

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Асланяна Артёма Эдуардовича «Модуляционная спектроскопия светодиодных гетероструктур на основе InGaN/GaN», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «Оптика».

Одной из центральных проблем современной оптики является создание эффективных источников света в различных областях спектра. Появление полупроводниковых светодиодов открыло большие возможности для решения этой проблемы в связи с их высоким коэффициентом полезного действия на основе прямого преобразования энергии электрического тока в световое излучение. Дополнительным выигрышным фактором источников излучения, создаваемых на основе полупроводниковых светодиодов, является большой срок их работы без существенных изменений выходных характеристик, а также малые габариты, простота управления и др. Следует отметить, что до последнего времени основные достижения в этой области были достигнуты в длинноволновом спектральном диапазоне. Нитрид-содержащие полупроводниковые гетероструктуры оказались весьма перспективными для разработки и создания оптоэлектронных приборов в сине-зеленой, а также в ультрафиолетовой областях спектра. При этом до сих пор остаются вопросы, связанные с поисками оптимальных составов нитрид-содержащих гетероструктур и установления оптимальных режимов их работы. Трудности анализа микрохарактеристик такого рода гетероструктур обусловлены сильной неоднородностью состава, присутствием дефектов и механических напряжений, возникающих из-за несоответствия кристаллической структуры подложки и полупроводниковых компонентов. Как выяснилось, стандартные методики анализа зонной структуры в нитрид-содержащих гетероструктурах (фотолюминесценция, спектрофотометрия и др) оказываются малоэффективными для получения информации о микроскопических характеристиках этих устройств. Поэтому тематика работы А.Э. Асланяна, связанная с разработкой новых перспективных оптических методов исследования такого рода структур в области р-п-р переходов, является весьма актуальной. Решение такого рода задач в диссертации А.Э. Асланяна предложено осуществить на основе модуляционных спектральных методик: электропропускания, электроотражения и фототока. Модуляционные методы спектроскопии, основанные на синхронном детектировании полезных сигналов, позволяют осуществить отстройку от континуального спектра излучения, присутствующего в образцах, и обеспечивают высокую точность измерений а также возможность проводить измерения при комнатной температуре для различных типов образцов.

В диссертационной работе А.Э. Асланяна выполнено детальное обоснование эффективности предлагаемых модуляционных методик анализа спектров электроотражения, электропропускания и фототока для получения количественной информации об энергии межзонных переходов в исследуемых гетероструктурах InGaN/GaN, о напряжённости электрического поля, возникающего в активной области из-за присутствия в них сильных механических напряжений,

Диссертационная А.Э. Асланяна состоит из введения, главы, посвящённой теоретическому обзору применяемых методов и свойств объектов исследования, главы с описанием экспериментальных установок и исследуемых образцов, трёх глав, с экспериментальными результатами и обработкой тремя модуляционными методами – электроотражения (ЭО), электропропускания (ЭП) и фототока (ФТ), а также главу, объединяющую все три методики.

Особенностью обсуждаемых материалов является присутствие в них пьезоэффекта из-за нецентросимметричности структуры (точечная группа C_{6v}). В связи с несоответствием периодов подложки и гетероструктуры, нанесённой на эту подложку, возникают большие механические напряжения, приводящие из-за пьезоэффекта к возникновению сильных электрических полей.

На основе разработанной модуляционной методики электроотражения и электропропускания были выполнены измерения напряжённости возникающего из-за пьезоэффекта электрического поля в квантовых ямах полупроводниковых светодиодов InGaN/GaN в области p-n-p перехода при малых напряжениях внешнего электрического поля, приложенного к исследуемому образцу. В результате выполненных экспериментов разработанными методами модуляционной спектроскопии впервые получено распределение величины напряжённости возникающего из-за пьезоэффекта внешнего поля по толщине активной области InGaN/GaN полупроводниковых светодиодов с различными длинами волн излучения в синей области спектра. При больших значениях напряжённости электрического поля в этой области происходит разделение электронов и дырок, ответственных за излучение образца, что приводит к уменьшению интенсивности излучения светодиодов. Таким образом, знание величины напряжённости электрического поля в области p-n-p представляется крайне важным для установления оптимальных условий для эффективной работы светодиода. Обнаружена неоднородность распределения внутреннего электрического поля по толщине образца и исследована ее зависимость от воздействия внешнего электрического поля. На основе полученных экспериментальных данных выработаны рекомендации для проектирования структуры активной области, позволяющие минимизировать напряжённости электрических полей как в среднем по структуре, так и в отдельных

квантовых ямах для увеличения эффективности свечения светодиодов. В результате проделанных исследований установлены оптимальные составы для получения излучателей с улучшенными характеристиками.

А.Э. Асланяном впервые обнаружены интерференционные биения в спектрах излучения InGaN/GaN полупроводниковых светодиодов. В диссертации дано теоретическое объяснение наблюдаемых интерференционных биений на основе электрооптического эффекта. С использованием полученных экспериментальных результатов были рассчитаны значения соответствующих электрооптических коэффициентов, согласующиеся с литературными данными для полупроводников такого типа.

Модуляционным методом фототока для нескольких образцов InGaN/GaN полупроводниковых светодиодов был обнаружен фотореверсивный эффект, состоящий в изменении направления этого тока в зависимости от величины приложенного внешнего напряжения. Приведено вполне обоснованное объяснение этого эффекта на основе инверсии зон при изменении приложенного напряжения к гетеропереходу. Наблюдаемая зависимость направления фототока от длины волны возбуждающего излучения может быть использована для создания оптических триггеров.

В целом в диссертации А.Э Асланяна разработан новый подход для установления микроскопических характеристик активной области полупроводниковых светодиодов, создаваемых на основе InGaN/GaN гетероструктур. Созданные взаимодополняющие модуляционные методики обеспечили возможность получить независимые данные, удовлетворительно согласующиеся между собой. Это свидетельствует о надёжности и достоверности полученных научных результатов. Отметим некоторые замечания по данной диссертации.

1. В диссертации отсутствуют количественные данные о выходных характеристиках исследованных светодиодов: выходной мощности, коэффициенте полезного действия, ширине спектра излучения, деградации характеристик обсуждаемых светодиодов от времени и режимов работы. Не проанализированы также возможности дальнейшего улучшения этих характеристик в конкретных устройствах.

2. Имеются неточности в оформлении диссертации. В подписи к Рисунку 4.6. приведена сила тока «50 мА», хотя на самом рисунке приведено значение «7 мА». Рисунок 5.5 в тексте диссертации обозначен как 5.6.

Несмотря на отмеченные замечания, носящие непринципиальный характер, работа А.Э Асланяна выполнена по актуальной научной тематике и на высоком научно-техническом уровне. Полученные в этой работе научные результаты апробированы на представительных международных

конференциях и опубликованы в известных научных журналах. Результаты выполненного исследования представляют несомненный интерес для дальнейшего развития оптоэлектроники и совершенствования источников электромагнитного излучения коротковолнового диапазона. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Таким образом, работа А.Э. Асланяна удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к кандидатским диссертациям. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.05 – «оптика», а также критериям, определённым пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертация оформлена согласно положениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Считаю, что соискатель Асланян Артём Эдуардович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.05 – «оптика».

15.05.2019 г.

Доктор физико-математических наук, профессор,
главный научный сотрудник, и.о. заведующего лабораторией
«Комбинационное рассеяние света» Отделения оптики Физического
института имени П.Н. Лебедева РАН

119333, Москва, Ленинский пр-кт, д. 53 Тел. +7(499) 135-23-50. E-mail:
gorelik@sci.lebedev.ru

30.05.2019  /Горелик Владимир Семёнович/

Подпись Горелика В.С. заверяю.

Заместитель директора ФИАН

 Савинов С.Ю

