

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

Расширение области применения и улучшение характеристик интегральных схем (ИС) осуществляется посредством улучшения характеристик составляющих элементов ИС. Большинство аналоговых и цифроаналоговых ИС содержат МОП-транзисторы и биполярные транзисторы. То есть данные элементы ИС являются ключевыми.

Увеличение частотных характеристик МОП-транзисторов за счёт уменьшения длины канала является дорогостоящим решением, так как приводит к глобальному дооснащению существующей производственной линии, ориентированной на большие проектные нормы, и к разработке нового маршрута изготовления транзисторов. Поэтому, конструктивно-технологические решения, способствующие к увеличению скоростных характеристик МОП-транзисторов без дополнительного дооснащения производственной линии, является актуальным направлением исследования на всех фабриках микроэлектроники.

Широко известна технология изготовления биполярных транзисторов (БТ) на пластинах объёмного кремния. При этом, для увеличения стойкости к нейтронному воздействию, при изготовлении ИС космического применения, отдают предпочтение структурам «кремний на изоляторе» (КНИ). Для увеличения стойкости к воздействию нейтронами отдают предпочтение структурам КНИ с тонким слоем приборного кремния (менее 0,2 мкм). Классический биполярный транзистор на КНИ с приборным слоем толщиной 0,2 мкм является не радиационно стойким и характеризуется низким значением коэффициента усиления. Поэтому, разработка конструкции БТ на КНИ стойкого к радиационному воздействию и с высоким значением коэффициента усиления является актуальной задачей, требующей решения.

Большинство ИС включают стабилитроны для стабилизации напряжения. При воздействии внешних факторов рабочие характеристики стабилитронов изменяются. Таким образом, в зависимости от области применения необходимо задавать соответствующий маршрут изготовления стабилитрона, что вызывает неудобства. Поэтому, является актуальной задача разработки конструкции стабилитрона, рабочим напряжением которого можно управлять после изготовления.

Исходя из вышесказанного, можно утверждать, что диссертационная работа Шоболовой Т.А., целью которой являлась разработка конструктивно-технологических решений создания элементов ИС с улучшенными

параметрами: МОП-транзисторов с двухслойным поликремниевым затвором, биполярного транзистора с боковым контактом к базе и стабилитрона с управляющим контактом, является **актуальной**.

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

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в диссертационной работе Шоболовой Т.А., определяется логической структурой исследования. Автор последовательно исследует влияние изменения конструкций элементов ИС на их характеристики. Анализирует полученные результаты. Завершением исследования является разработанная конструкция элемента ИС, характеризующийся лучшими характеристиками.

В диссертационной работе Шоболовой Т.А. соблюдается принцип соответствия цели и задач исследования, а также полученных научных результатов. Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена апробацией результатов исследования на научных конференциях и семинарах. Результаты диссертационного исследования изложены в 21 публикациях, в том числе 12 печатных работ, в том числе 8 статей в центральных научных журналах, 5 патентах, а также 8 публикаций в сборниках материалов и тезисов научных конференций и совещаний. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

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

Достоверность основных результатов диссертации не вызывает сомнений, так как они базируются на хорошо апробированных расчётных методах, надёжно установленных законах физики полупроводников, согласуются с данными работ других авторов (там, где возможно сравнение) и подтверждаются оригинальными экспериментальными данными. Новизна исследований подтверждается перечнем полученных патентов.

Значимость результатов, полученных автором, для науки и практики

Практическая значимость диссертационной работы Шоболовой Т.А. определяется тем, что в работе обоснована возможность и перспективность применения предложенных технологий изготовления элементов ИС на производственной линии предприятия Микроэлектроники с субмикронными проектными нормами.

Оценка содержания диссертации, её завершённость

Диссертация Шоболовой Т.А. состоит из введения, пяти глав и заключения. Общий объем диссертации составляет 158 страниц, включая 59 рисунков, 20 таблиц и список литературы из 134 наименований.

Во Введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, поставлены цели исследований и дана общая характеристика работы,

включая научную новизну и практическую ценность полученных результатов работы, а также сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена обзору литературы по теме диссертации. В обзоре кратко описана геометрия и основные характеристики МОПТ, биполярных транзисторов и стабилитронов.

Во Второй главе описана методика эксперимента. Предложенные элементы ИС исследовались посредством математического моделирования и экспериментально. При численном моделировании использовались модели, калиброванные по экспериментально полученным результатам на следующих элементах: резисторах, диодах, транзисторах. 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 представлены результаты исследований МОПТ с двухслойным поликремниевым затвором. Посредством математического моделирования показано увеличение надёжности транзистора предложенной конструкции вследствие формирования определённого радиуса закругления нижних углов поликремниевого затвора.

Четвёртая глава посвящена описанию конструкции биполярного транзистора с боковым контактом к базе. Приведены результаты математического моделирования и экспериментальных исследований характеристик предложенных БТ. Показано, что БТ предложенной конструкции характеризуются повышенными значениями коэффициента усиления без учёта гамма-облучения и после гамма-облучения.

В Пятой главе описана конструкция стабилитрона с управляющим контактом. Особенностью предложенного стабилитрона является формирование р-п перехода в его средней области. Это позволяет управлять рабочим напряжением стабилитрона посредством приложения напряжения на управляющий контакт.

В Заключение приведены основные результаты работы и выводы, сделанные на основе анализа результатов.

В конце работы автор делает пять выводов, соответствующих цели и задачам диссертационного исследования.

Практические рекомендации вполне обоснованы и вытекают из результатов работы. Введённое сокращение делает восприятие информации более удобным.

Основными результатами диссертационной работы Шоболовой Т.А., определяющими её научную значимость, является:

- разработка технологии изготовления МОП-транзистора с двухслойным поликремниевым затвором, позволяющей уменьшить напряжённость электрического поля в подзатворном диэлектрике;
- разработка технологии изготовления биполярного транзистора с

боковым контактом к базе, позволяющей увеличить коэффициент усиления элемента;

- разработка технологии изготовления стабилитрона с управляющим контактом.

Среди наиболее значимых научных результатов, представленных в оппонируемой диссертационной работе, можно выделить следующие результаты:

1. Определение оптимального радиуса закругления нижнего угла поликремниевого затвора, способствовало уменьшению напряжённости электрического поля в поздатворном диэлектрике МОП-транзистора;

2. Определение зависимости коэффициента усиления БТ с боковым контактом к базе от длины активной базы, что способствовало увеличению значения коэффициента усиления;

3. Определение зависимости напряжения пробоя стабилитрона от напряжения, приложенного на управляющий контакт, способствовало компенсированию внешнего воздействия.

По диссертационной работе Шоболовой Т.А. можно высказать следующие замечания:

1. Шоболова Т.А. в ходе работы определила оптимальный радиус закругления нижних углов поликремниевого затвора в МОП-транзисторе. К чему приведёт дальнейшее увеличение этого радиуса закругления нижних углов поликремниевого затвора?

2. Автор утверждает, что увеличение длины активной области базы в БТ приводит к уменьшению коэффициента усиления. За счёт чего это происходит? Можно ли бороться с этим эффектом?

3. Автором предложена конструкция стабилитрона с управляемым контактом на структуре КНИ. Можно ли реализовать стабилитрон подобной конструкции на объёмном кремнии?

Отмеченные недостатки не снижают общего благоприятного впечатления от диссертационной работы Шоболовой Т.А. в целом.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней

Учитывая актуальность диссертационного исследования, практическую значимость и научную новизну полученных результатов, а также высокую квалификацию, проявленную соискателем в ходе выполнения диссертационного исследования, можно заключить, что диссертационная работа Шоболовой Т.А. «Разработка конструктивно-технологических методов создания КНИ МОП- и биполярных элементов ИС с улучшенными параметрами» удовлетворяет требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. и соответствует паспорту 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.

Официальный оппонент
доктор технических наук, профессор



Каргин
Николай Иванович

19.05.2025г.

Каргин Николай Иванович:
советник при ректорате федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», директор центра радиофотоники и СВЧ технологий НИЯУ МИФИ

Докторская диссертация защищена по научной специальности 02.00.04 -
Физическая химия

Адрес: 115409, г. Москва, Каширское шоссе, 31, корпус «К», офис 209

Телефон: +7 (495) 788 56 99, доб. 8146

Адрес эл. почты: NIKargin@mephi.ru

Подпись Каргина Н.И. заверяю:



Подпись удостоверяю
Заместитель начальника отдела
документационного обеспечения
НИЯУ МИФИ

В. М. Саморозова