

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.243.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 18 ноября 2016 г. № 69

О присуждении Латышевой Екатерине Викторовне, гражданке РФ ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Резонансные СВЧ-методы многопараметровых измерений эпитаксиальных полупроводниковых структур с нанометровыми металлическими слоями» по специальностям 01.04.03 – Радиофизика и 05.27.01 – Твёрдотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах принята к защите 12 сентября 2016 г., протокол № 64 диссертационным советом Д 212.243.01 на базе ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Министерство образования и науки Российской Федерации, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, совет утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 15.02.2013, № 75-нк; в состав совета внесены изменения приказами Минобрнауки РФ №1598/нк от 15 декабря 2015 г. и №1180/нк от 28 сентября 2016 г.

Соискатель Латышева Екатерина Викторовна, 1988 года рождения, в 2010 г. окончила Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»; в ноябре 2016 года досрочно освоила программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»; работает инженером учебной лаборатории по полупроводниковой технике кафедры физики твердого тела ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Министерство образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре физики твердого тела ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Министерство образования и науки Российской Федерации.

Научные руководители: Усанов Дмитрий Александрович – доктор физико-математических наук, профессор, Заслуженный деятель науки Российской Федерации, кафедра физики твердого тела, заведующий кафедрой.

Скрипаль Александр Владимирович – доктор физико-математических наук, профессор, кафедра физики твердого тела, профессор.

Официальные оппоненты:

1. Коломейцев Вячеслав Александрович – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А.», кафедра радиоэлектроники и телекоммуникации, профессор;
2. Зайцев Борис Давыдович – доктор физико-математических наук, профессор, ФГБУН «Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН» (Саратовский филиал), лаборатория физической акустики, заведующий,
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж в своем положительном заключении, подписанном проректором по научной работе и информатизации ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», доктором биологических наук, профессором, Поповым Василием Николаевичем, указала, что в диссертационной работе Латышевой Е.В. решена имеющая существенное значение для радиофизики и твердотельной электроники задача по разработке резонансных СВЧ-методов многопараметровых измерений эпитаксиальных полупроводниковых структур с нанометровыми металлическими слоями. Диссертационная работа Латышевой Е.В. «Резонансные СВЧ-методы многопараметровых измерений эпитаксиальных полупроводниковых структур с нанометровыми металлическими слоями» соответствует критериям п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (ред. от 02.08.2016), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а автор работы заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – Радиофизика и 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

Соискатель имеет 14 опубликованных по теме диссертации; работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях – 4. Наиболее значимые работы:

1. Усанов Д.А., Никитов С.А., Скрипаль А.В., Пономарев Д.В., Латышева Е. В. Многопараметровые измерения эпитаксиальных полупроводниковых структур с использованием одномерных сверхвысокочастотных фотонных кристаллов // Радиотехника и электроника. 2016. Т. 61, № 1. С. 45–53.
2. Усанов Д.А., Никитов С.А., Скрипаль А.В., Пономарев Д.В., Латышева Е.В. Измерения электрофизических характеристик полупроводниковых структур с использованием СВЧ фотонных кристаллов // Известия вузов. Электроника. 2016. № 2. С. 187–194.
3. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Пономарев Д.В., Латышева Е.В., Феклистов В.Б. Волноводно-диэлектрический резонанс в системе с нанометровым металлическим слоем на диэлектрической подложке // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика. 2016. Т. 16. Вып. 2. С. 24–28.
4. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Пономарев Д.В., Латышева Е.В. Использование волноводно-диэлектрического резонанса для измерения параметров структуры «нанометровая металлическая пленка – диэлектрик» // Радиотехника. 2016. № 7. С. 10–16.

На автореферат поступило 7 положительных отзывов:

из ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МИЭТ» от директора НИИ ЭТ, профессора, д.т.н. Рыгалина Б.Н.; из ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» от главного научного сотрудника, профессора, д.т.н. Соколова И.В.; из ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ» от заведующего кафедрой радиوفотоники и микроволновых технологий, директора НИИ Прикладной электродинамики, фотоники и живых систем, профессора, д.т.н. Морозова О.Г. и доцента кафедры радиوفотоники и микроволновых технологий, к. ф.-м. н. Насыбуллина А.Р.; из Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета от зав. кафедрой радиотехнической электроники, доцента, к.т.н. Малышева И.В.; из ИФП им. В.Е. Лашкарева НАН Украины от зав. лабораторией физико-технологических проблем твердотельной СВЧ электроники, профессора, д.т.н. Конаковой Р.В.; из НАН Беларуси от зам. гендиректора ГНПО «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника», доцента, д.ф.-м.н. Малышева С.А.; из ООО НПП «НИКА-СВЧ» от директора, профессора, д.т.н. Мещанова В.П. и ведущего научного сотрудника, к. ф.-м. н. Свечникова И.Г.

В качестве замечаний в отзывах на автореферат отмечается: отсутствие данных о диапазоне значений измеряемых параметров, в которых возможен многопараметровый контроль с указанной точностью; о влиянии точности позиционирования измеряемой подложки относительно слоев фотонного кристалла и разброса электрофизических характеристик составляющих фотонного кристалла на результаты измерения параметров.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается близким соответствием проводимых исследований тематике диссертации, высокой квалификацией и компетентностью оппонентов, известностью и общепринятыми достижениями организации в радиофизике и твердотельной электронике, а также в смежных областях; 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: новая методика измерения, позволяющая определять три параметра полупроводниковой структуры одновременно: удельную электропроводность полупроводниковой подложки, толщину эпитаксиального слоя и его удельную электропроводность или толщину полупроводниковой подложки, толщину эпитаксиального слоя и его удельную электропроводность, основанная на измерении частотных зависимостей коэффициентов отражения и прохождения электромагнитного излучения СВЧ-диапазона, взаимодействующего с одномерным волноводным фотонным кристаллом, при наличии в нём нарушения периодичности в виде измененной длины центрального слоя и введенной в нарушенный слой полупроводниковой структуры, в результате решения обратной задачи при известных параметрах периодически чередующихся слоев;

предложено для решения обратной задачи располагать исследуемую полупроводниковую структуру двумя способами относительно распространения электромагнитной волны внутри слоя, создающего нарушение периодичности фотонного кристалла;

доказана возможность одновременного определения электрофизических параметров полупроводниковых структур, в случае, когда исследуемый слой полупроводникового материала расположен внутри нарушения периодичности фотонного кристалла, при ориентации полупроводниковой структуры двумя способами относительно распространения электромагнитной волны;

введены новые подходы к построению измерительной системы, содержащей минимальное число элементов, для измерения параметров нанометровых металлических слоев, нанесенных на диэлектрическую подложку, в основе которых лежит использование волноводно-диэлектрического резонанса, возникающего при частичном заполнении исследуемой структурой поперечного сечения волновода и при размещении исследуемой структуры перпендикулярно широким и под углом к узким стенкам волновода симметрично относительно его продольной оси.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказано, что при реализации в электродинамической системе волноводно-диэлектрического резонанса в случае размещения металлодиэлектрической структуры в волноводе под углом к его узким стенкам возникает эффект резонансного поглощения мощности СВЧ-излучения в нанометровом слое металла;

доказана возможность многопараметрового контроля электрофизических характеристик эпитаксиальных полупроводниковых структур с нанометровыми металлическими слоями;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован комплекс аналитических и численных методов (метод матриц передачи, метод конечных элементов) описания взаимодействия СВЧ-излучения со структурами, характеризующимися наличием разрешенных и запрещенных зон на АЧХ, и экспериментальных методов исследования, основанных на измерении амплитудно-частотных характеристик отражения и прохождения электромагнитного излучения;

изложены доказательства возможности многопараметрового определения характеристик полупроводниковых слоистых структур на основе решения обратных задач по спектрам отражения и прохождения электромагнитного излучения, взаимодействующего с одномерным волноводным фотонным кристаллом с нарушением периодичности в виде исследуемых структур;

раскрыто противоречие, связанное с возможностью одновременного определения параметров полупроводниковых структур, заключающееся в существовании комбинаций электропроводностей и толщин полупроводниковых слоев, приводящих к идентичным спектрам отражения;

изучены особенности спектров электромагнитного излучения, взаимодействующего с одномерным волноводным фотонным кристаллом, содержащим в качестве нарушения периодичности эпитаксиальные полупроводниковые структуры, и взаимодействующего с нанометровыми металлическими слоями, нанесенными на диэлектрическую подложку, при размещении исследуемой структуры в волноводе перпендикулярно его широкому и под углом к узким стенкам и при частичном заполнении исследуемой структурой поперечного сечения волновода и симметрично относительно его продольной оси;

изучено влияние отражения СВЧ-волны от переднего торца пластины, выполняющей роль дополнительного элемента фотонного кристалла, на результаты измерений подвижности свободных носителей заряда в сильнолегированном эпитаксиальном слое полупроводниковой структуры модифицированным методом СВЧ-магнитосопротивления;

проведена модернизация метода СВЧ-магнитосопротивления для измерения подвижности свободных носителей заряда в сильнолегированном эпитаксиальном слое полупроводниковой структуры, при её размещении после фотонного кристалла в центре поперечного сечения прямоугольного волновода, с использованием частотных зависимостей коэффициентов прохождения и отражения, измеренных при воздействии магнитного поля и в его отсутствии.

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

разработаны и внедрены методики измерений параметров нанометровых металлических слоев, нанесенных на керамическую подложку, с использованием волноводно-диэлектрического резонанса, методика одновременного измерения толщины и удельной электропроводности слоев в полупроводниковых n^+n -структурах и в структурах с полупроводниковой подложкой, выполняющих роль нарушения периодичности в одномерном волноводном фотонном кристалле, по спектрам отражения и прохождения электромагнитного излучения.

исследования выполнялись в рамках проектной части госзадания Минобрнауки РФ по теме «Исследование эффектов резонансного взаимодействия электромагнитного излучения сверхвысокочастотного и терагерцового диапазонов с неоднородными микро- и наноструктурами и композитами» № 16.1575.2014/К, шифр: «Наноскоп-2»; госзадания Минобрнауки РФ НИР «Разработка на основе фотонных кристаллов СВЧ-методов контроля высокого разрешения параметров наноструктур и нанокompозитов» на 2012–2014 годы, шифр «Нанокompлекс»; НИР «Разработка многопараметрового метода контроля эпитаксиальных полупроводниковых структур с использованием одномерных сверхвысокочастотных фотонных кристаллов» по программе «УМНИК» 2015 Договор № 9011ГУ/2015 (код 0018459);

определены диапазоны параметров полупроводниковых структур, которые предлагается измерять на основе решения обратных задач по спектрам отражения и прохождения электромагнитного излучения, взаимодействующего с одномерным вол-

новодным фотонным кристаллом с нарушением периодичности в виде исследуемых полупроводниковых слоистых структур;

создана измерительная система контроля электропроводности, толщины и подвижности свободных носителей заряда в эпитаксиальных полупроводниковых структурах, основанная на анализе частотных зависимостей коэффициентов пропускания и отражения микроволнового излучения от СВЧ фотонной структуры;

представлена методика контроля параметров нанометровых металлических слоев, нанесенных на диэлектрическую подложку, в случае возникновения волноводно-диэлектрического резонанса при частичном заполнении исследуемой структурой поперечного сечения волновода и при размещении исследуемой структуры перпендикулярно широким и под углом к узким стенкам волновода.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ достоверность результатов обеспечена применением современной измерительной аппаратуры (векторного анализатора цепей Agilent PNA-L Network Analyzer N5230A, атомно-силового микроскопа Agilent 5600LS AFM, зондовой станции JANDEL RMS-EL-Z, реализующей четырехзондовый метод измерения поверхностного сопротивления проводящих слоев), обработкой экспериментальных результатов с использованием стандартных численных методов;

теория построена с использованием матриц передачи для описания взаимодействия СВЧ-излучения с многослойными периодическими структурами и метода конечных элементов для описания взаимодействия электромагнитного излучения с полупроводниковыми и металлодиэлектрическими структурами в случае возникновения волноводно-диэлектрического резонанса в электродинамической системе;

идея базируется на использовании в качестве высокочувствительных резонансных систем: одномерных волноводных фотонных кристаллов с нарушением периодичности, в спектре которых наблюдаются дефектные моды колебаний, и электродинамических систем, реализующих явление волноводно-диэлектрического резонанса;

использованы подходы, основанные на использовании зонной модели спектральных характеристик периодической структуры в СВЧ-диапазоне и явления возникновения волноводно-диэлектрического резонанса в электродинамической систем;

установлено качественное и количественное соответствие полученных результатов расчета с экспериментальными данными;

использованы методики численного моделирования на основе метода конечных элементов (САПР Ansoft HFSS v.15), позволяющие моделировать различные СВЧ-устройства и отдельные его части, рассчитывать с высокой точностью амплитудно-частотные характеристики данных СВЧ-устройств.

Личный вклад соискателя выразился 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 могут быть рекомендованы к использованию *на предприятиях и в организациях электронной промышленности*: АО «НПП «Исток» им. Шокина» г. Фрязино, Московская область, АО «НПЦ «Алмаз-Фазотрон» и АО «НПП «Контакт» (г. Саратов), АО «ЦНИИ измерительной аппаратуры» г. Саратов; *в институтах РАН*: в Саратовском и Фрязинском филиалах Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН; *в высших учебных заведениях Минобрнауки РФ*: в Национальном исследовательском университете «МИЭТ» г. Зеленоград; в Московском авиационном институте (НИУ), Санкт-Петербургском горном университете, Саратовском национальном исследовательском государственном университете имени Н.Г. Чернышевского, Поволжском государственном университете телекоммуникаций и информатики, г. Самара, в Воронежском государственном университете, Саратовском государственном техническом университете имени Гагарина Ю.А., Институте нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного Федерального университета, г. Таганрог.

Совокупность научных результатов, изложенных в диссертации, можно квалифицировать как решение имеющей существенное значение для радиофизики и твердотельной электроники задачи по разработке резонансных СВЧ-методов многопараметровых измерений эпитаксиальных полупроводниковых структур с нанометровыми металлическими слоями, основанных на применении СВЧ фотонных структур с нарушением периодичности, и схем, реализующих явление волноводно-диэлектрического резонанса.

Диссертация удовлетворяет требованиям п. 9 действующего «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальностям 01.04.03 – Радиофизика и 05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах.

На заседании 18 ноября 2016 года диссертационный совет принял решение присудить Латышевой Е.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 6 докторов наук по специальности 01.04.03 и 9 докторов наук по специальности 05.27.01, участвовавших в заседании, из 29 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председательствующий
на заседании диссертационного совета
Ученый секретарь
диссертационного совета
18 ноября 2016 г.



Рыскин

Рыскин Никита Михайлович

Аникин Валерий Михайлович