

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 212.243.01 НА БАЗЕ ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 29. 12. 2014 г. № 34

О присуждении Фадееву Алексею Владимировичу, гражданину РФ ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Ближнеполевая СВЧ-микроскопия и её использование для определения характеристик элементов твердотельной СВЧ электроники» в виде рукописи по специальностям 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах, 01.04.03 – Радиофизика выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении высшего профессионального образования (ФГБОУ ВПО) «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Диссертация принята к защите «27» октября 2014, протокол №31, диссертационным советом Д 212.243.01 на базе ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Министерство образования и науки РФ (410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83); приказ Минобрнауки РФ о создании совета № 75-нк от 15.02.2013.

Соискатель – Фадеев Алексей Владимирович, 1987 года рождения. В 2010 году соискатель окончил ГОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского». Освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по специальности 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах; окончил аспирантуру Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского в 2014 г. Работает младшим научным сотрудником в ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского» (Министерство образования и науки РФ).

Диссертация выполнена на кафедре физики твердого тела ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (Министерство образования и науки РФ).

Научные руководители:

Усанов Дмитрий Александрович, доктор физико-математических наук, ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», кафедра физики твердого тела, заведующий кафедрой;

Горбатов Сергей Сергеевич, доктор физико-математических наук, ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», кафедра физики твердого тела, профессор.

Официальные оппоненты:

Быков Виктор Александрович, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВПО «Московский физико-технический институт (государственный университет)», кафедра «Микро- и наноэлектроника», профессор;

Коломейцев Вячеслав Александрович, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.», кафедра «Радиоэлектроника и телекоммуникации», профессор,

дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – Саратовский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН (г. Саратов) – в своем положительном заключении, подписанном Кузнецовым Сергеем Петровичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим лабораторией теоретической нелинейной динамики, и Перепелицыным Юрием Николаевичем, кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником, указала, что диссертация соответствует критериям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, и что автор работы заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 05.27.01 – твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах и 01.04.03 – радиофизика.

Соискатель имеет 8 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 8 работ. Работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, – 4; патентов – 1, работ в материалах всероссийских и международных конференций и симпозиумов – 4 (общий объем – 2,5 печ. л.).

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Пространственные осцилляции электрического поля и плотности заряда в кремниевом р-і-п диоде / Д.А. Усанов, С.С. Горбатов, В.Ю. Кваско, А.В. Фадеев, А.А. Калямин // Письма в ЖТФ. – 2014. – Т. 40. – Вып. 21. – С. 104-110. (Представлены численные расчеты и экспериментальные наблюдения распределения электрического поля и концентрации носителей заряда в р-і-п диоде при прямом смещении с помощью ближнеполевого СВЧ микроскопа. Показана принципиальная важность учета зависимости коэффициента диффузии носителей заряда от электрического поля при описании процессов, протекающих в р-і-п диодах).

2. Применение ближнеполевого сканирующего СВЧ микроскопа для исследования распределения концентрации носителей заряда и электрического поля в арсенид-галлиевом диоде Ганна / Д.А. Усанов, С.С. Горбатов, А.В. Фадеев // Радиотехника. – 2014. – №10. – С.74-77. (Представлены численные расчеты и экспериментальные наблюдения распределения электрического поля и концентрации носителей заряда в диоде Ганна с помощью ближнеполевого сканирующего СВЧ-микроскопа. Показана принципиальная важность учета зависимости коэффициента диффузии основных носителей заряда от электрического поля при описании протекающих в диодах Ганна процессов).

3. Низкоразмерный резонатор для ближнеполевого СВЧ-микроскопа / Д.А. Усанов, С.С. Горбатов, В.Ю. Кваско, А.В. Фадеев // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2014. – Т.17. – №1. – С. 41-44. (Теоретически и экспериментально исследовано распределение поля в резонаторе типа «металлический штырь с зазором – короткозамыкающий поршень с выемкой», используемым в качестве резонансной системы для ближнеполевого СВЧ микроскопа).

4. Нелинейная динамика формирования пространственно-неоднородной структуры в р-і-п диоде / Д.А. Усанов, С.С. Горбатов, В.Ю. Кваско, А.В. Фадеев // Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика. – 2014. – Т 22. – №4. – С.98-107. (Приведены результаты экспериментальных исследований с помощью ближнеполевого сканирующего СВЧ микроскопа стационарных

распределений напряженности электрического поля и концентрации носителей заряда в р-і-п диоде, а также выполнен численный расчет этих величин, с учетом зависимости подвижности и коэффициента диффузии электронов и дырок от напряженности электрического поля. Показано, что вблизи контактов распределение поля и проводимости носит характер чередующихся максимумов и минимумов).

На диссертацию и автореферат поступило 5 положительных отзывов: из Национального исследовательского университета «МИЭТ» от д.ф.-м.н. профессора Неволлина В.К. (г. Зеленоград); из Института инженерной физики и радиоэлектроники Сибирского федерального университета от д.т.н. профессора Алдонина Г.М. (г. Красноярск); из Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева (национального исследовательского университета) от д.т.н. профессора Семкина Н.Д. (г. Самара); из ООО «Научно производственная фирма «Этна» от д.ф.-м.н. Явчуновского В.Я. (г. Саратов); из Центрального НИИ измерительной аппаратуры от ведущего научного сотрудника, к.т.н. Корчагина А.И. (г. Саратов).

В отзывах содержатся замечания: а) о недостаточно полном раскрытии механизма формирования пространственно-неоднородной структуры в р-і-п диоде, б) отсутствии оценки погрешности измерений при изменении плотности тока, протекающего через р-і-п диод, в) об отсутствии экспериментального подтверждения возможности локального определения анизотропии и г) вопрос об изломах на графике зависимости частоты резонанса от величины магнитного поля.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается близким соответствием проводимых ими исследований тематике диссертации, высокой квалификацией и компетентностью оппонентов, известностью и общепринятыми достижениями организации в твердотельной электронике и радиофизике; отсутствием совместных печатных работ с соискателем и способностью определить научную и практическую ценность диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика локального определения концентрации носителей заряда и напряженности электрического поля в р-і-п диодах для различных

значений плотности тока, основанная на использовании результатов измерений коэффициента отражения с помощью ближнеполевого сканирующего СВЧ микроскопа; разработана методика локального определения анизотропии диэлектрических свойств диэлектрических материалов;

предложена, теоретически и экспериментально обоснована гипотеза о формировании пространственно неоднородной структуры в p-i-n диоде в результате совместного действия дрейфовых и диффузионных процессов;

доказано, что координатная зависимость коэффициента отражения СВЧ излучения от поверхности полупроводниковой структуры в p-i-n диоде и диоде Ганна, получаемая с помощью ближнеполевого сканирующего СВЧ микроскопа может быть использована для локального исследования концентрации носителей заряда и распределения напряженности электрического поля в p-i-n диодах и диодах Ганна;

введено понятие пространственно-неоднородной структуры в p-i-n диоде, возникающей при увеличении плотности тока, протекающего через диод, выше некоторого критического значения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана принципиальная важность учета зависимости коэффициента диффузии электронов и дырок от электрического поля, при описании процессов, протекающих в p-i-n диодах;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использована** методика численного решения нелинейной граничной задачи по поиску распределения напряженности электрического поля в p-i-n диоде в зависимости от плотности протекающего через p-i-n диод электрического тока, основанная на совместном решении уравнения полного тока и уравнения Пуассона при одновременном учете нелинейной зависимости, как подвижности носителей заряда, так и коэффициента диффузии этих носителей от напряженности электрического поля;

изложены результаты исследования локальной напряженности электрического поля и концентрации носителей заряда в объеме кремниевого p-i-n диода с помощью ближнеполевого СВЧ микроскопа и результаты численного расчета стационарного распределения электрического поля и концентрации носителей заряда для одномерного случая в p-i-n диоде;

раскрыт механизм формирования пространственно-неоднородной структуры в р-і-п диоде, заключающийся в конкуренции диффузии и дрейфа;

изучено влияние нелинейных зависимостей подвижности и коэффициента диффузии электронов и дырок на процесс формирования пространственно-неоднородной структуры в р-і-п диоде;

проведена модернизация численной методики анализа работы р-і-п диода, заключающаяся в учете нелинейной зависимости коэффициента диффузии электронов и дырок от напряженности электрического поля.

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

создана экспериментальная методика исследования распределения напряженности электрического поля и концентрации носителей заряда вдоль р-і-п диода с помощью созданного СВЧ ближнеполевого микроскопа при различных значениях плотности тока, протекающего через диод;

представлены возможные приложения описанной экспериментальной методики исследования распределения напряженности электрического поля и концентрации носителей заряда вдоль р-і-п диода с помощью созданного СВЧ ближнеполевого микроскопа в целях анализа путей повышения качества производимых полупроводниковых структур и выяснения соответствия эксперименту используемых математических моделей, описывающих физику их работы.

разработаны и внедрены на действующем макете ближнеполевого сканирующего СВЧ микроскопа высокоселективные резонаторы на основе системы емкостная диафрагма – металлический зонд, разделенные слоем диэлектрика с толщиной значительно меньшей резонансной длины волны; **реализован** вычислительный алгоритм, позволяющий определить область максимальной локализации поля в низкоразмерном резонаторе, что обеспечивает повышение чувствительности микроскопа путем оптимизации конструкции его зондирующей части.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

экспериментальные результаты получены на сертифицированном оборудовании, обоснованы калибровки, показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях;

теория построена на проверяемых данных, фактах, в том числе для предельных случаев, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации или по смежным отраслям;

идея теоретического анализа базируется на анализе экспериментальных данных о зависимости подвижности и коэффициента диффузии электронов и дырок от напряженности электрического поля;

использовано сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике решения задачи о распределении напряженности электрического поля и концентрации носителей заряда в p-i-n диодах;

установлено качественное соответствие результатов расчета и эксперимента при одновременном учете зависимости подвижности и коэффициента диффузии от напряженности электрического поля;

использованы современные методики решения граничных задач, применительно к проблеме поиска распределения напряженности электрического поля в p-i-n диоде.

Личный вклад соискателя состоит в проведении всего объема экспериментальных работ, в создании теоретических моделей, описывающих результаты экспериментов, проведении компьютерного моделирования и анализе полученных результатов.

Результаты представленных в диссертации исследований рекомендуются к использованию на предприятиях и в организациях электронной промышленности (ЗАО «НПЦ «Алмаз-Фазотрон», г. Саратов, ФГУП «НПП «Контакт», г. Саратов, ФГУП «НПП «Исток», г. Фрязино, Московская область), институтах Российской Академии Наук (Саратовский филиал ФГБУН Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН, г. Саратов, Фрязинский филиал ФГБУН Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино, Московская область), в высших учебных заведениях Министерства образования и науки Российской Федерации (ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский университет «МИЭТ» г. Зеленоград, ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (государственный технический университет)», г. Москва, ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет», ФГАОУ «Южный федеральный университет» (Таганрогский технологический институт).

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличие последовательного плана исследования, непротиворечивой методологической платформы, основной идейной линии, концептуальности и взаимосвязи выводов.

Содержание диссертации отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям.

На заседании 29 декабря 2014 диссертационный совет принял решение присудить Фадееву А.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 24 человек, из них 7 докторов наук по специальности 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах», 11 докторов наук по специальности 01.04.03 «Радиофизика», участвовавших в заседании, из 31 человека, входящего в состав совета, проголосовал: за – 24, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Зам. председателя
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Скрипаль Александр Владимирович

Аникин Валерий Михайлович

29 декабря 2014 г.