

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук, профессора, Брудного Валентина Натановича на диссертационную работу Томашевича Александра Александровича «Процессы дефектообразования в гетероструктуре GaN–светодиодов с множественными квантовыми ямами», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.5 – «Физическая электроника»

Гетероструктуры InGaN/GaN с множественными квантовыми ямами представляют особый интерес в связи с их использованием в системах светодиодного освещения. Поэтому задачи, связанные с исследованием процессов электрической деградации в светодиодных гетероструктурах InGaN/GaN являются актуальными, что подтверждается значительным объемом публикаций по данной тематике, как в России, так и в других странах.

Диссертация Томашевича Александра Александровича «Процессы дефектообразования в гетероструктуре GaN–светодиодов с множественными квантовыми ямами» состоит из введения, четырёх глав, заключения и приложений, написана на 128 страницах и содержит список литературы из 103 источников. Работа имеет ясную логическую структуру, содержит рисунки, таблицы и графики, поясняющие суть проведенного исследования.

Во введении приведены данные, подтверждающие актуальность работы, сформулированы цель и задачи работы, представлены положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит аналитический обзор современных представлений о механизмах деградации и динамике дефектообразования в светодиодных гетероструктурах в процессе испытаний. Рассмотрены достоинства и недостатки экспериментальных и расчетных методов, основанных на различных математических моделях. Проанализированы существующие методы исследования и диагностики процессов дефектообразования в гетероструктурах светоизлучающих диодов (СИД) с одной и множественными квантовыми ямами (МКЯ). Выбраны и обоснованы наиболее перспективные методы исследований.

Во второй главе диссертации приведены результаты исследования сверхслабого свечения активной области, обнаруженного в гетероструктурах на основе InGaN/GaN с МКЯ в диапазоне нано- и микротоков. Показано, что данное свечение имеет туннельно-рекомбинационную природу и является структурно-чувствительным. На основании полученных результатов и созданного программного обеспечения, позволяющего производить пиксельный анализ

цифровых фотографий картин туннельно-рекомбинационного свечения, создана методика визуализации распределения дефектов по площади кристалла светодиода и контроля динамики развития явлений деградации. Представлены результаты исследования изменения картин свечения СИД от длительности испытаний.

В третьей главе диссертации представлены результаты исследований прямых и обратных вольтамперных характеристик (ВАХ) СИД различной архитектуры в зависимости от длительности испытаний. Показано, что наибольшие изменения в процессе испытаний наблюдаются на начальных участках прямых ветвей ВАХ, а также ВАХ, полученных при обратных смещениях. Обнаружены и исследованы эффекты нестабильности тока и релаксации во время пауз в испытаниях. Установлена связь изменений ВАХ с динамикой деградационных явлений, происходящих в светодиодных гетероструктурах при испытаниях.

В четвертой главе представлена тепловая модель, использованная автором при оценках температуры локального перегрева в области протяженного дефекта, а также при исследованиях роли возникающих при этом термомеханических напряжений в явлениях деградации активной области СИД. Приведены экспериментальные подтверждения полученным расчетным данным.

В заключении приведено описание физической картины развития процессов дефектообразования в гетероструктуре СИД от длительности испытаний, сформулированы основные результаты и выводы, соответствующие поставленным задачам.

Наиболее значимыми результатами, представляющими **научную новизну диссертации**, являются следующие:

Подтверждена туннельно-рекомбинационная природа сверхслабого свечения, наблюдающегося в диапазоне нано- и микротоков в светодиодных гетероструктурах с МКЯ на основе InGaN/GaN. Показано, что планарное распределение этого свечения коррелирует с текущим состоянием дефектности гетероструктуры в процессе испытаний.

Численные оценки локального перегрева активной области на основе модели линейного дефекта и, возникающих в этих условиях термомеханических напряжений, позволили уточнить физическую картину процессов дефектообразования GaN – гетероструктур от длительности испытаний.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в методике, позволяющей на основе анализа картин туннельно-рекомбинационного свечения и фотолюминесценции (при УФ-подсветке), выявлять распределение (картографирование) флуктуаций концентрации атомов индия, возникающих при

росте эпитаксиальных пленок, а также оценивать планарное распределение и размеры скоплений дефектов структуры в СИД, которые необходимы для уточнения электротепловых моделей и входного контроля качества СИД.

Достоверность научных положений и выводов подтверждается использованием современных экспериментальных и аналитических методов исследования, которые выбирались с учетом поставленных задач и особенностей объекта исследования, а также согласованностью полученных соискателем результатов с современными представлениями о физических процессах деградации и дефектообразования в светодиодах на основе InGaN/GaN гетероструктур.

Результаты научных исследований докладывались и обсуждались на всероссийских и международных научно-технических конференциях, а также отражены в 22 научных публикациях, из которых 3 статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК; 2 публикации в материалах научных конференций, индексируемых реферативными базами данных Web of Science и Scopus; 16 материалов докладов на всероссийских и международных научных конференциях; имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Результаты диссертационного исследования использованы в учебном процессе ФГБОУ ВО «ТУСУР», а также на предприятии АО НИИ ПП г. Томска, о чём свидетельствуют акты внедрения результатов диссертационной работы, приведённые в приложении к диссертации.

Автореферат диссертации отражает основные идеи и результаты диссертационного исследования, а также вклад автора, степень новизны и практической значимости приведённых результатов научных исследований. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

К замечаниям по диссертационной работе можно отнести:

1. Отсутствие патента на изобретение или на полезную модель, хотя методика диагностики, представленная во второй главе диссертации, имеет научную и практическую значимость, что вполне могло бы быть основанием, для составления заявки на способ контроля качества GaN-светодиодов.
2. На некоторых рисунках отсутствует нумерация на соответствующие публикации соискателя. Например, рис.2.3, рис.2.10, рис.2.12...

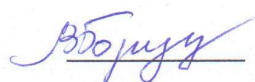
Приведённые замечания и недостатки не влияют на общее положительное впечатление от диссертационной работы, а, скорее, демонстрируют возможности для продолжения научных исследований в данном направлении.

Диссертация Томашевича А.А. является законченной научно-квалификационной работой, соответствует паспорту специальности 1.3.5 – «Физическая электроника», а её автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент, д.ф.-м.н.,
профессор кафедры физики полупроводников
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Национальный исследовательский
Томский государственный университет»

Тел: +7 (3822) 529 665, E-mail: delo@mail.tsu.ru
Адрес: 634050, г.Томск, пр. Ленина, 36

Подпись Брудного В.Н. заверяю

 В.Н. Брудный
« 7 » декабря 2023г.

Ученый секретарь Национального
исследовательского Томского
государственного университета





Н.А. Сазонтова