

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

УДК 621.3.049.77:537.2

На правах рукописи

АЛЬХИМОВИЧ
Алексей Иванович

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ
В СИСТЕМЕ ТОКОВЕДУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МИКРОСХЕМ
ПАМЯТИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ КОНТАКТНОГО РАЗРЯДА
СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-38 80 04 Технология приборостроения

Научный руководитель
кандидат технических наук, доцент
АЛЕКСЕЕВ Виктор Федорович

Минск 2016

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель:

Алексеев Виктор Федорович,
кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент:

Бондарик Василий Михайлович,
доктор технических наук, декан факультета непрерывного и дистанционного образования учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «20» января 2016 г. года в 11⁴⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, 1 уч. корп., ауд. 413, тел.: 293-20-80, e-mail: kafpika@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

В электронных средствах используются интегральные микросхемы, на которые при производстве и эксплуатации могут воздействовать электростатические разряды (ЭСР).

В рамках диссертационной работы выполнено исследование тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества.

В решение задач связанных с воздействием ЭСР внесли большой вклад следующие ученые Горлов М.И., Андреев А.В., Нойверт Л.М., Кечиев Л.Н., Пожидаев Е.Д., Алексеев В. Ф., Пискун Г.А. и др. Их работы включают в себя как эмпирические, так и практические исследования и подходы.

В основу диссертации легли исследования российских и зарубежных инженеров и ученых в области исследования влияния электростатических разрядов на полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы, а также результаты собственного труда.

Несмотря на множество теоретических и практических работ, направленных на исследования воздействия ЭСР на электронные средства, и повышения надежности работы электронных средств, на сегодняшний день, например, только экономические потери от воздействия ЭСР составляют сотни и даже миллионы долларов.

Все вышесказанное определило направление данной работы, темой которой стало моделирование тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества.

Автор диссертационной работы выражает благодарность кандидату технических наук, доценту кафедры проектирование информационно-компьютерных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники Алексееву Виктору Фёдоровичу за поддержку и ценные советы при выполнении данной работы.

Автор диссертационной работы выражает благодарность кандидату технических наук, доценту кафедры проектирование информационно-компьютерных систем Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники Пискуну Геннадию Адамовичу за поддержку и ценные советы при выполнении данной работы.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В настоящее время интенсивно развиваются новые направления в микро- и нанoeлектронике связанные с созданием, исследованием и применением электронных схем с топологическими размерами компонентов менее мик-

рометра – микросхемы. В связи с этим достаточно сложно осуществить эффективную защиту микросхем от ЭСР.

Для стабильности работы электронной техники необходимо знать пределы условий и конструктивных возможностей ИМС при производстве и различных условиях эксплуатации. В частности, необходимо проводить исследования по воздействию ЭСР на ИМС.

Одним из направлений исследования при проектировании ИМС и всего устройства, является влияние температуры как последствия электростатического разряда.

Следует отметить, что сложность и дороговизна оборудования для экспериментов, а так же большая разновидность типов ИМС и их конструкторских особенностей ведет к определенным значительным затруднениям при проведении исследований опытным путем.

Все эти факторы позволяют сделать вывод, что необходимо разрабатывать числовые модели по имитации физических процессов в ИМС.

Степень разработанности проблемы

Существует достаточно большое число работ в области определения влияния разрядов статического электричества на функционально сложные изделия твердотельной электроники. Наиболее значимые результаты были получены российскими и белорусскими учеными, которые проводили исследования в таких областях, как воздействие разрядов статического электричества на полупроводниковые изделия (Горлов М.И., Емельянов В.А., Ануфриев Л.П., Алексеев В.Ф., Пискун Г.А.); методы защиты устройств от электромагнитных помех (Кечиев Л.Н.); средства защиты интегральных схем от воздействия деструктивных импульсов разрядного тока (Каверзнев В.А., Грошева Г.Д.). Среди зарубежных авторов особый интерес вызывают работы Джоввета Ч., Хабигера Э., Шваба А., Amerasekera A., Semenov O. и Voldman Steven H., в которых представлено описание отдельных механизмов влияния и упрощенные аналитические подходы для решения задач, связанных с воздействием разрядов статического электричества на приборы.

Однако проблема исследования влияния ЭСР на микросхемы памяти при воздействии контактного разряда статического электричества разработана не в полной мере. В частности, научный и практический интерес представляет разработка численной модели по исследованию тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является исследование тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов ИМС при воздействии ЭСР и создание численной модели для данного исследования.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулирова-

ны следующие задачи:

- исследовать механизмы и модели воздействия электростатического разряда на элементы, структуры и конструкции полупроводниковых изделий;

- разработать алгоритм трехмерного моделирования тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов при воздействии контактного электростатического разряда;

- разработать численную модель тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества.

Объектом исследования являются токоведущие элементы интегральной микросхемы.

Предметом исследования является тепловая нестационарность в токоведущих элементах интегральной микросхемы.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-38 80 04 Технология приборостроения.

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли исследования российских и зарубежных инженеров и ученых в области исследования влияния электростатических разрядов на полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы.

Для получения результатов исследования производилось теоретическое изучение вопроса, разработка численной модели, построение компьютерной модели в программном пакете *COMSOL Multiphysics* и проведение практических опытов.

Информационная база исследования для тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества бралась из ранних исследований и ГОСТ.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке численной модели тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества.

Основные положения, выносимые на защиту

- классификация и систематизация существующих подходов и методов воздействия электростатического разряда на полупроводниковые изделия;

- алгоритм трехмерного моделирования, позволяющий осуществить имитацию тепловой нестационарности в ИМС при ЭСР;

- численная модель тепловой нестационарности, основанная на разработанной компьютерной модели.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что в ней предложен подход к анализу тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества. Представлена компьютерная 3D модель имитирующая тепловую нестационарность.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что на основе предложенной модели тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества можно без определенных затрат вести исследование и полученные результаты применять для уменьшения влияния ЭСР в производстве ИМС и их эксплуатации.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследования были представлены на Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития науки и производства» 23-24 октября 2014 г. в г. Кемерово; на 51-ой научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, секции «Проектирование информационно-компьютерных систем» 2015 г. в г. Минске.

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в шести опубликованных работах общим объемом 15 стр.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 139 страниц. Работа содержит 3 таблицы, 39 рисунков; в приложении: 56 рисунков, 21 слайд. Библиографический список включает 58 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** рассматриваются модели воздействия электростатических разрядов на ППП и ИМС. Обычно при разработке моделируемых генераторов и методик испытаний используются три первичные модели разрядов:

– модель тела человека (*Human Body Model*), которая базируется на СЭМ «оператор-аппаратура». В дальнейшем мы будем обозначать ее как *HBM*-модель;

– модель механизма (*Machine Model*), базирующаяся на одноименной СЭМ. В дальнейшем она будет обозначаться как *MM*-модель;

– модель заряженного компонента (*Charged Device Model*), в основе которой лежит СЭМ того же названия. В дальнейшем – *CDM*-модель.

Рассматриваются виды и механизмы отказов ППП и ИМС вызванных разрядом статического электричества. У ППП и ИМС, на которые воздействовали ЭСР, могут иметь место два вида повреждений:

– катастрофические повреждения, обнаруживаемые наиболее легко, так как повреждённые изделия не выполняют своих функций;

– скрытые повреждения, затрагивающие только один из параметров: усиление, утечку и так далее, или вызывающие некоторые изменения начальных характеристик, которые могут тем не менее не выходить за рамки допустимых отклонений. Эти повреждения обнаружить труднее, так как зачастую они проявляются лишь в результате повторяющихся разрядов или в процессе эксплуатации.

Выполнен обзор и систематизация существующих методов компьютерного проектирования электростатического разряда. Показано, что наиболее общим и достаточно эффективным методом численного моделирования сложных систем, к каким относится и система электростатического разряда, является метод конечных элементов.

Во второй главе произведено исследование тепловых процессов в ИМС при воздействии разрядов статического электричества. Рассмотрены основные концепции и положения компьютерного моделирования электростатического разряда.

Показано, что электростатический разряд – это физический процесс, который сопровождается выделением тепла в систему. В диссертационной работе система представляет собой непосредственно электропроводящие элементы ИМС, токоведущие электропроводящие подводы к ИМС, а так же изоляционные материалы самой ИМС и структуры на которой она установлена, а также газообразной среды окружающей ИМС.

Показано, что моделирование физических процессов в большинстве случаев основано на использовании методов численного моделирования. При решении задач численного моделирования необходим соответствующий программный продукт, который способен с достаточной точностью и эффективностью предоставить обширный круг возможностей для наиболее быстрого и качественного построения физических моделей. В качестве такого программного обеспечения логично выбрать *COMSOL Multiphysics*.

Построение алгоритма трехмерного моделирования тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества. Разрабатывается рабочий алгоритм.

Учитывая сложность и объемность программного пакета *COMSOL Multiphysics* разряд статического электричества можно выразить по-разному:

– непосредственно как физическое явление импульсного разряда статического электричества в виде искры, при котором возникают переходные напряжения и токи, связанные с переходными электрическими и магнитными полями (в воздухе);

– как систему, в которой ЭСР возникает в виде скопления носителей зарядов одной полярности при разделении сред, до этого плотно соприкасавшихся, из которых, по крайней мере, одна должна быть изолятором (иначе сразу бы возникла компенсация зарядов);

– как носитель статического разряда и системы проводника.

В **третьей главе** произведена разработка числовой модели тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества. Выполнено описание начальных и граничных условий, имеющих место при протекании разряда статического электричества.

В результате анализа работ, при разработке модели использовались следующие обозначения для шести токоведущих областей ИМС и контактного вывода:

– «металлизированная дорожка ПП», с которой имеет контакт «наружный вывод», металлизированная дорожка представлен участком металлизированной дорожки и контактной площадки металлизированной дорожки, материал «Медь». Габаритные размеры: дорожка: длина – 3 мм., ширина – 0,79 мм., высота – 0,035 мм; площадка: длина – 2 мм., ширина – 2 мм., высота – 0,035 мм;

– «наружный вывод», на который осуществляется воздействие статического электричества по методу контактного разряда, представлен участком из материала «Медь». Габаритные размеры: длина – 7 мм., ширина – 1 мм., высота – 0,5 мм;

– «внутренний вывод», соединяющий наружный вывод ИМС с контактной площадкой, представлен участком «Золото». Цилиндрическая форма данной области была задана следующими размерами: длина – 1,5 мм., диаметр – 0,025 мм;

– «контактная площадка», сформированная на кристалле и соединяющая внутренний вывод с областью «металлизированная дорожка», представлена участком «Золото» с габаритными размерами: длина – 0,12 мм., ширина – 0,12 мм., высота – 0,01 мм;

– «металлизированная дорожка» на полупроводниковом кристалле ИМС представлена участком «Алюминий» с габаритными размерами: длина – 0,3 мм., ширина – 0,12 мм., высота – 0,03 мм.;

– «полупроводниковый кристалл» представлен участком «Кремний». Габаритные размеры: длина – 0,4 мм., ширина – 0,14 мм., высота – 0,1 мм.

И одной не токоведущей области: «основание ПП» на которой нанесена «металлизированная дорожка ПП», представлена материалом «Стеклотекстолит FR4». Габаритные размеры: дорожка: длина – 15 мм., ширина –

15 мм., высота – 1,5 мм.

Упрощенная расчетная область (рисунок 1).

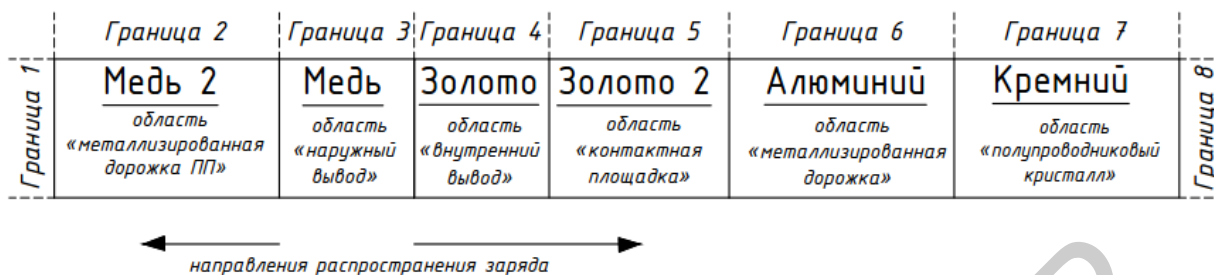


Рисунок 1 – Модель системы токоведущих элементов интегральной микросхемы и ПП: расчетная область с обозначением границ

Наибольший интерес представляет направление распространения ЭСР в правую сторону (см. рисунок 1).

Проведена процедура компьютерного моделирования влияния тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества на ИМС. Данная процедура представляется последовательностью действий, ведущей к созданию модели, имитирующей ЭСР воздействующий на ИМС. Процесс проведения процедуры моделирования представлен в виде шагов, которые приводят к созданию имитационной компьютерной модели (рисунок 2).

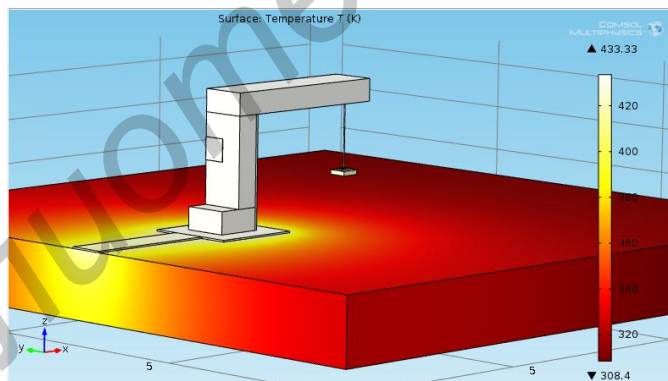


Рисунок 2 – Визуальное изображение компьютерной 3D модели

Анализ полученных результатов компьютерного моделирования тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества.

Установлено, что значение градиента температуры в многослойной (пять областей) системе токоведущих элементов в результате воздействия электромагнитных импульсов длительностью 0,7...1 нс может изменяться в пределах 1...67 % для соседних слоев и сильно зависит от теплопроводности каждого элемента. Получаемое значение температуры для рассматриваемого элемента является усредненным, их целесообразно использовать для предварительного определения средней температуры рассматриваемого элемента, а

затем находить локальный перегрев в конкретном токоведущем элементе с учетом рассчитанной температуры.

На основании проведенного эксперимента установлено, что при контактном воздействии разряда статического электричества напряжением от 4 до 8 кВ, максимальная температура токоведущих областей ИМС находится в диапазоне 302...433 К. Использование в процессе моделирования температурной зависимости с учетом теплопроводности системы токоведущих элементов ИМС позволяет получить более точные значения температуры в их объеме и форму ее распределения.

В результате проведенного эксперимента выявлено, что изменение температуры в каждой области носит линейный характер. Наибольшие перепады температуры наблюдаются между такими соседними областями, как: «наружный вывод» / «внутренний вывод» и «внутренний вывод» / «металлизирующая дорожка» (рисунок 3). Перепады температуры на данных участках составляют от 10 К (при напряжении разряда 2 кВ) до 142 К (при напряжении разряда 8 кВ).

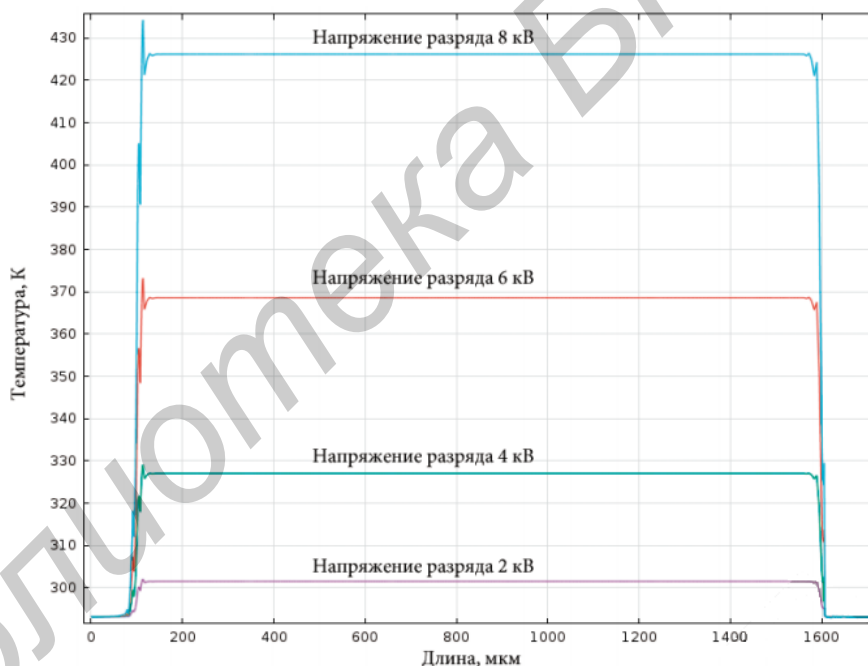


Рисунок 3 – Распределение температуры в системе токоведущих элементов ИМС при различных напряжениях разряда статического электричества

В приложении А приведен акт внедрения в учебный процесс.

В приложении Б приведена пошаговая последовательность процедуры компьютерного моделирования влияния тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества.

В приложении В приведены слайды презентации диссертационного проекта.

В приложении Г приведены собственные публикации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе показано, что распространение температуры в системе токоведущих элементов интегральных микросхем вследствие воздействия контактного разряда статического электричества оптимально осуществлять с помощью построения модели, в которой задаются расчетные области и их количество, исходные данные и граничные условия, а также выполняется решение уравнений тепло- и электропроводности. С помощью разработанной модели установлено, что в каждой токоведущей области интегральных микросхем зависимость формирующейся температуры от напряжения разряда описывается линейным законом.

В результате работы над диссертацией:

1. Рассмотрены классификация и систематизация существующих методов и подходов воздействия электростатического разряда на интегральные микросхемы;

2. Разработан алгоритм трехмерного моделирования, позволяющий смоделировать тепловую нестационарность в токоведущих элементах интегральной микросхемы при воздействии контактного электростатического разряда;

3. Разработана численная модель тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества.

На основании полученных результатов и для более существенного исследования вопроса тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества были произведены эксперименты в лаборатории ОАО «УКХ БМК «БМЗ» и получены явные существенные результаты опытов по данному исследованию.

Обхват поднятых в теме работы вопросов показывает насколько сложно и необходимо дальнейшее исследование в данном направлении. Каждый случай ЭСР в ИМС требует тщательного изучения и нахождения путей возможного исключения, ухода от подобных ситуаций.

Полученные результаты позволяют оптимизировать процесс производства современных полупроводниковых приборов и минимизировать как материальные, так и временные затраты, направленные на определение наиболее уязвимой токоведущей области за счет обнаружения локальных зон плавления.

Список опубликованных работ

1–А. Альхимович, А.И. Влияние температуры и влажности окружающей среды на работоспособность полупроводниковых приборов в условиях воздействия электростатических разрядов /А.И. Альхимович, И.Н. Богатко, Е.А. Мазуро //Современные тенденции развития науки и производства, Сборник материалов Международной научно-практической конференции, 23-24 октября 2014 г, в 4-х томах, том 3, г. Кемерово, – 2014 – С. 13.

2–А. Альхимович, А.И. Обоснование выбора токоведущих элементов микросхем памяти для анализа тепловой нестационарности в результате воздействия разрядов статического электричества / А.И. Альхимович, А.Е. Никулин // 51-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, 2015 г., секция «Проектирование информационно-компьютерных систем», Минск, – 2015 – С. 130–132.

3–А. Альхимович, А.И. Анализ теплового режима радиоэлементов, работающих при импульсных электрических нагрузках / А.И. Альхимович, А.Е. Никулин // 51-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, 2015 г., секция «Проектирование информационно-компьютерных систем», Минск, – 2015 – С. 133–134.

4–А. Альхимович, А.И. Исследование тепловой нестационарности во внутренних выводах интегральных схем при воздействии разряда статического электричества / А.И. Альхимович, А.Е. Никулин // 51-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, 2015 г., секция «Проектирование информационно-компьютерных систем», Минск, – 2015 – С. 135–137.

5–А. Альхимович, А.И. Влияние статического электричества на параметры и характеристики интегральных схем / А.И. Альхимович, А.Е. Никулин // 51-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, 2015 г., секция «Проектирование информационно-компьютерных систем», Минск, – 2015 – С. 138.

6–А. Альхимович, А.И. Тепловая модель многослойных структур с несколькими взаимодействующими источниками тепла / А.И. Альхимович// 51-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, 2015 г., секция «Проектирование информационно-компьютерных систем», Минск, – 2015 – С. 139–140.

РЭЗІЮМЭ

Альхімовіч Аляксей Іванавіч

Мадэляванне цеплавой нестацыянарнасці ў сістэме токаводных элементаў мікрасхем памяці пры ўздзеянні кантактнага разраду статычнага электрычнасці

Ключавыя словы: электростатычны разрад, інтэгральная мікрасхема, цеплавая нестацыянарнасць.

Мэта працы: даследаванне цеплавой нестацыянарнасці ў сістэме токаводных элементаў ІМС пры ўздзеянні ЭСР і стварэнне лікавай мадэлі для дадзенага даследавання.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: разгледжаны класіфікацыя і сістэматызацыя існуючых метадаў і падыходаў ўздзеяння электростатычнага разраду на інтэгральныя мікрасхемы; распрацаваны алгарытм трохмернага мадэлявання, які дазваляе змадэляваць цеплавую нестацыянарнасць ў токаводных элементах інтэгральнай мікрасхемы пры ўздзеянні кантактнага электростатычнага разраду; распрацавана лікавая мадэль цеплавой нестацыянарнасці ў сістэме токаводных элементаў мікрасхем памяці пры ўздзеянні кантактнага разраду статычнага электрычнасці.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс.

Вобласць ужывання: радыёэлектронная прамысловасць, радыётэхнічныя сістэмы.

РЕЗЮМЕ

Альхимович Алексей Иванович

Моделирование тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества

Ключевые слова: электростатический разряд, интегральная микросхема, тепловая нестационарность.

Цель работы: исследование тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов ИМС при воздействии ЭСР и создание численной модели для данного исследования.

Полученные результаты и их новизна: рассмотрены классификация и систематизация существующих методов и подходов воздействия электростатического разряда на интегральные микросхемы; разработан алгоритм трехмерного моделирования, позволяющий смоделировать тепловую нестационарность в токоведущих элементах интегральной микросхемы при воздействии контактного электростатического разряда; разработана численная модель тепловой нестационарности в системе токоведущих элементов микросхем памяти при воздействии контактного разряда статического электричества.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс.

Область применения: радиоэлектронная промышленность, радиотехнические системы.

SUMMARY

Alkhimovich Alexey Ivanovich

Simulation of thermal transients in the current-carrying elements of the memory chips when exposed to contact discharge static electricity

Keywords: electrostatic discharge, integrated circuit, thermal transient.

Objective: to study the thermal unsteadiness in the current-carrying elements of the IC under the influence of ESR and the establishment of a numerical model for this study.

The results and their novelty: the classification and systematization of the existing methods and approaches to electrostatic discharge on the integrated circuits; developed an algorithm for three-dimensional modeling allows to simulate the thermal transient in the current-carrying elements of the integrated circuit under the influence of the contact electrostatic discharge; A numerical model of thermal transients in the current-carrying elements of the memory chips when exposed to contact discharge static electricity.

Extent of use: results are implemented at studying process.

Scope: radio electronic industry, radio technical systems.