

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Алидодова Тутишо Мералишоевича, выполненную на тему «Исследование внутренних напряжений лазерных диодов на основе двойных гетеро структур GaInAsP/InP по их излучательным характеристикам», представленную к защите в диссертационный совет 6Д.КОА-031 при Физико-техническом институте им. С.У. Умарова Национальной академии наук Таджикистана на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

1. Соответствие диссертации специальностям и отрасли науки, по которым она представляется к защите

Диссертационная работа Алидодова Т. посвящена исследованию излучательных характеристик и влиянию внутренних напряжений в полупроводниковых инжекционных лазерах на основе четвертной системы галлий-индий-фосфор-мышьяк. Проведённый анализ позволяет заключить, что диссертационная работа по выбору объектов исследования, полученных результатов относительно оптимизации излучательных характеристик и исследования влияние внутренних напряжений обусловленный несопадением параметров решетки сопрягаемых слоев в гетероструктурах на основе GaInAsP/InP на их излучательных свойств, полностью соответствует отрасли «физико-математические науки» и специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, а именно пунктам:

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.

2. Актуальность избранной темы диссертации

До настоящего времени во всем мире интенсивно продолжают работы по созданию источников когерентного излучения и улучшению их излучательных характеристик для спектрального диапазона 1,0-1,6 мкм. Материальной базой для их создания служит гетеро система GaInPAs/InP. Диссертационная работа посвящена исследованию физических процессов в полупроводниковых лазерах на основе указанной гетеро системы в широком диапазоне составов с длинами волн 1,06-1,6 мкм включающем практически важные длинами волн 1.06 мкм для имитации излучения мощных твердотельных лазеров 1,3 и 1,55 мкм для применения в волокну-оптической

связи, а также установлению взаимосвязи их излучательных характеристик с одноосной деформацией решетки в активном слое. Отсюда и следует актуальность работы. Важность работы еще заключается в том, что в прежних работах практически не учитывалось, что реальные гетероструктуры находятся в напряженном состоянии, причем величина деформаций существенно различаются от образца к образцу из-за случайных отклонений от идеального согласования периодов решёток (в частности, из-за различия коэффициентов теплового расширения, вариаций технологических условий и т.п.).

3. Степень новизны результатов, полученных в диссертации и научных положений, выносимых на защиту

В диссертации представлены результаты реального состояния напряжений в гетероструктурах GaInAsP/InP и возможности улучшения излучательных характеристик путём оптимизации упругой деформации решеток в активном слое.

Научная новизна диссертационная работа Алидодова Т. подтверждается тем, что:

- разработана методика определения диффузионной длины электронов и дырок в структурах $pInP-n^0InP-nGaInAsP-nInP$ по спектру электролюминесценции.
- показано, что диффузионная длина L носителей сильно зависит от уровня легирования, причём с ростом последнего диффузионная длина L уменьшается как для электронов, так и для дырок.
- получен относительный рост внешнего квантового выхода излучения светоизлучающих диодов(СИД) на основе гетероструктур GaInAsP/InP путём их селективного химического травления.
- показана возможность изменения длины волны излучения и стабилизации частоты лазера при помощи микрохолодильника на основе элемента Пельтье, что ещё больше расширяет область использования полупроводниковых лазеров.
- определена зависимость длины волны излучения лазерного диода от величины одноосного давления.
- исследована спектральная зависимость степени линейной поляризации спонтанного излучения гетеродиодов на основе гетероструктур GaInAsP/InP, рассчитаны величины внутреннего напряжения в активном слое.
- определён вклад поляризационно- размерного эффекта при толщине активной области меньше 0,1 мкм и разработана методика расчёта величины упругих напряжений.
- разработана модель лазерного диода и методика расчёта внутренних напряжений в многослойных гетероструктурах на основе GaInAsP/InP. На основе разработанной модели произведены численные расчёты внутренних напряжений в гетероструктурах на основе GaInAsP/InP с различной толщиной активного слоя.

На основе полученных результатов автором сформулированы следующие общие положения, выносимые на защиту:

- разработанная методика определения диффузионной длины для дырок в структурах $pInP-n^0InP$ и электронов в $pInP$ гетеро структурах $pInP-n^0InP-nGaInAsP-nInP$ по спектру электролюминесценции. Расчёты значения диффузионной длины для дырок и электронов, соответственно, в n^0InP и $pInP$.
- получение и исследование СИД на основе двухсторонних гетероструктур (ДГС) GaInAsP/InP плоской и мезополосковой конструкции сферической или полусферической геометрии активного излучающего слоя у торца диода. Формирование сферической или полусферической формы путём травления заготовки или иголки для заготовки диодов также травлением селективным химическим травителем железосинеродистого калия - гидроокись калия.
- экспериментальное исследование температурной стабилизации частоты лазерных диодов на GaInAsP/InP используемых в системах оптической связи. Исследование изменения затухания излучения по линии в зависимости от изменения температуры кристалла диода.
- предложенное оригинальное малогабаритное устройство для плавной перестройки длины волны излучения полупроводникового лазера и получение на этом устройстве результаты исследования лазерных диодов на основе двусторонних гетероструктур (ДГС) GaInAsP/InP при одноосном сжатии.
- разработанная методика определения упругих напряжений в активном слое гетероструктур GaInAsP/InP по поляризации излучения.
- исследованные спектры степени линейной поляризации спонтанного излучения квантово-размерных гетеродиодов на основе нескольких партий гетероструктур GaInAsP/InP и рассчитанные на основе поляризационной методики величины внутренних напряжений в активном слое.
- разработанная модель четырёхслойного лазерного диода на основе гетероструктур GaInAsP/InP и алгоритм расчёта внутренних напряжений в эпитаксиальных слоях.

Достоверность полученных экспериментальных и теоретических результатов подтверждаются грамотной постановкой задач и обоснованным выбором методики эксперимента, а также их апробации в научных сообщениях и публикациях.

Научные результаты, содержащиеся, в диссертационной работе Алидодова Т. получены, в основном самим автором. Им лично получены экспериментальные результаты и самостоятельно проведены теоретические расчёты и обработка полученных результатов.

4. Научно-практическая значимость результатов диссертации

Диссертация представляет собой научно-исследовательскую работу, выполненную на высоком научном и экспериментальном уровнях, имеющее

как научное, так и прикладное значение. Результаты диссертационной работы представляет интерес для предприятия по выпуску электронного оборудования, научно-исследовательских институтов, технических ВУЗов, а также имеет возможность использования в коммерческих целях.

5. Публикации результатов диссертации в научной печати

По материалам диссертации опубликованных 13 научных статей. Из них 7 статей опубликованные в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 6 тезисов и материалов в республиканских и международных конференциях.

6. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК

Диссертационная работа логически структурирована, изложена понятно, четко и грамотно. Последовательность изложения материала создает целостное представление о содержании диссертации. По отдельным главам и по работе в целом приведены соответствующие выводы, отражающие полученные научные и практические результаты. К достоинствам диссертационной работы следует отнести обоснованную теоретическую и практическую оценку полученных результатов, глубину проработки рассматриваемой предметной области. Материал достаточно иллюстрирован, стиль изложения в целом хороший. Текст диссертации изложен на 122 страницах машинописного текста с рисунками и таблицами, содержит введение, 4 главы, заключение и список литературных источников из 114 наименований.

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

Первая глава посвящена обзору литературных данных, необходимых для постановки и решения задач и обсуждения полученных в диссертации результатов. В ней дана краткая характеристика систем твердых растворов InGaAsP. Рассмотрены различные физические, в том числе электрофизические и излучательные свойства приборов на основе твердых растворов гетероструктур InGaAsP/InP. По результатам проведенного анализа литературных данных сделаны выводы.

Во **второй** главе описываются методики, которые были разработаны или использовались при выполнении данной работы. В частности, речь идёт о технологии получения, методике изготовления и измерения излучательных и поляризационных характеристик лазерного и спонтанного излучения гетероструктур на основе соединений GaInPAs/InP. Основной технологией изготовления гетеро структур на основе твёрдых растворов GaInPAs/InP и приборов на их основе, которые исследовались в данной диссертационной работе, является жидко фазовая эпитаксия. Для измерения

- электрофизических и спектральных характеристик эффективным является метод люминесценции.

В **третьей** главе рассмотрены электрофизические и излучательные характеристики приборов изготовленных на основе двойных гетероструктур GaInPAs/InP. Разработана методика определения и расчет диффузионной длины носителей заряда в InP по излучательным характеристикам. Предложен способ повышения эффективности вывода излучения из торца светоизлучающего диода, путём селективного химического травления заготовки полоскового и мез полоскового светоизлучающего диода. Разработаны способы термостабилизации частоты излучения с помощью элемента Пельтье и перестройки длины волны излучателей в гетеролазерах посредством изменения температуры. Посредством использования 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 InGaAsP/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 во всех слоях гетероструктуры InGaAsP/InP. Результаты численных расчетов, проведенных по разработанным методикам, хорошо согласуются с экспериментальными результатами ранее опубликованных работ. В заключении сформированы основные результаты, полученные в диссертационной работе.

7. Замечание по содержанию диссертации.

Работа в целом выполнена на высоком научном уровне, однако при чтении диссертации возникают некоторые замечания:

1. В диссертации приведён большой объём литературный обзор, но меньше всего уделено внимание правилу отбора при межзонного перехода в квантоворазмерных слоях и влияние внутренних напряжений на излучательных характеристики лазерных диодов.
2. В четвёртой главе диссертации пункт 4.1 повторяет некоторые моменты пункта 1.6 первой главы.

Указанные замечания не касаются существа решённой задачи и не влияют на высокую оценку диссертации в целом.

8. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

На основании анализа диссертации, автореферата и опубликованных автором работ можно сделать вывод о том, что диссертационная работа является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным на актуальную тему. Диссертация выполнена автором на достаточном научно-техническом уровне, написана технически грамотно и оформлена в соответствии с требованиями ВАК при Президенте Республики Таджикистан. Совокупность результатов, полученных лично автором, позволяет квалифицировать ее как кандидатскую диссертацию. Результаты работы в целом достоверны, выводы и заключения научно обоснованы. Опубликованные работы и автореферат отражают основное содержание диссертации.

Диссертационное исследование проводилось согласно специальности 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния» и в целом соответствует областям исследований согласно ее паспорту.

Считаю, что по объёму проведённых исследований, новизне полученных результатов и практической значимости, диссертация Алидодова Тутишо Мералишоевича соответствует требованиям п. 9. «Положение о порядке присуждения ученой степени» ВАК при Президенте Республики Таджикистан, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07. – физика конденсированного состояния.

Зав. кафедрой общей

и теоретической физики Кулябского

государственного университета имени А. Рудаки.

кандидата физико-математических наук

Акрамова Р.Я.

Адрес: 736360, Республика Таджикистан

Хатлонская область, г. Куляб, ул. С. Сафарова, 16

Тел.:(+991)918288615, E-mail: Ruhshona.Akramova@mail.ru

Подпись официального оппонента Р. Я. Акрамовой удостоверяю

Начальник ОК и СР КГУ им. А. Рудаки



Амиров Ф.А.