

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.435.01, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
МИНОБРНАУКИ РОССИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 29.06.2023 г. № 5

О присуждении Лузянину Сергею Евгеньевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Электрические свойства ограниченных полупроводников с естественными и искусственными неоднородностями» по специальности 1.3.11. Физика полупроводников принята к защите 13.04.2023 года (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.2.435.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Юго-Западный государственный университет», Минобрнауки России, адрес: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94, приказ о создании диссертационного совета № 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Лузянин Сергей Евгеньевич, 1977 года рождения. Гражданин Российской Федерации. В 1999 году соискатель окончил Липецкий государственный педагогический институт по специальности «Физика», квалификация «Учитель физики и математики». В 2002 году окончил аспирантуру Липецкого государственного педагогического университета по специальности 01.04.10 – Физика полупроводников. В период с 2002 года по настоящее время работает старшим преподавателем кафедры информатики, информационных технологий и защиты информации в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского».

Диссертация выполнена на кафедре математики и физики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского», Министерства просвещения Российской Федерации.

Научный руководитель – Филиппов Владимир Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры математики и физики института естественных, математических и технических наук федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского».

Официальные оппоненты:

1. Калинин Юрий Егорович, доктор физико-математических наук (специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния), профессор, профессор кафедры твердотельной электроники федерального

государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет»

2. Япрынцева Максим Николаевич, кандидат физико-математических наук (специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния), доцент кафедры материаловедения и нанотехнологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники», г. Москва в своем положительном отзыве, подписанном доктором физико-математических наук, директором Института физики и прикладной математики НИУ МИЭТ, профессором Боргардтом Н.И., доктором физико-математических наук, профессором Института физики и прикладной математики НИУ МИЭТ, доцентом Бардушкиным В.В., кандидатом физико-математических наук, доцентом Института физики и прикладной математики НИУ МИЭТ Лавровым И.В., указала, что диссертационная работа Лузянина Сергея Евгеньевича «Электрические свойства ограниченных полупроводников с естественными и искусственными неоднородностями» является научно-квалификационной работой и представляет собой самостоятельное исследование, выполненное по актуальной тематике на высоком научном уровне. Работа удовлетворяет критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, которые установлены пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842, а ее автор Лузянин Сергей Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. Физика полупроводников.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 13 материалов и тезисов конференций, и 1 авторское свидетельство на программу для ЭВМ.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Лузянин, С.Е. Контроль однородности полупроводниковых пластин и структур по их электропроводности / С.Е. Лузянин, Н.Н. Поляков // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2002. – Т. 68. – № 9. – С. 42-45.
2. Филиппов, В.В. Методика определения электропроводности неоднородных по глубине полупроводниковых пленок / В.В. Филиппов, С.Е. Лузянин, Е.Н. Бормонтов // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2012. – Т. 14. – № 3. – С. 338-341.
3. Filippov, V.V. Mathematical modeling of electric potential in semiconductors with heterogeneous dopant profile / V.V. Filippov, S.E. Luzyanin // Advanced Studies in Theoretical Physics. – 2014. – Vol. 8. – No 26. – P. 1149-1156.
4. Филиппов, В.В. Моделирование электрических полей в неоднородных полупроводниках и композитных структурах при зондовых измерениях /

- В.В. Филиппов, С.Е. Лузянин, В.М. Емельянов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2019. – Т. 9. – № 3(32). – С. 64-78.
5. Technique of specific conductivity measurement of anisotropic semiconductor plates and films / V.V. Filippov, S.V. Mitsuk, S.E. Luzyanin, V.P. Tigrov // Acta Physica Polonica A. – 2020. – Vol. 138. – No 6. – P. 759-762.
 6. Лузянин, С.Е. Методика измерения электропроводимости диффузионно-легированных полупроводников и сопротивления контактов металл-полупроводник / С.Е. Лузянин, В.В. Филиппов // Прикладная физика. – 2022. – № 6. – С. 43-50.
 7. Филиппов, В.В. Особенности формирования контактов Ni-GaAs, получаемых при электролизе и их электрофизические свойства / В.В. Филиппов, С.Е. Лузянин, К.А. Богонос // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2022. – № 4. – С. 76-91.
 8. Filippov, V.V. Electric Field Mathematical Modelling at Probe Measurement in Anisotropic Semiconductor Films / V.V. Filippov, S.V. Mitsuk, S.E. Luzyanin // Proceedings – 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2019. Lipetsk, 20-22 November 2019. – Lipetsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. – P. 465-468.
 9. Filippov, V.V. Measuring the Resistance of Metal-Semiconductor Contacts Produced by Drop Electrochemical Method / V.V. Filippov, S.V. Mitsuk, S.E. Luzyanin // Proceedings – 2020 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2020: 2, Virtual, Lipetsk, 10–13 November 2020. – P. 871-875.
 10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016616554 Российская Федерация. ModelHoll-2015: № 2016610419: заявл. 12.01.2016: опубл. 15.06.2016 / С.Е. Лузянин.

На диссертацию и автореферат поступили 7 отзывов от:

1. доктора физико-математических наук Соболева Валентина Валентиновича, доцента, декана факультета «Математика и естественные науки», профессора кафедры «Физика и оптоэлектроника» ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова», *отзыв положительный*. Имеются замечания: (1) При формировании полупроводниковых $n-p^+$ и $p-p^+$ структур возникает контактная разность потенциалов, величиной которой, автор, очевидно, пренебрегает, однако, для получения более точного результата необходимо рассматривать совместное решение уравнений Пуассона и Шредингера; (2) Приводимые в автореферате компьютерные модели распределений эквипотенциалей и линий токов недостаточно проанализированы, надеюсь, необходимый анализ приводится в основном тексте диссертации.

2. доктора физико-математических наук, доцента Калимуллина Рустема Ирековича, профессора кафедры «Промышленная электроника» ФГБОУ ВО

«Казанский государственный энергетический университет», *отзыв положительный*. Имеется следующее замечание: в разделе «Основные выводы и результаты» отсутствуют рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы (требования п. 30 Положения о диссертационном совете).

3. кандидата физико-математических наук Жукалина Дмитрия Алексеевича, доцента кафедры физики полупроводников и микроэлектроники ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», *отзыв положительный*. Имеются замечания: (1) в тексте автореферата необходимо полнее представить экспериментальные данные по проверке полученных в диссертации теоретических распределений потенциала; (2) в работе не приведена экспериментальная проверка выполненных расчетов для неоднородных полупроводников с примесями, созданными методами ионной имплантации.

4. доктора физико-математических наук Зверева Владимира Николаевича, главного научного сотрудника Института физики твердого тела имени Ю.А. Осипяна РАН, *отзыв положительный*. Имеется замечание: в списке публикаций по теме диссертации есть три работы, касающиеся измерений проводимости проводников, анизотропных в плоскости пластины (ссылки 5, 8 и 19). При этом изложенный в этих работах материал в тексте автореферата даже не упоминается.

5. доктора физико-математических наук Винтайкина Бориса Евгеньевича, профессора кафедры физики, Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, *отзыв положительный*. Имеются замечания: (1) Не указаны погрешности при проведении измерений поверхностной проводимости: табл. 1 и 2 на страницах 16 и 18 автореферата; (2) Автором не рассматриваются размерные ограничения для приводимых физико-математических моделей.

6. доктора физико-математических наук, профессора Кастро Арата Рене Алехандро, профессора кафедры физической электроники института физики Российского государственного педагогического университета имени А.И. Герцена, *отзыв положительный*. Имеются замечания: (1) Формула (1) на странице 8 не учитывает диффузионных токов, поэтому авторская модель имеет ограничения для расчета полей – рассматриваемые автором геометрические размеры образцов и межзондовых расстояний должны быть существенно больше длины свободного пробега электронов проводимости; (2) Некоторые предложения в тексте неудачно сформулированы, например: Страница 12 автореферата: «С использованием зондовой микроскопии (СММ-2000) определены параметры шероховатости поверхности никеля, влияющие на эксплуатационные свойства контактных структур». О какой «поверхности никеля» или ее части идет речь? Страница 14: «Полученные выражения для потенциала позволяют проанализировать распределение потенциала и плотности тока в неоднородном по глубине образце». Словоупотребление «неоднородном по глубине» требует уточнения. Есть и другие неточности, и стилистические ошибки. Подобные неточности в тексте могут возникать, когда автор сокращает текст диссертации при написании автореферата.

7. доктора физико-математических наук, профессора Немова Сергея Александровича, профессора Высшей школы физики и технологий материалов Института машиностроения, материалов и транспорта федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», *отзыв положительный*. Имеются замечания: (1) Для рассчитываемого распределения потенциала в структурах n^+-n и p^+-p не учитывается влияние контактной разности потенциалов; (2) Современные методы зондового сканирования поверхности полупроводников часто используют атомно-силовые микроскопы, в автореферате ничего не говорится о применимости разработанных методик для АСМ при исследованиях методом сопротивления растекания.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обусловливается их авторитетностью и компетентностью в области материаловедения неоднородных полупроводников.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана новая экспериментальная методика измерений и расчетов кинетических коэффициентов на поверхности полупроводника с использованием физико-математической модели на основе Фурье преобразования;

предложен оригинальный подход в обнаружении локальных неоднородностей на поверхности полупроводника по электропроводимости и коэффициенту Холла;

доказана зависимость концентрирования электрического поля в областях расположения токовых контактов к ограниченным полупроводникам с неоднородностями от геометрических параметров диффузионного легирования и площади сечений контактов;

доказана зависимость скорости падения потенциала в приконтактной области от снижения отношения проводимости верхнего слоя к проводимости нижнего слоя σ/σ^+ в эпитаксиальных $n-n^+$ и $p-p^+$ структурах с резкими границами.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана существенность влияния легирующих примесей в арсениде галлия на омические свойства формируемого электрохимическим методом точечного контакта Ni-GaAs;

применительно к проблематике диссертации результативно использован широкий арсенал аналитических методов, позволивший установить закономерности протекания электрического тока в неоднородных по толщине полупроводниковых образцах;

изложены доказательства наличия закономерности концентрирования потенциала и плотности тока в приконтактных областях полупроводниковых диффузионно-легированных пластин, а также эпитаксиальных $n-n^+$ и $p-p^+$ структур с плоскими границами при зондовых измерениях на постоянном электрическом токе;

изучены факторы влияния параметров распределения примесей и геометрических размеров образцов и токовых контактов на концентрирование электрических полей в искусственно неоднородных полупроводниках, формируемых методами планарной технологии.

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

определены факторы влияния на измерения кинетических коэффициентов особенностей распределения электрического поля в ограниченных неоднородных полупроводниках;

определены основные источники погрешностей в оригинальных методиках измерений кинетических коэффициентов полупроводниковых пластин;

представлены пределы и перспективы практического использования теории на практике для контроля качества изготовления омических контактов металл-неоднородный полупроводник на пластинах и пленках с привлечением локальных зондовых измерений;

представлены методические рекомендации определения поверхностной электропроводимости (σ_0), параметров распределения примеси диффузионно- и ионно-легированных полупроводников и эпитаксиальных структур n-n⁺ и p-p⁺ с резким изменением удельного сопротивления по глубине.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

экспериментальные результаты получены на сертифицированном специализированном оборудовании (зондовый АСМ СММ-2000, источники питания Б5-44, DC POWER SUPPLY 3005, вольтметры В2-34, АВ-1 (НИЛ ТЭ НГТУ); амперметры Ф-195, АВ-1; измерители магнитной индукции РШ 1-10 и Teslameter Phywe; измерительные микроскопы МБС-10 и БиоЛаб 3М) с его надлежащей калибровкой, с воспроизводимостью получаемых результатов в различных условиях;

использованы математические методы, позволившие минимизировать погрешности расчета кинетических коэффициентов;

установлено обоснованное качественное, а в ряде случаев количественное совпадение полученных данных с теоретическими выводами и опытными результатами других авторов.

Личный вклад соискателя состоит в: постановке большей части задач, разработке методов исследования, предложенных и обсужденных совместно с научным руководителем. Основные теоретические и экспериментальные результаты, статистическая обработка полученных экспериментальных данных, а также компьютерные модели, включенные в диссертацию, получены лично автором или при его непосредственном участии. Автор внес значительный вклад в написание статей, раскрывающих содержание работы, непосредственно участвовал как докладчик на конференциях и семинарах при апробации научных результатов. Анализ и интерпретация полученных результатов, выводы и научные положения, выносимые на защиту, сформулированы автором лично.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: недостаточность внимания на практическое применение полученных теоретических результатов, недостаточный анализ влияния контактных и

размерных эффектов на результаты измерений, необходимость более точного описания границ применяемых теоретических моделей.

Соискатель ответил на задаваемые ему вопросы и привел аргументацию по выбору физико-математических моделей, требуемых для описаний электрических полей в искусственно неоднородных диффузионных полупроводниках и структурах со скачкообразным изменением однотипной проводимости, а также обосновал практическую значимость приводимых теоретических моделей и экспериментальных данных.

На заседании 29 июня 2023 года диссертационный совет принял решение: за успешное решение важной научной задачи, направленной на установление влияния естественных и создаваемых примесных неоднородностей (диффузионного легирования, эпитаксиального формирования $n-p^+$ и $p-p^+$ структур) на электрические свойства полупроводников и выявленных эффектов концентрирования плотности электрического тока и потенциала в приконтактных областях ограниченных полупроводников, имеющие значение для развития физики и техники неоднородных полупроводников, присудить Лузянину Сергею Евгеньевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.3.11 – физика полупроводников, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 1.

Председатель
диссертационного совета
24.2.435.01

Ученый секретарь
диссертационного совета
24.2.435.01



Кузьменко Александр Павлович

Кочура Алексей Вячеславович

«29» июня 2023 г.