

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

диссертационного совета Д 212.141.17, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 17 октября 2018 г. № 17

О присуждении Романову Андрею Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Зарядовые процессы в МДП-структурах в условиях радиационных воздействий и сильнополевой инжекции электронов» по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния принята к защите 04 июля 2018 года (протокол заседания № 12) диссертационным советом Д 212.141.17, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Минобрнауки России, 105005, г. Москва, ул. 2-ая Бауманская, 5, приказ № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Романов Андрей Владимирович 1978 года рождения.

В 2001 году соискатель окончил Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана по специальности «Проектирование и технология радиоэлектронных средств».

С 15.11.2010 г. по 14.11.2014 г. соискатель обучался в аспирантуре по заочной форме обучения по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния на кафедре конструирования и производства электронной аппаратуры Калужского филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

В настоящее время соискатель работает в должности заместителя генерального директора по научной работе в акционерном обществе «ОКБ Микроэлектроники» Министерства промышленности и торговли Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре конструирования и производства электронной аппаратуры Калужского филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор технических наук Андреев Владимир Викторович, профессор, профессор кафедры проектирования и технологии производства электронных приборов Калужского филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

Официальные оппоненты:

Волков Николай Викторович – доктор физико-математических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»», кафедра физических проблем материаловедения, профессор;

Вишняков Николай Владимирович – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет», кафедра микро- и наноэлектроники, доцент
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Лаборатория Космического материаловедения ИК РАН – филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук (ЛКМ ИК РАН), г. Калуга, в своем положительном заключении, подписанном Михеевым Николаем Николаевичем, кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником лаборатории структурных исследований и утвержденном Стреловым Владимиром Ивановичем, доктором физико-математических наук, руководителем ЛКМ ИК РАН, указала, что диссертационная работа Романова А.В. посвящена важной и актуальной проблеме физики конденсированного состояния. Значимость выводов и заключений диссертационной работы определяется возможностью их использования как в прикладных (практических) областях, так и для фундаментальных исследований. Отмечено, что разработанный инжекционный метод контроля параметров МДП-структур может быть использован для получения новой и более точной информации о зарядовых процессах, протекающих в тех или иных ди-

электрических пленках МДП-структур при радиационных воздействиях и сильнополевой инжекции электронов, что представляет из себя важную фундаментальную информацию и практическое значение для микроэлектронных предприятий. Разработанный на основе проведенных исследований МДП-сенсор радиационных излучений можно использовать для комплексного мониторинга, как самих ионизирующих воздействий, так и облучаемых объектов в медицине, космической технике, при экологическом контроле, в атомной и ядерной физике и т.д.

Соискатель имеет 22 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликованы 22 работы общим объемом 7,5 печатных листов, из которых на долю соискателя приходится 2,78 печатных листа, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 6 работ. Требования п.п. 11 и 13 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемые к публикации основных научных результатов диссертации, выполняются. Требования, установленные п. 14 действующего Положения о присуждении ученых степеней, соблюдаются. Сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Андреев В.В., Столяров А.А., Дмитриев В.Г., Романов А.В. Инжекционные методы контроля подзатворного диэлектрика МДП-ИМС // Научные технологии. 2012. Т.13. № 10. С.20-28.
2. Андреев В.В., Бондаренко Г.Г., Романов А.В., Лоскутов С.А. Процессы радиационной ионизации в диэлектрических пленках МДП-структур в сильных электрических полях // Перспективные материалы. 2015. № 12. С.25-31.
3. Андреев В.В., Романов А.В., Столяров А.А., Ахмелкин Д.М. Контроль радиационных излучений сенсорами на основе МДП-структур // Электромагнитные волны и электронные системы. 2016. Т. 21. № 8. С.16-19.
4. Андреев В.В., Бондаренко Г.Г., Ахмелкин Д.М., Романов А.В. Инжекционный метод исследования диэлектрических пленок МДП-структур при стрессовых и измерительных режимах // Перспективные материалы. 2017. № 10. С.33-40.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы от: **Новикова Л.С.**, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего лабораторией космического материаловедения Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына ФГБОУ ВО «Московский государствен-

ный университет имени М.В. Ломоносова»); **Шерченкова А.А.**, доктора технических наук, профессора, профессора института «Перспективные материалы и технологии» ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МИЭТ»; **Никифорова В.М.**, доктора технических наук, профессора, ученого секретаря НТС ФГУП «Научно-производственный центр автоматики и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина»; **Поваренкина Н.В.**, кандидата технических наук, доцента, заведующего кафедрой 22 радиотехнических систем ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»; **Хохлова М.В.**, кандидата технических наук, генерального директора АО «Научно-исследовательский институт технологии и автоматизации производства»; **Гайдар А.И.**, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника ФГБНУ «Научно-исследовательский институт перспективных материалов и технологий»; **Романова А.В.**, кандидата физико-математических наук, доцента кафедры информатики и информационных технологий ФГБОУ ВО «Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского».

Все отзывы положительные. В качестве замечаний отмечено, что: из текста автореферата не ясны конкретные параметры и характеристики созданного сенсора ионизирующих излучений, по которым он может превосходить устанавливаемые в настоящее время на космических аппаратах датчики интегральной поглощенной дозы (Новиков Л.С.); разработанная автором модель процессов изменения зарядового состояния МДП-структур, находящихся в режиме сильнополевой инжекции при радиационных воздействиях, не учитывает в явном виде возможное перераспределение водорода в диэлектрической пленке (Шерченков А.А.); в работе не представлены результаты исследований, направленные на определение эксплуатационных параметров разработанного сенсора радиационных излучений на основе МДП-структур (Никифоров В.М.); в работе не установлена взаимосвязь между зарядовой деградацией МДП-структур в условиях сильнополевой туннельной инжекции при одновременном воздействии ионизирующих излучений с процессами пробоя подзатворного диэлектрика, и, как следствие, выхода МДП-прибора из строя (Поваренкин Н.В.); в работе не представлены результаты исследований влияния конструкции корпуса на характеристики разработанного МДП-сенсора радиационных излучений, хотя применение крышек и защитных покрытий может оказывать существенное влияние на параметры сенсора (Хохлов М.В.); из автореферата не ясно, какова продолжительность работы МДП-сенсора в режиме силь-

нополевой инжекции заряда в диэлектрик и какие факторы на нее влияют (Гайдар А.И.); из автореферата не ясно, какое влияние температура может оказывать на процессы радиационной ионизации в сильных электрических полях и каков температурный диапазон работы предложенного сенсора радиационных излучений на основе МДП-структур (Романов А.В.).

В отзывах сделан вывод о том, что диссертационная работа Романова Андрея Владимировича отвечает требованиям, предъявляемым ВАК РФ к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Выбор официальных оппонентов обоснован тем, что официальные оппоненты являются компетентными учеными в области физики конденсированного состояния (теоретическое и экспериментальное исследование физических свойств различных материалов и структур при радиационных воздействиях – Волков Н.В., теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств неорганических соединений, диэлектриков и МДП-структур, технические и технологические приложения – Вишняков Н.В.).

Выбор ведущей организации обоснован тем, что Лаборатория Космического материаловедения ИК РАН – филиал Федерального государственного учреждения «Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук проводит широкий круг фундаментальных и прикладных исследований в области космического материаловедения, используя различные методы структурного анализа материалов и в частности тонких диэлектрических пленок, в том числе и для объектов, изучаемых в диссертационной работе.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны теоретические основы инжекционного метода контроля параметров МДП-структур, позволяющего повысить быстродействие определения параметров изменения зарядового состояния подзатворного диэлектрика при сильнополевых и радиационных воздействиях за счет уменьшения длительности установления инжекционного режима;

предложено величину ионизационного тока, обусловленного радиационным воздействием, определять из анализа временной зависимости напряжения, падающего на МДП-структуре в режиме протекания постоянного тока плотностью $10^{-8} \dots 10^{-5}$ А/см² как в режиме заряда емкости, так и в режиме сильнополе-

вой инжекции электронов в диэлектрик;

доказано, что основным процессом изменения зарядового состояния МДП-структур при одновременном воздействии высокополевой инжекции электронов и ионизирующего излучения является накопление дырок в объеме подзатворного диэлектрика;

введены новые принципы регистрации ионизирующих излучений на основе анализа временной зависимости напряжения, падающего на МДП-структуре в режиме протекания постоянного тока, как в режиме заряда емкости, так и в режиме высокополевой инжекции электронов в диэлектрик.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что в режиме высокополевой инжекции при радиационных воздействиях необходимо учитывать взаимодействие инжектированных электронов с зарядами, возникающими в диэлектрической пленке вследствие радиационной ионизации;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, т.е. с получением обладающих новизной результатов) использован разработанный инжекционный метод контроля параметров МДП-структур, позволяющий повысить оперативность и быстродействие определения параметров изменения зарядового состояния подзатворного диэлектрика при высокополевых и радиационных воздействиях, за счет уменьшения длительности установления инжекционного режима;

изложена методика контроля ионизирующих излучений сенсорами на основе МДП-структур, находящихся в режиме заряда и разряда емкости постоянным фиксированным уровнем тока в неинжекционном режиме и в режиме протекания постоянного тока в режиме высокополевой инжекции;

раскрыты особенности зарядовых процессов, протекающих в диэлектрических пленках МДП-структур при одновременном воздействии радиационных излучений и высокополевой инжекции электронов и их влияние на накопление положительного заряда, определяющего интегральную поглощенную дозу ионизирующего излучения;

изучены зарядовые процессы, протекающие в подзатворном диэлектрике МДП-структур в сильных электрических полях до 8,5 МВ/см в условиях туннельной инжекции электронов в диэлектрик при воздействии нейтронами, α -частицами и γ -излучением;

проведена модернизация модели, описывающей изменение зарядового состояния МДП-структур, находящихся в режиме высокополевой туннельной

инъекции электронов в подзатворный диэлектрик при радиационных воздействиях, с учетом взаимодействия инжектированных электронов с дырками, возникающими в диэлектрической пленке вследствие радиационной ионизации.

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

разработан и внедрен в практику новый инжекционный метод контроля параметров МДП-структур, в том числе и при радиационных воздействиях, в котором, для повышения быстродействия метода и возможности исследования быстро изменяющихся зарядовых процессов в подзатворном диэлектрике, заряд и разряд емкости МДП-структуры предлагается проводить в ускоренном режиме при плотности тока большей плотности измерительного тока. Разработана конструкция и технология изготовления чувствительного элемента сенсора радиационных излучений на основе МДП-структур. Результаты диссертационной работы внедрены в АО «ВЗПП-Микрон» (г. Воронеж) и в АО «ОКБ Микроэлектроники» (г. Калуга);

определено, что зарядовые процессы, протекающие в диэлектрических пленках МДП-структур при воздействии радиационного излучения и сильных электрических полей, можно использовать для регистрации радиационных излучений;

представлены результаты испытаний опытных образцов сенсоров радиационных излучений на основе МДП-структур и рекомендации по повышению радиационной и инжекционной стойкости подзатворного диэлектрика МДП-приборов на АО «ВЗПП-Микрон» (г. Воронеж) и АО «ОКБ Микроэлектроники» (г. Калуга).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

результаты были получены с применением апробированных методик исследования диэлектрических пленок МДП-структур, они обладали хорошей воспроизводимостью. Отмечено совпадение результатов, полученных разными методами;

идеи базируются на обобщении широкого спектра литературных данных;

использовано сравнение полученных экспериментальных и теоретических результатов с литературными данными других авторов (Першенков В.С., Зебрев Г.И., Гриценко В.А., Анашин В.С., Fleetwood D.M., Oldham T.R., Ma T.P., Cartier E., Degraeve R. и др.);

установлено совпадение полученных в работе результатов с результатами, по-

лученными другими авторами (Першенков В.С., Зебрев Г.И., Анашин В.С., Fleetwood D.M., Oldham T.R., Ma T.P., Cartier E. и др.);

использованы современные компьютерные методы сбора и обработки полученных экспериментальных данных.

Личный вклад соискателя состоит в: проведении исследований ионизационных процессов в подзатворном диэлектрике МДП-структур в сильных электрических полях при сильнополевой туннельной инжекции электронов в подзатворный диэлектрик при облучении нейтронами, α -частицами и γ -излучением; разработке модели изменения зарядового состояния МДП-структур, находящихся в режиме сильнополевой инжекции при радиационных воздействиях; выполнении всех аналитических и экспериментальных исследований характеристик МДП-структур при радиационных воздействиях; разработке конструкции и технологии изготовления чувствительного элемента сенсора радиационных излучений на основе МДП-структур; интерпретации экспериментальных результатов.

Диссертационная работа соответствует пунктам 1, 6, 7 паспорта научной специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертационная работа Романова Андрея Владимировича «Зарядовые процессы в МДП-структурах в условиях радиационных воздействий и сильнополевой инжекции электронов» соответствует критериям, установленным п.п. 9 и 10 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. Она является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение важной для физики конденсированного состояния научной задачи, связанной с установлением физических закономерностей зарядовых процессов, протекающих в диэлектрических пленках МДП-структур под воздействием радиационных облучений и сильнополевой инжекции электронов и на их основе разработан метод контроля параметров радиационных излучений и конструкция активного чувствительного элемента сенсора радиационных излучений. Диссертация Романова А.В. обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

На заседании 17 октября 2018 года диссертационный совет Д 212.141.17 принял решение присудить Романову А.В. ученую степень кандидата технических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 14 докторов наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета (дополнительно введены на разовую защиту 0 человек), проголосовали: за 15, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель

диссертационного совета

Коржавый Алексей Пантелеевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

Лоскутов Сергей Александрович

Дата оформления Заключения

17 октября 2018 года