

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Алидодова Тутишо Мералишоевича, выполненную на тему «Исследование внутренних напряжений лазерных диодов на основе двойных гетероструктур GaInAsP/InP по их излучательным характеристикам».

Актуальность избранной темы диссертации

Полупроводниковые инжекционные лазеры для спектрального диапазона 0,92 - 1,6 мкм в настоящее время получают важное практическое применение: 1,06 мкм - для имитации излучения мощных неодимовых лазеров, и 1,3 и 1,5 мкм - для волоконно-оптической связи (где имеется минимум потерь излучения в волоконных световодах).

На этот же спектральный диапазон 0,92 - 1,6 мкм приходится минимум потерь и нулевая дисперсия в современном кварцевом стекловолкне, что делает твёрдые растворы GaInAsP, изопериодические с InP, весьма перспективными для изготовления излучающих и фотоприёмных приборов для систем волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). В связи с этим, большой практический и научный интерес представляет задача создания высокоэффективных излучающих гетероструктур GaInAsP/InP для ВОЛС.

Расширение возможностей устройств, в которых используются полупроводниковые лазеры, требует улучшения характеристик самих лазеров. Для решения задач, связанных с совершенствованием лазерных диодов, очень важным является получение информации об особенностях происходящих физических процессов в структуре реальных образцов по их излучательным характеристикам.

Поэтому диссертационная работа, посвященная исследованию внутренних напряжений лазерных диодов на основе двойных гетероструктур GaInAsP/InP по их излучательным характеристикам, представляется актуальной как с научной, так и с практической точек зрения. Тема диссертации весьма актуальна и тем, что вопросы оптимального согласования постоянных решёток в гетероструктуре и навязанных остаточных напряжений являются недостаточно изученными.

Общие принципы построения и структура работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и выводов. Содержание работы изложено на 122 страницах, включая 32 – рисунка, 8 – таблиц и список литературы, состоящий из 114 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы основная цель и задачи, показана научная новизна, практическая ценность и приведены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору литературных данных, необходимых для обсуждения полученных в диссертации результатов. Рассмотрены физические и излучательные свойства приборов на основе твердых растворов гетероструктур GaInAsP/InP. В этой главе дана краткая характеристика

системы твердых растворов GaInAsP/InP, описаны условия изопериодического замещения для подложки InP, освещены вопросы легирования донорными и акцепторными примесями. Обсуждены вопросы определения диффузионной длины носителей заряда, возможности повышения внешнего квантового выхода, способы термостабилизации и перестройки длины волны излучения лазерных диодов. Обсуждены также следствия воздействия несогласованности периодов решетки, коэффициента термического расширения, приводящие к тетрагональным расширениям и дислокации несоответствия на возникновение упругого внутреннего напряжения и поляризации рекомбинационного излучения. По результатам анализа проведенного литературного обзора сделаны выводы.

Во второй главе описываются методики, которые были разработаны или использовались при выполнении данной работы. Рассмотрены стандартные методики изготовления гетероструктур GaInAsP/InP и приборов на их основе. Исследуемые гетеролазеры и светоизлучающие диоды выращены жидкофазной эпитаксией, за исключением квантово-размерных, которые были выращены методом молекулярно-пучковой эпитаксии. При исследовании спектральных характеристик лазерных диодов использованы методы фотолюминесценции, электролюминесценции спонтанного и стимулированного излучения. Зависимость величины внутреннего упругого напряжения σ_{xx} от относительного несоответствия периодов решетки $(\Delta a/a)_{\perp}$ исследованы поляризационной методикой из анализа спектральной зависимости степени линейной поляризации ρ_{π} вдоль контура полосы электролюминесценции.

В третьей главе рассмотрены электрофизические и излучательные характеристики приборов, изготовленных на основе двойных гетероструктур GaInAsP/InP. По излучательным характеристикам разработана методика определения и расчет диффузионной длины носителей заряда в InP. Предложен способ повышения эффективности вывода излучения из торца светоизлучающего диода путём селективного химического травления заготовки полоскового и мезополоскового светоизлучающего диода. Разработаны способы термостабилизации частоты излучения с помощью элемента Пельтье и перестройки длины волны излучателей в гетеролазерах посредством изменения температуры. Автором, с использованием малогабаритного устройства для плавной перестройки длины волны излучения полупроводникового лазера проведено исследование лазерных диодов на основе двусторонних гетероструктур (ДГС) GaInAsP/InP при одноосном сжатии.

В четвёртой главе рассмотрены спектральные характеристики рекомбинационного излучения гетероструктур GaInAsP/InP, упруго деформированных из-за несоответствия параметров решеток контактирующих материалов. Предложен и реализован метод определения упругих напряжений, деформаций по спектральным зависимостям степени линейной поляризации люминесценции для гетеролазеров с толщиной

активного слоя больше 0,1 мкм и ультратонкого активного слоя. Разработаны модели упруго-деформированных гетеролазеров и приведены результаты численного решения упругих напряжений, деформаций как активного слоя, так и всех слоев гетероструктуры GaInAsP/InP. Результаты численных расчетов, проведенных по разработанным методикам, хорошо согласуются с экспериментальными результатами ранее опубликованных работ.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

Степени обоснованности и достоверности основных результатов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов основана на использовании стандартных методик, тщательной калибровке измерительной аппаратуры, хорошей воспроизводимости результатов при измерении большого количества образцов, соответствии экспериментальных результатов с расчётными данными. Основные результаты, касающиеся анализа метода и алгоритмов, получены в ходе экспериментальных исследований.

Научная новизна. Научная новизна исследования согласуется с поставленными в диссертационной работе задачами и обусловлена необходимостью развития исследования внутренних напряжений, возникающих вследствие несовпадения параметров кристаллической решетки сопрягаемых слоев в гетероструктурах на основе GaInPAs/InP.

Для решения поставленной задачи автор использовал метод измерения поляризации спектра излучения как индикатор внутренних напряжений в активной области лазера. Выбор этого метода является наиболее оправданным. Его применение позволило непосредственно изучить взаимосвязь излучательных характеристик лазера с упругими напряжениями в активной области лазера: как с технологическими напряжениями, возникающими вследствие неполного согласования параметров кристаллических решеток, так и образующимися при внешнем одноосном давлении.

Практическая ценность и реализация результатов работы

Важнейшим результатом, полученным автором с применением поляризационной методики, является заключение, что наименьшие пороговые токи и наибольшая дифференциальная эффективность получается не при нулевом остаточном напряжении на гетерогранице, а при слабом напряженном состоянии. Автором диссертации было показано также, что такие напряжения улучшают излучательные характеристики лазеров (снижение порогового тока, повышение дифференциальной эффективности и поляризации излучения и т.д.) Это заключение имеет большую практическую важность и ориентирует инженеров-разработчиков и технологов на целенаправленное создание напряженных состояний в активной области для получения оптимальных характеристик лазеров.

Следует отметить также заключение автора о возможности идентификации спектра излучения типа излучательных переходов (зона-зона или зона-примесь) путем измерения поляризации при внешнем одноосном давлении. Это имеет большое значение для понимания физики излучательных переходов.

Также стоит, отметить, что в диссертации подробно изучено влияние деформации путем приложения внешнего одноосного давления на характеристики лазеров, здесь также получен важный практический результат - обратимое снижение порогового тока на 20-30%.

Оценка структуры, содержания и оформления диссертации

Диссертация написана в форме, позволяющей получить полное и достаточно подробное представление о материалах исследований, проведенных автором. Оформление работы аккуратное, соответствует установленным требованиям.

При использовании сторонних источников в диссертации даются необходимые ссылки.

Основные положения и результаты проведенных исследований обсуждались на международных и республиканских конференциях. Научные положения, выводы и заключения соискателя по итогам диссертационной работы достаточно полно отражены в опубликованных им научных статьях.

Результаты научных исследований отражены в 13 печатных работах, из которых 7 статей напечатаны в научных журналах, входящих в перечень рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан. 6 докладов опубликованы в материалах международных и республиканских конференций.

В диссертации четко определен вклад автора в разработку проблемы в работах, опубликованных коллективно с соавторами.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключение и выводов. Содержание работы изложено на 121 страницах, включая 32 рисунка, 8 таблиц и список литературы, состоящий из 114 наименований.

Тема диссертации соответствует паспорту заявленной научной специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, а именно пунктам:

п.3 - изучение экспериментального состояния конденсированных веществ (сильное сжатие, ударные воздействия, изменение гравитационных полей, низкие температуры), фазовых переходов в них и их фазовых диаграмм.

п.4 - теоретическое и экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ.

п.5 - разработка математических моделей построения фазовых диаграмм состояния и прогнозирование изменения физических свойств

конденсированных веществ в зависимости от внешних условий их нахождения.

п.6 - разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами.

п.7 - технические и технологические приложения физики конденсированного состояния.

Корректность изложения научного материала, наглядная иллюстрация полученных результатов в виде таблиц, графиков и структурных схем позволяют объективно оценивать содержание, выводы и значимость проведенных научных исследований.

Замечания по диссертационной работе

Диссертация не свободна от недостатков. Главный из них слишком описательный стиль отдельных разделов диссертации. Прежде всего, это касается исследования влияния переходных слоев в активной области на излучательные свойства и порог генерации (§ 1.6, 1.8) и методики получения гетероструктур (§ 2.1). Влияние переходных слоев на спектр излучения и оценка размеров этих слоев из спектра излучения показаны неубедительно.

Следует отметить также, что рисунки, помещенные в диссертации, затрудняют чтение и понимание, вследствие того что все пояснения к ним даны не в подписях под рисунками.

Сделанные замечания не снижают достоинств диссертационной работы, и являются напутствием на дальнейшее изучение направления.

Заключение

Оценивая диссертацию в целом можно заключить, что диссертация представляет собой законченное научное исследование, в котором решена актуальная научная задача исследования инжекционных лазеров непрерывного действия с длиной волны 1,06 мкм с имитацией излучения мощных лазеров. Выявлены пути улучшения излучательных характеристик в диапазоне длин волн 1,0-1,6 мкм (в особенности для 1,3 и 1,55 мкм - волоконных световодов) путём оптимизации анизотропной деформации активной среды.

Диссертация прошла всестороннюю апробацию на специализированных семинарах, международных и республиканских конференциях. Содержание автореферата полностью соответствует диссертации. В диссертации и автореферате отсутствуют некорректные заимствования без правильно оформленной ссылки на первоисточник.

Решающий авторский вклад Т.М. Алидодова во все основные результаты и выводы диссертационной работы не вызывает сомнений.

Диссертационная работа Т.М. Алидодова на тему «Исследование внутренних напряжений лазерных диодов на основе двойных гетероструктур GaInAsP/InP по их излучательным характеристикам» соответствует

требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней» утверждённого постановлением Правительство Республики Таджикистан от 26.11.2016 г. №505 предъявленным к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук.

Автор диссертационной работы Алидодов Тутишо Мералишоевич - заслуживает присуждения ему ученой степени кандидат физико-математических наук.

Официальный оппонент
в.н.с. отдела новых технологий ГНУ
«Центр инновационного развития науки
и новых технологий» НАНТ
доктор физ.-мат. наук, профессор

Каримов Хасан Сангинович

Подпись Каримова Х.С. заверяю:
Ученый секретарь (Начальник ОК) ГНУ
«Центр инновационного развития науки
и новых технологий» НАНТ



Сангинова С.Б.