ла-

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

зерным излучением (десятки минут) и больше типичного времени накопления PSi *in vivo*, согласно работе [2]. Такая скорость растворения выглядит благоприятной для применения НЧ ABL Si в биоимаджинге и терапии [3].

С целью измерения температуры водных суспензий ABL Si при различных режимах лазерного излучения (QCW и CW) была разработана и сконструирована экспериментальная установка. Водная суспензия НЧ ABL Si с концентрацией 0,4 мг/мл в объеме 1 мл добавлялась в пластиковую кювету к 2 мл суспензии клеток, инкубировалась 30 мин, после чего подвергалась воздействию лазерного излучения в течение 3 мин. Плотность клеток в каждой пробе в начале опыта составляла 10 особей в 1 мл.

Установлено, что синтезированные лазером НЧ ABL Si могут быть эффективными сенситизаторами локальной гипертермии при их облучении лазерным излучением в области относительной прозрачности тканей (808 нм). Анализ экспериментально полученных данных подтвердил, что режим QCW действительно более эффективен для инициирования гипертермии, приводящей к 100%-й гибели клеток даже при относительно низких концентрациях НЧ ABL Si.

[1] Alykova, A. F. Effect of long-wavelength coherent radiation on a biological object (unicellular organism *Paramecium Caudatum*) in presence of silicon nanoparticles / A. F. Alykova, N. V. Karpov V. A. , Oleshenko, O. V. Karpukhina, O. M. Alykova, V. V. Bezotosniy, S. M. Klimentov, V. Yu. Timoshenko, I. N. Zavestovskaya // J. of Phys.: Conference Series. – 2019. – Vol. 1189. – P. 012035. – DOI: [10.1088/1742-6596/1189/1/012035](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1189/1/012035).

[2] [Oleshchenko, V. A.](#) Localized infrared radiation-induced hyperthermia sensitized by laser-ablated silicon nanoparticles for phototherapy applications / [V. A. Oleshchenko](#), A. Yu. Kharin, A. F. Alykova, [O. V. Karpukhina](#), [N. V. Karpov](#), A. A. [Popov](#), V. V. [Bezotosnyia](#), [S. M. Klimentov](#), [I. N. Zavestovskay](#), [A. V. Kabashin](#), [V. Yu. Timoshenko](#) // J. Pre-proofs: Applied Surface Science. – 2020. – DOI: [10.1016/j.apsusc.2020.145661](https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145661)

[3] Gu, L. In vivo time-gated fluorescence imaging with biodegradable luminescent porous silicon nanoparticles / L. Gu, D. J. Hall, Z. Qin, E. Anglin, J. Joo, D. J. Mooney, S. B. Howell, M. J. Sailor // Nat. Commun. – 2013. – Vol. 4. – P. 2326. – URL: <https://doi.org/10.1038/ncomms3326>.

ЛИНЗЫ С ПЕРЕМЕННЫМ ФОКУСНЫМ РАССТОЯНИЕМ В СИСТЕМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

**А.Ф. Алыкова^{1,2}, Н.В. Васильев³, О.М. Алыкова³,
А.В. Рыбаков³, В.В. Смирнов^{3,4}, И.Н. Завестовская^{1,5}**

¹Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Инженерно-физический институт биомедицины, Москва, Россия

²Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, Россия

³Астраханский государственный университет, Астрахань, Россия

⁴Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген.-адм. Ф.М. Апраксина - филиал ФГБОУ ВО "ВГУВТ", Астрахань, Россия

⁵Физический институт им П.Н. Лебедева РАН, 119333 Москва, Россия
e-mail: afalykova@mephi.ru

Оптические элементы систем технического зрения во многом определяют их стоимость [1]. Так, объективы с фиксированным фокусным расстоянием, содержат от 3 до 7 линз, в трансфокаторах или вариофокаторах количество оптических элементов может превышать 20 [2]. Отдельные линзы при этом по сложным законам перемещаются внутри корпуса объектива и относительно друг друга, меняя фокусное расстояние всей системы при неизменном положении фокальной плоскости. Вариообъективы по сравнению с трансфокаторами, позволяют достичь лучшего исправления многих аберраций при меньшем числе линз и компонентов, а также добиться повышенной геометрической светосилы во всём диапазоне фокусных расстояний [3]. Отметим, что цена на трансфокаторы и вариообъективы заметно превышает стоимость объективов с фиксированным фокусным расстоянием. В качестве возможной альтернативы предлагается использовать устройство (линзу) с изменяющейся кривизной поверхности (переменным фокусным расстоянием), с помощью чего и осуществляется настройка на резкость. Информация о таких линзах появилась не позже 1958 г. Это патент США №2,836,101, полученный deSwart. Более поздние примеры могут быть найдены в статье "Плакированные жидкие линзы с динамически реконфигурируемым жидким ядром в микроструйном канале" [4], в Международной публикации патентных заявок №WO 2008/063442, озаглавленной "Liquid Lenses with Polycyclic Alkanes", в патентах США №5,684,637 и №6,715,876, выданные Floyd, патент США №7,085,065, выданный Silver и ряде других. Эти жидкие линзы

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

обычно ориентированы на фотонику, технологию цифровых телефонов и камер, микроэлектронику, а также на потребительское офтальмологическое применение.

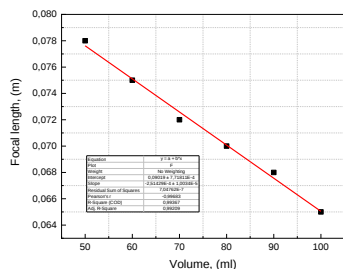


Рис. 1. График зависимости фокусного расстояния линзы от ее объема

тем закачивания между салфетками с помощью шприца воды. Фокусное расстояние линзы определялось непосредственным его измерением на разработанной установке. Необходимо отметить, что получению качественного изображения при помощи предложенной модели линзы, препятствовали: недостаточная прозрачность латексной пленки, что приводило к размытости получаемого изображения; значительный объем моделированной линзы, что приводило к искажениям поверхности пленки за счет силы тяжести, и, как следствие, к искажениям получаемого изображения.

В целом, результаты проведенных исследований позволяют утверждать о возможности применения линз с переменной кривизной поверхности в качестве оптических элементов системы технического зрения.

[1] Введение в систему технического зрения https://kipia.ru/upload/iblock/d78/Auton_sist_tech_zrn.pdf.

[2] https://ru.wikipedia.org/wiki/Объектив_переменного_фокусного_расстояния

[3] Теория оптических систем, 1992, с. 264

[4] Tang, S.K.Y.; Stan, C.A.; Whitesides, G.M. Dynamically reconfigurable liquid-core liquid-cladding lens in a microfluidic channel. LabChip 2008, 8, 395–401.

В настоящей работе была принята попытка понять возможности жидких линз и перспективы их использования для различных конструкций технического зрения. Модель линзы с изменяющейся кривизной поверхности была изготовлена на основе двух пластиковых обкладок канцелярских клипс, и прозрачных латексных салфеток. Изменение объема линзы, а, следовательно, кривизны ее поверхностей, осуществлялось пу-

**ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ
ПОЛУПРОЗРАЧНЫХ СРЕД ИЗЛУЧЕНИЕМ С ДЛИНОЙ
ВОЛНЫ 248 НМ**

П.В. Велиев¹

*¹НИЯУ МИФИ, Каширское шоссе 31, 115409, Москва, Россия
e-mail: p.veliev@lebedev.ru*

Лазерное сверление приобретает все большее значение при формировании различных технических отверстий, каналов и углублений, с диаметрами отверстий в диапазоне от 10 до 50 мкм. Альтернативные, механические подходы сверления становятся трудными и экономически неэффективными. Помимо этого, лазерный метод является более предпочтительным для ряда композитных и твердых материалов, которые сложно обрабатывать на микроскопическом уровне с помощью контактных механических инструментов. В нашей работе мы наблюдаем некоторые особенности взаимодействия лазерного излучения (KrF лазер, 248-нм) с полупрозрачными средами: полиметилметакрилате (ПММА), поликарбонате, кварцевом стекле, силикатном стекле К-8. Формирование канала KrF лазером на длине волны 248-нм сопровождается абляцией на образцах (ПММА, поликарбонат, силикатное стекло К-8), с последующим образованием канала, который проявляет волноводные свойства. При длительном сверлении с заданной энергией в образцах (ПММА, поликарбонат, силикатное стекло К-8) наступает некоторая длина насыщения, при которой дальнейший рост канала не наблюдается. Мы наблюдали данные процессы при различной энергии излучения и числовой апертуре фокусировки. В настоящее время ведутся дальнейшие экспериментальные работы.

МОЩНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ ДЛЯ ДАЛЬНОМЕРНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

**Ю.К.Кириченко, Д.А.Веселов, А.А.Климов, С.О.Слипченко,
М.А.Ладугин, А.А.Мармалюк, Ю.Л.Рябоштан, Н.А.Пихтин**

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

² АО НИИ «Полус» им.М.Ф.Стельмаха, Москва, Россия

Электронная почта для переписки: dmitriy90@list.ru

Мощные торцевые полупроводниковые лазеры на основе квантоворазмерных наногетероструктур, рассчитанные на генерацию на длине волны около 1450 нм, необходимы для различных приложений, включая телекоммуникацию, дальнометрию, накачку твердотельных лазеров и многие другие. Для большинства применений требуется высокая мощность, высокий КПД и высокая температурная стабильность. Однако в лазерах этого спектрального диапазона существует ряд физических механизмов, которые препятствуют достижению уровней мощности, характерных для лазеров на основе GaAs.

В данной работе мы исследуем AlGaInAs / InP гетероструктуры для торцевых многомодовых полупроводниковых лазеров с импульсной накачкой с высокой импульсной оптической мощностью и температурной стабильностью. Для этого было выращено несколько гетероструктур и изготовлены лазеры для сравнения их выходных характеристик в режиме работы с импульсной накачкой (длительность импульса 100 нс, частота импульсов 1 кГц). На основе этих гетероструктур были изготовлены лазеры с шириной апертуры 100 мкм и длиной резонатора 2.5-3 мм.

В результате разработки были продемонстрированы следующие характеристики: достигнута максимальная пиковая оптическая мощность 25 Вт при амплитуде тока накачки 120 А (температура 25⁰С, 100 нс / 1 кГц). Высокая температурная стабильность изготовленных лазеров подтверждается максимальной оптической мощностью 18 Вт при амплитуде тока 100 А, достигнутой при температуре 70 ⁰С (100 нс / 1 кГц).

Работа поддержана Российским Научным Фондом (номер проекта 19-79-30072).

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОЛНОВОДНЫХ СЛОЕВ И КВАНТОВЫХ ЯМ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ InGaAs/AlGaAs/GaAs

**Н.А. Волков¹, К.Ю. Телегин¹, Д.Р. Сабитов¹, Л.И. Шестак²,
А.А. Козырев², В.А. Панарин²**

¹ООО «Сигм плюс», 117342, Москва, ул. Введенского, 3

²ООО «НПП «Инжест», Россия, 410033, Саратов, ул. Элмашевская, 3а
e-mail: Volkov_n_a@mail.ru

Повышение выходной мощности полупроводниковых лазеров с длиной волны излучения 940-980 нм востребовано для ряда важных практических применений. Ведущим способом повышения выходной мощности таких лазеров является использование гетероструктур с расширенными волноводами. В данной работе рассматривается влияние перехода к более узкозонным волноводам. Исследовались лазеры с волноводами $\text{Al}_{x_w}\text{Ga}_{1-x_w}\text{As}$: $x_w=0.3, 0.15$ и 0.1 . В подобных структурах ожидается уменьшение локализации носителей заряда в квантовых ямах, что, с одной стороны, должно приводить к снижению дифференциальной эффективности. С другой стороны, узкозонные слои характеризуются сниженным удельным сопротивлением, что улучшает вольт-амперную характеристику и способствует уменьшению тепловыделения во время работы. Последнее позитивно сказывается на выходной мощности лазеров благодаря снижению насыщения дифференциальной эффективности с током накачки.

Исследование образцов показало уменьшение последовательного сопротивления при снижении мольной доли AlAs в слоях AlGaAs, такое же поведение продемонстрировало и напряжение отсечки, уменьшившись с 1,4 В ($x_w=0.3$) до 1.32 ($x_w=0.15$) и 1,29 В ($x_w=0.1$). Всё это позволило отодвинуть момент насыщения ВтАХ и способствовало сохранению наклона ВтАХ при увеличении рабочих токов.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ-ТИРИСТОРОВ С ЛОКАЛИЗАЦИЕЙ ТОКА

**П. С. Гаврина¹, А. А. Подоскин¹, С. О. Слипченко¹, Т. А. Багаев²,
М. А. Ладугин², А. А. Мармалюк², В. А. Симаков², Н. А. Пихтин¹**

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

²АО «НИИ "Полус" им. М.Ф. Стельмаха», Москва, Россия

e-mail: gavrina@mail.ioffe.ru

Исследована работа полупроводниковых лазеров-тиристорov на основе гетероструктуры AlGaAs/GaAs/InGaAs с составной p-GaAs базой (слаболегированным слоем толщиной 4.3 мкм и сильнолегированным слоем 0.2 мкм со стороны p-эмиттера) с выраженной локализацией тока. Ранее было установлено, что в приборах с апертурой 200 мкм, не имеющих сильнолегированного p-слоя в базовой области, локализация тока не препятствует достижению выходной оптической мощности на уровне десятков Вт (в [1] 47 Вт при длительности импульса ~100 нс). Добавление сильнолегированного слоя привело к появлению срывов лазерной генерации, но повышению расчётной амплитуды тока – значение выходной оптической мощности не превышало 13 Вт при амплитуде тока ~170 А [2].

Обнаружено повышение быстродействия прибора при усилении локализации тока. Длительность оптического импульса при номинале питающего конденсатора 470 нФ сократилась с 350 нс при 10 В до 150 нс при 27 В. Регистрируемое с помощью светочувствительной камеры излучение из области локализации даёт представление о её размерах: они варьируются от 170 мкм до 350 мкм при номиналах конденсатора от 2 до 220 нФ и длительностях импульса от 10 нс до 112 нс, соответственно. На основе рассмотренной гетероструктуры могут быть изготовлены быстродействующие токовые ключи для внешней накачки полупроводниковых лазеров.

[1] S. O. Slipchenko et al., Effect of the spatial current dynamics on radiative characteristics of high-power lasers-thyristors based on AlGaAs/GaAs heterostructures, J. Appl. Phys., V. 121, №. 5, p. 054502 (2017).

[2] А. А. Подоскин и др. Исследование пространственной динамики включения лазера-тиристора (905 нм) на основе многопереходной гетероструктуры AlGaAs/InGaAs/GaAs, ФТП, Т. 55, вып. 5, стр. 466-472 (2021).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОРИСТЫМИ СРЕДАМИ

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

¹ *Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия*

² *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия*

grigoriew.andrej2013@yandex.ru

Для практического применения кремниевых пористых наноструктур требуется обеспечить их надежное и устойчивое производство. Это требует выявления физических процессов, лежащих в основе технологий производства и построения моделей этих процессов в зависимости от внешних параметров и свойств пористых наноструктур. В данной работе проводится исследование нагрева и плавления пленки пористого кремния (ПК) под действием коротковолнового лазерного излучения с учетом однофотонного поглощения.

Характер процессов, протекающих при взаимодействии лазерного излучения с компактными и пористыми материалами, существенно отличен. Наличие пористости приводит к изменению теплофизических и оптических коэффициентов, а также ряда физико-механических свойств материалов [1]. В работе была построена модель, описывающая нагрев и плавление пористого материала с учетом этих изменений. На её основе произведен расчет порога плавления ПК, а также расчет максимальной глубины проплавления пленки ПК для различных значений пористости. В результате расчетов установлено, что порог плавления ПК при воздействии сильнопоглощаемых импульсов наносекундной длительностью много меньше порога плавления кристаллического кремния и резко снижается с ростом пористости материала, а глубина проплавления пористого кремния существенно ниже таковой у кристаллического кремния.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-02-00861.

[1] Handbook of Porous Silicon. Ed. L. Canham, Springer, 2018

**ВЛИЯНИЕ БЕЗЫЗЛУЧАТЕЛЬНОЙ РЕКОМБИНАЦИИ НА
МОЩНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАЗЕРНЫХ
ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУР
AlGaAs/GaAs и GaAsP/GaInP**

Н.В. Гультиков, М.А. Ладугин, А.А. Мармалюк
АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», Москва, Россия
e-mail: nikita.gultickov@yandex.ru

Мощные полупроводниковые лазерные диоды (ЛД) и линейки лазерных диодов (ЛЛД), работающие в спектральном диапазоне 750-850 нм, чрезвычайно актуальны во многих практических приложениях. Подходящими системами материалов для создания данных приборов являются полупроводниковые гетероструктуры (ГС) AlGaAs/GaAs и GaAsP/GaInP (Al-free ГС). Настоящая работа посвящена исследованию влияния безызлучательной рекомбинации на мощностные характеристики ЛД и ЛЛД. Лазерные излучатели изготовлены на основе Al-содержащих и Al-free ГС с одной квантовой ямой на подложках арсенида галлия. ГС сформированы методом МОС-гидридной эпитаксии.

При сравнении данных фотолюминесценции ГС обнаружено, что различие в скоростях рекомбинации на гетерограницах и свободной поверхности ГС может являться основной причиной отличия мощностных параметров лазеров. Дополнительной причиной служит высокое сродство атомов Al к кислороду, что приводит к росту центров безызлучательной рекомбинации в процессе роста Al-содержащих ГС и в конечном итоге к уменьшению выходной оптической мощности лазерного излучателя.

Для нахождения распределения температуры и теплового сопротивления ЛД и ЛЛД выполнены численные расчеты. Несмотря на меньшие значения теплового сопротивления Al-содержащих ГС (1.4 К/Вт против 2.9 К/Вт для ЛД) тепловая мощность, выделяемая вследствие безызлучательной рекомбинации носителей заряда на свободной поверхности и гетерограницах оказывалась в 2-2.5 раза больше, что влияло на форму ватт-амперной характеристики.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРА ПОР НА ПОРОГ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ ПОРИСТОГО КРЕМНИЯ МЕТОДОМ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ДИНАМИКИ

**И.А. Евдокимова¹, М.С. Григорьева^{1,2}, А.Ю. Харин¹,
И.Н. Завестовская², В.Ю. Тимошенко^{1,2,3}**

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

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

³ *Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия*

e-mail: evdokimovairina98@yandex.ru

Наноразмерные частицы часто отличаются своими свойствами от микро- и макроскопических объектов из того же материала, что делает их многообещающими для использования в различных приложениях. Перспективным методом синтеза является лазерная абляция, позволяющая получать наноматериалы высокой частоты с контролируемыми свойствами и размерами [1].

В представленной работе проведено моделирование процесса лазерной абляции мишени из пористого кремния с размером пор от 1 до 5 нм при воздействии на нее ультракоротких лазерных импульсов с длиной волны 1084 нм. Количество аблированных атомов рассчитано для мишеней с пористостью 50% при разной плотности потока лазерного излучения.

Моделирование показало, что размер пор влияет на порог лазерной абляции. При малых размерах пор (1 нм) порог абляции снижается на 50% относительно крупных пор с размером 5 нм. Однако, несмотря на снижение порога абляции, эффективность абляции при малом размере пор существенно ниже, чем при абляции мишеней с большим размером пор.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-02-00861.

[1] Duha H. Jwied, Uday M. Nayef, Falah A.H. Mutlak, Synthesis of C:Se (core:shell) nanoparticles via laser ablation on porous silicon for photodetector application, Optik, vol. 231, (2021) 166493.

ДЕФЛЕКТОР ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ С КВАНТОВЫМИ ЯМАМИ И С ПОВЕРХНОСТНОЙ БРЭГГОВСКОЙ РЕШЕТКОЙ

**В.В. Золотарев, И.С. Шашкин, А.Э. Ризаев, И.В. Шушканов,
С.О. Слипченко, Н.А. Пихтин**

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

Полностью электрическая с мало сигнальным управлением развертка лазерного луча широко востребовано в современных приложениях, таких как лидарные системы, биологические и медицинские сенсоры. За последнее время большое внимание в данной тематике было уделено волноводным гетероструктурам с брэгговской решеткой и фотонным кристаллам [1].

В настоящей работе мы предлагаем конструкцию полупроводникового чипа дефлектора, обеспечивающую угловую развертку лазерного луча. Лазерное излучение от внешнего источника вводится в планарный диэлектрический волновод, содержащий набор квантовых ям. Модуляция эффективного показателя преломления волновода за счет квантово-размерного эффекта Штарка приводит к изменению длины волны в среде, что влияет на условия дифракции света на решетке, которая выводит свет с поверхности чипа (рис. 1). Мы представляем новую конструкцию активной области, состоящую из 20 пар туннельно-связанных квантовых ям GaAs, которая обеспечивает модуляцию модального показателя преломления в пределах $|\Delta n| \leq 0,007$ [2].

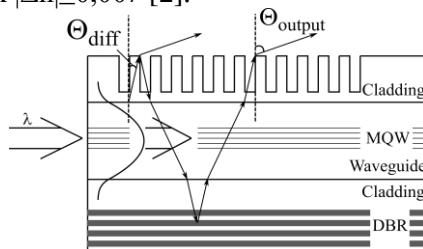


Рис. 1. Схематическое изображения чипа дефлектора

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур

Исследования выполнены за счет гранта РНФ (проект № 19-79-30072).

[1] M. Heck, "Highly integrated optical phased arrays: Photonic integrated circuits for optical beam shaping and beam steering," *Nanophotonics* 6, 93–107 (2017).

[2] V. Zolotarev et al. "Studies on the refractive index modulation in tunnel-coupled quantum-confined active regions of AlGaAs/GaAs semiconductor heterostructures by the p-n junction electric field," *Semicond. Sci. Technol.* 34, (2019).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОУПРУГИХ НАПРЯЖЕНИЙ ВБЛИЗИ ЗЕРКАЛ РЕЗОНАТОРОВ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ

О. А. Иванов¹, В.П. Гордеев², В. В. Безотосный³

¹Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Каширское ш., д.31, Москва, Россия

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук
Ленинский проспект, д.53, Москва, Россия

¹e-mail: OAIvanov@mephi.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5608-4624>,
тел. 8 (999) -971-24-23

²e-mail: vs.gordeev@yandex.ru

³e-mail: bezotosnyjvv@lebedev.ru.

Создана 3D модель в среде COMSOL Multiphysics для исследования термоупругих напряжений возникающих в областях сколовых граней резонаторных зеркал.

Был рассмотрен модельный объект – фрагмент линейки лазерных диодов (ЛЛД) для выяснения картины распределения механических термоупругих напряжений в слоях многослойных диэлектрических интерференционных покрытий зеркал и в приповерхностных областях лазерной гетероструктуры, оценки их абсолютной величины в зависимости от параметров многослойных покрытий с целью выяснения их влияния на выходные характеристики лазерных диодов, включая надёжность и срок службы приборов.

Рассмотренный фрагмент позволяет отслеживать появление и изменения абсолютных величин термоупругих напряжений в непрерывном режиме работы лазера при различных параметрах многослойных диэлектрических покрытий зеркал резонаторов. Обнаружено, что скачкообразное чередование напряжений наблюдается на фоне плавного увеличения максимальных напряжений с удалением от границы с подложкой для четвертьволновых покрытий и на фоне плавного уменьшения максимальных напряжений для полуволновых покрытий.

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

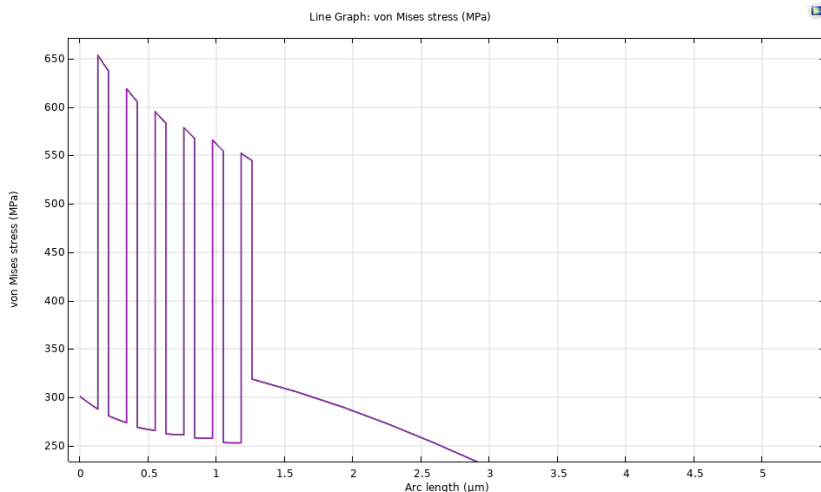


Рис. 1 Расчетный профиль распределения напряжений по длине участка ЛДД включая нанесенные зеркала в плоскости активной области лазера при длине волны 808 нм. Слои нанесенных пленок $\text{SiO}_2 / \text{TiO}_2$ имеют оптическую толщину $\lambda/4$.

Литература.

1. Yao Lu Zhiqiang Nie, Pu Zhang, Zhenfu Wang, Lingling Xiong, Shuna Wang, Dihai Wu, Xingsheng Liu Numerical Simulation of Thermo-mechanical Behavior in High Power Diode Laser Arrays. // 17th International Conference on Electronic Packaging Technology. - 2016. - стр. 76-83.
2. José Luis Pura and Juan Jiménez. Thermomechanical issues of high power laser diode catastrophic optical damage. J. Phys. D: Appl. Phys. 52 (2019) 343002 (19pp).
3. Bezotosnyi V.V. Gordeev V.P., Oleshchenko V.A. Thermo-elastic stress in high-power laser bars. // 2020 J. Phys.: Conf. Ser.1439 012029.

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

МОЩНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ ДИОДЫ ИНТЕГРИРОВАННЫЕ С ПЛАТАМИ НАКАЧКИ

**А.А.Климов, Ю.К.Кириченко, Д.А.Веселов, С.О.Слипченко,
Н.А.Пихтин**

*ФТИ им. А.Ф.Иоффе, Санкт-Петербург, Российская Федерация
Электронная почта для переписки: dmitriy90@list.ru*

Мощные лазеры, генерирующие короткие импульсы излучения, востребованы для широкого круга практических задач, связанных с дальнометрией, медициной, специальными системами. В отличие от твердотельных и волоконных лазеров, которые требуют системы оптической накачки, полупроводниковые лазерные диоды могут формировать импульс оптического излучения за счёт прямой токовой модуляции, что значительно упрощает их использование в составе электронного прибора.

Формирование коротких (10-100 нс) импульсов тока накачки амплитудой 10-100 А является сложной задачей для современной схемотехники. Основные проблемы связаны с паразитными ёмкостями и индуктивностями в цепи накачки лазера. Для их уменьшения мы используем подход интеграции лазера с платой накачки. В рамках этого подхода лазер конструктивно объединяется с системой накачки, элементом Пельтье и термодатчиком внутри компактного корпуса типа ННЛ с оптоволоконным или свободным выводом излучения.

В этой работе мы представляем основные практические результаты по разработке и исследованию мощных импульсных полупроводниковых лазеров спектрального диапазона 850-1100 нм. Показаны особенности работы прибора с пиковой мощностью 400 Вт (длительность импульса 100 нс, частота следования импульсов 1 кГц) на выходе из оптоволоконна. Показаны диапазоны работы системы накачки с точки зрения обеспечения различных длительностей импульса: получение оптических импульсов длительностью от 4 нс до 8 мкс с амплитудой до 10 Вт, длина волны 1060 нм.

Работа поддержана Российским Научным Фондом (номер проекта 19-79-30072).

ОСОБЕННОСТИ ЯВЛЕНИЯ ДВОЙНОГО РЕЗОНАНСА ПРИ КОГЕРЕНТНОЙ САМОСИНХРОНИЗАЦИИ МОД В СИММЕТРИЧНОМ ГЕТЕРОЛАЗЕРЕ КЛАССА С

Е.Р. Кочаровская, А.В. Мишин, А.Ф. Селезнёв

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

e-mail: katty@appl.sci-nnov.ru

В сверхизлучающих гетеролазерах класса С с низкодобротным комбинированным резонатором Фабри-Перо с распределенной обратной связью волн возможен уникальный режим одновременной генерации квазипериодических последовательностей когерентных импульсов разного типа, имеющих сравнимые мощности: импульсов сверхизлучения и солитоноподобных импульсов, образованных группами самосинхронизованных квазистационарных мод [1, 2].

В докладе исследован случай симметричного резонатора с 2-мя сверхизлучательными модами, когда 1) их разность частот вдвое превышает межмодовый интервал на крыльях спектра (параметрический резонанс) и возникает когерентная синхронизация мод, 2) период следования импульсов сверхизлучения кратен времени обхода резонатора светом (временной резонанс) и синхронизируется наибольшее число квазиэквидистантных мод. На основе численного решения уравнений Максвелла-Блоха [1, 2] в условиях указанного двойного резонанса проанализированы динамические спектры и формы импульсов двух последовательностей, а также их разложение по эмпирическим ортогональным функциям. Установлено, что имеет место взаимное фазирование и синхронизация импульсов обеих последовательностей и наличие двух кратных частично когерентных гребёнок спектра генерации лазера. Найденный режим достаточно устойчивой генерации разных когерентных импульсов с кратным периодом следования может быть использован, например, в динамической спектроскопии и информационной оптике.

[1] Е.Р. Кочаровская, А.В. Мишин, А.Ф. Селезнев, В.В. Кочаровский, Вл.В. Кочаровский, Сосуществование когерентных импульсов сверхизлучательных и квазистационарных мод в лазере с низкодобротным резонатором, Изв. вузов. Радиофизика, т. 63, вып. 11, с. 985-1008 (2020).

[2] Вл.В. Кочаровский, В.В. Железняков, Е.Р. Кочаровская, В.В. Кочаровский, Сверхизлучение: принципы генерации и реализация в лазерах, УФН, т. 187, с. 367-410, (2017).

ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ МЕТОДОМ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

А.А. Лактионов¹, О.М. Алыкова¹, В.В. Смирнов^{1,2}

¹ Астраханский государственный университет, Астрахань, Россия

² Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген.-адм.

Ф.М. Апраксина - филиал ФГБОУ ВО "ВГУВТ", Астрахань, Россия

E-mail: artemchiklak@mail.ru

В области современного анализа вещества все чаще речь заходит о быстрых и надежных методах анализа, проверенных временем. Одним из подобных методов является метод ИК Фурье спектроскопии. Фурье-ИК-спектроскопия достаточно надежная технология анализа она подходит для сопоставления с массой данных, уже полученных до этого, что позволяет производить более быструю расшифровку полученного спектра. ИК Фурье достаточно часто используют для определения различных органических и неорганических веществ как в твердых, жидких так и газообразных образцах, что является очень удобным методом при работе с пищевыми и химическими продуктами.

В данной работе используется бесконтактный метод изучения вещества с помощью ИК Фурье спектроскопии. ИК-спектры исследуемого продукта: снимали на ИК спектрометре Perkin Elmer Express. Спектры исследуемых образцов снимали в диапазоне $600-4000\text{см}^{-1}$, количество сканов 32. Объектом исследования являлись сливки с массовыми долями жирности 11% "Parmalat" (рис.1) и 33% сливки "Чудское озеро" (рис.2). На примере данного продукта можно достаточно наглядно демонстрировать возможности ИК спектроскопии в области быстрого и бесконтактного анализа вещества. Данный продукт является типичным представителем молочного продукта. Его состав приведен на упаковке что позволяет сверить полученные результаты с уже имеющимися данными.

Анализ спектров молочного продукта показывает, что рисунок индивидуален для каждого вида сливок, имеются сходные области полос поглощения с различной интенсивностью. Согласно анализу полученных нами графиков, можно говорить о следующих выводах, с помощью данного метода мы узнали о содержании алканов и алкильных фрагментов СН в диапазоне от 750 до 1500 см^{-1} , так же альдегидов и

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

кетонов в области 1750 см^{-1} в случае с 33% сливками, альдегидов и аминов в области 2900 см^{-1} [1].

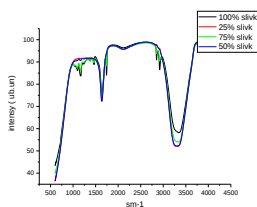


Рис.1 Спектр сливок с массовой долей жира 33%

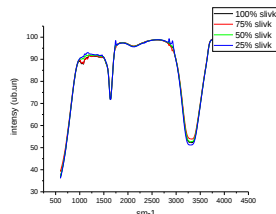


Рис.2 Спектр сливок с массовой долей жира 11%

Данные показатели говорят о том, что в данном продукте действительно есть вещества, содержащиеся в натуральном продукте (органика и другие) однако их содержание рознится с преимуществом в более жирном продукте. Разница показателей одних сливок с различной концентрацией является достаточно небольшой, и в целом не существенно изменяет получаемую картину вплоть до максимального разбавления с дистиллированной водой. При сильном разбавлении распознавание содержимого по графику сильно усложняется. Стоит отметить наличие некоторой погрешности, обусловленной прибором, ее можно обнаружить при расхождении линий спектра в диапазоне $1800\text{--}2750\text{ см}^{-1}$. Вероятнее всего данная погрешность связана с особенностью имеющегося кристалла. На подобном примере мы можем наблюдать достаточно быстрый и весьма качественный анализ сливок на содержание органики и других веществ, данные исследования производились в несколько дней с разницей температуры 2-3 градуса по Цельсию, с одинаковой влажностью и освещением. В заключение можно сказать, что метод ИК Фурье спектроскопии крайне удачно подходит для применения в области быстрого анализа многих пищевых и других веществ, позволяя узнать качество и безопасность того или иного продукта.

[1] ИК спектры основных классов органических соединений Режим доступа: http://chem.msu.ru/rus/teaching/tarasevich/Tarasevich_IR_tables_29-02-2012.pdf, свободный. – Яз.рус.

СВЕТОДИОДНЫЙ СВЕТИЛЬНИК - ДЕЗИНФЕКТОР ПОМЕЩЕНИЙ

С. Лишик, В. Слепокуров, А. Челяпин, Ю. Трофимов

Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси,

Минск, Беларусь,

e-mail: sergey.lishik@gmail.com

Как правило, для обеззараживания помещений применяются дезинфекторы, рециркуляторы и др. типы устройств, использующие источники ультрафиолетового (УФ) излучения диапазона С (200-280 нм). УФ-С излучение опасно для человека, поэтому необходимо либо экранировать его при помощи конструкционных элементов, либо включать такие устройства в отсутствие людей.

Разработанное нами устройство (рис. 1) представляет собой светодиодный светильник, излучение которого обладает вирулицидным эффектом, но безопасно для человека. Светильник состоит из светодиодов белого и фиолетового (405 нм) цветов свечения, которые обеспечивают использование светильника в качестве источника общего освещения и дезинфицирование помещения, соответственно. Фиолетовое излучение негативно воздействует на микроорганизмы (посредством поглощения излучения порфиринами и образования активных форм кислорода) и вирусы SARS-CoV-2 (возбудитель COVID-19) и вирус гриппа А (механизм воздействия до сих пор не изучен) [1].



Рис. 1 Светодиодный светильник – дезинфектор помещений

Технические характеристики экспериментального образца: напряжение питания 230 В (50 Гц); потребляемая мощность 48 Вт; световой поток 1200 лм; коэффициент мощности 0,936; светоотда-

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур

ча 25 лм/Вт; габаритные размеры 670х134х70 мм³.

[1] Rathnasinghe, R., Jangra, S., Miorin, L. et al. The virucidal effects of 405 nm visible light on SARS-CoV-2 and influenza A virus. Sci Rep 11, 19470 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97797-0>

СВЕТОДИОДНЫЕ СВЕТИЛЬНИКИ – РЕЦИРКУЛЯТОРЫ ВОЗДУХА

С. Лишик, В. Слепокуров, А. Челяпин, Ю. Трофимов

Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси,

Минск, Беларусь,

e-mail: sergey.lishik@gmail.com, +375447646619

В торговых центрах, магазинах, офисах и др. объектах ультрафиолетовые (УФ) рециркуляторы целесообразно располагать вблизи мест скопления людей. При этом использование настенных и напольных моделей УФ рециркуляторов не всегда возможно по эстетическим и иным соображениям. В таких случаях оптимально использовать светодиодные светильники-рециркуляторы воздуха, устанавливаемые непосредственно над обеззараживаемой зоной.

Разработанные нами светильники-рециркуляторы имеют линейный (для торговых объектов) или квадратный (для офисов) фактор (рис. 1). Циркуляция зараженного воздуха через УФ рециркулятор обеспечивается при помощи встроенных вентиляторов. В качестве источников бактерицидного излучения использованы УФ-С лампы ($\lambda_{\text{max}}=254 \text{ нм}$): Osram Puritec, Philips (возможны также варианты на основе УФ-С светодиодов). Далее поток очищенного воздуха направляется в рабочую зону под светильником.



Рис. 1 Светодиодные светильники – рециркуляторы воздуха

Технические характеристики светильников-рециркуляторов в линейном / квадратном исполнениях, соответственно:

- Светодиодный светильник: потребляемая мощность $40 \div 109 \text{ Вт}$ (в зависимости от модели)/ 37 Вт ; световой поток $5600 \div 15900$

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур

лм / 3700 лм; CCT 3000K÷5000K / 4000K; CRI 70÷80 / 80.

- УФ рециркулятор: мощность УФ ламп 15 Вт / 23 Вт; бактерицидная эффективность 99,9%; объемная бактерицидная доза 385 Дж/м³ (*S.aureus*); производительность 25 / 60 м³/ч.

Питание: ~230В/50Гц. Габариты: 660×300×91 / 615×595×100мм³.

УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ СВЕТОДИОДНАЯ ЗАЩИТНАЯ МАСКА

С. Лишик¹, Ю. Трофимов¹, С. Губкин²

¹ Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси, Минск, Беларусь, sergey.lishik@gmail.com, +375447646619

² Институт физиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь
e-mail: ?

Светодиодная маска (рис. 1а) предназначена для защиты органов дыхания пользователя от проникновения в них микроорганизмов, вирусов и др. патогенов, содержащихся в воздухе.

Обеззараживание воздуха осуществляется внутри встроенного рециркулятора (рис. 1б) под воздействием излучения УФ-С светодиода. Энергетическая освещенность на стенках камеры обеззараживания достигает 14500 мкВт/см^2 . Бактерицидная эффективность $>99,9\%$ (*S.aureus*) при потоке воздуха $<1 \text{ м}^3/\text{ч}$. УФ рециркулятор характеризуется компактными размерами ($\sim 41 \times 38 \times 19 \text{ мм}^3$), небольшим весом ($\sim 15 \text{ г}$) и минимальным сопротивлением потоку воздуха ($<49 \text{ Па/см}^2$). Конструкция УФ рециркулятора исключает выход УФ излучения наружу. Устройство не содержит химически опасных веществ, не выделяет озон и электробезопасно.

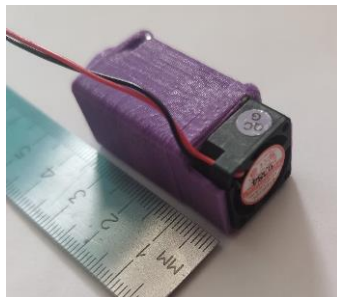


Рис. 1 –Защитная маска (а) и УФ рециркулятор (б)

Питание маски осуществляется от внешнего аккумулятора через разъем USB Type-C. Для комфорта пользователя маска оснащена

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

малошумным вентилятором с возможностью регулирования скорости его вращения. Вес экспериментального образца маски – 80 г. (при серийном производстве – 50-60 г.). Корпус маски может быть изготовлен из прозрачного медицинского силикона, плавно переходящего на краях в герметично прилегающую к лицу эластичную полосу обтюрации. Видеосюжет <https://youtu.be/xsCUjsBI1w>.

ФОТОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ФОТОДИНАМИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

**А.В. Микулич¹, А.И. Третьякова¹, А.Н. Собчук¹, Т.С. Ананич¹,
Л.Г. Плавская¹, Р.К. Нагорный¹, О.Н. Дудинова¹, И.А. Леусенко¹,
В.Ю. Плавский¹, Tran Quoc Tien², Quang Cong Tong²,
Thanh-Phuong Nguyen³**

¹ ИНСТИТУТ ФИЗИКИ НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

² Институт материаловедения, ВАНТ, г. Ханой, Вьетнам

³ Школа инженерной физики Ханойского университета науки и технологий, г.
Ханой, Вьетнам

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

В данной работе исследованы фотофизические свойства, квантовый выход генерации синглетного кислорода и фотосенсибилизирующее действие экстрактов лекарственных растений (жидкого экстракта из смеси цветков ромашки аптечной и календулы лекарственной, травы тысячелистника обыкновенного на 65% этаноле (коммерческое название «Ротатит»); препарата на основе травы зверобоя продырявленного на 65% этаноле; препарата из листьев эвкалипта прутовидного на 64% этаноле).

Методами абсорбционной и флуоресцентной спектроскопии установлено, что в составе экстрактов содержатся хлорофилловые и гиперициновые компоненты, способные оказывать фотосенсибилизирующее действие. Все исследуемые экстракты эффективно генерируют синглетный кислород. Подтверждением является регистрация его люминесценции в области $\lambda = 1270$ нм. При внесении в культуру клеток млекопитающих (культура клеток почечной ткани обезьяны BGM) экстрактов с последующим оптическим возбуждением в полосы их поглощения наблюдается выраженный фотодинамический эффект.

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

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ЛОКАЛИЗОВАННАЯ ФОТОГИПЕРТЕРМИЯ КРОВИ

В.А. Олещенко^{1,2*}, В.В. Безотосный¹, В.Ю. Тимошенко^{1,2,3}

¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Ленинский пр. 53, 119991 Москва, Россия

² Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Каширское ш. 31, 115409 Москва, Россия

³ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Ленинские горы 1, стр.2, 119991 Москва, Россия
e-mail*: on-vlad@yandex.ru

Предлагается новый метод фоторазогрева крови в кровеносном сосуде (вена) и окружающих тканях при введении в кровь наночастиц – поглотителей световой энергии в условиях облучения сканирующим лазерным пучком. Показано, что при сканировании лазерного пучка, синхронном с движением крови, легче реализуются условия необходимые для фотогипертермии сенсibilизированной наночастицами. Обсуждаются варианты экспериментальной реализации и применения данного подхода для борьбы с COVID-19 и другими вирусами.

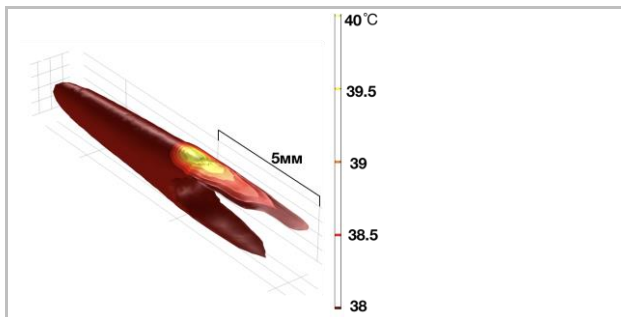


Рис.1. Изотермические поверхности крови в динамически облученной вене с использованием наночастиц.

Литература:

1. L. G. Astaf'eva, G. I. Zheltov, A. S. Rubanov. Translated from Optika i Spektroskopiya. **90** (2), 287 (2001).
2. Alykova A.F., Karpov N.V., Oleshchenko V.A., et al. J. Phys. Conf. Ser., 1189, 012035 (2019).
3. Park J. H., Gu L., Von Maltzahn G., Ruoslahti E., Bhatia S. N., Sailor M. J. Nat. Mat., 8(4), 331 (2009)

**ПРОЦЕСС РОСТА ЛЕГИРОВАННЫХ Si
МОНОКРИСТАЛЛОВ GaAs МЕТОДОМ VERTICAL
GRADIENT FREEZE (VGF) И ЕГО ОПТИМИЗАЦИЯ С
ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ В CGSim**

Панов А.С.^{1,3}, Микаелян Г.Т.^{2,3}, Таривердиев С.^{2,3}

1. ИАТЭ НИЯУ МИФИ, г. Обнинск

2. НИЯУ МИФИ, г. Москва

3. ООО "LASSARD", г. Обнинск

e-mail: panovas20@oiate.ru

В данный момент монокристаллы арсенида галлия имеют широкое применение в различных областях: сверхвысокочастотные интегральные схемы, светодиоды, лазерные диоды, диоды Ганна, туннельные диоды, фотоэлектрические преобразователи (солнечные батареи), фото приёмные устройства (ФПУ, МФПУ) и др.

В данной работе были разработаны температурные режимы для роста легированных кремнием монокристаллов арсенида галлия. Также для оптимизации процесса выполнено 2D компьютерное нестационарное моделирование роста 4" монокристалла GaAs в программном пакете CGSim от STR Soft.

Использована модель дислокаций Alexander-Haasen для расчёта релаксации температурных напряжений с образованием дислокаций. Опробовано около 10 различных линейных и нелинейных режимов охлаждения. Найден оптимальный режим роста монокристалла со скоростью роста на конусной части слитка в пределах 0.5 мм/ч и 2 мм/ч на цилиндрической части монокристалла.

В результате были получены легированные кремнием монокристаллы арсенида галлия со следующими параметрами: плотность дислокаций не более 250 см^{-2} , концентрация носителей заряда – $1,45 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, подвижность носителей заряда порядка $2,08 \cdot 10^3 \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$.

**ТЕХНОЛОГИИ АНТИМИКРОБНОЙ
ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ, ОСНОВАННЫЕ НА
СЕНСИБИЛИЗИРУЮЩЕМ ДЕЙСТВИИ АНТИСЕПТИКОВ –
ПРОИЗВОДНЫХ НИТРОФУРАНА**

**Плавский В.Ю.¹, Плавская Л.Г.¹, Дудчик Н.В.², Емельянова О.А.²,
Дудинова О.Н.¹, Сысов В.А.¹, Третьякова А.И.¹, Микulich А.В.¹,
Ананич Т.С.¹, Собчук А.Н.¹, Нагорный Р.К.¹, Леусенко И.А.¹,
Еременко Ю.Е.³, Малец Е.Л.³, Куприянова А.А.³, Журневич В.И.³,
Сердюченко Н.С.¹**

¹Институт физики НАН Беларуси, г. Минск

²Республиканское унитарное предприятие

«Научно-практический центр гигиены», г. Минск

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

Цель работы – исследование фотофизических и сенсibiliзирующих свойств антисептических препаратов – производных нитрофурана (фурацилина и фурасола), а также разработка технологий фотодинамической терапии гнойно-воспалительных заболеваний ЛОР-органов.

Показано, что водорастворимые антисептики фурацилин и фурасол обладают выраженными сенсibiliзирующими свойствами. Эффективность генерации синглетного кислорода составляет около 10%. При этом, наряду со способностью к генерации активных форм кислорода, указанные соединения при воздействии света могут инициировать протекание радикальных процессов (реакций типа I). Отличительная особенность фурасола, сказывающаяся на его сенсibiliзирующих свойствах, – более высокая (по сравнению с фурацилином) фотохимическая устойчивость.

Независимо от видовой принадлежности бактериальных культур (*S. aureus*, *S. haemolyticus* и грибы *C. albicans*), установлен бактерицидный эффект за счет сенсibiliзирующего действия указанных антисептиков.

Показано, что применение для лечения заболеваний ЛОР-органов метода АФДТ, основанного на фотовозбуждении антисептиков (и прежде всего, фурасола) оказывает выраженный клинический эффект, подтвержденный снижением бактериальной нагрузки, а также показателями биохимического анализа крови.

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

АНАЛИЗ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗЕРКАЛ КВАНТОВЫХ КАСКАДНЫХ ЛАЗЕРОВ СРЕДНЕГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА

**К.А. Подгаецкий, Ю.Ю. Козлов, А.В. Лобинцов, М.А. Ладугин,
А.А. Мармалюк**

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

В настоящее время стремительно развиваются квантовые каскадные лазеры (ККЛ), совокупность характеристик которых делает их привлекательными для многих практических приложений. Одним из самых востребованных параметров ККЛ является выходная мощность. Традиционным путем повышения выходной оптической мощности для полупроводниковых лазеров служит использование отражающих и просветляющих покрытий на гранях лазерного резонатора. Применительно к ККЛ, излучающим в среднем ИК-диапазоне, создание указанных покрытий осложняется выбором материалов, обеспечивающих достаточный контраст коэффициента преломления и имеющих низкое поглощение в рассматриваемом спектральном диапазоне.

В данной работе проанализированы диэлектрические оптические материалы на предмет возможности их использования для зеркал ККЛ. Исследовано оптимальное количество слоев многослойной системы для достижения высокого коэффициента отражения зеркала.

В ходе эксперимента изготовлены образцы ККЛ без покрытий и с нанесенным на одну из граней высокоотражающим многослойным покрытием. Зеркало состояло из трех пар слоев Si и SiN_x с фазовой толщиной каждого слоя равной $\frac{\lambda}{4}$. Образцы ККЛ излучали на длине волны 4,3 мкм. Измерения проводились в импульсном режиме генерации с длительностью импульса 200 нс и частотой повторения импульсов 5 Гц. Использование отражающего зеркала позволило увеличить выходную мощность ККЛ в 1.5 раза относительно образцов без нанесенного многослойного покрытия.

**СТЕКИ МОЩНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ (100НС)
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ КВТ УРОВНЯ
ПИКОВОЙ МОЩНОСТИ (1060НМ) НА ОСНОВЕ
ПОЛОСКОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ СО СВЕРХШИРОКОЙ
АПЕРТУРОЙ (800МКМ)**

**А.А. Подоскин, С.О. Слипченко, Д.А. Веселов, Л.С. Ефремов,
В.А. Крючков, В.А. Стрелец, А.В. Лютецкий, Н.А. Пихтин.**
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: podoskin@mail.ioffe.ru

Создан импульсный источник киловаттного диапазона мощности на основе вертикального стека (матрицы) из трех линеек по три одиночных излучателя в каждой на основе GaAs/AlGaAs/InGaAs лазерной гетероструктуры с длиной волны 1060нм. Ширина излучающей апертуры одиночного полоска, ограниченного мезаканавками, составляла 800мкм, длина резонатора Фабри-Перо - 2.5мм, фактор заполнения в линейке – 65%. Для накачки экспериментальных одиночных излучателей и матриц на их основе был разработан источник импульсов тока с длительностью 140нс (на полувысоте) с максимальной амплитудой тока более 600А и частотой повторения импульсов до 1кГц. Одиночный 800мкм излучатель позволял получить до 130Вт/170А на линейном участке ватт-амперной характеристики (ВтАХ) и до 300Вт/550А максимальной пиковой мощности в режиме насыщения ВтАХ. При накачке излучающей матрицы достигнута максимальная мощность 1400Вт при пиковом токе около 650А. При этом наблюдалось лишь незначительное отклонение ВтАХ от линейности. Измеренные интегральные (т.е. со всей площади матрицы) спектры лазерной генерации демонстрировали расширение как в длинноволновую, так и в коротковолновую область длин волн, что свидетельствовало об отсутствии значительного перегрева лазерной активной области. Таким образом, использование вертикальных стеков из линеек лазерных излучателей с высоким фактором заполнения позволяет создавать эффективные мощные импульсные излучатели на основе диодных лазеров в наносекундном диапазоне длительности.

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

ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ РАЗОГРЕВА АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ (1060 НМ) СО СВЕРХШИРОКОЙ ИЗЛУЧАЮЩЕЙ АПЕРТУРОЙ (800 МКМ)

А.Д. Рыбкин, И.С. Шашкин, С.О. Слипченко, Н.А. Пихтин

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

e-mail: rybkin.ad3256@gmail.com

Расширение излучающей апертуры является одним из подходов, позволяющим повысить выходную мощность. Однако расширение излучающей апертуры может привести к усилению теплового разогрева по сравнению с традиционными конструкциями и оказывать негативное влияние на излучательные характеристики. В данной работе разработана методика анализа динамики теплового разогрева и на ее основе проведен анализ изменения температуры активной области мощных лазерных диодов (МЛД) InGaAs/AlGaAs/GaAs (1060нм) со сверхширокой апертурой (800мкм), работающих в импульсном режиме (1мс/10Гц).

Известно, что рост температуры (Т) приводит к сужению запрещенной зоны, вследствие чего происходит красное смещение длинноволновой границы (ДГ) спектра генерации (СГ) [1-2]. Предлагаемая методика основана на анализе динамики оптических откликов, полученных для спектрального диапазона, который существенно уже, чем ширина усредненного во времени спектра генерации. Селекция спектра проводилась с помощью монохроматора. Тогда усиление разогрева за время импульса должно приводить к включению новых длинноволновых линий в спектре генерации. Измерение динамики фотоответа таких линий позволяет определить момент включения новых линий и таким образом оценить перегрев для выбранного момента времени.

Данный анализ будет полезен при исследовании МЛД с широкой апертурой в составе лазерных линеек и матриц.

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

[1] Hongyou Zhang, Thermally induced chirp studies on spectral broadening of semiconductor laser diode arrays, Vol. 57, No. 20, pp. 5599-5603, (2018).

[2] M. Hübner, High Duty Cycle, High Repetition Rate High Brightness Diode Laser Pulsed-Pump-Sources, OSA Laser Congress 2019, pp. JW2A.29.

МОДИФИКАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ АЛМАЗА УЛЬТРАКОРОТКИМИ ЛАЗЕРНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

М.С. Савинов^{1,2}, Н.А. Смирнов¹, С.И. Кудряшов¹, А.А. Ионин¹

¹Физический институт имени П.Н. Лебедева, Ленинский проспект 53, 119991
Москва, Россия

²НИЯУ МИФИ, Каширское шоссе 31, 115409, Москва, Россия
e-mail: savinov.maxim.just@gmail.com

Лазерная абляция используется для обработки различных материалов. Абляция материала, зависящая от длительности импульса падающего излучения, является одним из ключевых параметров лазерной обработки [1]. В ходе эксперимента проводилась лазерная абляция поверхности алмаза в воздухе с переменной длительностью импульса. Экспериментально получена морфология поверхности алмаза после лазерной абляции длительностью 0.3 пс, 0.9 пс, 2 пс и 10 пс. На рис. 1 показана визуализация кратеров с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ).

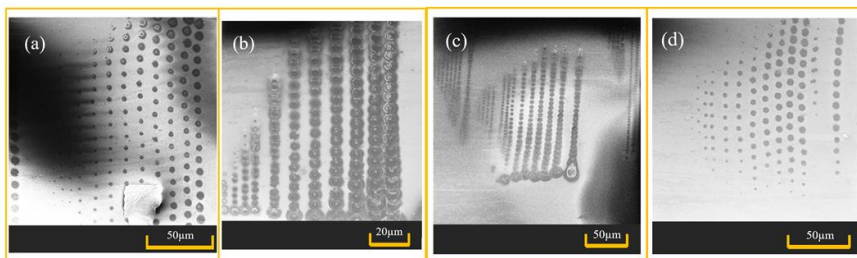


Рис. 1. СЭМ-изображения кратеров на поверхности алмаза после абляции 0,3 пс (а), 0,9 пс (б), 2 пс (с), 10 пс (д) (NA = 0,65)

Источником лазерного излучения служил волоконный лазер Satsuma (Amplitude Systemes) с активной средой на ионах Yb^{+3} (длина волны основной гармоники: 1030 нм, с удвоением частоты: 515 нм, полная ширина спектра на полувысоте (FWHM): 9 нм, частота следования 0-2 МГц). Длительность импульса на полувысоте

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

τ_p плавно изменялась для ИК-импульсов основной частоты с помощью выходного решетчатого компрессора в диапазоне 0,3–10 пс. Излучение фокусировалось линзой с числовой апертурой 0,65. Профили кратеров были получены с помощью сканирующего зондового микроскопа. Затем были построены зависимости глубины кратера от плотности энергии для различных длительностей импульса.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда № 21-79-3006.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] B. Neuenschwander, B. Jaeggi, M. Schmid, G, Physics Procedia (56), 047-1058 (2014).

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УНИПОЛЯРНЫХ
InGaAs/AlGaAs ГЕТЕРОСТРУКТУР С УДАРНОЙ
ИОНИЗАЦИЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ
СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ПРИБОРОВ**

**С. О. Слипченко, О. С. Соболева, Н. В. Воронкова, Л. С. Вавилова,
Н. А. Пихтин**

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

Была исследована возможность создания эффективных светоизлучающих приборов на основе униполярных гетероструктур с ударной ионизацией в системе материалов AlGaAs/GaAs, полученные в данной работе результаты могут быть распространены на другие материалы, например, HgCdTe, AlGaN, где есть сложность с получением р-типа легирования [1] - [2]. Исследование проведено с помощью численного моделирования в моделях дрейф-диффузии и энергетического баланса. В работах [3] экспериментально показана возможность генерации спонтанного излучения в структурах похожего типа. По результатам моделирования показано, что эффекты насыщения скорости дрейфа и “velocity overshoot” играют существенную роль в работе прибора, т.о. модель энергетического баланса точнее описывает транспорт в исследуемой структуре. Оптимизация толщин, уровней легирования и составов слоев, а также параметров активной области позволила существенно поднять внутреннюю квантовую эффективность излучательной рекомбинации. Был получен ток излучательной рекомбинации 30 А при сквозном токе 200 А и максимальная внутренняя квантовая эффективность 28% при токе 55-65 А.

[1] L. Mollard, et al., “Status of p-on-n arsenic-implanted HgCdTe technologies,” J. Electron. Mater. 40, 1830 (2011).

[2] M. L. Nakarmi, N. Nepal, C. Ugolini, T. M. Altahtamouni, J. Y. Lin, and H. X. Jiang, “Correlation between optical and electrical properties of Mg-doped AlN epilayers,” Appl. Phys. Lett. 89, 152120 (2006).

[3] S. O. Slipchenko, et al., “Specific Features of Carrier Transport in n^+-n-n^+ Structures with a GaAs/AlGaAs Heterojunction at Ultrahigh Current Densities,” Semiconductors 53, 806 (2019).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ОТ ВРЕМЕНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ, МОЩНОСТИ И ДЛИНЫ ВОЛНЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

И.С. Султакаева¹, О.М. Алыкова¹, В.В. Смирнов^{1,2}

¹ *Астраханский государственный университет, Астрахань, Россия*

² *Каспийский институт морского и речного транспорта им. ген.-адм. Ф.М. Апраксина - филиал ФГБОУ ВО "ВГУВТ", Астрахань, Россия*
E-mail: olga-alykova@mail.ru

Известно большое количество физических методов по воздействию на биологические объекты для изменения их структуры. Большинство таких методов стало применяться и в сельском хозяйстве, для изменения биологических веществ, содержащихся в семенах. Одним из них является воздействие на семена и ростки когерентным излучением оптического диапазона. По одной из гипотез эффективность использования такого воздействия для стимуляции роста растительных тканей обусловлена тем, что лазерный луч активирует процессы фотосинтеза, обусловлен высокой восприимчивостью фитохрома семян и хлорофилла вегетирующих растений к лазерному свету красной области спектра. Под воздействием лазерных лучей живые ткани становятся источником вторичного излучения, которое стимулирует клеточное деление, ускоряет обменные и окислительные процессы и активирует соседние ткани, не испытывавшие прямого воздействия лазерного луча. Предпосевная лазерная обработка обеспечивает повышение урожайности зерновых культур за счет повышения всхожести и энергии прорастания семян, подавления ряда экономически значимых болезней на уровне, сопоставимом с обработкой фунгицидами, и даже более высоким. В настоящее время делаются попытки воздействовать на семена культурных растений лазерным излучением. Полученные результаты такого воздействия анализируются сравнительно-аналитическим методом. В данной работе впервые исследуется результат воздействия на семена овса сорта «Борец» оптическим методом – методом инфракрасной спектроскопии (ИК спектроскопии).

Измерения спектров производились на ИК – спектрометре с преобразованием Фурье, находящего на базе Научно-образовательного Центра «Рациональное использование природных ресурсов» Астраханско-

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

го Государственного Университета. Методом подготовки проб для данного исследования оказалось приготовления из семян порошка, а затем снятие с них спектра. Для обработки результата использовалось программное обеспечение Origin.

Подобран наиболее подходящий сорт овса «Борец». Сначала изучены измеренные спектры семян (ядрышки и чешуя отдельно), не подвергавшихся обработке. Затем была разработана и собрана установка для воздействия на семена лазерным излучением. С помощью этой установки семена были облучены лазерами разных мощностей, длин волн, изменялось и время воздействия. Максимальная мощность лазеров: синий – 50 мВт, зеленый – 10 мВт, красный – 20 мВт. Диаметр лазерного пятна на образце составлял 1,5 см. Длины волн каждого различны: красный – 650 нм, зеленый – 532 нм, синий – 450 нм.

По полученным результатам можно сделать вывод о том, что низкоинтенсивное когерентное излучение в большинстве случаев влияет на семена. Но такое излучение, практически не влияет на рост растений (за исключением, лазера зеленого цвета). В большинстве случаев наблюдается увеличение энергии прорастания семян и повышение всхожести. Но на дальнейшее развитие растений такое лазерное излучение практически воздействия не оказывает.

[1] Алыкова А.Ф., Алыкова О.М., Амиржанова А.Ж., Уталиева А.А. Экспериментальное изучение воздействия полупроводниковых излучателей на элементы агрофитоценоза методом ИК-спектроскопии // V Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур: тез. докл.. — 2015.— С. 32-33.

[2] Алыкова О. М., Коваль А. С., Васильева О. А. Изучение влияния когерентного оптического излучения на всхожесть и рост культурных растений методом ИК спектроскопии // Физическое образование в вузах.— 2019.— май.— Т. 25, № 1С.— С. 228-230.

[3] Салахетденова В.С., Алыкова О.М. Исследование зависимости биоэнергетических показателей культурных растений при воздействии когерентного излучения // Вестник научных конференций. 2020. N 4-1(56). С. 92-93. <https://ukonf.com/doc/cn.2020.04.01.pdf>.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СКРЫТОЙ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

П.А. Тарасов¹, А.А. Григорьев², Е.А Исаев³, Г.В. Детков⁴

¹ *Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия*

² *Финансовый университет при правительстве Российской Федерации, Москва, Россия*

³ *Физический институт имени П. Н. Лебедева Российской академии наук*

⁴ *ООО "Информационные технологии и электронные коммуникации", Москва, Россия*

e-mail: PTarasov@Hse.ru

В процессе передачи информации с помощью лазерного излучения для решения криптографических и информационных задач представляется возможным скрыть сам факт передачи информации [1].

В рамках настоящего доклада будут рассмотрены и проанализированы некоторые методы реализации современной оптической стеганографии, такие как:

1) Временное растяжение импульсов скрытого сигнала для обеспечения их максимальной маскировки общедоступным сигналом, а также системным шумом при условии применения элементов с высокой дисперсией.

2) Применение технологии "временных карманов" (так называемого эффекта «ковра Талбота»), подразумевающего сокрытие временных событий оптического поля путем открытия и последующего закрытия промежутков интенсивности в зондирующем луче.

3) Применение эффектов поляризации при обработке визуального образа с помощью лазерного излучения, позволяющего считывать черно-белое изображение, скрытое в визуальном образе, но при этом не видимое для стороннего наблюдателя.

[1] E. A. Isaev and P. A. Tarasov, "Perspective Methods of Transferring Information via Optical Communication Channels", MEPhI's Section of the Scientific Session on "Breakthrough directions of scientific research at MEPhI: Development prospects within the Strategic Academic Units", KnE Engineering, pages 136–143, (2018)

ОПТИМИЗАЦИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ КВАНТРОНА НА БАЗЕ КРИСТАЛЛА Nd:YAG С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

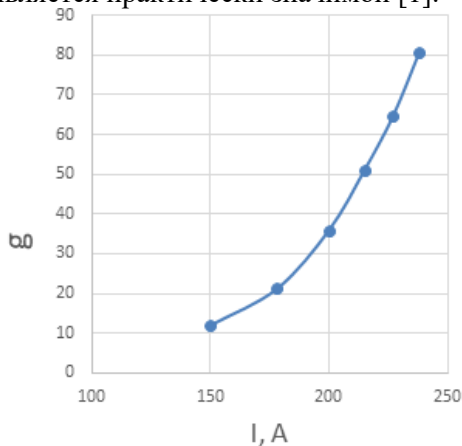
Таривердиев С.Д.^{1,2}, Пагаев О.В.² Микаелян Г.Т.^{1,2}, Бицкий Р.Р.²

1. НИЯУ МИФИ, г. Москва

2. ООО "LASSARD", г. Обнинск

e-mail: tariverdiyev91@mail.ru

В настоящее время твердотельные лазеры (ТТЛ) имеют широкое применение в различных областях: для обработки материалов, в медицине, военной технике, научных исследованиях, лазерных системах с преобразованием частоты излучения и др. В связи с этим, задача получения квантронов с однородным профилем люминесценции и большим коэффициентом усиления по слабому сигналу, является практически значимой [1].



На рис.1 представлен график зависимости коэффициента усиления от тока квантрона с диаметром активного элемента $d=10$ мм после оптимизации.

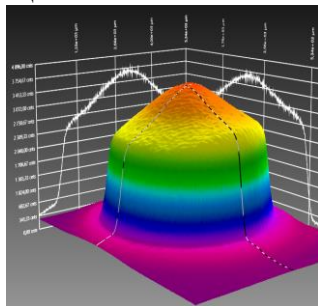
Рисунок 1.

Оптимизация параметров диодной накачки, схемы расположения матриц и применение специальных мер позволяют добиться хороших параметров излучения квантронов.

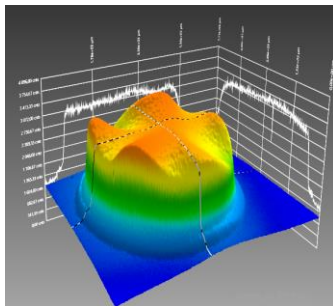
На рис.2 представлены первые образцы квантронов, изготовленных в ООО «ЛАССАРД»: а) $d=5$ мм без оптимизации, б) $d=10$

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

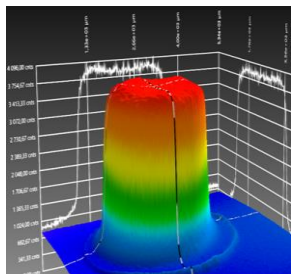
мм без оптимизации, в) $d=5$ мм с оптимизацией, г) $d=10$ мм с оптимизацией.



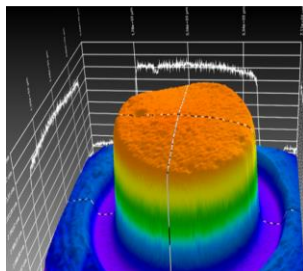
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.

Литература

1. И.В. Глухих, С.А. Димаков. Мощные твердотельные лазеры на Nd:YAG с поперечной диодной накачкой и улучшенным качеством излучения (ЖТФ, 2011, том 81, вып. 8)

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА
ИСХОДНЫХ ОБРАЗЦОВ АКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ЛАЗЕРНОЙ КЕРАМИКИ АЛЮМО-ИТТРИЕВОГО
ГРАНАТА, ЛЕГИРОВАННОГО
ИОНАМИ НЕОДИМА (Nd^{3+} : YAG)**

С.Л. Лысенко¹, Е.Д. Тараканов¹, Я.В. Ульянов¹, А.А. Абрамян¹

¹*Федеральное казенное предприятие*

«Государственный лазерный полигон «Радуга»

e-mail address: raduga@trassa.org

В работе представлены результаты экспериментальных исследований качества исходных образцов активных элементов лазерной керамики алюмоиттриевого граната, легированного ионами неодима (Nd^{3+} : YAG). Определение полных потерь в образцах активных элементов опиралось на работу [1]. Для проведения экспериментов был использован волоконный лазер ЛК-100-ЛП-ОМ-В. Для определения полных потерь в активном элементе, была измерена мощность излучения иттербиевого лазера и мощность излучения после его прохождения через активный элемент. Эксперимент проводился с каждым из активных элементов Nd^{3+} :YAG. Вначале был произведён расчет коэффициента пропускания активного элемента. Далее рассчитан коэффициент полных потерь для обоих образцов. В результате проведенных вычислений, средние значения полных потерь для образцов активных элементов Nd^{3+} :YAG, с учетом погрешности [2], принимают допустимые значения.

Определение качества нанесенных покрытий также опиралось на работу [1]. Качество нанесенных покрытий на торцах активного элемента определяется коэффициентом отражения. Для этого была измерена мощность излучения иттербиевого лазера, которое падает на торец образца активного элемента, и мощность отраженного от торца активного элемента излучения. Эксперимент проводился с активными элементами Nd^{3+} :YAG. Средние значения коэффициентов отражения на длине волны 1,07 мкм на границах для образца активного элемента Nd^{3+} :YAG с учетом погрешности принимают допустимые значения.

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

Определение коэффициента пассивных потерь опиралось на работу [3]. Коэффициент пассивных потерь определяется на основе экспериментальных данных коэффициента пропускания образцов $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$, коэффициентов отражения излучения на границах сред. Для определения коэффициента пассивных потерь излучения был рассчитан коэффициент пропускания излучения на границе среды. Средние значения коэффициентов пропускания излучения по объему, с учётом погрешностей принимают допустимые значения.

Благодарность

Работа была выполнена в рамках договора с федеральным государственным унитарным предприятием «Российский Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина». Благодарим начальника отдела Березина Андрея Владимировича за оказанную помощь.

[1] Solid State Laser, Edited by Amin H. Al-Khursan p. cm. ISBN 978-953-51-0086-7.

[2] Лабораторные занятия по физике: Учебное пособие/Гольдин Л.Л., Игошин Ф.Ф., Козел С.М. и др. Под ред. Гольдина Л.Л. - М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. - 704 с.

[3] Звелто О. Принципы лазеров / Пер. под науч. ред. Т. А. Шмаонова. 4-е изд. — СПб.: Издательство «Лань», 2008. — 720 с : ил. - (Учебные пособия для вузов. Специальная литература). ISBN 978-5-8114-0844-3

СВЕТОДИОДНЫЙ УФ ДЕЗИНФЕКТОР ПОРУЧНЕЙ ЭСКАЛАТОРА

А. Челяпин, С. Лишик, Ю. Трофимов

*Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси,
Минск, Беларусь,
e-mail: alex.gif@rambler.ru*

Обеззараживание контактных поверхностей (дверные ручки, кнопки лифтов, поручни эскалатора/траволатора, и т.п.) – один из эффективных способов предотвращения распространения инфекционных заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем. В 2017-2021 гг. LG Innotech, Schindler, Ростех, Позитрон и др. компании представили светодиодные ультрафиолетовые (УФ) дезинфекторы поручней эскалатора [1, 2], но информации об их эффективности недостаточно. Разработанное нами устройство (рис. 1) и результаты его испытаний восполняют недостаток информации.

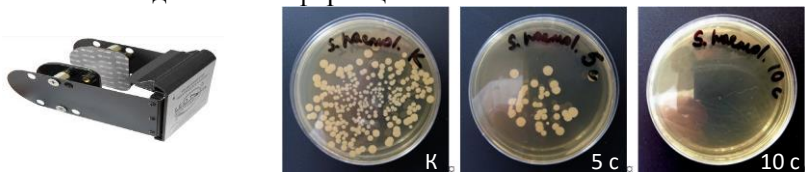


Рис. 1 УФ дезинфектор поручней эскалатора и результаты его испытаний

В качестве источника УФ излучения использованы УФ-С светодиоды, мощность, количество и расположение которых относительно подвижной ленты эскалатора подобраны так, чтобы обеспечивалась интенсивная и равномерная засветка фрагмента ленты, а также накопление бактериями и вирусами необходимой для их инактивации УФ дозы. Конструкция исключает выход УФ наружу.

Оценка бактерицидной эффективности УФ дезинфектора выполнена в НИЦ гигиены (г.Минск) на штаммах бактерий: *S.aureus*, *S.haemolyticus*, *E.coli*, *E.cloacae*, *M.luteus*, *K.pneumonia*, *K.oxytoca*, *S.typhimurium*., *P.aeruginosa*, *B.cereus*, *C.albicans*. При 10 сек. облучении количество клеток *S.aureus* снижается на $\geq 96,8\%$, т.е. за 2-3 прохода лента эскалатора полностью обеззараживается. Высокой устойчивостью к УФ излучению характеризовались *S.typhimurium*.

[1] <https://www.lgcorp.com/media /release/7868>.

[2] <https://positron.ru/product/dezinfektor-dlya-poruchnej-eskalatora/>

ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

И.В. Шабельников

ООО «ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ» www.chems.ru

Роспатент RU 2692825

e-mail: irlan2003@mail.ru

Каждый лазерный луч при прохождении его в объеме материала (помещённого в полую призму) отклоняется от исходного на определённый угол, отличный от усреднённого показателя преломления "белого света". Эти **частные отклонения** лазерных лучей, проходящие через материал, проявляют прямую зависимость с химической структурой этого материала.

Лазерный сканер материалов (жидкостей) - оптическая система позволяющая проводить анализ прохождения лазерных лучей с различной длиной волны (405 нм, 532 нм, 650 нм...) через материал-жидкость, помещённый в тонкостенную полую призму, с фиксацией на экране показателя преломления (проекции каждого лазерного луча), проходящего через призму, наполненную анализируемым материалом. Батарея нормированных лазеров представляет собой своеобразную систему измерения, где любое отклонение от стандартного распределения частных отклонений (матрицы) материала сигнализирует о нарушении химического состава рассматриваемого материала.

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Особое значение использование лазерного сканирования материалов приобретает при организации безотходного замкнутого производства, на тех его этапах (звеньях), где возникает необходимость мгновенного бесконтактного анализа характера протекания химических реакций, учета концентраций реагентов и продуктов реакции. Наличие матриц, характеризующих оптимальный ход реакции, позволяет организовывать производство наиболее экономически и экологически выгодным образом.

СИСТЕМНЫЕ ОТЛИЧИЯ

Наиболее близким аналогом разработанного нами способа анализа является Рамановская, УФ и ИК спектроскопия. Если при

VIII Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

спектроскопии наличие тех или иных веществ в материале еще ничего не говорит о химической активности этих материалов, где приоритет химической активности материала чаще зависит от пропорций компонентов входящих в материал, то отбор матриц при лазерном сканировании может проводиться по специфической оптико-химической активности этих материалов в целом. То есть, использование лазерного сканирования, в химическом производственном процессе, позволяет контролировать и снижать концентрацию вредных веществ в растворах и смесях, без потери химической продуктивности самого процесса, и при этом учитывать выделение вредных веществ в окружающую среду.

При налаженной системе измерения, оценка материала или характера протекания процесса лазерным сканированием может проходить бесконтактно в онлайн режиме. Если на оценку состава материала Рамановской, спектроскопией с учетом накопительного эффекта требуются от 3 до 60 минут (часто такой анализ часто требует специальный выбор пробы), то лазерное сканирование может проводиться непосредственно в потоке жидкости, проходящей через призму, с датчиками, расположенными под оптимальным для процесса углом. Получаемые таким образом данные могут сразу передаваться диспетчерам на пульт управления производством.

**ДИНАМИКА МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ И
ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ InGaAs/AlGaAs/GaAs
СТРУКТУР, ВЫРАЩЕННЫХ
СЕЛЕКТИВНОЙ ЭПИТАКСИЕЙ**

**В.В. Шамахов, С.О. Слипченко, Д.Н. Николаев, А.Д. Бондарев,
Е.В. Фомин, Н.А. Пихтин.**

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

Сегодня монолитная интеграция оптоэлектронных элементов интенсивно исследуется с целью создания фотонных интегральных схем (Si/A3B5, Si/GaN и т.д.). Селективная эпитаксия является одним из эффективных способов реализации таких схем. Принцип селективной эпитаксии основан на использовании пассивирующих масок для локализации области роста. При этом хорошо известно, что свойства полупроводниковых структур квантовых ям/точек/проволок зависят от морфологии поверхности, формируемой в процессе эпитаксии.

В предложенной работе впервые проведены экспериментальные и теоретические исследования как оптических свойств квантовых ям и объемных эпитаксиальных слоев с пространственным разрешением, так и модификации морфологии поверхности в процессе селективной эпитаксии GaAs в окнах шириной 100мкм. Показано, что в процессе роста слоя наблюдается: (1) увеличение кривизны фронта ступеней роста и разворот на 90град относительно template, (2) переход режима роста в окне от step flow к step bunching, (3) предложена модель достаточно точно описывающая экспериментальные результаты изменения морфологии поверхности, (4) показано, что изменение морфологии определяется скоростью изменения GRE в окне.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №19-79-30072).

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ВОЛНОВОДА МОЩНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ, ОСНОВАННАЯ НА ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ С ТУННЕЛЬНЫМИ ПЕРЕХОДАМИ

И.С. Шашкин, С.О. Слипченко, Н.А. Пихтин

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

Лазерные диоды с туннельно-связанными излучателями (LDT) при работе в импульсном режиме позволяюткратно повысить выходную мощность по сравнению с лазерами со стандартным дизайном вертикального волновода, при этом потребляют меньше тока. Стандартные конструкции LDT подразумевают использование оптически не связанных лазерных частей, что требует использование в каждой лазерной части толстых эмиттерных слоев, что увеличивает общую толщину структуры и ограничивает возможное для использования количество лазерных частей.

В рамках настоящей работы предложен подход, основанный на использовании конструкции сверхширокого волновода, работающей на общей моде высокого порядка. Расположение активных областей в максимумах моды, а туннельных переходов в минимумах моды позволяет обеспечить низкие внутренние оптические потери икратно повысить выходную мощность, при этом за счет отсутствия промежуточных эмиттеров уменьшить толщину структуры и повысить количество туннельно-связанных частей по сравнению со стандартной конструкцией. В данной работе с использованием численного моделирования исследована конструкция AlGaAs/GaAs гетероструктуры на длину волны 900нм, включающая 4 туннельных перехода, расположенных в нулях общей лазерной моды 4-го порядка, и 5 активных областей, расположенных в её пиках. Общая толщина структуры составляет 11.5 мкм. Расчёты подтверждают устойчивость дизайна к технологической вариации толщин слоёв. Расчеты направленности выходящего излучения показали, что дальнейшее поле имеет 2 симметричных пика шириной по 6°, разнесённых на 30°.

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

Для записей

**VIII Международнй симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур**

Для записей

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

Для записей

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

Подписано в печать 22.11.2021
Формат 60×84 1/16 Заказ № 6/н Тираж 50 экз. Печ. л. 6,4