

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.141.18 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Э. БАУМАНА» МИНИСТЕРСТВА ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 2 октября 2014 года № 13

О присуждении Makeеву Мстиславу Олеговичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка конструкторско-технологических методов и средств повышения надёжности смесителей радиосигналов на основе резонансно-туннельных диодов» по специальностям 05.11.14 «Технология приборостроения» и 05.27.06 «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» принята к защите 25 июня 2014 г., протокол № 10 диссертационным советом Д 212.141.18 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана) Министерства образования и науки Российской Федерации (Минобрнауки России), 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, приказ о создании совета от 09.11.2012 г. № 717/нк.

Соискатель Makeев Мстислав Олегович 1984 года рождения, в 2007 году окончил ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана, в 2010 году – очную аспирантуру кафедры технологии приборостроения ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана. Работает в должности инженера Учебно- инженерного центра нанотехнологий, нано и микросистемной техники ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре технологии приборостроения в ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук Иванов Юрий Александрович, профессор кафедры технологии приборостроения в ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Официальные оппоненты:

Румянцев Константин Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационной безопасности телекоммуникационных систем ФГАОУ ВПО "Южный федеральный университет",

Николай Иванович Сушенцов, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой конструирования и производства радиоэлектронной аппаратуры ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГУП ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга г. Москва в своем положительном заключении, подписанном начальником комплексного отдела,

д.т.н. Хлоповым Борисом Васильевичем указала, что на основании выполненных соискателем исследований получен ряд важных научных и практических результатов и в первую очередь следующие: разработана методика оценки изменения ВАХ РТД под действием деградиационных процессов в его структуре, на основе которой может проводиться выбор вариантов исполнения омических контактов смесительных резонансно-туннельных диодов (РТД); разработана технологическая операция селекции смесительных AlAs/GaAs РТД, которая позволяет в рамках технологического цикла производства смесителей радиосигналов определять численные значения как индивидуальной, так и групповой надёжности РТД и смесителей радиосигналов на их основе, а также выполнять селекцию образцов по степени их надежности.

Соискатель имеет 40 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 14 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях - 7:

1. Макеев М.О., Иванов Ю.А., Мешков С.А. Исследование деградиационных явлений в наноразмерных AlAs/GaAs гетероструктурах методом ИК-спектроскопии // Нанотехнология, 2011. № 4. С. 44-48.

Личный вклад автора заключается в анализе научно-технической литературы по диффузии Al и Si в GaAs и проведении исследований наноразмерных гетероструктур до и после температурных воздействий методом ИК-спектральной эллипсометрии.

2. Исследование термической деградации AuGeNi омических контактов резонансно-туннельных диодов на базе наноразмерных AlAs/GaAs гетероструктур / М.О. Макеев [и др.] // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 9. DOI: <http://dx.doi.org/10.7463/0912.0453636>.

Личный вклад автора заключается в анализе научно-технической литературы по деградиационным процессам в AuGeNi омических контактах, а также в проведении исследований термической деградации РТД. На основе этого была определена функциональная зависимость контактного сопротивления от времени и температуры.

3. Application of IR ellipsometry to determination of the film thickness of a polytetrafluoroethylene sample modified in direct-current discharge / М.О. Makeev [et al.] // High Energy Chemistry, 2011. V. 45. N. 6. P. 536-538.

4. Исследование физико-химических свойств поверхности ПТФЭ методом ИК-спектроскопии / М.О. Макеев [и др.] // Нанотехнология, 2011. № 3. С. 27-32.

Личный вклад автора заключается в проведении исследований образца ПТФЭ, модифицированного в разряде постоянного тока, методом ИК-спектральной эллипсометрии. Автором были определены толщина, оптические константы и изменение в химическом составе модифицированного слоя ПТФЭ.

5. К вопросу о повышении надежности смесительных AlAs/GaAs РТД конструкторско-технологическими методами / М.О. Макеев [и др.] // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 11. DOI: <http://dx.doi.org/10.7463/1113.0637834>.

Личный вклад автора заключается в проведении исследований термической деградации партии РТД, определении функциональной зависимости контактного сопротивления исследуемой партии РТД от времени и температуры и анализе конструкторско-технологических методов повышения надежности смесительных РТД.

6. Моделирование кинетики вольт-амперных характеристик AlAs/GaAs РТД в результате диффузионных процессов в его структуре / М.О. Макеев [и др.] // Наноинженерия. 2014. № 1. С. 24-29.

Личный вклад автора заключается в разработке программно-расчетного комплекса dif2RTD, на основе которого проведены исследования кинетики ВАХ РТД в результате диффузионных процессов в их структуре.

На диссертацию и автореферат поступило 8 отзывов. Все отзывы положительные, имеются отдельные замечания:

1. Отзыв ОАО «Светлана» подписан к.т.н., заместителем генерального директора по научно-техническому развитию Клевцовым В.А. Замечание: определенным недостатком диссертационного исследования явилось то, что в качестве критерия отказов не рассмотрен уровень шума смесителя, поскольку он определяет чувствительность супергетеродинных приемников без входного малошумящего усилителя.

2. Отзыв ОАО Концерн радиостроения "Вега", подписан к.т.н., начальником лаборатории Леушином В.Ю. В качестве замечания указано, что в автореферате приведено слишком краткое описание предлагаемых конструкторско-технологических решений повышения надежности рассматриваемых приборов, в частности, не в полной мере ясна суть рекомендаций по изменению параметров конструкции AlAs/GaAs гетероструктур.

3. Отзыв ИХФ РАН, подписан к.ф.-м.н., старшим научным сотрудником Рывкиной Н.Г. Замечания: в автореферате введено большое количество аббревиатур, большая часть которых близка по смыслу, например, резонансно-туннельная структура (РТС) и резонансно-туннельная гетероструктура (РТГС).

4. Отзыв ОАО «Швабе-Фотосистемы», подписан д.ф.-м.н., старшим научным сотрудником, начальником отдела Чишко В.Ф. Замечание: рассматривается исключительно воздействие температурного фактора на надежность РТД, в то время как влияние других внешних (например, радиационное воздействие) и внутренних (протекание тока) факторов не рассматривается.

5. Отзыв ОАО «НПО «Лианозовский электромеханический завод», подписан к.т.н. Кислуха А.Е. Замечания: исходя из того, что методика диагностики качества резонансно-туннельных гетероструктур на основе ИК-спектральной эллипсометрии предполагает проведение термических воздействий на подложку, то вероятно, это приводит к необратимым процессам в гетероструктурах. В автореферате не указано, является ли данная методика разрушающей, и, если да, то насколько снижается ресурс изделия.

6. Отзыв ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша», подписан к.ф.-м.н., начальником отдела нанотехнологий Ризахановым Р.Н. Замечание: из представленной в автореферате информации трудно понять, как с помощью метода инфракрасной спектральной эллипсометрии определяется профиль распределения кремния в многослойных гетероструктурах толщиной отдельных слоев от 1,5 нм до 100 нм. Уместным представляется рекомендация по измерению профиля еще одним независимым методом, например, электронно-оптическим картированием микрошлифов.

7. Отзыв ФГБОУ ВПО ВлГУ, подписан к.ф.-м.н., доцентом кафедры биомедицинских и электронных средств и технологий Фроловой Т.Н. В качестве недостатков

отмечено следующее: не приводятся количественные оценки показателей надежности смесителя радиосигналов, достигаемые путем рационального выбора конструкторско-технологических параметров резонансно-туннельной структуры, приконтактных областей и омических контактов. Не приводятся оценки точности прогноза эксплуатационной надежности смесителей, постепенные отказы которых обусловлены деградационными процессами в резонансно-туннельных диодах в заданных режимных и температурных условиях эксплуатации.

8. Отзыв ФГБОУ ВПО «ПНИПУ», подписан почетным работником высшего профессионального образования РФ, д.т.н., профессором кафедры инновационные технологии машиностроения Аэрокосмического факультета Бочкаревым С.В. Замечание: к сожалению, в автореферате не указаны единичные параметры надежности.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в области технологии приборостроения и технологии и оборудования для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники, а так же известностью и высокой цитируемостью их научных работ в сфере радиоэлектронных и телекоммуникационных систем и технологии изготовления полупроводниковых приборов, а ведущая организация - ведущим предприятием по разработке комплексов и средств различного базирования для радиоэлектронного противодействия радиоуправляемым средствам поражения, аппаратуры специального антитеррористического назначения и конкурентоспособной наукоемкой гражданской продукции.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны конструкторско-технологические методы и средства повышения надежности смесителей радиосигналов на основе AlAs/GaAs резонансно-туннельных диодов:

- Алгоритм выбора режимов технологической операции МЛЭ на базе методики диагностики качества наноразмерных AlAs/GaAs резонансно-туннельных гетероструктур на основе ИК-спектральной эллипсометрии (ИК-СЭ);
- Алгоритм выбора вариантов исполнения омических контактов смесительных РТД на базе методики оценки изменения ВАХ РТД под действием деградационных процессов в его структуре;
- Технологическая операция контроля качества изготовления наноразмерных AlAs/GaAs резонансно-туннельных гетероструктур на основе ИК-СЭ;
- Технологическая операция селекции смесительных AlAs/GaAs РТД;
- Рекомендации по изменению параметров конструкции наноразмерной AlAs/GaAs РТГС для повышения надёжности смесителей на основе РТД.

разработана математическая модель деградационных процессов в РТД, позволяющая определять дрейф ВАХ РТД в процессе эксплуатации и связанного с этим изменения выходных электрических параметров смесителей радиосигналов, и, соответственно, проводить оценку надежности смесителей на основе РТД при различных конструкторско-технологических решениях изделия.

разработан комплекс методик технической диагностики РТД, позволяющий оценить качество их изготовления. Он включает в себя методику диагностики качества

наноразмерных AlAs/GaAs резонансно-туннельных гетероструктур с использованием метода ИК-спектральной эллипсометрии, позволяющую определять коэффициенты диффузии Al и Si в GaAs, и методику оценки изменения ВАХ РТД под действием деградиационных процессов в его структуре, позволяющую определять зависимость контактного сопротивления омических контактов от времени и температуры;

разработана методика оценки надежности смесителей радиосигналов на основе РТД, включающая в себя моделирование деградиационных процессов в РТД, его вольт-амперных характеристик (ВАХ) и выходных электрических характеристик смесителя радиосигналов на основе РТД. Методика позволяет выбирать рациональные конструкторско-технологические решения, обеспечивающие заданный уровень надежности смесителей радиосигналов на основе РТД.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: применительно к проблематике диссертации результативно использованы основные положения технологии приборостроения, технологии радиотехнических средств, физических основ микроэлектроники, физики твёрдого тела, а также метод ИК-спектральной эллипсометрии и ускоренного старения полупроводниковых устройств; раскрыта физическая сущность процессов, определяющих формирование постепенных отказов смесителей на основе РТД, в основе которых лежат особенности протекания диффузионных процессов как в наноразмерных полупроводниковых резонансно-туннельных гетероструктурах, так и омических контактах РТД; изложены элементы теории диффузии в твердом теле (Al и Si в GaAs), токопереноса в резонансно-туннельных структурах (метод Цу-Есаки), расчета ВАХ РТД методом матриц переноса, эллипсометрии, методов гармонического баланса и рядов Вольтера для моделирования параметров смесителей радиосигналов; разработана математическая модель диффузионных процессов в РТД, позволяющая определять дрейф ВАХ РТД в процессе эксплуатации и связанного с этим изменения выходных электрических параметров смесителей радиосигналов, и, соответственно, рассчитывать показатели надежности смесителей на основе РТД при различных конструкторско-технологических решениях изделия.

Практическое значение полученных соискателем результатов исследования подтверждается тем, что разработаны и внедрены методика оценки изменения ВАХ РТД под действием диффузионных процессов в его структуре, методика диагностики качества наноразмерных AlAs/GaAs резонансно-туннельных гетероструктур на основе ИК-СЭ и методика оценки надежности смесителей радиосигналов на основе РТД. Данные методики были использованы на ФГУП ЦНИРТИ им. академика А.И. Берга г. Москва, а также в НИИ РЛ и УИЦ НТ НМСТ МГТУ им. Н.Э. Баумана, что подтверждено соответствующими актами.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ достоверность результатов обеспечивается применением сертифицированного измерительного оборудования УИЦ НТ НМСТ МГТУ им. Н.Э. Баумана (аттестат признания компетентности испытательной лаборатории (центра) ГК «Российская корпорация нанотехнологий» № 0032) – ИК-спектральный эллипсометр IR-VASE, СВЧ наноэлектронный измерительный стенд (в состав стенда входят генераторы Agilent E8257D, источник питания Agilent E3615A, анализатор

спектра Agilent 8565ЕС, мультиметр Agilent E34401А) и микрозондовый стенд для измерения ВАХ РТД.

теория построена на известных, проверяемых данных и согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

математическое моделирование осуществлялось с использованием современных программных продуктов; идея базируется на обобщении опыта отечественных и зарубежных исследователей в сфере проектирования, производства и эксплуатации нелинейных преобразователей радиосигналов;

использовано специализированное программное обеспечение для сбора, обработки экспериментальных данных на ЭВМ, в том числе программный модуль, разработанный автором.

Личный вклад автора состоит в непосредственном участии во всех этапах работы. Автором лично подготовлены основные публикации и проведена апробация работы.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой завершенную научно-квалификационную работу, в которой содержатся конструкторско-технологические решения, состоящие в разработке алгоритма выбора режимов технологической операции молекулярно-лучевой эпитаксии, алгоритма выбора вариантов исполнения омических контактов смесительных РТД, технологической операции контроля качества изготовления наноразмерных AlAs/GaAs резонансно-туннельных гетероструктур на основе ИК-СЭ, технологической операции селекции смесительных AlAs/GaAs РТД и рекомендаций по изменению параметров конструкции наноразмерной AlAs/GaAs резонансно-туннельной гетероструктуры и позволяющие обеспечивать заданные показатели надежности смесителей радиосигналов на основе РТД и имеющие существенное значение для развития страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней».

На заседании 2 октября 2014 года диссертационный совет принял решение присудить Макееву Мстиславу Олеговичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 7 докторов наук по специальности 05.11.14 – «Технология приборостроения» и 6 докторов наук по специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники», участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета

д.т.н., профессор

Шахнов Вадим Анатольевич

Ученый секретарь диссертационного совета

д.т.н., профессор

Юрий Борисович Цветков