

ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертационную работу
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
наноэлектроники, квантовых устройств.**

Актуальность избранной темы

Разработка универсальных элементов интегральных схем (ИС) с широким спектром применения является одной из ключевых задач микроэлектронной промышленности. Транзисторы выступают базовыми элементами ИС, поэтому совершенствование их характеристик – первоочередная техническая задача.

Паразитная емкость полевого транзистора существенно влияет на время переключения, что критично для ИС в СВЧ-диапазоне. Оптимизация этого параметра позволяет расширить область применения МОП-транзисторов.

Напряжение пробоя подзатворного диэлектрика зависит от таких факторов как качества изолирующего слоя и напряжённости электрического поля в нём. Снижение напряжённости электрического поля без уменьшения рабочего напряжения транзистора – важная задача микроэлектроники. Её решение приводит к повышению напряжения пробоя диэлектрика, увеличению надёжности МОП-транзистора и расширению областей его применения.

В аналоговых схемах наряду с МОП-транзисторами активно используются биполярные транзисторы (БТ). Существующая технология их производства на объёмном кремнии или структурах «кремний на изоляторе» (КНИ) с приборным слоем толщиной от 1 мкм хорошо изучена. При этом элементы ИС с субмикронными проектными нормами требуют КНИ со слоем не более 0,2 мкм. Разработка конструкции биполярного транзистора с

субмикронными нормами на структурах КНИ с тонким приборным слоем представляет собой актуальную техническую задачу.

Стабилитрон – неотъемлемая часть ИС, представляющий собой диод, работающий при обратном смещении. Главный недостаток стабилитрона заключается в существенной зависимости его рабочего напряжения от внешних факторов. Например, нагрев элемента приводит к снижению напряжения пробоя р-п перехода. Создание универсальной и компактной конструкции стабилитрона остаётся важной задачей микроэлектроники.

Учитывая вышеизложенное, тема диссертации Шоболовой Т.А., направленная на разработку конструктивно-технологических решений для улучшения характеристик элементов ИС, безусловно, является актуальной и востребованной.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность и обоснованность основных положений и выводов диссертации обеспечивается применением современных методов расчёта и исследования элементов ИС:

- получены низкие значения отклонения (менее 10%) результатов математического моделирования и экспериментальных данных;
- проведение ежегодной аттестации используемого оборудования, применяемого для экспериментальных исследований.

Также обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена апробацией результатов исследований на научных конференциях, полным отражением основных результатов диссертационной работы в опубликованных автором научных трудах.

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Исследования, проведённые Шоболовой Т.А., соответствуют высокому методическому уровню. Оригинальность приведённого в диссертации материала подтверждается полученными патентами.

К основным результатам, полученным автором, и имеющим научную значимость, следует отнести:

1. определён оптимальный радиус закругления нижних углов поликремниевого затвора МОП-транзистора, позволяющий уменьшить напряжение пробоя подзатворного диэлектрика.

2. определена зависимость коэффициента усиления БТ КНИ от концентрации положительных носителей заряда на границе раздела кремний-оксид кремния и от длины активной области базы.

3. определена зависимость рабочего напряжения стабилитрона с управляющим контактом от напряжения на этом контакте.

Полученные результаты и выводы послужат основой, для дальнейшего усовершенствования конструкции элементов ИС.

Значимость результатов, полученных автором, для науки и практики

Значимость результатов, полученных в ходе работы автором, для науки заключается в расширении информации о влиянии радиуса закругления нижних углов поликремниевого затвора на напряжение пробоя подзатворного диэлектрика, о зависимости коэффициента усиления БТ КНИ от концентрации положительных носителей заряда на границе раздела кремний-оксид кремния, о зависимости рабочего напряжения стабилитрона от напряжения на управляющем контакте.

Практическая значимость результатов заключается в уменьшении времени переключения, увеличении напряжения пробоя подзатворного диэлектрика в МОП-транзисторе. В диссертационной работе предложена

конструкция МОП-транзистора с двухслойным поликремниевым затвором с совмещенным с истоком контактом к карману, характеризующаяся повышенной управляемостью областью канала.

Разработанная конструкция биполярного транзистора на структуре КНИ, отличается от аналогов боковым расположением контакта к базе, позволяющая улучшить усилительные свойства транзистора. Разработанная конструкция стабилитрона, отличается от аналогов наличием управляющего контакта к его средней области, и позволяющий изменять рабочее напряжение стабилитрона посредством приложения напряжения. Конструкция такого стабилитрона является компактной, то есть способствует увеличению интеграции элементов ИС на кристалле..

Оценка содержания диссертации, её завершённость

Диссертация Шоболовой Т.А. «Разработка конструктивно-технологических методов создания КНИ МОП- и биполярных элементов ИС с улучшенными параметрами» состоит из введения, пяти глав, заключения, выводов, списка литературы.

Введение содержит актуальность диссертации, цель и задачи работы, научную новизну, практическую значимость, положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен обзор литературы по теме диссертации: описаны геометрия и основные характеристики МОПТ, БТ и стабилитронов, методика эксперимента.

Во второй главе «Методика экспериментального исследования элементов ИС» описаны методы и средства исследований. Предложенные элементы ИС исследовались посредством математического моделирования и экспериментально. При численном моделировании использовались модели, калиброванные по экспериментально полученным результатам на следующих элементах: резисторы, диоды, транзисторы. Гамма-воздействие

моделировалось посредством введения положительных зарядов на границу кремний-оксид кремния.

Экспериментальное исследование изготовленных образцов проводилось на зондовой станции при разных температурах подложки. Гамма-воздействие имитировалось посредством установки РИК.

В третьей главе автор показывает, что выбор оптимального радиуса закругления нижних углов поликремниевого затвора приводит к увеличению напряжения пробоя подзатворного диэлектрика в МОПТ.

В четвёртой главе описана конструкция БТ с боковым контактом к базе. Было выявлено, что боковое расположение базы приводит к увеличению коэффициента усиления тока.

В пятой главе показано, что в стабилитроне оригинальной конструкции можно управлять рабочим напряжением посредством приложения напряжения на управляющий контакт, соединяющийся со средней областью стабилитрона посредством вертикального р-п перехода. В заключении приведены основные результаты работы.

Диссертационная работа написана научным языком, а текст диссертации соответствует материалам, представленным в автореферате. Материалы диссертации опубликованы и апробированы на многих научных конференциях и семинарах. Результаты диссертационного исследования изложены в 21 публикациях, в том числе 12 печатных работ, из которых 8 статей в центральных научных журналах и 5 патентов, а также 8 публикаций в сборниках материалов и тезисов научных конференций и совещаний.

По диссертации можно сделать следующие замечания:

1. При моделировании транзисторных структур и расчёте их характеристик не учитывались процессы нитридации оксида кремния для формирования подзатворного диэлектрика, играющие важную роль при реализации тех.процессов по нормам 180 нм и менее, в частности в

тех.процессе АО «Микрон» 90 (100) нм.

2. Калибровка моделей и исследование конструкций транзисторов проводились для технологического процесса 350 нм (под производственную линию филиала ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седакова») и 90 (100) нм (под производственную линию АО «Микрон»), хотя в дальнейшем разработки ориентируются только на производственную базу ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ «НИИИС им. Ю.Е. Седакова». В актах внедрения также отсутствует АО «Микрон» или АО «НИИМЭ».

3. В главе 3 приводится сравнение новой конструкции МОП транзистора с двухслойным поликремниевым затвором на структуре КНИ с разработками в том числе ф. Honeywell. Однако, подход в конструировании, во многом опирающийся на мультиплицирование, сложно назвать именно оригинальным, в том числе потому, что конструкция и технологический маршрут изготовления, обеспечившие заявленные характеристики и превосходство, к сожалению, описаны крайне скупо, отсылая к тексту патента.

4. В работе заявлены результаты разработки МОПТ, БТ и стабилитрона, способные к объединению в рамках единого технологического маршрута КМОП КНИ, тем не менее, таковой маршрут (объединяющий все три изделия) непосредственно в работе не представлен, как и демонстрация результатов его воплощения на «кристалле».

5. В целом, в тексте присутствуют ошибки, неточности формулировок, структуре работы не хватает стройности и последовательности, диссертация охватывает сразу несколько направлений, утяжеляя её с одной стороны и не давая раскрыть каждое направление более глубоко с другой, все это, безусловно, усложняет восприятие материала.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным
Положением о порядке присуждения учёных степеней**

Несмотря на замечания, диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, которая по актуальности поставленных задач, научной новизне, теоретической и практической значимости, достоверности полученных результатов, степени обоснованности выводов и рекомендаций, а также по объёму выполненных исследований и уровню работ, опубликованных в открытой печати, полностью соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 года (со всеми последующими изменениями), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук. 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.

Официальный оппонент
доктор физико-математических наук



Павлов
Александр Александрович

23.05.2025

Павлов Александр Александрович
заместитель директора по научной работе федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт нанотехнологий микроэлектроники Российской академии наук

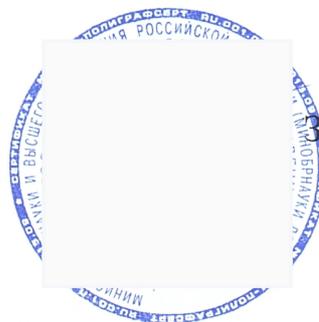
Докторская диссертация защищена по научной специальности 2.2.2. Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств

Адрес: 119991, Москва, Ленинский проспект, 14.

Телефон: +7 (499) 616-61-59.

Адрес эл. почты: pavlov.a@inme-ras.ru

Подпись Павлова А.А. заверяю,
Начальник отдела кадров ИНМЭ РАН



Зинченко Е.Б.