

АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ СУБМИКРОННЫХ СТРУКТУР ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Кабак Т.В.

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

Научный руководитель: Мадвейко С.И. – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Контроль технологических этапов формирования изделий полупроводниковой техники может производиться посредством анализа комплекта полученных изображений топологических слоев интегральных микросхем. Проанализированы преимущества применения растровой электронной микроскопии в сочетании с локальным ионно-лучевым препарированием как средство анализа вертикальной структуры интегральных микросхем.

Ключевые слова: интегральная микросхема, электронная микроскопия, ионно-лучевые технологии

Введение. Интегральные микросхемы (ИМС) применяются во всех областях современной техники. ИМС представляют собой многослойные многокомпонентные пространственно неоднородные структуры, что усложняет проектирование и требует дальнейшего развития средств контроля, а также совершенствования методик исследования параметров интегральных микросхем.

Основная часть. Эффективным приемом оценки качества технологических этапов формирования изделий полупроводниковой техники является получение комплекта изображения топологических слоев субмикронных интегральных микросхем. Особое место среди числа методов диагностических исследований ИМС занимают методы анализа пространственной структуры микросхем, то есть методы, базирующиеся на получении информации о внутренней структуре образца. Такие методы позволяют определить в микросхемах дефекты, возникающие на стадии производства или в процессе их эксплуатации, дают возможность оценить качество производства. Для решения задач, требующих оперативного получения информации о структуре ИМС, подходит растровая электронная микроскопия (РЭМ).

Сканирующий или растровый электронный микроскоп (РЭМ) состоит из электронной пушки, системы линз, отклоняющих пластин, детектора электронов. Энергия электронов обычно составляет 10-30 кэВ для большинства образцов, но для диэлектрических образцов энергия электронов может понижаться до нескольких сотен эВ. Использование электронов имеет два основных преимущества перед оптическими микроскопами: возможно получить большее увеличение, так как длина волны электрона намного меньше длины волны фотона, при этом глубина резкости намного выше. Изображение в РЭМ получают сканированием образца сфокусированным электронным пучком и детектирования вторичных или обратно рассеянных электронов. Обычно изображение РЭМ получается во вторичных электронах, обратно рассеянные электроны также могут формировать изображение. Все эти сигналы детектируются и усиливаются синхронно со сканированием электронным лучом образца в РЭМ. Таким образом, устанавливается соответствие между каждой точкой на дисплее и каждой точкой на образце. [1]

Среди вариантов подготовки ИМС для исследования субмикронных структур при помощи РЭМ выгодно выделяются способы, использующие ионно-лучевые технологии. Такой подход посредством возможностей современной ионно-лучевой технологии позволяет решить задачу локального и сверхлокального исследования вертикальной структуры ИМС путем избирательного селективного препарирования ИМС.

При выполнении исследований структуры ИМС можно выделить несколько этапов – выбор участка на поверхности ИМС, получение поперечного сечения методом локального

жесткого ионно-лучевого травления, съемка интересующего фрагмента с оптимальным увеличением, при необходимости создание последовательности поперечных сечений (срезов). Исследование позволяет различать слои металлизации, границы между материалами, полученными на разных технологических этапах, локальные неоднородности и посторонние включения. Это обеспечивает получение достоверной информации о внутренней физической структуре и также топологии ИМС, что в дальнейшем позволит сделать вывод о технологических несовершенствах изделия, используемых топологических нормах.

Особенностью ионно-лучевого препарирования является то, что наряду с реализацией чисто технологических операций с использованием «жестких» (ионное фрезерование) или «мягких» (селективное ионно-стимулированное травление или осаждение) методов воздействия на объект, процесс обработки можно наблюдать в реальном масштабе времени в микроскопическом режиме, а также возникает возможность проводить электрические зондовые измерения непосредственно в камере препарирования при нанометровой точности механического позиционирования электрического зонда. [2]

Характеризуя ионный пучок как средство воздействия на вещество, можно выделить следующие особенности [2]:

- возможность фокусировки в зонд с наноразмерными геометрическими параметрами;
- относительно малая глубина проникновения ионного пучка в твердое тело;
- возникновение при взаимодействии ионного пучка с веществом вторичных ионов и электронов;
- эффективное взаимодействие ионного пучка с веществом, находящимся не только в твердом, но и в газообразном состоянии, благодаря чему могут быть реализованы стимулированные процессы травления и осаждения; возможность гибкого управления зондом в пространстве и во времени.

Перечисленные особенности можно использовать при реализации комплекса работ по исследованию структуры ИМС на базе электронно-ионного микроскопа FEI Versa 3D.

FEI Versa 3D представляет собой комбинацию двух систем: сканирующий электронный микроскоп, который позволяет получать множество экземпляров увеличенных изображений, достигающих увеличения более чем в 100 000 раз (предоставление изображения высокого разрешения в цифровом формате) и система сфокусированного ионного пучка, которая способна быстро и точно препарировать материалы, выявляя структуру образца, поверхностный слой, (также возможно создание поперечных сечений, осаждение слоев).

Основными компонентами прибора (рисунок 1), используемыми для визуализации образцов, являются [3]:

- источник ионов либо электронов (пучок электронов или ионов (частиц) испускается в пределах небольшого пространственный объем с малым угловым разбросом и выбираемой энергией);
- система линз (луч попадает в линзовую систему, состоящую из нескольких электромагнитные или электростатические линзы и выходы для удара по образцу поверхность);
- блок сканирования (сигнал генератора сканирования, подаваемый на системы отклонения, перемещает луч в растровом узоре над областью образца, и этот сигнал, модулированный сигналом системы обнаружения, производит на экране изображение поверхности образца);
- блок обнаружения (частицы, попадающие на образец, реагируют с атомами поверхности образца).

Реакция между частицами и помещенным образцом может протекать различными способами. Электронный луч производит электроны и фотоны (рентгеновские лучи). Ионный пучок производит ионы, электроны и фотоны.

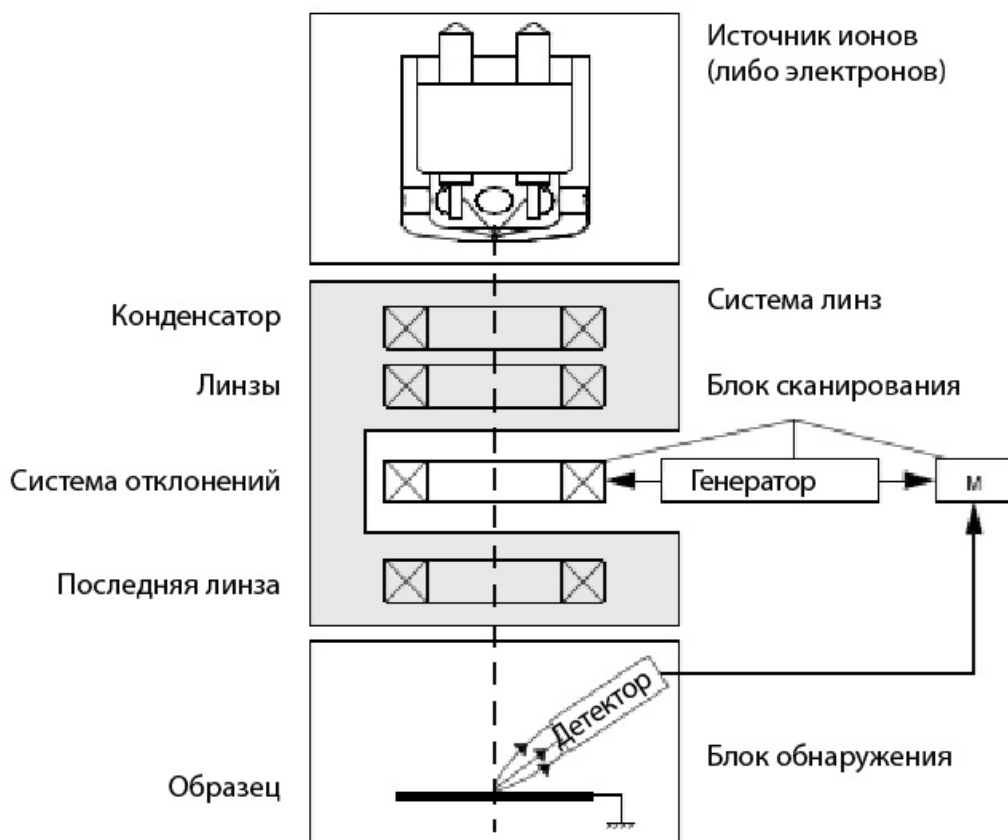


Рисунок 1 – Схематическое изображение основных компонентов визуализации исследуемых образцов [3]

Детекторная система улавливает частицы или фотоны, преобразует их в цифровой сигнал, который затем отправляется на управляющий системой компьютер и полученное изображение отображается на мониторе. Система позволяет получать изображения с высоким разрешением.

Интеграция систем электронного микроскопа и сфокусированного ионного пучка позволяет получить любые данные о строении образца из любой выборки в трех измерениях.

Весомым преимуществом системы является следствие комбинации двух систем – минимальная подготовка образца для начала проведения исследования. Также прибор предоставляет возможность комбинировать методы исследования с рентгеновским микроанализом.

Прибор имеет высокие эргономические качества. Пользователи могут переключаться между двумя лучами для быстрой и точной навигации и препарирования ИМС.

Сфокусированный ионный пучок на коротком рабочем расстоянии позволяет выполнять точное поперечное сечение по принципу «нарезка и просмотр», что позволяет выполнять анализ в высоком разрешении. Инструмент обеспечивает расширенный набор возможностей, которые невозможно воплотить с отдельными инструментами (микроскопом и прибором с сфокусированным ионным пучком) [3]:

- электронно-лучевые изображения поперечных сечений с высоким разрешением без стирания интересующего объекта;
- изображения и видео поперечного сечения в реальном времени с помощью электронного луча во время препарирования;
- нейтрализация заряда сфокусированным электронным пучком при препарировании;
- элементный микроанализ поперечных сечений дефектов с высоким разрешением;
- визуализация поверхностей образцов электронным лучом во время навигации без эрозии или имплантации галлия из ионного пучка.

Так как FEI Versa 3D является интеграцией систем электронного микроскопа и фокусированного ионного пучка, это позволяет прибору иметь расширенный набор возможностей для исследователей, большое преимущество непосредственно в самих исследованиях. Отдельно стоит отметить, что прибор имеет преимущества вследствие совмещения в себе двух систем не только в удобстве использования, но и в широком наборе возможных исследований.

Заключение. Проанализированы преимущества совместного применения РЭМи ионно-лучевых технологий для контроля субмикронных структур ИМС. Возможности средств контроля ИМС, представляющих комбинацию системы РЭМ и системы сфокусированного ионного пучка, проанализированы на базе электронно-ионного микроскопа FEI Versa 3D. Отмечается, что прибор имеет хорошие возможности для исследования вертикальной структуры ИМС, так как позволяет выполнить сверхлокальное ионно-лучевое препарирование участка ИМС наблюдая за процессом в микроскопе в режиме реального времени.

Список литературы

1. *Инновационные технологии и оборудование субмикронной электроники / А. П. Достанко [и др.] ; под ред. акад. НАН Беларуси А. П. Достанко. – Минск :Беларускаянавука, 2020. – 260 с.*
2. *Лучинин, В. В. Методы микро- и наноразмерной обработки материалов и композиций / В. В. Лучинин, А. Ю. Савенко, А. М. Тагаченков. // Петерб. журн. электроники. – 2005. – № 2. С. 3–14.*
3. *Руководство пользователя по эксплуатации FEI Versa 3D / Под ред. техн. писателя М. Дюфэк. – FEI Company, 2013. – 276с.*

UDC 621.3.049.77–047.44

ANALYSIS OF FEATURES OF CONTROL TOOLS FOR SUBMICRON STRUCTURES IN ELECTRONICS

Kabak T.V.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Madveika S.I. – PhD, associate professor, associate professor of the Department of ETT

Annotation. The control of the technological stages of the formation of semiconductor products can be carried out by analyzing the set of obtained images of the topological layers of integrated circuits. The advantages of using scanning electron microscopy in combination with local ion-beam preparation as a means of analyzing the vertical structure of integrated circuits are analyzed.

Keywords: integrated circuit, electron microscopy, ion-beam technologies.