

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

*Памяти академика
Олега Николаевича Крохина*

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

29 ноября – 1 декабря 2023 года

*Программа
Сборник тезисов докладов*

Москва

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

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур. 29 ноября – 1 декабря 2023 года. Программа. Сборник тезисов докладов. Москва, ФИАН, 2023.– 104 с.

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

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

Тезисы издаются в авторской редакции

ISBN 978-5-7262-3014-6

© Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН,
НИЯУ МИФИ 2023

Памяти академика Олега Николаевича Крохина
**IX Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур
КОИПСС-2023**
29 ноября – 1 декабря 2023 года, г. Москва

О симпозиуме

IX 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, с оптической и электронной накачкой, униполярные полупроводниковые лазеры, исследование мощного когерентного излучения инжекционных лазеров, перспективные направления создания оптических когерентных источников, технологии с использованием полупроводниковых лазеров, включая биомедицинские применения и др.

I КОИПСС состоялся в Звенигороде в 2007г. На нем было принято решение проводить Симпозиум регулярно раз в два года. С 2007 по 2019 годы было проведено 7 Симпозиумов в Москве и Звенигороде. За это время Симпозиум приобрел статус международного. Наряду с российскими учеными участие принимают сотрудники ведущих мировых научных центров и университетов. Широко представлены на Симпозиуме молодежные научные работы. С 2015 к организаторам Симпозиума добавился Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

Участие российских и зарубежных ученых в работе Симпозиума в 2023 г. позволит представить результаты на широкое научное обсуждение и поставить новые научные цели в области изучения фундаментальных основ когерентного оптического излучения полупроводниковых соединений и структур.

Организаторы симпозиума

Отделение физических наук РАН

Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

Журнал «Квантовая электроника»

Место и время проведения

КОИПСС-2023 будет проходить в ФИАН с 29 ноября по 1 декабря 2023 г. в очном режиме с возможностью дистанционного подключения.

Научная программа

Программа симпозиума состоит из круглого стола, приглашенных, устных и стендовых докладов. Круглый стол КОИПСС-2023 посвящен памяти Олега Николаевича Крохина.

Тезисы докладов будут опубликованы в сборнике, индексируемом в базе данных РИНЦ. Тезисы докладов принимаются на русском языке в объеме не более 1 страницы формата А5 согласно шаблону по e-mail: corscs@lebedev.ru.

Официальный язык – русский, английский.

Контакты

e-mail Симпозиума: corscs@lebedev.ru

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

Состав программного и организационного комитета

Председатель

академик С.Н. Багаев (ИЛФ СО РАН)

Зам. председателя

И.Н. Завестовская (ФИАН, НИЯУ МИФИ)

Ответственный секретарь

М.С. Григорьева (ФИАН, НИЯУ МИФИ)

Члены комитета: — Ю.А. Алещенко (ФИАН, НИЯУ МИФИ)

— В.В. Безотосный (ФИАН)

— Н.Л. Истомина (ОФН РАН)

— Н.И. Каргин (НИЯУ МИФИ)

— С.П. Котова (СФ ФИАН)

— В.В. Кочаровский (ИПФ РАН)

— Ю.Н. Кульчин (ДВО РАН)

— В.Н. Лебедев (ФИАН, МФТИ)

— В.А. Макаров (МГУ)

— Г.Т. Микаелян (ООО «ЛАССАРД»)

— Н.А. Пихтин (ФТИ РАН)

— Ю.М. Попов

— С.Ю. Савинов (ФИАН, Ж-л «Квантовая
Электроника»)

— А.С. Семенов

— А.Н. Стародуб (ФИАН)

— В.Н. Шастин (ИФМ РАН)

Члены локального оргкомитета

Руководитель - И.Н. Завестовская (ФИАН, НИЯУ МИФИ)

Зам. руководителя - А.А. Фроня (НИЯУ МИФИ, ФИАН)

— В.С. Бреви (ФИАН)

— Н.В. Карпов (ФИАН)

— В.С. Ключева (ФИАН)

— Е.И. Маврешко (ФИАН, НИЯУ МИФИ)

— Д.С. Петруня (ФИАН)

— О.В. Родионова (ФИАН)

— А.В. Рудый (ФИАН, НИЯУ МИФИ)

— А.А. Шестухина (ФИАН)

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур посвящен памяти выдающегося ученого физика, академика, директора ФИАН (1994-2004) Олега Николаевича Крохина.

Олег Николаевич Крохин родился 14 марта 1932 года в г. Москве. Окончив физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова в 1955 году, начал работать в ядерном центре (ныне ВНИИТФ г. Снежинск), где принял участие в особо важных исследованиях по ядерной безопасности страны.

В 1959 году Олег Николаевич становится сотрудником Физического института им. П.Н. Лебедева Академии наук СССР (ФИАН), с которым была связана вся его дальнейшая жизнь. С 1994 года по 2004 год он был директором ФИАН.

С начала работы в ФИАН О.Н. Крохин активно включается в актуальные исследования, проводимые под руководством академика Н.Г. Басова, по распространению принципов работы мазеров на оптический диапазон.

В 1960 году Н.Г. Басовым, О.Н. Крохиным и Ю.М. Поповым в журнале «Успехи физических наук» была опубликована статья «Генерация, усиления и индикация инфракрасного и оптического излучения с помощью квантовых систем», в которой обосновали возможность усиления и генерации света квантовыми системами, т.е. возможность лазерной генерации.

О.Н. Крохин совместно с Н.Г. Басовым, Ю.М. Поповым (1961) обосновал возможность создания инжекционного лазера, который является основным элементом в реализации оптической связи, оптической памяти, оптической обработки информации, эффективной накачке мощных твердотельных лазеров.

Басов Н.Г. и Крохин О.Н. (1962) авторы идеи об осуществимости термоядерного синтеза при нагреве мишени излучением лазера, что положило начало новому мощному научно-техническому направлению - лазерному термоядерному синтезу (ЛТС). О.Н. Крохин один из инициаторов создания первых мощных лазеров для ЛТС, благодаря которым осуществлено сжатие термоядерных мишеней. Под руководством О.Н. Крохина выполнен большой цикл исследований процессов взаимодействия лазерного излучения с

веществом, созданы специальные лазерные системы, в том числе для исследования быстропротекающих процессов с высоким временным и пространственным разрешением. Один из пионеров использования лазерного излучения в медицине.

В 1991 году О.Н. Крохин избран членом-корреспондентом РАН, в 2000 году – академиком по Отделению физических наук.

Научные труды О.Н. Крохина опубликованы в более, чем 250 трудах, включая 3 авторские монографии. О.Н. Крохин был членом Московского физического общества, членом международных, членом программных и организационных комитетов большого количества международных конференций в области физики лазеров, взаимодействия лазерного излучения с веществом, главным редактором журналов: «Краткие сообщения по физике», «Физическое образование в ВУЗах», «Квантовая электроника», «Journal of Russian Laser Research», электронное периодическое издание «ЭЛ-ЛФИ». О.Н. Крохин входил в состав Бюро Совета РАН по космосу, Бюро ОФН РАН, был заместителем председателя Троицкого научного центра РАН, председателем Научного совета РАН по научному приборостроению, председателем комиссии по присуждению золотой медали им. Н.Г. Басова РАН, членом комиссии по присуждению золотой медали им. П.Н. Лебедева РАН, членом секции №7 НТС ЯОК России.

О.Н. Крохин большое внимание уделял воспитанию новых поколений физиков. С 1967 года он преподавал в НИЯУ МИФИ. О.Н. Крохин осуществлял научное руководство Высшей школой физиков им. Н.Г. Басова НИЯУ МИФИ, основал и руководил базовой кафедрой НИЯУ МИФИ №88 «Полупроводниковая квантовая электроника и биофотоника» и реализуемой на кафедре программой магистратуры «Перспективные полупроводниковые лазеры и технологии».

О.Н. Крохин руководил признанной научной школой в области квантовой радиофизики и физики плазмы. Среди его учеников более 20 докторов и кандидатов наук.

За фундаментальные исследования, приведшие к созданию полупроводниковых лазеров, О.Н. Крохину в составе авторского коллектива присуждена Ленинская премия (1964 г.). За работы по взаимодействию лазерного излучения с веществом О.Н. Крохин в со-

ставе авторского коллектива был удостоен Государственной премии СССР (1981 г.). О.Н. Крохин отмечен премией Президента России в области образования за значительный вклад в создание и работу уникального центра подготовки высококвалифицированных специалистов «Высшая школа физиков МИФИ-ФИАН», носящей имя Н.Г. Басова (2000 г.).

О.Н. Крохин награжден Демидовской премией (2005 г.), золотой медалью им. Н.Г. Басова (2010 г.).

О.Н. Крохин – кавалер орденов Трудового Красного Знамени (1971 г.), «Знак Почета» (1976 г.), «За заслуги перед Отечеством» IV (1999 г.) и III (2008 г.), награжден высшим орденом Польши «Командорский Крест» II степени (2001 г.), орденом «За заслуги перед МИФИ» (2022 г.).

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

Программа

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

29 ноября, Среда

Круглый стол

Посвященный памяти

Олега Николаевича Крохина

Конференц-зал Главного корпуса ФИАН,

Москва, Ленинский, 53

Регистрация участников

13.00 –

14.00

14.00 –

14.40

Фильм

14.40 –

15.00

Открытие. Вступительное слово.

Николай Николаевич Колачевский директор ФИАН

Сергей Николаевич Багаев председатель

Программного комитета

Председатель Круглого стола –

Ирина Николаевна Завестовская

15.00 –

15.30

Иосиф Геннадиевич Зубарев

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

О.Н. Крохин – выдающийся ученый и учитель

15.30 –

16.10

Геворк Татевосович Микаелян

ООО ЛАССАРД, Обнинск

Мощные полупроводниковые лазеры и технологии их производства

16.10 –

16.40

Сергей Аркадьевич Бельков

ИЛФИ РФЯЦ- ВНИИЭФ, Саров

Лазерный термоядерный синтез

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур

- 16.40 – *Елена Ростиславовна Корешева*
17.10 Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва
Памяти академиков Н.Г.Басова и О.Н.Крохина. Прорывы в исследованиях и разработках в области ИТС
- 17.10 – *Сергей Юрьевич Гуськов*
17.40 Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва
Современные достижения в лазерном термоядерном синтезе
- 18.00 – *Фуришет*
20.00

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

30 ноября, Четверг

*Конференц-зал Главного корпуса ФИАН,
Москва, Ленинский, 53*

9.00 –
10.00

Регистрация участников

Семинар 1

Председатель Зинаида Николаевна Соколова

10.00 –
10.30

пленарный доклад

Никита Александрович Пихтин

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

Лазерные диоды диапазона длин волн 900-2000 нм для различных применений

10.30 –
11.00

Владимир Петрович Дураев

АО «НОЛАТЕХ», Москва

Одночастотные перестраиваемые полупроводниковые лазеры с внешним резонатором на длину волны 1550 нм

11.00 –
11.30

Владимир Иванович Козловский

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

Полупроводниковый дисковый лазер на основе гетероструктуры InGaP/AlGaInP с прямой накачкой квантовых ям, излучающий на длине волны 640 нм

11.30 –
12.00

Кофе-брейк

12.00 –
12.30

Сергей Олегович Слипченко

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

Импульсные полупроводниковые лазеры для дальномеров и ЛИДАРов времяпролетного типа

12.30 –
13.00

Евгений Анатольевич Чешев

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

Технология отечественной лазерной керамики и перспективы твердотельных лазеров на ее основе

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

- 13.00 – *Валерий Николаевич Шастин*
13.30 Институт физики микроструктур РАН, Нижний Новгород
Активные среды ТГц диапазона в объемных полупроводниках
- 13.30 – *Константин Владимирович Пушков*
14.00 ООО «Оптон», Москва
Перестраиваемый лазер спектрального диапазона 810-865 нм
- 14.00 – *Обед*
15.00
- Семинар 2*
Председатель Сергей Олегович Слипченко
- 15.00 – *Александр Анатольевич Мармалюк*
15.30 АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», Москва
Полупроводниковые лазеры на основе гетероструктур AlGaInAs/InP
- 15.30 – *Владимир Владиленович Кочаровский*
16.00 Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород
Analytic nonlinear theory of the single-mode lasing with due account for a self-consistent grating of the population inversion
- 16.00 – *Зинаида Николаевна Соколова*
16.30 Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург
Режимы излучения в лазерах на квантовых ямах
- 16.30 – *Максим Анатольевич Ладугин*
17.00 АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», Москва
Мощные лазеры ближнего ИК диапазона: система материалов, конструкция и технология гетероструктур
- 17.00 – *Кофе-брейк*
17.30
- 17.00 – *Стендовая секция.*
18.30 *Председатель Евгений Анатольевич Чешев*

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

1 декабря, Пятница

*Конференц-зал Главного корпуса ФИАН,
Москва, Ленинский, 53*

9.00 –
10.00

Регистрация участников

Семинар 3

Председатель Максим Анатольевич Ладугин

10.00 –
10.25

Никита Владимирович Гультиков

АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», Москва

Внутренний квантовый выход люминесценции Al-содержащих и Al-free гетероструктур

10.25 –
10.50

Ирлан Витальевич Шабельников

Институт органической химии имени Н.Д.Зелинского РАН, Москва

Синхронизация лазерного излучения с различной длиной волны

10.50 –
11.15

Владимир Федорович Сенько

ООО «Оптон», Москва

Мощные широкополосные СЛД диапазона спектра 840 нм с уширенными волноводными слоями

11.15 –
11.40

Кофе-брейк

11.40 –
12.05

Константин Андреевич Подгаецкий

АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», Москва

Квантовые каскадные лазеры с высокоотражающими и просветляющими диэлектрическими покрытиями

12.05 –
12.30

Хажмухамед Хажисмелович Кумыков

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

Анализ возможности применения многосердцевинного оптического волновода с коническим сужением сердцевин в качестве дифракционного оптического элемента

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

12.30 –
12.55

Иван Дмитриевич Румянцев

ООО «Оптон», Москва

Изменение спектральных характеристик широкополосных суперлюминисцентных диодов в процессе наработки

12.55 –
14.00

Обед

Семинар 4 On-line

Председатель Анастасия Андреевна Фроня

14.00 –
14.25

Ил'с Арзимуродович Рахматуллаев

Ташкентский филиал НИЯУ МИФИ, Ташкент

Одно- и двухфотонно-возбуждаемая люминесценция микропорошков диоксида титана

14.25 –
14.50

Ольга Федоровна Васильева

Приднестровский государственный университет
им. Т.Г. Шевченко, Тирасполь

Динамические эффекты в системе экситон-диполяритонов в полупроводниковом микрорезонаторе

14.50 –
15.15

Сергей Иванович Лишик

Республиканское научно-производственное унитарное предприятие «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси», Минск

PiG люминесцентные преобразователи

15.15 –
15.40

Виталий Юльянович Плавский

Институт физики НАН Беларуси, Минск

Участие активных форм кислорода в реализации регуляторного и деструктивного действия лазерного излучения видимой области спектра на различные типы клеток

15.40 –
16.05

Иван Вадимович Орешко

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

Исследования характеристик мод резонатора полупроводникового лазера на основе двумерного фотонного кристалла

16.05

Закрытие Симпозиума. Подведение итогов.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

*Стендовая секция
30 Ноября, Четверг*

Председатель – Евгений Анатольевич Чешев

1. *Белых Елена Игоревна*
НИЯУ МИФИ
Разработка системы принятия решений для выявления опухолей почки на изображениях КТ
2. *Беляков Николай Александрович*
НИЯУ МИФИ / ИОФ РАН
Реализация булевых функций нескольких переменных с помощью безмаркерного оптического биосенсора
3. *Березуцкий Антон Валерьевич*
ООО "НПП Инжект"
Расчет электрофизических параметров гетеролазера с помощью компьютерного моделирования
4. *Бурцев Антон Андреевич*
Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН
Моделирование системы оптических элементов диодного лазера прямого излучения
5. *Бутаев Марат Раджабали*
ФИАН им. П. Н. Лебедева, ООО Лассард
Гетероструктура ZnCdS/ZnCdSe/ZnSSe с малым градиентом концентрации по Zn и Cd в квантовой яме
6. *Бухаров Дмитрий Николаевич*
Владимирский ГУ
Оценка поля температуры для диффузионных моделей нанокластеров теллурида свинца
7. *Васьковская Мария Игоревна*
ТОП ФИАН им. П. Н. Лебедева
Спектр диодного лазера с вертикальным резонатором при двухчастотной модуляции тока инжекции
8. *Гаврилов Сергей Юрьевич*
Московский физико-технический институт
Влияние спейсеров на внутренний квантовый выход полупроводниковых гетероструктур (Al)GaAs/InGaAs

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

9. *Горбунов Александр Андреевич*
Финансовый университет при Правительстве РФ
The latest achievements in data transmission using laser radiation
10. *Григорьев Андрей Андреевич*
ФИАН им. П. Н. Лебедева
Modeling radiofrequency heating of nanoparticles
11. *Гультиков Никита Владимирович*
АО "НИИ "Полюс" им. М.Ф. Стельмаха"
Анализ теплового сопротивления мощных полупроводниковых лазеров на основе Al-содержащих и Al-free гетероструктур
12. *Демидчик Александр Иванович*
ООО ЛАССАРД
Мощные твердотельные оптические усилители с диодной накачкой
13. *Зайцева Зоя Геннадьевна*
НИЯУ МИФИ
Многоканальный безметочный биосенсор на основе спектрально-корреляционной интерферометрии с использованием матричного фотоприемника для регистрации межмолекулярных взаимодействий
14. *Илхомжонов Муроджон Озод Угли*
Ташкентский филиал НИЯУ МИФИ
Комбинационное рассеяние света в микроструктурах оксида цинка
15. *Казакова Алёна Евгеньевна*
ФТИ им. А.Ф. Иоффе
Морфология поверхности пленок титана, выращенных на подложках GaAs
16. *Казимагомедов Магомед Набигуллаевич*
НИЯУ МИФИ / НИИ "ПОЛЮС" им. М.Ф. Стельмаха
Разработка импульсного стабилизатора тока для питания лазерного дальномера
17. *Кондратов Матвей Игоревич*
ФТИ им. А.Ф. Иоффе
Исследование сильнонапряженных квантовых ям InGaAs, полученных селективной эпитаксией

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

18. *Краснов Максим Павлович*
ООО "ЛАССАРД"
Исследование влияния отдельных узлов Eг/Yb волоконного лазера на выходные характеристики
19. *Фомин А.*
РФЯЦ-ВНИИТФ
Оптимизация конструкции гетероструктуры и чипа лазерного диода
20. *Крючков Владислав Артемович*
ФТИ им. А.Ф.Иоффе
Исследования микролинеек лазерных диодов (976нм) в квазинепрерывном режиме генерации
21. *Ладогин Максим Анатольевич*
АО "НИИ "Полнос" им. М.Ф. Стельмаха"
Мощные непрерывные линейки лазерных диодов (770-880 нм) с КПД до 70%, изготовленные на основе Al-free гетероструктур
22. *Лопухин Кирилл Валерьевич*
ФирЭ им. В.А. Котельникова РАН
Влияние исходного сырья на свойства керамики LuAG:Cr⁴⁺
23. *Маврешко Егор Игоревич*
НИЯУ МИФИ / ФИАН им. П. Н. Лебедева
Оптический метод определения пористости наноструктурированных пленок
24. *Милованова Марина Владимировна*
НИЯУ МИФИ
Генетически кодируемая метка для неинвазивного отслеживания клеток глиомы С6 методом МРТ
25. *Орестова Полина Маратовна*
НИЯУ МИФИ
Исследование спектральных зависимостей фотоакустического отклика перспективных наночастиц для биомедицинских применений
26. *Плавский Виталий Юльянович*
Институт физики НАН Беларуси
Влияние оптического излучения видимой области спектра на метаболическую активность, клеточный цикл и гибель раковых клеток

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

27. *Подоскин Александр Александрович*
ФТИ им. А.Ф. Иоффе
Токовые ключи на основе низковольтных *inр*-гетеротристоров для генерации импульсов тока длительностью 50-150нс
28. *Подоскин Александр Александрович*
ФТИ им. А.Ф. Иоффе
Моделирование токовых ключей на основе низковольтных *inр*-гомотристоров для гетерогенных импульсных лазерных излучателей на длину волны 1.55мкм
29. *Прохорчук Константин Владимирович*
ФИАН им. П. Н. Лебедева
Дисковый керамический активный элемент с встроенным волноводным каналом, обеспечивающим многопроходную накачку тонкого диска
30. *Ракитина Александра Сергеевна*
НИЯУ МИФИ
Разработка магнитометрических биосенсоров с применением 3D структур для определения низкомолекулярных соединений в режиме реального времени
31. *Ризаев Артем Эдуардович*
ФТИ им. А.Ф. Иоффе
Латеральная модовая селекция в одномодовых полупроводниковых лазерах с распределенным брэгговским зеркалом
32. *Рудый Александр Владимирович*
НИЯУ МИФИ/ФИАН
Наносекундная абляция кристаллического висмута
33. *Сундетова Нурсылу Асылбековна*
Астраханский государственный университет
Анализ роста и развития сельскохозяйственных культур методами оптической спектроскопии
34. *Тараканов Егор Дмитриевич*
НИЯУ МИФИ
Исследование эффективности генерации активных элементов на основе керамики Nd:YAG отечественного производства
35. *Тулешкальева Айсылу Асылбековна*
Астраханский государственный университет
Исследование влияния спектрального состава излучения на рост и структуру растений

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

36. *Ульянов Ярослав Владимирович*
НИЯУ МИФИ
Формирование наночастиц меди в процессе абляции мишени излучением $\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$ -лазера
37. *Федоров Антон Станиславович*
ТОП ФИАН им. П. Н. Лебедева
Виброустойчивый перестраиваемый диодный лазер с внешней селективной обратной связью
38. *Фролов Даниил Алексеевич*
НИЯУ МИФИ / АО «НИИ «Полнос» им. М.Ф. Стельмаха»
Характеристики омических контактов к полупроводниковым структурам GaAs-AlGaAs, легированным углеродом
39. *Цыганков Евгений Александрович*
ФИАН им. П. Н. Лебедева
Самосогласованный подход к расчёту спектров излучения лазеров с вертикальным резонатором в режиме СВЧ-модуляции тока инжекции
40. *Шагин Павел Вячеславович*
НИЯУ МИФИ / АО «НИИ «Полнос» им. М.Ф. Стельмаха»
Лазерные дальномеры и факторы, влияющие на их параметры
41. *Шашкин Илья Сергеевич*
ФТИ им. А.Ф. Иоффе
Потери на выход полупроводникового лазера
42. *Шонина Лада Павловна*
НИЯУ МИФИ
Регистрация динамики формирования сигнала в иммунохроматографическом анализе для количественной детекции низкомолекулярных соединений с высокой воспроизводимостью
43. *Шушканов Илья Васильевич*
ФТИ им. А. Ф. Иоффе
Генерация мощных суб-нс оптических импульсов лазерными диодами (850нм) на основе асимметричной AlGaAs/GaAs гетероструктуры с объемной активной областью
44. *Юнусова Наида Рабадановна*
НИЯУ МИФИ
Влияние неоднородного возбуждения активной области полупроводникового дискового лазера на его выходные характеристики

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

45. *Юнусова Наида Рабадановна*

НИЯУ МИФИ

Измерение длины диффузии неравновесных носителей заряда в твердом растворе $ZnS_{0.1}Se_{0.9}$

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

Пленарные, приглашенные, устные доклады

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ANALYTIC NONLINEAR THEORY OF THE SINGLE-MODE LASING WITH DUE ACCOUNT FOR A SELF-CONSISTENT GRATING OF THE POPULATION INVERSION

VI. Kocharovsky¹, E. Kocharovskaya¹

¹ *A.V. Gaponov-Grekhov institute of Applied Physics,
Russian Academy of Sciences
Presenting author e-mail address: kochar@ipfran.ru*

An exact nonlinear solution to the problem of single-mode lasing in a low-Q Fabry-Perot cavity within a model of two-level active medium with a homogeneous broadening of the spectral line is presented. The solution gives an analytic description of the spatial structure of the electromagnetic field and polarization of a steady-state (ultimately monochromatic) mode in a wide range of parameters, including a superradiant lasing far above the excitation threshold.

The main novel feature of the solution is an inhomogeneous self-consistent half-wavelength grating of the population inversion of active centers, which may have an amplitude on the order of the value of total population inversion, also inhomogeneous. This grating can be strongly asymmetric even in a weakly asymmetric cavity, thus insuring almost unidirectional emission even if the reflection factors of the opposite Fabry-Perot mirrors are quite close each other.

On the basis of numerical modeling of the Maxwell-Bloch equations, an initial transient stage of such lasing as well as the conditions of long-term stable lasing are described. In particular, it is found that the suggested single-mode superradiant lasing is stable in a cavity with mirror transparency factors differing by ≥ 0.1 and exceeding ~ 0.1 .

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ДИНАМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В СИСТЕМЕ ЭКСИТОН-ДИПОЛЯРИТОНОВ В ПОЛУПРОВОДНИКОВОМ МИКРОРЕЗОНАТОРЕ

О. Васильева

*Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко,
Тирасполь, Молдова
e-mail: florina_of@mail.ru*

Диполяритон – это квазичастица, которая является суперпозицией фотона микрорезонатора, прямого и непрямого экситонов. Связанное состояние фотона с экситонами приводит к образованию собственных мод системы с тремя ветвями закона дисперсии [1]. В [2] был рассмотрен Флоке–контроль диполяритонов в полупроводниковых квантовых ямах, который прокладывает путь для оптического контроля терагерцевых устройств на основе диполяритонов. Однако несмотря на значительный экспериментальный успех в исследовании диполяритонов, тем не менее в настоящее время отсутствует строгое теоретическое рассмотрение их физических свойств. Поэтому исследования в этой области являются актуальными.

Мы изучили динамику диполяритонных возбуждений в режиме параметрического нелинейного осциллятора при накачке средней ветви в двух близких по энергии точках закона дисперсии с учетом процессов затухания среды в условиях точного резонанса. Динамика системы будет существенно зависеть от начальных плотностей квазичастиц и от начальной разности фаз. Задавая различные начальные состояния системы, можно получить различные режимы эволюции системы: периодический, аperiodический и покой.

[1] A.V. Nalitov, D.D. Solnyshkov, N.A. Gippius, G. Malpuech, Voltage control of the spin-dependent interaction constants of dipolaritons and its application to optical parametric oscillators, *Phys. Rev. B.*, vol. 90, pp. 235304, (2014).

[2] O. Kyriienko, O.V. Kibis, A. Shelykh, Floquet control of dipolaritons in quantum wells, *Opt. Lett.*, vol. 42, pp. 2398 (2017).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ВНУТРЕННИЙ КВАНТОВЫЙ ВЫХОД ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ Al-СОДЕРЖАЩИХ И Al-free ГЕТЕРОСТРУКТУР

Н.В. Гультиков, С.Ю. Гаврилов, К.Ю. Телегин, А.Ю. Андреев, А.А Мармалюк, М.А Ладугин

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

Для создания мощных лазерных диодов спектрального диапазона 780-980 нм в настоящее время доступны гетероструктуры (ГС) на основе Al-содержащей и Al-free системы материалов [1].

Настоящая работа посвящена исследованию внутреннего квантового выхода квантоворазмерных Al-содержащих и Al-free ГС. Установлено, что более высокий квантовый выход люминесценции в спектральном диапазоне 780-940 нм имеют квантовые ямы на основе Al-free ГС по сравнению с Al-содержащими ГС. В свою очередь, для спектрального диапазона 940-980 нм небольшое преимущество имеют квантовые ямы Al-содержащих ГС (рис. 1). Данный характер связан с наличием в квантовой яме и на ее гетерограницах глубокой примеси кислорода, которая появляется в процессе роста ГС ввиду высокого сродства атома Al к кислороду.

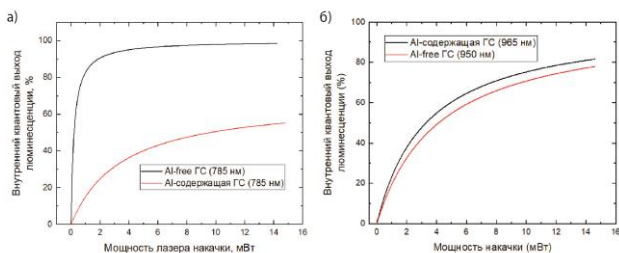


Рис.1. Зависимость внутреннего квантового выхода люминесценции КЯ Al-содержащих и Al-free гетероструктур от мощности накачки.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых-докторов наук МД-3928.2022.1.2.

[1] Liu X., Zhao W., Xiong L., Liu H. Packaging of High Power Semiconductor Lasers. – New York, NY: Springer New York, 2015. – 402 p.

**ОДНОЧАСТОТНЫЕ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЕ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ С ВНЕШНИМ
РЕЗОНАТОРОМ НА ДЛИНУ ВОЛНЫ 1550 НМ**

В.П. Дураев, С.В. Медведев, С.А. Воронченко, М.Р. Лебедев

Представлены результаты работы по созданию перестраиваемого одночастотного полупроводникового лазерного модуля на длину волны 1550 нм с внешним резонатором. Рассмотрены способы перестройки длины волны излучения. Представлен лазерный модуль, способный генерировать динамически стабильное одночастотное излучения с подавлением боковой моды более 40 дБ, шириной линии генерации 100-500 кГц и выходной оптической мощностью более 20 мВт. Перестройка длины волны излучения лазерного модуля составила 1,6 нм.

Для одночастотных полупроводниковых лазеров крайне важна стабильность в динамическом режиме, высокая оптическая мощность и ширина линии излучения. На стабильность и ширину линии влияет множество параметров, в том числе частотный шум, изменение усиления и т.д. [1]. Для подавления частотного шума, проявляющегося в режиме свободной генерации, и дальнейшего сужения линии генерации используют лазеры с внешним резонатором. На выходную грань активного элемента наносится просветляющее покрытие, тем самым исключая эту грань из формирования геометрии лазерного резонатора. В качестве "глухого" зеркала выступает селективный по длине волны элемент, как правило, это дифракционная или брэгговская решётка.

Активный элемент лазерного модуля создает свои собственные моды, в это же время внешний дифракционный элемент создает так называемые моды внешнего резонатора. Так как внешнее зеркало обладает частотно-избирательной селективностью, то в генерации участвуют только те моды, которые удовлетворяют условию усиления.

В работе рассмотрен лазер с волоконной брэгговской решеткой (ВБР), где ВБР выполняет роль внешнего частотно-селективного

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

элемента [2, 3]. В таком лазере механизм формирования одночастотного режима генерации аналогичен лазерам с внешней дифракционной решеткой с той лишь разницей, что данный подход является более простым и надежным, так как исключает наличие множества подвижных компонентов.

Литература:

1. Fang Z., Cai H., Chen G., Qu R. Single Frequency Semiconductor Lasers. (Singapore: Springer, 2017).
2. Беловолов М.И. Полупроводниковые лазеры с гибридным резонатором на волоконных брэгговских решетках / М.И. Беловолов, Е.М. Дианов, В.П. Дураев [и др.]. - М., 2002. - 67 с. : ил.; 21 см. - (Препринт / Рос. акад. наук. Ин-т общ. физики (ИОФАН).
3. Дураев, В.П. Медведев С.В. Одночастотные полупроводниковые лазеры на основе двухпроходных усилителей. Фотоника 6, 54 (2015).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИСКОВЫЙ ЛАЗЕР НА ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ InGaP/AlGaInP С НАКАЧКОЙ В КВАНТОВЫЕ ЯМЫ, ИЗЛУЧАЮЩИЙ НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 640 НМ

В.И. Козловский, С.М. Женишбеков, Я.К. Скасырский, М.П. Фролов

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

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

Полупроводниковые дисковые лазеры (ПДЛ) с оптической накачкой лазерными диодами отличаются высокой мощностью и эффективностью при высоком качестве лазерного пучка [1].

Исследован полупроводниковый дисковый лазер (ПДЛ) на основе гетероструктуры InGaP/AlGaInP, излучающей на длине волны вблизи 640 нм, при внутриямной накачке импульсным лазером на красителе 6G с длиной волны излучения 601 нм. Использовались структуры с 25 квантовыми ямами, расставленные по глубине с периодом 193 нм. На структуре с встроенным брэгговским зеркалом достигнута мощность 3.5 Вт на длине волны 642 нм при дифференциальном КПД 7% по вложенной мощности накачки. Достигнутая мощность второй гармоники на длине волны 321 нм составила примерно 30% от достигнутой мощности ПДЛ на основной частоте. При накачке выше 250 Вт структура разрушалась из-за сильного адиабатического нагрева ростовой подложки GaAs. На структуре с нанесенным широкополосным диэлектрическим зеркалом удалось уменьшить фактор адиабатического нагрева, организовать двухпроходную накачку и соответственно повысить вложенную мощность накачки. Это позволило достигнуть импульсной мощности более 70 Вт на длине волны 645.5 нм с дифференциальным КПД более 17%.

Демонстрируется возможность существенного увеличения импульсной мощности лазера по сравнению с обычной накачкой в барьерные слои.

[1] Vertical External Cavity Surface Emitting Lasers: VECSEL Technology and Applications, Michael Jetter(Editor), Peter Michler (Editor), 2021, pp. 1-416. ISBN: 978-3-527-41362-1.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ПРОРЫВЫ В ИССЛЕДОВАНИЯХ И РАЗРАБОТКАХ В ОБЛАСТИ ИТС

Е.Р. Корешева, И.В. Александрова

*ФГБУН Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва, Россия
koreshevaer@lebedev.ru*

Идея управляемого инерциального термоядерного синтеза (ИТС), основанная на возможности нагрева малых объемов вещества за короткое время до термоядерных температур, была опубликована Н.Г.Басовым и О.Н.Крохиным в 1964 г. [1]. В настоящее время в мире совершен ряд прорывов в области ИТС, в том числе:

- В России с 2011 г. в РФЯЦ-ВНИИЭФ реализуется программа построения мощного многопучкового лазера. Запланированная общая энергия на выходе составляет 4.6 МДж. 1-я очередь установки запущена в 2020 г. В данном проекте участвует также и ФИАН.
- В США построена мощная лазерная установка NIF (192 лазерных пучка общей энергией ~ 2 МДж), на которой в 2022 году получено усиление по энергии в ~1.5 раза [2].
- Прорывом в исследованиях ИТС является демонстрация частотной гравитационной инжекции мишеней в России (ФИАН) и Японии (проект SANDY). Кроме того, в ФИАН разрабатываются магнито-левитационные технологии как инновационная основа для создания бесконтактных систем доставки криогенных топливных мишеней в лазерный фокус установки ИТС или будущего реактора.
- В настоящее время ФИАН интенсивно расширяет исследования в области ИТС. В том числе, создано уникальное оборудование, с помощью которого впервые в мире разработана технология поточного производства криогенных топливных мишеней. Данная деятельность реализована в ФИАН при активной поддержке академика О.Н.Крохина [3].

[1] Н.Г.Басов, О.Н.Крохин. ЖЭТФ, **46** (1), 123, 1964

[2] A.V. Zylstra, et al. Nature, **601**, 542, 2022

[3] И.В. Александрова, Е.Р. Корешева, О.Н. Крохин, И.Е. Осипов. ВАНТ сер. Термоядерный синтез, **38** (вып. 1-5), 2015

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОСЕРДЦЕВИННОГО ОПТИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА С КОНИЧЕСКИМ СУЖЕНИЕМ СЕРДЦЕВИН В КАЧЕСТВЕ ДИФРАКЦИОННОГО ОПТИЧЕСКОГО ЭЛЕМЕНТА

*Х.Х. Кумыков¹, В.В. Безотосный^{1,2}

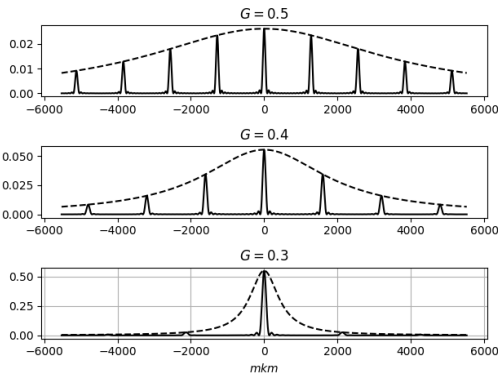
¹ Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

² Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

e-mail: h.kumykov@lebedev.ru

The possibility of using a multi-core optical waveguide with a conical narrowing of the cores as a diffractive optical element (DOE) has been studied. The coherent summation of radiation from a set of laser diodes and the conditions for independent control of a multichannel system for synthesizing a highly directional beam with a divergence close to diffraction limit are analyzed.

Изучена возможность применения многосердцевинного оптического волновода с конусным сужением сердцевин в качестве дифракционного оптического элемента (DOE). Проанализировано когерентное суммирование излучения от набора лазерных диодов и



условия независимого управления многоканальной системой для синтеза остронаправленного пучка с расходимостью близкой к дифракционной.

Дифракционные оптические элементы (DOE) находят применение для расщепления пучка и для комбинирования суммарного пучка из нескольких, в частности для формирования выходного излучения многоэлементных излучателей [1-2].

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

Предлагаемое многоканальное устройство позволит не только сформировать пучок с требуемыми характеристиками, но и обеспечить возможность управления диаграммой направленности, включая быстрое и точное угловое сканирование. В рассмотренном устройстве, сформированном из набора одномодовых волноводов, распространение поля вдоль каждой из сердцевин происходит независимо от полей в других сердцевинах. При оптимальных параметрах устройства оптической связью каналов можно пренебречь, при этом расходимость сформированного пучка определяется эффективным размером выходного зрачка. На выходе устройства могут быть реализованы линейные или двумерные массивы заданной конфигурации в виде фотонного кристалла. Дальнее поле от линейки из пяти волноводов представлено на Рис.1. в зависимости от параметра G (коэффициента сжатия сердцевины). Для сравнения пунктиром показаны дальние зоны излучения одного волновода. Расчетные распределения поля приведенные на Рис.1, демонстрируют способность устройства выполнять функцию дифракционного оптического элемента и возможность получения узконаправленных пучков. Такие DOE могут быть использованы в многоканальных многоэлементных фазированных излучателях на инжекционных [3] и волоконных лазерах [4].

[1] S. J. Augst, S. M. Redmond, C. X. Yu et.al. Coherent and Spectral Beam Combining of Fiber Lases, Proc. of SPIE Vol. 8237, 823704-1- 823704-8, (2012).

[2] S. J. McNaught, P. A. Thielen, L. N. Adams, J. G. Ho, *et. al*, Scalable Coherent Combining of Kilowatt Fiber Amplifiers Into a 2.4-kW Beam , IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 20, NO. 5, 0901008 (2014)

[3] Елисеев П.Г., В.В. Безотосный, Препринт ФИАН 180, 1988.

[4] J. Anderegg, , S. J. Brosnan, M. E. Weber, H. Komine, M. G. Wickham, 8-watt coherently phased 4-element fiber array, (2003).8-W coherently phased 4-element fiber array. Advances in Fiber Lasers. Proceedings of SPIE Vol. 4974 (2003).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

МОЩНЫЕ ЛАЗЕРЫ БЛИЖНЕГО ИК ДИАПАЗОНА: СИСТЕМА МАТЕРИАЛОВ, КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ГЕТЕРОСТРУКТУР

М.А. Ладугин, Н.В. Гулькиков, А.А. Мармалюк, Е.В. Кузнецов
АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», Москва, Россия
e-mail:laduginma@niipolyus.ru

Полупроводниковые лазеры ближнего ИК диапазона успешно применяются в различных областях промышленности, науки и техники. Их создание требует разработки и получения эпитаксиальных гетероструктур АЗВ5 высокого качества с улучшенными излучательными, электрофизическими и тепловыми свойствами [1].

В настоящей работе приведены теоретические расчеты и экспериментальные исследования гетероструктур в системах материалов AlGaAs/GaAs, InGaAs/AlGaAs, InGaAsP/GaInP и GaAsP/GaInP, полученных в условиях МОС-гидридной эпитаксии и предназначенных для лазерных излучателей повышенной мощности. Особое внимание было уделено не только повышению излучательной эффективности, но и снижению последовательного электрического и теплового сопротивлений [2,3].

Представленные данные позволили сделать выбор о наиболее предпочтительных системах материалов, конструкции лазерных гетероструктур, а также технологии их получения с целью достижения требуемых параметров мощных лазерных диодов и линеек, работающих в непрерывном и квазинепрерывном режимах работы. Продемонстрированы последние результаты и обозначены будущие направления совершенствования приборных характеристик.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых-докторов наук МД-3928.2022.1.2.

[1] Crump P., Erbert G., Wenzel H. et. al., // IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics, 2013, V. 19, N. 4, P. 1501211

[2] Volkov N.A., Telegin K.Yu., Gultikov N.V., et al. // Quantum Electronics, - 2022, V. 52, N. 2, P. 179-181.

[3] Telegin K. Yu., Ladugin M. A., Andreev A. Yu., et. al. // Quantum Electronics, 2020, V. 50, N. 5, P. 489-492

РiG ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Д. Асиненко¹, Д. Град¹, Н. Грушко¹, С. Лишик¹, Л. Сурвило¹,
Ю. Трофимов¹, В. Цвирко¹, Л. Хорошко², А. Челяпин¹, Ц. Фан³

¹ ЦСОТ НАН Беларуси, Минск, Беларусь

² БГУ, Минск, Беларусь

³ Фуданьский университет, Шанхай, Китай
rnd@ledcenter.by

Разработаны люминесцентные преобразователи в виде композиции люминофор-в-стекле (Phosphor-in-Glass, PiG) на стеклянных (металлических) подложках. PiG-преобразователи получены методом спекания в муфельной печи смеси красного оксинитридного и/или желтого YAG:Ce³⁺ люминофоров и фритты легкоплавкого стекла. Характеристики PiG-преобразователей с желтым люминофором при возбуждении синим светодиодом: КПД ~ 40%, коррелированная цветовая температура ~ 7000 К, индекс цветопередачи ≥ 75. Проведено оптическое моделирование и изготовлен макет узкоградусного прожектора на основе PiG-преобразователя, возбуждаемого лазерным излучением с длиной волны ~ 450 нм.

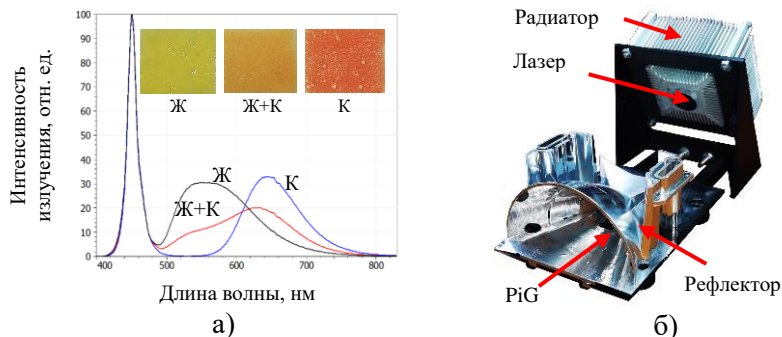


Рис. 1. Спектры излучения PiG-преобразователей с различными типами люминофоров (а). Макет узкоградусного прожектора на основе PiG-преобразователя (б)

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ НА ОСНОВЕ AlGaInAs/InP

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

¹ АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», 117342, Москва,
ул. Введенского, д. 3, корп. 1

Гетероструктуры на основе AlGaInAs/InP нашли широкое распространение для изготовления полупроводниковых лазеров телекоммуникационного диапазона. В работе обсуждаются различные подходы, направленные на совершенствование выходных характеристик таких излучателей.

Рассмотрены особенности полупроводниковых лазеров на основе сильно асимметричных и сверхузких волноводов. Выполнено их сравнение с лазерами на основе классических симметричных узких и расширенных волноводов.

Представлены результаты создания гетероструктур с упруго-напряженными квантовыми ямами, способствующие повышению выходной мощности приборов. Тщательный контроль упругих напряжений позволяет создавать высокоэффективные лазеры с длиной волны генерации, сдвинутой в длинноволновую область.

Обсуждаются перспективы применения напряженных слоев с увеличенной шириной запрещенной зоны в качестве блокирующих барьеров, ограничивающих утечку носителей из активной области. Приведены примеры использования указанных барьеров в лазерах на основе гетероструктур различных типов.

Изучено применение периодических оптически связанных волноводов для сужения диаграммы направленности лазеров.

Показаны результаты создания одночастотных РОС-лазеров с боковой брэгговской дифракционной решеткой.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ИССЛЕДОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МОД РЕЗОНАТОРА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА НА ОСНОВЕ ДВУМЕРНОГО ФОТОННОГО КРИСТАЛЛА

Орешко И.В., Казакова А.Е., Марков Д.П., Золотарев В.В., Слипченко С.О., Пихтин Н.А.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26
ioreshko@mail.ioffe.ru, тел: +7 812 292-73-79

Работа посвящена разработке резонатора диодного лазера на основе 2D фотонного кристалла, сформированного решеткой отверстий в лазерной гетероструктуре, с выводом излучения с поверхности чипа. Проведены теоретические расчеты модового состава фотонного кристалла. На основе теории связанных мод [1] рассчитаны оптические потери на выход для мод, соответствующих Γ -точке второго порядка. Продемонстрировано, что для случая S_4 симметричных отверстий существуют моды, обладающие нулевыми потерями на выход. Произведен расчет для различных геометрических форм и размеров отверстий с целью оптимизации излучательных характеристик полупроводникового лазера с резонатором на основе 2D фотонного кристалла.

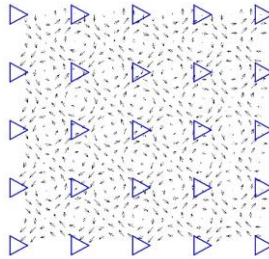


Fig.1. Пространственное распределения ТЕ лазерного излучения в плоскости волновода для резонатора на основе 2D фотонного кристалла, сформированного отверстиями в форме равносторонних треугольников

Исследования выполнены за счет гранта РФФИ (проект № 23-72-01038)

[1] Liang Y. et al., Phys. Rev. B., 84, 195119 (2011)

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ЛАЗЕРНЫЕ ДИОДЫ ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН 900-2000 НМ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

Н.А.Пихтин

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 26
nike@hpld.ioffe.ru

Будут обсуждаться конструкции торцевых (с резонатором Фабри-Перо) лазерных диодов на основе квантоворазмерных гетероструктур из Al-In-Ga-As-P твердых растворов, выращенных на подложках GaAs (диапазон длин волн излучения 900-1100 нм) [1-5] и InP (диапазон длин волн излучения 1260-2000 нм) [6-8] методом газофазной эпитаксии из металлоорганических соединений (МОС-гидридной эпитаксией). Будут представлены научно-технологические подходы к достижению выходных характеристик лазерных диодов (оптическая мощность, КПД, расходимость, спектральная и пространственная яркость, температурная стабильность, надежность (срок службы)) в зависимости от конкретных применений. В этой связи будут рассмотрены технологические процессы эпитаксиального роста гетероструктур, их постростовой обработки (планарные технологии), технологии монтажа кристаллов и их интеграции с источниками питания. Будут приведены достигнутые выходные параметры разработанных и изготовленных в ФТИ им. А.Ф. Иоффе многомодовых и одномодовых торцевых полупроводниковых лазеров, работающих при непрерывной и импульсной накачке, и дано сравнение с мировыми результатами. В частности, будут рассмотрены основные экспериментальные результаты, связанные с разработкой и исследованием источников мощного импульсного лазерного излучения на основе полупроводниковых гетероструктур с длительностями импульсов в нс- и суб-нс диапазонах.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

УЧАСТИЕ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА В РЕАЛИЗАЦИИ РЕГУЛЯТОРНОГО И ДЕСТРУКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВИДИМОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА НА РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ КЛЕТОК

Плавский В.Ю., Третьякова А.И., Плавская Л.Г., Микулич А.В., Ананич Т.С., Собчук А.Н., Крученюк Ю.В., Дудинова О.Н., Нагорный Р.К., Свечко А.Д., Якимчук С.В., Леусенко И.А.

Институт физики НАН Беларуси, г. Минск

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

С использованием полупроводниковых лазеров, светодиодов, а также перестраиваемых твердотельных лазеров с диодной накачкой получены убедительные подтверждения, что дозозависимое светоиндуцированные изменения метаболической активности соматических и раковых клеток, подвижности и оплодотворяющей способности сперматозоидов животных, проницаемости клеточных мембран эритроцитов, а также повреждение мембран микроорганизмов в отсутствие внешних (экзогенных) фотосенсибилизаторов осуществляется с участием активных форм кислорода (АФК). Причем, в зависимости от уровня концентраций образующихся АФК, воздействие света может приводить как стимуляции клеток, так и их ингибированию, и гибели. Генерация АФК обусловлена присутствием в клетках свободных оснований порфиринов и их цинковых комплексов, а также флавинов и липофусцина, характеризующихся высокой эффективностью генерации $^1\text{O}_2$. При этом уровни эндогенных порфиринов и АФК в раковых клетках значительно превышают соответствующие уровни в нетрансформированных клетках, вследствие чего раковые клетки характеризуются повышенной чувствительностью к действию синего света. Показано, что в процессе роста раковые клетки осуществляют экскрецию в ростовую среду порфириновых компонентов, изначально отсутствующих в ней, что может быть причиной их повышенной концентрации в опухолях. Тип АФК, участвующих в фотобиологических реакциях в клетках, изменяется с течением времени после прекращения воздействия за счет волны вторичной продукции АФК.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

КВАНТОВЫЕ КАСКАДНЫЕ ЛАЗЕРЫ С ВЫСОКООТРАЖАЮЩИМИ И ПРОСВЕТЛЯЮЩИМИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

**К. Подгаецкий¹, А. Лобинцов¹, А. Данилов¹, А. Иванов¹, М. Ладугин¹,
А. Мармалюк¹, В. Дюделев², Д. Михайлов², А. Лютецкий²,
С. Слипченко², Н. Пихтин², А.Бабичев³, А. Гладышев³, И. Новиков³,
Л. Карачинский³, Г. Соколовский².**

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

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

³ООО "Коннектор Оптик", Россия, Санкт-Петербург

E-mail: podgaetskykonstantin@yandex.ru

В рамках данной работы исследованы образцы квантовых каскадных лазеров (ККЛ) InGaAs/InAlAs/InP, излучающих на длине волны 4,5 мкм, с осажденными высокоотражающими и просветляющими диэлектрическими покрытиями. Для создания высокоотражающего зеркала использовались две пары Si-SiO₂ с фазовыми толщинами каждого слоя равными $\pi/2$. В роли просветляющего покрытия выступал тонкий слой SiO₂.

Экспериментально показано, что использование только высокоотражающего покрытия приводит к снижению порогового тока ККЛ (относительно прибора без зеркал) в 1,6 раз и увеличению наклона ВtАХ в 2,7 раз. Нанесение высокоотражающего и просветляющего покрытий позволило увеличить наклон ВtАХ в 4,2 раза (относительно прибора без зеркал). При этом, значение порогового тока таких ККЛ увеличилось по сравнению с образцом только с одним высокоотражающим покрытием в 1,4 раза, но все еще было меньше значения порогового тока для прибора без оптических покрытий.

Предложены оптимальные значения коэффициентов отражения зеркал изучаемых ККЛ для минимизации порогового тока и максимизации наклона ВtАХ.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ЛАЗЕР СПЕКТРАЛЬНОГО ДИАПАЗОНА 810-865 НМ

С. Ильченко¹, К. Пушков¹, С. Юрчук², В. Сенько¹, И. Румянцев¹,
М. Орлова², А. Мармалюк³

¹ ООО «Оптон», г. Москва, Россия

² НИТУ МИСиС, г. Москва, Россия

³ АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», Москва, Россия
kostya-vladimirovich1998@mail.ru

На базе полупроводникового оптического усилителя и перестраиваемого акустооптического фильтра была реализована схема перестраиваемого лазера с кольцевым резонатором.

В качестве активного элемента использовался недавно разработанный ПОУ для оптического диапазона (805 – 865) нм [1]. Основной его особенностью является применение уширенного волновода, что позволило получить более высокий уровень мощности (более 300 мВт с грани полупроводникового чипа) в сравнении с ПОУ со стандартным волноводом.

Проведено исследование основных зависимостей нескольких конфигураций оптической схемы перестраиваемого лазера, таких как зависимость токов накачки от длины волны на разных уровнях мощности и полуширина линии излучения от длины волны на разных уровнях мощности.

В диапазоне (810 – 865) нм реализована выходная мощность до 20 мВт с шириной линии не превышающей 0,06 нм и отсутствующим суперлюминесцентным фоном. Скорость перестройки достигает 10000 нм/с

[1] S.N. Il'chenko, A.E. Kireeva, K.V. Pushkov, S.Yu. Yurchuk, S.D. Yakubovich High power 840 nm SLDs with large optical cavities, 20th International Conference Laser Optics (2022)

ОДНО- И ДВУХФОТОННО-ВОЗБУЖДАЕМАЯ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ МИКРОПОРОШКОВ ДИОКСИДА ТИТАНА

И. Рахматуллаев, М. Давронов, М. Илхомжонов

Ташкентский филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Ташкент, Узбекистан
murodjon.ilhomjonov@gmail.com

Диоксид титана (TiO_2) – не прямой полупроводник n-типа с шириной запрещенной зоны (E_g) 3,0 эВ для рутила и 3,2 эВ для анатаза [1]. Спектр резонансной фотолюминесценции (ФЛ) (рис.1) имеет максимум в 430 нм. Максимум спектра двухфотонно-возбуждаемой люминесценции (ДВЛ) сдвинут в коротковолновую область на 3 нм по отношению к спектру резонансной ФЛ с $\lambda = 427$ нм. Необходимо отметить, что однофотонные и двухфотонные спектры несут разную информацию: в дипольном приближении двухфотонные переходы разрешены между состояниями одинаковой четности, а однофотонные – между состояниями разной четности.

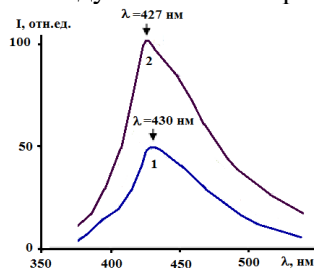


Рис. 1. 1) - спектр резонансной ФЛ TiO_2 при возбуждении $\lambda = 255,3$ нм; 2) - спектр ДВЛ TiO_2 при возбуждении $\lambda = 510,6$ нм.

Таким образом, в работе обнаружено, что спектры одно- и двухфотонно-возбуждаемой люминесценции отличаются друг от друга интенсивностью, формой и положением.

[1] S. Mo, W. Ching. Electrical and optical properties of three phases of titanium dioxide: rutile, anatase, and brookite, Phys. rev. B, vol.51, pp.12023 (1995).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ИЗМЕНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШИРОКОПОЛОСНЫХ СУПЕРЛЮМИНИСЦЕНТНЫХ ДИОДОВ В ПРОЦЕССЕ НАРАБОТКИ

И. Румянцев¹, С. Ильченко¹, А. Мармалюк³, К. Пушков¹, С. Юрчук², В. Сенько¹, М. Орлова²

¹ООО «Оптон», г. Москва, Россия

²НИТУ МИСиС, г. Москва, Россия

³АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», Москва, Россия

В работе [1] показано, что зачастую изменение спектральных характеристик суперлюминисцентного диода (СЛД) в процессе наработки пропорционально изменению выходной оптической мощности. Однако, в процессе исследований СЛД на основе квантоворазмерных гетероструктур было выявлено, что указанное изменение спектра может быть сильно несопоставимо с величиной спада выходной оптической мощности (рис.1).

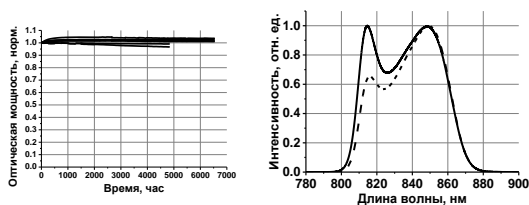


Рис.1. Изменение выходной оптической мощности и оптического спектра в процессе наработки СЛД

В работе обсуждаются возможные причины данного явления, среди которых: изменение поляризации (перераспределение ТЕ/ТМ); изменение характеристик волновода (изменение показателей преломления для различных длин волн); различная лучевая нагрузка на переднюю и заднюю грань излучателя.

1. Е.В.Андреева, С.Н.Ильченко, Ю.О.Костин, П.И.Лапин, Д.С.Мамедов, С.Д.Якубович, Квантовая электроника, 41, №7 (2011)

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

МОЩНЫЕ ШИРОКОПОЛОСНЫЕ СЛД ДИАПАЗОНА СПЕКТРА 840 НМ С УШИРЕННЫМИ ВОЛНОВОДНЫМИ СЛОЯМИ

В. Сенько^{1,2}, К. Пушков^{1,2}, И. Румянцев¹, С. Ильченко¹, М. Орлова², С. Юрчук², А. Мармалюк³

¹ ООО «Оптон», г. Москва, Россия

² НИТУ МИСиС, г. Москва, Россия

³ АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», Москва, Россия
e-mail address: senko.opton.msk.ru

Суперлюминисцентные диоды (СЛД) имеют более низкие пороги катастрофической оптической деградации (КОД). Это связано с более низкой внешней квантовой эффективностью СЛД, а также с более высокой концентрацией неравновесных носителей в рабочих режимах. Повреждение покрытий обычно происходит из-за повышения локальной температуры на гранях кристаллов в следствии безызлучательной рекомбинации. Одним из способов снижения температуры на краю является увеличение размера пятна за счет изменения геометрии волновода.

В работе были исследованы СЛД с шириной волновода 0.36 мкм и 0.5 мкм из $Al_{0.32}Ga_{0.68}As$ и одной квантовой ямой (КЯ) шириной 8 нм и 2% содержания индия в $InGaAs$ [1]. В результате удалось добиться мощности более 300 мВт без КОД при ширине спектральной полосы 30 нм, в то время как у СЛД с той же геометрией кристалла и гетерослоев с шириной волновода 0.24 мкм КОД наступала при мощности 150 мВт. Также были разработаны СЛД с шириной волновода 0.36 мкм из $Al_{0.32}Ga_{0.68}As$ и одной КЯ шириной 10 нм и 0% содержания In в КЯ. У данного типа приборов наблюдалась мощность более 130 мВт при максимальной ширине спектра излучения 51 нм. При этом порог КОД превышает 250 мВт. [1] S.N. Il'chenko, A.E. Kireeva, K.V. Pushkov, S.Yu. Yurchuk, S.D. Yakubovich High power 840 nm SLDs with large optical cavities, 20th International Conference Laser Optics (2022)

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ИМПУЛЬСНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ЛАЗЕРЫ ДЛЯ ДАЛЬНОМЕРОВ И ЛИДАРОВ ВРЕМЯПРОЛЕТНОГО ТИПА

С.О. Слипченко

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

В настоящее время активно развиваются беспилотные транспортные средства, как гражданского, так и двойного назначения. Одно из необходимых требований при автономном пилотировании связано с необходимостью реализации обзора окружающей обстановки. В настоящее время для решения данной задачи активно развиваются ЛИДАРные системы. Кроме указанного направления актуально решение задачи измерения дистанции до различного типа объектов: облака, что реализуется в аэродромных измерителях облачности, при приземлении летательных аппаратов. Все это свидетельствует о практической значимости и востребованности решений в области дальнометрии для оперативного определения дистанции до цели.

Представлен обзор основных подходов к созданию источников лазерного излучения на основе импульсных полупроводниковых лазеров для ЛИДАРОВ времяпролетного типа. Рассмотрены основные типы конструкций полупроводниковых гетероструктур, выращиваемых методом МОС-гидридной эпитаксии для создания, как импульсных полупроводниковых лазеров, так и твердотельных сильноточных ключей. Представлены основные экспериментальные результаты, демонстрирующие существующий уровень техники. Представлены новые конструкции импульсных источников на основе вертикальныхборок лазерный диод-тиристорный ключ. Для разработанных конструкций продемонстрирована возможность генерации лазерных импульсов в спектральном диапазоне 940-950нм с пиковой мощностью более 30Вт, длительностью 3нс и частотами более 20кГц.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

РЕЖИМЫ ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛАЗЕРАХ НА КВАНТОВЫХ ЯМАХ

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*

zina.sokolova@mail.ioffe.ru

Прошло уже более 60 лет, как для генерации лазерного излучения была предложена идея создания инверсной населенности посредством инжекции носителей заряда через контакт р- и n- полупроводников одного и того же состава [1]. И прошло более 50 лет со времени создания низкопороговых инжекционных лазеров на полупроводниковых р-n-гетероструктурах, излучающих в непрерывном режиме при комнатной температуре [2]. Однако исследования полупроводниковых лазеров с целью их дальнейшего совершенствования актуальны и сейчас.

Настоящая работа посвящена устойчивости излучения инжекционных лазеров на квантовых ямах в условиях, когда вследствие определённой нелинейности электронно-фотонной системы имеет место вырождение (наличие двух ветвей) в выходных характеристиках лазеров. Показано, что в рассмотренной структуре одна из ветвей лазерных характеристик является нестабильной, в то время как другая ветвь всегда стабильна.

[1] Н.Г. Басов, О.Н. Крохин, Ю.М. Попов, «Получение состояний с отрицательной температурой в р–n-переходах вырожденных полупроводников», *ЖЭТФ*, **40**, 1879–1880 (1961).

[2] Ж.И. Алферов, В.М. Андреев, Д.З. Гарбузов, Ю.В. Жилиев, Е.П. Морозов, Е.Л. Портной, В.Г. Трофим, «Исследование влияния параметров гетероструктуры в системе AlAs-GaAs на пороговый ток лазеров и получение непрерывного режима генерации при комнатной температуре», *ФТП*, **4**, 1826-1829 (1970).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ТЕХНОЛОГИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЛАЗЕРНОЙ КЕРАМИКИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ЛАЗЕРОВ НА ЕЕ ОСНОВЕ

Е.А. Чешев, А.Л. Коромыслов, А. Ю. Канаев, К.В. Лопухин, Д.В. Мухатаев, И.М. Тупицын

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

В последние 25-30 лет был разработан новый класс активных лазерных сред, которые представляют собой поликристалл со случайно ориентированными кристаллографическими осями в кристаллитах. Такой класс активных лазерных сред получил название лазерная керамика [1]. Современные лазерные керамики по своим излучательным свойствам стоят наравне с монокристаллами. В то же время по своим механическим свойствам керамика имеет значительные преимущества. Кроме того, лазерная керамика гибкий конструкционный материал, который позволяет варьировать в значительных пределах размеры активного элемента, его топологию, состав и концентрации ионов-активаторов. Пионером в производстве лазерной керамики явилась японская фирма Konoshima Chemical Co. Ltd. Лазерная керамика фирмы Konoshima Chemical Co. Ltd. по факту представляет эталонное качество образцов лазерной керамики.

Необходимо отметить, что в 2016-2019 гг. на «ФКП «ГЛП «Радуга» был создан промышленный участок производства отечественных лазерных керамик: ОКР «ТЕРРА» и ОКР «ТЕРРА-РН». Участок производства работает и подтверждает заявленный высокий уровень лазерной керамики, не уступающий качеству керамики Konoshima Chemical Co. Ltd. Изделия из лазерной керамики производства «ФКП «ГЛП Радуга» используются в промышленности.

Настоящее сообщение посвящено реализованным на «ФКП «ГЛП «Радуга» технологиям синтеза лазерных керамик Nd:YAG, Yb:YAG, Yb:LuYAG, Cr⁴⁺YAG и перспективным схемам лазеров на их основе для широкого спектра применений.

1. Лазерная керамика. Технология получения. Типтох А.М., Умнов В.О. Сборник докладов. Международная научно-техническая конференция ИПТИП РГУ МИРЭА. Под редакцией А.С. Сигова. Москва. 2022 г., с.240-245.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

СИНХРОНИЗАЦИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С РАЗЛИЧНОЙ ДЛИНОЙ ВОЛНЫ

И.В.Шабельников

Институт органической химии им. Д.Н.Зелинского РАН, г. Москва, Ленинский проспект 47

irlan2003@mail.ru, +79802036464

Лазерное сканирование материалов [1] проводится путем вращения вокруг оси плотного параллельного пучка, вертикально поляризованного лазерных лучей (с длиной волны **405, 450, 488, 505, 532, 589, 635 и 685** нм) входящих в материал призмы, на выходе получаем циклическую проекцию этих лучей на экран (рис.1); циклическая проекция отклонений лазерных лучей выходящих из призмы фиксируется в таблице и форматируется с получением диаграммы характеризующих микроотклонения лазерных лучей в материале по всему циклу вращения (рис.2).

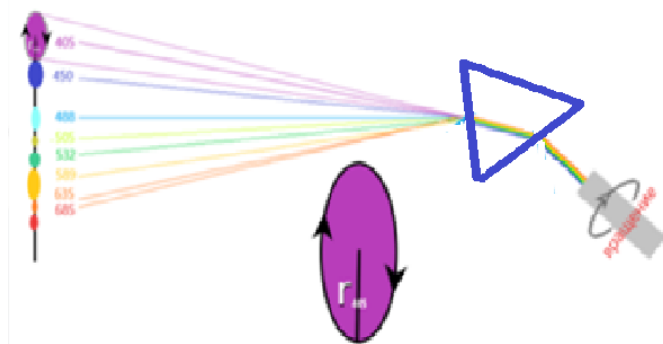


Рисунок 1. Физический смысл поляризующей способности материала, выражается в микроотклонении проекции лазерного луча (при его вращении) от правильной окружности.

ПРИНЦИП СИНХРОНИЗАЦИИ

Разворот лазерного модуля 450 нм на 180° , в самой установке излучателя, приводит к изменению относительного положения диа-

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

граммы частных микроотклонений этого модуля; к изменению характера его отформатированной развёртки (рисунок 2).

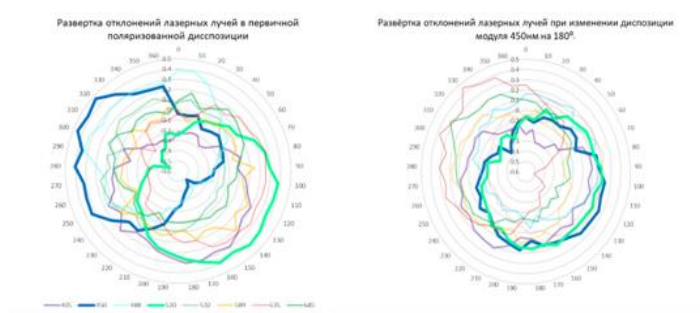


Рисунок 2. Диаграмма отформатированных данных характеризующая выраженность частных отклонений лазерного луча с длиной волны 450 нм при его развороте на 180° .

Представленные на диаграмме (рисунок 2) развёртки частных отклонений лазерного модуля с длиной волны 450 нм при его развороте на 180° (при сохранении вертикальной поляризации), фактически синхронизируется с развёрткой модуля с длиной волны 520 нм, показывает наличие в самом лазерном модуле; в его обобщённом излучении ранее не учитываемого нами фактора, проявляющегося как относительный сдвиг разверток лазерного модуля или **«обобщённый спин»** лазерного излучения. Подобного рода относительные сдвиги разверток, с сохранением поляризации, в разной степени, наблюдаются и при развороте других модулей. Системный учёт всех сдвигов разверток, по всем используемым в излучателе лазерным модулям позволяет провести их синхронизацию в излучателе оптимальным образом, например, так, что все развёртки частных отклонений будут находиться в одной области.

[1] И.В.Шабельников. Лазерное сканирование материалов. VIII Международный Симпозиум КОИПСС. Сборник тезисов докладов, с. 105 (2021).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

АКТИВНЫЕ СРЕДЫ ТГц ДИАПАЗОНА В ОБЪЕМНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

В.Н. Шастин

*Институт Физики Микроструктур РАН, Нижний Новгород, Россия
shastin@ipmras.ru*

Доклад носит в большей степени обзорный характер известных на сегодня источников когерентного излучения ТГц диапазона неравновесных электронов в объемных полупроводниках. В основном это касается кристаллического кремния и германия. Выходная мощность таких источников ограничена объемом и может значительно превосходить ту, которая достижима в планарных средах, таких как обычные инжекционные лазеры на межзонных переходах или лазеры на квантовых каскадах. И в некоторых приложениях это имеет большое значение. Кроме того, следует принимать во внимание и познавательную значимость разнообразных оригинальных механизмов усиления в объемных средах. В выступлении будут затронуты следующие темы:

Три механизма инверсной населенности состояний и лазеров на горячих дырках дырочного германия в скрещенных и одноосно ориентированных электрическом и магнитном полях;

Два механизма стимулированного излучения неравновесных состояний доноров пятой группы в кремнии;

Усиление ТГц излучения на циклотронном резонансе легких дырок германия.

О возможности объемной инверсной заселенности в лазерах на межзонном переходе.

[1] Gornik E., Andronov A. A. Far-infrared semiconductor lasers, *Optical and Quantum Electronics, Special Issue on Far-infrared Semiconductor Lasers*, 23 (2), S111.-S359., (1991)

[2] Pavlov S. G., Zhukavin R. K., Shastin V. N., & Hübers H. W. The physical principles of terahertz silicon lasers based on intracenter transitions, *physica status solidi (b)*, 250(1), 9-36., (2013)

[3] D.B. Veksler, A.V. Muravjov, V. N. Shastin Cyclotron resonance light holes amplification in optically pumped semiconductors, *Terahertz Spectroscopy and Applications II, SPIE*, 3828, S286-292., (1999).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур

Стеновые доклады

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

THE LATEST ACHIEVEMENTS IN DATA TRANSMISSION USING LASER RADIATION

A.A. Gorbunov¹, A.A. Grigoriev¹, E.A Isaev², P.A. Tarasov³

¹ *Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia*

² *P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow Russia*

³ *National Research University "Higher School of Economics", Moscow, Russia
E-mail: aagorbunov@fa.ru
Phone: +79623657394*

Recently, we are constantly faced with a constant increase in the volume of transmitted data, including for scientific research. For this reason, there is a growing need for higher capacity scientific and commercial data networks. To solve this problem, innovative solutions are constantly proposed and tested.

The report will talk about the latest promising methods of high-speed information transmission using coherent laser technologies with increased reliability. The technology of a wireless laser data transmission system with a throughput of more than 1 Tbit/s when transmitting data over a distance of more than 53 km is being considered, which in the future may help to abandon underwater wired communication lines. A review of the latest experiments on the use of laser communication technologies in near and far outer space is carried out. The use of diode semiconductor lasers in wireless and wired communication lines is analyzed. The prospects for the industrial application of lasers based on quantum dots in fiber-optic communication lines are described. Underwater wireless laser communication systems, their possible applications and further development are considered.

[1] A.A. Grigoriev, E.A Isaev, P.A. Tarasov. Transfer, storage and processing of large volumes of scientific data. 2021. INFRA-M

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

MODELING RADIOFREQUENCY HEATING OF NANOPARTICLES

A.A. Grigoriev^{1,2}, A.P. Kanavin^{1,2}, I.N. Zavestovskaya^{1,2}

¹ *Physical Institute. P. N. Lebedev RAS, 119991 Moscow, Russia*

² *National Research Nuclear University "MEPhI", Engineering Physics Institute of Biomedicine, 115409 Moscow, Russia
grigoriev.andrej2013@yandex.ru*

One of the promising methods for treating cancer is local hyperthermia in combination with the use of nanoparticles as sensitizers, which makes it possible to selectively destroy cancer cells without damaging healthy ones [1]. In this work, we study the conditions for obtaining hyperthermia in biological tissues through the interaction of radio frequency electromagnetic radiation with body tissues and nanoparticles introduced into them. A mathematical model of heat release in irradiated tissues due to the presence of nanoparticles in them, depending on the frequency of the external field and the material of the nanoparticles, was constructed.

The results obtained can be further applied to calculate the optimal parameters of nanoparticles and radiofrequency electromagnetic radiation for use in hyperthermia of malignant tumors.

[1] K. P. Tamarov, L. A. Osminkina, S. V. Zinovyev, K. A. Maximova, J. V. Kargina, M. B. Gongalsky, Y. Ryabchikov, A. Al-Kattan, A. P. Sviridov, M. Sentis, A.V. Ivanov, V. N. Nikiforov, A.V. Kabashin, V. Yu. Timoshenko, Radio frequency radiation-induced hyperthermia using Si nanoparticle-based sensitizers for mild cancer therapy, *Sci. Rep.* **4**, 7034, (2014).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

EFFICIENCY OF GENERATION OF COMPOSITE ACTIVE ELEMENTS BASED ON DOMESTIC Nd^{3+} :YAG CERAMICS

E. Tarakanov^{1,2}, Y. Ulyanov^{1,2}, A. Kanaev^{2,4}, E. Cheshev^{1,3}, I. Tupitsyn³

¹ *National research nuclear university “MEPhI”, Moscow, Russian Federation*

² *State laser polygon “Raduga”, Raduzhnyi, Russian Federation*

³ *P. N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation*

⁴ *Vladimir state university named after Aleksandr Grigorevich and Nikolay Grigorevich Stoletov, Vladimir, Russian Federation*
egortarakanoff@yandex.ru

The paper presents the results of studies of the quality of domestic ceramics. The study of the lasing characteristics of samples of active elements based on Nd^{3+} :YAG laser ceramics produced by SLP “Raduga” was carried out in a scheme with longitudinal pumping, which ensures optimal matching of the fundamental mode of the resonator with the diode pump beam. In this case, a semi-confocal resonator configuration was used. Under conditions of inhomogeneous pumping, such a scheme makes it possible to standardize lasing conditions, since the power of laser radiation in this case weakly depends on the spatial distribution of intensity in the pump beam in the cross section of the fundamental mode of the resonator in the active element. A Nd^{3+} :YAG ceramic plate from Konoshima Chemical Co. Ltd was used as a reference sample for comparison with the concentration of the active ion of neodymium (Nd^{3+}) – 1.0 at. %, thickness 3.3 mm.

[1] A. Ikesue, Y. Aung, Synthesis and Performance of Advanced Ceramic Lasers, *Journal of the American Ceramic Society*, 89, pp. 136-1944, (2006).

[2] V. Bezotosnyi, A. Koromyslov, O. Krokhnin et al., Lasing Characteristic of New Russian Laser Ceramics, *Quantum Electronics*, 48, pp. 802-806, (2018).

[3] V. Bezotosnyi, E. Cheshev, V. Gordeev et al., Composite Ceramic Nd^{3+} :YAG/ Cr^{4+} :YAG Laser Elements, *Journal of Russian Laser Research*, 40, pp. 237-242, (2019).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

FORMATION OF COPPER NANOPARTICLES DURING TARGET ABLATION BY $\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$ LASER RADIATION

Y. Ulyanov^{1,2}, A. Shepelev^{2,3}, A. Antipov³, A. Putilov³, S. Solokhin⁴, T. Lezova⁴, E. Tarakanov^{1,2}

¹ National research nuclear university “MEPhI”, Moscow, Russian Federation

² State laser polygon “Raduga”, Raduzhnyi, Russian Federation

³ Institute on Laser and Information Technologies of Russian Academy of Sciences — Branch of Federal Scientific Research Center “Crystallography and Photonics” of Russian Academy of Sciences, Shatura, Russian Federation

⁴ Kovrov State Technological Academy named after V. A. Degtyarev, Kovrov, Russian Federation
anti-peace@yandex.ru

The paper examines the process of laser ablation of a copper target in a liquid by repetitively pulsed radiation from a $\text{Cr}^{3+}:\text{BeAl}_2\text{O}_4$ laser. To carry out this process, the laser generation wavelength was tuned to 740 nm. The radiation wavelength was adjusted using a dispersion prism used as part of a plane-parallel resonator. It has been shown that when a target is exposed to a microsecond laser pulse consisting of a train of short pulses, copper nanoparticles of various sizes are formed.

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-22-20092 (<https://rscf.ru/project/22-22-20092>).

[1] G. Tikhonowski, A. Popov, A. Kurinnaya et al., Laser Synthesis of Bismuth Nanoparticles for Multimodal Theranostics of Oncological Diseases, Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 49, pp. 180-184, (2022).

[2] A. Antipov, A. Putilov, A. Osipov, A. Shepelev, Laser Ablation of Metal Targets in a Liquid by Trains of Nanosecond Pulses, Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 86, pp. 716-720, (2022).

[3] A. Antipov, S. Arakelian, S. Kutrovskaya et al., Deposition of bimetallic Au/Ag clusters by the method of laser deposition of nanoparticles from colloidal systems, Optics and Spectroscopy, 116, pp. 324-327, (2014).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРАЛЬНО-ФАЗОВОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ И СЕНСОРНЫХ ЧИПОВ С АДАПТИРУЕМОЙ ПЛОТНОСТЬЮ БИОСЕЛЕКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Беляков Н.А.^{1,2}, Орлов А.В.¹, Пушкарев А.В.³

1 - Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, г. Москва, Россия

2 - Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва., Россия

3 - Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет) «МФТИ», г. Москва, Россия

E-mail: WhiteNik.bel@yandex.ru

Одной из актуальных задач современной медицинской диагностики является создание высокоточных и быстродействующих биосенсорных систем для определения низкомолекулярных соединений в биологических жидкостях и продуктах питания. В частности, требуется разработка сенсоров, допускающих подстройку биоселективного элемента под предъявляемые к анализу требования.

В данной работе предложен способ управления детектирующей поверхностью для подстройки биосенсора под различные условия анализируемой среды. Экспериментально подход к управлению количеством доступных центров связывания антител на сенсорной поверхности продемонстрирован на примере регистрации малых молекул с помощью интерфейсных слоев из нескольких биомолекул, позволяющих запрограммировать возможные лиганд-рецепторные взаимодействия на основе булевой алгебры [1,2].

Регистрация межмолекулярных взаимодействий в проводимых экспериментах осуществлялась с помощью метода спектрально-фазовой интерферометрии (СФИ), позволяющего метрологически точно измерять приращение толщины биослоя на сенсорной поверхности. Используемый сенсор на основе СФИ позволяет в режиме реального времени наблюдать процессы межмолекулярных взаимодействий на поверхности сменных сенсорных чипов, пред-

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ставляющих собой химически модифицированные микроскопные покровные стёкла [3].

В ходе работы на поверхности сенсорного чипа для СФИ был иммобилизован конъюгат бычьего сывороточного альбумина (БСА) с двумя молекулами: первая молекула – целевая анализируемая мишень, антибиотик хлорамфеникол (ХАФ); в качестве второй, регулирующей, молекулы выступал биотин (БИО). После этого вдоль поверхности последовательно пропускались растворы, содержащие антитела класса IgG, специфичные к ХАФ и БИО. В результате взаимодействия антитело-антиген был образован комплекс БСА-ХАФ-БИО – анти-ХАФ – анти-БИО. Данный комплекс, с одной стороны, чувствителен к концентрации ХАФ в анализируемом растворе: чем выше концентрация ХАФ, тем выше эффективная константа диссоциации комплекса. С другой стороны, процесс данной диссоциации регулируется плотностью сорбции антител к БИО в составе комплекса, поскольку они стерически экранируют ХАФ от взаимодействия с анти-ХАФ антителами. Таким образом, была экспериментально продемонстрирована возможность определения ХАФ с помощью спектрально-фазовой интерферометрии и сенсорных чипов с адаптируемой плотностью биоселективных элементов.

Разработанный метод представляется перспективным для применения в биосенсорах с управляемыми аналитическими характеристиками для регистрации низкомолекулярных соединений в сложных средах.

Автор выражает благодарность научному руководителю, к.ф.-м.н. Никитину П.И., и коллективу лаборатории «Биофотоника» ЦЕНИ ИОФ РАН, в частности Знойко С.Л.

[1] Nikitin M. P. et al., *Nature Nanotechnology*, 2014, 156, 10.1038

[2] Tregubov A. A., Nikitin P. I., Nikitin M. P., *Chemical Reviews*, 2018, 118, 10294–10348

[3] Nikitin P. I., Gorshkov B. G., Nikitin E. P., Ksenevich T. I., *Sensors and Actuators B*, 2005, 111-112, 500-504

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГЕТЕРОЛАЗЕРА С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Березуцкий А.В., Козлов Н.Ю., Микаелян Г.Т.
ООО «НПП Инжект», г. Саратов, г. Обнинск, Россия
epitaxy@nppinject.ru

При разработке лазерного диода крайне важное значение имеет оптимизация электрофизических параметров гетеролазера. Добавление дополнительных технологических слоев в гетероструктуру и изменение имеющихся параметров может оказывать значительное влияние на последовательные сопротивления, распределение носителей заряда и другие электрофизические параметры лазера, что в свою очередь влияет на КПД конечного прибора [1]. Экспериментальный подбор параметров слоев гетероструктуры крайне неэффективен ввиду высокой стоимости эпитаксиального роста и постростовых процессов. Поэтому предпочтительны точные модельные расчеты.

В данной работе представлена расчетная модель на основе уравнений дрейф-диффузии и термоэлектронной эмиссии через р-п-переход, позволяющая определять такие параметры инжекционного гетеролазера, как зонная структура, распределение потенциала по слоям, распределение носителей заряда и плотность тока через р-п-переход при заданном напряжении, по указанным характеристикам слоев гетероструктуры. Это позволяет значительно снизить расходы на разработку дизайна высокоэффективных полупроводниковых лазеров.

[1] Д.А. Веселов, И.С. Шашкин, Н.А. Пихтин, С.О. Слипченко, З.Н. Соколова, И.С. Тарасов, Подавление процесса делокализации носителей заряда в мощных импульсных полупроводниковых лазерах, Письма в ЖТФ, том 41, вып. 6, стр. 10-16, (2015).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДИОДНОГО ЛАЗЕРА ПРЯМОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**А.А. Бурцев, А.В. Киселев, В.В. Ионин, В.А. Михалевский,
А.А. Невзоров, Н.Н. Елисеев, А.А. Лотин**

*ИПЛИТ РАН — филиал ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН,
140700, МО, Шатура, Святоозерская, 1
e-mail докладчика: murrkiss2009@yandex.ru*

Полупроводниковые диоды отличаются высокой прочностью и надежностью, а также долговечностью и самым высоким КПД. Объединение отдельных излучателей в линейки и далее в решетки – приводит к образованию множества отдельных лучей асимметричного качества. Их необходимо свести вместе в один луч с симметричным сечением [1]. Одно из решений данной проблемы кроется в использовании энергии диодных лучей для формирования нового луча с более высоким качеством.

В общем виде оптическая система пучка лазерных диодов состоит из следующих частей: коллиматор быстрой оси, преобразователь пучка, коллиматор медленной оси и фокусирующая линза [2]. В работе представлены результаты расчета и моделирования для линейки лазерных диодов для двух случаев. Система включает в себя два коллиматора и фокусирующую линзу. Главная разница заключается в форме первой коллимирующей линзы. Для моделирования применялся пакет программ ZEMAX. Также уделено внимание анализу возможных дефектов оптических волокон и их влиянию на распространение излучения [3].

[1] А. Андриевский, В.Ф. Андриевский. Лазерные диодные модули: ввод излучения в волокно и фиксация деталей модулей, Фотоника, № 3, с. 74–79, (2017)

[2] T. Mitra, K. Bagschik, A. Kalkusinski. Monolithic Fiber Coupler for High Power Diode Laser Bars, Proc. of SPIE, vol. 10090, № 100900X–2 (2017)

[3] J.P. Powers. An Introduction to Fiber Optic Systems. Irwin Professional Publishing, 340 p., (1996)

ГЕТЕРОСТРУКТУРА ZnCdS/ZnCdSe/ZnSSe С МАЛЫМ ГРАДИЕНТОМ КОНЦЕНТРАЦИИ ПО Zn И Cd В КВАНТОВОЙ ЯМЕ

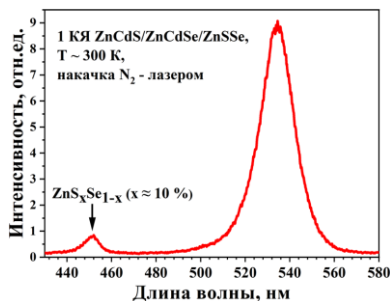
М.Р. Бутаев², В.И. Козловский^{1,2}, Я.К. Скасырский², Н.Р. Юнусова^{1,2}

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ».

Каширское шоссе, д. 31, 115409, г. Москва, тел. +7(962)3716651, e-mail: mbutayev@mail.ru

²Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН. Ленинский пр., д. 53, 119991, г. Москва

Повышенный интерес к полупроводниковым дисковым лазерам (ПДЛ) вызван их интенсивным развитием в последние 10-15 лет многими лабораториями развитых стран мира, что связано с рядом их преимуществ (малая расходимость при высокой мощности излучения, широкий спектральный диапазон, отсутствие релаксационных колебаний и т.д.) перед другими типами лазеров. Для создания ПДЛ, работающего в востребованном зеленом диапазоне спектра на основной частоте, ранее нами использовалась гетероструктура (ГС) CdS/ZnSe/ZnSSe с разрывами зон 2-го типа [1]. В квантовых ямах (КЯ) лазерных ГС, выращенных при наиболее часто описываемых в литературе условиях эпитаксиального роста ГС из соединений A^2B^6 (VI/II~10), нами была обнаружена взаимная диффузия (ВД) атомов Cd и Zn в структуре [2]. Это приводило к неоднородности КЯ по глубине структур и ухудшению характеристик лазеров на их основе. Мы определили, что ВД может стимулироваться не только временем пребывания КЯ при высокой ($T \sim 450$ °C) температуре роста и вакансиями металла, которые образуются в структуре при ее росте, но, а также градиентом концентрации по Cd и Zn в структуре. Было установлено, что ВД существенно подавляется при выращивании слоев КЯ CdS и ZnSe при пониженных соотношениях VI/II (VI/II~2-4). Еще одним решением проблемы ВД может стать использование ГС-р с малым градиентом концентрации по Zn и Cd в них.



В данной работе исследовалась новая ГС $Zn_yCd_{1-y}S/Zn_zCd_{1-z}Se/ZnS_xSe_{1-x}$ ($x \sim 0.1$, $y \sim 0.5$, $z \sim 0.65$) с малым градиентом концентрации по Zn и Cd в КЯ, выращенная методом ГФЭЭОС. В зависимости от составов Zn и Cd в слоях КЯ, данная ГС может иметь зонную структуру как 1-го, так и 2-го типа. Выращенные в данной работе ГС показали высокую интенсивность люминесценции при комнатной температуре в зеленой области спектра (см. рис.).

[1] М.Р. Бутаев и др. Квантовая электроника. - 2020. - Т. 50. - № 10.

[2] M.R. Butayev et al. Journal of Alloys and Compounds. - 2021. - V. 880.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ОЦЕНКА ПОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ ДИФФУЗИОННЫХ МОДЕЛЕЙ НАНОКЛАСТЕРОВ ТЕЛЛУРИДА СВИНЦА

Д. Бухаров, Д. А. Федорино

*ВлГУ, Владимир, Россия
buharovdn@gmail.com*

Тведофазная лазерная модификация эпитаксиальных пленок теллурида свинца (PbTe) позволяет сформировать системы нанокластеров на ее поверхности с размерами от 50 нм до 13 мкм [1]. Для связи управляющих параметров схемы лазерного синтеза и моделирования структуры системы нанокластеров в приближении диффузионно-ограниченной агрегации (DLA) дефектов [2,3] необходима оценка поля температуры. Она может быть получена с использованием MATLAB LaserToolbox [4]. Указанное приближение позволяет аппроксимировать зависимости поля температур от мощности источника излучения, скорости его движения, диаметра пучка. Подстановка полученных зависимостей в соотношения, определяющие основной параметр модели DLA - вероятность прилипания, позволяет оценить влияние управляющих параметров лазерного синтеза на модельные образцы и соотнести их особенности с экспериментальными образцами.

[1] D. Bukharov, A. Abramov, O. Novikova, V. Samyshkin Fractal models of the PbTe nanocluster structures on a solid surface, J. Phys.: Conf. Ser., 2316, pp. 1-6 (2022).

[2] J. Mroczka, M. Woźniak, F.R.A. Onofri Algorithms and methods for analysis of the optical structure factor of fractal aggregates, Metrol. Meas. Syst., vol. XIX, № 3, pp. 459-470, (2012).

[3] В. Емельянов Дефектно-деформационная теория образования ансамбля наночастиц с бимодальным распределением по размерам при непрерывном лазерном облучении твердых тел, Квантовая электроника, т. 41, № 8, с. 738–741, (2011).

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

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

СПЕКТР ДИОДНОГО ЛАЗЕРА С ВЕРТИКАЛЬНЫМ РЕЗОНАТОРОМ ПРИ ДВУХЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИИ ТОКА ИНЖЕКЦИИ

М.И. Васьковская, А.П. Богатов, А.Е. Дракин, Д.С. Чучелов, Е.А. Цыганков, С.А. Зибров, В.В. Васильев, В.Л. Величанский
Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук, Москва, Россия
E-mail: vaskovskayami@lebedev.ru

При создании малогабаритных стандартов частоты на основе эффекта когерентного пленения населенностей (КПН) в настоящее время широко применяются одномодовые диодные лазеры с вертикальным резонатором (англ. VCSEL). Для формирования метрологического КПН-резонанса ток инжекции лазера модулируется СВЧ-сигналом и спектр его излучения становится многочастотным.

Для наилучших параметров стандарта частоты требуется определенный вид спектра, который не всегда может быть получен, поскольку при фиксированном сочетании тока инжекции и мощности СВЧ-модуляции он определяется внутренними характеристиками лазера и не может быть изменен [1]. В работе [2] предложен метод управления спектром VCSEL за счет добавления в модулирующий СВЧ-сигнал компоненты на второй гармонике основной частоты. Экспериментально показано, что в таком режиме модуляции возможно изменение соотношения амплитуд первых боковых компонент и подавление несущей компоненты за счет вариации мощности сигнала на второй гармонике и сдвига фаз между гармониками.

Работа поддержана грантом РФФ № 19-12-00417.

[1] M. I. Vas'kovskaya et al., Amplitude/phase modulation and spectrum of the vertical-cavity surface-emitting laser output, *Quantum Electronics*, 47(9), 835, 2017.

[2] A.P. Bogatov et al., Control of the VCSEL spectrum by dual microwave frequency modulation, *Optics Letters*, 47(24), 6425-6427, 2022.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ВЛИЯНИЕ СПЕЙСЕРОВ НА ВНУТРЕННИЙ КВАНТОВЫЙ ВЫХОД ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР (Al)GaAs/InGaAs

С. Гаврилов^{1,2}, Н. Гультиков², М. Ладугин^{1,2}, А. Мармалюк^{1,2}

¹ *Московский физико-технический институт, Москва, Россия*

² *ООО «Сигм плюс инжиниринг», Москва, Россия
gavrilov.su@yandex.ru*

Актуальность данной работы обусловлена использованием гетероструктур InGaAs/AlGaAs/GaAs для создания мощных полупроводниковых лазеров ближнего инфракрасного диапазона, используемых для накачки иттербий-иттриевых лазеров. Целью данной работы было установить влияние спейсеров GaAs на внутренний квантовый выход люминесценции квантовых ям InGaAs с барьерными слоями AlGaAs.

Внутренний квантовый выход люминесценции исследуемых гетероструктур был определен из спектров фотолюминесценции согласно методике описанной в [1]. Спектры в свою очередь были получены путем накачки исследуемых образцов лазерным излучением на длине волны 532 нм. Мощность лазера лежала в диапазоне от 0,24 мВт до 14 мВт. Полученные зависимости внутреннего квантового выхода люминесценции от мощности накачки показали, что гетероструктуры со спейсерами GaAs обладают большим квантовым выходом, чем гетероструктуры без спейсеров.

[1] Д. Гуляев, Д. Дмитриев, Н. Фатеев, Н. В., и др., GaAs/AlGaAs-и InGaAs/AlGaAs-гетероструктуры для мощных полупроводниковых инфракрасных излучателей, Журнал технической физики, 91(11), 1727-1731, (2021).

АНАЛИЗ ТЕПЛООВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МОЩНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРОВ НА ОСНОВЕ Al-СОДЕРЖАЩИХ И Al-free ГЕТЕРОСТРУКТУР

Н.В. Гультиков, А.А Мармалюк, М.А Ладугин, Е.В. Кузнецов

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

e-mail: nikita.gultickov@yandex.ru

Мощностные характеристики полупроводниковых излучателей в немалой степени зависят от теплового сопротивления [1].

Настоящая работа посвящена расчетному анализу мощных полупроводниковых лазерных источников спектрального диапазона 810-980 нм на основе квантоворазмерных Al-содержащих и Al-free гетероструктур (ГС) для полупроводниковых лазеров в непрерывном и квазинепрерывном режимах работы. Продемонстрировано, что теплое сопротивление лазерных излучателей на основе Al-free ГС больше на 5-15% по сравнению с приборами на основе Al-содержащих ГС (рис.1). Кроме этого показано, что вклад ГС в общее теплое сопротивление растет при переходе от непрерывного к квазинепрерывному режиму токовой накачки.

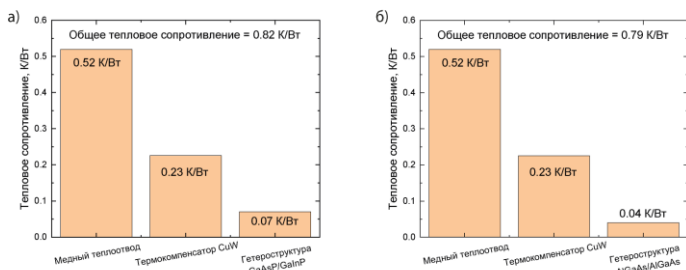


Рис. 1. Результаты расчетного анализа теплового сопротивления лазера на основе а) Al-free и б) Al-содержащей ГС в непрерывном режиме работы.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых-докторов наук МД-3928.2022.1.2.

[1] Liu X., Zhao W., Xiong L., Liu H. Packaging of High Power Semiconductor Lasers. – NY: Springer New York, 2015. – 402 p.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

МОЩНЫЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ УСИЛИТЕЛИ С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

А.И. Демидчик, Г.Т. Микаелян, Р.Р. Бицкий, А.П. Буничев,
О.В. Пагаев

ООО "ЛАССАРД", г. Обнинск, Россия

Совершенствование технологии эпитаксиального роста полупроводниковых гетероструктур, а также постростовых операций, позволило существенно повысить мощность полупроводниковых лазерных диодов, что в свою очередь, обосновало перспективность разработок мощных твердотельных усилителей (квантронов) с поперечной диодной накачкой и систем на их основе, работающих на различных длинах волн ближнего ИК диапазона.

Сотрудниками компании ООО «Лассард» за последние пять лет были разработаны и произведены мощные твердотельные квантроны на базе АЭ (активного элемента) Nd:YAG непрерывного (CW) и квази-непрерывного (QCW) режима работы. В усилителях QCW режима работы ($\tau \sim 250$ мкс, $\nu \sim 10$ Гц, $\lambda = 1064$ нм) при пиковой мощности накачки ~ 30 кВт получены коэффициенты усиления 370 (диаметр АЭ 5 мм) и 80 (диаметр АЭ 10 мм) с неоднородностью профиля люминесценции, не превышающей 10 % [1]. В квантронах CW режима работы при мощности накачки 300 Вт и 800 Вт и диаметрах АЭ 3 мм и 4 мм получены коэффициенты усиления 2 и 2.5 соответственно, при этом мощность выходного излучения в свободной генерации составила 120 Вт и 320 Вт.

Помимо квантронов на Nd:YAG разрабатываются и производятся оптические усилители на базе других АЭ, таких как Nd:YAG (1064 нм), Yb:YAG (1030 нм), Er:YAG (2940 нм), Nd:YLF (1053 нм), Nd:YAP (1079 нм).

[1] С.Д. Таривердиев и др. Письма в ЖТФ. – 2023. – Т. 49. – вып.

13

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ БЕЗМЕТОЧНЫЙ БИОСЕНСОР НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНО-КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТРИЧНОГО ФОТОПРИЕМНИКА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ МЕЖМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Зайцева З. Г.^{1,2}, Орлов А.В.¹, Пушкарёв А.В.³

¹ *Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, Москва, Россия*

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

³ *Московский физико-технический институт, Москва, Россия*
Presenting author e-mail address: ¹ zajzoya@yandex.ru

Биосенсорные системы, предназначенные для количественной регистрации широкого круга веществ, часто используются в таких сферах, как клиническая диагностика, разработка лекарственных препаратов, мониторинг состояния окружающей среды, контроль биобезопасности и качества продуктов питания. В настоящее время широко распространены биосенсорные системы, использующие какую-либо метку реакции. Они отличаются высокой чувствительностью, однако с их помощью затруднительно наблюдать межмолекулярные взаимодействия в режиме реального времени, в отличие от безметочных методов. Тестирование образцов на наличие токсинов, исследование фармацевтических препаратов, а также решение других задач в экологии и медицине могут быть быстро проведены с помощью безметочных биосенсоров, обладающих возможностью мультиплексного анализа.

Одним из методов, который позволяет проводить безметочный анализ, является спектрально-корреляционная интерферометрия (СКИ). На его базе возможно создание биосенсора, который осуществляет анализ в многоканальном режиме [1, 2].

В данной работе продолжена разработка биосенсоров такого типа, работающих за счет определения корреляции сигналов от сканирующего интерферометра Фабри-Перо и от биосенсорного чипа. На сканирующий интерферометр подается электрический

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

сигнал, имеющий синусоидальную зависимость от времени, который с помощью пьезоэлектрика изменяет толщину базы интерферометра. После прохождения через оптическую систему, включающую в себя биосенсорный чип, оптический сигнал регистрируется матричным фотодетектором КМОП-камеры с частотой кадров до 216 fps. После программной обработки видеоряда с матричного фотодетектора, получаем график интенсивности излучения на всей поверхности биосенсорного чипа, который далее может быть преобразован в сенсограмму, отражающую изменение толщины биослоя на чипе.

На данном этапе разработки прибора собран макет многоканального биосенсора и реализовано синусоидальное изменение яркости в отдельных точках при сканировании толщины биосенсорного чипа (Рис.1).

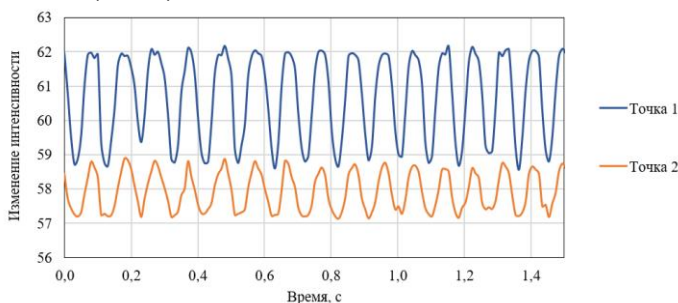


Рис. 1. График изменения интенсивности излучения, отраженного от двух зон биосенсорного чипа

Подобные сигналы всей поверхности биосенсорного чипа будут подвергаться программной обработке для представления результатов в виде сенсограммы изменения толщины биослоев на различных зонах чипа.

[1] Nikitin P. I. et al. New direct optical biosensors for multi-analyte detection// Sensors and Actuators B: Chemical. – 2003. –Т. 90. – С. 46-51.

[2] Nikitin P. I. et al. Picoscope, a new label-free biosensor //Sensors and Actuators B: Chemical. – 2005. – Т. 111. – С. 500-504.

КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА В МИКРОСТРУКТУРАХ ОКСИДА ЦИНКА

И. Рахматуллаев, М. Илхомжонов, Х. Ботиров

Ташкентский филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Ташкент, Узбекистан
murodjon.ilhomjonov@gmail.com

Спектры комбинационного рассеяния света (КРС) микроструктур ZnO различных размеров при их возбуждении зеленой линией лазера на парах меди ($\lambda_{\text{возб}}=510,6$ нм) представлены на рис. 1. Основное спектральное изменение, наблюдаемое в спектрах КРС исследуемых образцов, заключается в монотонном увеличении интенсивности $E_1(LO)$ моды (580 см^{-1}) и появлении плеча в области $100\text{--}200 \text{ см}^{-1}$ аналогично результатам, полученным в [1]. Большая интенсивность сигналов КРС связана с тем, что при попадании в образец возбуждающего излучения с длиной волны меньшей размера микрочастиц возможно пленение излучения в результате многократного отражения от стенок микрорезонаторных кювет.

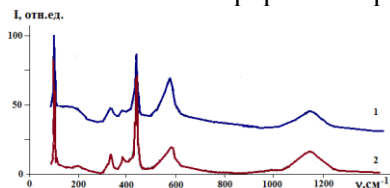


Рис.1. Спектры КРС микроструктур ZnO различных размеров при их возбуждении $\lambda_{\text{возб}}=510,6$ нм: 1 - $d_{\text{cp}}=3$ мкм; 2 - $d_{\text{cp}}=7$ мкм ($I_{\text{возб}} \sim 10^5$ Вт/см²).

Таким образом, обнаружено, что в микроструктурах ZnO может быть реализован режим комбинационной опалесценции, т.е. сигнал КРС оказывается сравнимым по интенсивности с возбуждающим излучением.

[1] И.Аверин, И.Пронин, Н.Якушова и др. Анализ структурной эволюции порошков оксида цинка, полученных методом механического высокоэнергетического размола, *Жур. техн. физ.*, Т.89, №9, сс.1406-1411 (2019).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПЛЕНОК ТИТАНА ВЫРАЩЕННЫХ НА ПОДЛОЖКАХ GaAs

**А.Е. Казакова, Е.В. Фомин, И.С. Шашкин, М.Г. Растегаева,
Н.В. Шувалова, С.О. Слипченко, Н.А. Пихтин**
ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: akazakova@mail.ioffe.ru

Пленки титана имеют широкий спектр применений: как адгезионный слой в многослойных металлических покрытиях, в качестве чувствительного элемента сверхпроводниковых болометров – сенсоров, как буферный слой в высокопроизводительных датчиках водорода, а также, для уменьшения контактного/переходного сопротивления в устройствах ULSI. Это обуславливает важность исследований, направленных на изучение морфологии пленок титана на начальных этапах их роста.

В рамках работы проведены исследования экспериментальных образцов пленок титана различной толщины, выращенных методом магнетронного напыления на атомарно-гладких поверхностях. В качестве наиболее доступного варианта такой поверхности была выбрана *epi-ready* подложках GaAs[100] с остаточной разориентацией $\pm 0.5^\circ$. Исследование морфологии образцов осуществлялось методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) в полуконтактном режиме. Результаты АСМ-анализа характеристик (средней шероховатости, среднеквадратической шероховатости, асимметрии и избыточного эксцесса) поверхности пленок титана толщиной 5 нм и 10 нм, а также подложки GaAs свидетельствуют о наличии гладкой поверхности без резких пиков или впадин. Пленки титана толщиной 5 нм и 10 нм повторяют моноатомные ступени подложки GaAs на протяжении всей области сканирования с шероховатостью ~ 0.1 нм. Однако, увеличение толщины до 60 нм приводит к образованию кластеров на поверхности пленки титана и, как следствие, к увеличению показателя шероховатости пленки до 0.5 нм.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЬНОНАПРЯЖЕННЫХ КВАНТОВЫХ ЯМ InGaAs, ПОЛУЧЕННЫХ СЕЛЕКТИВНОЙ ЭПИТАКСИЕЙ

В. Шамахов, Д. Николаев, М. Кондратов, А. Гришин, С. Слипченко, Н. Пихтин

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

На сегодняшний день одним из актуальных направлений является создание фотонных интегральных схем. Селективная эпитаксия (СЭ) является одним из эффективных способов создания таких схем.

С использованием МОС-гидридной эпитаксии методом СЭ на подложках GaAs(100) с рисунком из чередующихся полос окно/маска шириной по 100 мкм выращена серия образцов с сильнонапряженной квантовой ямой (КЯ) $\text{In}_{0.34}\text{Ga}_{0.66}\text{As}$ (состав соответствует стандартной эпитаксии). Образцы отличались кривизной профиля толщины нижнего волноводного слоя GaAs, полученного СЭ, по ширине окна. Изменение профиля задавалось толщиной слоя GaAs, которая изменялась от 0.12 до 1.9 мкм в центре окна. Показано, что при выбранных условиях роста состав КЯ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$ по ширине окна изменяется следующим образом: x уменьшается при движении от центра окна к краю. Такое поведение связано, по нашему мнению, с образованием на поверхности кластеров обогащенных In, в результате чего увеличение концентрации прекурсора In в газовой фазе приводит к его уменьшению в КЯ. Так же показано, что до толщины GaAs 0.6 мкм длина волны по ширине окна плавно возрастает от центра окна (982 нм) к краю (992 нм). При дальнейшем увеличении толщины GaAs до 1.9 мкм практически по всей ширине окна длина волны не изменяется и только у края ее значение резко возрастает. Данные результаты говорят, что кривизна профиля оказывает влияние на характер распределения длины волны КЯ по ширине окна.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ Er/Yb ВОЛОКОННОГО ЛАЗЕРА НА ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

М. Краснов¹, Г. Микаелян^{1,2}

¹ ООО "ЛАССАРД", г. Обнинск, Россия

² ООО «НПП «Инжект», г. Саратов, Россия

m.krasnov@lassard.ru

Интерес к исследованиям волоконных лазеров, работающих на длинах волн ~1,5-1,6 мкм, использующих активные волокно совместно легированных ионов Er/Yb, обусловлен такими свойствами этого спектрального диапазона, как минимальное пропускание в атмосфере и безопасность для глаз, а также применением этих лазеров в областях: накачка лазеров более длинного спектрального диапазона с легированием ионами туллия (Tm) и гольмия (Ho), лидары различного назначения, оптическая связь в открытом пространстве, дистанционное зондирование атмосферы и т.д. [1-3].

В настоящей работе приведен результаты исследований отдельных узлов эрбиевого волоконного лазера и их влияние на выходные характеристики всего лазера, состоящего из двух контуров – задающего генератора (ЗГ) и усилителя (УС). В зависимости от параметров Er/Yb волоконных световодов и используемых длин волокон исследованы характеристики контуров, входящих в состав Er/Yb волоконного лазера. Рассмотрены такие параметры, как, пропускание изолятора, пропускание комбайнера, нагрев волокна сигнального порта комбайнера и др.

Оптимальная длина активного волокна, с точки зрения выходной мощности и эффективности преобразования свет-свет Er/Yb волоконного лазера в использованной схеме, составляет для ЗГ (Nufern MM-EYDF-12/130-HE) $l_{ЗГ} = 4$ м и для УС (CJPhotonics SJEYDF-LMA-25/300) $l_{ЗГ} = 4,5$ м. Мощность излучения лазера на длине волны $\lambda = 1549,94$ нм с шириной линии 0,08 нм (предел разрешения спектроанализатора) составила $P_{изл} = 43$ Вт в одномодовом режиме. Эффективность преобразования излучения накачки в

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

излучение генерации составила 35%, дифференциальный КПД — 39% (Рис. 1).

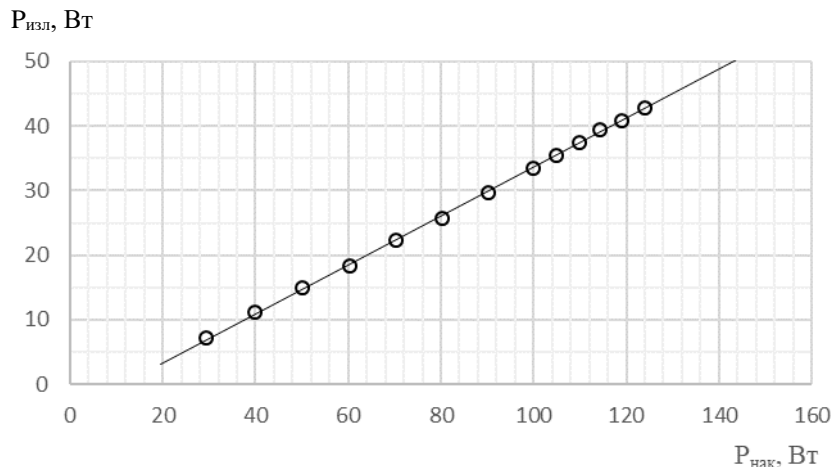


Рис. 1. Характеристика свет-свет ЗГ + УС. Активное волокно ЗГ $l = 4$ м, двухсторонняя накачка, изолятор, активное волокно усилителя длиной $l = 4,5$ м, односторонняя накачка УС

[1] Jelínková, H., Pašta, J., Šulc, J., Němec, M., & Koranda, P, Anterior eye tissue transmission for the radiation with the wavelength from eye safe region, *Laser Physics Letters*, 2(12), 603, (2005).

[2] Hemming, A., Simakov, N., Haub, J., & Carter, A, A review of recent progress in holmium-doped silica fibre sources, *Optical Fiber Technology*, 20(6), 621-630, (2014).

[3] Cézard, N., Dolfi-Bouteyre, A., Durécu, A., Faure, B., Goulard, D., Gustave, F., ... & Valla, M., Recent advances on fiber-based laser and Lidar systems for future space-borne monitoring of greenhouse gas, In *International Conference on Space Optics—ICSO 2020*, 11852, 791-799, (2021).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОЛИНЕЕК ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ (976НМ) В КВАЗИНЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ ГЕНЕРАЦИИ

Крючков В.А.¹, Шашкин И.С.¹, Слипченко С.О. ¹, Подоскин А.А. ¹, Пихтин Н.А. ¹

¹ ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26
E-mail: yakriychkov@mail.ioffe.ru, тел.: +7-931-227-81-24

Исследования в квазинепрерывном режиме генерации представляют интерес из-за перспективы применения лазерных линеек ближнего ИК-диапазона при накачке твердотельных лазеров, для обработки материалов, при создании лазерных матриц с выходной мощностью киловаттного диапазона и т.д.

В рамках проведенных исследований была разработана GaAs/AlGaAs/InGaAs гетероструктура на длину волны излучения 976 нм, с расширенным до 4 мкм волноводом ассиметричной конструкции. Разработанная гетероструктура была выращена методом МОС-гидридной эпитаксии в реакторе вертикального типа.

На основе гетероструктуры создана серия образцов мощных полупроводниковых лазерных линеек из 5 излучателей с апертурой 100 мкм с фактором заполнения в 25%. Длина резонатора Фабри-Перо составляла 6 мм.

В ходе эксперимента оценивалось влияние саморазогрева лазерных образцов на выходную оптическую мощность при различных длительностях импульса тока накачки. В результате продемонстрирована эффективная работа лазеров при накачке импульсами тока длительностью 1 мс и амплитудой 50А, пиковая мощность достигала 48 Вт. Также продемонстрирована стабильная работа при температуре теплоотвода до 100 °С.

При длительности импульса 9,5 мс ухудшение излучательных характеристик наблюдается при температурах свыше 60°С и достигает 6%.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

МОЩНЫЕ НЕПРЕРЫВНЫЕ ЛИНЕЙКИ ЛАЗЕРНЫХ ДИОДОВ (770-880 НМ) С КПД ДО 70%, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ НА ОСНОВЕ Al-free ГЕТЕРОСТРУКТУР

**М.А. Ладугин¹, А.А. Мармалюк¹, А.Ю. Андреев¹, И.В. Яроцкая¹,
Н.В. Гультиков¹, Л.И. Шестак², В.А. Панарин²**

¹ООО «Сигм плюс», Москва, Россия

²ООО «НПП Инжект», Саратов, Россия

e-mail: maximladugin@mail.ru

Разработка и создание мощных полупроводниковых лазерных линеек спектрального диапазона 770-880 нм, работающих в непрерывном режиме токовой накачки, является одной из сложных и востребованных задач для многих областей применения.

Трудности данного ИК-диапазона обусловлены, тем, что традиционно используемые гетероструктуры (ГС) AlGaAs/GaAs из-за содержания Al в активной области подвержены быстрой деградации приборных параметров ввиду наличия вредных примесей на поверхности сколотой грани и в глубине полупроводника, выступающих в качестве центров безызлучательной рекомбинации. Наиболее перспективным способом повышения мощности лазеров является использование таких ГС, которые не содержат Al в активной и волноводной области (Al-free ГС).

Лазерные ГС InGaAsP/GaInP/GaAs были выращены методом МОС-гидридной эпитаксии. Конструкция и технология квантово-размерных ГС выбирались с учетом достижения низких значений порогового тока прозрачности (120-140 А/см²) и внутренних оптических потерь (1,0-1,2 см⁻¹), а также высокой дифференциальной эффективности (85-90 %) и предельной мощности.

Изготовленные на основе вышеуказанных ГС линейки лазерных диодов длиной 10 мм продемонстрировали высокую оптическую мощность (до 150 Вт), КПД (до 70%) и надежность (более тыс.ч).

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых-докторов наук МД-3928.2022.1.2.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОГО СЫРЬЯ НА СВОЙСТВА КЕРАМИКИ LuAG:Cr⁴⁺

**К.В. Лопухин¹, В.В. Балашов¹, С.М. Козлова¹, А.Ю. Канаев²,
А.А. Ефимов^{1,3}, П.П. Файков³**
kv1215@fireras.su

¹ ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Фрязино, Россия

² ФИАН П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

³ РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

Насыщающиеся поглотители на основе кристаллов с легированием Cr⁴⁺ известны уже несколько десятилетий. Все началось с кристаллов галлий-скандий-гадолиниевого граната (GSGG), легированных Nd³⁺, Cr⁴⁺. Позже были изготовлены и исследованы кристаллы Cr⁴⁺:YAG. Первые образцы Cr⁴⁺:YAG, изготовленные по керамической технологии, были получены в 1995 г. [1]. В 1996 г. было несколько сообщений [2,3] о насыщающихся поглотителях Cr⁴⁺:LuAG в виде монокристаллов, выращенных из расплава. В работе [2] установлено, что эти насыщающиеся поглотители имеют поперечное сечение поглощения из возбужденного состояния $\sigma_{\text{esa}} < 3 \cdot 10^{-20}$ см² и из основного состояния $\sigma_{\text{gsa}} = (1.0 \pm 0.2) \cdot 10^{-18}$ см². Это означает $\gamma = \sigma_{\text{gsa}} / \sigma_{\text{esa}} > \approx 30$, в то время как поглотители Cr⁴⁺:YAG имеют $\gamma \approx 10$. В данной работе были изготовлены образцы насыщающихся поглотителей Cr⁴⁺:LuAG и было исследовано влияние исходных порошков Lu₂O₃ на свойства получаемой керамики.

Работа была выполнена в рамках государственного задания ИРЭ В.А. Котельникова РАН

[1] A. Ikesue, K. Yoshida, K. Kamata, Transparent Cr⁴⁺-doped YAG ceramics for tunable lasers, J. Am. Ceram. Soc. 79 (2) (1996) 507–509.

[2] R. Moncorge, H. Manaa, F. Deghoul, Y. Guyot, Y. Kalisky, S.A. Pollack, E.V. Zharikov, M. Kokta, Optics Communications 132 (1996) 279–284

[3] Y. Kalisky, A. Ben-Amar Baranga, Y. Shimony, Z. Burshtein, S.A. Pollack, M.R. Kokta, Optical Materials 6 (1996) 275–280

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ОПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОРИСТОСТИ

**Маврешко Е.И.^{1,2}, Фроня А.А.^{1,2}, Григорьева М.С.^{1,2},
Завестовская И.Н.^{1,2}, Тупицын И.Н.¹.**

¹*Физический институт им. Лебедева Российской академии наук
(119991 ГСП-1 Москва, Ленинский проспект, 53)*

²*Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ",
(115409, Москва, Каширское ш., 31)
e-mail: egorik.mav@gmail.ru*

Методы контроля и диагностики свойств наноматериалов являются важными составляющими современной индустрии наноматериалов. Пористые наноструктурированные материалы – объект, имеющий мелкий масштаб, крайне хрупкий для исследования. Такие материалы требуют тщательного подхода к их изучению и контролю свойств.

Для определения пористости в настоящий момент времени используют два популярных метода: гравиметрический и абсорбционный [1,2]. Данные методы предполагают манипуляции с образцом, которые приводят к изменению свойств, структуры образца, или его полному разрушению. Поэтому для определения пористости материала зачастую приходится изготавливать два одинаковых образца в идентичных условиях, один из которых используется для определения пористости.

Метод по определению пористости, который представлен в данной работе, основан на регистрации отраженного от исследуемого образца оптического низкоинтенсивного сигнала лазерного излучения. Стоит уточнить, что в работе регистрация отраженного сигнала производилась с помощью приемника (DET08C(M)) и осциллографа (TDS/CSA7000B). Предлагаемая схема позволяет исключить измерения интенсивности падающего излучения, и работать только с отраженным излучением. С помощью предлагаемого метода можно определять пористость наноструктурированных пленок

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ГЕНЕТИЧЕСКИ КОДИРУЕМАЯ МЕТКА ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОГО ОТСЛЕЖИВАНИЯ КЛЕТОК ГЛИОМЫ С6 МЕТОДОМ МРТ

**М.В. Милованова^{1,2}, В.А. Саркисова^{3,4}, Е.Н. Сапожникова⁵,
А.Н. Габашвили¹**

¹ *Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, г. Москва*

² *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва*

³ *ФГБНУ Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН, г. Москва*

⁴ *МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва*

⁵ *МФТИ, г. Москва*

E-mail: milovanova.vmar@gmail.com

Мультиформная глиобластома человека (МГЧ) – радикально инкурабельная опухоль головного мозга. Несмотря на совершенствование подходов к терапии, средняя продолжительность жизни пациентов с МГЧ составляет около 15 месяцев с момента диагностирования заболевания и около 6 месяцев с момента рецидива.

Для разработки новых методов терапии и диагностики МГЧ критически важно иметь подходящие животные модели для проведения исследований *in vivo*. Одной из таких моделей является экспериментальная глиома крысы С6, очень близкая МГЧ по морфологии, характеру роста и паттерну экспрессируемых маркеров. Разработка новых прецизионных методов отслеживания клеток глиомы С6 *in vivo* является крайне актуальной задачей.

В настоящем исследовании представлена клеточная линия глиомы С6 крысы, содержащая генетически кодируемую метку на основе инкапсулина бактерии *Quasibacillus thermotolerans* (*Qt*), представляющую собой белковую оболочку диаметром 42 нм, внутри которой находится грузовой белок — фермент ферроксидаза, окисляющий Fe^{2+} до Fe^{3+} с образованием магнитных наночастиц (МНЧ). Таким образом, образуется икосаэдр с высоким молекулярным весом (9,6 MDa) [1]. Внутри оболочки инкапсулина может

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

накапливаться около 30 000 атомов железа, что делает инкапсулин *Q_t* прекрасным кандидатом для использования в качестве МРТ метки. Кроме того, в клетки были встроены гены, кодирующие красный флуоресцентный белок (RFP), что позволяет визуализировать полученные клетки также и оптическими методами.

Гены, кодирующие метку, были встроены в геном клеток глиомы С6 методом лентивирусной трансдукции, что позволило получить стабильную клеточную линию. Экспрессия генетической метки была подтверждена методами ПЦР и Вестерн-блот анализа. Качественная и количественная оценка накопления железа в клетках проводилась методами окраски Перлсу и атомно-эмиссионной спектроскопии, соответственно. Интенсивность МР-сигнала и время T2-релаксации в образцах клеток С6, содержащих инкапсулины, были исследованы методом МРТ.

Резюмируя, в данной работе была получена клеточная линия, содержащая флуоресцентную и магнитную метки, позволяющие детектировать клетки как при помощи флуоресцентной микроскопии, так и методом МРТ.

- [1]. F. Sigmund, S. Pettinger, M. Kube, F. Schneider, M. Schifferer, S. Schneider, M.V. Efremova, J. Pujol-Marti, M. Aichler, A. Walch, et al., Iron-Sequestering Nanocompartments as Multiplexed Electron Microscopy Gene Reporters. *ACS Nano*, 13., 8114-8123, (2019).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОАКУСТИЧЕСКОГО ОТКЛИКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАНОЧАСТИЦ ДЛЯ БИМЕДИЦИНСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Орестова П.М.¹, Попов А.А.¹

*¹Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ»
orestovap@mail.ru, +79037439479*

В настоящее время методы лечения онкологических заболеваний уже демонстрируют хорошую эффективность по многим параметрам. Тем не менее, ещё остаётся ряд проблем, которые требуется решить, в частности побочные эффекты от лечения. Это обуславливает актуальность разработки альтернативных методов диагностики и терапии. Одними из таких методов являются фототермическая терапия (ФТТ) и фотоакустическая томография (ФАТ). Для ФАТ и ФТТ могут применяться как эндогенные (гемоглобин), так и экзогенные хромофоры, например, наночастицы гексаборида лантана (LaB_6) и нитрида титана (TiN), чьи пики поглощения находятся в «окне биологической прозрачности» (650-1050 нм).

Целью данной работы было собрать экспериментальную установку для фотоакустической визуализации и провести измерение фотоакустического отклика наночастиц гексаборида лантана (LaB_6), нитрида титана (TiN) и гемоглобина.

В качестве источника излучения был использован перестраиваемый лазер CF125 (Sol Instruments, Республика Беларусь) (длительность импульсов < 10 нс, диапазон длин волн 690-940 нм). Для измерения фотоакустического сигнала использовался сфокусированный иммерсионный УЗ пьезодатчик V328-SU (Olympus, Япония) и была смоделирована и распечатана на 3D принтере многокомпонентная ячейка.

Эксперимент показал, что зависимость амплитуды фотоакустического отклика наночастиц LaB_6 , TiN и гемоглобина от длины волны возбуждающего излучения практически совпадает со спектром оптической экстинкции данных хромофоров.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-72-00015). Авторы благодарят Министерство науки и высшего образования Российской Федерации за предоставленную инфраструктуру.

ВЛИЯНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВИДИМОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА НА МЕТАБОЛИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ, КЛЕТОЧНЫЙ ЦИКЛ И ГИБЕЛЬ РАКОВЫХ КЛЕТОК

**Плавский В.Ю., Свечко А.Д., Плавская Л.Г., Нагорный Р.К.,
Дудинова О.Н., Микулич А.В., Третьякова А.И., Ананич Т.С.,
Собчук А.Н., Якимчук С.В., Леусенко И.А.**

Институт физики НАН Беларуси, г. Минск

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

Показано, что биологическое действие синего света ($\lambda = 405$ или 445 нм) при контроле метаболической активности животных клеток (калориметрический МТТ-тест) в условиях *in vitro* не зависит от степени его монохроматичности. По мере увеличения энергетической дозы наблюдается снижение жизнеспособности клеток. Параллельно выполненные исследования с использованием проточной цитофлуориметрии показали, что при низких энергетических дозах ($D = 15$ Дж/см²) снижение метаболической активности обусловлено за счет изменения продолжительности клеточного (митотического) цикла, в меньшей степени – некроза и практически неизменной остаётся процент клеток в стадии апоптоза. При этом для животных клеток характерно наличие нескольких фаз жизненного цикла: G₁–фаза начального роста, S–фаза удвоения молекул ДНК, G₂–фаза роста, M–фаза клеточного деления и G₀ – фаза покоя. После воздействия на клетки светом с $\lambda = 405$ нм, $D = 15$ Дж/см² их количество в состоянии некроза увеличилось на 10%, в стадиях G₀/G₁ уменьшалось на 10%, не изменялось в S–фазе и увеличилось на 10% в фазах G₂/M. При двукратном увеличении дозы доля некротических клеток увеличилась на 20%, число клеток в стадиях G₀/G₁ уменьшалось на 15%, увеличивалось на 5% в S стадии и на 15% в стадиях G₂/M. При воздействии излучения с $\lambda = 445$ нм доля некротических клеток была ниже, чем при действии света с $\lambda = 405$ нм. Характерно, что при тех же энергетических дозах свет с $\lambda = 650$ или 745 нм практически не влиял на параметры клеточного цикла и их долю в состоянии некроза и апоптоза в сравнении с контрольными монослоями.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОКОВЫХ КЛЮЧЕЙ НА ОСНОВЕ НИЗКОВОЛЬТНЫХ INP-ГОМОТИРИСТОРОВ ДЛЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ДЛИНУ ВОЛНЫ 1.55МКМ

**А.А. Подоскин¹, О.С. Соболева¹, С.О. Слипченко¹,
Т.А. Багаев¹, И.В. Яроцкая¹, Н.А. Пихтин¹**

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

E-mail: podoskin@mail.ioffe.ru, тел.: +7-931-227-81-24

В работе рассмотрены результаты численного исследования динамики токовых ключей на основе гомоструктур низковольтных InP-тиристоров с целью дальнейшего создания гетерогенно интегрированных импульсных лазерных излучателей на длины волн 1450-1550нм в наносекундном (~10нс) диапазоне длительностей импульса, предназначенных для применения в ЛИДАРах систем автономного пилотирования транспортных средств. В рамках численного эксперимента рассмотрена серия конструкций InP-гомотиристоров с различными толщинами низколегированной р-базы нижнего p-p-n транзистора, содержащей основную часть области объёмного заряда. Исследованы статические и динамические характеристики модельных токовых ключей. Продемонстрированы максимальные токи в открытом состоянии от 70А до 90А при толщинах р-базы от 1мкм до 2.6мкм. При этом зависимость амплитуды тока от напряжения на коллекторном переходе p-p-n транзистора имела линейный характер. Минимальное время перехода во включенное состояние снижалось до 10нс при увеличении напряжения до 55В. Так же показано, что эффективность работы во включенном состоянии определяется остаточным напряжением на коллекторном переходе транзисторной части гомоструктуры, величина которого снижается при уменьшении толщины р-базы.

Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-79-10159).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ТОКОВЫЕ КЛЮЧИ НА ОСНОВЕ НИЗКОВОЛЬТНЫХ INР-ГЕТЕРОТИРИСТОРОВ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ИМПУЛЬСОВ ТОКА ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ 50-150НС

**А.А. Подоскин¹, П.С. Гаврина¹, Ю.К. Кириченко¹, Н.В. Шувалова¹,
Н.А.Рудова¹, В.А.Капитонов¹, А.Ю.Лешко¹, И.В.Шушканов¹,
В.В.Золотарев¹, В.А.Крючков¹, С.О. Слипченко¹, Н.А.Пихтин¹,
Т.А.Багаев¹, И.В.Яроцкая¹, В.Н.Светогоров², Ю.Л.Рябоштан²,
М.А.Ладугин², А.А.Мармалюк², В.А.Симаков²**

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

²АО НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стельмаха», 117342, Москва, ул. Введенско-
го, д. 3, корп. 1

E-mail: podoskin@mail.ioffe.ru, тел.: +7-931-227-81-24

Разработаны и исследованы токовые ключи на основе низко-
вольтных InP-гетеротиристоров с максимальным рабочим напря-
жением 20V [1]. Исследован режим генерации импульсов тока при
низкоомной нагрузке в виде конденсатора, имитирующей гетеро-
генную вертикальную сборку с линейкой лазерных диодов. Для
номиналов конденсаторов от 0.056мкФ до 1мкФ достигнуты дли-
тельности импульса тока от 50 до 150нс (оценка по уровню поло-
вины амплитуды сигнала светодиодной части). Оценка амплитуд
токов составила от 40 до 130А соответственно, при этом зависи-
мость амплитуды тока от напряжения питания импульсной схемы
на основе InP-гетеротиристора имела линейный характер, начиная
с напряжений 3-4В. Наклон характеристики достигал 10А/В. Диа-
пазон задержек включения составлял от 100нс до 6нс при диапа-
зоне амплитуд импульса тока управления 18-60мА.

Исследования выполнены за счет гранта Российского научного
фонда (проект № 22-79-10159).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ДИСКОВЫЙ КЕРАМИЧЕСКИЙ АКТИВНЫЙ ЭЛЕМЕНТ СО ВСТРОЕННЫМ ВОЛНОВОДНЫМ КАНАЛОМ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИМ МНОГОПРОХОДНУЮ НАКАЧКУ

**А.Ю. Канаев¹, А.Л. Коромыслов¹, К.В. Прохорчук¹, И.М. Тупицын¹,
Е.А. Чешев¹**

¹ *ФИАН, 119991, РФ, г. Москва, Ленинский проспект, д. 53*
oilwserious@yandex.ru

В схемах накачки тонкого дискового активного элемента используют, как правило, параболическое внешнее зеркало для многопроходной накачки активной области [1]. При этом длина оптического пути накачки велика, что создает определенные трудности в обеспечении равномерной накачки активной области. В 2006 г. Takunori Taira [2], предложил использовать для накачки тонкого дискового элемента волноводный канал. В нашем сообщении рассматривается возможность использования встроенного волноводного канала специальной конфигурации для накачки активной области диска. Для апробации численной модели поглощения накачки в активной области диска были проведены сравнительные эксперименты с Yb:YAG керамическим элементом.

[1] K. Contag, M. Karszewski, C. Stewen, A. Giesen, and H. Hugel, "Theoretical modelling and experimental investigations of the diode-pumped thin-disk Yb: YAG laser," *Quantum Electron.*, vol. 29, no. 8, pp. 697–703, Aug. 1999, doi: 10.1070/QE1999v029n08ABEH001555.

[2] T. Dascalu and T. Taira, "Highly efficient pumping configuration for microchip solid-state laser," *Opt. Express*, vol. 14, no. 2, p. 670, 2006, doi: 10.1364/OPEX.14.000670.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

РАЗРАБОТКА МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ БИОСЕНСОРОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ 3D СТРУКТУР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Ракитина А.С.^{1,2}, Шонина Л.П.^{1,2}, Орлов А.В.¹

1 - Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, г. Москва, Россия.

2 - Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, Россия.

E-mail: sasha080700@gmail.com

Одной из актуальных задач современной биосенсорики является разработка сенсоров, определяющих концентрацию высоко- и низкомолекулярных соединений в сложных матрицах в режиме реального времени. В данном исследовании был предложен инновационный подход к созданию универсальных биосенсоров, использующих твёрдые фазы на основе полистирольных пористых структур и суперпарамагнитных наночастиц в качестве нанометки [1]. В исследовании продемонстрирована эффективность данного подхода на примере детектирования антибиотика - хлорамфеникола, содержание которого в продуктах питания регламентируется контролирующими органами по всему миру. В рамках работы были проведены эксперименты по анализу и контролю адсорбции конъюгата, состоящего из белка-носителя и антигена, на поверхность твёрдой фазы. После чего пористые 3D фильтры помещали в наконечник для автоматического дозатора для дальнейшей прокачки реагентов. Весь дальнейший анализ проходит путём прокачки реагентов через пористые структуры с помощью механической пипетки. После этого была проведена регистрация нанометок методом нелинейного перемангничивания на комбинаторных частотах [2].

[1] Orlov, A. V., Khodakova, J. A., Nikitin, M. P., Shepelyakovskaya, A. O., Brovko, F. A., Laman, A. G., & Nikitin, P. I. (2013). Magnetic immunoassay for detection of staphylococcal toxins in complex media. *Analytical chemistry*, 85(2), 1154-1163.

[2] Nikitin, P. I., Vetoshko, P. M., & Ksenevich, T. I. (2007). New type of biosensor based on magnetic nanoparticle detection. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 311(1), 445-449.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ЛАТЕРАЛЬНАЯ МОДОВАЯ СЕЛЕКЦИЯ В ОДНОМODOVЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ЛАЗЕРАХ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ БРЭГГОВСКИМ ЗЕРКАЛОМ

Ризаев А.Э., Золотарев В.В., Слипченко С.О., Пихтин Н.А.

*Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе, лаборатория Полупроводниковой люминесценции и инжекционных излучателей.
rizartem@mail.ioffe.ru*

Полупроводниковые лазеры обладают широким многомодовым спектром генерации, что существенно ограничивает их область применения. Сузить спектр излучения лазера и получить одномодовый режим генерации можно с помощью распределенного брэгговского зеркала (РБЗ).

В работе исследуется возможность латеральной модовой селекции за счет взаимодействия излучения с РБЗ с целью сохранения устойчивой одномодовой генерации. Проведен теоретический анализ влияния на спектральные и модовые характеристики резонатора параметров конструкции мезаполоскового лазерного диода на основе гетероструктур AlGaAs/GaAs/InGaAs, излучающего в диапазоне 1–1.1 мкм, с поверхностным РБЗ, вытравленным в р-эмиттере гетероструктуры.

Установлено, что с помощью РБЗ возможно селективировать латеральные волноводные моды, из-за отличий в коэффициентах отражения мод TE_{00} и TE_{01} от решетки, что позволяет расширить апертуру излучения и мощность лазера с сохранением одномодового режима работы. При коэффициенте модовой дискриминации (разницей между потерями на выход мод TE_{00} и TE_{01}) $MD = 2.3 \text{ см}^{-1}$ и ширине спектра излучения на полувысоте $\Delta\lambda = 0.8 \text{ нм}$ возможно увеличение излучающей апертуры с 6.4 мкм до 7.6 мкм в одномодовом режиме генерации. Также в работе продемонстрирован алгоритм выбора параметров лазерного кристалла в зависимости от необходимой ширины спектра генерации и коэффициента модовой дискриминации.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ВИСМУТА МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ АБЛЯЦИИ В ЖИДКОСТИ

А.В. Рудый^{1,2*}, А.А. Фроня^{1,2}, И.Н. Завестовская^{1,2}

¹ ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия

² ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия
*rudyalex1990@gmail.com

Использование нанотехнологий в медицине открывает новые горизонты в области диагностики и лечения заболеваний. Наночастицы обладают высокой проникающей способностью, так они способны проникать через биологические барьеры, в том числе мембраны клеток и ядер клетки. Зачастую наночастицы обладают сразу несколькими свойствами, которые можно использовать в диагностике и терапии.

Простой и широко распространенный метод получения наночастиц - метод удаления вещества с поверхности импульсом лазерного излучения (лазерная абляция). Метод лазерной абляции обладает быстрым действием и отсутствием сложных внешних условий. Состав распыляемой/облучаемой мишени отражается в составе наночастиц. Наночастицы остаются чистыми, не меняя химический состав.

Один из потенциальных кандидатов для биомедицинских приложений является висмут (Bi). Вызвано это рядом свойств: высокая стабильность, большая площадь поверхности, сильный диамагнетизм, высокое электрическое и магнитосопротивление в магнитном поле, легкость функционализации, химическая инертность, низкая токсичность, высокий коэффициент ослабления рентгеновского излучения, сильное поглощение в ближнем инфракрасном диапазоне, высокая эффективность фототермического преобразования, благоприятная антибактериальная активность. Висмут и его соединения давно используются в медицине, и в настоящий момент существует большое количество лекарственных препаратов, обладающих антисептическими, заживляющими, вяжущими, обволаки-

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

вающими, антацидными, противосифилитическими свойствами [1-3].

В работе представлены экспериментальные данные по лазерной абляции кристаллического висмута в жидкости наносекундными лазерными импульсами с большой частотой повторения. Метод лазерной абляции позволяет получать химически чистые наночастицы, контролировать концентрацию, размер, степень кристалличности наночастиц [4,5].

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Соглашения № 075-15-2021-1347.

Список используемой литературы:

[1] Lusic, H.; Grinsta, M.W. X-ray-Computed Tomography Contrast Agents. *Chem. Rev.*, 113, 1641–1666. (2013)

[2] Lee, N.; Choi, S.H.; Hyeon, T. Nano-Sized CT Contrast Agents. *Adv. Mater.*, 25, 2641–2660. (2013)

[3] Shahbazi, M.A.; Faghfour, L.; Ferreira, M.P.A.; Figueiredo, P.; Maleki, H.; Sefat, F.; Hirvonen, J.; Santos, H.A. The versatile biomedical applications of bismuth-based nanoparticles and composites: Therapeutic, diagnostic, biosensing, and regenerative properties. *Chem. Soc. Rev.*, 49, 1253–1321. (2020)

[4] Kabashin, A. V., Delaporte, P., Grojo, D., Torres, R., Sarnet, T., Sentis, M. // Nanofabrication with pulsed lasers // *Nanoscale Res. Lett.* 5, 454–463 (2010).

[5] Zhang, D., Gökçe, B., Barcikowski, S. // Laser synthesis and processing of colloids: fundamentals and applications // *Chemical Reviews* 117 (5), 3990-4103 (2017).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

АНАЛИЗ РОСТА И РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР МЕТОДАМИ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Н.А. Сундетова¹, О.М. Алыкова¹, В.В. Смирнов^{1,2}

¹*Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева,
Астрахань, Россия*

²*Каспийский институт морского и речного транспорта,
Астрахань, Россия*

В современных научных центрах большое внимание уделяется методам исследования элементов растений, которые могут быть как аналитическими (косвенными), так и прямыми, которые проводятся с помощью современной научной аппаратуры. Значительное место, среди методов исследования, занимают оптические методы: метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) применяется для исследования элементов болгарского перца *Capsicum annuum L.* с прошлого века; инфракрасную (ИК) спектроскопию более 60 лет используют для исследования различных элементов растений. Исследования после 1980-х уже были комбинированными – объединяли газовую хроматографию и ИК-спектроскопию. Исследования элементов растений методом спектроскопии комбинационного рассеяния (КР спектроскопии) начались на 40 лет позже, чем хроматографические и ИК спектроскопические.

Подобные исследования проводились с целью дать наиболее полное представление о структуре элементов растений, для определения оптимальных методов хранения, консервирования, уровня зрелости сладкого перца, установления грибковых заболеваний и остаточного содержания калийных и азотных удобрений, географической идентификации сортов, но исследований о влиянии на структуру физико-химического воздействия, например, когерентного оптического излучения, раствора ацетилсалициловой кислоты (C₇H₈O₂), в научной литературе не встречается.

В работе показано, что основными поставщиками энергии для фотосинтеза являются красные (720-600 нм) и оранжевые (620-595

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

нм) лучи. Красный свет подавляет процессы деления клеток, но стимулирует их растяжение. Это приводит к усилению линейного роста растений, вытягиванию стеблей и междоузлий. Они влияют на изменение скорости роста и развития растений – их избыток задерживает переход растения к цветению. Синие, фиолетовые, ультрафиолетовые лучи (490-380 нм) непосредственно участвуют в фотосинтезе, стимулируют процессы деления клеток, но подавляют их рост в фазе растяжения, что приводит к задержке роста растений в высоту. Зеленые лучи (520-540 нм) выполняют определенные функции в образовании и активации ферментов.

Таким образом, динамика развития и конечная форма зеленого растения определяются участием света. Управляя параметрами и характеристиками света, можно влиять на интенсивность процесса роста растений и запасания ими полезных веществ. Практически это важно для успешного выращивания культурных и сельскохозяйственных растений, например, комнатных декоративных растений, при содержании домашних оранжерей и теплиц. Правильная организация освещённости выращиваемых растений будет способствовать лучшему росту и развитию растений, повышению их урожайности.

Для проведения исследования были подготовлены объекты исследования: часть семян сладкого перца *Capsicum annuum L.* сорт «Геракл» облучили лазерами с длинами волн 650, 614, 532 и 450 нм в течение 7 минут часть выдержали в растворе ацетилсалициловой кислоты ($C_7H_8O_2$) в течение суток, затем их высушили и измельчили в порошок.

По полученным результатам можно сделать вывод о том, что воздействие когерентным оптическим излучением и обработка семян в растворе ацетилсалициловой кислоты оказывает стимулирующее влияние на семена сладкого перца *Capsicum annuum L.* сорт «Геракл».

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ИЗЛУЧЕНИЯ НА РОСТ И СТРУКТУРУ РАСТЕНИЙ

А.А. Тулешкалиева¹, О.М. Алыкова¹, В.В. Смирнов^{1,2}

¹*Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева,
Астрахань, Россия*

²*Каспийский институт морского и речного транспорта,
Астрахань, Россия*

Рост населения, изменение климата и возросшая потребность в натуральных сельскохозяйственных продуктах обусловлены развитием различных искусственных систем для роста растений, таких как тепличные и гидропонные системы или системы вертикального земледелия. Эти системы требуют использования недорогих и компактных источников света, таких как светодиоды. Лампы, созданные на основе светодиодов, характеризуются небольшими размерами, длительным сроком службы, низким энергопотреблением и способностью охватывать весь видимый диапазон оптического спектра. Ряд исследований показал целесообразность использования светодиодов в качестве источника как первичного, так и вторичного освещения [1]. Использование светодиодов открывает новые перспективы для оптимизации условий освещения для выращивания растений в искусственных системах. Развитие этих технологий требует знания разнообразных биохимических, биофизических и физиологических реакций на качество света и связанных с этим сигнальных и метаболических путей. Свет в первую очередь влияет на фотосинтетический аппарат растений. Известно, что спектральный состав света влияет как на фотосинтетические характеристики, так и на морфогенез растений. Исследования, проведенные на разных видах растений и сортах одного и того же вида, показали, что примерно одинаковый спектральный состав освещения может вызывать неравномерные изменения фотосинтетических и морфологических параметров не только у разных видов растений, но и у сортов одного и того же вида. Поэтому необходимы более широкие исследования видовых и видоспецифических реакций

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

растений на различные спектральные составы освещения. Целью данной работы было изучение влияния спектрального состава излучения на развитие ростков растений семейства пасленовых. Научиться управлять развитием растения с помощью освещения разного цвета.

В работе показано, что основными поставщиками энергии для фотосинтеза являются красные (720-600 нм) и оранжевые (620-595 нм) лучи. Красный свет подавляет процессы деления клеток, но стимулирует их растяжение. Это приводит к усилению линейного роста растений, вытягиванию стеблей и междоузлий. Они влияют на изменение скорости роста и развития растений – их избыток задерживает переход растения к цветению. Синие, фиолетовые, ультрафиолетовые лучи (490-380 нм) непосредственно участвуют в фотосинтезе, стимулируют процессы деления клеток, но подавляют их рост в фазе растяжения, что приводит к задержке роста растений в высоту. Зеленые лучи (520-540 нм) выполняют определенные функции в образовании и активации ферментов.

Таким образом, динамика развития и конечная форма зеленого растения определяются участием света. Управляя параметрами и характеристиками света, можно влиять на интенсивность процесса роста растений и запасания ими полезных веществ. Практически это важно для успешного выращивания культурных и сельскохозяйственных растений, например, комнатных декоративных растений, при содержании домашних оранжерей и теплиц. Правильная организация освещённости выращиваемых растений будет способствовать лучшему росту и развитию растений, повышению их урожайности.

[1] Darko, E., Heydarizadeh, P., Schoefs, B., and Sabzalian, M.R., *Phil. Trans. R. Soc. B*, 2014, vol. 369, pp. 1–7.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ВИБРОУСТОЙЧИВЫЙ ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ДИОДНЫЙ ЛАЗЕР С ВНЕШНЕЙ СЕЛЕКТИВНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

**Васильев В.В.¹, Федоров А.С.¹, Зибров С.А.¹, Чучелов Д.С.¹,
Васьковская М.И.¹, Цыганков Е.А.¹, Сабакарь К.М.¹,
Величанский В.Л.¹**

¹ *ТОП ФИАН, г. Москва, РФ*

fedorov.anton.st@gmail.com, 89307080605

В работе предложена конструкция высококогерентного перестраиваемого диодного лазера с внешним резонатором (ДЛВР), включающим интерференционный фильтр и «кошачий глаз» в качестве отражателя, обладающего высокой механической стабильностью [1]. Приводятся результаты экспериментального сравнения устойчивости к внешним акустическим и вибрационным возмущениям разработанного ДЛВР и ДЛВР с дифракционной решеткой.

С помощью ДЛВР описанной конструкции в режиме модуляции тока накачки лазера на частоте, равной половине сверхтонкого расщепления основного состояния ^{87}Rb , зарегистрированы контрастные внутридоплеровские пики поглощения во встречных двухчастотных полях с ортогональными линейными поляризациями [2], которые будут использованы для создания малогабаритного оптического стандарта частоты.

Описанный ДЛВР, созданный для работы в условиях повышенных вибрационных и акустических возмущений, может найти применение в составе оптико-электронных систем на борту летательных аппаратов и спутников.

Работа поддержана грантом РФФ №19-12-00417.

[1] V. V. Vassiliev et al, Direct Comparison of the Acoustic Stability of ECDLs with Different Types of an External Cavity, Vol. 50, №. 10, 2023, *Kratkie Soobshcheniya po Fizike*, pp. 3–10.

[2] D. Brazhnikov et al, Dual-frequency sub-Doppler spectroscopy: Extended theoretical model and microcell-based experiments, Vol. 99, № 6, 2019, *Phys. Rev. A. American Physical Society* P. 62508.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ И ЧИПА ЛАЗЕРНОГО ДИОДА

А. Фомин, Е. Ершов, С. Крюков
РФЯЦ-ВНИИТФ, Снежинск, РФ
Dep5@vniitf.ru

РФЯЦ-ВНИИТФ разрабатывает технологию изготовления чипов ЛД полного планарного цикла, включающего разработку технологии изготовления лазерных гетероструктур (ГС). Исследования чипов ЛД показали насыщение ВтАХ при высоких токах накачки. Максимальная мощность излучения P_{\max} ЛД не превышала 8,5 Вт при токе 10 А. Максимальный КПД не превышал 50%.

Для устранения указанных причин проведена оптимизация конструкции ГС и чипа ЛД. В топологию чипа ЛД внедрены новые технические решения, учитывающие минимизацию тепловой нагрузки на торцах резонатора ЛД. Для снижения теплового воздействия область растекания тока была смещена от выходного и глухого зеркала, соответственно. Данное смещение осуществляется за счет покрытия подконтактной области слоем нитрида кремния.

Оптимизация ГС проведена за счет увеличения энергетической глубины квантовой ямы, легирования волноводных слоев, уменьшения толщины р-эмиттера. Из образцов ГС по отработанной планарной технологии с использованием новых конструкционных решений были изготовлены чипы ЛД с $L=4$ мм и $W=100$ мкм. На торцы ЛД наносились просветляющие и отражающие покрытия с $R_1=0,05$ и $R_2=0,95$, соответственно. Чипы ЛД монтировались пайкой р-контакта на теплопроводящий сабмаунт с вакуумным нанесением припоя Au-Sn.

Проведенная оптимизация позволила повысить P_{\max} ЛД с 8,5 до 10,6 Вт при токе 11 А в CW режиме генерации. Максимальный КПД при этом вырос с 50 до 63 %. К тому же, по результатам проведенных исследований, ЛД с предложенной конструкцией чипа, демонстрировали увеличение порога катастрофической оптической деградации зеркал резонатора.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОМИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ К ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ СТРУКТУРАМ GaAs-AlGaAs, ЛЕГИРОВАННЫМ УГЛЕРОДОМ

Фролов Д.А., Вишняков П.В., Лобинцов А.В. Мармалюк А.А.

АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», 117342, Москва, ул. Введенского, д. 3, корп. 1

В настоящее время для создания приборов с улучшенными выходными характеристиками на основе полупроводниковых гетеропереходов GaAs-AlGaAs важным фактором является наличие чётких профилей легирования и качественной морфологии поверхности для последующего напыления и сплавления слоёв контактной металлизации. Среди различных приборных гетероструктур на основе p-n переходов в системе материалов GaAs-AlGaAs, в качестве контактного слоя p-типа проводимости, как правило, используются слои GaAs, легированные цинком до концентраций $>1 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Однако, при использовании цинка в качестве легирующей примеси, повышение уровня легирования выше определенного уровня приводит к ухудшению морфологии поверхности. Известно, что замена цинка на углерод позволяет добиться более высоких концентраций дырок в слоях с сохранением морфологии.

В данной работе изучены особенности формирования контактной металлизации Ti-Pt-Au к слоям GaAs, легированным углеродом. Полученные результаты сравниваются с параметрами контактов Ti-Pt-Au к слоям GaAs, легированным цинком. Показано, что контактное сопротивление к слоям, легированным углеродом, в 1,5 раза меньше, чем к слоям, легированным цинком. Обсуждены причины наблюдаемых различий.

Применение рассматриваемых контактов может позволить улучшить выходные характеристики полупроводниковых лазеров на основе гетероструктур GaAs/AlGaAs.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

САМОСОГЛАСОВАННЫЙ ПОДХОД К РАСЧЁТУ СПЕКТРОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРОВ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ РЕЗОНАТОРОМ В РЕЖИМЕ СВЧ-МОДУЛЯЦИИ ТОКА ИНЖЕКЦИИ

**Е.А. Цыганков, А.П. Богатов, А.Е. Дракин, М.И. Васьковская,
Д.С. Чучелов, С.А. Зибров, В.В. Васильев, В.Л. Величанский**

*Физический институт имени П.Н. Лебедева Российской академии наук,
Москва, Россия*

E-mail: tsyganov.e.a@yandex.ru

В малогабаритных атомных часах на эффекте когерентного пленения населённости используется полихроматическое излучение диодных лазеров с вертикальным резонатором. В общем случае его спектр асимметричен, то есть мощности боковых полос спектра, равноудалённых от несущей, не равны. Эту особенность часто объясняют наличием амплитудно-фазовой модуляции, но такая модель приводит к другому типу асимметрии по сравнению с наблюдаемой экспериментально, и не даёт информации о её связи с лазерными параметрами [1]. В работе представлены результаты расчёта, основанного на уравнениях макроскопической электродинамики. Полученное решение демонстрирует тип асимметрии, характерный для экспериментальных спектров, а также выравнивание мощностей первых боковых полос при модуляции тока на одинарной и удвоенной частотах, что может быть использовано для улучшения стабильности частоты малогабаритных атомных часов.

[1] Tsyganov E. A. et al. Specific features of the VCSEL spectra under microwave current modulation //Optics Express. – 2022. – Т. 30. – №. 2. – С. 2748-2758.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ЛАЗЕРНЫЕ ДАЛЬНОМЕРЫ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИХ ПАРАМЕТРЫ

Шагин П.В., Куляев И.Н., Мармалюк А.А.

*АО «НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха», 117342, Москва,
ул. Введенского, д. 3, корп. 1*

Лазерная дальнометрия нашла широкое распространения во многих областях науки и техники. Такие приборы могут быть построены на различных принципах, среди которых, одним из самых распространенных является измерение времени между моментом вышедшего из выходного канала излучения и поступлением на приемный канал отраженного оптического сигнала.

Основным требованием, предъявляемым к импульсным лазерным дальномерам, является увеличение максимальной дальности измерения. Для решения таких задач появляется необходимость повышения выходной мощности лазерного излучения. При проектировании такого класса ЛД возникает необходимость решения вопроса температурной зависимости входящих блоков и узлов, влияющей на точностные параметры ЛД в целом.

Данная работа посвящена анализу тепловых точек снижающих применимость ЛД и нахождению конструктивных решений по исключению их влияния.

ПОТЕРИ НА ВЫХОД ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРА

И.С. Шашкин, С.О. Слипченко, Н.А. Пихтин
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: shashkin@mail.ioffe.ru

Для полупроводникового лазера точное значение коэффициента отражения позволяет корректно моделировать его характеристики. Вопросу расчёта коэффициента отражения посвящено большое количество работ (см. ссылки в работе [1]). С помощью 2D моделирования в среде Comsol (модуль Wave Optics, интерфейс Electromagnetic Waves, Frequency Domain) скорректированы зависимости оптических потерь на выход от толщины волновода, полученные в работе [1] для мод порядков от 0 до 6, где была использована упрощённая модель, основанная на вычислении среднего коэффициента отражения в диэлектрическом волноводе (Рисунок 1).

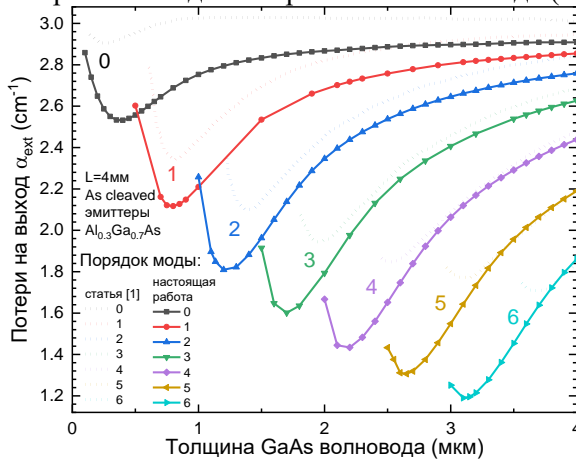


Рис.1. Потери на выход. Волновод GaAs, эмиттеры $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$.

[1] С.О. Слипченко, Д.А. Винокуров, Н.А. Пихтин, З.Н. Соколова, А.Л. Станкевич, И.С. Тарасов, Ж.И. Алфёров, Сверхнизкие внутренние оптические потери в квантово-размерных лазерных гетероструктурах раздельного ограничения, ФТП, 38, 1477-1486 (2004).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

РЕГИСТРАЦИЯ ДИНАМИКИ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛА В ИММУНОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ ДЛЯ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ДЕТЕКЦИИ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ВЫСОКОЙ ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬЮ

Л.П. Шонина^{1,2}, А.С.Ракитина^{1,2}, С.Л. Знойко², А.В. Орлов²

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

² - *Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук, Москва, Россия*

E-mail: lada.shonina@mail.ru

В настоящее время существует большое количество методов, позволяющих определять концентрацию низкомолекулярных соединений в биологических образцах. Однако, многие из них обладают такими недостатками, как трудоемкость, высокая продолжительность, необходимость применения громоздкого и дорогостоящего аналитического оборудования [1].

Целью данного исследования является разработка удобного для применения метода регистрации динамики формирования сигнала в аналитической зоне иммунохроматографической тест-полоски для экспрессной и высокочувствительной детекции низкомолекулярных соединений. Предложенный подход позволяет значительно улучшить такие ключевые характеристики иммунохроматографического анализа (ИХА), как воспроизводимость и стабильность аналитического сигнала. В рамках работы в качестве регистрируемых меток использовались золотые наночастицы, функционализированные антителами.

В экспериментах анализировались ИХА тест-полоски, которые были получены после проведения количественного анализа. Процесс регистрации оптического сигнала на тестовой линии и в окружающей области был записан на видео и анализировался с помощью открытого программного обеспечения «Icu». В процессе экс-

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

перимента значительно изменялась интенсивность освещения. В качестве аналитического сигнала использовалось отношение интенсивности в зоне, соответствующей тестовой линии, к интенсивности в зоне, соответствующей окружающей области. На рисунке 1 представлена временная зависимость предложенного аналитического сигнала (красная линия) и традиционного сигнала (синяя линия), соответствующего интенсивности области тестовой линии.

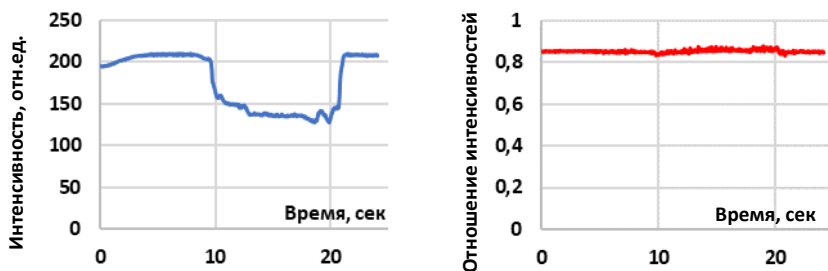


Рис. 1 – а) зависимость оптического сигнала от изменения освещённости тест-полоски, б) отношение интенсивностей сигнала.

Показано, что при резком изменении освещения предложенный способ регистрации аналитического сигнала характеризуется высокой стабильностью (колебания составляют не более 1%) и не зависит от внешних условий, формата, способа снятия оптического изображения, оборудования и других внешних факторов. Кроме того, данный подход к обработке и интерпретации получаемых методом ИХА данных за счёт регистрации отношения интенсивностей в тестовой и опорной областях может позволить увеличить воспроизводимость ИХА-анализа за счёт наблюдения за динамикой формирования сигнала.

[1] B. Ince, M. K. Sezginürk, Lateral flow assays for viruses diagnosis: Up-to-date technology and future prospects, TrAC Trends in Analytical Chemistry, Vol. 157., 116725. 2022.

ГЕНЕРАЦИЯ МОЩНЫХ СУБНАНОСЕКУНДНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ ЛАЗЕРНЫМИ ДИОДАМИ (850НМ) НА ОСНОВЕ АСИММЕТРИЧНОЙ ALGAAS/GAAS ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ С ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОЙ ОБЛАСТЬЮ

**И.В. Шушканов¹, А.А. Подоскин¹, В.В. Шамахов¹, А.Э. Ризаев¹,
М.И. Кондратов¹, А.А. Климов¹, С.В. Зазулин¹, С.О. Слипченко¹,
Н.А.Пихтин¹**

¹ ФТИ им. А.Ф.Иоффе, 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 26
E-mail: podoskin@mail.ioffe.ru, тел.: +7-931-227-81-24

В работе исследована генерация субнаносекундных импульсов лазерными диодами на основе асимметричной гетероструктуры AlGaAs/GaAs с объёмной активной областью, работающих в режиме gain-switching. Оптимизированная конструкция асимметричной гетероструктуры имела объёмную GaAs активную область толщиной $d = 45\text{ нм}$ и параметр $d/\Gamma = 4.2\text{ мкм}$ (Γ – фактор оптического ограничения активной области). Лазерные диоды с апертурой 100 мкм на основе оптимизированной гетероструктуры продемонстрировали выходную оптическую мощность более 20 Вт при ширине импульса на уровне половины амплитуды 100 пс [1].

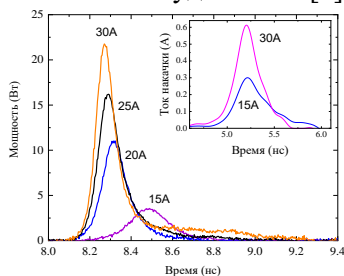


Рис.1. Осциллограммы импульсов мощности излучения и тока накачки (на вставке)

[1] A.A. Podoskin et al., Laser Diodes (850 nm) Based on an Asymmetric Al-GaAs/GaAs Heterostructure with a Bulk Active Region for Generating High-Power Subnanosecond Optical Pulses, Bull. Lebedev Phys. Inst., vol.50, Suppl.5, pp. S513-S519 (2023).

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДИСКОВОГО ЛАЗЕРА НА ЕГО ВЫХОДНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Н.Р. Юнусова^{1,2}, В.И. Козловский^{1,2}, М.Р. Бугаев², Я.К. Скасырский²

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». Каширское шоссе, д. 31, 115409, г. Москва, тел. +7(962)3716651, e-mail: naida.yunusova1994@mail.ru

²Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН. Ленинский пр., д. 53, 119991, г. Москва

Эффективность полупроводникового дискового лазера (ПДЛ), а также другие его основные характеристики существенно зависят от качества гетероструктуры (ГС) и зеркал, от степени выполнения условия резонансного периодического усиления, от величины захвата неравновесных носителей в квантовые ямы (КЯ), от уровня согласования максимума линии усиления с периодом ГС, от длины волны накачки, от числа КЯ и т.д. На характеристики ПДЛ также может влиять неоднородность возбуждения активной области (АО). Влияние данного эффекта хорошо исследовано в известных ГС-х 1-го типа с большой (~1 мкм) длиной диффузии неравновесных носителей, однако еще не исследовано в ГС-х 2-го типа, где затруднена диффузия неравновесных носителей вглубь структуры, а также в ГС-х 1-го типа с относительно малым значением длины диффузии неравновесных носителей. В частности, в [1] показано, что несмотря на неоднородное возбуждение ГС $Al_xGa_{1-x}As/Al_yGa_{1-y}As$ с 10 КЯ, внутри неё происходит выравнивание концентрации неравновесных носителей по КЯ благодаря их диффузии вглубь структуры.

В данной работе проведены теоретические исследования с целью определения влияния неоднородности накачки АО ПДЛ на суммарный коэффициент оптического усиления в ГС 2-го типа CdS/ZnSe/ZnSSe, а также в ГС 1-го типа ZnCdSe/ZnSSe с относительно малым (~0.5 мкм) значением длины диффузии неравновес-

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

ных носителей. В результате проведенных исследований установлено, что при одной и той же накачке этих ГС, суммарные спектры оптических усилений при их однородной и типично достигаемых в экспериментах уровнях неоднородной накачке отличаются незначительно. Полученные результаты свидетельствуют о том, что, неоднородная накачка АО ПДЛ не оказывает существенное влияние на суммарный спектр оптического усиления ГС и соответственно не должна сильно сказываться на характеристиках ПДЛ на основе этих ГС.

[1] В.И. Козловский и др., Квантовая электроника, т. 53, №11, 2023.

ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ ДИФФУЗИИ НЕРАВНОВЕСНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ТВЕРДОМ РАСТВОРЕ $ZnS_{0.1}Se_{0.9}$

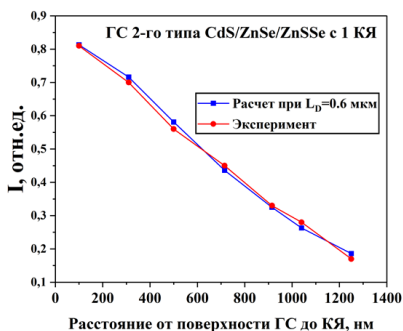
Н.Р. Юнусова^{1,2}, В.И. Козловский^{1,2}, М.Р. Бутаев², Я.К. Скасырский²

¹Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ». Каширское шоссе, д. 31, 115409, г. Москва, тел. +7(962)3716651, e-mail: naida.yunusova1994@mail.ru

²Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН. Ленинский пр., д. 53, 119991, г. Москва

Эффективность захвата неравновесных носителей заряда квантовыми ямами (КЯ) в активной области (АО) полупроводникового дискового лазера (ПДЛ) во многом определяется их длиной диффузии (L_D) в барьерных слоях гетероструктуры (ГС). При оптической или электронной накачке ГС, неравновесные носители заряда генерируются в основном в барьерных слоях, после чего собираются в КЯ-ы и там рекомбинируют. Характеристики ПДЛ существенно зависят от эффективности сбора этих носителей в КЯ-ы. В связи с этим, целесообразно определить длину диффузии неравновесных носителей заряда в барьерных слоях ГС, используемой для создания ПДЛ.

В данной работе определена L_D в барьерном слое ГС 2-го типа CdS/ZnSe/ZnS_{0.1}Se_{0.9}. С этой целью были выращены структуры с одной КЯ и с различной (100нм, 310нм, 500нм, 715нм, 915нм, 1040нм, 1250нм) толщиной верхнего (барьерного) слоя ZnS_{0.1}Se_{0.9}. L_D определялась с помощью сравнения экспериментальной зависимости изменения интенсивности люминесценции КЯ при возбуждении выращенных ГС излучением N₂-лазера, с результатами решения уравнения диффузии для данных ГС при различных значениях L_D . Экспериментальная зависимость наиболее удовлетвори-



IX Международный симпозиум по когерентному оптическому излучению полупроводниковых соединений и структур

тельно описывалась в предположении $L_D = 0.6$ мкм (см. рис.). Таким образом, L_D в твердом растворе $ZnS_{0.1}Se_{0.9}$ составляет около 0.6 мкм, что вполне достаточно для сбора неравновесных носителей заряда не только из окружающих КЯ барьерных слоев, но, а также их захвату в слабо накаченных КЯ при неоднородной накачке ГС со многими КЯ, в частности при неоднородной накачке АО ПДЛ. Это может приводит к выравниванию концентрации неравновесных носителей по КЯ и участию большего количества КЯ в генерации.

IX Международный симпозиум по когерентному оптическому
излучению полупроводниковых соединений и структур

Подписано в печать
Формат 60×84/16 Печ. л. 6,0
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
Типография НИЯУ МИФИ
115409, Москва, Каширское ш., 31