

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации **Зиновьева Романа Александровича** на тему «Исследование дефектов в GaN светодиодах», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – «Физика полупроводников», состоявшейся в НИТУ «МИСиС» 09.10.2020 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» 13.04.2020 (протокол № 17) с изменениями от 10.06.2020 (протокол № 19).

Диссертация выполнена на кафедре полупроводниковой электроники и физики полупроводников Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования НИТУ «МИСиС», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук Поляков Александр Яковлевич, профессор кафедры полупроводниковой электроники и физики полупроводников НИТУ «МИСиС».

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» 13.04.2020 (протокол № 17) с изменениями от 10.06.2020 (протокол № 19):

1) Ховайло Владимир Васильевич – доцент, д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ «МИСиС» – председатель комиссии;

2) Мурашев Виктор Николаевич – д.т.н., профессор кафедры полупроводниковой электроники и физики полупроводников НИТУ «МИСиС»;

3) Бублик Владимир Тимофеевич – д.ф.-м.н., профессор кафедры материаловедения полупроводников и диэлектриков НИТУ «МИСиС»;

4) Мармалюк Александр Анатольевич – д.т.н., начальник НТЦ АО «НИИ «Полус» им. М.Ф. Стельмаха»;

5) Редькин Аркадий Николаевич – д.ф.-м.н., заведующий экспериментально-технологической лабораторией ИПТМ РАН.

В качестве ведущей организации утверждено Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, г. Санкт-Петербург.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– показано, что в n-GaN с плотностью дислокаций менее $5 \times 10^8 \text{ см}^{-2}$ диффузионные длины неравновесных носителей заряда определяются не плотностью дислокаций, а присутствием точечных дефектов с глубокими уровнями, связанными с междоузельными азотными акцепторами;

– проведены детальные исследования спектров глубоких электронных и дырочных ловушек в светодиодных структурах с множественными квантовыми ямами GaN/InGaN, излучающими в ближней ультрафиолетовой (УФ), синей и зелёной областях спектра. Положение уровней в светодиодах с различными значениями ширины запрещённой зоны в квантовых ямах (КЯ) примерно привязано к положению уровня вакуума;

– предложено, что корреляция спектров глубоких уровней с изменениями оптической мощности наблюдается лишь для электронных ловушек, связанных с N_i^- в КЯ, которые являются центрами безызлучательной рекомбинации в КЯ и влияют на уменьшение эффективности электролюминесценции. Вторые снижают эффективность инжекции носителей в КЯ за счёт усиления рекомбинации инжектированных электронов и дырок в барьерах;

– выяснено, что в светодиодах ближнего УФ диапазона неоптимальные методы выращивания, ведущие к росту концентрации дырочных ловушек и появлению избыточных утечек на вольт-амперных характеристиках, способствуют неоднородному протеканию тока через структуру и локальному перегреву прибора, в результате которых наблюдается преждевременный отказ светодиодов при длительной наработке в жёстких условиях;

– установлено, что снижение плотности дислокаций и упругих напряжений, происходящее при зарастивании структур с наностолбиками, ведёт к снижению концентрации центров безызлучательной рекомбинации и повышению эффективности электролюминесценции структур, излучающих в синем и зелёном диапазонах спектра.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

В диссертационной работе получены новые данные о влиянии облучения образцов нелегированного n-GaN электронами с энергией 6 МэВ при комнатной температуре на концентрацию доноров, диффузионную длину и спектры глубоких состояний. Представлена эффективность измерения шумовых характеристик в обнаружении аномального поведения светодиодов и брака. Также в работе успешно продемонстрирована возможность определения корреляции между концентрациями дефектов, вводимых с помощью облучения электронами высоких энергий и различными характеристиками приборов и экспериментально исследованы основные источники безызлучательной рекомбинации в светодиодах на основе InGaN/GaN. Данная диссертационная работа показывает возможность устанавливать местоположение дефектов в различных слоях светодиодных структур с использованием выравнивания глубоких центров относительно уровня вакуума.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

В работе показано, как с помощью радиационных испытаний можно контролируемо находить взаимосвязь между концентрациями введенных дефектов и характеристиками приборов.

Полученные экспериментальные результаты могут применяться для прогнозирования работы светодиодов при эксплуатации в условиях повышенных электрических, температурных нагрузок и радиационного излучения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждаются большим набором измеренных данных с применением современного экспериментального и исследовательского оборудования. Опубликованные результаты хорошо согласуются с публикациям других научных групп.

Личный вклад соискателя состоит в:

анализе существующих литературных данных, реализации основных экспериментальных подходов, выборе и применении методов для решения поставленных задач, проведении компьютерных расчетов, интерпретации и обобщении полученных результатов, а также в формулировке основных положений. По результатам диссертационной работы автором опубликовано восемь статей в научных журналах, входящих в перечень ВАК РФ и базы Web of Science/ Scopus.

Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук НИТУ «МИСиС» соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Зиновьева Романа Александровича соответствует критериям п.2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС», так как в ней на основании выполненных автором исследований получены новые достоверные данные о роли глубоких уровней в снижении эффективности современных InGaN/GaN светодиодов с квантовыми ямами, механизмах деградации во время ускоренного старения и возможных источниках сбоя в работе светодиодов.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Зиновьеву Роману Александровичу ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – «Физика полупроводников».

При проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 4 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за - 4, против - 0, недействительных бюллетеней - 0.

Председатель Экспертной комиссии



В.В. Ховайло