

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Грищенко Сергея Владимировича "Спектральные свойства фотодетектора на многослойных полупроводниковых структурах на основе GaAs/InGaAs и GaN/AlGaN материалов с встроенным микрорезонатором", представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – "оптика, лазерная физика"

1. Актуальность темы диссертации.

Успехи современной электроники и перспективы ее дальнейшего развития в значительной степени связаны с использованием полупроводниковых квантово-размерных структур (квантовых ям, проволок, точек, сверхрешеток и т.д.), обладающих широким набором электрофизических параметров в оптическом диапазоне спектра. Их применение позволяет совершенствовать потребительские свойства электронных приборов, открывает возможности для создания устройств нового поколения – сверхчувствительных датчиков, оптических соединений в интегральных микросхемах и т.д. Разработка нанотехнологий невозможна без понимания природы процессов, протекающих в объеме и на границах раздела полупроводниковых материалов.

Фотодетектор, как прибор, конвертирующий принимаемую оптическую энергию в электрический сигнал, является основным элементом систем оптической передачи данных и измерительных систем. Высокая чувствительность, быстрый отклик, низкий уровень шума и себестоимость производства – основные требования для фотодетекторов. Из известных фотодиодов (лавинный, с барьером Шоттки) p-i-n фотодиоды долгое время соответствовали требованиям обеспечения высокой чувствительности, быстрого отклика, низкого уровня шума и успешно применялись в современных приборах и системах. Однако, у этих приборов существует определенный недостаток – прямая зависимость чувствительности и обратная зависимость быстродействия прибора от толщины поглощающего слоя. Резонансные фотодетекторы за счет оптического резонатора значительно усиливают оптическое поле на резонансной частоте, что приводит к повышению их эффективности, а также обеспечивают спектральную избирательность. При этом скоростные характеристики резонансных фотодетекторов остаются высокими благодаря малому размеру активной области. Для целей оптических коммуникаций одним из основных преимуществ резонансных фотодиодов является то, что они могут быть изготовлены на одной подложке с лазером с вертикальным резонатором в результате удаления части верхнего зеркала, что увеличивает спектральную согласованность приборов.

В связи с изложенным выше тема кандидатской диссертации Грищенко Сергея Владимировича "Спектральные свойства фотодетектора на многослойных полупроводниковых структурах на основе GaAs/InGaAs и GaN/AlGaN материалов с встроенным микрорезонатором", в которой изучены физические закономерности процесса детектирования излучения в резонансных многослойных полупроводниковых структурах на основе GaAs/InGaAs и GaN/AlGaN

квантоворазмерных активных слоев, их оптические и динамические характеристики является актуальной.

Об актуальности, научной и практической значимости темы диссертации убедительно свидетельствует и то, что она выполнялась в рамках 3 госбюджетных научно-исследовательских работ ХНУРЭ (№ госрегистрации 0105U002992 "Взаимодействие когерентного оптического электромагнитного излучения с материалами активных и пассивных сред и элементная база полностью оптических систем", № госрегистрации 0108U002217 "Физические основы формирования частотных характеристик полупроводниковых и чип лазеров для нанотехнологий", № госрегистрации 0110U002594 "Теоретические основы микроэлектронных систем проектирования и технологии их производства для гибких интегральных систем"). Ряд результатов получен в рамках международного сотрудничества ХНУРЭ с университетами Гуанахуато (Мексика), Гванчжу (Р. Корея), Чонбук (Р. Корея).

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их новизна.

Диссертация хорошо структурирована, что облегчает получение информации и состоит из введения, 5 разделов, выводов, списка использованных источников. В каждом разделе представлен ход решения поставленных задач, а в конце разделов перечислены полученные результаты. Представленные научные положения, выводы и рекомендации, выносимые на защиту, являются достаточно обоснованными. Постановка исследовательской задачи выполнена аргументировано и довольно убедительно.

На основе обзора литературы, посвященной исследованию полупроводниковых детекторов различных типов и физических процессов, которые влияют на поглощение и квантовую эффективность сделан вывод о необходимости решения нового класса задач по установлению физических закономерностей процесса детектирования излучения в резонансных многослойных полупроводниковых структурах на основе GaAs/InGaAs и GaN/AlGaN квантоворазмерных активных слоев, теоретического описания их оптических характеристик и динамических характеристик носителей заряда и установления их влияния на спектральные свойства.

Предложен аналитический метод и метод матриц переноса, используемые для моделирования квантовой эффективности и спектров отражения, а также прохождения излучения в резонансных фотодетекторах. Рассмотрены методы моделирования распределения температуры в многослойной структуре резонансного фотодетектора и расчет поглощения в квантово-каскадных фотодетекторах.

Показано, что в зависимости квантовой эффективности от коэффициента отражения верхнего зеркала присутствует экстремум, положение которого зависит от абсолютного значения коэффициента поглощения. Установлено, что увеличение толщины активной квантовой ямы приводит к уменьшению внутренней квантовой эффективности вследствие увеличения неупругого рассеяния возбужденных электронов. Показано, что использование верхнего зеркала с

встроенным микрорезонатором дает возможность получить плато спектра квантовой эффективности за счет эффекта аномальной дисперсии. Впервые теоретически описана компенсация эффекта рассогласования спектральных характеристик лазерного излучателя и детектора за счет формирования плато квантовой эффективности резонансного фотодетектора.

Решена задача о нахождении зависимости показателя преломления полупроводниковых материалов от температуры. Впервые показано, что повышение температуры подложки приводит к неравномерному изменению показателей преломления полупроводниковых слоев зеркал резонатора. Доказано, что увеличение температуры подложки приводит к уменьшению квантовой эффективности и деформации спектрального плато.

Установлена зависимость поглощения излучения в квантово-каскадных структурах при сильном влиянии эффекта заполнения подзон. Впервые теоретически описаны процессы, приводящие к понижению эффекта заполнения подзон за счет оптического резонатора. Показано, что увеличение температуры из-за увеличения скорости рассеяния электронов приводит к уменьшению времени отклика детектора.

Научная новизна представленных в диссертации результатов прежде всего обусловлена тем, что все они получены впервые и раньше не были известны. Этот вывод вытекает из проведенного Грищенко С.В. обзора литературы. Признаком научной новизны есть также то, что большинство результатов опубликовано в ведущих международных журналах, в которых все статьи проходят тщательное экспертное рецензирование.

3. Достоверность полученных в работе результатов.

Результаты проведенных исследований имеют необходимую достоверность. В диссертационной работе получены теоретические результаты по установлению физических закономерностей процесса детектирования излучения в резонансных многослойных полупроводниковых структурах на основе GaAs/InGaAs и GaN/AlGaN квантоворазмерных активных слоев, теоретического описания их оптических характеристик и динамических характеристик носителей заряда и установления их влияния на спектральные свойства.

Эти результаты хорошо согласуются с результатами полученными другими авторами. Достоверность теоретических результатов обеспечивается корректностью постановки задач численного анализа физических процессов распространения электромагнитных волн в исследуемых средах, использованием физически и математически обоснованных теоретических моделей и хорошо апробированных методов вычислительной математики.

4. Завершенность и стиль изложения, полнота отражения результатов в публикациях.

Анализ совокупности научных результатов и положений, характеристика которых приведена в пунктах 1–2, позволяет сделать вывод об их внутреннем единстве и определить личный вклад автора в науку. Он заключается в том, что соискатель предложил, математически обосновал новый подход для решения

актуальной задачи, состоящей в установлении физических закономерностей процесса детектирования излучения в резонансных многослойных полупроводниковых структурах на основе GaAs/InGaAs и GaN/AlGaN квантоворазмерных активных слоев, теоретического описания их оптических характеристик и динамических характеристик носителей заряда и установления сути их влияния на спектральные свойства.

Заметим, что рассматриваемая работа имеет серьезный потенциал для дальнейшего развития. Поэтому представляется весьма актуальным, используя разработанные и усовершенствованные в ходе диссертационной работы методики для прогнозирования характеристик и дальнейшего улучшения резонансных фотодетекторов различных типов.

Вместе с тем, диссертация Грищенко С.В. является завершенной научно-исследовательской работой, выполненной в соответствии с требованиями ВАК Украины.

Диссертация написана достаточно понятно и грамотно, научно-техническая терминология используется достаточно корректно, структура работы представляется логичной.

Основные результаты опубликованы в 6 статьях в профильных научных изданиях. Основные положения диссертации прошли апробацию на 19 международных научных конференциях, а также на научных семинарах. Результаты работы полностью отражены в указанных публикациях. Опубликованные статьи по своему содержанию не дублируют друг друга. Все опубликованные научные труды соответствуют теме диссертации. Содержание автореферата соответствует тексту диссертации.

5. Научно-практическая значимость полученных результатов.

Научная и практическая значимость результатов диссертационной работы Грищенко С.В. состоит в том, что полученные в ней теоретические результаты позволяют расширить представления о физических закономерностях процесса детектирования излучения в резонансных многослойных полупроводниковых структурах на основе GaAs/InGaAs и GaN/AlGaN квантоворазмерных активных слоев.

Выявлены основные закономерности и факторы, которые определяют квантовую эффективность резонансных фотодетекторов на основе квантоворазмерных слоев. Изучено влияние геометрических и физических параметров резонансных фотодетекторов с квантоворазмерными активными слоями на спектры отражения и пропускания, а также спектры квантовой эффективности. Определен характер влияния температуры на коэффициенты преломления полупроводниковых слоев детектора и на его квантовую эффективность. Изучены физические особенности спектральных характеристик квантово-каскадных резонансных фотодетекторов и определен вклад резонатора в ограничение эффекта переполнения подзон.

В ходе выполнения диссертационной работы разработана методика корректировки спектральных характеристик при различных температурах подлож-

ки, которая основана на расчете толщины слоев зеркал детектора для компенсации изменения показателя преломления.

С прикладной точки зрения на основе проведенных исследований можно разрабатывать новые компактные приемные устройства оптоэлектроники на основе квантоворазмерных активных слоев.

Диссертационная работа представляет научную и практическую ценность для специалистов в области оптики, лазерной физики, оптоэлектроники и др. Результаты, полученные при ее выполнении, можно рекомендовать для применения в различных учреждениях как исследовательского, так и научно-производственного, учебного направлений.

6. Недостатки и замечания.

Диссертационная работа Грищенко С.В. не свободна от недостатков.

При проведении обзора литературы, посвященной резонансным фотодетекторам на квантоворазмерных структурах, автор в основном описывает принципы работы данных приемников. Результаты исследований, выполненные в последние годы и отраженные в периодической литературе, проанализированы далее в других разделах, но явно недостаточно. Не представляется удачным выделение методов исследований в отдельный раздел (раздел 2).

При изучении квантовой эффективности детекторов желательно было бы привести оценки угловой зависимости данной характеристики и поляризационной чувствительности детекторов.

Автор не всегда аккуратно подходит к применению научной терминологии: с. 77 и далее по тексту применен термин “спектр отражения, пропускания” (вместо употребляющегося в научной литературе термина “частотная характеристика модуля коэффициента отражения, пропускания”); с.54, 55 - вводятся без физического пояснения “генератор температуры”, “параметр искривления”.

В тексте диссертационной работы встречаются лабораторный жаргон и неудачные обороты: с.32 – “неравномерность распределения длины волны резонатора по плоскости подложки”; с. 37 – “сместить рабочую длину волны из инфракрасного диапазона в область терагерцев”; с.87 – “ $n(T)$ зависит от смещения края собственного поглощения материала”.

Работа не лишена некоторых технических огрехов: с.10 – “теоритически”; с.23 – “не связанна”; с.56 – “правило было установлено, определено”; с.84 – “длинны”; с.85 – “Берегговского отражателя”; с.93 – “материалом поглощающей ямы был является”, с.99 – “приближение квазиравновестного распределение”.

7. Общие выводы

Перечисленные недостатки не могут изменить общего позитивного впечатления, производимого диссертацией. Соискатель выполнил большой объем интересных и актуальных исследований, предложил и обосновал новый подход для решения актуальной задачи радиофизики, состоящей в установлении физических закономерностей процесса детектирования излучения в резонансе.

нансных многослойных полупроводниковых структурах на основе GaAs/InGaAs и GaN/AlGaN квантоворазмерных активных слоев, теоретического описания их оптических характеристик и динамических характеристик носителей заряда и установления их влияния на спектральные свойства.

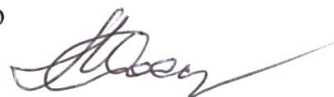
Диссертант получил научно-обоснованные результаты исследования физических процессов, проистекающих при взаимодействии излучения оптического диапазона с резонансными многослойными полупроводниковыми структурами. Эти результаты являются новыми и имеют как научное, так и прикладное значение для разработчиков элементной базы оптического диапазона волн.

По тематике проведенных исследований, содержанию и результатам диссертация Грищенко С.В. полностью соответствует специальности 01.04.05 – оптика, лазерная физика. Материалы диссертации полностью опубликованы в реферируемых научных журналах и были своевременно представлены на конференциях и симпозиумах, что проводились по тематике исследований.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Изложение материала в диссертации отвечает современным требованиям, она написана четко, хорошим научно-литературным языком.

Полученные результаты, содержание и оформление диссертационной работы в целом удовлетворяют требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям согласно «Порядка присуждения ученых степеней и присвоения ученого звания старшего научного сотрудника», утвержденного постановлением Кабинета Министров Украины от 24.07.2013 г. № 567, а её автор Грищенко Сергей Владимирович заслуживает присуждения ему искомой учёной степени по специальности 01.04.05 – “оптика, лазерная физика”.

Официальный оппонент,
доктор физ.-мат.наук, профессор,
заведующий кафедрой квантовой
радиофизики Харьковского национального
университета имени В. Н. Каразина



В.А. Маслов

“_5_” января 2016 года

