

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.382.323

Мартынов  
Денис Владимирович

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ПОЛЕВЫХ  
ТРАНЗИСТОРОВ С УПРАВЛЯЮЩИМ P-N-ПЕРЕХОДОМ

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-41 80 03 «Нанотехнологии и наноматериалы»

---

Научный руководитель  
Степанов Андрей Анатольевич,  
канд. техн. наук, доц.

---

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

Минск, 2021

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Проектирование ИМС, устойчивых к радиационному воздействию, связано со значительной стоимостью и продолжительностью натурных испытаний разработанных вариантов электронных схем для определения области надежной работоспособности и отработки решений, повышающих стойкость. Поэтому значительный интерес представляет моделирование радиационных эффектов на ЭВМ с помощью пакетов САПР, что позволяет сократить сроки и затраты при проектировании, обеспечить расчет схемы при различных уровнях радиационного воздействия и при различных параметрах схемы.

Актуальность исследований обусловлена потребностью создания электронной аппаратуры с повышенной радиационной стойкостью, размещаемой на космических объектах и системах оборонного сектора, недостаточной изученностью воздействия ионизирующих космических и иных излучений (электронов, протонов, рентгеновских и гамма-квантов), в том числе и низкоинтенсивных, на работу электронной аппаратуры таких систем, а также перспективностью применения радиационных методов в технологическом процессе при изготовлении полупроводниковых приборов.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Цель и задачи исследования

*Целью* диссертационной работы является разработка методов компьютерного моделирования оптимальных режимов технологических операций изготовления и геометрических параметров конструкции и электрических характеристик радиационно-стойких полевых транзисторов с управляющим р-п переходом на основании данных компьютерного моделирования и экспериментальных измерений с целью обеспечения наилучших эксплуатационных характеристик исследуемой элементной базы.

Для достижения этой цели в работе решались следующие *задачи*:

1. Выбор и настройка физико-математических моделей, используемых для проектирования и оптимизации технологических процессов изготовления и электрических характеристик полевых транзисторов с управляющим р-п переходом;
2. Разработка методов оптимизации режимов операций технологических процессов изготовления и геометрических параметров конструкции полевых транзисторов с управляющим р-п переходом с учетом особенностей их функционирования при воздействии ионизирующего излучения, а также методов построения и экстракции параметров компактных моделей выделенных классов ИМС;
3. Тестирование и верификация разработанных методов на основе данных натуральных экспериментов и выработка практических рекомендаций по их применению в условиях серийного производства полевых транзисторов с управляющим р-п переходом.

### Положение, выносимое на защиту

1. Интеграция в маршрут приборно-технологического моделирования ИС этапов калибровки параметров физико-математических моделей технологических процессов и моделей переноса носителей заряда с использованием данных натуральных экспериментов, проведенных при воздействии ионизирующего излучения, а также реализация процедуры оптимизации режимов операций изготовления и геометрических параметров структуры обеспечивают повышение радиационной стойкости исследуемой приборной структуры.

### **Апробация результатов диссертации**

Основные теоретические результаты и законченные этапы диссертационной работы были доложены на 56-ой научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов в БГУИР, май 2020 г.

### **Опубликование результатов диссертации**

По материалам диссертации опубликовано 2 тезиса докладов на конференциях

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения и списка использованных источников, включающего 48 наименований. Общий объем диссертации составляет \_\_\_ страниц.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой** главе рассматриваются основные уравнения физики полупроводниковых приборов и проблемы моделирования воздействия ионизирующего излучения (ИИ) на эксплуатационные характеристики полупроводниковых приборов.

Во **второй** главе представлено описание результатов приборно-технологического моделирования технологии формирования  $n$ - и  $p$ -канального ПТУП, а также моделей, применяемых для описания температурной зависимости характеристик  $p$ -канального ПТУП, в частности, модифицированной модели Классена, применяемой совместно с моделью *IONIZ*.

В **третьей** главе представлены результаты моделирования воздействия проникающего излучения на электрические характеристики приборной структуры ПТУП, рассмотрены подходы к улучшению эксплуатационных характеристик с учетом воздействия ИИ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертационной работе предложен подход, реализующий возможность учета воздействия факторов окружающего пространства на эксплуатационные характеристики элементной базы радиационно-стойких ИС в условиях серийного производства. Он заключается в использовании данных приборно-технологического моделирования для определения математической функции зависимости параметров стандартной компактной модели приборной структуры от внешних воздействующих факторов (высокой или низкой температуры, воздействия проникающего излучения).

2. Проведена оценка физико-математических моделей технологических операций, используемых для изготовления приборных структур радиационно-стойких интегральных микросхем, и моделей переноса носителей заряда, доступных в программных комплексах приборно-технологического моделирования. Обязательным является проведение калибровки параметров используемых моделей посредством сравнения получаемых результатов моделирования с натурными экспериментами.

3. Для моделирования температурных зависимостей в приборной структуре  $p$ -ПТУП определены наиболее значимые параметры ( $m_{maxp.kla}$ ,  $m_{minp.kla}$ ,  $\theta_{etap.kla}$ ,  $\alpha_{phap.kla}$  и  $n_{reflp.kla}$ ) и рассчитаны значения модели подвижности Класена, обеспечивающие совпадение результатов моделирования с экспериментальными измерениями (в диапазоне температур от 383 К до 223 К с погрешностью не более 15 % от экспериментальных значений). Предложены корректировки (дополнительная операция ионного легирования) существующего технологического маршрута изготовления для возможности формирования  $n$ -канального ПТУП с проектными нормами 1,5 мкм образующего с  $p$ -канальным ПТУП комплементарную.

4. Выполнено компьютерное моделирование электрических характеристик приборных структур, подверженных воздействию проникающего излучения. Установлено, что приборные структуры ПТУП в большей степени подвержены эффектам смещения, которые приводят к образованию в кристалле радиационных дефектов (например, центров рекомбинации, которые изменяют время жизни неосновных носителей заряда; центров захвата, снижающих концентрацию основных носителей, или центров рассеяния, которые уменьшают подвижность).

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРА

1. Мартынов Д.В. Технологический маршрут изготовления р-канального полевого транзистора с управляющим р-п-переходом. Приборно-технологическое моделирование // Радиотехника и электроника : материалы 56-научной конференции аспирантов магистрантов и студентов – Минск: БГУИР, 2020. – 2 С.

2. Мартынов Д.В. Физико-математические модели для описания температурной зависимости характеристик р-канального ПТУП // Радиотехника и электроника : материалы 56-научной конференции аспирантов магистрантов и студентов – Минск: БГУИР, 2020. – 2 С.

Библиотека БГУИР