

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

УДК 533.9

Радионик  
Виталий Анатольевич

Моделирование тепловой неустойчивости в полупроводниковых приборах

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук  
по специальности 1-41 80 01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные  
компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах»

Научный руководитель  
Колосницын Борис Сергеевич  
канд. техн. наук, профессор

Минск 2018

## **ВВЕДЕНИЕ**

Сегодня технический анализ, с численными инструментами моделирования, значительно развился. В некоторых случаях, могут быть получены довольно точные результаты. Однако, даже сегодня моделирование является сложной задачей. И для трехмерного анализа термоэлектрической неустойчивости используют упрощённый подход. Он требует довольно сложной калибровки и все же является не точным для больших структур, связанных с ограничением общей точки решетки.

В то же время, численные результаты моделирования не всегда легко интерпретировать. Аналитическое описание даёт очень важное всестороннее понимание разных физических процессов, пространственной токовой неустойчивости, которые могут быть доработаны с использованием численного моделирования.

В наиболее важных случаях ток шнурования может быть математически описан, используя только два параметра. Это описание независит от точного физического механизма. Один из параметров это структурное распределение, в то время как другой пространственно независим и управляется внешней цепью. Для случая теплового шнурования распределенный параметр - температура; для электрических механизмов соответствующим параметром является электрический потенциал. Пространственно независимая величина в большинстве случаев - напряжение или ток, который подаётся на внешние клеммы.

Ток шнурования в полупроводниковых структурах может быть описан двумя дифференциальными уравнениями диффузионной реакции. Например, механизм теплового шнурования описан ниже, чтобы продемонстрировать основные закономерности. Подобный подход может быть применен для тока шнурования.

ESD защита стала очень авторитетной областью знаний в связи с развитием интегральных схем. Были проведены различные исследования в этой области.

Стратегической задачей развития ESD является реализация возможности интегральных схем выдерживать некоторые стандартные ESD тесты. С точки зрения проектирования, это означает, что интегральная схема сможет функционировать при высоких импульсах тока. Реализовать это можно путем внедрения периферийной защиты ESD, подключенной параллельно к блокам схемы.

В упрощенном виде, защитная сеть ESD реализуется путем подключения ESD устройства и ESD устройства подключения так называемой ESD площадке кольцевой структуры. Более продвинутое и сложное решение могут быть связаны с общей функциональностью между ESD сетью и интегральной схемой, решениями самозащиты, равномерностью или многоступенчатостью ESD блоков и различных пассивных компонентов. Важным фактором при высоком уровне тока являются требования к сопротивлению сети, шнурованию тока и динамической связи компонентов схемы.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Цель работы** заключается в разработке устройств импульсного электростатического разряда (ESD) для модуляции эффектов вторичного пробоя в полупроводниковых приборах.

### **Задачи:**

1. Провести анализ деградационных процессов в биполярных и МОП структурах.
2. Провести анализ причин появления “мягкого” и “жесткого” режимов пробоев в полупроводниковых структурах.
3. Разработать конструкцию ESD устройств с использованием стабилитронов, диодов со смыканием, диодов Шоттки и биполярных n-p-n БПТ.

### **Положения выносимые на защиту:**

1. Внезапный отказ (триггерный, тиристорный эффект) - вид пробоя, который связан или с наличием заряда поверхностных состояний на границе Si-SiO<sub>2</sub>, сужающего ОПЗ p-n перехода, приводящего к поверхностному пробояю. Или в арсенид-галлиевых малошумящих ПТШ с широким каналом, с Mo-Al металлизацией затвора из-за миграции положительных ионов Al, стимулированных электрическим полем.

2. Постепенный отказ – изменения основных параметров приборов за пределами нормы наблюдаются как в МОПТ с V - или U - канавками при токе стока  $I_c = 0,1-0,25A$ , так и в биполярных структурах при расширении ОПЗ p-n перехода на поверхности кристалла.

### **Личный вклад автора.**

Провел анализ деградационных процессов в биполярных и МОП структурах. Провел анализ причин появления “мягкого” и “жесткого” режимов пробоев в полупроводниковых структурах.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Объект исследования** – ESD устройств с использованием стабилитронов, диодов со смыканием, диодов Шоттки и биполярных n-p-n БПТ.

**Предмет исследования** – статические и динамические характеристики МШУ, обеспечивающие необходимые эксплуатационные параметры.

**Практическая значимость** – разработка электрических принципиальных схем ESD устройств.

Во введении содержится обоснование выбранной темы магистерской диссертации.

В первой главе приводится обзор опубликованных материалов, отражающих современное состояние исследований, связанных с темой магистерской диссертации. Рассматривается область безопасной работы для однородных структур и при нарушении однородности. Далее рассматриваются виды ВАХ приборов при пробоях «крутое» и «мягкое» расщепление. Далее рассмотрены виды деградации сток-затворных ВАХ МОПТ при деградации тока стока.

Во второй главе рассмотрено влияние зарядовых состояний на сток-затворную ВАХ МОПТ. Далее рассмотрены виды EDS устройств. Проведен анализ деградационных процессов в биполярных и МОП структурах. Проведен анализ причин появления “мягкого” (постепенного) и “жесткого” (внезапного) режимов пробоев в полупроводниковых структурах. Разработаны конструкции ESD устройств с использованием стабилитронов, диодов со смыканием, и биполярных n-p-n БПТ с отключенной базой.

В заключении представлены выводы по основным результатам исследований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сегодня технический анализ, с численными инструментами моделирования, значительно развился. В некоторых случаях, могут быть получены довольно точные результаты. Однако, даже сегодня моделирование является сложной задачей. И для трехмерного анализа термоэлектрической неустойчивости используют упрощённый подход. Он требует довольно сложной калибровки и все же является не точным для больших структур, связанных с ограничением общей точки решетки.

В то же время, численные результаты моделирования не всегда легко интерпретировать. Аналитическое описание даёт очень важное всестороннее понимание разных физических процессов, пространственной токовой неустойчивости, которые могут быть доработаны с использованием численного моделирования.

В наиболее важных случаях ток шнурования может быть математически описан, используя только два параметра. Это описание не зависит от точного физического механизма. Один из параметров это структурное распределение, в то время как другой пространственно независим и управляется внешней цепью. Для случая теплового шнурования распределенный параметр - температура; для электрических механизмов соответствующим параметром является электрический потенциал. Пространственно независимая величина в большинстве случаев - напряжение или ток, который подаётся на внешние клеммы.

Ток шнурования в полупроводниковых структурах может быть описан двумя дифференциальными уравнениями диффузионной реакции. Например, механизм теплового шнурования описан ниже, чтобы продемонстрировать основные закономерности. Подобный подход может быть применен для тока шнурования.

ESD защита стала очень авторитетной областью знаний в связи с развитием интегральных схем. Были проведены различные исследования в этой области.

Стратегической задачей развития ESD является реализация возможности интегральных схем выдерживать некоторые стандартные ESD тесты. С точки зрения проектирования, это означает, что интегральная схема сможет функционировать при высоких импульсах тока. Реализовать это можно путем внедрения периферийной защиты ESD, подключенной параллельно к блокам схемы.