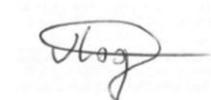


*на правах рукописи*



ПОДОСКИН Александр Александрович

**Эффекты переключения мод в AlGaAs/InGaAs/GaAs  
полупроводниковых лазерах и интегрально-оптические  
модуляторы мощного излучения на их основе**

01.04.10 - физика полупроводников

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург  
2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Научный руководители:

доктор технических наук, профессор  
кандидат физико-математических наук  
старший научный сотрудник

И.Н. Арсентьев

С.О. Слипенчко

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой Д.А. Фирсов  
«Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»  
доктор технических наук, руководитель отдела А.А. Мармалюк  
«Научно-Исследовательский институт «Полнос» им. М.Ф. Стельмаха

Ведущая организация:

«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Защита состоится “ 17 ” мая 2012 г. в “ 10 ” часов на заседании совета Д-002.205.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук по адресу:

194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

Автореферат разослан “ 16 ” апреля 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д-002.205.02  
доктор физико-математических наук



Л.М. Сорокин

### **Актуальность темы.**

Актуальность разработки источников мощного модулированного излучения обусловлена широким спектром их применений. В частности, в системах навигации и мониторинга, в радиолокационных комплексах на основе фазированных антенных решеток, в системах беспроводной передачи информации и контроля состояния окружающей среды требуются компактные источники мощного модулированного лазерного излучения. Специфика подобных систем налагает высокие требования по компактности, энергетической эффективности и простоты осуществления модуляции.

Полупроводниковые лазеры на основе двойных гетероструктур раздельного ограничения со сверхнизкими оптическими потерями продемонстрировали высокие характеристики по мощности и энергоэффективности: КПД 74% и более 16Вт выходной оптической мощности [1,2]. При этом ряд физических явлений, возникающих при работе лазеров полосковой конструкции, позволяет реализовать интегрально-оптическую конструкцию лазера-модулятора. К таким явлениям, в частности, относится возникновение в лазерном кристалле мощного Фабри-Перо лазера новых модовых структур с высокой добротностью. Такие модовые структуры охватывают весь кристалл полоскового полупроводникового лазера, испытывая при распространении полное внутреннее отражение от всех четырех сколов лазерного кристалла.

Пороговый характер этих явлений позволяет реализовать переключение генерации между модой резонатора Фабри-Перо резонатора и высокодобротной замкнутой модой за счет изменения условий распространения замкнутой моды в кристалле. Изменения условий распространения замкнутой моды и, соответственно, пороговых условий возможно реализовать за счет изменения поглощения на линии генерации замкнутой моды в пассивной части лазерного кристалла.

Таким образом, задача исследования особенностей работы лазеров полосковой конструкции и явлений переключения модовых структур является актуальной как с научной, так и с практической точек зрения.

**Основная цель работы** заключалась в исследовании процессов взаимодействия модовых структур резонатора Фабри-Перо и замкнутой в мощных полупроводниковых лазерах полосковой конструкции на основе двойных гетероструктур раздельного ограничения и создании модулятора мощного лазерного излучения на основе явления

конкуренции модовых структур резонатора Фабри-Перо и замкнутой.

Для достижения поставленной цели решался следующий комплекс задач:

1. Исследование явления обратимого срыва генерации моды Фабри-Перо мощных многомодовых лазеров полосковой конструкции на основе квантово-размерных, асимметричных AlGaAs/InGaAs/GaAs гетероструктур отдельного ограничения.
2. Исследование условий распространения излучения модовых структур Фабри-Перо резонатора и замкнутой в кристаллах мощных полупроводниковых лазеров полосковой конструкции.
3. Исследование спектрального состава и пространственной конфигурации модовых структур Фабри-Перо резонатора и замкнутой в кристаллах полупроводниковых лазеров полосковой конструкции.
4. Исследование механизмов управления условиями распространения излучения в кристаллах полупроводниковых лазеров и возможности реализации интегрально-оптического модулятора мощного излучения на основе принципа переключения генерации между модами Фабри-Перо и замкнутой.

Представляемые к защите научные положения.

1. В Фабри-Перо лазерах на основе асимметричных гетероструктур с низкими внутренними оптическими потерями генерация моды Фабри-Перо может подавляться за счет включения новых модовых структур, характеризующихся меньшим значением порогового модального усиления.
2. Порог генерации замкнутой моды в Фабри-Перо лазерах полосковой конструкции определяется снижением межзонного поглощения пассивной области в результате заполнения энергетических зон фотогенерированными носителями заряда и сужением ширины запрещенной зоны квантово-размерной области усиления относительно края фундаментального поглощения за счет кулоновского взаимодействия инжектированных носителей заряда и теплового разогрева.
3. Модуляция выходного излучения непрерывно накачиваемой секции усиления интегрально-оптического модулятора возможно за счет переключения генерации между модами Фабри-Перо резонатора и замкнутой в результате изменения пороговых условий только для

замкнутой моды.

4. Обратимое переключение со стационарного режима генерации моды Фабри-Перо на замкнутую моду происходит в результате инжекции носителей заряда в секцию управления вследствие снижения потерь для замкнутой моды на межзонное поглощение в секции управления интегрально-оптического модулятора. Обратимое переключение со стационарного режима генерации замкнутой моды на генерацию моды Фабри-Перо происходит вследствие увеличения оптических потерь на межзонное поглощение в секции управления внешним электрическим полем за счет квантово-размерного эффекта Штарка.

#### **Научная новизна.**

1. Продемонстрирована связь замкнутой моды с процессом генерации моды Фабри-Перо резонатора в мощных полупроводниковых лазерах полосковой конструкции. Показано, что мода Фабри-Перо может подавляться за счет включения новых модовых структур с высокой добротностью.
2. Выполнение пороговых условий генерации замкнутой моды в лазерах полосковой конструкции связано с величиной расщепления спектров усиления в активной полоске (прокачиваемом током) и поглощения в пассивной части лазера (не прокачиваемой током).
3. Смещение спектра усиления в активной полоске в длинноволновую область определяется температурным разогревом активной области, а также эффектами, связанными с возрастанием концентрации носителей заряда в квантовой яме (экранировка атомных потенциалов и внутризонное рассеяние носителей заряда [3]).
4. Показано, что положение линии генерации замкнутой моды определяется фундаментальным краем спектра поглощения материала активной области лазерной гетероструктуры и смещено в длинноволновую область относительно линии генерации моды Фабри-Перо.
5. Экспериментально продемонстрирована возможность изменения модового состава излучения интегрально-оптического модулятора за счет спектрально и пространственно селективного управления оптическими потерями замкнутой моды.

**Практическая ценность:**

1. Предложен новый принцип модуляции мощного лазерного излучения в мощных полупроводниковых лазерах полосковой конструкции: переключение между модовыми структурами с различными оптическими потерями на выход.
2. Предложена конструкция интегрально-оптического модулятора мощного лазерного излучения, включающая секцию усиления с непрерывной накачкой и секцию управления, электрически изолированную и оптически связанную с секцией усиления. Предложено два способа переключения генерации между модами Фабри-Перо и замкнутой. При стационарной генерации моды Фабри-Перо за счет уменьшения поглощения замкнутой моды в секции управления инжектируемыми носителями заряда. При стационарной генерации замкнутой моды за счет увеличения поглощения замкнутой моды при приложении поля к квантово-размерной активной области секции управления.
3. Сформулированы условия переключения генерации между модами Фабри-Перо и замкнутой – на основании соотношений пороговых условий для мод Фабри-Перо и замкнутой. Определены зависимости пороговых условий генерации мод Фабри-Перо и замкнутой для различных параметров лазерного кристалла.
4. На основе квантово-размерной AlGaAs/GaInAs/GaAs гетероструктуры отдельного ограничения (со сверхтолстым волноводом) разработана конструкция интегрально-оптического модулятора мощного лазерного излучения моды Фабри-Перо.
5. Продемонстрировано переключение 6Вт выходной оптической мощности с фронтом 1нс методом прямой токовой накачки пассивной части лазерного кристалла полоскового лазера с эффективностью модуляции по току 30Вт/А; переключение 10Вт с фронтом 300пс при приложении обратного смещения к пассивной части лазера.

**Приоритет результатов.** В диссертации впервые рассмотрена возможность создания интегрально-оптического модулятора излучения мощного полупроводникового лазера полосковой конструкции на основе явления конкуренции мод резонатора Фабри-Перо и замкнутой моды, распространяющейся в кристалле за счет полного внутреннего отражения.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы докладывались на Международной конференции «Лазеры. Измерения. Информация», 2009, 2 – 4 июня, Санкт-Петербург; на конференции «Физика и астрономия», 2010, 26 – 28 октября, Санкт-Петербург; на Конференции «Физика и астрономия», 2011, 26 – 27 октября, Санкт-Петербург; на 2-ом Симпозиуме «Полупроводниковые лазеры: физика и технология», 2010, 10 – 12 ноября; Санкт-Петербург; на 8 Белорусско-Российском семинаре «Полупроводниковые лазеры и системы на их основе», 2011, Минск, 17-20 мая. на конференции «Scientific and applied conf. Opto-nano electronics and renewable energy sources», 2010, Varna, Bulgaria; на международном симпозиуме «XVIII Int. Symp. on Gas Flow and Chemical Lasers & High Power Lasers», 2010, 30 aug.-3 sept., Sofia, Bulgaria.

**Публикации.** По результатам диссертационной работы опубликовано 5 работ; список работ приведен в конце автореферата.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитированной литературы. Общий объем диссертации составляет: количество страниц \_\_\_\_, в том числе страниц основного текста \_\_\_\_, \_\_ рисунков и \_\_ таблицы. Список цитированной литературы включает в себя \_\_ наименований.

### **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована основная цель работы, показаны ее научная новизна, практическая ценность и приоритет результатов, приведены выносимые на защиту научные положения.

**В первой главе** приведен обзор литературных источников, посвященных развитию методов модуляции излучения полупроводниковых лазеров, ориентированных на возможность интегрально-оптического исполнения приборов.

**Первый параграф** посвящен истории развития физических представлений об оптических явлениях в полупроводниках. Дана краткая историческая справка по развитию представлений об электромагнитных полях и их взаимодействии с веществом, рассмотрена связь электромагнитных констант, характеризующих вещество, с оптическими свойствами – показателем преломления и

коэффициентом поглощения. Далее рассмотрены оптические явления в полупроводниках: особенности спектра поглощения – явление экситонного механизма и влияние электрических полей на спектр поглощения и дисперсию показателя преломления в полупроводнике.

**Второй параграф** посвящен анализу литературных данных о развитии методов модуляции излучения полупроводниковых лазеров. Рассмотрены методы прямой токовой модуляции и методы, основанные на управлении оптическими свойствами полупроводников – электроабсорбционные и электрорефракционные способы модуляции и история развития приборов на их основе.

**В третьем параграфе** рассмотрено явление нелинейности ватт-амперной характеристики в мощных полупроводниковых лазерах и ее причины.

**Во второй главе** проведен анализ условий работы мощных полупроводниковых лазеров полосковой конструкции. Показано, что обратимое падение выходной оптической мощности в лазерах полосковой конструкции может быть связано с возникновением в лазерном кристалле новой модовой структуры, работающей на принципе полного внутреннего отражения от всех четырех граней кристалла – замкнутой моды. Проведен теоретический анализ соотношений пороговых условий для мод Фабри-Перо (ФПМ) и замкнутой (ЗМ). Экспериментально проанализированы условия работы мощного полупроводникового лазера полосковой конструкции при возникновении ЗМ.

**В первом параграфе** рассматривается явление обратимого падения мощности ФПМ в мощных полупроводниковых лазерах полосковой конструкции (рис. 1).

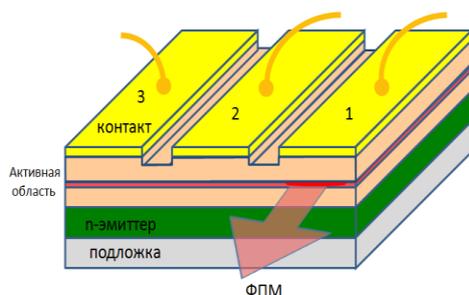


Рис. 1. Обобщенная схема кристалла мощного полупроводникового лазера полосковой конструкции. 1 – активный полосок (или секция усиления – СУс), 2 и 3 – пассивные части кристалла (или секции управления – СУп)

Рассматриваются пространственные и спектральные характеристики

модовой структуры, возникающей при срыве генерации ФПМ. Показано, что возникающая при срыве генерации модовая структура охватывает весь лазерный кристалл и характеризуется линией генерации, смещенной в длинноволновую область относительно спектра ФПМ.

**Второй параграф** посвящен исследованию условий работы лазеров полосковой конструкции с квантовой ямой в качестве активной области. Исследованы спектры электролюминесценции, усиления активных полосков и спектры поглощения пассивных частей лазерного кристалла. Измерено нетемпературное сужение ширины запрещенной зоны вследствие накопления носителей заряда в квантовой яме активного полоска полупроводникового лазера (Рис.2).

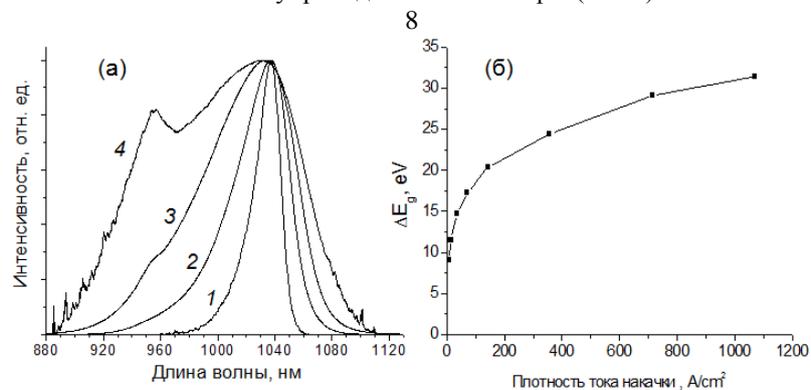


Рис. 2. (а) Нормированные спектры электролюминесценции при плотности тока накачки, А/см<sup>2</sup>: 1 – 7, 2 – 71, 3 – 357, 4 – 1070. (б) ширина длинноволнового плеча спектра электролюминесценции (величина нетемпературного сужения ширины запрещенной зоны).

Исследованы зависимости краевого поглощения от условий накопления заряда в активной области пассивных частей лазерного кристалла; показано, что на длине волны генерации ЗМ изменение поглощения с изменением концентрации носителей заряда носит немонотонный характер (Рис.3). Так же исследованы спектры усиления активного полоска и показано, что материальное усиление для ЗМ сравнимо с максимальным усилением (на длине волны ФПМ).

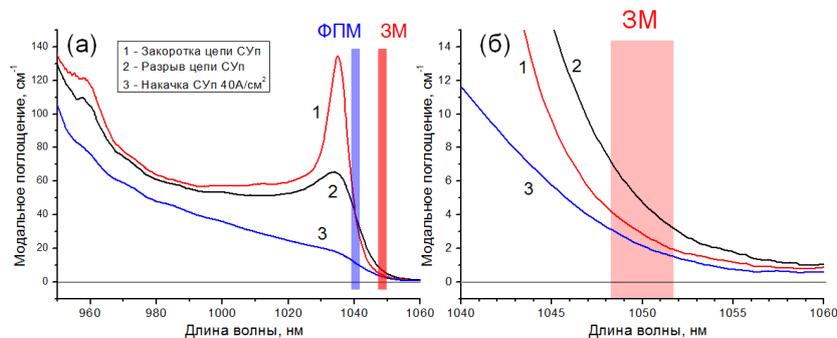


Рис. 3. Спектральные зависимости модального поглощения СУп при различных условиях накопления заряда: 1 – закоротка цепи СУп, 2 – разрыв цепи СУп, 3 – токовая инжекция  $40\text{А/см}^2$  в СУп. (а) общий вид спектра. (б) поглощение на линии генерации ЗМ. Полосами выделены положения линий генерации ФПМ и ЗМ.

**В третьем параграфе** теоретически рассмотрены соотношения, определяющие пороговые условия генерации ЗМ в кристалле плоского полупроводникового лазера. Показано, что выполнение порога генерации ЗМ определяется:

- величиной модальной расстройки усиления по отношению к ФПМ  $\Delta$
- рассогласованием спектра усиления активного полоска и спектра поглощения пассивной части лазерного кристалла
- величиной модального поглощения на линии ЗМ  $\alpha_{M3}^{3M}$
- фактором латерального оптического ограничения для ЗМ  $\Gamma_Y^{3M}$

, определяемой рассогласованием спектров усиления и поглощения и Соотношение для пороговых условий ЗМ и ФПМ:

$$G_{\text{ФПМ}} = \alpha_i + \alpha_{\text{out}}$$

$$\Gamma_Y^{3M} (G_{\text{ФПМ}} - \Delta) = \alpha_i + (1 - \Gamma_Y^{3M}) \alpha_{M3}^{3M}$$

где  $G_{\text{ФПМ}}$  - модальное усиление ФПМ,  $\alpha_i$  - внутренние оптические потери,  $\alpha_{\text{out}}$  - потери ФПМ на вывод излучения из резонатора,  $\Gamma_Y^{3M}$  - фактор латерального оптического ограничения ЗМ.

На рис.4 представлена качественная картина работы полупроводникового лазера полосковой конструкции.

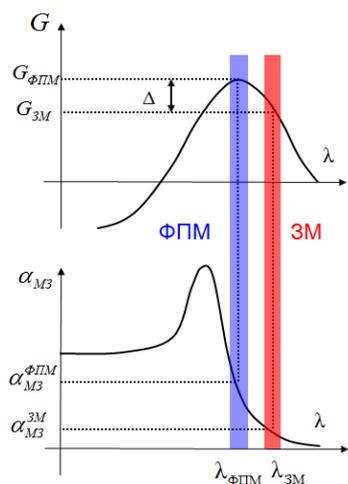


Рис. 4. Качественная картина работы лазера полосковой конструкции. Зависимости модального усиления в активной области под полосковым контактом (1 на рис.1) и потерь в пассивной области (2 и 3 на рис.1) от длины волны;  $\lambda_{ФПМ}$  и  $\lambda_{ЗМ}$  - длины волн генерации ФПМ и ЗМ,  $G_{ФПМ}$  и  $G_{ЗМ}$  - модальное усиление ФПМ,  $\alpha_{МЗ}^{ЗМ}$  и  $\alpha_{МЗ}^{ФПМ}$  - потери на межзонное поглощение в пассивных областях для ЗМ и ФПМ.  $\Delta$  - расстройка по усилению для ЗМ.

**В четвертом параграфе** проведен экспериментальный анализ пороговых условий генерации ЗМ в полупроводниковых лазерах с резонатором Фабри-Перо. Показано, что выполнение пороговых условий для ЗМ связано с накоплением носителей заряда в активной области пассивной части лазерного кристалла. Насыщение фототоков, протекающих через замыкающую цепь пассивной секции лазерного кристалла является признаком наступления просветления и выполнения пороговых условий ЗМ. Показано, что переключение в режим генерации ЗМ сопровождается падением концентрации носителей заряда в активной области активного полоска.

**В пятом параграфе** предложены два способа модуляции излучения мощного полупроводникового лазера на основе явления переключения ФПМ и ЗМ (рис.5). Способы базируются на управлении величиной оптических потерь для ЗМ в пассивной части кристалла (далее – секции управления – СУп) при неизменных условиях накачки активного полоска (далее – секции усиления – СУс). Первый метод заключается в понижении оптических потерь за счет прямой токовой инжекции в СУп (рис.3), благодаря чему снижается порог генерации замкнутой моды и происходит срыв генерации моды Фабри-Перо.

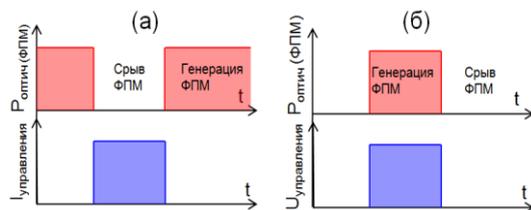


Рис. 5 Схема методов модуляции мощности ФПМ:  
 (а) – прямая токовая инжекция;  
 (б) – приложение обратного напряжения.

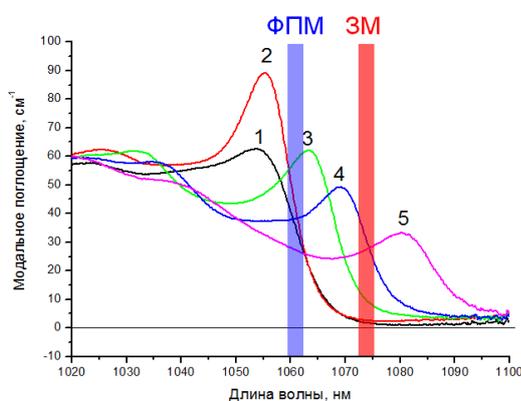


Рис.6. Спектры поглощения в зависимости от величины приложенного обратного смещения (В), 1 – 0, 2 – 6, 3 – 12, 4 – 15, 5 – 20. Полосами выделено положение линий ЗМ и ФПМ в исследованной гетероструктуре

Второй метод связан с увеличением поглощения СУп за счет квантово-размерного эффекта Штарка, возникающего при воздействии электрического поля на квантовую яму СУп (рис.6). Управляющее поле возникает при обратном смещении р-п перехода СУп, в результате чего происходит расширение области объемного заряда и захват квантовой ямы в область поля обратнсмещенного р-п перехода. Увеличение поглощения ведет к росту пороговой концентрации для ЗМ, и лазер, изначально находившийся в режиме генерации ЗМ, переключается в режим ФПМ.

**В третьей главе** проведено моделирование процессов конкуренции модовых структур в мощных полупроводниковых лазерах и интегрально-оптических модуляторах на их основе. С помощью системы скоростных уравнений проанализированы динамические эффекты для носителей зарядов и фотонов ЗМ и ФПМ. Установлены закономерности режимов переключения и параметры, определяющие характер конкуренции ФПМ и ЗМ. Проанализированы возможности различных способов модуляции излучения ФПМ.

**В первом параграфе** рассмотрен общий подход к описанию динамики фотонных и электронных подсистем в полупроводниковом лазере на основе скоростных уравнений для нульмерных систем скоростных уравнений. Описаны и обоснованы упрощающие предположения, на которых базируется построение систем уравнений для описания динамики модовых структур.

**Во втором параграфе** рассмотрены особенности режима прямой токовой модуляции мощного полупроводникового лазера. Сформулированы характеристики, описывающие модуляцию выходной оптической мощности. Приведены параметры, определяющие динамические характеристики фотонной и электронной подсистем. Проведена оценка возможностей и ограничений метода прямой токовой модуляции мощного полупроводникового лазера.

**В третьем параграфе** рассматривалось моделирование режима конкуренции двух модовых структур в кристалле полупроводникового лазера. Структуры характеризовались одинаковыми законами дисперсии материального усиления, но могли различаться оптическими потерями. Показано, что в переходной временной области возможна одновременная генерация модовых структур, характеризующихся различными величинами пороговых концентраций и дифференциальных усилений. Записаны соотношения, определяющие возможность управляемого переключения генерации между модами.

**В четвертом параграфе** моделировалось управляемое переключение ФПМ и ЗМ за счет прямой токовой инжекции в СУп. Рассмотрены случаи обратимого и необратимого переключения. Показано, что амплитуда управляющего токового импульса не является определяющим параметром для временных характеристик переключения. Продемонстрированы предельные возможности для модуляции прямой токовой инжекцией, проанализировано влияние параметров модулятора (конструкция лазерной гетероструктуры и геометрия кристалла).

**В пятом параграфе** проведено моделирование управляемого переключения между ФПМ и ЗМ за счет приложения обратного смещения к СУп лазерного кристалла. Введены предположения, позволяющие описать динамику электронной подсистемы СУп при приложении обратного смещения. Рассмотрены возможности метода приложения обратного смещения и проанализировано влияние параметров модулятора (конструкция лазерной гетероструктуры и геометрия кристалла).

**В четвертой главе** проведены экспериментальные исследования режимов модуляции мощного лазерного излучения на основе принципа переключения модовых структур.

**В первом параграфе** приведено краткое описание экспериментальной методики исследования процессов переключения ФПМ и ЗМ.

**Во втором параграфе** рассмотрена модуляция мощности ФПМ методом прямой токовой инжекции в СУп. Основные результаты представлены на осциллограмме рис. 7. Достигнуто переключение 6Вт оптической мощности с фронтами переключения  $\sim 1-1.5$ нс и эффективностью управления по току 30Вт/А.

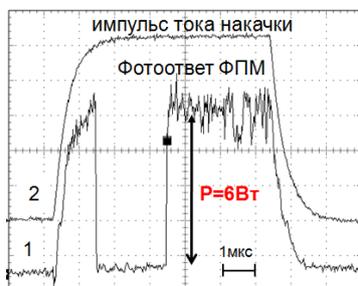


Рис.7. Осциллограммы результатов переключения ФПМ и ЗМ методом прямой токовой инжекции в СУп. Ток накачки СУс 7.5А, ток управления СУп 200мА. 1 – амплитуда мощности ФПМ, 2 – импульс тока накачки (1.47А/кл).

**В третьем параграфе** рассмотрена модуляция мощности ФПМ методом приложения обратного смещения к СУп. Основные результаты представлены на рис. 8.

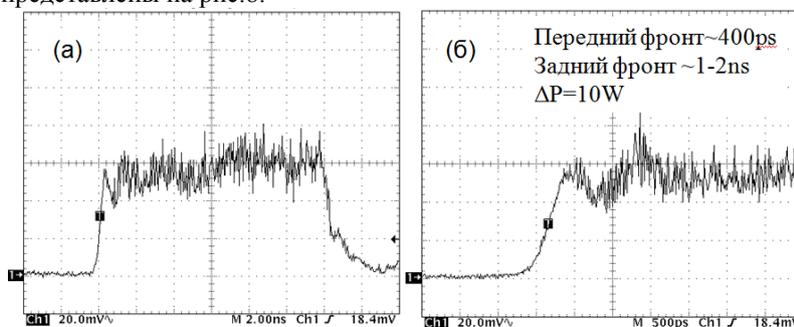


Рис.8. Осциллограммы результатов переключения ФПМ и ЗМ приложением обратного смещения. (а-б) Ток накачки СУс 10.5А, амплитуда напряжения управления СУп -50В, длительность импульса управления 12нс. Переключаемая мощность 10Вт.

**В четвертом** параграфе исследовалась возможность оптимизации метода модуляции приложением обратного напряжения к СУп. Рассмотрена конструкция типа «сегментированный контакт», приведены результаты модуляции при управлении через различное число сегментов СУп. Рассмотрены характеристики токовой эффективности модуляции приложением обратного смещения.

**В пятом параграфе** приведены результаты экспериментов по модуляции мощности ФПМ методом обратного смещения СУп в условиях повышенных токов накачки СУс. Показано, что при повышенных токах накачки СУс возникала генерация ФПМ на втором электронно-дырочном уровне квантоворазмерной активной области.

В заключении главы сформулированы пути повышения эффективности модуляции излучения мощного полупроводникового лазера за счет переключения ФПМ и ЗМ.

**В заключении** диссертации приведены основные результаты исследований.

1. Установлена связь генерации ЗМ с подавлением ФПМ. Экспериментально показано, что ЗМ является новой модовой структурой, отличной от ФПМ. ЗМ характеризуется высокой добротностью (распространяется во всем кристалле, испытывая полное внутреннее отражение) и линией генерации, смещенной в длинноволновую область относительно линии генерации ФПМ.
2. Продемонстрирована связь пороговых условий генерации ЗМ с положениями спектров усиления в активном полоске лазера и поглощения в пассивной части лазерного кристалла. Установлено, что величина рассогласования спектров является определяющей для выполнения пороговых условий генерации ЗМ и обуславливается температурным перегревом квантовой ямы в активном полоске а также нетемпературными эффектами, связанными с эффектами возрастания концентрации носителей заряда в квантовой яме активного полоска (экранировка атомных потенциалов и внутризонным рассеяние носителей заряда [3]).
3. Продемонстрирована возможность управления переключением генерации ЗМ и ФПМ за счет изменения условий распространения ЗМ в пассивной части лазерного кристалла. Предложено два способа: уменьшение или увеличение поглощения квантовой ямы пассивной части кристалла на линии генерации ЗМ. Уменьшение поглощения достигается за счет накопления носителей заряда при

прокачке прямого тока через пассивную часть кристалла. Увеличение поглощения достигается за счет квантово-размерного эффекта Штарка, выражающегося в смещении фундаментального края поглощения при приложении электрического поля к квантовой яме пассивной части кристалла.

4. Разработана интегрально-оптическая конструкция модулятора, позволяющая осуществлять электрически независимое управление оптическими свойствами пассивной части лазерного кристалла при сохранении оптической связи через общий волновод. Продемонстрировано переключение 6Вт выходной оптической мощности с фронтом 1нс методом прямой токовой накачки пассивной части лазерного кристалла полоскового лазера; переключение 10Вт с фронтом 300пс при приложении обратного смещения к пассивной части лазера.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. С.О.Слипченко, А.А.Подоскин, Н.А.Пихтин, З.Н.Соколова, А.Ю.Лешко, И.С.Тарасов. *Анализ пороговых условий генерации замкнутой моды в полупроводниковых лазерах Фабри--Перо*. // ФТП **45** (5), 672 (2011).
2. С.О.Слипченко, А.А.Подоскин, Н.А.Пихтин, А.Л.Станкевич, Н.А.Рудова, А.Ю.Лешко, И.С.Тарасов. *Спектры электролюминесценции и поглощения полупроводниковых лазеров с низкими оптическими потерями на основе квантово-размерных гетероструктур InGaAs/AlGaAs/GaAs*. // ФТП **45** (5), 682 (2011).
3. С.О.Слипченко, А.А.Подоскин, Д.А.Винокуров, А.Л.Станкевич, А.Ю.Лешко, Н.А.Пихтин, В.В.Забродский, И.С.Тарасов. *Анализ условий срыва генерации мод резонатора Фабри--Перо в полупроводниковых лазерах с полосковым контактом*. // ФТП **45** (10), 1431 (2011).
4. С.О.Слипченко, И.С.Шашкин, Л.С.Вавилова, Д.А.Винокуров, А.В.Лютецкий, Н.А.Пихтин, А.А.Подоскин, А.Л.Станкевич, Н.В.Фетисова, И.С.Тарасов. *Температурная делокализация носителей заряда в полупроводниковых лазерах*. // ФТП **44** (5), 688 (2010).
5. А.Н.Петрунов, А.А.Подоскин, И.С.Шашкин, С.О.Слипченко, Н.А.Пихтин, Т.А.Налет, Н.В.Фетисова, Л.С.Вавилова,

А.В.Лютецкий, П.А.Алексеев, А.Н.Титков, И.С.Тарасов. *Импульсные полупроводниковые лазеры с повышенной оптической прочностью выходных зеркал резонатора* // ФТП **44** (6), 817 (2010).

**Цитируемая литература**

- 1\*. С.О. Слипченко, Д.А. Винокуров, Н.А. Пихтин, З.Н. Соколова, А.Л. Станкевич, И.С. Тарасов, Ж.И. Алферов. *Сверхнизкие внутренние оптические потери в квантово-размерных лазерных гетероструктурах раздельного ограничения*. // ФТП **38** (12), 1477 (2004).
- 2\*. N.A. Pikhitin, S.O. Slipchenko, Z.N. Sokolova, A.L. Stankevich, D.A. Vinokurov, I.S. Tarasov, Zh. I. Alferov. *16 W continuous-wave output power from 100 m-aperture laser with quantum well asymmetric heterostructure*. // Electronics letters **40** (22), 1413 (2004).
- 3\*. L.A. Coldren, S.W. Corzine. *«Diode lasers and integrated photonic circuits»*, «John Wiley & sons», New York, (1995).