

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

На правах рукописи

УДК 621.3.049.77

ДЕНИСОВ
Алексей Андреевич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
В ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ
НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание степени
магистра техники и технологии

по специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии проектирования
электронных систем»

Минск 2018

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

Научный руководитель:

Пискун Геннадий Адамович,

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

Рецензент:

Полозков Юрий Владимирович,

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» Белорусского национального технического университета

Защита диссертации состоится «27» января 2018 г. года в 10⁰⁰ 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. 415, тел.: 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by.

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

КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время разнообразие электронных средств достигает такого масштаба, что практически невозможно представить обычный день без использования определенного вида техники. Каждое устройство может подвергаться воздействию дестабилизирующих факторов, будь то климатическое воздействие, механические повреждения и т.д., вследствие чего возможно или нарушение работы, или же его полный выход из строя. Наравне с вышеприведенными факторами можно также назвать воздействие электростатического разряда на печатную плату электронного средства, который в свою очередь достаточно сложно диагностировать, в отличие, например, от механического повреждения.

Так как одним из источников переноса электростатического разряда является человек, а образование разряда на поверхности тела человека проблематично предвидеть, ввиду большого количества факторов, то данный вид повреждения можно назвать одним из самых непредсказуемых.

Одним из последствий данного вида воздействий является кратковременное, но значительное повышение температуры, что в свою очередь может привести к плавлению проводников.

Вместе с тем достаточно сложно осуществить эффективную защиту печатной платы от внешних воздействий, особенно от такого деструктивного влияния, как электростатический разряд.

Производителям изделий электронной техники уделяется значительное внимание оптимизации методов и средств защиты, а также алгоритмам технической диагностики выпускаемых изделий после воздействия электростатических разрядов, но несмотря на это случаи выхода техники, посредством воздействия электростатики далеко не единичны.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В большинстве современной электроники в основе устройства лежит печатная плата, на которую в дальнейшем монтируются различные компоненты. Правильная работоспособность устройства зависит от отсутствия дефектов как в компонентах, так и в токопроводящих дорожках, соединяющих эти самые компоненты. В то же время воздействие электростатического разряда способно нарушить целостность структуры устройства, выведя из строя хотя бы один компонент или же связь между ними.

Электростатический разряд является одним из самых опасных воздействий на технику ввиду того, что его сложно предвидеть, а также диагностировать. Последствия воздействия на устройство нескольких десятков киловольт, образующихся, например, при хождении по ковру, может привести к плавлению проводников и последующему выходу из строя всего устройства.

Имитационное моделирование на этапе проектирование устройства позволит получить градиенты распределения температур на всех этапах воздействия электростатического разряда в местах, наиболее подверженных плавлению проводников, что в свою очередь дает возможность корректировки конструкции еще до выпуска опытного образца.

Таким образом, возможность получения температуры на всех этапах воздействия электростатического разряда делает представленную тему диссертационной работы актуальной.

Степень разработанности проблемы

На сегодняшний день существует достаточно большое количество работ в области определения влияния разрядов статического электричества на функционально сложные изделия.

Наиболее значимые результаты были получены российскими и белорусскими учеными, которые проводили исследования в таких областях, как воздействие импульсных электромагнитных помех на электронные средства (С.Ф. Чермошенцев, З.М. Гизатуллин); влияние разрядов статического электричества на полупроводниковые изделия (М.И. Горлов, В.А. Емельянов, Л.П. Ануфриев); моделирование распределения температуры в токоведущих элементах интегральных микросхем в результате воздействия электростатических разрядов (Г.А. Пискун, В.Ф. Алексеев, В.Л. Ланин, В.Г. Левин); методы защиты устройств от электромагнитных помех (Л.Н. Кечиев). Среди зарубежных авторов особый интерес вызывают работы Ч. Джоввета, Э. Хабигера и А. Шваба, в которых представлено описание некоторых механизмов влияния и упрощенные аналитические подходы для решения задач, связанных с воздействием разрядов статического электричества на приборы.

Одним из недостатков в представленной литературе является недостаточно полная информация по компьютерному моделированию в области электростатического разряда с последующим выделением температуры в токопроводящих элементах. Предложенное исследование направлено на устранение данного недостатка на основе проведения моделирования в среде *COMSOL Myltphysics*.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является разработка компьютерной модели распределения температуры в печатной плате при воздействии электромагнитного импульса наносекундной длительности, а также анализ распределения градиентов температур в электронных компонентах (диод Шоттки, микросхема). Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы **следующие задачи**:

- анализ текущего состояния проблемы и возможности разработки новых алгоритмов технической диагностики печатных плат с учетом существующих методов испытаний на электростатическое воздействие;
- разработка компьютерной модели расчета распределения темпе-

ратуры в токопроводящих элементах печатной платы в результате воздействия электромагнитного импульса наносекундной длительности по методу контактного разряда с помощью программного комплекса *COM-SOL Myltiphysic*;

– анализ результатов моделирования воздействия электростатического разряда на исследуемые области в программном комплексе *COM-SOL Myltiphysic*, а также оценка уровня работоспособности печатной платы и ее компонентов.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии проектирования электронных систем».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты известных исследований российских и белорусских ученых в области воздействия импульсных электромагнитных помех на электронные средства.

Для получения теоретических результатов исследования применялась модель электростатического разряда с последующим выделением теплоты в исследуемых областях таких как микросхема, диод Шоттки, токопроводящие дорожки печатной платы.

Информационная база исследования изменения температуры при воздействии электростатического разряда сформирована на основе ранее проведенных исследований в данной области с последующим применением в моделировании.

Научная новизна диссертационной работы заключается в особенностях компьютерного моделирования с последующим представлением градиентов распределения температуры во всех представленных моделях для выявления наименее устойчивых областей.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Систематизация информации по видам и материалам печатных плат, методам изготовления, технической диагностике на устойчивость к воздействию электростатического разряда с обзором механизмов повреждения, а также выбором программного комплекса для моделирования электростатического разряда.

2. Компьютерная модель распределения температуры в токопроводящих элементах печатной платы в результате воздействия статического электричества по методу контактного разряда на один из выводов исследуемой системы, основанная на системе уравнений теплопроводности и электропроводности, позволяющая выявить области максимального нагрева после воздействия контактного разряда напряжением от 2 до 25 кВ.

3. Анализ результатов моделирования воздействия электростатиче-

ского разряда на один из выводов исследуемых систем, сбор данных об изменении температуры в моделируемых системах и заключении о формировании областей локального нагрева в данных системах.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что в ней предложена компьютерная модель, позволяющая провести анализ процесса воздействия электромагнитного импульса наносекундной длительности на области печатной платы и полупроводниковых элементов.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что на основе предложенной компьютерной модели возможно выявление локальных областей максимального нагрева при воздействии электростатического разряда, а также на основе данных результатов можно повысить качество электронного устройства, путем анализа протекающих процессов при электрическом импульсе.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на следующих республиканских и международных конференциях и семинарах: 10-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения», Минск, Беларусь, 2017 г.; 12-я международная молодежная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций, РТ -2016», Севастополь, Россия, 2016 г.

Опубликование результатов диссертации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 6 печатных работах. В их числе 2 статьи в сборниках материалов научных конференций и 4 депонированные рукописи.

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 – 93 страницы. Работа содержит 6 таблиц, 42 рисунка. Библиографический список включает 82 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы выхода из строя устройств после воздействия электростатического разряда, 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, апроба-

ции результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В первой главе представлен анализ видов и методов изготовления печатных плат, а также рассмотрены материалы, используемые при их создании, методы их испытаний для более полного представления проблемы диагностики повреждения печатных плат посредством электростатического разряда, описанной в данной диссертационной работе. Из анализа следует, что электростатическому разряду могут быть подвержены печатные платы, созданные любым из описанных методов, независимо от материала. Основным критерием является вид, а также сила электростатического разряда. Данная информация предоставлена в виде обзора видов электростатических разрядов, механизмов повреждения печатной платы.

Показано, что при параметрическом тестировании печатных плат среди таких моделей воздействия как: модель тела человека, машинная модель, модель заряженного прибора, наиболее распространенной и губительной для электронного прибора является модель тела человека. Исходя из этого, в диссертационной работе было смоделировано воздействие электростатического разряда, соответствующее испытаниям, описанным в СТБ МЭК 61000-4-2-2006 «Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к электростатическим разрядам» по модели тела человека.

Анализ методов функционального тестирования печатных плат на этапе производства показали, что в определенных случаях это является достаточно затратным. Таким образом, разработка имитационной модели на этапе проектирования актуально, ввиду возможности получения предварительного результата воздействия электростатического разряда на печатную плату и ее компоненты, что позволит выявить наименее устойчивые области устройства еще до выпуска опытного образца.

Проведен анализ программных комплексов для моделирования воздействия электростатического разряда на печатную плату и ее компоненты. Необходимым условием была возможность задания временного интервала в наносекундах, так как пиковые значения разряда не превышали 2-х наносекунд. Среди программных комплексов, наиболее подходящим для данного моделирования, был выбран *Comsol Myltiphsics*, ввиду возможности задания временного интервала в наносекундах, гибкой настройке мультифизических параметров, а также возможности отображения градиентов распределения температур непосредственно на исследуемой модели.

Вторая глава посвящена анализу термических процессов, а также разработке компьютерной модели расчета распределения температуры вследствие воздействия электромагнитного импульса наносекундной длительности по методу контактного разряда. Основываясь на возможностях *Comsol Myltiphsics*, были разработаны модели диода Шоттки, внутренней структуры микросхемы, а также печатной платы. Каждая модель состояла из определенных областей, которые задавались свойствами определенных наиболее часто используемых материалов в полупроводниковой промышленности.

Геометрия каждой модели была разработана в САПР *Solidworks*, а после импортирована в *Comsol Multiphysics*.

В разработанной модели внутренней структуры микросхемы используются следующие обозначения (рисунок 1):

– «наружный вывод», на которые осуществляется воздействия статического электричества по методу контактного разряда, представлен участком «медь».

– «внутренний вывод», представлен золотой цилиндрической областью, соединяющей контактный вывод микросхемы с контактной площадкой.

– «контактная площадка», сформированная на кристалле и соединяющая внутренний вывод с областью металлизации, представлена материалом алюминий.

– «металлизация» в данной модели также представлена алюминиевой пластиной.

– «полупроводниковый кристалл» в модели имеет прямоугольную форму с заданным материалом «кремний».

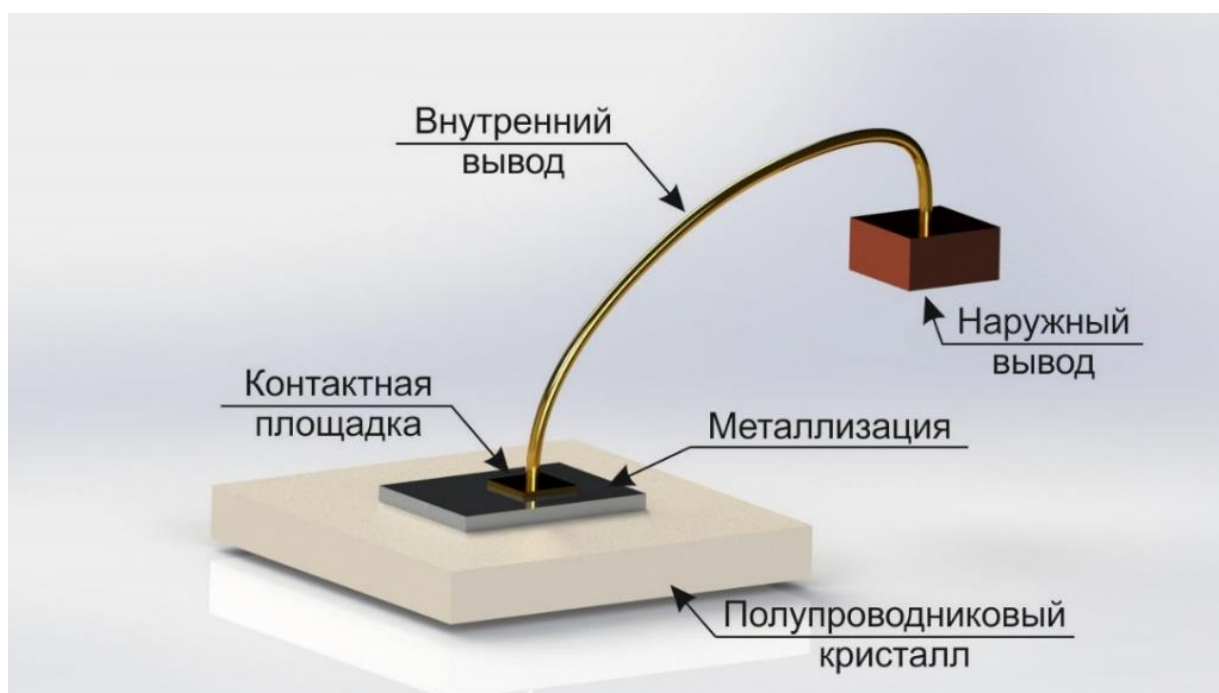


Рисунок 1 – Модель внутренней структуры микросхемы

Модель диода Шоттки представлена четырьмя слоями разной толщины (рисунок 2):

– «анод» представлен верхней пластиной, имеющей в качестве материала титан.

– «эпитаксиальный слой» и «подложка» представлены карбидом кремния.

– «катод» находится в нижней области модели и представлен материалом титан.

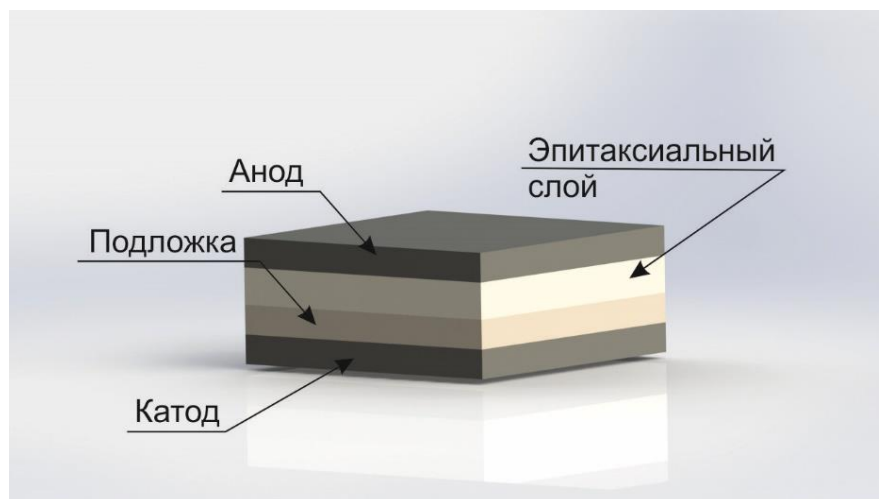


Рисунок 2 – Модель диода Шоттки

Модель печатной платы представлена тремя областями, среди которых (рисунок 3):

- «печатная плата» является прямоугольной областью, состоящей из стеклотекстолита марки «FR4».
- «токопроводящие дорожки» представлены тонкими областями из никрома.
- «контактные площадки» имеют квадратную область, состоящую из серебра

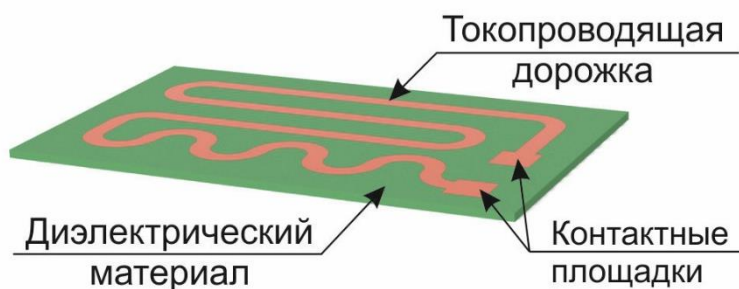


Рисунок 3 – Модель печатной платы

Поэтапно описан процесс разработки модели в программном комплексе *Comsol Multiphysics* на примере модели внутренней структуры микросхемы, описано задание материалов, выбор физик, настройка параметров исследования.

Также математически описана используемая физика при моделировании, что позволяет понять процессы, проходящие в момент воздействия разряда на исследуемую модель. Были заданы начальные и граничные условия, а также решены задачи, связанные с изменением температуры под воздействием электростатического разряда.

В третьей главе представлены результаты исследований моделирования изменения температуры в системах внутренней структуры микросхемы, диода Шоттки, печатной платы. Результаты были получены в программном комплексе *Comsol Multiphysics* в виде градиентов распределения температур в исследуемых моделях.

Воздействие электростатических разрядов проводилось во временном отрезке от 0 до 2-х наносекунд с шагом 0,5 нс, значения параметров при этом оставалось неизменным для имитации пикового значения разряда статического электричества в заданном временном интервале.

Значения напряжения и тока были взяты из СТБ МЭК 61000-4-2-2006 «Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к электростатическим разрядам», а также еще в качестве полноты эксперимента значения напряжения в 25 кВ.

Результатом стало то, что все исследуемые модели успешно прошли испытания на устойчивость к электростатическим разрядам в рамках СТБ МЭК 61000-4-2-2006. Однако при воздействии максимального напряжения в 25кВ структуры микросхемы и диода Шоттки в определенных областях будут подвержены плавлению проводников. Во внутренней структуре микросхемы при воздействии разряда длительностью 1,5 наносекунд плавлению подвержен внутренний вывод микросхемы. Также близка к температуре плавления область контактной площадки (рисунок 4).

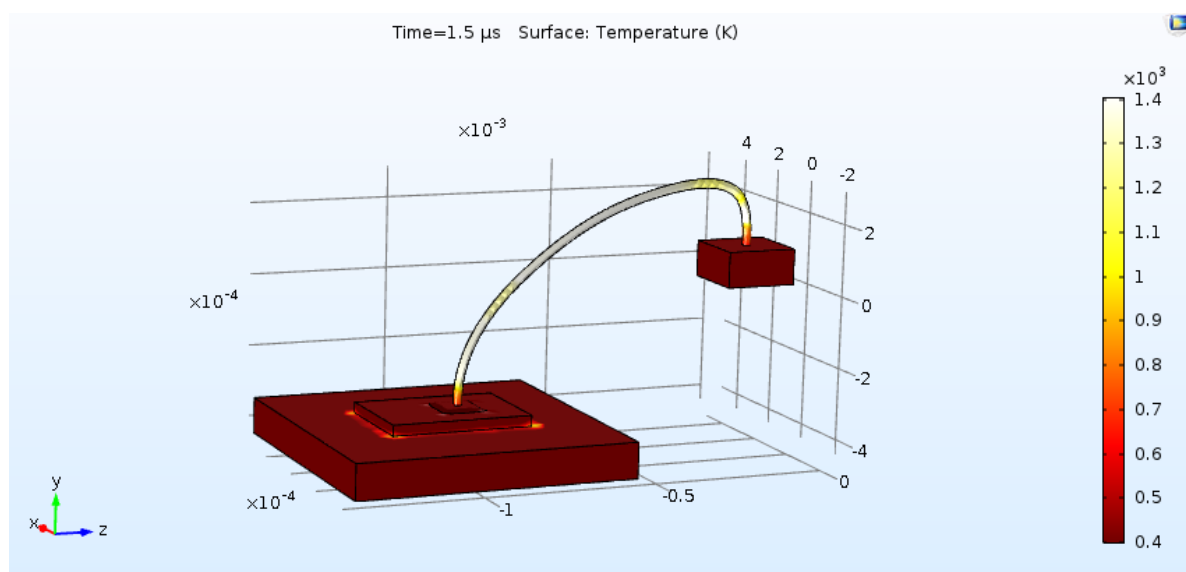


Рисунок 4 – Модель внутренней структуры микросхемы

В модели диода Шоттки критические значения температур были получены при воздействии разряда длительностью 2 наносекунды в области эпитаксиального слоя и подложки (рисунок 5).

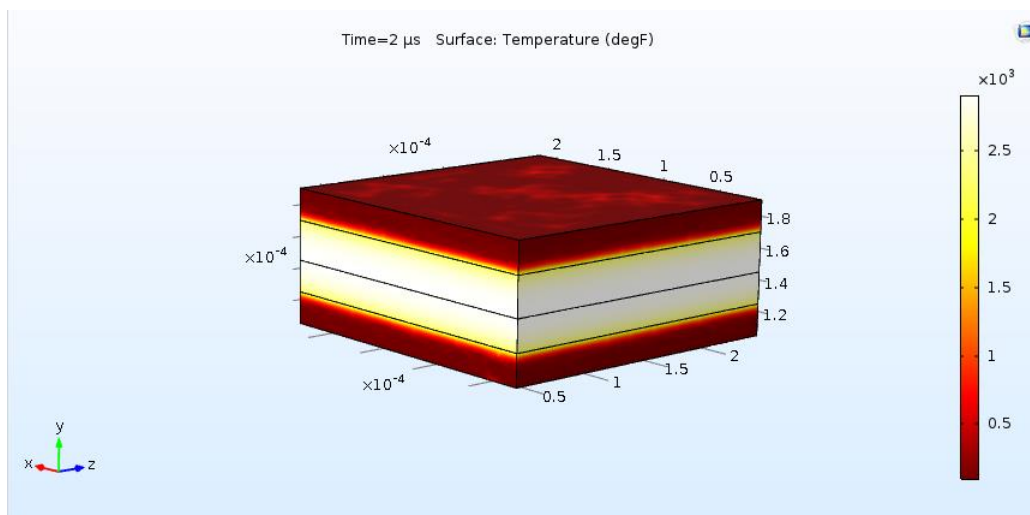


Рисунок 5 – Модель диода Шоттки

Непосредственно сама печатная плата в результате оказалась наименее восприимчивой к электростатическим разрядам, и даже при воздействии разряда длительностью 2 наносекунды и максимальном напряжении в 25кВ, изменение температуры было незначительно.

В приложениях приведены скриншоты процесса моделирования в программном комплексе *COMSOL Multiphysics*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в рамках диссертационной работы теоретические результаты направлены на совершенствование алгоритмов и методик контроля функциональных и эксплуатационных характеристик микросхем, диодов Шоттки, токопроводящих дорожек печатных плат после воздействия статического электричества по методу контактного разряда.

1. Выполнен анализ видов печатных плат, а также описаны материалы, используемые при их создании. Рассмотрены методы изготовления печатных плат. На основе этих данных был сделан вывод, что все они в определенной степени подвержены электростатическому разряду. Было показано, что разряд может быть спровоцирован многими факторами как после выпуска изделия, так и в процессе его изготовления. Описаны способы параметрического и функционального тестирования в производстве для исключения выпуска заведомо дефектных деталей. В качестве программы для моделирования была выбрана САПР *Comsol Multiphysics* ввиду простоты использования и большими возможностями в представлении результатов моделирования [1].

2. Разработана компьютерная модель распределения температуры в токопроводящих элементах печатной платы вследствие воздействия статического электричества по методу контактного разряда в диапазоне от 2 до 25кВ, базирующаяся на решении уравнений теплопроводности и электропроводности. Описано создание имитационной модели воздействия ЭСР на такие элементы как: внутренняя структура микросхемы, диод Шоттки, токопроводя-

щие дорожки печатной платы. Рассмотрен способ проведения испытаний на устойчивость к ЭСР с помощью испытательного генератора. Рассмотрены уравнения теплопроводности и объемной мощности тепловых потерь, используемых в программном комплексе *COMSOL Myltiphsics* [2].

3. Проведено имитационное моделирование воздействия ЭСР на области исследуемых систем. Получены градиенты распределения температур во временном отрезке от 0,5 до 2 нс. Показано, что исследуемые модели успешно выдерживают нагрузки, описанные в СТП 61000-4-2-2011 «Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к электростатическим разрядам» [3]. Также показано, что при воздействии импульса в 25кВ структуры микросхемы и диода Шоттки в определенных областях превысят предельные температуры. Критические значения температур в модели микросхемы были получены при 1,5 нс: 1405,1К в области внутреннего вывода и 923,2К в области контактной площадки [5]. При воздействии ЭСР на диод Шоттки длительностью импульса 2 нс была получена температура 2904,3К в области эпитаксиального слоя и подложки [6]. В свою очередь, изменение температуры модели печатной платы даже при максимальном воздействии в 25кВ не превысит порог в 400К, что в конечном итоге не приведет к плавлению токопроводящих дорожек [4].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи в сборниках материалов научных конференций

[1] Денисов, А.А. Обзор программного комплекса ANSYS в области электромагнитных воздействий / А.А. Денисов // 13-я международная молодежная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций, РТ-2016», Севастополь, Россия, 14-18 ноября 2016 г. / СГУ – Севастополь, 2016. – С. 56-57.

[2] Денисов А.А. Моделирование процесса распределения температуры в печатной плате при электромагнитном воздействии в программном комплексе COMSOL Myltiphsics / А.А. Денисов // 10-я международная научно-техническая конференция молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения», Минск, Беларусь, 26-28 апреля 2017 г. / БНТУ – Минск, 2017. – С. 154.

Депонированные рукописи

[3] Методика расчета распределения температуры в токоведущих элементах печатной платы при воздействии электромагнитного импульса длительностью до 2-х наносекунд в Comsol Myltiphsics / Г.А. Пискун, В.Ф. Алексеев, А.А. Денисов; Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск 2018. – 9 с. – Деп. В ГУ «БелИСА» 5.01.2018, № Д201807.

[4] Распределение температуры в токоведущих элементах печатной платы при воздействии электромагнитного импульса длительностью до 2-х наносекунд / Г.А. Пискун, В.Ф. Алексеев, А.А. Денисов; Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск 2018. – 15 с. – Деп. В ГУ «БелИСА» 5.01.2018, № Д201806.

[5] Распределение температуры в токоведущих элементах интегральных схем при воздействии электромагнитного импульса длительностью до 2-х наносекунд / Г.А. Пискун, В.Ф. Алексеев, А.А. Денисов; Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск 2018. – 17 с. – Деп. В ГУ «БелИСА» 5.01.2018, № Д201805.

[6] Распределение температуры в токоведущих элементах диода Шоттки при воздействии электромагнитного импульса длительностью до 2-х наносекунд / Г.А. Пискун, В.Ф. Алексеев, А.А. Денисов; Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск 2018. – 22 с. – Деп. В ГУ «БелИСА» 5.01.2018, № Д201804.

РЕЗЮМЕ

Денисов Алексей Андреевич

Моделирование процесса распределения температуры в печатной плате при электромагнитном воздействии наносекундной длительности

Ключевые слова: электромагнитное воздействие, микросхема, диод Шоттки, печатная плата.

Цель работы: разработка компьютерной модели распределения температуры в печатной плате при воздействии электромагнитного импульса наносекундной длительности в программном комплексе Comsol Multiphysics, а также анализ распределения градиентов температур в электронных компонентах (диод Шоттки, микросхема).

Полученные результаты и их новизна: разработана методика расчета распределения температуры в токопроводящих элементах печатной платы вследствие воздействия статического электричества по методу контактного разряда в диапазоне от 2 до 25кВ, базирующаяся на решении уравнений теплопроводности и электропроводности. Проведено имитационное моделирование воздействия ЭСР на области исследуемых систем. Получены градиенты распределения температур во временном отрезке от 0,5 до 2 нс (шаг 0,5 нс). Показано, что исследуемые модели успешно выдерживают нагрузки, описанные в СТП 61000-4-2-2011 «Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к электростатическим разрядам». Также показано, что при воздействии импульса в 25кВ структуры микросхемы и диода Шоттки в определенных областях превысят предельные температуры. Изменение температуры модели печатной платы даже при максимальном воздействии в 25кВ не превысит порог в 400К, что в конечном итоге не приведет к плавлению токопроводящих дорожек.

Степень использования: результаты внедрены в учебный процесс Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники в лекционные курсы «Физические основы проектирования радиоэлектронных средств» и «Программное обеспечение инженерного моделирования физических процессов».

Область применения: полупроводниковая промышленность.

РЭЗІЮМЭ

Дзянісау Аляксей Андрэвіч

Мадэляванне працэсу размеркавання тэмпературы ў друкаванай платы пры электрамагнітным уздзеянні наносекундных працягласці

Ключавыя словы: электрамагнітнае ўздзеянне, мікрасхема, дыёд Шоттки, друкаваная плата.

Мэта працы: распрацоўка кампутарнай мадэлі размеркавання тэмпературы ў друкаванай плаце пры ўздзеянні электрамагнітнага імпульсу наносекунднай працягласці ў праграмным комплексе Comsol Multiphysics, а таксама аналіз размеркавання градыентаў тэмператур у электронных кампанентах (Шоттки дыёд, мікрасхема).

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацавана методыка разліку размеркавання тэмпературы ў токаправодных элементах друкаванай платы з прычыны ўздзеяння статычнага электрычнасці па метадзе кантактнага разраду ў дыяпазоне ад 2 да 25 кВ, якая базуецца на рашэнні раўнанняў цеплаправоднасці і электраправоднасці. Праведзена імітацыйнае мадэліраванне ўздзеяння ЭСР на вобласці доследных сістэм. Атрыманы градыенты размеркавання тэмператур у часовым адрэзку ад 0,5 да 2 нс (0,5 нс крок). Паказана, што даследныя мадэлі паспяхова вытрымліваюць нагрузкі, апісаныя ў СТП 61000-4-2-2011 «Метады выпрабаванняў і измерений. Выпрабаванні на ўстойлівасць да электростатычных разрадах». Таксама паказана, што пры ўздзеянні імпульсу ў 25 кВ структура мікрасхемы і дыёда Шоттки ў пэўных галінах перавысяць гранічныя тэмпературы. Змяненне тэмпературы мадэлі друкаванай платы нават пры максімальным уздзеянні ў 25 кВ не перавысіць парог у 400К, што ў канчатковым выніку не прывядзе да плаўлення токаправодных дарожак.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс Беларускага дзяржаўнага ўніверсітэта інфарматыкі і радыоэлектронікі ў лекцыйныя курсы «Фізічныя асновы праектавання радыёэлектронных сродкаў» і «Праграмнае забеспячэнне інжынернага мадэлі-равання фізічных працэсаў».

Вобласць ужывання: паўправадніковая прамысловасць.

SUMMARY

Denisov Alexey Andreevich

Simulation process temperature distribution in the printed plate at electromagnetic nanosecond duration

Keywords: electromagnetic interference, chip, a Schottky diode, a printed circuit board.

Objective: development of a computer model of the temperature distribution in the circuit board when exposed to an electromagnetic pulse duration in the nanosecond complex software Comsol Myltipysics, and also the analysis of temperature gradients in the distribution of electronic components (Schottky diode chip).

The results and their novelty: A method for calculating the temperature distribution in the conductive elements of the printed circuit board due to static electricity at the contact discharge methodicalness in the range 2 to 25 kV, based on solving the heat conduction equation and conductivity. Conducted simulation fashionlation effects on ESD areas studied system. Temperature gradients are obtained for temporary allocation interval from 0.5 to 2 ns (0.5 ns step). The studied model successfully withstand the load described in STP 61000-4-2-2011 "Methods of Testing and measurable rhenium. Tests of resistance to electrostatic discharge ". So it was shown that upon exposure to 25kV pulse chip structure we Schottky diode in a certain area has exceeded the limit Temperature. The temperature change model of the PCB, even at maximum exposure to 25kV will not exceed the threshold of 400K, which ultimately did not lead to the melting of the conductive paths.

Use degree: results are introduced in the educational process of the Belarusian State University of Informatics and Radio Electronics in the "Physical fundamentals of designing radio-electronic means" lecture courses and "software engineering physics simulation."

Field of application: the semiconductor industry.