

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

УДК 004.942

Мир
Дмитрий Владимирович

Задержка сигнала в межуровневых соединениях элементов интегральных
микросхем

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
Черных Александр Георгиевич
кандидат технических наук
доцент кафедры микро- и
наноэлектроники

Минск 2019

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации. Актуальность работы определяется необходимостью быстрого и точного определения RC-задержек сигнала в межуровневой структуре межсоединений и анализа её влияния на работу интегральных микросхем.

Цель и задачи исследования. Анализ RC-задержки сигнала в межуровневой структуре межсоединений интегральных микросхем в зависимости от характеристических размеров структуры, материалов межсоединения и межслойного диэлектрика.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Анализ моделей для определения RC-задержки в межуровневой структуре межсоединений ИМС.
2. Адаптация программного пакета ANSYS.
3. Корреляция данных полученных путем измерений и моделирования в программном пакете ANSYS.

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).

Основные положения диссертации, выносимые на защиту. На защиту выносятся следующее основное положение:

1 С помощью использования программного пакета ANSYS определена задержка распространения сигнала в трехуровневой структуре металлизации (по 0,35мкм технологии) в зависимости от материала металлизации и межслойного диэлектрика, которая показывает, что использование low-k материала в качестве материала межслойной изоляции позволяет снизить величину задержки сигнала в среднем а 20% (политетрафторэтилен, PTFE), а переход с Al металлизации на Cu позволяет на 10% снизить задержку сигнала данной структуры.

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 величины задержки сигнала от характеристических размеров структуры, материала металлизации и межуровневого диэлектрика. Исследования проводились совместно с научным руководителем кандидатом технических наук Черных А. Г.

Публикации. Основные положения работы и результаты диссертации изложены в 5 опубликованных работах.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав, заключения и списка использованных источников, включающего 41 наименование. Общий объем диссертации составляет 62 страницы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрены основные проблемы многоуровневой металлизации вследствие уменьшения размеров структур, дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цели и задачи, обоснована актуальность темы магистерской диссертации, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, практической значимости полученных результатов, публикациях автора, а также структура и объем диссертации.

В **первой главе** рассмотрена многоуровневая система металлизации, технология изготовления, требования к качеству. Приведены технологии определения и оценки значений параметров межсоединений; простые модели для определения их влияния; набор эмпирических правил, позволяющие определить в каких случаях и где необходимо рассматривать данную модель или эффект. Рассмотрены перспективные материалы для использования в качестве межслойной изоляции – материалы с низким коэффициентом диэлектрической проницаемости, или, low-k диэлектрики. Проанализированы классификация и основные требования к low-k диэлектрикам. Приведены основные программы для моделирования и анализа параметров структур металлизации.

Во второй главе рассмотрена структура и основные возможности программного пакета ANSYS. Описана суть метода конечных элементов, его основные идеи, история возникновения, достоинства и недостатки. Приведена методика работы с программным пакетом ANSYS, а именно: построение модели и рабочей сетки, выбор и редактор материалов.

В третьей главе приведена тестовая структура и её параметры для оценки достоверности результатов моделирования и расчета. Также рассмотрена тестовая структура, выполненная по 0.35 мкм КМОП технологии для оценки величины задержки сигнала в зависимости от материала металлизации и материала межслойной изоляции. В заключение приведены результаты исследований моделирования задержки сигнала.

В **выводах** кратко изложены основные результаты магистерской диссертации, основные выводы теоретической части и приведены основные результаты моделирования задержек сигнала в межуровневой структуре межсоединений интегральных микросхем.

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 паразитных эффектов в межуровневых структурах. А также, приведены основные принципы работы программного пакета ANSYS с подробно разобранными примерами, ориентированными на численное моделирование сложных физических систем.

В ходе работы были проведены исследования зависимости величины задержки сигнала от характеристических размеров структуры межсоединений, материала металлизации и материала межуровневого диэлектрика. Установлено, что для уменьшения сопротивления и, следовательно, уменьшения величины задержки сигнала предпочтительнее в качестве материала межсоединения использовать медь. Применение меди в качестве материала межсоединений позволяет на 10% снизить резистивную составляющую RC-задержки (по сравнению с алюминием), что положительно влияет на скорость распространения сигнала. Также установлено, что применение *low-k* материалов, таких как политетрафторэтилен (PTFE) и ксерогель пористостью 70% в качестве межуровневого диэлектрика позволяют на 20% снизить емкостную составляющую RC-задержки, что в свою очередь уменьшает задержку сигнала межсоединений. В результате проведенных исследований установлено, что предложенная модель подтверждается расчетными данными. Следовательно, данную модель можно использовать для аттестации технологического процесса и определения величины задержки сигнала в межуровневой структуре межсоединений интегральных микросхем.

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

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1-А. Мир Д. В., Писаренко Н. С. Моделирование задержек сигнала в межуровневой структуре межсоединении интегральных микросхем / Д. В. Мир, Н. С. Писаренко // ФКС XXVI: Материалы конференции. – Гродно: ГрГУ, 2019

2-А. Мир Д. В., Саратокина В. И., Писаренко Н. С. Методы селективного осаждения меди для межсоединений в ИМС / Д. В. Мир, В. И. Саратокина, Н. С. Писаренко // ФКС XXVI: Материалы конференции. – Гродно: ГрГУ, 2018

3-А. Мир Д. В. Моделирование задержек сигнала в межуровневой структуре межсоединении интегральных микросхем / Д. В. Мир // 55-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов: Материалы конференции. – Минск: БГУИР, 2019.

4-А. Мир Д.В., Писаренко Н.С. Специфика технологического процесса изготовления подложек / Д.В. Мир, Н.С. Писаренко// ФКС XXV: Материалы конференции. – Гродно: ГрГУ, 2017

5-А. Мир Д.В., Кордимук Н.А. Пирозлектрические датчики ИК-излучений / Д.В. Мир, Н.А. Кордимук// ФКС XXV: Материалы конференции. – Гродно: ГрГУ, 2017