

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.286.01
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Воронежский государственный технический университет»,
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 17.06.2025 г. № 389

О присуждении Шоболовой Тамаре Александровне, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка конструктивно-технологических методов создания КНИ МОП- и биполярных элементов ИС с улучшенными параметрами» по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств принята к защите 24.03.2025 (протокол заседания № 384) диссертационным советом 24.2.286.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84, приказ о создании совета № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель Шоболова Тамара Александровна 25 апреля 1987 года рождения, в 2010 году окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского» с присуждением квалификации магистра по направлению «Нанотехнология». В 2022 году окончила аспирантуру федерального государственного автономного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского», работает инженером-технологом в филиале Федерального государственного унитарного предприятия «Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики» «Научно-исследовательский институт измерительных систем им. Ю.Е. Седакова».

Диссертация выполнена на кафедре квантовой радиофизики и электроники федерального государственного автономного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского».

Научный руководитель – Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой квантовой радиофизики и электроники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского".

Официальные оппоненты:

1. Каргин Николай Иванович, доктор технических наук, профессор, советник при ректорате ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», директор центра радиофотоники и СВЧ технологий НИЯУ МИФИ, заслуженный деятель науки РФ;

2. Павлов Александр Александрович, доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Институт нанотехнологий микроэлектроники Российской академии наук»,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», г. Москва, в своём положительном отзыве, подписанном Бутиным Валентином Ивановичем, доктором технических наук, старшим научным сотрудником, начальником научно-исследовательского отделения и утверждённом Ильёй Михайловичем Железновым, доктором технических наук, первым заместителем директора по операционному управлению, указала, что диссертация Шоболовой Тамары Александровны выполнена на актуальную тему, результаты исследований являются достоверными, выводы, научная новизна и практическая значимость подтверждены значительным объёмом проведённых исследований с помощью современных методов. В заключении указано, что диссертация Шоболовой Т.А. является законченной научно-квалификационной работой и соответствует критериям пп. 9-14 "Положения о присуждении учёных степеней", утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (со всеми последующими изменениями), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств, а её автор, Шоболова Тамара Александровна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Соискатель имеет 25 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 21 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 9 работ, получено 4 патента на изобретения.

Лично соискателю в опубликованных в соавторстве работах принадлежит: непосредственный расчёт конструкции элементов ИС и их характеристик, разработка технологии изготовления, сопровождение изготовления, разработка программы исследований элементов ИС, анализ полученных результатов, оформление в виде публикации.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Коротков А.В. Сравнение радиационной стойкости перспективных биполярных и гетеробиполярных транзисторов / А.В. Коротков, Е.В. Петрякова, Т.А.Шоболова, А.В. Липатников, А.С. Пузанов, С.В. Оболенский, В.А. Козлов // Физика и техника полупроводников. 2019. – Том 53. – №10. – С. 1391 – 1394.

2. Шоболова Т.А. Кремниевый метал-оксид-полупроводник транзистор с зависимым контактом к карману и двухслойным затвором / Т.А. Шоболова, С.Д.

Рудаков, А.С. Мокеев, Е.Л. Шоболов, С.В. Оболенский // Физика и техника полупроводников. 2021. – Том 55. – №10. – С. 916 – 921.

3. Шоболова Т.А. Ток утечки через подзатворный диэлектрик в транзисторах с длиной канала до 100 нм / Т.А. Шоболова, В.В. Гасенин, С.В. Оболенский, Е.Л. Шоболов // Физика и техника полупроводников. 2022. – Том 56. – №7. – С.693-699.

- патенты:

4. Пат. 2767597 Российская Федерация, МПК H01L 21/265, H01L 29/73. Латеральный биполярный транзистор на структурах «кремний на изоляторе» и способ его изготовления/ Т.А. Шоболова, С.В. Оболенский, Ю.А. Кабальнов, – №2021114552. Бюл. № 8. – 11 с.: ил.

5. Пат. 2783629 Российская Федерация, МПК H01L29/00 Стабилитрон на структуре «кремний на изоляторе» / Т.А. Шоболова и др. – №2021035094. Бюл. №32 – 3 с.: ил.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем учёной степени работах.

На диссертацию и автореферат поступило 3 отзыва, все отзывы положительные:

1. Александр Александрович Чиликов, к.т.н, заместитель начальника отдела СВЧ-узлов Нижегородского филиала АО «Научно-производственная фирма «Техноякс», со следующими замечаниями:

- подпись к рисунку 3, размеры на самом рисунке и текстовое описание, вероятно, противоречат друг другу по смыслу;

- на рисунке 8 автореферата на красной кривой вольтамперной характеристики присутствует странный пик при напряжении около минус 2,5 В;

- в тексте присутствуют помарки редакционного характера, например на стр.8 «...на подложке КНИ...», на стр. 9 «отражены в 22 публикациях...», на стр. 11 «соотношение ширины и длины канала», на стр. 14 «... к карману (рисунок 5...», на стр. 18 незаконченное предложение «...радиационностойкие аналоговые.»

2. Виталий Витальевич Березин, к.т.н, старший инженер-схемотехник отдела разработки усилителей мощности ООО «Радио Гигабит», со следующим замечанием: - в разделе «Заключение» вывод 3 не дописан.

3. Павел Андреевич Юнин, к.ф.-м.н., заведующий лабораторией диагностики радиационных дефектов в твердотельных наноструктурах Института физики микроструктур РАН - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук», со следующим замечанием: - отсутствие экспериментальных исследований облучения нейтронами образцов БТ.

На замечания соискателям даны исчерпывающие ответы и пояснения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в соответствующей отрасли наук, наличием публикаций в сфере исследования «Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники», а также

способностью оценить научную и практическую значимость приведённых в диссертации результатов.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработаны конструкции радиационно-стойких элементов:

- КНИ-МОПТ с двухслойным поликремниевым затвором с зависимым контактом к карману, с повышенной мощностью и высоким значением выходного тока, для использования в элементах ввода-вывода;
- биполярного транзистора на КНИ с боковым контактом к базе с высоким статическим коэффициентом усиления;
- КНИ- стабилитрона с управляющим контактом;

Предложены:

1. Новые конструктивно-технологические решения создания МОПТ с двухслойным поликремниевым затвором, обладающих следующими преимуществами по сравнению с существующими МОПТ:

- быстроедействие в два и более раз;
- надёжность в ~ 4 раза (за счёт увеличения напряжения пробоя подзатворного диэлектрика);
- высокая степень интеграции (в ~ 2 раза) при проектной норме;
- радиационной стойкостью к накопленной дозе гамма-излучения, необходимой для создания ИС специального, в т.ч. космического, применения.
- возможностью использования таких транзисторов в качестве проходных ключей за счёт симметричности областей истока и стока.

2. Симметричность областей истока и стока, открывающая перспективу применения транзисторов в качестве проходных ключей;

3. Новая конструкция управляемого КНИ-стабилитрона, с управляемым рабочим напряжением, которое можно кратно ($1.8 \div 2.2$ раза) изменять с помощью потенциала на дополнительном контакте.

Доказана зависимость:

- напряжённости электрического поля в подзатворном диэлектрике оригинального МОПТ с двухслойным поликремниевым затвором от геометрии затвора и определен оптимальный радиус кривизны для максимального повышения надёжности и радиационной стойкости ИС;
- быстрогодействия ИС от дистанции карман - шина в предложенном исполнении МОПТ, рассчитано оптимальное расстояние;
- коэффициента усиления тока от длины базы и определено её оптимальное значение для радиационно-стойкого биполярного КНИ-транзистора;
- режима пробоя обратной ветви р-п перехода от управляющего напряжения стабилитрона новой конструкции.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:
доказано, что

- увеличение радиуса закругления нижних углов поликремниевого затвора приводит к увеличению напряжения пробоя подзатворного диэлектрика;

- формирование базы длиной 5 мкм в биполярном транзисторе с боковым контактом к базе приводит к увеличению коэффициента усиления тока;

применительно к проблематике диссертации результативно использован комплексный подход исследования характеристик элементов ИС: численное моделирование, сопоставление и анализ расчётных и экспериментальных данных;

использованы теоретические модели транспорта носителей заряда, имплантации и диффузии примеси при отжиге, калиброванные по экспериментально полученным результатам;

изложены обоснования конструктивно-технологических решений, позволяющих достичь:

- увеличения степени интеграции ИС при сохранении проектной нормы;
- повышения быстродействия ИС за счет снижения паразитных ёмкостей и времён задержки в МОПТ;
- уменьшения влияния негативных эффектов, возникающих при воздействии ионизирующего излучения, на параметры элементов ИС на структурах КНИ;
- конструктивно-технологических решений, совместимых с базовым КМОП технологическим процессом, создания универсальных МОПТ с оригинальным двухслойным поликремниевым затвором, которые могут использоваться в качестве стандартных базовых элементов цифровой схемы (логических вентилей), а также в переходных ключах и ячейках ввода-вывода;
- конструкции и КМОП- совместимой технологии создания радиационностойкого биполярного КНИ-транзистора с высоким значением коэффициента усиления тока;
- конструктивно- технологических решений создания КНИ-стабилитрона с управляемым рабочим напряжением

изучено:

- влияние увеличения радиуса закругления нижних углов поликремниевого затвора на увеличение напряжения пробоя подзатворного диэлектрика;
- влияние увеличения длины базы биполярного транзистора с боковым контактом на коэффициент усиления по току;
- влияние напряжения, приложенного на управляющий контакт стабилитрона, на рабочее напряжение.

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

разработана и внедрена в практику:

- конструкция МОПТ с двухслойным поликремниевым затвором, обладающего повышенным быстродействием, повышенной надежностью, меньшей занимаемой площадью на кристалле, радиационной стойкостью и возможностью использования в качестве проходных ключей;
- конструкция радиационностойкого биполярного КНИ-транзистора с высоким статическим коэффициентом усиления тока;
- конструкция нового типа управляемого КНИ- стабилитрона, рабочее напряжение которого можно количественно изменять напряжением, подаваемым

на дополнительный контакт, обеспечивая возможность управления параметрами стабилитрона.

определено, что:

- разработанный блок формирования поликремниевого затвора может быть использован для увеличения напряжения пробоя подзатворного диэлектрика;
- разработанная конструкция и технология изготовления БТ на КНИ может быть использована для повышения коэффициента усиления по току;

Представлены рекомендации для совершенствования:

- технологии изготовления МОП-транзисторов, заключающиеся в коррекции блока формирования затвора, позволяющие увеличить напряжение пробоя подзатворного диэлектрика;
- конструкции биполярного транзистора, позволяющей увеличить коэффициент усиления по току;
- конструкции стабилитрона, позволяющей управлять рабочим напряжением.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

результаты экспериментальных исследований получены на современном сертифицированном и поверенном оборудовании с использованием стандартизированных методик проведения измерений; показана воспроизводимость результатов при различных условиях;

теория, используемая для объяснения результатов, полученных посредством численного моделирования и эксперимента адекватна для описания исследуемых в работе объектов;

идея базируется:

- на анализе и обобщении данных о влиянии напряжённости электрического поля на напряжение пробоя подзатворного диэлектрика в МОП-транзисторе;
- на анализе и обобщении данных о влиянии длины р-п перехода «база-коллектор» в биполярном транзисторе на ток коллектора;
- на анализе и обобщении данных о влиянии приложенного напряжения на р-п переход стабилитрона на ширину области ОПЗ и концентрацию примеси в областях этого р-п перехода;

использованы современные методики калибровки моделей численного моделирования исследуемых структур и их характеристик; современные методы экспериментальных исследований, обработки полученных результатов;

установлено высокое совпадение получаемых результатов, с указанными в литературе и оригинальными данными (отклонение менее 10%) при калибровке физико-математических численных моделей.

Личный вклад соискателя состоит в:

- разработке и экспериментальной калибровке моделей, проведении расчётов;
- разработке технологии и маршрута изготовления элементов ИС, программы исследований, анализе полученных результатов.

Диссертация соответствует специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств и отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств.

В материалах диссертации Шоболовой Т.А. содержится решение научной задачи, имеющей значение для дальнейшего улучшения характеристик элементов ИС. Работа написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты, практические положения. Перечень опубликованных материалов свидетельствует о личном вкладе автора в науку.

В ходе защиты существенных критических замечаний высказано не было.

На заседании 17.06.2025 г. диссертационный совет за решение научной задачи, имеющей значение для дальнейшего улучшения характеристик элементов ИС, принял решение присудить Шоболовой Тамаре Александровне учёную степень кандидата технических наук по специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств.

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

Заместитель председателя
диссертационного совета

Учёный секретарь
диссертационного совета

17.06.2025 г.



Белоногов Е.К.

Стогней О.В.