

ОТЗЫВ

дополнительного члена диссертационного совета ДС.ТПУ.03 Суржикова Анатолия Петровича на диссертацию **Симоновой Анастасии Владимировны** «Влияние ионизирующего излучения на деградационные процессы в светодиодах при эксплуатации», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Актуальность темы диссертационной работы

В настоящее время светодиоды (СД) активно применяются практически во всех отраслях науки и техники, в т.ч. и для волоконно-оптических линий связи, интегрированных оптоэлектронных устройств, систем оптической связи с открытым каналом, медицинского приборостроения и т.д. Таким образом, СД можно отнести к полупроводниковым приборам, которые эксплуатируются в самых разнообразных условиях. При этом в атомной, космической и военной промышленности особое внимание уделяется проблемам их надежности и радиационной стойкости. В условиях космического пространства и на ядерных энергетических объектах они подвергаются комплексному и комбинированному воздействию различных видов ионизирующего излучения и эксплуатационных факторов. Для решения задачи исследования комбинированного и комплексного действия ионизирующего излучения и эксплуатационных факторов необходимо сопоставить действие этих факторов на светотехнические и электрофизические характеристики СД как совместно, так и в отдельности. Работа Симоновой А.В. как раз и посвящена влиянию ионизирующего излучения на деградационные процессы в светодиодах при эксплуатации, то есть комбинированному влиянию выбранных факторов, что является **актуальной** задачей.

Общая методология и методика исследования, представленные в работе, основаны на исследовании изменения электрофизических и светотехнических характеристик светодиодов при воздействии внешних факторов (повышенная температура, наложение внешнего электрического поля, облучение гамма-квантами и быстрыми нейтронами). Была выдвинута гипотеза о том, что основной причиной старения светодиодов при низких уровнях воздействия является трансформация исходной дефектной структуры светодиода. Предполагалось, что ее вклад можно снизить путем воздействия ионизирующим излучением. Выдвинутая гипотеза была последовательно доказана автором. Также отмечу, что используемое автором измерительное оборудование, источники ионизирующего излучения, оборудование для ступенчатых испытаний, а также методы контроля параметров приборов сертифицированы и аттестованы в соответствии с

существующими требованиями. Полученные результаты измерений обрабатывались методами математической статистики.

Содержание работы

Диссертационная работа Симоновой А.В. состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографии и 2 приложений. Общий объем диссертации составляет 130 страниц. Работа содержит 5 таблиц, 76 рисунков. Библиография включает 115 наименований.

Целью диссертационной работы является установление закономерностей изменения светотехнических и электрофизических характеристик светодиодов при комбинированном действии ионизирующего излучения и эксплуатационных факторов.

Задачи, поставленные в диссертационной работе, полностью соответствуют заявленной автором цели и были решены в ходе выполнения настоящей работы.

В первой главе приводится необходимый литературный обзор по тематике исследования. В целом, в этой части диссертации дается достаточно полный обзор.

Вторая глава содержит сведения об исследуемых объектах. Представлено оборудование и установки, на которых были получены результаты, представленные в данной работе. Описана разработанная автором методика определения сопротивления омических контактов светодиодов по форме вольт-амперной характеристики. Также представлены параметры светодиодов до проведения исследований. Выполнена классификация светодиодов по форме вольт-амперной характеристики. Представлен анализ ватт-вольтной характеристики исходных объектов исследования.

Третья глава посвящена анализу полученных результатов ступенчатых испытаний. Автором показано и доказано, что при воздействии эксплуатационных факторов снижение мощности излучения светодиодов, изготовленных на основе гетероструктур AlGaAs и AlGaInP, сначала происходит в результате перестройки исходной дефектной структуры (первый этап). После ее завершения развиваются процессы формирования новых дефектов (второй этап). Увеличение дефектности кристаллической структуры в итоге приводит к катастрофическому отказу. Эти процессы идентичны процессам, наблюдаемым при воздействии ионизирующего излучения, что является основанием для разработки новых методов ускоренных испытаний светодиодов. Установленные коэффициенты повреждаемости определяются типом гетероструктуры и позволяют прогнозировать изменение мощности излучения светодиодов при эксплуатации путем анализа характеристик исходных диодов. Поскольку каждая из гетероструктур характеризуется собственным вкладом выявленных этапов, тогда, зная вклад этапов при облучении и установленные коэффициенты пропорциональности, можно прогнозировать изменение мощности при эксплуатации.

Четвертая глава содержит результаты изменения параметров светодиодов при последовательном воздействии ионизирующего излучения (гамма-кванты, быстрые нейтроны) и факторов длительной эксплуатации, которые автор моделировал ступенчатыми испытаниями. Автор доказал, что надежность СД может быть повышена за счет снижения вклада первого этапа (глава 3), в общее изменение мощности при эксплуатации путем предварительного облучения. Таким образом, предварительное облучение гамма-квантами (быстрыми нейтронами) можно использовать в технологии изготовления светодиодов для улучшения их эксплуатационных показателей. Дальнейшее совершенствование эксплуатационных характеристик возможно при оптимизации уровней предварительного облучения и режимов токовой тренировки после предварительного облучения.

Научная значимость и практическая ценность

1. Предложена методика определения сопротивления омических контактов и объемных каналов утечки тока на основе анализа формы прямой ветви ВАХ.
2. Результаты, полученные в работе, позволяют сопоставить закономерности деградации параметров светодиодов при эксплуатации и при воздействии ионизирующих излучений.
3. Показано, что предварительное облучение гамма-квантами (быстрыми нейтронами) позволяет повысить надежность светодиодов.
4. Результаты работы использованы в АО «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов» (г. Томск) при разработке новых и модернизации серийных изделий оптоэлектроники (Акт использования) и используются в учебном процессе в ФГАОУ ВО НИ ТПУ (Акт внедрения).

Степень обоснованности и достоверности заключений, научных положений, выводов и рекомендаций

Положения, выносимые на защиту, обоснованы в выводах по разделам диссертационной работы. Автор использовал проверенные методики измерений и общепринятые методы статистической обработки результатов измерений, а также сертифицированное и аттестованное оборудование.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 34 работах, в т.ч. 11 работ – в журналах, входящих в перечень ВАК / индексируемых международными базами данных Scopus / Web of Science; глава в коллективной монографии; 22 публикации в материалах конференций. В публикациях материалы диссертационной работы Симоновой А.В. отражены достаточно полно.

Научная новизна

1. Снижение мощности излучения светодиодов, изготовленных на основе гетероструктур AlGaAs и AlGaInP, как при воздействии эксплуатационных факторов, так и при воздействии ионизирующего излучения может быть описано идентичными по характеру проявления закономерностями трансформации дефектной структуры.
2. При эксплуатации светодиодов возрастает вклад диффузионных процессов на границе «полупроводник – многослойный омический контакт», что приводит к росту сопротивления омических контактов, появлению объемных каналов утечки тока (предположительно дислокаций), расположенных параллельно p-n-переходу, к локальному дополнительному нагреву, изменению формы прямой ветви вольт-амперной характеристики (ВАХ) и, в итоге, к повышению вероятности развития катастрофических отказов.
3. Ионизирующее излучение при воздействии на активный слой кристалла светодиода вызывает перестройку структуры исходных дефектов, что приводит к снижению как интенсивности процессов старения, так и вероятности развития катастрофических отказов при эксплуатации

Замечания по диссертационной работе

1. Возможно ли методики, указанные в пп. 2 и 3 в разделе «Практическая значимость работы», применять для других типов полупроводниковых приборов?
2. Поясните, пожалуйста, почему выбраны именно повышенная температура и наложение внешних электрических полей в качестве эксплуатационных факторов?
3. Есть некоторые опечатки по тексту диссертационной работы.
4. Почему были выбраны для исследований гетероструктуры AlGaAs?

Заключение

Указанные замечания не влияют на высокий уровень работы и несущественны для положительной оценки работы, которую можно считать выполненной на высоком теоретическом, экспериментальном и профессиональном уровне. Автореферат диссертации отражает в полной мере содержание диссертации и дает представление о полноте и глубине проведенных научных изысканий диссертанта. Полученные Симоновой А.В. результаты имеют высокую научную и практическую ценность. Работа диссертанта является законченным научным исследованием. Считаю, что диссертационная работа Симоновой Анастасии Владимировны «Влияние ионизирующего излучения на деградационные процессы в светодиодах при эксплуатации» полностью удовлетворяет требованиям п.8 «Порядка присуждения учёных степеней в Национальном

исследовательском Томском политехническом университете», утвержденного приказом ФГАОУ ВО НИ ТПУ от 6 декабря 2018 г. № 93/од в редакции приказа от 28 августа 2019 г. № 66, а диссертант, Симонова Анастасия Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Даю согласие на обработку своих персональных данных.

Дополнительный член диссертационного совета ДС.ТПУ.03
доктор физико-математических наук, 01.04.07, технические
науки, профессор, заведующий кафедрой – руководитель
отделения на правах кафедры «Контроль и диагностика»
Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности
Федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Национальный
исследовательский Томский политехнический университет»

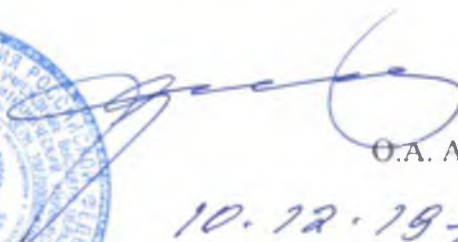
Суржиков Анатолий
Петрович



Сведения: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический
университет», г. Томск, проспект Ленина, 30.

Эл. адрес: surzhikov@tpu.ru.

Подпись Суржикова А.П. заверяю:
ученый секретарь Ученого совета ЦПУ



О.А. Анањева

10.12.197