

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.190.06 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ПЕТРОЗАВОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 24.06.2016 г. протокол № 34

о присуждении **Бутэ Ирине Владимировне**, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация *«Процессы теплопроводности и диффузии в эффекте резистивного переключения с памятью в тонкопленочных оксидных структурах»* в виде рукописи по специальности 01.04.04 – физическая электроника – выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Петрозаводский государственный университет» на кафедре информационно-измерительных систем и физической электроники физико-технического факультета.

Диссертация принята к защите «18» марта 2016 года протокол № 28.

Соискатель Бутэ Ирина Владимировна, 1982 года рождения, гражданка Российской Федерации, на момент защиты работает на кафедре информационно-измерительных систем и физической электроники физико-технического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петрозаводский государственный университет» в должности инженера 2 категории. В 2011 году соискатель окончила магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петрозаводский государственный университет» по направлению «Информатика и вычислительная техника». В 2015 году окончила очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения

высшего образования «Петрозаводский государственный университет» по направлению 01.04.04 – физическая электроника.

Диссертация выполнена на кафедре информационно-измерительных систем и физической электроники физико-технического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петрозаводский государственный университет».

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, доцент **Борисков Петр Петрович** работает в должности доцента кафедры электроники и электроэнергетики физико-технического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Петрозаводский государственный университет».

Официальные оппоненты:

1. **Лёвшин Николай Леонидович**, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры общей физики и молекулярной электроники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова"
2. **Гриценко Владимир Алексеевич**, гражданин Российской Федерации, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории физических основ материаловедения кремния Федерального государственного бюджетного учреждения науки "Институт физики полупроводников имени А. В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук"

дали **положительные** отзывы о диссертации.

Ведущая организация **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук» (ИХТРЭМС КНЦ РАН)**, г. Апатиты, в своем **положительном** заключении, подписанном заведующим лабораторией

материалов электронной техники ИХТРЭМС КНЦ РАН, доктором технических наук, *Палатниковым Михаилом Николаевичем* и старшим научным сотрудником лаборатории материалов электронной техники ИХТРЭМС КНЦ РАН, кандидатом физико-математических наук, *Тепляковой Натальей Александровной* и утверждённым временно исполняющим обязанности директора ИХТРЭМС КНЦ РАН, доктором химических наук, *Кузнецовым Сергеем Александровичем*, указала, что «диссертация отвечает всем требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям». Отзыв о диссертационной работе Бутэ И. В. рассмотрен, обсужден и одобрен на объединенном научном семинаре лаборатории материалов электронной техники и секции Ученого совета ИХТРЭМС КНЦ РАН «Химия и технология новых материалов» от 17 мая 2016 г., протокол № 7.

На диссертацию и автореферат поступил отзыв:

Чернова Андрея Александровича, доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук»

Замечания:

- 1) Почему для описания процесса заряда в диэлектрике используется дифференциальный закон Ома, справедливый лишь в линейном отклике (в малых электрических полях) и, в основном, в металлах.
- 2) Почему рассматривается стационарное уравнение для тока, в то время как общая задача нестационарная.
- 3) В модели резистивного переключения автор рассматривает миграцию вакансий металла (никеля), в то время как в других оксидных материалах, например, HfO_2 , ZrO_2 , Ta_2O_5 и др., как известно, данный эффект обусловлен генерацией, рекомбинацией и дрейфом вакансий кислорода. Это противоречие в автореферате никак не обсуждается.

- 4) Требуется пояснение описания дрейфа никелевых вакансий с помощью уравнения диффузии. Насколько это правомерно, и в каких диапазонах режимных параметров процесса? Тут же возникает вопрос. Почему не рассматриваются механизмы электро- и термодиффузии, тем более что градиенты электрических и температурных полей в рассматриваемой задаче велики.
- 5) В уравнении теплопроводности (в системе уравнений(1)) отсутствует член, отвечающий за фазовый переход (плавление), о котором говорится выше. Остается непонятным, как вообще учитывается плавление.
- 6) В разделе 4, гл.4, стр.17 автореферата приведен ряд эмпирических соотношений, полученных из расчета. Однако физический смысл данных соотношений для читателя остается неясным (в автореферате отсутствуют какие-либо пояснения).
- 7) Не приведены значения и расшифровки некоторых параметров, используемых в автореферате, а также отсутствуют некоторые ключевые ссылки на работы других авторов, без которых понимание ряда формул, приведенных в автореферате, просто невозможно.

Все отзывы, поступившие на диссертацию и автореферат, **положительные** (из них отзыв с замечаниями, указанными выше) и заканчиваются выводом, что диссертационная работа Бутэ И. В. полностью соответствует требованиям, которые ВАК предъявляет к кандидатским диссертациям, а её автор – Бутэ И. В. – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью оппонентов в области физической электроники, значимым вкладом ведущей организации в области изучения электрофизических свойств, а также структуры оксидных материалов, что подтверждается публикациями за последние пять лет оппонентов и учёных из ведущей организации в высокорейтинговых научных журналах в области физической электроники.

Соискатель имеет 6 опубликованных работ, из них по теме диссертации опубликовано 6 научных работ общим объемом 1,77 печатных листов, в том числе 3 статьи в научных журналах и изданиях, которые включены в перечень российских рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций 3 работы опубликованы в материалах всероссийских и международных конференций.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Сысун А. В., Сысун И. В. Тестирование экономических итерационных схем для двумерного уравнения типа Пуассона // Вестник Воронежского государственного технического университета . – 2013. – № 6-2. – С. 117-120.
2. И. В. Сысун, В. И. Сысун, П. П. Борисков. Диффузионный механизм окисления никеля в проводящем канале переключающей структуры Pt/NiO/Pt // Уч. зап. ПетрГУ. Естественные и технические науки. – 2015. – № 4 (149). – С. 110-114
3. И. В. Сысун, В. И. Сысун, П. П. Борисков. Моделирование процесса электроформовки униполярной переключающей структуры с памятью Pt/NiO/Pt // Журнал технической физики. – 2016. – Вып. 5. – С. 9-14.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

предложена модель перехода в проводящее состояние NiO, состоящего из плавления NiO в области канала с последующим его расширением и преобразованием структуры NiO в расплаве,

разработана модель разрушения проводящего канала за счет диффузии никелевых вакансий в канал,

построена математическая модель теплофизических и электрических процессов и процессов переноса в структуре NiO,

выбран и обоснован экономичный алгоритм численной реализации модели в реальной геометрии структуры,

в результате расчетов, основанных на предложенной математической модели, *установлены* зависимости радиуса и сопротивления канала от тока ограничения пробоя и паразитной емкости электродов, а также времени перехода в непроводящее состояние от режима источника питания (источник тока или источник напряжения),

предложены аналитические выражения, аппроксимирующие параметры проводящего канала и времена его образования и распада,

проведены сопоставления аналитических выражений (аппроксимаций) с результатами эксперимента.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

построена модель переключения структуры NiO, вносящая новый вклад в расширение представлений о процессах в МОМ структурах на основе оксидов переходных металлов,

изложен и корректно обоснован устойчивый высокоскоростной явно-неявный перемежающийся метод моделирования прохода счетной области.

раскрыта динамика пространственного поведения проводящего канала в ходе его образования и разрушения в процессах электрической формовки и переключения в оксидных структурах с памятью при различных токовых режимах;

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

установлен минимальный ток формовки, необходимый для образования канала с надежными характеристиками,

получены зависимости параметров канала от внешних факторов, позволяющих спрогнозировать реализацию ячеек памяти на оксиде никеля на начальной стадии их разработки,

обоснована возможность использования исследуемого эффекта для МОМ ячеек памяти на основе других оксидов переходных металлов.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

При разработке модели переключения МОМ структуры на NiO *были использованы базовые* физические представления о передачи тепла со сменой агрегатного состояния, распределения электрического поля в среде с переменной проводимостью и процессов переноса,

использованы исходные параметры МОМ структуры, согласующиеся с опубликованными экспериментальными данными,

проведена проверка разработанных численных алгоритмов для известных предельных случаев,

результаты исследования в пределах погрешности согласуются с экспериментальными данными, полученными автором, а также с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации, сравнение с которыми является обоснованным.

Таким образом, представленные в диссертационной работе результаты и выводы достоверны и обоснованы.

Личный вклад соискателя состоит в:

состоит в том, что основные результаты исследования получены лично соискателем или при его непосредственном участии,

соискатель принимал непосредственное участие в разработке теоретической модели, составлении алгоритмов и программ, проведении численных расчетов, обработке результатов, формулировке выводов и обобщений, получении аналитических зависимостей, написании текста диссертации, статей, выступлениях на научных конференциях.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследований, непротиворечивостью результатов и взаимосвязанностью выводов.

Диссертационный совет Д 212.190.06 на заседании 24 июня 2016 г. пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным

постановлением Правительства Российской Федерации от 30 января 2002 г. № 74 (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 20 июня 2011 г. № 475), и принял решение присудить **Бутэ Ирине Владимировне** ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 7 докторов наук по специальности 01.04.04 – физическая электроника, участвовавших в заседании, из 15 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение учёной степени – 14, против присуждения учёной степени – 1, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета

Гуртов Валерий Алексеевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Пикунев Виталий Борисович

24 июня 2016 г.

Подпись руки	<i>Гуртов В.А.</i>
	<i>Пикунев В.В.</i>
УДОСТОВЕРЯЮ.	
Уч. секретарь ученого совета	<i>[Signature]</i>
	« 24 » 06 2016 г.