

ОТЗЫВ

официального оппонента Клопотова Анатолия Анатольевича 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.

В настоящее время все исследования направлены на установление экспериментальных закономерностей изменения параметров светодиодов при ускоренных методах испытаний и распространение этих закономерностей на реальные условия испытаний. Практически отсутствуют закономерности, позволяющие прогнозировать эксплуатационные свойства. Таким образом, каждый новый полупроводниковый материал, каждое новое конструктивное решение требуют проведения соответствующего комплекса определительных испытаний для оценки эксплуатационных свойств приборов.

Решив вопросы прогнозирования и повышения надежности полупроводниковых материалов, из которых изготавливаются в том числе и светодиоды, так как действие различных внешних факторов вызывает определенные изменения характеристик полупроводниковых материалов, приводящие в конечном итоге к изменению функциональных параметров и других эксплуатационных характеристик светодиодов, возможно производить светодиоды с заданной надежностью.

В данном случае постановка цели и задач диссертационной работы А.В. Симоновой, ориентированных на исследование и установление закономерностей изменения светотехнических и электрофизических характеристик светодиодов при комбинированном действии ионизирующего излучения и эксплуатационных факторов, является актуальной и своевременной.

Подробное изучение изменения характеристик светодиодов, изготовленных на основе гетероструктур AlGaAs и AlGaInP, при воздействии эксплуатационных факторов позволило автору выявить идентичность закономерностей снижения мощности излучения светодиодов при воздействии факторов длительной эксплуатации и при воздействии различных видов ионизирующего излучения. Это позволяет прогнозировать значение коэффициентов повреждаемости при эксплуатации по результатам исследования стойкости их к воздействию быстрых нейтронов и гамма-квантов.

Детальное изучение изменения светотехнических и электрофизических характеристик светодиодов при воздействии эксплуатационных факторов, а также при последовательном воздействии гамма-квантов или быстрых нейтронов с последующим моделированием длительной эксплуатации посредством ускоренных испытаний позволило автору получить ряд новых результатов.

Отметим наиболее важные из них.

1. В результате исследований воздействия эксплуатационных факторов на светодиоды, изготовленных на основе гетероструктур AlGaAs и AlGaInP, установлено, что процесс снижения мощности излучения характеризуется двумя этапами:

- на первом этапе снижение мощности обусловлено перестройкой исходной дефектной структуры;
- на втором этапе – введением новых дефектов под действием эксплуатационных факторов. При этом коэффициент повреждаемости на первом этапе существенно превосходит аналогичный параметр на втором этапе.

2. Идентичность закономерностей снижения мощности излучения светодиодов при воздействии факторов длительной эксплуатации и при воздействии различных видов ионизирующего излучения позволяет прогнозировать значение коэффициентов повреждаемости при эксплуатации

по результатам исследования стойкости их к воздействию быстрых нейтронов и гамма-квантов.

3. Предложена методика определения сопротивления омических контактов и объемных каналов утечки тока на основе анализа формы прямой ветви вольт-амперной характеристики.

4. 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.

Полученные результаты, несомненно, имеют теоретическую и практическую значимость. Во-первых, полученные результаты позволяют сопоставить закономерности деградации важнейших параметров светодиодов (мощность излучения, прямая ветвь вольт-амперных характеристик, спектры излучения и т.д.) при эксплуатации и при воздействии ионизирующих излучений, как в области стимулированной воздействием перестройки исходной структуры дефектов, так и в области введения новых дефектов вследствие воздействия. Во-вторых, показано, что предварительное облучение гамма-квантами (быстрыми нейтронами) позволяет повысить надежность светодиодов. В-третьих, разработан комплекс методов оценки сопротивления омических контактов для приборов с р-п-переходом, основанный на анализе формы прямой ветви вольт-амперных характеристик и ее изменения в результате действия различных внешних факторов. В-четвертых, разработана методика определения сопротивления объемных каналов утечки тока, подключаемых параллельно р-п-переходу, на основе анализа формы прямой ветви вольт-амперных характеристик. Также, установленные закономерности снижения мощности излучения светодиодов в результате воздействия эксплуатационных факторов позволяют прогнозировать их надежность по светотехническим и электрофизическим

характеристикам исходных диодов. Более того, предложена методика прогнозирования надежности светодиодов на основе результатов исследования их стойкости к воздействию ионизирующего излучения. Результаты работы использованы в АО «НИИПП» (г. Томск) при разработке новых и модернизации серийных изделий оптоэлектроники (Акт использования) и используются в учебном процессе в ФГАОУ НИ ТПУ (Акт внедрения).

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы не вызывает сомнений. Это обеспечено систематическим характером исследований, большим объемом экспериментальных данных, применением проверенных методик измерений и общепринятых методов статистической обработки результатов измерений, воспроизводимостью полученных результатов, использованием сертифицированного и аттестованного оборудования, а также внутренним единством и непротиворечивостью представленных данных и данных, полученных другими исследователями.

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.

Анализ содержания диссертационной работы

Цель диссертационной работы состояла в установлении закономерностей изменения светотехнических и светотехнических характеристик светодиодов при комбинированном действии ионизирующего излучения и эксплуатационных факторов.

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.

Во введении описаны актуальность и степень разработанности темы исследования, поставлена цель работы и сформулированы задачи исследований, представлены методология исследований, теоретическая и практическая значимость работы, сформулированы научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен литературный обзор по проблеме исследования. Рассмотрено изменение электрофизических и светотехнических характеристик светодиодов при длительной эксплуатации, а также при воздействии ионизирующего излучения. Детально описаны виды катастрофических отказов как при ускоренных испытаниях, так и непосредственно при эксплуатации.

Проведен анализ особенностей проявлений катастрофических отказов светодиодов при их эксплуатации, которые связаны непосредственно с их активными элементами. Установлено, что светодиоды с аномально высокими сопротивлениями омических контактов, а также с аномально высокими рабочими токами имеют более высокую вероятность развития катастрофических отказов вследствие перегрева кристалла и его отсоединения от теплоотвода. Данные светодиоды также можно охарактеризовать высокой скоростью деградации при эксплуатации. Выявлены факты пробоя кристалла светодиодов вследствие электростатического разряда в локальной точке кристалла. Подобных катастрофических отказов светодиодов при воздействии различных видов ионизирующего излучения не выявлено.

Представлены литературные данные по воздействию различных видов ионизирующего излучения на изменение как электрофизических вольт-амперных характеристик, так и светотехнических ватт-амперных характеристик. На основе анализа литературных источников установлен идентичный характер выявленных изменений в результате воздействия

различных видов ионизирующего излучения, проявление которых зависит от типа используемого полупроводникового материала и вида ионизирующего излучения.

Во второй главе автор детально описал используемые объекты исследования, а также используемое оборудование и установки. Более того было проанализированы параметры исходных приборов. На основе данного анализа была произведена классификация светодиодов. А. В. Симонова разработала и представила оригинальную методику определения сопротивления омических контактов. Показано, что дальнейшее развитие этой методики имеет большие перспективы для ее применения на практике. Проведен анализ особенностей используемой аппаратуры и методик, которые обобщены в выводах по второй главе.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям изменения выбранных параметров светодиодов в процессе ступенчатых испытаниях. Достаточно убедительно проведен подбор параметров работы светодиодов с целью моделирования их при длительной эксплуатации в реальных условиях. А. В. Симоновой выполнена классификация приборов по возникающим в процессе испытаний катастрофическим отказам. В результате было установлено, 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. Полученные результаты позволяют сопоставить закономерности деградации критериальных параметров светодиодов при эксплуатации и при воздействии ионизирующих излучений, как в области

стимулированной воздействием перестройки исходной структуры дефектов, так и в области введения новых дефектов вследствие воздействия. Установленные закономерности снижения мощности излучения светодиодов в результате воздействия эксплуатационных факторов позволяют прогнозировать их надежность по светотехническим и электрофизическим характеристикам исходных диодов.

В четвертой главе представлены результаты исследований влияния комбинированного действия ионизирующего излучения и эксплуатационных факторов на изменение электрофизических и светотехнических характеристик светодиодов. В результате исследований А. В. Симоновой было установлено, что предварительное облучение светодиодов гамма-квантами в области доз, которая соответствует радиационно-стимулированной перестройке исходной дефектной структуры, позволяет повысить стойкость омических контактов к воздействию факторов длительной наработки и, таким образом, снизить вероятность развития катастрофических отказов и повысить надежность светодиодов. Более того, предварительное облучение гамма-квантами дозами в области снижения мощности излучения светодиодов вследствие введения радиационных дефектов приводит к ускорению деградации омических контактов при дальнейшей эксплуатации, повышению вероятности проявления катастрофических отказов. В результате показано, что это явление ведет к снижению надежности светодиодов. На основании проведенных исследований в данной главе сделан важный вывод. Предварительное облучение гамма-квантами можно использовать в технологии изготовления светодиодов для улучшения их эксплуатационных показателей, но при условии выбора доз облучения в строго регламентированной области радиационно-стимулированной перестройки исходной дефектной структуры.

В заключении сформулированы основные выводы по работе.

Личный вклад соискателя заключается в участии в постановке цели и задач работы, проведении и обработке экспериментальных исследований, а

также в формулировании выводов и положений, выносимых на защиту; написании статей совместно с соавторами при непосредственном участии; подготовке докладов и выступлениях на семинарах и конференциях.

Замечания по диссертационной работе

1. В работе во второй главе необходимо было представить подробное описание формирования омических контактов для исследуемых светодиодов.

2. В работе получены интересные результаты. Например, представлены данные по комбинированному исследованию надежности светодиодов с предварительным облучением ионизирующим излучением. В тоже время, на основании полученных данных, не сделано прогнозов по изменению параметров светодиодов и как последующее облучение отразится на их надежности при длительной эксплуатации.

3. По тексту диссертации введены необоснованные сокращения, которые затрудняют чтение диссертационной работы. Например, КО – это оказывается катастрофические отказы, а ПО – это параметрические отказы. В тоже время в диссертации используется сокращение ОК (омические контакты). В результате по тексту диссертации наблюдается «мешанина» сокращений, то ОК, то КО.

Заключение. Отмеченные недостатки не касаются основных результатов и выводов, не затрагивают принципиального существа диссертации и не снижают высокую оценку проведенного исследования. Указанные замечания не снижают ценности работы. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Симоновой А.В. отвечает требованиям п. 8 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (dis.tpu.ru).

Основываясь на вышеизложенном, считаю, что диссертационная работа «Влияние ионизирующего излучения на деградиационные процессы в светодиодах при эксплуатации» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему и содержащей

значимые научные и практические результаты, а её автор Симонова Анастасия Владимировна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Даю согласие на обработку своих персональных данных.

Профессор кафедры прикладной механики
и материаловедения Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения «Томский
государственный архитектурно-
строительный университет»,
доктор физико-математических наук по
специальности 01.04.07 – физика
конденсированного состояния, профессор

Клопотов
Анатолий
Анатолевич

Юридический адрес:

ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», 634003, Россия, г. Томск, пл. Соляная, д. 2

Телефон: +7

Эл. адрес: klopotovaa@tsuab.ru

Подпись Клопотова А.А. заверяю.
Ученый секретарь ТГАСУ



Какушкин Ю.А.