

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
АВТОМАТИКИ ИМ. Н.Л. ДУХОВА»
(ФГУП «ВНИИА»)**

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель
директора по операционному

д.т.н.

И.М. Железнов



2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Шоболовой Тамары Александровны «Разработка конструктивно-технологических методов создания КНИ МОП- и биполярных элементов ИС с улучшенными параметрами», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2 – «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств»

Диссертационная работа Шоболовой Т.А. посвящена разработке конструкций радиационно стойких элементов интегральных схем, обеспечивающих улучшение их основных электрофизических характеристик.

Актуальность темы. При разработке перспективных специзделий востребованы современные унифицированные многофункциональные интегральные схемы (ИС), включающие в свой состав аналоговые блоки связи на основе биполярных транзисторов (БТ) и цифровые блоки управления на основе МОП-транзисторов (МОПТ). Такие ИС изготавливаются с использованием БиКМОП технологических процессов, главным недостатком которых является сложность изготовления в едином технологическом процессе двух типов радиационно стойких транзисторов, отличающихся как технологически, так и конструктивно. Поэтому разработка элементов ИС универсальной конструкции является одним из актуальных направлений работы для производителей интегральных схем. В представленной работе проведено исследование данной проблемы и предложено ее решение, благодаря применению новых научно обоснованных технологических решений и разработке специальной конструкции элементов БиКМОП ИС.

Известная в литературе радиационно стойкая технология изготовления БиКМОП ИС на структуре «кремний на изоляторе» (КНИ-структуре) обладает рядом недостатков. Значительное влияние положительных зарядов, накопленных на границе раздела кремний-оксид кремния вследствие гамма-воздействия, приводит к

ухудшению характеристик как МОПТ, так и других элементов ИС. Наличие ёмкости «поликремниевая шина – карман» МОПТ приводит к увеличению времени переключения. Кроме этого, в субмикронной технологии с уменьшением проектных норм изготовления МОПТ особое внимание следует уделять обеспечению электрической прочности подзатворного диэлектрика уменьшенной толщины.

Биполярный транзистор зачастую используется как элемент усиления, поэтому увеличение коэффициента усиления является актуальной задачей исследований. Разработка конструкций элементов, стойких к радиационному, температурному и другим внешним воздействующим факторам также является важным направлением исследований.

Цели и задачи работы. Целью исследований автора являлась разработка и элементов ИС оригинальной конструкции с улучшенными электрофизическими характеристиками.

Для достижения поставленной цели Т.А. Шоболовой были поставлены и успешно решены следующие задачи:

1. Разработана конструкция МОПТ с повышенной радиационной стойкостью, повышенным напряжением пробоя подзатворного диэлектрика и уменьшенным временем переключения.

2. Разработана конструкция радиационно стойкого БТ на КНИ-структуре с повышенным значением коэффициента усиления.

3. Разработана конструкция стабилитрона на КНИ-структуре с возможностью управления рабочим напряжением.

Краткий обзор работы.

Во введении обоснована актуальность направлений исследований, представленных в диссертационной работе. Сформулированы: научная новизна, практическая значимость, основная цель и задачи работы, методология и методы исследования, выносимые на защиту положения.

В первой главе проведен литературный обзор основных направлений диссертационных исследований.

Во второй главе приведены результаты математическое моделирование и экспериментальное исследование.

Для увеличения сходимости рассчитанных и полученных экспериментально результатов математическое моделирование проводилось с использованием калиброванных моделей. Калибровка моделей проводилась по экспериментально полученным характеристикам изготовленных образцов.

Экспериментальное исследование изготовленных структур проводилось на полуавтоматической зондовой станции при разных значения температуры.

В третьей главе приведены результаты исследований МОПТ с двухслойным поликремниевым затвором. Показано, что МОПТ оригинальной конструкции характеризуется повышенным значением напряжения пробоя подзатворного диэлектрика и меньшим временем переключения.

В четвёртой главе приведены результаты исследования БТ на КНИ-структуре.

Показано, что БТ оригинальной конструкции характеризуется повышенной дозовой стойкостью к воздействию гамма-излучения и большими значениями коэффициента усиления по току.

В пятой главе приведены результаты исследований стабилитрона оригинальной конструкции. Показано, что предложенный стабилитрон обладает возможностью управления рабочим напряжением посредством приложения напряжения на управляющий контакт.

В заключении приведены основные результаты работы.

Научная новизна.

Получена зависимость напряжённости электрического поля в подзатворном диэлектрике МОПТ с двухслойным поликремниевым затвором от радиуса закругления нижних углов затвора.

Определена зависимость времени переключения кольцевого генератора на оригинальных МОПТ от расстояния между поликремниевой шиной и карманом транзистора.

Определена зависимость коэффициента усиления БТ от длины активной области базы транзистора.

Определена зависимость напряжения пробоя стабилитрона от напряжения, приложенного на управляющий контакт.

Практическая значимость.

Разработана конструкция МОПТ с двухслойным поликремниевым затвором, характеризующегося меньшим временем переключения, повышенной дозовой стойкостью к воздействию гамма-излучения, увеличенным напряжением пробоя подзатворного диэлектрика.

Разработана конструкция БТ на КНИ, характеризующаяся повышенным значением коэффициента усиления тока и повышенной дозовой стойкостью к воздействию гамма-излучения.

Разработана конструкция стабилитрона, характеризующаяся возможностью управления рабочего напряжения посредством приложения напряжения на управляющий контакт.

Обоснованность и достоверность результатов диссертационной работы, а также основных научных положений, выводов и рекомендаций подтверждены значительным объёмом проведённых исследований с помощью современных методов.

Материалы диссертации опубликованы и апробированы на многих научных конференциях и семинарах. Результаты диссертационного исследования изложены в 21 публикациях, том числе 9 статей в рецензируемых журналах, 4 патентах, 9 тезисах и трудах научных конференций и семинаров.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Личный вклад автора заключается в разработке конструкции и технологии изготовления описанных в работе элементов ИС, выполнении численных расчетов

параметров разработанных приборных композиций и их электрофизических характеристик в системе автоматизированного проектирования Sentaurus TCAD. Экспериментальные исследования полупроводниковых структур (облучение структур в рентгеновском имитационном комплексе (РИК), измерение их электрофизических параметров (ЭФП) в диапазоне температур и при разных дозах облучения) и обработка полученных результатов также выполнены Т.А. Шоболовой лично.

Диссертация Шоболовой Т.А. соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Считаю, что Шоболова Тамара Александровна заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2 – «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств».

Результаты, полученные в работе, используются в Филиале ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» «НИИИС им. Ю.Е. Седакова».

Вместе с этим по представленной диссертационной работе можно сделать несколько *замечаний*.

1. В работе большое внимание уделено оптимизации параметров двуслойного поликремниевого затвора с точки зрения повышения пробивного напряжения. Вместе с тем, в работе отсутствует сравнение предложенной конструкции затвора с современными реализациями на базе структур с металлическим затвором и диэлектриком с высокой диэлектрической проницаемостью.

2. Известно, что критическим радиационным эффектом для КНИ-структур является накопление заряда на границе кремний-диэлектрик и в диэлектрике, причем влияние объемного заряда в подзатворном диэлектрике на функционирование транзистора снижается с уменьшением его топологических норм. При выполнении расчетов дозовое воздействие гамма-излучения имитировалось введением положительных зарядов на границу Si/SiO₂. При этом следовало учесть, что при радиационном воздействии накопление заряда в захороненном диэлектрическом слое КНИ-структур оказывает определяющее воздействие на электрофизические характеристики полупроводниковых структур. Кинетика накопления заряда на границе раздела и в объеме диэлектрика определяется не только исходными параметрами КНИ-структур, но также спектром и интенсивностью гамма-излучения, температурой, электрическим режимом конкретного транзистора во время облучения и другими факторами. Это ставит вопрос как о возможности распространения результатов экспериментальных исследований изготовленных полупроводниковых структур на низкоэнергетическом рентгеновском имитационном комплексе в пассивном режиме на функционирование элементов в условиях космического пространства, так и сравнения результатов экспериментальных исследований с данными, полученными в процессе математического моделирования.

Отмеченные недостатки, безусловно, не снижают высокую научную ценность диссертационной работы, так как не затрагивают выносимые на защиту основные положения и не влияют на общую положительную оценку работы.

Диссертация Шоболовой Т.А. является законченной научно-квалификационной работой и соответствует критериям пп. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Шоболова Тамара Александровна заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.2 – «Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств»

Диссертация и отзыв обсуждены и одобрены на заседании НТС научно-исследовательского отделения 07 ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» (№ Прот Т0039/048-2025 от 28.05.2025).

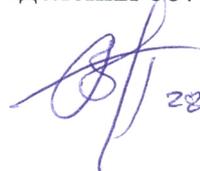
Отзыв составил:

Начальник научно-исследовательского отделения 007

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» ,

доктор технических наук,

старший научный сотрудник



Бутин Валентин Иванович

28.05.2025г.

ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова»

Адрес: 127030, Москва, Сущевская ул., д. 22.

Телефон: (499)978-7803

E-mail: vniia@vniia.ru