

СИМПОЗИУМ

**Полупроводниковые лазеры:
физика и технология**

Санкт-Петербург, 5-7 ноября 2008 года

**ПРОГРАММА
И ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

Санкт-Петербург, 2008

Симпозиум организован

*Учреждением Российской академии наук Физико-техническим институтом
им. А.Ф. Иоффе*

Санкт-Петербургским физико-технологическим научно-образовательным центром РАН
при содействии

ЗАО НТА «Интеллект»

и проводится при финансовой поддержке
Санкт-Петербургского научного центра РАН

ОАО «НПП «Инжект»

ЗАО «ФТИ-Оптроник»

ООО «Сигм Плюс»

ООО «Эльфоллом»

группы компаний МИЛОН

Председатель симпозиума

Ж. И. Алферов ФТНОЦ

Программный комитет

И. С. Тарасов, *председатель*

ФТИ им.Иоффе

З. Н. Соколова, *секретарь*

ФТИ им.Иоффе

Л.Е. Воробьев	СПб ГПУ	А.Е. Жуков	АФТУ
С.В. Иванов	ФТИ им.Иоффе	В.В. Кабанов	ИФ НАН
П.С. Копьев	ФТИ им.Иоффе	В.В. Кочаровский	ИПФ РАН
О.Н. Крохин	ФИАН	А.А. Мармалюк	НИИ «Полюс»
Г.Т. Микаелян	ОАО «НПП «Инжект»	Ю.М. Попов	ФИАН
Е.Л. Портной	ФТИ им.Иоффе	В.А. Симаков	НИИ «Полюс»
Р.А. Сурис	ФТИ им.Иоффе	Г.П. Яблонский	ИФ НАН
Ю.П. Яковлев	ФТИ им.Иоффе		

Организационный комитет

И. С. Тарасов, *председатель*

ФТИ им.Иоффе

М. Г. Растегаева, *секретарь*

ФТИ им.Иоффе

М.Н. Баранов	ФТНОЦ	Н.А. Берт	ФТИ им.Иоффе
А.Д. Бондарев	ФТИ им.Иоффе	В.Г. Дубровский	ФТНОЦ
А.Е. Жуков	АФТУ	И.Н. Завестовская	ФИАН РАН
А.В. Мурашова	ФТИ им.Иоффе	Н.А. Пихтин	ФТИ им.Иоффе
Г.С. Соколовский	ФТИ им.Иоффе	Ю.В. Трушин	ФТНОЦ

Спонсоры



Санкт-Петербургский научный центр РАН



ОАО «НПП «Инжест»



ЗАО «ФТИ-Оптроник»



ООО «Сигм Плюс»



ООО «Эльфолюм»



Группа компаний МИЛОН:
ООО «МИЛОН лазер» Санкт-Петербург,
ООО «Квалитек» Москва

Окрестности ФТИ им. А.Ф. Иоффе



Программа симпозиума

5 ноября, среда

9:00 – 10:45 *Регистрация*

11:00 *Открытие симпозиума.*

11:15 *О.Н. Крохин.*

Особенности задачи преобразования лазерного излучения в ток, обусловленные когерентностью.

11:35 *Перерыв*

Организационные вопросы и информация

Coffee break

Секция «Каскадные лазеры»

11:50 *И.А. Дмитриев, Р.А. Сурис*

Каскадные лазеры на квантовых точках.

12:10 *Ю.А. Алещенко, В.В. Капаев, Ю.В. Копаев.*

Униполярные лазеры на полупроводниковых гетероструктурах с переменной размерностью электронных состояний.

12:30 *А.А. Андронов, Е.П. Додин, Д.И. Зинченко, А.А. Мармалюк,*

Ю.Н. Ноздрин, А.А. Падалица.

Исследование транспорта в сверхрешетках со слабыми барьерами: на пути к ТГц Ванье-Штарковским лазерам в модифицированной схеме Казаринова и Суриса.

12:50 *Д.Г. Ревин, S. Zhang, J.W. Cockburn, L.W. Wilson, А.Б. Крыса,*

К. Kennedy, M.J. Steer, M. Hopkinson.

Квантово-каскадные лазеры на основе InGaAs/AlAsSb, излучающие на длинах волн 3-4 мкм.

13:10 *А.Б. Крыса, J.S. Roberts, Д.Г. Ревин, К. Kennedy, L.R. Wilson,*

J.W. Cockburn.

Квантово-каскадные лазеры, полученные методом МOC-гидридной эпитаксии.

13:30 *Coffee break*

Секция «Мощные полупроводниковые лазеры»

13:45 *Д.А. Винокуров, А.Ю. Лешко, А.В. Лютецкий, Т.А. Налет,*

Н.А. Пихтин, С.О. Слипченко, З.Н. Соколова, И.С. Тарасов

Мощные полупроводниковые лазеры.

- 14:05** Н.Ю. Гордеев, Н.Н. Леденцов, И.И. Новиков, Л.Я. Карачинский, М.В. Максимов, Ю.М. Шерняков, Р. Дубок, В.А. Щукин, К. Позилевич, Д. Бимберг, П.С. Копьев.
Мощные полупроводниковые лазеры повышенной яркости с волноводом на основе двумерного фотонного кристалла.
- 14:25** В.П. Коняев, А.П. Некрасов, Н.А. Пихтин, В.В. Поповичев, А.В. Соловьева, И.С. Тарасов, В.А. Симаков.
Лазерные диоды на спектральные диапазоны 810-812 и 940-960 нм с мощностью излучения в непрерывном режиме до 10 Вт.
- 14:45** М.В. Зверков, В.П. Коняев, В.В. Кричевский, М.А. Ладугин, А.А. Мармалюк, В.А. Симаков.
Модули лазерных диодов с повышенной яркостью и средней мощностью импульса излучения до 50 Вт.
- 15:05** А.А. Чельный, А.В. Алуев, Ю.Л. Ахмеров, И.А. Ивченко, В.А. Симаков.
Диодные лазеры на длины волн 850 и 760 нм на основе твердых растворов AlGaInP.
- 15:25** *Обед*
- Секция «Мощные полупроводниковые лазеры, линейки и матрицы для систем накачки»**
- 16:20** Г.Т. Микаелян
Матрицы диодных лазеров для накачки активных сред.
- 16:40** Т.В. Безъязычная, М.В. Богданович, Л.И. Буров, А.С. Горбачевич, А.Г. Рябцев, Г.И. Рябцев, М.А. Щемелев, Г.Т. Микаелян, С.Н. Соколов.
Оптимизация параметров диодных линеек для накачки эрбиевых лазеров, излучающих в условно безопасном спектральном диапазоне.
- 17:00** Н.И. Кацавец, А.Л. Тер-Мартirosян.
Высокомощные полупроводниковые лазерные линейки для накачки твердотельных лазеров на основе иттербий-эрбиевого стекла.
- 17:20** В.В. Безотосный, В.Ю. Бондарев, В.А. Олещенко, В.Ф. Певцов, Ю.М. Попов, Е.А. Чешев.
Мощные инжекционные лазеры спектрального диапазона 808 нм и их использование для накачки твердотельных лазеров.
- 17:40** С.Е. Гончаров, И.Д. Залевский, А.С. Курков.
Волоконные Рамановские лазеры с диодной накачкой для медицины.
- 18:00** *Перерыв*

Секция «Лазеры видимого и ультрафиолетового диапазона»

- 18:10** С.В. Иванов С.В. Сорокин, М.М. Зверев, Е.В. Луценко, А. Waag.
Полупроводниковые лазеры видимого и УФ диапазона на основе широкозонных соединений A^2B^6 .
- 18:30** Г.П. Яблонский, Е.В. Луценко, Н. Kalisch, R.H. Jansen, M. Heuken.
Лазерные и оптические свойства InGaN/GaN КЯ гетероструктур, выращенных на Si подложках.
- 18:50** А.А. Чельный, А.В. Алуев, Ю.Л. Ахметов, В.А. Симаков.
Лазеры на длину волны 662 нм мощностью 0.5 Вт на основе AlGaInP.
-

6 ноября, четверг

Секция «Лазеры для систем волоконно-оптической связи»

- 10:00** П.Г. Елисеев.
Кольцевые лазеры и спектры биения мод.
- 10:20** В.Г. Дмитриев, В.П. Дураев, А.А. Казаков.
Полупроводниковый кольцевой лазер.
- 10:40** М.В. Максимов, А.Е. Жуков.
Лазеры на квантовых точках для оптической связи.
- 11:00** Н.А. Малеев, В.М. Устинов.
Вертикально-излучающие лазеры на квантовых точках.
- 11:20** А.В. Иванов, В.Д. Курносков, К.В. Курносков, А.А. Мармалюк,
А.М. Морозюк, В.И. Романцевич, Ю.Л. Рябоштан, В.А. Симаков,
Р.В. Чернов, И.И. Засавицкий.
Квантоворазмерные гетероструктуры AlGaInAs/InP и лазерные диоды на их основе.
- 11:40** *Coffee break*

Секция «Физические процессы в лазерных структурах»

- 12:00** Л.В. Асрян.
Туннельная инжекция электронов и дырок в квантовые точки как способ генерации лазерного излучения высокой мощности.
- 12:20** Л.Е. Воробьев, В.Л. Зерова, Д.А. Фирсов, G. Belenky, L. Shterengas,
G. Kipshidze, T. Hosoda, S. Suchalkin, M. Kisin.
Механизмы рекомбинации носителей заряда в лазерных структурах с квантовыми ямами InGaAsSb/AlInGaAsSb и их влияние на характеристики лазеров среднего ИК-диапазона (длина волны > 3 мкм).

12:40 В.В. Кабанов, Е.В. Лебедев, Г.И. Рябцев, А.Н. Астахова,
В.В. Шерстнев, Ю.П. Яковлев.
Излучательная и безызлучательная рекомбинация в активных слоях лазеров среднего ИК диапазона.

13:00 И.Н. Завестовская.
Механизмы нелинейного поглощения света в структурах на основе полупроводниковых нитридов.

13:20 Б.С. Рывкин, Е.А. Аврутин.
Оптические потери в гетеролазерах с широким симметричным и тонким асимметричным волноводами при сверхвысоких уровнях инжекции.

13:40 *Стендовая секция.*

14:30 *Обед*

Секция «Лазеры с дисковыми и составными резонаторами»

15:30 А.А. Андронов, Н.С. Вдовичева, А.В. Маругин, Ю.Н. Ноздрин,
А.В. Окомельков, Д.Е. Святошенко, И.А. Шерешевский.
Гетеролазеры на вытекающих модах шепчущей галереи; подходы, проблемы, вертикальный выход.

15:50 А.П. Астахова, Е.А. Гребенщикова, Н.Д. Ильинская, К.В. Калинина,
С.С. Кижаяев, А.М. Монахов, В.В. Шерстнев, А.Н. Баранов,
Ю.П. Яковлев.
Дисковые полупроводниковые лазеры в средней ИК-области спектра (2-4 мкм).

16:10 В.Я. Алёшкин, А.А. Белянин, А.А. Бирюков, В.И. Гавриленко,
А.А. Дубинов, А.В. Ершов, Б.Н. Звонков, В.В. Кочаровский,
Вл.В. Кочаровский, К.В. Маремьянин, С.В. Морозов, С.М. Некоркин.
Генерация излучения разностной частоты в диодных лазерах с составным резонатором.

16:30 *Перерыв.*

Секция «Синхронизация мод, диагностика и динамические характеристики полупроводниковых лазеров»

16:40 И.О. Бакшаев, М.С. Буяло, И.М. Гаджиев, Р.И. Григорьев,
Е.Л. Портной.
Гетеролазеры с синхронизацией мод в микроволновой фотонике.

17:00 Э.П. Домашевская, П.В. Середин, В.А. Терехов, С.Ю. Турищев,
И.Н. Арсентьев, Д.А. Винокуров, А.Л. Станкевич, И.С. Тарасов
Диагностика наногетероструктур с помощью XANES и XRD.

- 17:00** Э.П. Домашевская, П.В. Середин, В.А. Терехов, С.Ю. Турищев, И.Н. Арсентьев, Д.А. Винокуров, А.Л. Станкевич, И.С. Тарасов. *Диагностика наногетероструктур с помощью XANES и XRD.*
- 7:20** Г.С. Соколовский, В.В. Дюделев, Д.А. Винокуров, А.Г. Дерягин, А.Е. Жуков, С.Н. Лосев, А.В. Лютецкий, М.В. Максимов, И.И. Новиков, Н.А. Пихтин, Э.У. Рафаилов, С.О. Слипченко, З.Н. Соколова, И.С. Тарасов, В. Сиббет, В.М. Устинов, В.И. Кучинский. *Аномальные динамические характеристики полупроводниковых лазеров с квантоворазмерной активной областью.*
- 17:40** *Заключительное слово.*
- 18:00** *Конференционный ужин.*
-

7 ноября, пятница

11:00 *Посещение лабораторий ФТИ и НОЦ*

Стендовая секция (6 ноября, четверг 13:40-14:30)

1. А.Ю. Кислякова *Полупроводниковые лазеры среднего инфракрасного диапазона, работающие на модах шепчущей галереи.*
2. А.П. Астахова *Экспериментальное наблюдение мод шепчущей галереи в лазерах с усеченным дисковым резонатором ($\lambda=2.0-2.4$ мкм).*
3. Е.А. Гребенщикова *Технология создания резонаторов WGM-лазера ($\lambda=2-4$ мкм).*
4. А.М. Надточий *Исследование мод шепчущей галереи в микродисковых резонаторах с квантовыми точками InAs/GaAs.*
5. Г.С. Гагис *Новые материалы GaInAsPSb/AlGaInAsSb/GaSb(InAs) для полупроводниковых лазеров среднего инфракрасного диапазона.*
6. С.В. Гронин *Фиолетово-зеленый инжекционный лазерный конвертер на основе наноструктур с квантовыми точками полупроводников II-VI.*
7. Л.В. Данилов *Использование гетероструктур с глубокими квантовыми ямами при создании ИК-лазера среднего диапазона.*
8. В.В. Дюделев *Нерасходящиеся лучи света от полупроводниковых излучателей.*
9. Ю.Ю. Киселёв *Полосковые лазеры с увеличенной температурной стабильностью длины волны излучения.*
10. К.С. Ладутенко *Наблюдение утечки неосновных дырок из активной области работающего InGaAs/AlGaAs/GaAs лазерного диода с помощью сканирующей Кельвин-зонд микроскопии.*
11. В.В. Николаев *Квантово-туннельные эффекты в двухсекционной волноводной структуре с вертикально-сопряженными квантовыми точками.*
12. В.Ю. Паневин *Стабилизация концентрации неравновесных носителей заряда на основном уровне квантовой ямы в условиях межзонной лазерной генерации.*
13. Д.Е. Святошенко *Полупроводниковые лазеры с оптической накачкой и возможность их применения для создания источников в среднем ИК диапазоне.*
14. А.Н. Софронов *Эмиссия излучения терагерцового диапазона из легированных квантовых ям GaAs/AlGaAs и микроструктур GaAsN/GaAs.*
15. М.Д. Шарков *Изучение локальной структуры полупроводниковых лазеров с наноразмерной активной областью.*

Тезисы докладов

Особенности задачи преобразования лазерного излучения в ток, обусловленные когерентностью.

О.Н. Крохин

*Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, 119991, Ленинский пр. 53
krokhin@sci.lebedev.ru*

В работе рассматривается возможность построения линии передачи электрической энергии посредством ее преобразования в лазерное излучение, которое впоследствии снова преобразуется в электрический ток на полупроводниковой структуре, аналогичной структуре полупроводникового лазера. Передача энергии осуществляется по оптическому волокну.

В [1] была рассмотрена возможность возникновения ЭДС внутри полупроводника, подобного GaAs, который имеет структуру зон, допускающую прямой оптический переход при облучении его монохроматическим излучением большой мощности. ЭДС возникает вследствие того, что при поглощении света концентрации электронов и дырок возрастают, возникает сильно неравновесное состояние, и величина ЭДС определяется выражением $(\mu_c - \mu_v)/e$, где μ_c , μ_v - квазиуровни Ферми для электронов в зоне проводимости и дырок в валентной зоне соответственно, e – заряд электрона.

Помимо монохроматичности падающее излучение должно иметь, что принципиально важно, хорошую пространственную когерентность. В противном случае его невозможно сконцентрировать на малом входном окне полупроводниковой структуры. Иначе говоря, излучение должно иметь лазерное происхождение.

Литература

- [1] Н.Г.Басов, О.Н.Крохин, ФТТ 5, 2384 (1963).

Тезисы докладов

Каскадные лазеры на квантовых точках.

И.А. Дмитриев, Р.А. Сурис

*Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе,
Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26
suris@theory.ioffe.ru*

Усиление света в сверхрешетке из квантовых ям (КЯ) было предсказано 37 лет назад [1]. Эта идея легла в основу созданного в 1994 г. квантового каскадного лазера (ККЛ) [2].

Характеристики ККЛ на КЯ ограничиваются тем, что из-за свободного движения в плоскости КЯ спектр носителей непрерывный. Перекрывание спектров различных уровней квантования приводит к безызлучательным переходам, темп которых на порядки выше темпа переходов излучательных. Непрерывный спектр приводит и к потерям на свободных носителях. В 1995 г. один из авторов предложил использовать для ККЛ структуры из квантовых точек (КТ) [3]. ККЛ на КТ должны иметь два преимущества.

1. Из-за дискретности спектра КТ безызлучательные переходы подавлены, и генерация может быть достигнута при токах накачки, которые на порядки меньше, чем для ККЛ на КЯ.

2. В ККЛ на основе КЯ поле в резонаторе должно иметь компоненту, перпендикулярную плоскости КЯ. В ККЛ на КТ усиление возможно при произвольной поляризации света, что дает свободу построения резонаторов и позволяет уменьшить потери.

Мы представим результаты теоретического анализа ККЛ на КТ.

Литература

- [1] Р.Ф.Казаринов, Р.А.Сурис, ФТП **5**(4), 797-800 (1971).
- [2] J.Faist et al., Science **264**, 553 (1994).
- [3] R.A.Suris, in Future Trends in Microelectronics, eds. S.Luryi et al., NATO ASI Ser. E **323**, 1996, p.197.

Униполярные лазеры на полупроводниковых гетероструктурах с переменной размерностью электронных состояний.

Ю.А. Алещенко, В.В. Капаев, Ю.В. Копаев

*Физический институт им. П. Н. Лебедева, Москва, 119991, Ленинский проспект 53
yuriale@sci.lebedev.ru*

Обсуждаются особенности предложенной нами конструкции активного элемента квантового униполярного полупроводникового лазера на основе квантовых ям (КЯ) GaAs/Al_xGa_{1-x}As с сильно асимметричными по высоте барьерами. В таких структурах локализованное состояние электрона существует в ограниченном диапазоне двухмерных волновых векторов k , $0 < k < k_c$. При $k = k_c$ происходит 2D–3D трансформация размерности электронных состояний [1]. Этот эффект позволяет резко увеличить время безызлучательной рекомбинации в активном элементе униполярного лазера, в котором нижняя лазерная подзона относится к КЯ с сильно асимметричными барьерами, за счет исключения однофононных межподзонных переходов. Выполнены теоретические и экспериментальные исследования эволюции характеристик электронных состояний в электрическом поле для структур КЯ с асимметричными барьерами, в том числе и для трехъямных структур, представляющих собой прототип предложенного нами активного элемента униполярного лазера. Показано, что приложение к структурам внешнего электрического поля позволяет получить эффект, аналогичный трансформации размерности состояний, даже в структурах с параметрами, отличающимися от оптимальных. На основании полученных данных оптимизированы параметры структур. Получены предварительные результаты в экспериментах по изучению кинетики релаксации в трехъямных структурах с асимметричными барьерами.

Литература

[1] Ю.А.Алещенко, И.П.Казаков, В.В.Капаев, Ю.В.Копаев, Письма в ЖЭТФ **67**, 207 (1998).

Исследование транспорта в сверхрешетках со слабыми барьерами: на пути к ТГц Ванье-Штарковским лазерам в модифицированной схеме
Казаринова и Суриса.

**А.А. Андронов¹, Е.П. Додин¹, Д.И. Зинченко¹, Ю.Н. Ноздрин¹,
А.А. Мармалюк², А.А. Падалица²**

¹ *Институт физики микроструктур РАН, Н.Новгород 603950 ГСП-105,
andron@ipm.sci-nnov.ru*

² *Сигм-Плюс, 117342, г. Москва, ул. Введенского 3*

Казариновым и Сурисом в 1971-1972 гг были предложены два механизма лазеров на переходах в квантовых ямах (КЯ) сверхрешеток (СР). ИНЖЕКЦИОННЫЙ, дающий внутриямную инверсию населенности в КЯ, и УНИВЕРСАЛЬНЫЙ, где «сама собой» существует инверсия между уровнями в соседних КЯ. Инжекционный механизм реализован в каскадных лазерах, а УНИВЕРСАЛЬНЫЙ механизм остался за бортом.

Наша группа занимается исследованием транспорта и ТГц излучения в СР со слабыми барьерами. Были исследованы СР GaAs - GaAlAs с периодом 160 - 180 Å, числом периодов до 1000, барьеры 15 Å GaAlAs с долей Al в 10 –15 %. На ВАХ этих СР в области растущего тока обнаружены особенности, которые интерпретированы как резонансное туннелирование между КЯ, отстоящими на несколько периодов. Ясно, что здесь должен работать УНИВЕРСАЛЬНЫЙ механизм инверсии между уровнями, отстоящими на два-три и более периодов. Расчеты коэффициента усиления дают значение 200 – 400 см⁻¹. Сделаны попытки обнаружить стимулированное ТГц излучение из этих СР.

В докладе будут обсуждены эти результаты и кратко рассмотрены возможности осуществления аналогичных ТГц лазеров в Ge-Si структурах ориентации [111] и лазеров в среднем ИК диапазоне на коротко-периодных СР со слабыми барьерами на основе структур GaAlAs.

Работа поддержана Программой РАН и Грантом НШ-2786.2008.2.

**Квантово-каскадные лазеры на основе InGaAs/AlAsSb, излучающие на
длинах волн 3-4 мкм.**

Д.Г. Ревин¹, S. Zhang¹, J.W. Cockburn¹, L.W. Wilson¹, А.Б. Крыса^{1,2}, К. Kennedy¹,
М.Ј. Steer¹, М. Hopkinson¹

¹ *Университет Шеффилда, Шеффилд, Великобритания*

² *Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва*
d.revin@sheffield.ac.uk

Квантово-каскадные лазеры среднего инфракрасного диапазона, основанные на электронных межподзонных переходах в квантовых ямах, продемонстрировали очень быстрое развитие от первых лабораторных прототипов, работающих только при низких температурах, до самых мощных полупроводниковых лазеров этого диапазона (больше одного Ватта выходной мощности в непрерывном режиме при комнатной температуре и КПД, превышающем 10 %). Однако, в силу фундаментальных свойств используемых гетероструктур (InGaAs/InAlAs и GaAs/AlGaAs) продвижение в сторону длин волн короче ~ 4 мкм было затруднено. С другой стороны, именно в диапазоне 3-4 мкм расположены полосы сильного поглощения большого числа важных с точки зрения спектроскопии молекул газов (H₂CO, C₂H₆, CH₄ и др.).

Сравнительно недавно для роста подобных лазеров стали использоваться гетероструктуры со значительно бóльшим разрывом зон проводимости, такие как InAs/AlSb на подложке InAs, InGaAs/AlAs и InGaAs/AlAsSb на подложке InP. Хотя генерация на длинах волн около 3 мкм была продемонстрирована для всех этих систем, такие лазеры имеют более высокие пороговые токи и малые выходные мощности. На обсуждение в настоящем докладе будут представлены фундаментальные ограничения, особенности дизайна, роста и лазерные характеристики квантово-каскадных лазеров на основе гетероструктуры InGaAs/AlAsSb.

Квантово-каскадные лазеры, полученные методом МОС-гидридной эпитаксии.

**А.Б. Крыса^{1,2}, J.S. Roberts¹, Д.Г. Ревин¹, К. Kennedy¹, L.R. Wilson¹,
J.W. Cossburn¹**

¹ *Университет Шеффилда, Шеффилд, Великобритания*

² *Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, a.krysa@sheffield.ac.uk*

Квантово-каскадные лазеры (ККЛ) являются очень перспективными источниками когерентного излучения для работы в среднем ИК и ТГц диапазонах. Дизайн активной области ККЛ, состоящей из многих сотен тонких полупроводниковых слоев (некоторые толщиной всего лишь в 2-3 атомных монослоя), налагает очень жесткие требования к эпитаксиальной технологии. В течение длительного времени после первой экспериментальной демонстрации ККЛ (группа F. Capasso, 1994 г.) считалось, что лишь молекулярно-пучковая эпитаксия (МПЭ) обладает необходимой степенью контроля интерфейсов, толщины и состава слоев. Однако, низкий выход МПЭ являлся одной из причин, сдерживающих широкое применение ККЛ.

Наша группа впервые адаптировала МОС-гидридную эпитаксию, технологию, используемую для массового промышленного производства, к росту квантово-каскадных гетероструктур GaAs/AlGaAs и InGaAs/AlInAs. Изготовленные лазеры ($\lambda_{\text{изл}} \sim 5\text{-}12$ мкм) имеют порог генерации 2-4 кА/см² и выходную мощность выше 100 мВт в импульсном режиме при комнатной температуре, что вполне сравнимо с характеристиками лазеров с аналогичными дизайнами, но выращенными МПЭ.

МОС-гидридная технология роста квантово-каскадных структур, изначально развитая нами на исследовательском реакторе, была затем успешно перенесена на промышленный реактор с возможностью одновременной эпитаксии на нескольких подложках (3×3" или 6×2").

Мощные полупроводниковые лазеры.

Д.А. Винокуров, А.Ю. Лешко, А.В. Лютецкий, Т.А. Налет, **Н.А. Пихтин**,
С.О. Слипченко, З.Н. Соколова, И.С. Тарасов

¹ Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе,
Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26
Nike@hpld.ioffe.ru

В докладе будут представлены:

1. Физические основы мощных полупроводниковых лазеров с малыми внутренними оптическими потерями. Лазерные гетероструктуры раздельного ограничения с расширенным волноводом. Асимметричные гетероструктуры с подавлением поперечных мод высшего порядка.

2. Особенности технологии МОС-гидридной эпитаксии мощных полупроводниковых лазеров. Два технологических подхода в конструировании лазерных гетероструктур: содержащих и не содержащих алюминий. Роль интерфейсов на границе активная область – волновод и их влияние на внутренний квантовый выход лазерной гетероструктуры.

3. Причины ограничения максимально достижимой мощности излучения в полупроводниковых лазерах. Температурный разогрев активной области. Оптическая катастрофическая деградация зеркал лазера. Способы нанесения диэлектрических зеркал. Оптическая катастрофическая деградация лазерной структуры. Температурная чувствительность пороговой плотности тока и зависимость внутреннего квантового выхода от температуры.

4. Снижение разогрева активной области в импульсном режиме генерации ($\tau = 50 - 100$ нс). Стимулированная рекомбинация при высоких уровнях инжекции носителей заряда. Фундаментальный предел оптической мощности полупроводниковых лазеров в импульсном режиме генерации.

5. Иллюстрация применения концепции мощных полупроводниковых лазеров: одиночные лазеры, лазерные линейки, лазерные матрицы и импульсные лазеры.

Мощные полупроводниковые лазеры повышенной яркости с волноводом на основе двумерного фотонного кристалла.

Н.Ю. Гордеев¹, Н.Н. Леденцов^{1,2}, И.И. Новиков¹, Л.Я. Карачинский¹,
М.В. Максимов¹, Ю.М. Шерняков¹, Р. Дубок³, В.А. Щукин^{1,2}, К. Позилевич²,
Д. Бимберг², П.С. Копьев¹

¹ *Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26, Gordeev@switch.ioffe.ru*

² *Institut für Festkörperphysik, Technische Universität Berlin, PNW 5-2, Hardenbergstr. 36, D-10623 Berlin, Germany*

³ *PBC Lasers Ltd., P.O. Box 186, Kibbutz Einat 49910, Israel*

Применение мощных полупроводниковых инжекционных лазеров выдвигает особые требования к качеству светового пучка. Типичная конструкция мощного торцевого лазера такова, что получаемый лазерный пучок сильно асимметричен и обладает сильной расходимостью (40-60 градусов) в вертикальном направлении. Уменьшение расходимости пучка вызывает появление оптических мод высокого порядка. Недавно было показано [1], что использование в волноводе лазера интегрированного одномерного фотонного кристалла позволяет существенно уменьшить расходимость лазерного пучка, эффективно подавить оптические моды высокого порядка и достичь пространственно одномодовой лазерной генерации вплоть до мощностей излучения в несколько Ватт при непрерывном режиме накачки. Концепция получила развитие за счет использования в лазерном волноводе интегрированного двумерного фотонного кристалла. В данной работе представлены экспериментальные результаты исследования лазеров такой конструкции, излучающих в оптическом диапазоне 0.98 мкм.

Литература

[1] M.V.Maximov et al, Electron. Lett. **39**, 1729 (2003).

Лазерные диоды на спектральные диапазоны 810-812 нм и 940-960 нм с мощностью излучения в непрерывном режиме до 10 Вт.

**В.П. Коняев¹, А.П. Некрасов¹, Н.А. Пихтин² В.В. Поповичев¹, В.А. Симаков¹,
А.В. Соловьева¹, И.С. Тарасов²**

¹ ФГУП НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха, Москва, Введенского 3

² Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Политехническая 26

Исследованы излучательные характеристики лазерных диодов (ЛД) на спектральные диапазоны (810-812) нм и (940-960) нм с мощностью излучения в непрерывном режиме до $P = 10$ Вт.

Для создания ЛД были использованы гетероструктуры с квантоворазмерными активными слоями InGaAs или GaAlAs, обеспечивающие расходимость излучения $(20 - 22)^\circ$ в плоскости, перпендикулярной активному слою.

Ширина области накачки (мезаполоскового контакта) ЛД составляла 200 мкм. Длины резонаторов ЛД были (3 – 3.5) мм.

При температуре корпуса ЛД 20°C и мощности излучения $P=10$ Вт типичные значения токов накачки составляли (12 – 13) А в ЛД с длиной волны излучения (940 – 960) нм и (10-11) А в ЛД с длиной волны излучения (810 – 812) нм. К.П.Д достигал $(50 - 51)\%$ при $P \approx (3,5-4)$ Вт и равнялся $(39 - 40)\%$ при $P=10$ Вт.

Исследованы зависимости излучательных характеристик ЛД от температуры. Предложена математическая модель, позволяющая прогнозировать для заданного уровня мощности излучения величину тока накачки ЛД в интервале температур окружающей среды.

Модули лазерных диодов с повышенной яркостью и средней мощностью импульса излучения до 50 Вт.

М.В. Зверков, В.П. Коняев, В.В. Кричевский, М.А. Ладугин, А.А. Мармалюк,

В.А. Симаков

*ФГУП НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха, Москва, 117342, ул. Введенского 3
simakov2002@yahoo.com*

Необходимость управления движением скоростных и малоразмерных объектов в условиях пониженной видимости требует разработки лазерных диодов с повышенной яркостью и мощностью излучения, работающих на повышенных (несколько десятков кГц) частотах повторения световых импульсов. В большинстве практически важных применений средняя мощность импульса лазерного излучения должна составлять десятки Ватт. При этом для снижения масса-габаритных показателей оптических систем, используемых для формирования оптического луча малой расходимости, требуется, чтобы размер тела излучения лазерных диодов составлял 100 – 200 мкм, а основной поток генерируемой световой энергии был сконцентрирован в конусе с углом при вершине не более 30 град.

Высокая надежность аппаратуры накладывает дополнительные требования по ресурсу работы лазеров. Реально эта величина достигает 10^{11} импульсов.

В данной работе изложены основные результаты по созданию нового поколения унифицированных модулей мощных импульсных лазеров для систем специального и гражданского назначения. Показано, что разработанные изделия по энергетической яркости превосходят существующие аналоги в несколько раз, а по ресурсу работы в сотни раз. Сформулированы и проработаны пути дальнейшего совершенствования изделий данного типа.

Диодные лазеры на длины волн 850 и 760 нм на основе твердых растворов AlGaInP.

А.А. Чельный, А.В. Алуев, Ю.Л. Ахмеров, И.А. Ивченко, В.А. Симаков

ФГУП НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха, Москва, 117342, Введенского 2.
lab351@mail.ru

В работах [1,2] изготавливались диодные лазеры на основе материала AlGaInP/GaInP/GaAs. Такие лазеры демонстрировали более высокую мощность излучения и надежность по сравнению с традиционными лазерами на AlGaAs/GaAs. Изменяя состав активной области $Ga_xIn_{1-x}As_yP_{1-y}$ можно успешно изготавливать излучатели в широком диапазоне длин волн $0.87\div 0.74$ мкм, не меняя конструкцию и состав волноводных и эмиттерных слоев. В данной работе изготовлены диодные лазеры на длину волны 850 и 760 нм. Такие приборы могут находить применение, в частности, для накачки лазеров на парах щелочных металлов [3].

Изготовленные излучатели с шириной полоска 100 мкм имели прогнозируемый ресурс более 10^4 часов при мощности 1.5 Вт в непрерывном режиме. Эффективность составила более 1 Вт/А для приборов с обеими длинами волн. Значение характеристической температуры $T_0 = 160$ К для $\lambda=850$ нм и 145 К для $\lambda=760$ нм. Учитывая результаты, полученные в [2], можно рассчитывать в потенциале на получение мощности 10 W во всем диапазоне длин волн $870\div 740$ нм.

Литература

- [1] А.А.Чельный, А.В.Алуев, И.А.Ивченко, С.В.Радаев, 5–ый Белорусско-Российский семинар «Полупроводниковые лазеры и системы на их основе». Сб. статей 2005, Минск, с. 211.
- [2] А.В.Алуев, А.Ю.Лешко, А.В.Лютецкий, Н.А.Пихтин, С.О.Слипченко, Н.В.Фетисова, А.А.Чельный, В.В.Шамахов, В.А.Симаков, И.С.Тарасов, ФТП (в печати).
- [3] R.H.Page, R.J.Beach, W.K.Kanz, W.F.Krupke, Opt. Lett. **31**(3), 353 (2006).

Матрицы диодных лазеров для накачки активных сред.

Г.Т. Микаелян

ОАО «НПП «ИНЖЕКТ», 410052 г. Саратов, пр. 50 лет Октября 101,
inject@overta.ru www.injectlaser.ru www.inject-laser.ru

Высокоэффективная селективная оптическая накачка активных сред с помощью диодных лазеров в настоящее время используется как для лазеров с твердотельными активными элементами, так и для газовых лазеров на парах щелочных металлов. В зависимости от конкретных областей и систем применения разработаны и коммерчески доступны как на мировом, так и на отечественном рынке полупроводниковые лазеры, мощные диодные лазерные линейки и двухмерные матрицы (наборы линеек) различных конструкций, с разными излучательными характеристиками. Выпускаются диодные лазеры, линейки и двухмерные матрицы как для работы в непрерывном (CW), так и в квазинепрерывном (QCW) режимах. В настоящей работе приводится обзор разработанных и выпускаемых на предприятии ОАО «НПП «Инжект» диодных лазерных линеек и матриц, которые предназначены для накачки активных элементов твердотельных и газовых лазеров.



а)

б)

Образцы QCW матриц а) и горизонтально расположенных CW линеек б).

Оптимизация параметров диодных линеек для накачки эрбиевых лазеров, излучающих в условно безопасном спектральном диапазоне.

Т.В. Безъязычная¹, М.В. Богданович¹, Л.И. Буров², А.С. Горбачевич²,
А.Г. Рябцев², **Г.И. Рябцев¹**, М.А. Щемелев², **Г.Т. Микаелян³**, С.Н. Соколов³

¹ *Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Минск, 220072,
Пр. Независимости 68*

² *Белгосуниверситет, Минск, 220050, Пр. Независимости 68*

³ *ОАО “НПП “ИНЖЕКТ”, г. Саратов, 410052, пр-т 50 лет Октября, inject@overta.ru
ryabtsev@dragon.bas-net.by*

По сравнению с ламповой накачкой возбуждение твердотельного эрбиевого лазера лазерными диодными линейками (ЛДЛ) позволяет при сравнимых параметрах выходного импульса более чем на порядок уменьшить величину потребляемой энергии. Максимальная эффективность диодной накачки достигается при точном согласовании параметров ЛДЛ, таких как: мощность и длительность импульса возбуждения, степень заполнения картины ближнего поля генерирующими элементами, с характеристиками активного элемента и резонатора эрбиевого лазера.

В настоящей работе анализируются оптические и тепловые параметры современных ЛДЛ с точки зрения их применимости в мощных системах диодной накачки с частотами повторения импульсов до 20 Гц (при длительностях импульсов порядка 5 мс). Обсуждаются различные возможные способы уменьшения тепловой нагрузки, приходящейся на ЛДЛ, без существенного снижения уровня энергии выходных импульсов эрбиевого лазера.

Высокомощные полупроводниковые лазерные линейки для накачки твердотельных лазеров на основе иттербий-эрбиевого стекла.

Н.И. Кацавец, А.Л. Тер-Мартirosян

*ЗАО «Полупроводниковые приборы» 194156, Россия, С.Петербург, пр. Энгельса 27
n_katsavets@mail.ru*

Ионы иттербия (Yb) имеют интенсивную и широкую полосу поглощения в спектральной области 0.95 мкм и эффективно сенсбилизируют ионы других редкоземельных элементов, например, Er, Ho или Tm, что широко используется при разработке твердотельных лазеров (ТТЛ) в безопасном для глаз (eye-safe) диапазоне (1.5÷2.0 мкм) [1].

В настоящей работе на основе AlGaAs/InGaAs/GaAs квантоворазмерных гетероструктур были разработаны высокомощные (до 100 Вт) квазинепрерывные лазерные линейки (ЛЛ) с большой длительностью импульса (до 5 мс), предназначенные для накачки активных кристаллов ТТЛ, легированных ионами Yb / Er, Ho, Tm. Такие ЛЛ имеют высокую эффективность (до 50%) и способны надежно (с ресурсом не менее, чем 10^8 импульсов) работать при повышенных температурах до $+85^{\circ}\text{C}$. Широкая полоса поглощения ионов Yb и высокотемпературная устойчивость ЛЛ дают возможность создавать эффективные ТТЛ с полупроводниковой накачкой, работающие в широком температурном диапазоне.

С использованием двух ЛЛ был разработан ТТЛ на основе Yb / Er стекла (длина волны генерации 1.54 мкм), генерирующий импульсы длительностью 20 нс с энергией 10 мДж и частотой повторения до 20 Гц. Выходная энергия в режиме свободной генерации составила 60 мДж при дифференциальной эффективности 18%.

Литература

[1] В.А.Бученков, А.А.Никитичев, Лазер-Информ. **13**, 268 (2003).

Мощные инжекционные лазеры спектрального диапазона 808 нм и их использование для накачки твердотельных лазеров.

В.В. Безотосный, В.Ю. Бондарев, В.А. Олещенко, В.Ф. Певцов, Ю.М. Попов, Е.А. Чешев

Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, 119991, Москва, Ленинский пр.53
victorbe@sci.lebedev.ru

Мощные лазерные диоды спектрального диапазона 808 нм широко используются в системах накачки твердотельных лазеров на основе АИГ:Nd. Целью работы является повышение выходной мощности и надёжности лазеров данного спектрального диапазона. Приводятся результаты исследований срока службы мощных лазерных диодов на длины волн 980 нм и 808 нм, смонтированных с применением одинаковых технологий и комплектующих. Получены экспериментальные образцы ИЛ с измеренной выходной мощностью до 10 Вт в непрерывном режиме. Предварительные ресурсные испытания показали прогнозируемый срок службы не менее 1000 часов при выходной мощности 6 Вт. Лазерные диоды были использованы как источники накачки в твердотельном лазере на основе YLF:Nd³⁺. Параметры полученных диодных лазеров (включая ширину спектра излучения и пространственные характеристики) позволили повысить максимальную энергию твердотельного лазера в режиме модуляции добротности. На частоте 2 кГц была получена энергия в импульсе 430 мкДж при выходной мощности диода накачки 4 Вт (для сравнения ранее максимальная энергия составляла 250 мкДж). Для дальнейшего увеличения выходной энергии твердотельного лазера требуется оптимизация параметров резонатора и применяемого акустооптического модулятора.

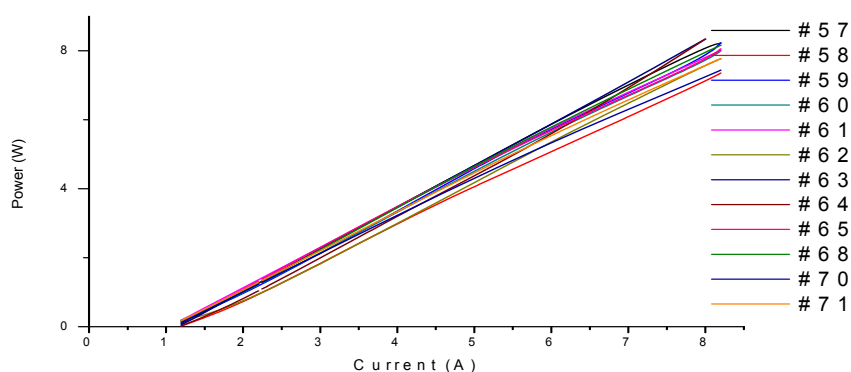


Рис. 1. ВтАХ собранной серии из 12 лазерных диодов.

Литература

- [1] В.В.Безотосный и др., Кв.Электроника , **37(11)**, 1055 (2007).
- [2] В.В. Безотосный и др., в сб. «Когерентное оптическое излучение полупроводниковых соединений и структур», Звенигород, 27-29 ноября 2007, Москва, 2008, с. 13.

Волоконные Рамановские лазеры с диодной накачкой для медицины.

С.Е. Гончаров, И.Д. Залевский, А.С. Курков

Группа компаний «МИЛОН»
www.milon.ru

Перспективность использования волоконных Рамановских лазеров в медицине определяется возможностью получения высокой выходной мощности на любой длине волны в диапазоне 1-2.1 мкм.

Примером практической реализации Рамановского (ВКР) лазера для медицинских целей является создание группой компаний «Милон» преобразователя излучения, выполненного в виде дополнительного съемного ВКР-модуля, присоединяемого к серийно выпускаемому медицинскому лазерному аппарату «ЛАХТА 970-35».

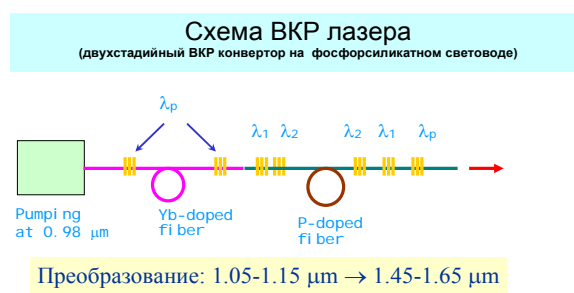


Рис. 1. Схема ВКР лазера

Литература

- [1] А.С.Курков, В.М.Парамонов, О.Н.Егорова, О.И.Медведков, Е.М.Дианов, М.В.Яшков, А.Н.Гурьянов, И.Д.Залевский, С.Е.Гончаров, *Мощный эрбиевый волоконный усилитель с накачкой от рамановского волоконного конвертора на основе фосфорсиликатного световода*, Квант. Электроника **31**, 801 (2001).
- [2] A.S.Kurkov, V.M.Paramonov, O.N.Egorova, E.M.Dianov, M.V.Yashkov, A.N.Guryanov, I.D.Zalovsky, S.E.Goncharov, *+28 dBm output power from EDFA pumped by Raman converter based on P-doped fiber*, Proc. of ECOC'2001, p. Tu.B.2.4, Amsterdam, 2001.
- [3] А.С.Курков, В.М.Парамонов, О.Н.Егорова, О.И.Медведков, Е.М.Дианов, И.Д.Залевский, С.Е.Гончаров, *Волоконный ВКР-усилитель на длину волны 1.65 мкм*, Квант. Электроника, **32**, 747 (2002).

Полупроводниковые лазеры видимого и УФ диапазона на основе широкозонных соединений A^2B^6 .

С.В. Иванов¹, С.В. Сорокин¹, М.М. Зверев², Е.В. Луценко³, А. Waag⁴

¹ Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Политехническая 26, ivan@beam.ioffe.ru

² МИРЭА, пр. Вернадского 78, Москва, Россия

³ Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Пр. Независимости 68, Минск, Беларусь

⁴ Institute of Semiconductor Technology, TU Braunschweig, D-38106 Braunschweig, Germany

Представлены оригинальные результаты по разработке технологии молекулярно-пучковой эпитаксии, оптимизации конструкции и исследованию оптических свойств низкоразмерных гетроструктур на основе широкозонных полупроводниковых соединений $ZnCdSe/ZnMgSSe$ и $ZnO/ZnMgO$ для лазеров с оптической и электронной накачкой зеленого (500-550 нм) и УФ (370-390 нм) спектральных диапазонов, соответственно. С использованием высокоэффективных наногетроструктур с $CdSe$ квантовыми точками и волноводом-сверхрешеткой были получены зеленые лазеры (1) с электронной накачкой (ПЛЭН) со сверхнизкими пороговой плотностью тока пучка электронов (<0.5 А/см² при 300 К) и ускоряющего напряжения (<5 кВ) при выходной импульсной оптической мощности ~ 1 Вт, (2) импульсные ПЛЭН с выходной мощностью свыше 12 Вт при эффективности 17% (300 К), а также A^2B^6 - A^3N лазерные конверторы с максимальной эффективностью конверсии 14% [1]. В гетроструктурах $ZnMgO/ZnO$ с отдельным ограничением и одиночной квантовой ямой, выращенных на с-сапфире, получено стимулированное излучение с пороговой плотностью накачки ~ 600 кВт/см² при 300 К [2].

Литература

- [1] S.V.Sorokin et al., Electron. Lett. **43**(3), 162 (2007).
- [2] T.V.Shubina et al., Appl. Phys. Lett. **91**, 201104 (2007).

Лазерные и оптические свойства InGaN/GaN КЯ гетероструктур, выращенных на Si подложках.

Г.П. Яблонский¹, Е.В. Луценко¹, Н. Kalisch², R.H. Jansen², М. Heuken^{2,3}

¹ *Институт физики им. Б.И. Степанова НАН Беларуси, Беларусь, Минск, 220072,
пр. Независимости 68, yablon@dragon.bas-net.by*

² *Institut für Theoretische Elektrotechnik, RWTH Aachen, , Germany, 52074 Aachen,
Kopernikusstr. 16*

³ *AIXTRON AG, Germany, 52072 Aachen, Kackertstr. 15-17*

Лазерные свойства широкого набора InGaN/GaN КЯ гетероструктур различного дизайна, в том числе и светодиодных, выращенных на Si подложках, исследованы при оптическом возбуждении. Установлено влияние MOVPE ростовых параметров и дизайна гетероструктур на длину волны, порог, дальнее поле и модовый состав генерации. На основе численных расчетов распространения электромагнитного поля внутри и вне гетероструктуры сделаны численные оценки оптического усиления гетероструктур и материального оптического усиления InGaN квантовых ям на пороге генерации. Показано, что на пороге генерации материальное усиление InGaN квантовых ям может достигать значений до 10^4 см^{-1} при высоких ($\sim 1 \text{ МВт/см}^2$) уровнях возбуждения. Исследовано температурное поведение генерации, фотолюминесценции и спектров возбуждения фотолюминесценции при низких и высоких уровнях возбуждения. Показано, что генерация развивается на хвосте плотности состояний InGaN. При этом характеристическая температура генерации имеет большую величину ($T_0 \sim 200 \text{ К}$) до 500 К , что подтверждает механизм оптического усиления и, соответственно, генерации на локализованных состояниях в InGaN кластерах. Приводятся примеры применения InGaN/GaN КЯ гетероструктур, выращенных на Si подложках, для светодиодов и лазеров накачки для зеленых лазеров на вставках квантовых точек CdSe.

Лазеры на длину волны 662 нм мощностью 0.5 Вт на основе AlGaInP.

А.А. Чельный, А.В. Алуев, Ю.Л. Ахмеров, В.А. Симаков

*ФГУП НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха, Москва, 117342, Введенского 2,
lab351@mail.ru*

Мощные диодные лазеры на длину волны 662 нм являются перспективными для использования в аппаратуре фотодинамической терапии рака. Такие излучатели изготавливаются в системе AlGaInP/GaInP/GaAs. Основными особенностями при выращивании таких гетероструктур является [1]:

- 1) необходимость прецизионного поддержания состава пленок большой толщины;
- 2) трудности легирования акцепторными примесями, в особенности твердых растворов с высоким содержанием алюминия;
- 3) явление упорядочения кристаллической решетки твердых растворов GaInP и AlGaInP, изопериодичных GaAs.

Решение этих проблем позволило изготовить диодные лазеры с мощностью 500 мВт в непрерывном режиме на длине волны 662 нм при 25°C. Эффективность приборов была более 1 Вт/А. Ширина излучающей апертуры 150°мкм, значение характеристической температуры порогового тока $T_0 = 140^\circ\text{K}$. Прогнозируемый ресурс составил более 3000 часов, что позволяет использовать излучатели в составе медицинской аппаратуры.

Литература

- [1] А.А.Чельный, А.В.Алуев, С.В.Маслов, Квантовая электроника **34**, 2 (2004).

Кольцевые лазеры и спектры биения мод.

П.Г. Елисеев

*Физический институт им. П. Н. Лебедева, Москва, 119991, Ленинский проспект 53
Центр высокотехнологичных материалов, Ун-т Нью Мексико, Альбукерке
(1313 Goddard SE Albuquerque NM 87106 USA)
eliseev@chtm.unm.edu*

Кольцевые полупроводниковые лазеры (КПЛ) представляют интерес как активные элементы интегрально-оптических схем, не требующие отражателей, как лазеры, используемые в гироскопии (датчиках вращений) и в генераторах ультракоротких световых импульсов. Разработаны КПЛ с длиной периметра около 1 см и 3 см на основе гетероструктур с квантовыми ямами ($\lambda \sim 1020$ нм) и квантовыми точками ($\lambda \sim 1250$ нм). Изучены следующие свойства: 1) режим бегущей волны и способы его получения; 2) электрическая диагностика; 3) радиочастотные спектры биений мод. Получены перестраиваемые биения между двумя независимыми КПЛ (оптическое гетеродинамирование). Дана интерпретация расщепления линии биений на три компоненты на основе модели нелинейного взаимодействия мод [1,2]. Обсуждается нелинейный эффект Саньяка [3] и возможность увеличения чувствительности КПЛ к вращению за счет индуцированной аномальной дисперсии в окрестности частоты сильного электромагнитного поля. Доклад представляет обзор работ группы при ЦВТМ Ун-та Нью Мексико (2005-2008).

Литература

- [1] A.P.Bogatov, P.G.Eliseev, B.N.Sverdlov, IEEE J. Quant. Electron. **11**(7), 510 (1975).
- [2] П.Г.Елисеев, Квант. Электроника **35**(9), 791 (2005).
- [3] P.G. Eliseev, Opto-Electronics Rev. **16**(2), 118 (2008).

Полупроводниковый кольцевой лазер.

В.Г. Дмитриев, В.П. Дураев, А.А. Казаков

*ФГУП НИИ «Полюс» им. М. Ф. Стельмаха, Москва, 117342, ул. Введенского 3
nolatech@mail.magelan.ru*

Полупроводниковый кольцевой лазер (ПКЛ) относится к классу приборов, в котором в замкнутом оптическом контуре распространяются встречно бегущие световые волны. Полупроводниковые кольцевые лазеры представляют собой сложные нелинейные автоколебательные системы с распределенными параметрами, в которых возможно возбуждение большого числа различных режимов генерации (режимов стоячей и бегущей волн, автомодуляционных режимов, явлений самопульсаций и т.д.).

Таким образом, ПКЛ имеют много возможностей для применения в новых функциональных устройствах типа восстановления синхронизации цепи, логических устройств или оптического гироскопа.

Применение полупроводникового оптического усилителя (ПОУ) в качестве внешнего кольцевого резонатора было предложено в работе [1]. В этой же работе впервые подробно был изучен электрический отклик на оптический сигнал, проходящий по активному элементу (ПОУ).

В данной работе представлена конструкция и приведены экспериментальные исследования основных характеристик полупроводниковых кольцевых лазеров на длины волны излучения 840 нм, 1300 нм и 1550 нм. В работе показана возможность регистрации излучения в ПКЛ путем изменения падения напряжения на активном элементе. Показана эквивалентность сигналов, зарегистрированных электрическим и оптическим способами. Получен одномодовый режим генерации ПКЛ. Предпринята попытка экспериментального обнаружения гироскопического эффекта в ПКЛ [2].

Литература

- [1] Ви Ван Лык, В.П.Дураев, П.Г.Елисеев, и др., *Оптический усилительный модуль и его оптоэлектронные свойства*. Препринт, ФИАН, Москва 1989 г.
- [2] В.П.Дураев, *Полупроводниковый оптический усилитель*, Lightwave, №2, с.45 (2004).

Лазеры на квантовых точках для оптической связи.

М.В. Максимов^{1,2}, А.Е. Жуков¹

¹ Учреждение Российской академии наук Академический физико-технологический университет РАН, Санкт-Петербург, 194021, Хлопина 8/1.

² Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26, maximov@beam.ioffe.ru

В докладе будут рассмотрены основные технологические и физические аспекты, а также современный статус инжекционных лазеров для систем оптической связи спектрального диапазона 1.2-1.3 мкм, использующих в качестве активной области массивы самоорганизующихся полупроводниковых квантовых точек (КТ) InAs/InGaAs на подложках GaAs. Современные лазеры на КТ демонстрируют высокую температурную стабильность (постоянный пороговый ток в диапазоне температур от -20 до 90°C), высокую выходную мощность (>11 Вт в непрерывном режиме при комнатной температуре), а также время жизни более 10⁶ часов. Показана возможность передачи информации со скоростью 10 Гб/с по оптоволокну длиной 21 км с использованием лазера с распределенной обратной связью в режиме прямой модуляции. В диапазоне температур 20 - 70°C лазер может работать без системы термостабилизации.

Уникальным свойством лазеров на КТ является возможность одновременной генерации большого числа продольных мод (ширина спектра лазерной генерации до 75 нм), обладающих низким уровнем шума. Относительный шум одиночной моды составил менее 0.3 % в диапазоне частот 0.001-10 ГГц (RIN = -126 дБ/Гц). Это открывает принципиальную возможность для применения подобных лазеров в качестве компактных источников для систем со спектральным уплотнением каналов.

Вертикально-излучающие лазеры на квантовых точках.

Н.А. Малеев^{1,2}, В.М. Устинов^{1,2}

¹ Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26

² СПб ФТНОЦ РАН, Санкт-Петербург, 194021, Хлопина 8, корп.3, maleev@beam.ioffe.ru

Рассмотрены физические и конструктивно-технологические проблемы при практической реализации полупроводниковых лазеров с вертикальными оптическими микрорезонаторами (вертикально-излучающие лазеры, ВИЛ) и активной областью на основе полупроводниковых гетероструктур с квантовыми токами (КТ). Разработаны технология молекулярно-пучковой эпитаксии структур ВИЛ с КТ, технология селективного окисления для формирования токовых апертур и распределенных брэгговских отражателей, методы травления многослойных гетероструктур. В системе материалов AlGaAs-InGaAs получены и исследованы ВИЛ спектрального диапазона 1300 нм на основе самоорганизующихся КТ InAs/InGaAs, дискретные ВИЛ и матричные излучатели спектрального диапазона 980 нм на основе субмонослойных КТ InGaAs. Для определенных вариантов конструкции ВИЛ диапазона 980 нм экспериментально обнаружено явление самопульсации.

Литература

- [1] V.M.Ustinov, N.A.Maleev, A.R.Kovsh, A.E.Zhukov, *Quantum dot VCSELs*, Phys.Stat.Sol.(a) **202**(3), 396 (2005).
- [2] S.A.Blokhin, N.A.Maleev, A.G.Kuzmenkov et al., *Vertical-cavity surface-emitting lasers based on submonolayer InGaAs quantum dots*, IEEE J.Quant.Electron. **42**(9), 851 (2006).
- [3] A.G.Kuzmenkov, V.M. Ustinov, G.S.Sokolovskii et al., *Self-sustained pulsation in the oxide-confined vertical-cavity surface-emitting lasers based on sub-monolayer InGaAs quantum dots*, Appl.Phys.Lett. **91**, 121106 (2007).

Квантоворазмерные гетероструктуры AlGaInAs/InP и лазерные диоды на их основе.

А.В. Иванов¹, В.Д. Курносов¹, К.В. Курносов¹, **А.А. Мармалюк¹**,
А.М. Морозюк¹, В.И. Романцевич¹, Ю.Л. Рябоштан¹, В.А. Симаков¹,
Р.В. Чернов¹, И.И. Засавицкий²

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

² Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, 119991, Ленинский проспект 53
A.Marmalyuk@splus.ru

Разработана технология создания квантоворазмерных лазерных гетероструктур AlGaInAs/InP методом МОС-гидридной эпитаксии. На их основе созданы одномодовые и многомодовые лазерные диоды (ЛД) с длиной волны излучения 1.3 и 1.55 мкм. Изучено влияние геометрии активной области гетероструктуры на выходные параметры. Продемонстрирована высокая чувствительность характеристической температуры ЛД от высоты потенциального барьера в квантовой яме. Проведенные ресурсные испытания одномодовых ЛД в течение более 8000 ч при повышенной температуре (Т=70, 80, 90°C) показали их высокую надежность. Продемонстрировано повышение быстродействия в ЛД на основе гетероструктур с легированной активной областью ($\lambda=1.3$ мкм). Достигнута частота 15 ГГц по уровню 3 дБ.

Изготовлены мощные импульсные ЛД ($\lambda=1.55$ мкм) с шириной мезаполоскового контакта 100 мкм и выходной мощностью излучения до 10 Вт при токе накачки 20 А (100 нс, 10 КГц).

Описаны первые экспериментальные шаги по созданию короткопериодных сверхрешеток высокого качества в указанной системе материалов, перспективных к созданию квантово-каскадных лазеров на их основе.

Туннельная инжекция электронов и дырок в квантовые точки как способ генерации лазерного излучения высокой мощности.

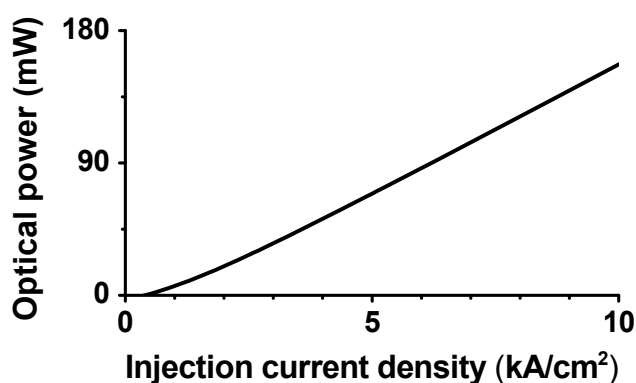
Л.В. Асрян

Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, USA
asryan@mse.vt.edu

Скорость электронно-дырочной рекомбинации вне активной области полупроводникового лазера возрастает с увеличением тока накачки [1], что может привести к сублинейности ватт-амперной характеристики [2]. Для подавления биполярной концентрации носителей вне квантовых точек был предложен туннельный механизм инжекции электронов и дырок в точки [3].

В докладе обсуждается мощность излучения туннельно-инжекционного лазера на квантовых точках. Показано, что скорость рекомбинации вне точек остаётся ограниченной с увеличением тока накачки. Вследствие этого ватт-амперная характеристика лазера становится более линейной и квантовая эффективность приближается к единице при высоких токах инжекции [4].

Работа выполнена при поддержке научного отдела армии США.



Литература

- [1] D.Z.Garbuzov, A.V.Ovchinnikov, N.A.Pikhtin, Z.N.Sokolova, I.S.Tarasov, V.B.Khalfin, *Sov. Phys. Semicond.* **25**, 560 (1991).
- [2] L.V.Asryan, S.Luryi, R.A.Suris, *Appl. Phys. Lett.* **81**, 2154 (2002).
- [3] L.V.Asryan, S.Luryi, *IEEE J. Quantum Electron.* **37**, 905 (2001).
- [4] D.-S.Han, L.V.Asryan, *Appl. Phys. Lett.* **92**, Art. no. 251113 (2008).

Механизмы рекомбинации носителей заряда в лазерных структурах с квантовыми ямами InGaAsSb/AlInGaAsSb и их влияние на характеристики лазеров среднего ИК диапазона (длина волны > 3 мкм).

Л.Е. Воробьев¹, В.Л. Зерова¹, Д.А. Фирсов¹, G. Belenky²,
L. Shterengas², G. Kipshidze², Т. Hozoda², S. Suchalkin², M. Kisin²

¹ СПбГПУ, Санкт-Петербург, 195251, Политехническая 29, dmfir@rphf.spbstu.ru

² SUNY, Stony Brook, New York 11794, USA

Оже-рекомбинация обычно рассматривается как основной фактор, препятствующий разработке длинноволновых полупроводниковых лазеров. Однако оптимизация параметров лазерных структур позволяет улучшить рабочие характеристики приборов, работающих в диапазоне длин волн более 3 мкм. В настоящей работе приводятся результаты оптимизации параметров лазерных структур InAlGaAsSb/InGaAsSb и AlGaAsSb/InGaAsSb, а также исследованы процессы рекомбинации в лазерных структурах. Показано, что использование пятерного твердого раствора InAlGaAsSb в качестве материала барьера лазерной структуры приводит к улучшению характеристик лазеров по сравнению со структурами, имеющими барьер из AlGaAsSb [1]. Влияние оже-рекомбинации на характеристики структур исследовано с помощью экспериментов по динамике фотолюминесценции при оптическом возбуждении. Скорость рекомбинации измерена при разных температурах решетки и уровнях накачки.

Обсуждается влияние параметров структуры на характеристики рекомбинации, включая резонансную оже-рекомбинацию.

Настоящая работа выполнена при поддержке РФФИ и NSF.

Литература

- [1] T.Hosoda, G.Belenky, L.Shterengas, G.Kipshidze, M.V.Kisin, Appl. Phys. Lett. **92**, 091106 (2008).

Излучательная и безызлучательная рекомбинация в активных слоях лазеров среднего ИК диапазона.

В.В. Кабанов¹, **Е.В. Лебедок**¹, Г.И. Рябцев¹, А.П. Астахова², В.В. Шерстнев²,
Ю.П. Яковлев²

¹ *Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, Минск, 220072, Пр. Независимости 68*

² *Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26, y.lebiadok@dragon.bas-net.by*

Повышение рабочей температуры лазеров среднего ИК диапазона имеет важное научное и прикладное значение. Относительный вклад излучательной рекомбинации в величину порогового тока этих излучателей не превышает десяти процентов [1], поэтому актуальной задачей является изучение механизмов безызлучательных процессов в узкозонных полупроводниковых лазерных материалах.

В настоящей работе обсуждаются экспериментальные методы определения скоростей излучательной и безызлучательной рекомбинации, а также внутреннего квантового выхода люминесценции. Представлены результаты изучения механизмов безызлучательных переходов в активном слое InAs/InAsSbP. Анализируются модели рекомбинационных процессов, применимые для описания наблюдаемых температурных зависимостей порога генерации. Показано, что для удовлетворительного описания наблюдаемых спектральных особенностей генерации дисковых InAs/InAsSbP гетеролазеров в области высоких температур, необходимо учитывать нелинейные эффекты, связанные с зависимостью показателя преломления от концентрации носителей заряда.

Литература

[1] А.П.Астахова, Т.В.Безъязычная, Л.И.Буров и др., ФТП **42**, 228 (2008).

Механизмы нелинейного поглощения света в структурах на основе полупроводниковых нитридов.

И.Н. Завестовская

*Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, 119991, Ленинский пр., 53
zavest@sci.lebedev.ru*

Структуры на основе полупроводниковых нитридов (GaN, AlN и некоторые сплавы типа AlGaN) широко используются в оптоэлектронике для создания высокоэффективных светодиодов и лазерных диодов. Полупроводниковые лазеры на основе InGaN излучают на длине волны около 400 нм.

Это обстоятельство позволило исследовать процессы, приводящие к деградации активной области излучения полупроводниковых лазеров на соединениях нитрида галлия, путем определения порога лазерно-индуцированного разрушения при воздействии на нитрид галлия фемтосекундных импульсов с длиной волны 400 нм.

В настоящей работе представлены результаты теоретического исследования механизмов нелинейного поглощения света в нитридах галлия и других прозрачных материалах - широкозонных полупроводниках и диэлектриках. Показано, что в случае использования лазерного режима с интенсивностью порядка десятков ТВт/см² и длительностью импульса порядка сотни фемтосекунд реализуется туннельный механизм поглощения. Определены пороги лазерно-индуцированного разрушения GaN и других прозрачных материалов, таких как сапфир (Al₂O₃) и стеклообразный SiO₂, а также такой же SiO₂ с примесью Ge, и установлено, что порог абляции зависит от ширины запрещенной зоны (величины края полосы поглощения) как E_g^3 , что находится в хорошем согласии с экспериментом.

Оптические потери в гетеролазерах с широким симметричным и тонким асимметричным волноводами при сверхвысоких уровнях инжекции.

Б.С. Рывкин¹, Е.А Аврутин²

¹ Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26, Ryvkin@switch.ioffe.ru

² Факультет Электроники, Университет Йорка, YO10 4LE, Великобритания

Мощные полупроводниковые лазеры, как правило, изготавливаются на основе структур с отдельным ограничением, в которых активный слой (одна или несколько квантовых ям (КЯ)) помещён в нелегированный оптический волновод толщиной до $\sim(1.5-3)$ мкм. На таких структурах были получены рекордные значения мощности излучения в непрерывном и импульсном режимах [1,2]. Однако при высоких (непрерывная генерация) и сверхвысоких (импульсная генерация) уровнях инжекции становятся существенными оптические потери за счёт накопления носителей в волноводном слое. В докладе будут рассмотрены ситуации, когда такие потери приводят к падению дифференциальной квантовой эффективности при высоких уровнях инжекции [3,4]. Будет показано, что *тонкая асимметричная волноводная структура*, в которой электромагнитное поле сдвинуто в слабопоглощающий *n*-контактный слой, позволяет уменьшить эффект оптических потерь для случая как однородного (за счёт тепловой утечки из КЯ), так и неоднородного (за счёт амбиполярной диффузии носителей в волноводе) распределения носителей в волноводном слое [3,4].

Литература

- [1] N.A.Pikhtin, S.O.Slipchenko, Z.N.Sokolova, A.L.Stankevich, D.A.Vinokurov, I.S.Tarasov, Zh.I.Alferov, Electron. Lett. **40**, 1413 (2004).
- [2] Д.А.Винокуров и др., Письма в ЖТФ **32**(16), 47 (2006).
- [3] B.S.Ryvkin, E.A.Avrutin, J.Appl.Phys. **101**, 123115 (2007).
- [4] B.S.Ryvkin, E.A.Avrutin, J.Appl.Phys. **97**, 123103 (2005).

Гетеролазеры на вытекающих модах шепчущей галереи; подходы, проблемы, вертикальный выход.

**А.А. Андронов¹, Н.К. Вдовичева¹, А.В. Маругин², Ю.Н. Ноздрин¹,
А.В. Окомельков¹, Д.Е. Святошенко², И.А. Шерешевский¹**

¹ *Институт физики микроструктур РАН, Н.Новгород 603950 ГСП-105,
andron@ipm.sci-nnov.ru*

² *Нижегородский госуниверситет, Н.Новгород, 603950, пр. Гагарина 23*

Привлекательно иметь возможность создавать в одном технологическом процессе на одной полупроводниковой пластине множественные системы гетеролазеров, излучающих в «вертикальном» направлении. Такие исследования предпринимаются в настоящее время в основном в квантовых каскадных лазерах (ККЛ), где VCSEL подход не работает. Основой являются лазеры с вертикальным выходом на основе решеток второго порядка на верхнем контакте лазера или на боковой границе полоска. Опубликованы работы по созданию кольцевого ККЛ с решеткой второго порядка и с узкой диаграммой направленности вдоль оси кольца. В докладе будет дано обсуждение этих результатов и рассмотрен подход, который, как представляется, может работать и для коротковолновых межзонных лазеров. В этом подходе лазерные моды шепчущей галереи в круговом резонаторе (мезе) сначала вытекают в подтравленный окружающий резонатор волновод с меньшим показателем преломления моды, а затем выходят в подложку за счет изготовленных решеток второго порядка или сужения волновода. Будут изложены принципы функционирования таких резонаторов, приведены расчеты параметров таких резонаторов для разных материальных систем и, возможно, в гетероструктурах на квантовых ямах и точках с оптической накачкой будут продемонстрированы такие лазеры.

Работа поддержана Грантами РФФИ 06-02-16685, 07-02-00935, 07-02-13616 и Грантом НШ-2786.2008.2.

Дисковые полупроводниковые лазеры в средней ИК-области спектра (2-4 мкм).

А.П. Астахова¹, Е.А. Гребенщикова¹, Н.Д. Ильинская¹, К.В. Калинина¹, С.С. Кижаяев¹, А.М. Монахов¹, В.В. Шерстнев¹, А.Н. Баранов², **Ю.П. Яковлев¹**

¹ Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26, yakovlev.iropto@mail.ioffe.ru

² Université Montpellier 2, 34095 Montpellier, France

Полупроводниковые лазеры на модах шепчущей галереи впервые упоминаются в научной литературе в 1961 году, но до сих пор не имеется стабильно работающих приборов такой конструкции. Интерес к дисковым лазерам обусловлен тем, что добротность их резонатора очень высока, до 10^6 , что должно позволить получить лазерную генерацию при существенно более низких пороговых токах и высоких температурах.

Главной физической особенностью созданных нами дисковых лазеров является то, что они работают на так называемых «модах шепчущей галереи». Этот режим особенно привлекателен именно для лазеров среднего ИК диапазона, поскольку оптическое усиление активной среды таких лазеров невелико, а длина волны достаточно большая, что позволяет использовать простые методы изготовления такого лазера.

Нами были созданы дисковые лазеры для спектрального диапазона 2.0-2.4 мкм, работающие при комнатной температуре, и для диапазона 3-4 мкм, работающие при температурах, близких к температуре жидкого азота. Спектры излучения этих лазеров подтверждают наши теоретические предсказания.

Другой проблемой является вывод излучения из дисковых лазеров. Если граница диска идеальна, лазерное излучение не может из него выйти. Нами был предложен новый способ вывода излучения. Кроме того, мы показали, что моды шепчущей галереи присутствуют не только в лазерах с полным диском, но и с секторным. По нашему мнению, такие лазеры могут быть использованы как полноценные приборы среднего ИК диапазона.

Генерация излучения разностной частоты в диодных лазерах с составным резонатором.

В.Я. Алёшкин¹, А.А. Белянин², А.А. Бирюков³, В.И. Гавриленко¹,

А.А. Дубинов¹, А.В. Ершов³, Б.Н. Звонков³, В.В. Кочаровский^{2,4},

Вл.В. Кочаровский⁴, К.В. Маремьянин¹, С.В. Морозов¹, С.М. Некоркин³

¹ *Институт физики микроструктур РАН, Н.Новгород, 603950, ГСП-105*

² *Физический факультет Техасского А&М университета, Колледж Стейшэн, TX 77843, США*

³ *Научно-исследовательский физико-технический институт ННГУ, Нижний Новгород, 603950, пр. Гагарина 23*

⁴ *Институт прикладной физики РАН, Н.Новгород, 603950, Ульянова 46
kochar@appl.sci-nnov.ru*

Дан обзор работ в области создания полупроводниковых источников когерентного излучения среднего и дальнего ИК диапазонов, получаемого за счёт внутррезонаторного нелинейного смешения мод в двухцветных диодных лазерах [1-4]. В частности, представлены экспериментальные исследования генерации излучения разностной частоты в двухчиповом лазере GaAs/InGaAs/InGaP с квантовыми ямами.

Литература

- [1] А.А.Белянин, Д.Деппе, В.В.Кочаровский, Вл.В.Кочаровский, Д.С.Пестов, М.О.Скалли, УФН **173**, 1015 (2003).
- [2] A.A.Biryukov, V.Ya.Aleshkin, S.M.Nekorkin, V.V.Kocharovsky, V.I.V.Kocharovsky, B.N.Zvonkov, M.O.Scully, J. Modern Optics **16**, 2323 (2005).
- [3] А.А.Бирюков, Б.Н.Звонков, С.М.Некоркин, В.Я.Алёшкин, В.И.Гавриленко, К.В.Маремьянин, С.В.Морозов, В.В.Кочаровский, Вл.В.Кочаровский, ФТП **41**, 1384 (2007).
- [4] B.N.Zvonkov, A.A.Biryukov, A.V.Ershov, S.M. nekorkin, V.Ya.Aleshkin, V.I.Gavrilenko, A.A.Dubinov, K.V.Maremyanin, S.V.Morozov, A.A.Belyanin, V.V.Kocharovsky, V.I.V.Kocharovsky, Appl. Phys. Lett. **92**, 021122 (2008).

Гетеролазеры с синхронизацией мод в микроволновой фотонике.

И.О. Бакшаев, М.С. Буяло, И.М. Гаджиев, Р.И. Григорьев, **Е.Л. Портной**

Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе,
Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26
efim@portnoi.ioffe.ru

Гетеролазеры с пассивной синхронизацией мод (ГПСМ) являются важнейшими элементами микроволновой фотоники, позволяющими не только обеспечить генерацию оптического излучения, модулированного на частотах, соответствующих миллиметровому диапазону длин волн [1], но и использоваться в устройствах преобразования частоты одновременно в качестве смесителя и гетеродина [2].

В докладе приводятся результаты исследований, направленных на уменьшение радиочастотной ширины линии генерируемого ГПСМ микроволнового сигнала. Проведенное нами сравнение радиочастотной ширины первой гармоники частоты повторения в ГПСМ, изготовленных из различного типа гетероструктур, показало, что минимальная ширина линии имеет место в гетероструктурах с квантовыми точками [3]. Этот факт находится в согласии с представлениями, развитыми независимо авторами [4]. Рассмотрены также особенности работы интегрально-оптических устройств, содержащих ГПСМ и модуляторы на эффекте Штарка [4] (рис.1), в волоконно-оптических и беспроводных системах передачи информации.

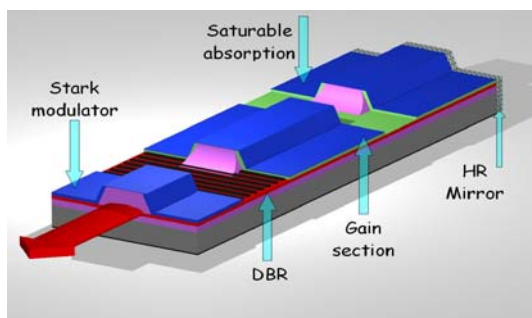


Рис.1. Интегрально-оптическая схема опто-электронного микроволнового излучателя на гетероструктуре с квантовыми точками (гетеролазер с синхронизацией мод, монолитно интегрированный со Штарковским модулятором [5])

Литература

- [1] E.A.Avrutin, J.H.Marsh, E.L.Portnoi. IEE Proc.-Optoelectron. **147**(4), 251 (2000).
- [2] E.L.Portnoi, V.B.Gorfinkel, E.A.Avrutin, I.G.Thayne, D.A.Barrow, J.H.Marsh, S.Luryi. IEEE J. Select.Topics Quantum Electron. **1**(2), 451 (1995).
- [3] M.S.Buyalo, I.M.Gadjiev, E.L.Portnoi, "Laser Optics 2008", ThR3-p14, St. Petersburg, 2008.
- [4] Fabien Kefelian et. al., IEEE Photonics Techn. Lett. **20**, 1405 (2008).
- [5] И.О. Бакшаев, Магистр. дис., Физико-технический факультет, СПбГПУ (2007).

Диагностика наногетероструктур с помощью XANES и XRD.

Э.П. Домашевская¹, П.В. Середин¹, В.А. Терехов¹, С.Ю. Турищев¹,
И.Н. Арсентьев², Д.А. Винокуров², А.Л. Станкевич², И.С. Тарасов²

¹ ВГУ, Воронеж, 394006, Университетская пл. 1, ftt@phys.vsu.ru

² Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26

Твердые растворы AlGaAs и Ga_{0,5}In_{0,5}P образуют наиболее высококачественные гетероструктуры на подложках GaAs (100) в результате хорошего согласования постоянных решеток. Тем не менее, проблема согласования параметров и выбор оптимальных технологических условий остается актуальной и в настоящее время. Нами разработана методика диагностики степени согласования параметров компонент гетероструктуры на подложках GaAs (100) с помощью исследования формы профиля дифракционных линий (004) и (006) на больших брегговских углах отражения.

С помощью этой методики в эпитаксиальных слоях AlGaAs были обнаружены области упорядочения со сверхструктурной фазой AlGaAs₂ в виде упорядоченного нанорельефа с периодом ~ 115 нм, кратным параметру $c = 1.13$ нм слоистой тетрагональной фазы AlGaAs₂.

В трехслойных гетероструктурах GaInP/GaInAsP/GaInP/GaAs (001) обнаружено образование доменов в результате спинодального распада твердого раствора. Состав, структура и оптические свойства доменов отличаются от соответствующих характеристик матрицы твердого раствора. Возникающие домены являются ансамблем, подобным ансамблю квантовых точек. Однако, домены и сверхструктурные фазы упорядочения возникают не латерально, как квантовые точки, но зарождаются в объеме распавшегося твердого раствора.

Показана эффективность синхротронных исследований XANES для гетероструктур с квантовыми точками InP в слое GaInP, а также с пористым слоем InP. На этих наноструктурах впервые удалось получить контрастные PL_{2,3} спектры XANES, которые не удавалось ранее получить на монокристаллах InP.

Аномальные динамические характеристики полупроводниковых лазеров с квантоворазмерной активной областью.

Г.С. Соколовский¹, В.В. Дюделев¹, Д.А. Винокуров¹, А.Г. Дерягин¹,
А.Е. Жуков^{1,2}, С.Н. Лосев¹, А.В. Лютецкий¹, М.В. Максимов¹, И.И. Новиков¹,
Н.А. Пихтин¹, Э.У. Рафаилов³, С.О. Слипченко¹, З.Н. Соколова¹, И.С. Тарасов¹,
В. Сиббет⁴, В.М. Устинов¹, В.И. Кучинский¹

¹ Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, ул. Политехническая 26, gs@mail.ioffe.ru

² СПб Академический физико-технологический университет РАН, Санкт-Петербург,
195220, ул. Хлопина 8, корп. 3

³ Carnegie Laboratory of Physics, Division of Electronic Engineering and Physics, University of
Dundee, Nethergate, Dundee, DD1 4HN, UK

⁴ School of Physics and Astronomy, University of St Andrews, North Haugh, St Andrews,
KY16 9SS, UK

В работе проведены эксперименты по исследованию динамики спектров полупроводниковых лазеров с активной областью на основе квантоворазмерных гетероструктур (квантовых ям и точек), генерирующих излучение за счет переходов между несколькими состояниями электронов и дырок [1,2]. Обнаружено, что при накачке импульсами тока длительностью от нескольких десятков до ста пятидесяти наносекунд характеристики таких лазеров во многом определяются перераспределением энергии между квантовыми состояниями, которое может вызывать полное прекращение лазерной генерации на время порядка нескольких десятков наносекунд через несколько наносекунд после первоначального включения. Причем задержка возобновления лазерной генерации увеличивается с увеличением тока накачки. Этим фактором обусловлено ограничение выходной мощности таких лазеров при накачке короткими импульсами тока.

Литература

- [1] Г.С.Соколовский и др., ПЖТФ **33**(1), 9 (2007).
[2] Г.С.Соколовский и др., ПЖТФ **34**(16), 58 (2008).

Полупроводниковые лазеры среднего инфракрасного диапазона, работающие на модах шепчущей галереи.

Н.С. Аверкиев, А.П. Астахова, Е.А. Гребенщикова, Н.Д. Ильинская,
К.В. Калинина, С.С. Кижаяев, **А.Ю. Кислякова**, А.М. Монахов,
В.В. Шерстнев, Ю.П. Яковлев

*Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе,
Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26
anna.kislyakova@ioffe.mail.ru*

В последнее десятилетие большое внимание уделяется созданию и исследованию полупроводниковых лазеров, излучающих в пределах 2-4 мкм. Актуальность исследования данного диапазона обусловлена тем, что в нем находятся характеристические линии поглощения значительного числа промышленных и природных газов. Была предложена и реализована новая конструкция лазера для данного диапазона. Ее принципиальной особенностью является использование дискового резонатора, рабочей модой которого является так называемая «мода шепчущей галереи». Теоретические и экспериментальные исследования таких лазеров показали, что приборы на основе кольцевых резонаторов являются устройствами с существенно более высокой добротностью по сравнению с обычными лазерами среднего ИК диапазона [1]. Созданы лазеры, работающие на модах шепчущей галереи, излучающие на длине волны 3 мкм при температуре 77 К (на основе двойных гетероструктур InAsSb) и излучающие на длине волны 2 мкм при температурах до 300 К (на основе гетероструктур AlGaAsSb).

Литература

- [1] В.В.Шерстнев, А.М.Монахов, А.П.Астахова, А.Ю.Кислякова, Ю.П.Яковлев, Н.С.Аверкиев, G.Hill, A.Krieger, *Полупроводниковые WGM лазеры среднего инфракрасного диапазона*, ФТП **39**(9) (2005).

Экспериментальное наблюдение мод шепчущей галереи в лазерах с усеченным дисковым резонатором ($\lambda=2.0-2.4$ мкм).

А.П. Астахова¹, Е.А. Гребенщикова¹, Н.Д. Ильинская¹, К.В. Калинина¹, С.С. Кижаяев¹, А.М. Монахов¹, В.В. Шерстнев¹, А.Н. Баранов², Ю.П. Яковлев¹

¹ Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26, dap@iropt4.ioffe.ru

² Université Montpellier 2, 34095 Montpellier, France.

Лазеры, работающие на модах шепчущей галереи, привлекают к себе особое внимание по причине очень высокой добротности дискового резонатора (10^6). Это особенно актуально для лазеров среднего ИК диапазона, где сильны процессы безызлучательной рекомбинации, что существенно понижает оптическое усиление в активной области.

Но имеется и проблема: как вывести излучение из резонатора, если граница диска идеальна? Нами был предложен новый способ вывода излучения: деление диска на половинки и четвертинки. В этом случае мы комбинируем положительные черты дискового резонатора и полоскового лазера, т.е. мы имеем и высокое оптическое усиление, и отражение от сколотых граней.

Нами был сделан теоретический расчет межмодового расстояния мод шепчущей галереи для лазеров с полным диском и с секторным. Мы показали, что моды шепчущей галереи присутствуют в обоих случаях. Для проверки расчетов мы создали дисковые лазеры на основе квантовых ям GaInAsSb/AlGaAsSb для спектрального диапазона 2.0-2.4 мкм, работающие при комнатной температуре. Спектры излучения этих лазеров подтверждают наши теоретические предсказания. По нашему мнению, такие лазеры могут быть использованы как двухлучевые источники когерентного излучения среднего ИК диапазона для портативных лазерных спектрометров.

Технология создания резонатора WGM-лазера ($\lambda=2-4$ мкм).

Е.А. Гребенщикова¹, В.В. Шерстнев¹, А.М. Монахов¹, Н.Д. Ильинская¹,
С.С. Кижаяев¹, А.П. Астахова¹, А.Н. Баранов², Ю.П. Яковлев¹

¹ Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, С.-Петербург, 194021, Политехническая 26, eagr.iropt7@mail.ioffe.ru

² Institut d'Electronique du Sud (IES), Universite Montpellier 2, 34095 Montpellier

WGM-лазеры (лазеры на модах шепчущей галереи) являются перспективными источниками когерентного излучения для среднего ИК спектрального диапазона. Световой поток формируется в резонаторе лазера, степень вывода излучения из активной части лазерного чипа существенным образом зависит от формы и качества изготовления резонатора. Следовательно, усилия исследователей направлены на разработку технологий создания резонаторов, позволяющих получить когерентное выходное излучение большой мощности при небольших пороговых токах и высоких температурах.

В данной работе представлены результаты исследований, направленных на разработку технологии создания резонатора, формирующего устойчивую WGM-моду. Основная сложность при изготовлении лазерных чипов на основе многослойных структур заключается в том, что скорости травления слоев различаются. Это не позволяет придать резонатору цилиндрическую форму, которая, как показали теоретические исследования, является эффективной для WGM излучения. Для решения этой задачи была разработана технология постростовой обработки гетероструктуры, основанная на применении травителя $\text{CrO}_3/\text{HF}/\text{H}_2\text{O}$. Использование такого травителя позволило получить резонатор цилиндрической формы диаметром 200 мкм и высотой 15 мкм с выступами в виде пагоды. Лазер, смонтированный на основе такого резонатора, генерировал излучение на длине волны 2.4 мкм при комнатной температуре в импульсном режиме.

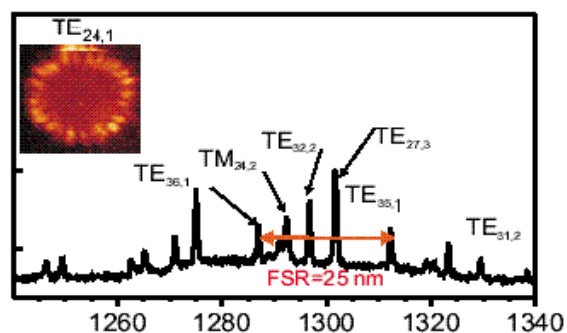
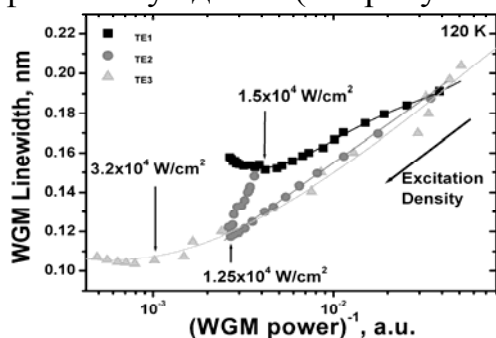
Таким образом, предложенная технология создания резонатора впервые позволила создать ИК полупроводниковый WGM-лазер, излучающий на длине волны 2.4 мкм при комнатной температуре.

Исследование мод шепчущей галереи в микродисковых резонаторах с квантовыми точками InAs/GaAs.

А.М. Надточий, С.А. Блохин, М.В. Максимов

Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26
al.nadtochy@mail.ioffe.ru

Методами спектроскопии микрофотолюминесценции и сканирующей микроскопии ближнего поля исследована структура мод шепчущей галереи в микродисках (МД) с асимметричным волноводом воздух/GaAs/AlGaO и активной областью на основе InAs квантовых точек (КТ). Вследствие малого усиления активной области и низких потерь на вывод излучения в МД для достижения генерации необходимы моды с высокой добротностью ($>5 \cdot 10^3$), типично моды с наименьшими радиальными числами ($TE_{x,1}$). Межмодовое расстояние в наборе мод ($TE_{x,1}$) составляет ~ 25 нм, что сопоставимо с типичными параметрами спектра усиления КТ (полуширина пика, спектральный зазор между возбужденными состояниями). Таким образом, одним из определяющих факторов работы приборов на основе МД с КТ является детюнинг – согласование спектра усиления с модовым спектром. Под воздействием излучения накачки в МД проявляются такие эффекты, как разогрев активной области (до 80 К), многочастичное взаимодействие и плазменный эффект. Комбинация указанных факторов приводит к изменению исходного спектрального согласования и, как следствие, к влиянию модовых чисел на характер зависимостей интенсивности и ширины линии от плотности фотовозбуждения (см. рисунок).



**Новые материалы GaInAsPSb/AlGaInAsSb/GaSb(InAs) для
полупроводниковых лазеров среднего инфракрасного диапазона.**

**Г.С. Гагис¹, В.И. Васильев¹, А.Г. Дерягин¹, В.Н. Дюделев¹,
А.С. Маслов¹, Р.В. Лёвин¹, Б.В. Пушный¹, В.М. Смирнов²,
Г.С. Соколовский¹, Г.Г. Зегря¹, В.И. Кучинский¹**

¹ Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26, gitan@mail.ioffe.ru

² ЗАО "Научное и технологическое оборудование", 194156, Санкт-Петербург, пр. Энгельса 27

В работе предлагается новый класс узкозонных полупроводниковых материалов и гетероструктур на их основе [1], подходящих для создания оптоэлектронных приборов среднего инфракрасного диапазона: лазеров, работающих при комнатной температуре [2,3], и термо-фотоэлектрических преобразователей. Даны оценки рабочих характеристик лазеров на основе предложенных гетероструктур, проведены комплексные экспериментальные исследования спектров излучения таких материалов, продемонстрирована эффективная фотолюминесценция на длине волны порядка 3 мкм при комнатной температуре (300 К). Оценки показывают, что при комнатной температуре благодаря подавлению СННС-процесса Оже-рекомбинации величина порогового тока для лазера на основе предложенных материалов не должна превышать 1000 А/см².

Литература

- [1] V.I.Vasil'ev, G.S.Gagis, V.I.Kuchinskii et al., Appl. Phys. Lett. **91**, p.082102-082102-3 (2007).
- [2] V.I.Vasil'ev, G.S.Gagis, V.I.Kuchinskii et al., Appl. Phys. Lett. **90**, p.211115-211115-3 (2007).
- [3] V.I.Vasil'ev, G.S.Gagis, V.I.Kuchinskii et al., Phys. Stat. Sol. A, **204**(4), 1047 (2007).

Фиолетово-зеленый инжекционный лазерный конвертер на основе наноструктур с квантовыми точками полупроводников II-VI.

С.В. Гронин¹, С.В. Сорокин¹, И.В. Седова¹, С.В. Иванов¹, Е.В. Луценко²,

А.Г. Войнилович², Н.П. Тарасюк², Г.П. Яблонский²

¹ Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26, Wnn3@mail.ioffe.ru

² Институт физики им. Б.И. Степанова, НАН Беларуси, Минск, 220072, пр. Независимости 68

В последние несколько лет достигнуты значительные успехи в получении и исследовании нелегированных лазерных гетероструктур на основе ZnSe с квантовыми точками (КТ) CdSe/ZnSe в активной области. В частности, при оптической накачке таких гетероструктур получена высокая квантовая эффективность (~40 %) и рекордно низкая пороговая плотность мощности накачки (~2.5 кВт/см², T=300 K) [1]. Также продемонстрирована возможность использования подобных наноструктур в качестве активных элементов фиолетово-зеленого лазерного конвертера, в котором для накачки II-VI активного элемента используется излучение III-N лазера [2].

В настоящей работе приведены последние результаты по получению и исследованию фиолетово-зеленого инжекционного лазерного III-N/II-VI конвертера с квантовой эффективностью ~1 % на длине волны $\lambda=515$ нм при оптической накачке промышленным импульсным InGaN/GaN лазерным диодом. В качестве активной области использовались 5 слоев КТ CdSe/ZnSe с номинальной толщиной ~2.5 монослоя, разделенные барьерами ZnSSe толщиной 5 нм. Накачка производилась III-N лазерным диодом в импульсном режиме (длина импульса 50 нс при частоте 1 кГц) с длиной волны 416 нм. Была достигнута импульсная лазерная мощность 8 мВт с одной грани II-VI гетероструктуры в зеленом спектральном диапазоне ($\lambda=515$ нм). Полученные результаты являются первым шагом к получению компактных полупроводниковых инжекционных лазеров на основе материалов II-VI.

Литература

- [1] S.V.Ivanov et al., Phys. stat. sol. (c) **3**(4), 1229-1232 (2006).
[2] S.V.Sorokin et al., Electron. Lett. **43**(3), 162 (2007).

Использование гетероструктур с глубокими квантовыми ямами при создании ИК-лазера среднего диапазона.

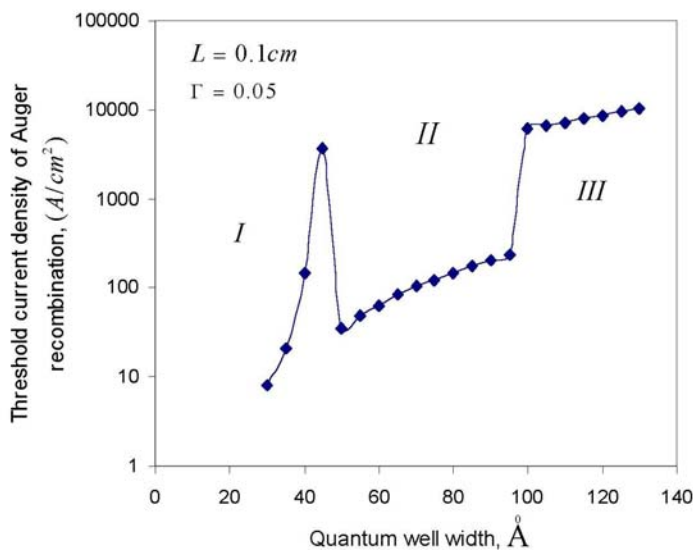
Л.В. Данилов, Г.Г. Зегря

¹ Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021,
Политехническая, 26
danleon84@mail.ru, zegrya@theory.ioffe.ru

1. Оже-рекомбинация является основным каналом безызлучательной рекомбинации носителей заряда в полупроводниковых гетероструктурах. Преобладание Оже-процессов над излучательной рекомбинацией препятствует созданию гетеролазеров, эффективно работающих в среднем и дальнем ИК-диапазонах спектра.

2. Процессы Оже-рекомбинации в объемном полупроводнике являются пороговыми по своей природе. Наличие же гетеробарьера приводит к появлению дополнительного беспорогового механизма Оже-рекомбинации, который является более мощным каналом рекомбинации.

3. Применение гетероструктуры с глубокими квантовыми ямами, а также правильный выбор параметров ямы позволяет добиться подавления беспороговых процессов Оже-рекомбинации и получить вполне приемлемые характеристики ИК-лазера на основе подобной структуры.



Нерасходящиеся лучи света от полупроводниковых излучателей.

В.В. Дюделев¹, Г.С. Соколовский¹, С.Н. Лосев¹, А.Г. Дерягин¹,
Д.А. Винокуров¹, А.В. Лютецкий¹, Н.А. Пихтин¹, С.О. Слипченко¹,
И.С. Тарасов¹, С.А. Золотовская², Э.У. Рафаилов²,
В. Сиббет³, В.И. Кучинский¹

¹ Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26, vlad@kuch.ioffe.ru

² Carnegie Laboratory of Physics, Division of Electronic Engineering and Physics, University of Dundee, Nethergate, Dundee, DD1 4HN, UK

³ School of Physics and Astronomy, University of St Andrews, North Haugh, St Andrews, KY16 9SS, UK

В работе исследована возможность получения пространственно-инвариантных (Бесселевых) пучков света [1,2] при использовании в качестве источника излучения различных полупроводниковых излучателей [3]. Для получения пространственно-инвариантных пучков использовались аксиконы с углами при вершине 178° и 170° , что обеспечивало диаметр центрального пятна 100 и 10 мкм соответственно. В качестве источника излучения применялись различные типы светоизлучающих диодов, квазиодномодовые поверхностно-излучающие полупроводниковые лазеры с вертикальным резонатором и торцевые лазерные диоды с широким полоском (100 мкм). Показано, что полупроводниковые излучатели являются перспективными источниками для получения пространственно-инвариантных пучков света для применения в различных устройствах манипулирования микроскопическими и наноразмерными объектами, в том числе в так называемых «оптических пинцетах».

Литература

- [1] Б.Я.Зельдович и др., Изв. ВУЗов, Радиофизика **9**(1), 95-101 (1966).
- [2] J.Durnin, J.Opt.Soc.Am. A **4**, 651-654 (1987).
- [3] Г.С.Соколовский, В.В.Дюделев и др., ПЖТФ **34**(24), 75-82 (2008).

Полосковые лазеры с увеличенной температурной стабильностью длины волны излучения.

**Ю.Ю. Киселёв^{1,3}, Л.Я. Карачинский¹, И.И. Новиков¹, М.В. Максимов¹,
В.А. Щукин^{1,2}, Д. Бимберг², Н.Ю. Гордеев¹, Н.Н. Леденцов^{1,2}**

¹ Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26, kiselev@mail.ioffe.ru

² Institut für Festkörperphysik, Technische Universität Berlin, PW 5-2, Hardenbergstr. 36, D-10623 Berlin, Germany

³ Санкт-Петербургский Политехнический Государственный Университет, Санкт-Петербург, 195251, Политехническая 29

Полупроводниковые лазеры, обладающие высокой температурной стабильностью параметров лазерной генерации, необходимы для широкого набора применений. В настоящее время температурная стабильность длины волны излучения обычно обеспечивается в вертикально-излучающих лазерах и в лазерах с распределенной обратной связью, имеющих достаточно сложную конструкцию и невысокую мощность излучения. В данной работе исследованы характеристики температурно-стабильных полупроводниковых лазеров полностью эпитаксиальной конструкции [1], в волноводе которых используются многослойные интерференционные отражатели.

Были исследованы торцевые лазеры спектрального диапазона 0.98 мкм на основе квантовых ям InGaAs и 1.3 мкм на основе квантовых точек InAs, и показано, что они обладают высокой температурной стабильностью длины волны лазерной генерации: 0.13 нм/К и 0.2 нм/К соответственно. Лазеры с узким полосковым контактом показали одномодовое излучение с высокой выходной оптической мощностью.

Литература

[1] N.N.Ledentsov, V.A.Shchukin, *Novel concepts for injection lasers*, Opt. Eng. **41**, 3193 (2002).

Наблюдение утечки неосновных дырок из активной области работающего InGaAs/AlGaAs/GaAs лазерного диода с помощью сканирующей Кельвин-зонд микроскопии.

А.В. Анкудинов, В.П. Евтихийев, К.С. Ладутенко

*Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26
fisik2000@mail.ru*

Одной из основных причин снижения выходной мощности и уменьшения эффективности полупроводниковых инжекционных лазеров является утечка неравновесных носителей из активной области. Хорошие возможности для прямого изучения распределения инжектированных носителей в реально работающем лазерном диоде дает метод сканирующей Кельвин-зонд микроскопии (СКЗМ) [1]. Однако протекание больших токов инжекции при постоянном смещении приводит к омическому нагреву образца и, как следствие, к значительным затруднениям при получении точных экспериментальных данных. В нашей работе удалось значительно расширить диапазон рабочих токов для изучения токов утечки методом СКЗМ за счет использования импульсной накачки лазерного диода.

Выброс носителей из активной области приводит к изменению поверхностного потенциала зеркала лазера вследствие захвата неосновных носителей на приповерхностные уровни. Так как время релаксации поверхностного заряда на порядки превышает период повторения импульсов тока, оказывается возможным связать изменение поверхностного потенциала при включении импульсного режима с амплитудой импульса тока, проходящего через лазер, что и является основным оригинальным результатом работы.

Литература

- [1] M.Nonnenmacher, M.P.O'Boyle, H.K.Wickramasinghe, Appl. Phys. Lett. **58**, 2921 (1991).

Квантово-туннельные эффекты в двухсекционной волноводной структуре с вертикально-сопряженными квантовыми точками.

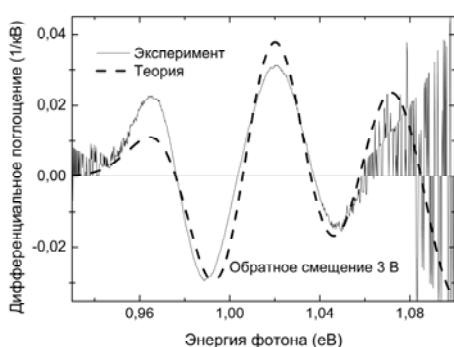
В.В. Николаев, И.О. Бакшаев, М.С. Буяло, И.М. Гаджиев,

Н.С. Аверкиев, Е.Л. Портной

Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе,
Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26

Valentin.Nikolaev@mail.ioffe.ru

Полупроводниковые структуры с вертикально-сопряженными квантовыми



точками (КТ) привлекают повышенное внимание с

момента их практической реализации методом

молекулярно-пучковой эпитаксии [1], связанное

как с перспективами их применения в

оптоэлектронике, так и с возможностью изучения

фундаментальных квантово-механических

эффектов [2]. В данной работе изучается

двухсекционная волноводная структура, применяемая, в частности, для создания

импульсных полупроводниковых лазеров. Измерения проводились при комнатной

температуре, электрическое поле, приложенное к КТ, регулировалось при помощи

изменения обратного напряжения. Применение метода модуляционной

спектроскопии выявило в спектрах дифференциального поглощения наличие

разнообразных особенностей (см. Рисунок), обладающих нетривиальной

зависимостью от приложенного поля. Разработка теоретического метода,

учитывающего как квантово-туннельное взаимодействие между КТ, так и

неоднородное уширение, позволила интерпретировать наблюдаемые эффекты как

результат образования смешанных квантово-связанных электронных состояний с

расщеплением около 30 мэВ.

Литература

[1] N.N.Ledentsov, V.A.Shchukin *et al.*, Phys. Rev. B **54**, 8743 (1996).

[2] H.J.Krenner, M.Sabathil *et al.*, Phys. Rev. Lett. **94**, 057402 (2005).

Стабилизация концентрации неравновесных носителей заряда на основном уровне квантовой ямы в условиях межзонной лазерной генерации.

Л.Е. Воробьев, Д.А. Фирсов, В.А. Шалыгин, **В.Ю. Паневин**

*СПбГПУ, Санкт-Петербург, 195251, Политехническая 29
rvuu@rphf.spbstu.ru*

Структуры с квантовыми ямами (КЯ) сложной формы позволяют управлять энергетическим спектром свободных носителей заряда и временами их жизни в подзонах размерного квантования и могут быть использованы для создания лазеров на межподзонных переходах.

В работе [1] была предложена схема, обеспечивающая, согласно оценкам, внутризонную инверсию населенности между возбужденными подзонами размерного квантования в ступенчатых КЯ. Как показано в [1], одним из необходимых условий, поддерживающих внутризонную инверсию населенности, является стабилизация концентрации неравновесных носителей заряда в основном состоянии КЯ при возникновении межзонной лазерной генерации.

В данной работе для двух типов структур с КЯ сложной формы (ступенчатой и туннельно-связанными) двумя различными экспериментальными методами (с использованием межзонной фотолюминесценции и фотоиндуцированного внутризонного поглощения света) продемонстрировано явление стабилизации концентрации неравновесных носителей заряда на основном состоянии КЯ при уровнях накачки, превышающих порог возникновения межзонной лазерной генерации.

Литература

- [1] A.Kastalsky, L.E.Vorobjev, D.A.Firsov, V.L.Zerova, E.Towe, IEEE J. of Quant. Electron. **37**, 1356 (2001).

Полупроводниковые лазеры с оптической накачкой и возможность их применения для создания источников в среднем ИК диапазоне.

А.А. Андронов^{1,2}, А.В. Маругин², Ю.Н. Ноздрин¹, А.В. Окомельков¹,

Д.Е. Святошенко²

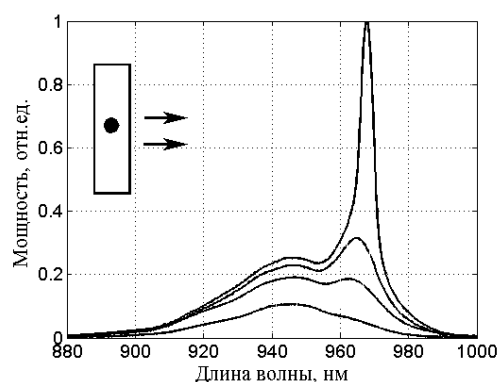
¹ *Институт физики микроструктур РАН*

² *Нижегородский государственный университет, Нижний Новгород*
sv_dan@mail.ru

Исследуется люминесценция и стимулированное излучение ряда лазерных гетероструктур с квантовыми ямами и точками, изготовленных в разных российских группах. Изучались как гетероструктуры с резонаторами, так и структуры “as grown”, при оптической накачке твердотельными и полупроводниковыми лазерами. Для некоторых “as grown” структур обнаружено, что стимулированное излучение возникает в пятне накачки, не достигающем границ структуры. В качестве примера на рисунке представлены спектры люминесценции структуры

InGaAs/GaAs/GaAsP с 20 квантовыми ямами, изготовленной в группе Б.Н.Звонкова (НИФТИ), при засветке импульсным полупроводниковым лазером на длине волны 0.8 микрона только части образца. Общей мотивацией исследований является

попытка получить излучение в среднем ИК диапазоне за счет смешения частот возникающего в структуре лазерного излучения и накачки. В докладе приведены расчеты условий и интенсивности такого смешения для гетероструктур с квантовыми точками. Предполагается продемонстрировать экспериментальные результаты по смешению частот в таких структурах. Работа поддержана Грантами РФФИ 06-02-16685, 07-02-00935, 07-02-13616 и Грантом НШ-2786.2008.2.



Эмиссия излучения терагерцового диапазона из легированных квантовых ям GaAs/AlGaAs и микроструктур GaAsN/GaAs.

Л.Е. Воробьев, Д.А. Фирсов, В.А. Шалыгин, В.Ю. Паневин, **А.Н. Софронов**

*СПбГПУ, Санкт-Петербург, 195251, Политехническая 29
sofronov@rphf.spbstu.ru*

В настоящее время в полупроводниковой оптоэлектронике наблюдается повышенный интерес к способам генерации и детектирования излучения дальнего инфракрасного диапазона, что связано с многочисленными потенциальными применениями твердотельных полупроводниковых источников терагерцового (ТГц) излучения. Одним из выдающихся достижений в этой области стало создание квантового каскадного ТГц лазера [1], но технология его производства крайне сложна. Однако задолго до этого сообщалось о стимулированном излучении ТГц диапазона в деформированных кристаллах р-Ge [2], которое связано с оптическими переходами дырок между резонансными и связанными состояниями акцепторов. В данной работе исследована эмиссия ТГц излучения из структур с квантовыми ямами GaAs/AlGaAs, легированными Si и микроструктур GaAsN/GaAs, легированных Be. В таких системах резонансные состояния примеси создаются не за счет внешней деформации, а благодаря размерному квантованию или внутренним напряжениям. В работе проведены исследования интегральных и спектральных характеристик излучения, возникающего при низких температурах в условиях пробоя примеси электрическим полем. Показано, что возникающее излучение может быть связано с внутрицентровыми оптическими переходами между резонансными и локализованными состояниями примеси.

Литература

- [1] R.Kohler et. al., Nature, **417**, 156, (2002).
- [2] И.В.Алтухов, М.С.Каган, В.П.Синис, Письма в ЖЭТФ **47**, 133 (1988).

Изучение локальной структуры полупроводниковых лазеров с наноразмерной активной областью.

К.Ю. Погребницкий, М.Е. Бойко, **М.Д. Шарков**, С.Г. Конников

*Учреждение Российской академии наук Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе,
Санкт-Петербург, 194021, Политехническая 26
mischar@mail.ioffe.ru*

Свойства и рабочие характеристики полупроводниковых лазеров существенно зависят от их атомной структуры. Изучение локальной атомной структуры субмикронных слоев лазеров требует применения неразрушающих методов исследования вещества. Эти методы должны исследовать вещество на толщинах порядка 7 – 12 мкм. При этом требуется разрешение в 10^{-3} нм. Такие исследования должны сопровождаться изучением локальной электронной структуры активных слоев лазеров с разрешающей силой до 6000. Это позволит контролировать электронное и субатомное строение активных областей полупроводниковых лазеров.

Существенным методом такого всеобъемлющего контроля является спектроскопия XAFS (X-Ray Absorption Fine Structure), т.е. спектроскопия тонкой структуры рентгеновского поглощения.

Нами разработано пять поколений рентгено-электронных спектрометров для реализации XAFS-спектроскопии. Они установлены на предприятиях МЭП, в Техническом университете Вены, в корпорации «Самсунг Электроникс» (Samsung Electronics Co.), в Институте Стандартов в Ю. Корее, который обеспечивает стандартизацию материалов и оборудования в Юго-Восточной Азии.