

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ДС.ТПУ.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ», МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК**

Решение диссертационного совета от 26 декабря 2019 г. № 6
О присуждении Симоновой Анастасии Владимировны, гражданке
Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

**Диссертация «Влияние ионизирующего излучения на деградационные
процессы в светодиодах при эксплуатации»**
по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния
принята к защите 22 октября 2019 г., протокол №4, диссертационным советом
ДС.ТПУ.03, созданным на базе федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования (ФГАОУ ВО)
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 634050,
г. Томск, пр. Ленина, 30, утверждённым приказом ректора Национального
исследовательского Томского политехнического университета № 15895 от
06.12.2018 г.

**Соискательница Симонова Анастасия Владимировна, 1990 года
рождения.**

В 2014 г. окончила ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский политехнический университет» по специальности «Техническая
физика» (квалификация «Магистр»).

В 2019 г. окончила очную аспирантуру ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия».

Работает ассистентом в Отделении контроля и диагностики Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство науки и высшего образования РФ.

Диссертация выполнена в Отделении контроля и диагностики Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – доктор технических наук Градобоев Александр Васильевич, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», профессор Отделения контроля и диагностики Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности.

Дополнительно введённые члены диссертационного совета ДС.ТПУ.03:

Олешко Владимир Иванович, доктор физико-математических наук, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», профессор отделения материаловедения Инженерной школы новых производственных технологий;

Суржиков Анатолий Петрович, доктор физико-математических наук, профессор, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», заведующий кафедрой – руководитель отделения на правах кафедры контроля и диагностики Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности.

Официальные оппоненты:

Коханенко Андрей Павлович, доктор физико-математических наук,

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», профессор кафедры квантовой электроники и фотоники;

Клопотов Анатолий Анатольевич, доктор физико-математических наук, ФГАОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет», профессор кафедры прикладной механики и материаловедения.

Выбор официальных оппонентов и дополнительно введённых членов диссертационного совета обосновывается их высокой профессиональной компетенцией в областях полупроводниковых приборов, радиационной физики и материаловедении полупроводниковых материалов, достижениями и наличием публикаций в данной области науки и практики.

Соискатель имеет 39 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 34, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 11 работ.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Общий объём публикаций составляет 2,9 печатных листа с долей авторского участия соискателя – не менее 60 %.

Наиболее значимые научные работы (из числа рецензируемых изданий) по теме диссертации:

1. 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.
2. 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.
3. 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>

4. 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.

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. DOI: 10.30791/1028-978X-2018-6-16-25

5. Градобоев А.В., **Симонова А.В.**, Орлова К.Н. Информативность прямой ветви ВАХ приборов на основе р-п-перехода // Журнал радиоэлектроники, 2019 – №1. [Электронный ресурс]. Схема доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/jan19/8/text.pdf> DOI 10.30898/1684-1719.2019.1.8

6. Gradoboev A.V., Orlova K.N., **Simonova A.V.** Analysis of the Use of Reflectors and Reflective Surfaces for Increasing the Light Efficiency of LEDs Based on AlGaInP Heterostructures // Materials Science Forum, 2019. – Vol. 942. – Pp. 77-86.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

– **Гаврушко Валерия Владимировича**, доктора физико-математических наук, заведующего кафедрой общей и экспериментальной физики, Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, г. Великий Новгород;

– **Соболева Николая Андреевича**, доктора естественных наук, профессора, Университет Авейро, г. Авейро, Португалия;

– **Сигова Александра Сергеевича**, доктора физико-математических наук, профессора, действительного члена Российской Академии наук, заведующего кафедрой наноэлектроники, ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет», г. Москва;

– **Михайлова Александра Ивановича**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой физики полупроводников ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», г. Саратов,

Козырева Антона Андреевича, кандидата технических наук, главного

технолога ООО «НПП «Инжект», г. Саратов;

– **Углова Владимира Васильевича**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой физики твердого тела, Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь;

– **Таперо Константина Ивановича**, доктора технических наук, генерального директора Акционерного общества «Научно-исследовательский институт приборов», г. Лыткарино;

– **Анашина Василия Сегреевича**, кандидата технических наук, заместителя руководителя – начальника НПК-1, Филиал АО «ОРКК» - «НИИ КП», г. Москва;

– **Козюкова Александра Евгеньевича**, начальника отдела НПК-1, Филиал АО «ОРКК» - «НИИ КП», г. Москва;

– **Ханефта Александра Вилевича**, доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры теоретической физики, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово (без замечаний).

Все отзывы положительные. Все отзывы положительные. Замечания являются рекомендательными и сводятся к следующему. В реферате отсутствуют иллюстрации, отражающие влияние ионизирующих излучений на ВАХ светодиодов. Нет пояснения причин отличий характеристик желтых светодиодов СД Ж1 и СД Ж2. Есть замечания по оформлению работы. Не приведены спектральные характеристики светодиодов, а также их изменение в процессе воздействия. Не приведено пояснения о выборе верхнего предела форсирования температуры ступенчатых испытаний. Применимость разработанной модели к другим типам светодиодов. Не указаны состав и метод получения омических контактов, не приведена линейная вольт-амперная характеристика самих контактов, в связи с чем неясно, были ли контакты омическими или, возможно, образовывали контакт с барьером Шоттки. Вызывает определенные сомнения утверждение автора о том, что использование предварительного облучения гамма-квантами и быстрыми нейтронами (по существу, как одного из методов «искусственного старения»)

приводит к увеличению срока эксплуатации светодиодов. Представляется, что более вероятным в данном случае является увеличение стабильности параметров светодиодов при их последующей эксплуатации, а не увеличение срока их службы. На стр. 8 есть ссылка на рисунок 2.19, который отсутствует в автореферате. Уровни воздействия ИИ при облучении гамма-квантами приведены в Грехах, при этом не указывается, по какому материалу даются значения поглощенной дозы. Как известно, поглощенная доза определяется не только характеристиками полей ИИ, но и свойствами облучаемых материалов. В работе не говорится, как осуществлялся переход от характеристик полей гамма-излучения к поглощенной дозе в материале активной области облучаемого прибора (AlGaAs). В работе отсутствуют результаты исследований комбинированного действия ИИ и эксплуатационных факторов на светодиодные структуры на основе AlGaInP. Данные результаты получены только для светодиодов ИК-диапазона на основе AlGaAs. При исследовании деградации светодиодов на основе AlGaAs при гаммаоблучении были выявлены две стадии деградации (рис. 2 в автореферате), причем на первой стадии, определяющейся перестройкой существующих дефектов, скорость деградации заметно ниже, чем на второй. Ранее, в работе «Градобоев А.В., Орлова КН., Асанов И.А. Исследование деградации мощности излучения гетероструктур AlGaInP красного и желтого цвета свечения при облучении гамма-квантами // Журнал радиоэлектроники, № 4, 2013» были получены аналогичные результаты, но на первой стадии скорость деградации за счет перестройки существующих дефектов была существенно выше, чем на второй. Данные различия в работе не объяснены. Некорректно заявление о том, что практически отсутствуют работы о совместном (комбинированном) влиянии ИИ и ЭФ (поля и тем более — температуры) на стойкость полупроводниковых приборов: например, значимая часть докладов сборника ВАНТ посвящена данному вопросу уже не одно десятилетие. Не рассмотрено влияние одновременного воздействия ИИ и ЭФ, а только комбинированное (последовательное). В реальных условиях происходит одновременное

воздействие данных факторов. В работе предлагается использовать воздействие ИИ для прогноза воздействия ЭФ, неясно, возможно ли использование воздействия ЭФ для прогноза воздействия ИИ. Не рассматривается влияние мощности дозы облучения ИИ на результаты. Существуют многочисленные работы В.Д. Попова Г.А. Протопопова по перестройки МОП структуры при предварительном облучении и последующем отжиге, и улучшении эксплуатационных характеристик изделий (радиационной стойкости), ссылки на данные работы отсутствуют. В автореферате имеются опечатки (например, в формуле $4 - N_{np}$ и $I_{кр}$). Из текста автореферата неясно, какая именно дефектная структура перестраивается и какие новые дефекты появляются при воздействии ИИ или ЭФ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны новые экспериментальные методики оценки сопротивления омических контактов для приборов с p-n-переходом и определения сопротивления объемных каналов утечки тока, позволившие повысить точность измерений с расширением границ применимости полученных результатов.

предложена методика прогнозирования надежности светодиодов на основе результатов исследования их стойкости к воздействию ионизирующего излучения;

доказано перспективность использования предварительного облучения гамма-квантов и быстрых нейтронов в технологии повышения надежности светодиодов;

введено новое понятие граничного тока, разделяющего области средней и высокой инжекции электронов в активный слой светодиода.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано положение о снижении мощности излучения в два этапа, вносящие вклад в расширение представлений о деградиационных процессах в гетероструктурах, на основе которых изготовлены светодиоды;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением результатов, обладающих новизной) **использован** комплекс существующих базовых методов исследования и обработки результатов;

изложены доказательства повышения надежности светодиодов путем предварительного облучения гамма-квантами или быстрыми нейтронами;

раскрыт механизм процесса снижения мощности излучения светодиодных гетероструктур AlGaAs и AlGaInP в результате воздействия эксплуатационных факторов;

изучены закономерности изменения мощности излучения светодиодов, изготовленных на основе гетероструктур AlGaAs и AlGaInP от уровня предварительного воздействия гамма-квантов или быстрых нейтронов;

проведена модернизация методов определения сопротивления омических контактов и алгоритмов сопоставления закономерностей деградации параметров светодиодов при эксплуатации и при воздействии ионизирующих излучений, обеспечивающих получение новых результатов по теме диссертации.

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

разработаны и внедрены результаты диссертационной работы при выполнении ОКР «Оптрон» и введены в технологию изготовления разработанных серийных изделий в Акционерном обществе «Научно-исследовательский институт полупроводниковых приборов», г. Томск; используются в учебном процессе в Инженерной школе неразрушающего контроля и безопасности ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» при изучении дисциплин «Физические методы контроля» Отделения контроля и диагностики Инженерной школы неразрушающего контроля и безопасности ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

определены пределы и перспективы практического использования

теоретических методов оценки сопротивления омических контактов светодиодов на практике.

создана система практических рекомендаций по использованию предварительного облучения ионизирующим излучением светодиодов с целью повышения их надежности при эксплуатации.

представлены методические рекомендации и предложения по дальнейшему использованию результатов исследования комбинированного действия ионизирующего излучения и факторов эксплуатации на изменения характеристик светодиодов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ обеспечивается комплексным подходом к решению поставленных задач, использованием апробированных методов и методик исследования, применением аттестованных в установленном порядке моделирующих установок и измерительного оборудования, большим объемом экспериментальных данных;

теория согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

идея базируется на анализе и обобщении опыта в области исследования надежности полупроводниковых материалов и изделий электронной техники на их основе, изложенного в литературе;

использованы сравнения авторских результатов и данных, полученных ранее по тематике исследования изменения электрофизических и светотехнических характеристик светодиодов при эксплуатации;

установлено качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике.

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации, анализа порошковых материалов, новые подходы к выбору объектов для исследования.

Личный вклад соискателя постановке задач исследования, планировании и проведении экспериментов, в анализе результатов

экспериментальных исследований, формулировке выводов. Все результаты получены автором лично или совместно с соавторами при его непосредственном участии. Автором сформулированы научные положения и основные выводы диссертации.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи выявления закономерности изменения светотехнических и электрофизических характеристик светодиодов на основе гетероструктур AlGaAs и AlGaInP, предварительно обученных гамма-квантами и быстрыми нейтронами, при воздействии эксплуатационных факторов, что имеет существенное значение для области применения полупроводниковых приборов на основе р-п-перехода в жестких условиях эксплуатации (соответствие требованию п. 8 абз. 2 Порядка присуждения учёных степеней в НИ ТПУ приказ №93/од от 06.12.2018 г.)

На заседании 26 декабря 2019 года диссертационный совет ДС.ТПУ.03 принял решение присудить Симоновой Анастасии Владимировне учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 7 человек, из них 7 докторов наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 3 человек, входящих в состав совета, и дополнительно введённых на защиту 4 человек, проголосовали: за - 7, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель
диссертационного
совета ДС.ТПУ.03



Кривобоков Валерий Павлович

Ученый секретарь
диссертационного
совета ДС.ТПУ.03

Бынгазов Сергей Анатольевич

26 декабря 2019 г.