

ПРИМЕНЕНИЕ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ В ТЕХНОЛОГИИ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

В. А. Емельянов, В. Н. Пономарь, В. А. Ухов, Г. Г. Чигирь

Научно производственное объединение "Интеграл", пл. Казинца, 220064 г. Минск, Беларусь

Одним из актуальных направлений применения сканирующей зондовой микроскопии является технология микроэлектроники. В настоящее время уровень микроэлектроники в Республике Беларусь характеризуется серийным производством интегральных микросхем (ИМС) с проектными нормами более 1,0 мкм. Дальнейшее развитие микроэлектроники в РБ настоятельно требует перехода к нормам субмикронного размера (<1 мкм). В частности, для изготовления ИМС для телевизора 7-го поколения необходимо освоение технологии с проектными нормами 0,8 мкм. Переход к субмикронной технологии требует решения ряда задач. Одна из них - обеспечение операционного контроля в процессе производства. При изготовлении ИМС с размерами элементов более 2,0 мкм основным инструментом для контроля является оптический микроскоп, обеспечивающий визуальный контроль внешнего вида, микрорельефа и размеров элементов. Для сопровождения разработки и производства ИМС с размерами 1,0–2,0 мкм кроме оптического микроскопа необходимо использование растрового электронного микроскопа (РЭМ) для проведения периодического аттестационного контроля:

- контроль линейных размеров в различных слоях (диэлектрических, металлических, полупроводниковых);
- анализ топологии и микрорельефа слоев;
- контроль вертикальной структуры по сколам (толщина слоев, перекрытие ступенек, длина каналов, коэффициент запыления ступенек металлом и другие линейные размеры).

При переходе к ИМС с субмикронными проектными нормами использование оптического микроскопа становится практически невозможным. Его низкое разрешение в несколько десятых долей микрометра и ограниченное увеличение до 2000 крат не позволяют обеспечить операционный контроль изготовления ИМС с субмикронными проектными нормами. Растровый электронный микроскоп по своим характеристикам (разрешение 10 нм, увеличение до $\times 100000$) вполне приемлем для контроля в производстве субмикронных ИМС, кроме анализа протяженных, но небольшой высоты, дефектов. Однако современный РЭМ имеет большие габариты и для его размещения требуется отдельное помещение, обеспечивающее специальные требования, такие как экранировка внешних электромагнитных воздействий, возможность затемнения при проведении анализа, создание вакуума в камере установки при проведении работ.

Из-за данных требований РЭМ невозможно встроить в технологическую линейку. Кроме того, РЭМ требует достаточно сложного препарирования образца, в большинстве случаев приводящего к его разрушению:

- вырезание из пластины с микросхемами образца небольших размеров из-за ограниченных размеров камеры и шлюза микроскопа;
- запыление диэлектрических слоев ИМС слоем металла из-за зарядки диэлектрических слоев под воздействием падающего пучка электронов, вследствие чего изображение сильно искажается;
- изготовление скола для наблюдения вертикальной структуры и микрорельефа слоев;
- трудоемкость препарирования и анализа образца составляет около 0,5 ч/дн.

Выше перечисленные недостатки РЭМ не позволяют его использовать для текущего операционного контроля субмикронных ИМС требующего оперативного анализа непосредственно на технологической линейке.

Сканирующие зондовые микроскопы при превосходящих технических характеристиках лишены недостатков РЭМ. По этой причине, НПО "Интеграл" для обеспечения разработки и производства субмикронных интегральных микросхем планируют использование сканирующего зондового микро-

скопа типа "Нанотоп-203" (ИММС НАН Беларуси, г. Гомель). Данный микроскоп является атомно-силовым микроскопом, работающим в нескольких режимах, в том числе в режиме бесконтактного динамического "обстукивания". Этот режим обеспечивает высокие технические характеристики микроскопа при обеспечении неразрушающего контроля ИМС. Микросхема при анализе не подвергается механическим и радиационным воздействиям. При анализе в камере с образцом не требуется создания вакуума. Пластина с ИМС после контроля на таком микроскопе может использоваться в дальнейшем технологическом процессе, т.е. нет необходимости использования специальных спутников. Это снижает затраты и повышает достоверность анализа. Кроме того, что чрезвычайно важно, данный микроскоп обеспечивает контроль как проводящих (металлических) слоев, так и диэлектрических (непроводящих) слоев. При этом микроскоп обеспечивает анализ поверхности ИМС с чередованием диэлектрических и проводящих слоев.

Основные технические характеристики микроскопа:

Режим сканирования	по площади, по линии, измерение высоты в точке;
Разрешение	
вертикальное	0,5–1,0 нм
в плоскости сканирования	5–10 нм;
Размер поля сканирования	более 7×7 мкм;
Средняя скорость сканирования	1 мкм/с;
Количество точек сканирования	до 512;
Рабочая среда сканирующего узла	воздух, обычные нормальные условия;
Разрядность ЦАП сканирующего устройства	13;
Напряжение на выходе высоковольтного усилителя	200 В;
Потребляемая мощность	не более 300 Вт.

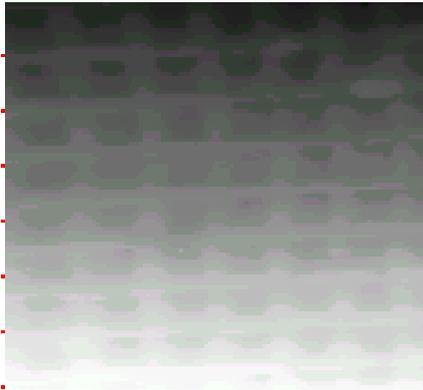


Рис. 1. Изображение решетки, полученное на микроскопе "Нанотоп-203". Высота неровностей 0,1 мкм, шаг решетки 0,4 мкм

На рис. 1 приведен фрагмент поверхности решетки, снятый с помощью сканирующего зондового микроскопа "Нанотоп-203". Из приведенного рисунка следует, что данный микроскоп позволяет не только измерить высоту рельефа решетки равного 0,1 мкм, но и провести калибровку по величине линейного размера. Такая калибровка необходима для обеспечения достоверного контроля линейных размеров элементов ИМС в субмикронном диапазоне.

На рис. 2 приведены фрагменты топологии ИМС, отснятые также с помощью сканирующего зондового микроскопа "Нанотоп-203". Микросхема была взята на конечной стадии изготовления и на своей поверхности содержала слой пассивации (диэлектрик толщиной 1,0 мкм). Из приведенного рисунка следует, что сканирующий зондовый микроскоп обеспечивает контроль в едином процессе как горизонтальных размеров элементов топологии ИМС, так и вертикального микрорельефа (ступенек) без специального препарирования образца и его разрушения. При этом образец может быть взят на любой стадии изготовления ИМС, и после проведения контроля его можно использовать в дальнейшем технологическом процессе.

Таким образом, сканирующий зондовый микроскоп "Нанотоп-203" обеспечивает:

- контроль линейных размеров субмикронных элементов ИМС в плоскости образца;
- контроль микрорельефа топологии элементов ИМС, включая измерения высоты ступенек и толщины слоев;
- контроль в трехмерном пространстве (объемное изображение) с возможностью независимого изменения увеличения по каждой оси;
- неразрушающий контроль пластин ИМС на любой стадии их изготовления при отсутствии необходимости препарирования образцов.

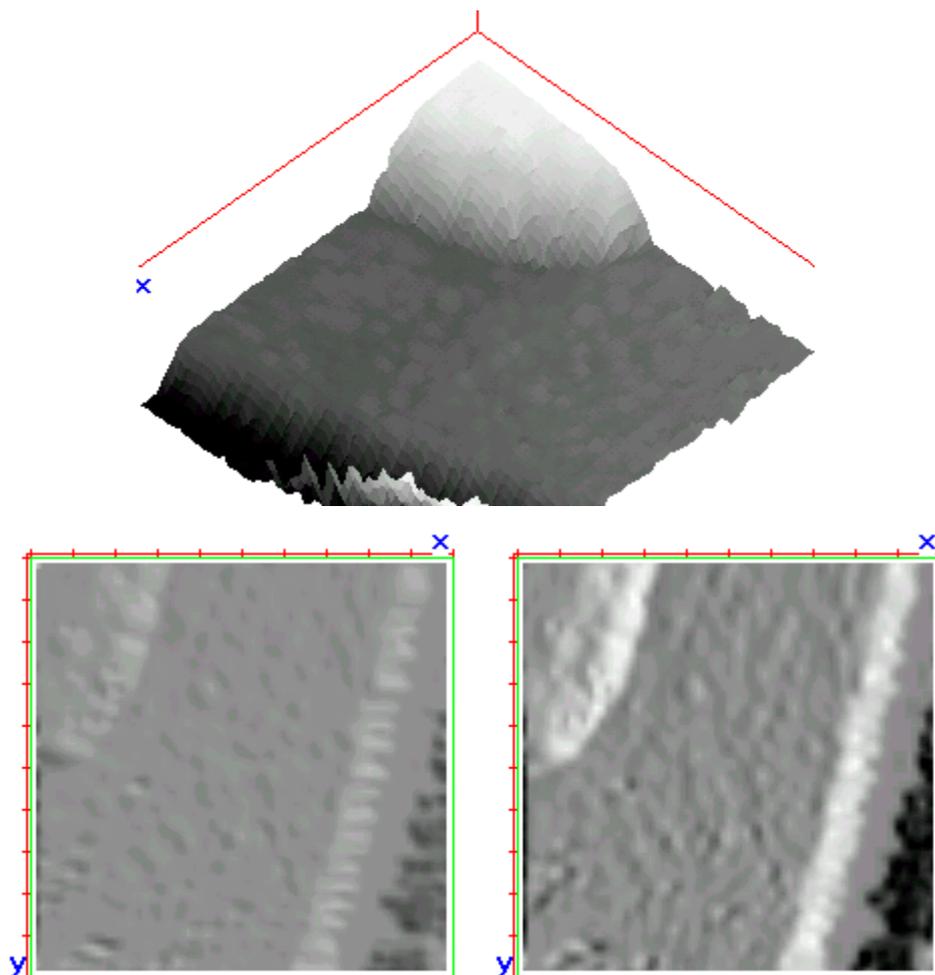


Рис. 2. Изображение фрагмента топологии ИМС со слоем пассивации (7×7 мкм). Ступенька верхняя 0,8 мкм, нижняя 0,31 мкм, расстояние между ступеньками 5 мкм

Эти преимущества микроскопа обеспечивают возможность операционного контроля в процессе разработки и производства ИМС субмикронных размеров, широкую возможность по обработке информации, ее хранению и передаче по электронной сети. При этом в сравнении с оптическим микроскопом и РЭМ, не требуется использования дорогостоящей фотобумаги.