

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

УДК 004.942

Бегунов
Павел Сергеевич

РС – задержка сигнала в металлических межсоединениях элементов
интегральных микросхем

АВТОРЕФЕРАТ

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

Научный руководитель
Черных Александр Георгиевич
Доцент, кандидат технических наук

Минск 2015

Библиотека БГУИР

Нормоконтроль

Черных Александр Георгиевич

ВВЕДЕНИЕ

За все время существования интегральных микросхем межсоединения рассматривались только в частных случаях или при выполнении высокоточного анализа. С введением субмикронных полупроводниковых технологий данная ситуация стала быстро меняться. Для паразитных эффектов, вводимых проводниками, характерен эффект масштабирования, отличный от того, что наблюдается в активных устройствах, причем значимость этих эффектов увеличивается при уменьшении размеров устройства и повышении скорости переключения схемы. Фактически данные эффекты начинают подавлять такие важные характеристики интегральных микросхем, как быстродействие, энергопотребление и надежность.

Актуальность работы определяется необходимостью быстрого и точного определения RC-задержки сигнала в межуровневой структуре межсоединений и анализа ее влияния на работу интегральных микросхем.

Одной из приоритетных задач в процессе проектирования является RC определение. Для этого нужно иметь четкое представление о паразитных эффектах проводки, их относительной важности и способах моделирования. В настоящее время, полное определение паразитных R и C элементов возможно, благодаря созданию таблиц соответствия для заведомо известных образцов, используя программы по определению полей либо экспериментальные тестовые структуры.

В настоящей работе разработана методика моделирования паразитных эффектов в программном пакете COMSOL Multiphysics и проведен анализ и корреляция результатов моделирования с экспериментальными данными, полученными при измерении параметров тестовой структуры.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации. Моделирование позволяет быстро и точно определить RC-задержки сигнала в межуровневой структуре межсоединений ИМС с целью уменьшения её влияния на время распространения сигнала. Определение RC-задержки сигнала позволяет провести аттестацию технологического процесса.

Анализ RC-задержки сигнала в межуровневой структуре межсоединений интегральных микросхем.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Анализ моделей для определения RC-задержки в межуровневой структуре межсоединений ИМС.
2. Адаптация программного пакета COMSOL Multiphysics.

3. Корреляция данных полученных путем измерений и моделирования в программном пакете COMSOL Multiphysics.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является тестовая структура с тремя уровнями металлизации, выполненная по КМОП технологии. Предметом исследования являются параметры межсоединений (сопротивление, емкость, индуктивность).

Научная новизна и значимость полученных результатов. Точное моделирование паразитных эффектов проводника в современных интегральных микросхемах является нетривиальной задачей, и поиск ее удачных решений продолжается даже сейчас. В связи с этим полученные результаты представляют научный и практический интерес, поскольку направлены на исследование влияния RC-задержки сигнала на быстродействие и надежность интегральных микросхем.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующие основные результаты:

1. Определение оптимальных моделей RC-задержки сигнала в межуровневой структуре межсоединений элементов интегральных микросхем.
2. Экспериментальное изучение RC-задержки с помощью тестовой структуры, выполненной по 0,35 мкм КМОП технологии.
3. Анализ влияния диэлектриков с низкой диэлектрической постоянной на значение RC-задержки сигнала в межуровневой структуре межсоединений интегральных микросхем.

Личный вклад соискателя. Все основные результаты и выводы получены соискателем самостоятельно. Аналитическое исследование моделей RC-задержки сигнала в межуровневой структуре межсоединений элементов интегральных микросхем проводилось соискателем лично. Во время работы над диссертацией соискателем были исследованы зависимости емкостной составляющей RC-задержки сигнала от характеристических размеров структуры и материала межуровневого диэлектрика. Исследования проводились совместно с научным руководителем кандидатом технических наук Черных А. Г.

Апробация результатов диссертации. Основные теоретические результаты и законченные этапы диссертационной работы, а также результаты прикладных исследований и разработок были доложены на 51-й научной конференции студентов, магистрантов, аспирантов БГУИР, 2015.

Публикации. Основные положения работы и результаты диссертации изложены в 3 опубликованных работах, представленных в материалах международных научно-практических и научно-технических конференций (см. список опубликованных работ).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения и списка использованных источников, включающего 31 наименование. Общий объем диссертации составляет 66 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **реферате** представлены основные результаты магистерской диссертации, а также дана краткая характеристика проделанной работы.

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы по определению паразитных эффектов, влияющих на характеристики интегральных микросхем, таких как быстродействие, энергопотребление и надежность.

В **первой главе** приведен анализ литературных данных, обзор научных статей по теме магистерской диссертации. Дается подробный анализ линий связи и сопутствующих паразитных элементов. Также здесь приводятся описания моделей для анализа паразитных элементов.

Во **второй главе** рассмотрены принцип работы и методика измерения паразитных элементов в межуровневых структурах межсоединений интегральных микросхем при помощи высокоточного измерителя иммитанса E7-20. А также, приведены основные принципы работы COMSOL Multiphysics с подробно разобранными примерами, ориентированными на численное моделирование сложных физических систем.

В **третьей главе** приведены основные экспериментальные результаты и проведен анализ целесообразности применения программного пакета COMSOL Multiphysics для быстрого определения емкостной составляющей RC-задержки сигнала в межуровневой структуре межсоединений интегральных микросхем.

Также в данной главе рассматриваются перспективы развития технологии производства микроэлектронных устройств, физические принципы уменьшения диэлектрической постоянной материалов межслойных диэлектриков, их свойства и особенности модификации в технологических процессах.

В **заключении** кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, приведены исследования зависимости емкостной составляющей RC-задержки сигнала от характеристических размеров структуры межсоединений и материала межуровневого диэлектрика. В результате проведенных исследований установлено, что предложенная модель подтверждается экспериментальными данными.

В **приложении** приведена краткая презентация основных результатов магистерской диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе работы над магистерской диссертацией был проведен аналитический обзор основных технологий оценки значений различных параметров межсоединений: простые модели, позволяющие оценить их влияние, а также набор эмпирических правил, позволяющих определить, когда и где следует рассматривать конкретную модель или эффект. Были установлены параметры, задающие значения паразитных нагрузок (емкости, сопротивления и индуктивности), которые вводят шум и увеличивают задержку распространения сигнала и рассеяние мощности.

Был проведен анализ методики измерения паразитной емкости в межуровневых структурах. А также, приведены основные принципы работы программного пакета COMSOL Multiphysics с подробно разобранными примерами, ориентированными на численное моделирование сложных физических систем.

В ходе работы были проведены исследования зависимости емкостной составляющей RC-задержки сигнала от характеристических размеров структуры межсоединений и материала межуровневого диэлектрика. В результате проведенных исследований установлено, что предложенная модель подтверждается экспериментальными данными. Следовательно, данную модель можно использовать для аттестации технологического процесса и определения емкостной составляющей RC-задержки сигнала в межуровневой структуре межсоединений интегральных микросхем. Так же необходимо отметить, что применение в качестве межуровневого диэлектрика материала с низкой диэлектрической постоянной, приводит к уменьшению емкостной составляющей RC-задержки сигнала.

Результаты исследований могут быть использованы для быстрого и точного определения паразитных эффектов с целью анализ RC-задержки сигнала в межуровневой структуре межсоединений интегральных микросхем.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

- 1) Бегунов, П.С. Высокочастотные эффекты в блоке металлизации ИМС / П.С. Бегунов // 49-я научно-техническая конференция аспирантов, магистрантов, студентов БГУИР: Тезисы докл. – Минск, 2013.
- 2) Бегунов, П.С. Физико-технологические ограничения при формировании металлических межсоединений элементов интегральных микросхем / П.С. Бегунов // 50-я научно-

техническая конференция аспирантов, магистрантов, студентов БГУИР: Тезисы докл. – Минск, 2014.

3) Бегунов, П.С. Физические ограничения при формировании алюминиевой металлизации / П.С. Бегунов, В.В. Кулыба // Физика конденсированного состояния: материалы XXIII международной научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов: Тезисы докл. – Гродно: ГрГУ, 2015. – 11с.

Библиотека БГУИР