

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

УДК 004.932.2

Питкин
Александр Борисович

Алгоритмы анализа изображений топологических структур

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра информатики и вычислительной
техники по специальности 1-40 81 02 - Технологии виртуализации и об-
лачных вычислений

Научный руководитель
Воронов А.А
кандидат технических наук

Минск 2017

ВВЕДЕНИЕ

В процессе производства сверхбольших интегральных микросхем (СБИС), возможно появление дефектов на топологических слоях. Такие дефекты возникают, например, в процессе переноса изображения или в процессе фотолитографии. Фотолитография - это метод формирования на поверхности подложки с помощью светочувствительного материала защитного рельефного покрытия с изображением топографического рисунка микросхемы и дальнейшего переноса изображения на подложку.

Успешный контроль изготовления интегральных микросхем зависит от знания процесса производства и заключается в измерении и визуальной проверке основных операций технологического процесса, а также в использовании полученной информации для корректирования технологических режимов. Методы технологического контроля, используемые в производстве интегральных микросхем можно объединить в три группы: пооперационный контроль, визуальный контроль, тестовые ИМС.

Методы пооперационного контроля после технологических процессов эпитаксии, диффузии и других те же, что и в производстве дискретных приборов. Сюда входят измерения толщин пленок, глубин р-n – переходов, поверхностной концентрации и другие методы, производимые на специальных контрольных образцах, помещаемых вместе с обрабатываемыми пластинами на данную операцию.

Метод визуального контроля играет важную роль в производстве ИМС, несмотря на кажущуюся тривиальность. Он включает осмотр схем под оптическим микроскопом и использование различных средств визуализации – наблюдение термографии и др. Существенные данные о состоянии пластины можно получить визуальной проверкой с помощью микроскопа с большим увеличением – от 80х до 400х. При этом выявляются такие показатели, как состояние поверхности, избыточное или недостаточное травление, изменение толщины окисного слоя, правильность перехода и так далее.

Сканирование слоев ИМС происходит путем удаления корпуса микросхемы. Появившийся наружный слой сканируется электронным микроскопом и также удаляется для того чтобы получить доступ к нижележащему слою и так далее пока не будет произведено сканирование всех слоев. Механическая обра-

ботка и очистка слоев сопровождается также и химической обработкой для подчеркивания различных слоев ИМС.

Одним из наиболее опасных дефектов является пористость окисного слоя, легко обнаруживаемая при визуальной проверке схемы под микроскопом. Это небольшое отверстие в окисном слое, вызванное либо пылью при нанесении фоторезиста, либо повреждениями фотошаблона. Если этот дефект окажется в критической точке, то последующая диффузия примеси может вызвать короткое замыкание перехода и выход из строя всей микросхемы.

Эффективным методом визуализации является использование сканирующего электронного микроскопа, позволяющего наблюдать топографический и электрический рельеф интегральной микросхемы. Это наблюдение обеспечивает неразрушающий характер контроля. Для наблюдения необходимо, чтобы поверхность микросхемы была открытой.

Установив ряд таких изображений интегральных компонентов, соответствующих норме, можно судить на основании сравнения с этими эталонами об отклонениях и вызвавших их причинах.

Автоматический контроль качества позволит в кратчайшие сроки выявлять различные дефекты. Идея заключается в поиске заданных шаблонов известных дефектов, либо шаблонов с изображением эталонов элементов, на значительно большем изображении, представляющем собой снимок слоя готовой микросхемы.

К основным видам контрольных испытаний интегральных микросхем относятся:

- параметрический контроль;
- функциональный контроль;
- диагностический контроль.

Целесообразность и эффективность применения различных видов контроля зависит главным образом от сложности и степени интеграции микросхем, типа логических элементов и целей контрольных испытаний. Параметрический контроль. Используется для микросхем с малой интеграцией и включает в себя измерения основных параметров на постоянном токе. Кроме того, данный вид предусматривает проведение проверки правильности выполнения несложных логических функций, которая проводится одновременно с последовательным измерением выходных электрических сигналов по-

сле подачи определенной комбинации калиброванных сигналов тока или напряжения на входы интегральной схемы.

Следует отметить, что эффективность параметрического вида контроля с точки зрения оценки работоспособности микросхемы в целом с повышением степени интеграции уменьшается, а измерение некоторых процессов, таких, как время нарастания и спада сигнала, становится нецелесообразным.

Функциональный контроль. Используется для проверки интегральных схем с высокой степенью интеграции и включает в себя проведение статистических и динамических измерений на базе контрольной тестовой таблицы, составленной, например, с помощью ЭВМ с учетом минимизации количества входных кодовых комбинаций. Функциональный контроль позволяет проводить проверку больших интегральных микросхем в условиях, близких к эксплуатационным. **Диагностический контроль.** Наиболее эффективен при проведении испытаний гибридных интегральных микросхем, в которых в принципе возможна замена неисправных элементов, расположенных на общей подложке.

Сложность и многообразие программы функционального и диагностического контроля интегральных микросхем требуют обязательного использования ЦВМ и специальных автоматизированных систем. Автоматизированные системы, используемые для контроля интегральных микросхем, характеризуются следующими основными параметрами: производительностью, максимальным числом выводов, максимальным числом разрядов кодовой комбинации, выдаваемой одной командой за один цикл управления, числом контрольных постов в системе, с которыми возможна одновременная работа, составом и универсальностью программного обеспечения, возможностью выполнения параметрического контроля.

Под планарной технологией понимают совокупность групповых технологических методов обработки участков монокристалла кремния, с помощью которых электронно-дырочные переходы получают локальной диффузией примесей с применением масок. В планарной технологии многократно повторяются однотипные операции для создания различных по структуре ИС. Основными технологическими операциями при изготовлении ИС являются: подготовка полупроводниковой подложки; окисление; фотолитография; диффузия; эпитаксия; ионное легирование; металлизация.

Автоматизированная система идентификации элементов реализуется путем использования технологий компьютерного зрения на основе метода оптического контроля. В данной системе результат автоматизированного контроля отображается на экране оператора, который должен сам принять решение о наличии заданного эталонного элемента в области, помеченной автоматизированной системой

Библиотека БГУИР

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью данной работы является разработка и изучение методов анализа изображений, полученных путем сканирования слоев среза интегральных микросхем с использованием электронного микроскопа.

Для достижения цели в работе были поставлены и решены следующие задачи:

- предварительная обработка изображений;
- выделение контактных площадок;
- поиск библиотечных элементов топологии;
- экспорт полученных результатов в известный формат.

Научная значимость разработки состоит в использовании модификации метода ключевых точек для нахождения множества совпадений повторяющихся элементов на изображении.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанный алгоритм и приложение позволит оператору системы автоматически находить заданные эталонные элементы на снимке интегральной микросхемы. Данные разработки могут быть использованы в системах автоматизированного оптического контроля на производстве интегральных микросхем, а также в процессе обратного проектирования.

Следующие результаты проведенной работы были представлены на конференциях и опубликованы в сборниках:

1. Доклад, посвященный алгоритмам идентификации объектов топологии микросхем на микроскопных изображениях слоев топологии СБИС был представлен на 52 студенческой конференции БГУИР, которая проходила в Минске в 2016 году.
2. Доклад, посвященный усовершенствованному методу идентификации объектов топологии микросхем с использованием методов ключевых точек, был опубликован в сборнике XV международной конференции «Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации – 2016», которая проходила 17 ноября 2016 года в ГНУ «Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси», город Минск.
3. Доклад, посвященный поиску объектов топологии микросхем с исполь-

зованием метода ключевых точек, был опубликован в сборнике XV международной конференции «Информационные технологии в промышленности, логистики и социальной сфере – 2017», которая прошла 23 мая 2017 года в ГНУ «Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси», город Минск.

Библиотека БГУИР

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Магистерская работа состоит из четырех глав, в которых приводятся: обзор алгоритмов поиска на изображении, анализ алгоритмов поиска на изображении и разработка метода поиска, реализация разрабатываемого метода и метода выделения контактных площадок, сравнение реализованных методов.

Во введении описывается необходимость выполнения контроля на производстве интегральных микросхем, описываются различные виды контроля на производстве. В этой главе доказывается необходимость создания автоматизированной системы предназначенной для контроля производства интегральных микросхем.

В первой главе приводится анализ существующих алгоритмов обработки изображения и в частности алгоритмов обеспечивающих поиск на изображении и сравнений изображений. Проводится классификация алгоритмов поиска.

Во второй главе приводится детальное описание разрабатываемого метода поиска фрагмента на изображении, а также метода выделения контактных площадок. Приводятся шаги для улучшения результатов работы данных алгоритмов

В третьей главе приводится описание системы, в которой реализованы описанные алгоритмы, описываются использованные технологии и детали реализации алгоритмов. Также в этой главе приводится сравнительная характеристика разрабатываемых алгоритмов и ранее реализованных в системе алгоритмов, приводятся выводы о преимуществах и недостатках предоставленных методов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были рассмотрены различные методы обработки изображений, методы поиска фрагмента изображения элемента топологии на снимки слоя интегральной микросхемы. Был разработан и реализован алгоритм поиска шаблонного элемента на снимке топологии на основе применения метода ключевых точек SURF.

Был произведен анализ методов и алгоритмов, используемых в задачах компьютерного зрения на данный момент. Был произведен анализ алгоритмов поиска на изображении, вычислении характерных признаков изображения для дальнейшей обработки, хранения признаков, сравнения изображения по данным признакам между собой. Было произведено тестирование методов на различных тестовых изображениях. Был реализован алгоритм поиска шаблонного элемента на изображении с использованием метода ключевых точек. Был реализован метод сопоставления ключевых точек в случае множественного повторения шаблона на изображении.

Был произведен анализ методов автоматизированного извлечения элементов топологии на снимках слоя для упрощения дальнейшей обработки таких снимков оператором.

Произведено сравнение скорости работы различных алгоритмов с различными видами тестовых изображений, были рассмотрены различные способы увеличения производительности данных алгоритмов.

Все описанные выше методы были реализованы и интегрированы в приложение обработки снимков топологии, написанное с использованием современного технологического стека.

По теме изучаемой проблемы были сделаны три публикации, в рамках которых была проведена классификация методов поиска на основе ключевых точек, а также описан алгоритм поиска множества одинаковых шаблонов на изображении, используя метод ключевых точек и сопоставления полученных дескрипторов.

Разработанный метод и программный модуль позволит операторам системы произвести быстрый поиск шаблонных элементов на полученном снимке слоя интегральной микросхемы для дальнейшей обработке в высокоуровневых САПР.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

[1-А] Питкин, А.Б. Алгоритм идентификации объектов топологии микросхем на микроскопных изображениях слоев топологии СБИС/ А.Б. Питкин // Компьютерные системы и сети: материалы 52-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов. Минск, 25-30 апреля 2016 года. – Минск : БГУИР, 2016. – С. 15-17.

[2-А] Воронов, А.А. Идентификация объектов топологии микросхем на изображениях слоев топологии СБИС / А.А. Воронов, А.Б. Питкин // Развитие информатизации государственной системы научно-технической информации: материалы XV Междунар. конф., Минск 17 ноября 2016 г. / ГНУ «Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси». – Минск, 2016. – С.153-158.

[3-А] Поиск объектов топологии микросхем на изображениях слоев топологии СБИС / С.М. Аваков, А.А. Воронов, А.И. Дедков, А.Б. Питкин, Д.С. Титко, В.Г. Шоломицкий / Информационные технологии в промышленности, логистики и социальной сфере: материалы IX Междунар. конф., Минск 23 мая 2016 г. / ГНУ «Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси». - Минск, 2017. – С.18-20.