

УДК 621.382.049.77

**ДИАГНОСТИКА КАЧЕСТВА ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ
СОВРЕМЕННЫХ ДАТЧИКОВ И СИСТЕМ**

Кудина А. В.¹, Васильева А. А.¹, Леонович А. Н.¹, Габец В. Л.²

¹Белорусский Государственный университет информатики и радиоэлектроники

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Современные методы диагностики ИС включают как автоматизированные системы, так и продвинутые технологии, которые обеспечивает создание сложных микросхем с минимальными дефектами.
Ключевые слова: тестеры, микроскоп, литографии, зондовая литография, рентгеновские микроанализаторы.

DIAGNOSTICS OF THE QUALITY OF INTEGRATED CIRCUITS USING MODERN SENSORS AND SYSTEMS

Kudina A.¹, Vasiljeva A.¹, Leonovich A.¹, Gabets V.²

¹Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

²Belarusian National Technical University

Minsk, Republic of Belarus

Annotation. Modern methods of diagnostics of integrated systems include both automated systems and advanced technologies that ensure the creation of complex chips with minimal defects.

Keywords: testers, microscope, lithographs, probe lithography, X-ray microanalysts.

Адрес для переписки: Кудина А. В. ул. П.Бровки, 6, г. Минск 220013, Республика Беларусь

e-mail: kanc@bsuir.by

Современное общество невозможно представить без электронных устройств, функционирование которых зависит от интегральных микросхем. Качество и работа этих микросхем влияют на надежность, эффективность, энергопотребление, тепловыделение и другие характеристики устройств. Для обеспечения высокой надежности интегральных микросхем необходимо осуществлять контроль качества и проводить анализ причин их отказов, что позволит улучшить и корректировать технологии их производства.

Контроль качества интегральных микросхем (ИС) играет ключевую роль на всех этапах производства и сборки электронных устройств. Виды контроля варьируются в зависимости от этапа технологического процесса и объема проверяемой продукции, а также требуют современных методов и инструментов диагностики.

Контроль ИС делится на несколько видов: операционный (на этапе производства), выходной (перед завершением процесса) и входной (на сборочных предприятиях). Входной контроль основан на методах, регламентируемых нормативно-технической документацией (НТД), и направлен на обеспечение безопасности и работоспособности ИС. В современных условиях особое внимание уделяется неразрушающим методам тестирования, которые позволяют оценить электрические параметры без повреждения изделия.

С ростом объемов проверки ИС возникает необходимость в автоматизации процессов контроля. Для этого используются тестеры и измери-

тельно-вычислительные комплексы (ИВК), которые помогают эффективно проводить тестирование в соответствии с установленными стандартами. Применяются как параметрические тесты для микросхем с малой интеграцией, так и функциональные тесты для более сложных схем. Для гибридных ИС эффективно использование диагностического контроля, который может выявить и заменить поврежденные элементы [1].

При производстве ИС активно используется оптическая литография, которая сохраняет лидирующие позиции до достижения размеров в 100 нм. Однако для более мелких структур (менее 100 нм) применяются альтернативные методы, такие как электронная, ионная и рентгеновская литографии. В последние годы внимание уделяется развитию сканирующей зондовой литографии (СЗЛ), основанной на технологиях сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ), что позволяет работать на наноуровне и создавать сложные структуры.

Метод использования атомно-силового микроскопа (АСМ) имеет два основных направления: панорамный анализ изображений поверхности и модификация поверхности.

Панорамный анализ предполагает исследование поверхности для измерения таких характеристик, как линейные размеры и форма микроструктур, например, шероховатость и неровности. Это позволяет контролировать рельефные структуры в микро- и нанoeлектронике.

Пример отсканированной схемы 100×100 мкм представлен на рисунке 1.

Модификация поверхности может быть механической и электрической. В первом случае модификация включает два метода: царапанье, при котором материал удаляется с поверхности, и перенос частиц, которые приклеиваются к острию и перемещаются. Во втором случае модификация происходит под воздействием импульсов напряжения, вызывая физические или химические изменения материала. Для механической обработки используются твердые острия, а для электрической – проводящие. Последний метод предпочтителен, так как позволяет работать с кремнием, не создавая значительных изменений в топографии поверхности [1].

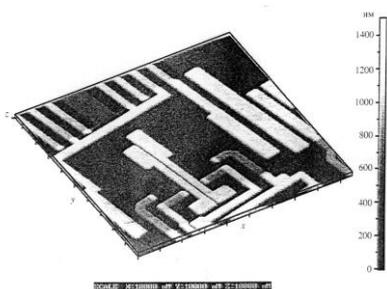


Рисунок 1 – Топографическое изображение ИС

Сканирующая зондовая микроскопия СЗМ является одним из самых передовых методов диагностики, который позволяет исследовать морфологию и локальные свойства поверхностей с высоким разрешением. Этот метод открыл путь к разработке множества новых инструментов, таких как атомно-силовой (АСМ), магнитно-силовой (МСМ), электросиловой (ЭСМ) микроскопы и ближнепольный оптический микроскоп (БОМ). Все эти приборы работают по схожим принципам и позволяют изучать как органические, так и неорганические материалы на микронных и субмикронных уровнях.

В сканирующих зондовых микроскопах для изучения микрорельефа и локальных свойств поверхности используются специальные игловидные зонды. Работа этих микроскопов основывается на взаимодействии зонда с поверхностью. Исполнительный элемент регулирует расстояние до поверхности, пока сигнал обратной связи не станет равным нулю. Обработанный компьютерной системой сигнал позволяет построить изображение рельефа поверхности $Z = f(x,y)$ с помощью

графики. Зондовые микроскопы также позволяют исследовать различные свойства поверхности, включая механические, электрические, магнитные и оптические [1].

Растровые электронные микроскопы (РЭМ) и рентгеновские микроанализаторы являются ключевыми инструментами для диагностики ИС. Они позволяют детально изучать структуру и свойства материалов, генерируя сигналы, такие как вторичные электроны, отраженные электроны и рентгеновское излучение. Эти данные предоставляют информацию о составе, топографии поверхности и кристаллической ориентации исследуемого объекта, что критично для оценки качества интегральных схем.

В растровом электронном микроскопе (РЭМ) основное внимание уделяется сигналам вторичных и отраженных электронов, которые изменяются в зависимости от топографии поверхности при сканировании образца. Вторичная электронная эмиссия, возникающая вблизи места попадания электронного луча, позволяет получать изображения с высоким разрешением благодаря большой глубине фокуса и контрасту рельефа. Также возможны другие полезные типы сигналов.

В рентгеновском микроанализаторе (РМА), известном как электронный микрозонд, важным является характеристическое рентгеновское излучение, возникающее под действием электронного пучка. Анализ этого излучения предоставляет качественную и количественную информацию о областях образца диаметром в несколько микрометров [1].

Контроль качества интегральных микросхем (ИС) важен на всех этапах производства для обеспечения надежности и предотвращения дефектов. Современные методы диагностики ИС включают как автоматизированные системы, так и продвинутые технологии нанолитографии и микроскопии. Развитие таких технологий, как СЗМ и СЗЛ, а также использование растровых и рентгеновских микроскопов, позволяет достигать высоких результатов в контроле качества и надежности ИС, обеспечивая создание сложных микросхем с минимальными дефектами.

Литература

1. Потапов, Л. А. Методы и средства контроля аналоговых микросхем: уч. пособие / Л. А. Потапов, В. Ф. Зотин. – Брянск: БГТУ, 2016. – 52 с.