

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и
инновациям Национального
исследовательского Томского
политехнического университета

И.Б. Степанов

«19» 09 2019 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный исследовательский Томский
политехнический университет»

Диссертация «Влияние ионизирующего излучения на деградационные процессы в светодиодах при эксплуатации» выполнена в Отделении контроля и диагностики Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Симонова Анастасия Владимировна обучалась в очной аспирантуре по специальности 01.04.07 и работала в качестве ассистента в Отделении контроля и диагностики Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В 2012 г. Симонова Анастасия Владимировна окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению подготовки «Физика» с присвоением квалификации бакалавр физики.

В 2014 г. окончила Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по специальности «Техническая физика» с присуждением квалификации магистр, присвоено специальное звание магистр-инженер.

В 2019 г. окончила аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Диплом об окончании аспирантуры выдан Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего

образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» в 2019 г.

Научный руководитель – доктор технических наук Градобоев Александр Васильевич, профессор Отделения контроля и диагностики Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Актуальность и степень разработанности темы. В настоящее время светодиоды активно применяются практически во всех отраслях науки и техники. В том числе для волоконно-оптических линий связи, интегрированных оптоэлектронных устройств, систем оптической связи с открытым каналом, медицинского приборостроения и т.д. 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. В данном случае комбинированное действие – это разнесенное во времени действие двух и более факторов, в то время как комплексное действие – их одновременное действие. Основными факторами, которые приводят к снижению мощности излучения светодиодов при эксплуатации, являются повышенная температура их активных элементов и электрическое поле (далее эксплуатационные факторы), при этом наблюдаются как параметрические отказы (в основном снижение интенсивности излучения), так и катастрофические отказы.

На основании изложенного выше можно сделать вывод о том, что исследование комбинированного действия ионизирующего излучения и эксплуатационных факторов на светотехнические и электрофизические характеристики светодиодов является **актуальной задачей**.

Личный вклад автора заключается в:

в постановке цели и задач исследования (совместно с научным руководителем); проведении экспериментальных исследований надежности и по влиянию предварительного облучения гамма-квантами и быстрыми нейтронами на стойкость светодиодов к воздействию эксплуатационных факторов с соавторами при непосредственном участии; обработке результатов экспериментов; формулировании выводов и положений, выносимых на защиту; написание статей совместно с соавторами при непосредственном участии; подготовке докладов и выступлениях на семинарах и конференциях.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью постановки цели и задач исследований и их обоснованностью; обеспечивается 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.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что:

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 р-п-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.

Практическая значимость:

1. Показано, что предварительное облучение гамма-квантами (быстрыми нейтронами) позволяет повысить надежность светодиодов.
2. Разработан комплекс методов оценки сопротивления омических контактов для приборов с р-п-переходом, основанный на анализе формы прямой ветви ВАХ и ее изменения в результате действия различных внешних факторов.
3. Разработана методика определения сопротивления объемных каналов утечки тока, подключаемых параллельно р-п-переходу, на основе анализа формы прямой ветви ВАХ.
4. Установленные закономерности снижения мощности излучения светодиодов в результате воздействия эксплуатационных факторов

позволяют прогнозировать их надежность по светотехническим и электрофизическим характеристикам исходных диодов.

5. Предложена методика прогнозирования надежности светодиодов на основе результатов исследования их стойкости к воздействию ионизирующего излучения.
6. 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 НИ ТПУ (Акт внедрения).

Диссертационная работа Симоновой Анастасии Владимировны, посвященная исследованию изменения светотехнических и электрофизических характеристик светодиодов при эксплуатации, а также при комбинированном действии ионизирующего излучения и эксплуатационных факторов, соответствует пунктам 4, 6 и 7 паспорта специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния (технические науки).

Апробация результатов работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на 22 международных научных конференциях, в том числе: II Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Современное состояние и проблемы естественных наук» (Юрга, 2015 г.), VI, VII и IX Школа-конференция молодых atomщиков Сибири (Томск, 2015 г., 2016 г. и 2018 г.), European Materials Research Society Spring Meeting (Лилль, Франция, 2016 г.; Страсбург, Франция, 2017г. и 2018 г.), International Symposium on Reliability of Optoelectronics for Systems (Отвок, Польша, 2016 г.), XII Международная IEEE Сибирская конференция по управлению и связи (SIBCON) (Москва, 2016 г.), VII Международная конференция «Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития» (г. Курчатов, ВКО, Республика Казахстан, 2016 г.), V и VI International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (Томск, 2016 г. и 2018 г.), IX Международная научно-практическая конференция «Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине» (Томск, 2017 г.), Conference of Radiation Effects on Components and Systems (Женева, Швейцария, 2017 г.), 27th European Symposium on Reliability of Electron Devices, Failure Physics (Бордо, Франция, 2017 г.), VIII Международная конференция «Семипалатинский испытательный полигон: наследие и перспективы развития научно-технического потенциала» (Курчатов, ВКО, Республика Казахстан, 2018 г.).

Дипломы. Результаты работы были отмечены следующими наградами: премией и дипломом European Materials Research Society Young Scientist Award, Страсбург, Франция, 2017; дипломом I степени на VIII Международной конференции «Семипалатинский испытательный полигон:

наследие и перспективы развития научно-технического потенциала», Курчатов, ВКО, Республика Казахстан, 2018; дипломом I степени на VII Международной конференции «Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития», г. Курчатов, ВКО, Республика Казахстан, 2016; дипломом на II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Современное состояние и проблемы естественных наук», Юрга, 2015.

По результатам исследования опубликовано 34 работ: 11 из которых в журналах, входящих в перечень ВАК / индексируемых международными базами данных Scopus / Web of Science; глава в коллективной монографии; 22 публикаций в материалах конференции.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Градобоев А.В., **Симонова А.В.**, Орлова К.Н. Комбинированное действие быстрых нейтронов и эксплуатационных факторов на надежность светодиодов ИК-диапазона / // Перспективные материалы, 2018. – № 6. – С. 16–25.

Gradoboev A.V., **Simonova A.V.**, Orlova K.N. Combined action of fast neutrons and operational factors on reliability of infrared LEDs // Inorganic Materials: Applied Research, 2018. – Vol. 9. – No. 5. – Pp. 848–854.

2. Gradoboev A.V., Orlova K.N., Asanov I.A., **Simonova A.V.** The fast neutron irradiation influence on the AlGaAs IR-LEDs reliability // Microelectronics Reliability, 2016. – V. 65. – Pp. 55-59.

3. Gradoboev A.V., **Simonova A.V.**, Orlova K.N. Influence of irradiation by ^{60}Co gamma-quanta on reliability of IR-LEDs based upon AlGaAs heterostructures // Physica Status Solidi (C), 2016. – V. 13. – №. 10-12. – Pp. 895-902.

4. Орлова К.Н., Градобоев А.В., **Симонова А.В.** Исследование изменения электрофизических характеристик светодиодов на основе гетероструктур AlGaInP ($\lambda=624$ нм) с множественными квантовыми ямами при воздействии быстрых нейтронов // Журнал радиоэлектроники 10 (2016). [Электронный ресурс] Схема доступа <http://jre.cplire.ru/jre/oct16/10/text.pdf>

5. Gradoboev A.V., **Simonova A.V.**, Orlova K.N. LEDs based upon AlGaInP heterostructures with multiple quantum wells: comparison of fast neutrons and gamma-quanta irradiation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. – Vol. 363. – No. 1. – P. 012010.

6. Gradoboev A.V., **Simonova A.V.** Main principles of developing exploitation models of semiconductor devices // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. – Vol. 363. – No. 1. – P. 012025.

7. Gradoboev A.V., **Simonova A.V.** Influence of preliminary irradiation by gamma-quanta on development of catastrophic failures during operation of IR-LEDs // Journal of Physics: Conference Series – IOP Publishing, 2017. – Vol. 830. – No. 1. – P. 012132.

8. Gradoboev A.V., **Simonova A.V.**, Orlova K.N. In-service change in radiant power of infrared LEDs // Control and Communications (SIBCON), 2016 International Siberian Conference on. – IEEE, 2016. – Pp. 1-5.

9. Gradoboev A.V., **Simonova A.V.**, Orlova K.N., Babich O.O. Application of radiation technologies for quality improvement of LEDs based upon AlGaAs // Ionizing Radiation Effects and Application, editor Boualem Djeddar. – InTech, 2018.

Диссертация «Влияние ионизирующего излучения на деградиационные процессы в светодиодах при их эксплуатации» Симоновой Анастасии Владимировны рекомендуется защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Заключение принято на заседании Отделения контроля и диагностики Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Присутствовало на заседании 28 чел. Результаты голосования: «за» - 28 чел., «против» - нет, «воздержалось» - нет, протокол № 27 от «24» июня 2019 г.



(подпись лица оформившего
заключение)

Суржиков Анатолий Петрович, д.ф-м.н., профессор, заведующий кафедрой – руководитель отделения на правах кафедры Отделение контроля и диагностики Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности, Национальный исследовательский Томский политехнический университет

