

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор СПбГЭТУ «ЛЭТИ»

по научной работе

Шестопалов М.Ю.

«13» января 2017 г.

## ОТЗЫВ

### ведущей организации

на диссертационную работу Лысака Владимира Валерьевича «Разработка элементов сверхкоротких оптических соединений с учетом динамических процессов и транспорта носителей в микрорезонаторах и наноструктурах», представленной к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям 01.04. 01 - Приборы и методы экспериментальной физики и 01.04.10 – Физика полупроводников.

**Актуальность работы.** Сверхкороткие оптические соединения представляют сегодня одну из наименее развитых областей оптоэлектроники. Работа Лысака В. В. посвящена решению ряда вопросов разработки новых и развитию существующих теоретических методов, необходимых для описания процессов генерации, усиления и передачи оптического излучения в высокоскоростных сверхкоротких оптических соединениях. Кроме того в работе представлено теоретическое описание физических процессов переноса носителей заряда в лазерной полупроводниковой структуре при различных режимах работы лазера. Это позволяет с большей степенью точности объяснять причины ограничения ширины полосы модуляции и давать практические рекомендации по совершенствованию технологии и конструкций гетеролазеров. Таким образом, тема диссертации является крайне актуальной.

**Содержание диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения, списка использованных источников, приложения и примечания. Полный объем работы составляет 274 страниц и содержит 99 рисунков и 11 таблиц.

В первой главе приводится обоснование актуальности работы, определяются цели и задачи исследования, приводятся научные положения, выносимые на защиту.

Во второй главе представлен подробный обзор текущего состояния исследований по теме диссертации.

В третьей главе рассматриваются общие принципы расчета статического и динамического поведения источника излучения в виде вертикально излучающего лазера с оксидным ограничением и внутррезонаторными контактами. Разработаны математические модели для анализа транспортных эффектов распределения носителей заряда в сложной структуре лазера, учитывающие изменение характера и длительности процессов накопления и распределения носителей в области квантовой ямы. Предложены алгоритмические решения для определения оптимальных значений геометрических параметров устройства с максимальными скоростными характеристиками.

В четвертой главе анализируются особенности расчета статических и динамических характеристик резонансного фотодиода, который имеет аналогичную с лазером структуру, что значительно упрощает требования совместимости приемника и передатчика при создании интегрированных систем. В результате исследований определено оптимальное сочетание свойств входного отражателя фотодиода, при котором получена максимальная квантовая эффективность. Описан оригинальный экспериментальный метод сопряжения рабочей длины волны резонансного фотодиода с лазером с помощью перестройки частоты. Метод основан на использовании неравномерности роста структуры по площади подложки и за счет управления фазой коэффициента отражения.

В пятой главе рассмотрены вопросы моделирования системы обработки оптических импульсов субпикосекундной длительности, которая учитывает транспортные процессы и температурную динамику носителей в каждом актив-

ном слое многослойного полупроводникового оптического усилителя с квантовыми ямами различного состава. Представлен метод, позволяющий исследовать динамику распространения оптических импульсов в активном волноводе усилителя, который включает такие внутризонные эффекты как разогрев носителей и поглощение свободных носителей.

В шестой главе приводятся результаты использования разработанных методов расчета для проектирования и изготовления элементов сверхкоротких оптических соединений при их интеграции на единой подложке. Представлена схема объединения элементов оптического соединения с помощью волоконно-оптических каналов, искривленных на  $90^\circ$ , и полимерных волноводов с усеченными под углом  $45^\circ$  зеркальными концами. Сравнение теоретических и экспериментальных данных подтверждает правильность разработанных моделей динамических процессов.

**Научная новизна.** В работе предложены оригинальные подходы анализа транспортных эффектов распределения носителей заряда в сложной структуре вертикально излучающих лазеров с внутррезонаторными контактами. Рассмотрены характер, длительность процессов накопления и распределения носителей в области квантовой ямы. Выполнены оценки влияния температуры, уровня мощности накачки и глубины модуляции на выходные характеристики лазера. Впервые сформулирована и обоснована численная динамическая модель квантово-размерного полупроводникового оптического усилителя с асимметричными квантовыми ямами. Предложенная модель имеет вид неоднородной системы дифференциальных уравнений, учитывающей эффекты температурной релаксации и переноса носителей в каждом слое. Модель объясняет частотную зависимость насыщения оптического усиления при прохождении сверхкороткого оптического сигнала через активную область.

**Научная и практическая значимость результатов диссертации** заключается в том, что разработанные методы дают практическую возможность моделирования процессов, которые описывают наблюдаемые стационарные и динамические характеристики оптоэлектронных приборов.

При этом:

- предложены методы оптимизации геометрических параметров элементов СКОС с улучшенными динамическими характеристиками;
- разработаны программы расчета основных характеристик полупроводниковых лазеров, оптических усилителей и фотодиодов с низкоразмерной активной структурой;
- предложены новые эффективные алгоритмы для анализа распределения носителей и оптического излучения в структурах со сложной геометрией;
- получены практические рекомендации по выбору конструкций полупроводниковых лазеров с вертикальным резонатором с внутренними контактами и даны рекомендации для увеличения квантовой эффективности резонансного фотодиода.

**Достоверность полученных в работе результатов** не вызывает сомнений и подтверждается четким и ясным обоснованием с применением разнообразных методов расчета, а также воспроизводимостью полученных экспериментальных данных.

Полученные в работе результаты прошли **апробацию** на многочисленных международных конференциях. Основные результаты диссертации опубликованы в 45 печатных работах.

Результаты диссертационной работы **представляют интерес для использования в организациях**, занимающихся исследованием и созданием полупроводниковых приборов, таких как АО "Научные приборы" (г. Санкт-Петербург), ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН (г. Санкт-Петербург), ООО «Коннектор Оптикс» (г. Санкт-Петербург), НИИ «Полос» им. М.Ф.Стельмаха» (г. Москва), ЗАО «Центр ВОСПИ» (г. Москва), ОАО НПП «Салют» (г. Нижний Новгород), ОАО "ОКБ-Планета" (г. Великий Новгород).

К работе имеется ряд **замечаний**:

1. В обзорной части не приведено сравнение рекордных значений КПД торцевых и вертикально-излучающих лазеров.

2. Не показана возможность применения полупроводникового источника коротких оптических импульсов субпикосекундной длительности в сверхкоротких оптических соединениях.
3. Из схемы, которая показывает совместное расположение лазера и фотодиода на подложке (рис. 4.5), непонятно то, какие именно площади структуры занимают элементы вертикально-излучающего лазера и резонансного фотодиода. Какое расстояние между соседним излучателем и приемником?

Имеются также замечания по оформлению диссертации:

- стр. 35 пустая;
- на стр. 81 приведена ссылка [199], которой нет в списке литературы
- имеются ряд опечаток, которые сообщены автору.

Перечисленные замечания не снижают научной ценности работы и не влияют на её итоговую оценку.

Диссертационная работа Лысака Владимира Валерьевича является законченной научно-квалификационной работой и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям 01.04. 01 - Приборы и методы экспериментальной физики и 01.04.10 – Физика полупроводников.

Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Оценивая совокупность результатов, полученных в диссертации, их научную и практическую значимость можно констатировать, что диссертационная работа Лысака В.В., является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной научно-технической задачи, имеющей существенное значение для оптоэлектронного приборостроения и схемотехники.

Диссертационная работа Лысака В. В. отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным постановлением Пра-

вительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 30.07.2014), предъявляемых к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальностям 01.04. 01 - Приборы и методы экспериментальной физики и 01.04.10 – Физика полупроводников.

Отзыв составлен на основании знакомства с текстом диссертации, её авторефератом и докладом Лысака Владимира Валерьевича на заседании кафедры физической электроники и технологии СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 12 января 2017 года (протокол № 1).

Заведующий кафедрой физической электроники и технологии  
Санкт-Петербургского государственного  
электротехнического университета «ЛЭТИ»,

д.ф.-м.н., профессор



Б.А. Калиникос

Секретарь кафедры

к.ф.-м.н., доцент



Н.Ю. Медведева