

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Коротыш И. Г.

Петлицкая Т. В. – канд. техн. наук, доцент

Современный мир трудно представить без электронных устройств, в основе которых находятся интегральные микросхемы, от качества и работы которых зависит работоспособность, надёжность, энергопотребление, тепловыделение и другие характеристики устройств. Для того чтобы обеспечить высокую степень безотказности ИМС необходимо проводить соответствующий контроль качества, а также проводить анализ и поиски причин отказа микросхем для посредствующих улучшений и исправлений технологического процесса их изготовления.

Поскольку современные интегральные микросхемы используют субмикронные технологии то возможность рассмотреть и проанализировать состояние компонентов ИМС и качество технологии с помощью обычных оптических микроскопов попросту нету. Ситуация еще более усложняется тем, что число транзисторов в современных чипах исчисляется миллионами, а в некоторых особо сложных – даже миллиардами (например в процессорах и видеочипах), соответственно и количество слоев металлизации. Для исследования таких ИМС существуют несколько методов, рассмотрим некоторые из них.

Растровая электронная микроскопия для обеспечения контроля выполнения технологических норм, состояния слоев, электронной компонентной базы. Преимуществами данного метода являются простота приготовления образцов для исследования, сравнительно большая площадь изучаемой поверхности, большая глубина резкости, возможность наклонять образец в колонне микроскопа, большой диапазон увеличений. К недостаткам можно отнести то что для проведения исследований требуется вакуум, для работы с непроводящими или плохо проводящими образцами необходимо покрытие поверхности образцов тонкими проводящими плёнками.

Компьютерная микротомография – один из наиболее универсальных и представительных методов для изучения объемного строения практически любых материалов и объектов. На сегодняшний день данный метод является одним из основных методов неразрушающей визуализации внутренней структуры позволяет получать данные с разрешением до сотни нанометров.

Метод физического ионного распыления позволяет исследовать локализованные участки ИМС по глубине, но только в одной вертикальной плоскости сечения. Физическое распыление ионными пучками рассматривается как перспективная технология создания плоских поверхностей с высотой шероховатостей ~1 нм.

Микроскопия, с использованием фокусного ионного пучка хорошо подходит для локального анализа, напыления и травления материалов. Позволяет производить быстрое и точное удаление материала образца, вырезать в образце окна по заранее заданному шаблону, чтобы добраться до необходимого места исследования ИМС, а также проводить локальное осаждение материала (диэлектрика и проводника) в точно заданном месте по выбранному шаблону, что позволяет производить отладку микросхемы и исправлять дефекты без необходимости изменения масок и технологического процесса.

Микротомография в отраженных электронах в РЭМ базируется на детектировании части обратнорассеянных электронов, обладающих определенной энергией, которая соответствует глубине залегания тонкого слоя инородной. Для детектирования электронов необходимой энергией, соответствующей глубине исследуемого слоя микроструктуры, используется оригинальный спектрометр с тороидальными электродами, конструкция которого была адаптирована под растровый микроскоп с целью получения более качественных изображений. Чтобы повысить чувствительность и эффективность спектрометра устанавливаются сцинтилляционный детектор вместо привычного полупроводникового, так как последний обладает довольно высокой пороговой энергией на уровне 1-3кэВ.

Фотоакустическая микроскопия является еще одним методом неразрушаемого контроля структуры. Принцип его действия базируется на использовании термоупругого эффекта. Под действием внешнего светового потока (например зондирующего импульсного лазера) сфокусированного на исследуемом участке образца возникают акустические колебания. В следствии поглощения материалом энергия порождает тепловую волну, параметры которой зависят от теплофизических параметров образца, что приводит к возникновению упругих колебаний, которые в последствии регистрируются пьезоэлектрическим приемником. В результате проведения таких сканирований можно получить информацию об однородности исследуемого образца,

нарушения целостности слоев приведет к локальному изменению теплоемкости и теплопроводности.

Сканирующая зондовая микроскопия, в отличие от растровой электронной, позволяет получить истинно трехмерный рельеф поверхности, а также позволяет получать изображение как токопроводящих так и непроводящих электрический ток участков исследуемого образца. Большая часть режимов данного типа микроскопа рассчитана на проведение исследований на воздухе, вакууме и жидкости. Среди сканирующих зондовых микроскопов, применяющихся в исследовании объектов микроэлектроники выделяют сканирующий атомно-силовой и туннельный микроскопы.

Сканирующий атомно-силовой микроскоп имеет разрешающую способность от десятков ангстрем до атомарного, позволяет проводить исследование проводящие и непроводящие поверхности, позволяет не только сканировать, но и манипулировать атомами. Принцип его работы основан на регистрации взаимодействия зонда микроскопа и исследуемого образца. Зонд представляет собой тонкое наноразмерное острие, располагающееся на кантилере, в результате действия силы со стороны поверхности на зонд происходит к изгибу кантилера, соответственно при достижении зондом возвышенных областей и впадин изменяется сила воздействия, что приводит к изменению изгиба кантилера, и рельеф поверхности образца строится по регистрации величины изгиба.

Сканирующий туннельный микроскоп подходит только для исследования проводящих поверхностей. Принцип его работы основывается на возникновении туннельного тока между зондом и исследуемым образцом при подаче небольшого потенциала на зонд относительно образца. В зависимости от рельефа поверхности величина тока возрастает или уменьшается, данные изменения регистрируются и на их основе и строится изображение поверхности.

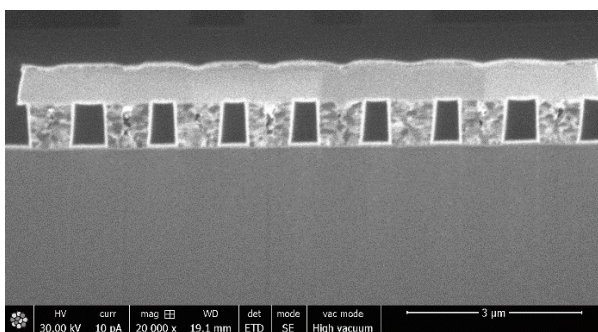


Рисунок 1 – РЭМ-фото фрагмента топологии ИМС с сечением металлизации

На рисунке 1 предоставлено фото фрагмента ИМС, с помощью которого можно определить размеры компонентов ИМС и определить их соответствие технологическому процессу.

Таким образом была роль значимости исследований современных ИМС и некоторые методы.

Список использованных источников:

1. Бирюкова Н.П., Вавилов В.П. и др. Система неразрушающего контроля. Виды (методы) и технология неразрушающего контроля. Термины и определения. Москва 2003 г.
2. Голдстейн Дж., Джой Д., Лифшин Э., Ньюбери Д., Фиори Ч., Эчлин П. Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. Книга 1. МИР, Москва, 1984 г.
3. K.C.A. Smith, Charles Oatley: Pioneer of scanning electron microscopy, EMAG '97 Proceedings, IOP Publishing Lt, 1997
4. П.А. Арутюнов, А.Л. Толстихина. Атомно-силовая микроскопия в задачах проектирования приборов микро- и нанозлектроники. Часть I. Микроэлектроника, 1999, том 28, № 6.
5. G. Binnig, C. F. Quate, Ch Gerber. Atomic Force Microscope, PRL 56, 9 (1986)
6. В. Л. Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии — Российская академия наук, Институт физики микроструктур - г. Нижний Новгород, 2004 г.
7. Arie van Houselt and Harold J. W. Zandvliet. Colloquium: Time-resolved scanning tunneling microscopy (англ.) // Rev. Mod. Phys.. — 2010. — Vol. 82.
8. FEI Company. Focused ion beam technology, capabilities and applications. — 2006.