

официального оппонента на диссертацию **Чернякова Антона Евгеньевича** «Особенности развития деградации внешней квантовой эффективности мощных синих светодиодов на основе квантоворазмерных InGaN/GaN структур», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 - Физика полупроводников.

Актуальность темы

Проблема деградации внешней квантовой эффективности (ВКЭ) мощных синих InGaN/GaN светодиодов изучается более 20 лет, начиная с создания первых светодиодов, и в настоящее время приобрела особую актуальность в связи с развитием в разных странах мира программ по созданию твердотельного энергосберегающего освещения на их основе. Указанная прикладная проблема обусловлена отсутствием достаточно полного правильного понимания процессов, ответственных за деградацию, как следствие, отсутствуют общепринятые модели, адекватно их описывающих. Такая ситуация обусловлена, в частности, тем, что в отличие от других материалов A₃B₅, в A₃N имеется несколько потенциальных источников (каналов) деградации, среди которых выделяются два – большая плотность дислокаций и других протяженных несовершенств решетки, а также локальные неоднородности состава твердого раствора InGaN по индию и к началу постановки рецензируемой работы не существовало простых обоснованных методов для выделения вклада каждого из упомянутых каналов деградации. Выбранная Черняковым А.Е. тема исследований, направленная на поиски и обоснование новых методов диагностики механизмов, ответственных за ВКЭ светодиодов, безусловно, является **актуальным**, и находится в русле развития современной физики полупроводниковых наноматериалов и квантоворазмерных структур.

Основные научные результаты, полученные автором, и их новизна

Наиболее существенными, имеющими мировой приоритет, являются следующие результаты:

- 1) Выявлено два канала дефектообразования под действием инжекционного тока: один локализован в системе протяженных дефектов, другой в локальных областях с неравновесным составом твердого раствора с повышенным содержанием индия.

- 2) Показано, что дефектообразование в этих каналах развивается в процессе старения при участии механизма Голда-Вайсберга и сопровождается : локальными перегревами и рекомбинационно – стимулированной миграцией индия и галлия, а также перераспределением индия между локальными областями твердого раствора. Эти процессы усиливают проводимость квазиомических шунтов, локализованных в системе протяженных дефектов, и снижают концентрацию неравновесных носителей, участвующих в излучательной рекомбинации, что и приводит к деградации внешней квантовой эффективности светодиодов.
- 3) Выяснено, что перераспределение индия в локальных областях с существенно неравновесным составом твердого раствора, приводящее к модуляции проводимости активной области, и присутствие шунтов ответственны за катастрофические отказы и немонотонное развитие деградации ВКЭ светодиодов.
- 4) Установлено, что многообразие вариантов развития деградации ВКЭ синих светодиодов вызвано сложной комбинацией и чередованием, а также стабилизацией процессов дефектообразования в этих двух каналах во времени. Неоднозначная связь между излучательной рекомбинацией и дефектообразованием в первые 5000 часов старения вызвана тем, что области, в которых происходят эти процессы, пространственно разнесены.

Научная и практическая значимость работы

Развитый в диссертационной работе подход к экспериментальному изучению процессов деградации ВКЭ синих светодиодов, основанный на использовании предложенного набора экспериментальных методов и учитывающий фрактальную природу наноматериала, открывает новые возможности для выяснения причин низкого срока службы светодиодов и лазеров других спектральных диапазонов, создаваемых на основе A^3N наноматериалов.

Степень достоверности результатов и обоснованность научных положений и выводов

Достоверность экспериментальной части работы обоснована воспроизводимостью многочисленных полученных результатов, применением целого набора независимых методов исследования на большом количестве образцов светодиодов различных производителей, как российских отечественных, так и ведущих зарубежных фирм, на

разных временных стадиях процесса старения, а также и взаимной согласованностью данных различных методов. Достоверность основных положений и выводов диссертации, касающихся интерпретации механизмов деградации основана на использовании хорошо известных и общепринятых теоретических представлений.

Замечания

- 1) Диссертация в целом хорошо оформлена и достаточно иллюстрирована полученными автором экспериментальными данными, однако как оформление, так и изложение не свободно от недостатков. Так имеются не совсем удачные фразы, как то «магний имеет большой тетраэдрический радиус, что приводит к неизбежности неоднородностей», содержит некоторое количество опечаток и ошибок в подписях к рисункам.
- 2) В работе показано, что вид вольт-амперных характеристик является важным критерием определения механизма деградации, однако отсутствуют данные об их обратимости или воспроизводимости при повторном измерении в режимах высоких токов, что является важным для дальнейшей интерпретации и применении такого метода.
- 3) На наш взгляд, следовало бы более подробно обсудить вклад в процесс деградации ВКЭ светодиодов безызлучательной рекомбинации по механизму Шокли-Рида-Холла через единичные центры, создающие глубокие уровни в запрещенной зоне.
- 4) К сожалению, в диссертации практически не представлены исследования по изменению последовательного сопротивления светодиодов при старении, которое является их важным рабочим параметром.

Сделанные замечания не ставят под сомнение основные результаты и выводы диссертации и не снижают общую положительную оценку работы в целом. Диссертация Чернякова А.Е. является законченным научным исследованием, выполненным автором на высоком экспериментальном и научном уровне. Цели и задачи, поставленные в работе полностью осуществлены. Автореферат и публикации полно и правильно отражают содержание диссертации и ее основные положения и выводы.

Таким образом, по объему, научно-практическому значению, достоверности и новизне диссертационная работа Чернякова А.Е. «Особенности развития деградации внешней квантовой эффективности мощных синих светодиодов на основе квантоворазмерных

InGaN/GaN структура » полностью отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Черняков Антон Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – Физика полупроводников.

Официальный оппонент, д. ф.-м. н., профессор,

Вывенко Олег Федорович

профессор кафедры электроники твердого тела Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет»,

Контактная информация:

Почтовый адрес: Старый Петергоф, ул. Ульяновская д. 1, Санкт-Петербург, 198504

Тел. (+7) 812-428-43-96

e-mail: vyvenko@nano.spbu.ru

ПОДПИСЬ РУКИ
ЗАВЕРЯЮ. НА ИМЕНИ
ОТДЕЛА КАНДИДАТОВ
Н. А. ГОРИН

