

Высокоточные методы контроля выходных параметров полупроводниковых кремниевых пластин

Луговик А.Ю., Фёдорцев Р.В., Перепёлкина Т.А., Лосякина Ю.В.
Белорусский национальный технический университет

Важным элементом при разработке технологии обработки полупроводниковых материалов является исследование и контроль кристаллографических и механических характеристик кремниевых подложек. Известно, что качество поверхности полупроводниковых пластин и кристаллов определяется шероховатостью и глубиной нарушенного дефектного слоя на конечном этапе обработки. Для измерения этих параметров во всем мире активно используется атомно-силовая микроскопия. Одним из основных достоинств данного метода контроля является возможность проводить измерения образцов в обычных атмосферных условиях, без применения специальных вакуумных камер. Однако, атомная силовая микроскопия не обеспечивает одновременно получение информации обо всей поверхности исследуемого объекта. В каждый момент времени можно проводить оценку только небольшого участка (в пределах от 14×14 мкм до 100×100 мкм) поверхности находящегося непосредственно под регистрируемым зондом.

Принцип действия атомно-силового микроскопа (АСМ) основан на использовании сил атомных связей, действующих между атомами вещества. На малых расстояниях между двумя атомами (около одного ангстрема) действуют силы отталкивания, а на больших – силы притяжения. Совершенно аналогичные силы действуют и между любыми сближающимися телами. В сканирующем атомно-силовом микроскопе такими телами служат исследуемая поверхность объекта и скользящее над ним острие – микрозонд.

Микрозонд (кантилевер или чувствительная консоль) представляет собой тончайшую кремниевую пластинку прямоугольной или треугольной формы размером $3 \times 1,5 \times 0,3$ мм, в торцовой части которой закреплён измерительный шип с радиусом кривизны острия порядка десятков-сотен нанометров, непосредственно зондирующий поверхность образца (рис.1).

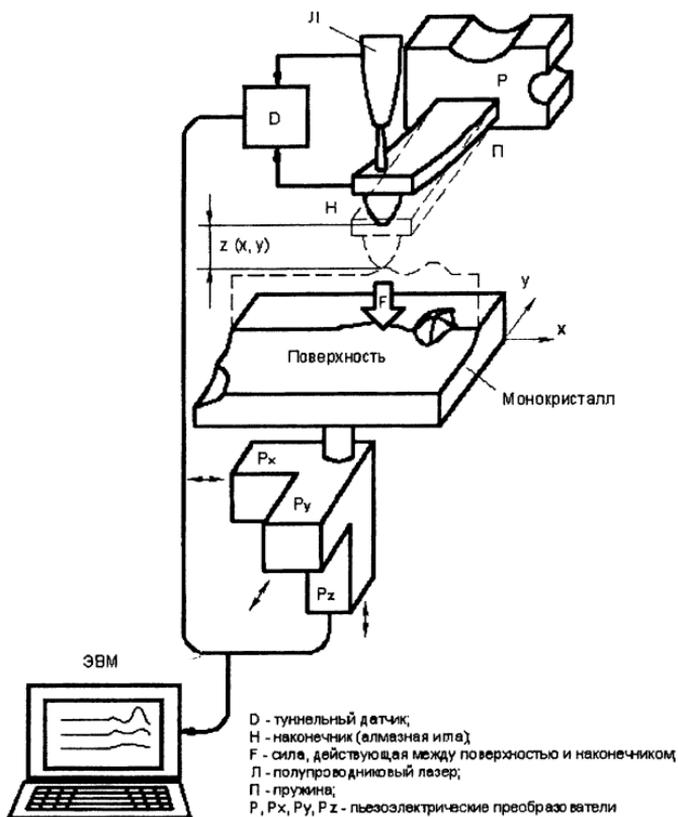


Рис.1. Функциональная схема и принцип действия атомного силового микроскопа

Для детектирования отклонения используется полупроводниковый лазер, работающий на длине волны 670 нм, с оптической мощностью 0,9 мВт. Лазерный луч направляется на обратную, по отношению к поверхности, сторону кантилевера (в место закрепления шипа). Для наилучшего отражения на эту поверхность нанесено специальное алюминиевое зеркальное покрытие. Отраженный луч попадает в специальный четырехсекционный фотодиод. Таким образом, отклонения кантилевера приводят к смещению луча лазера относительно секций фотодиода, – изменение разностного сигнала с фотодиода и будет показывать амплитуду смещения кантилевера в ту или иную сторону. Управляющая система следит за положением зонда

относительно поверхности образца в каждой измеряемой точке и поддерживает расстояние игла–образец на постоянном заданном уровне. Такая система позволяет измерять отклонения лазера в угле $0,1''$, что соответствует отклонению кантилевера на угол $2 \cdot 10^{-7}$ рад. Измерения вертикального положения зонда в каждой точке измерений образуют матрицу ACM данных, которая записывается в файл, и используется в дальнейшем для обработки, визуализации и анализа.

Все полученные с помощью ACM данные передаются в цифровом виде через USB-порт на персональный компьютер, где обрабатываются с помощью специального программного обеспечения. На рис.2 показан результат работы измерительного комплекса Veeco NT1100 (Фраунгоферский институт промышленных технологий, Германия) по анализу поверхности 150 мм кремниевой подложки после финишной операции магнитно-абразивного полирования (МАП) на станке мод.3905 (УП «Полимаг», Беларусь).

Surface Appearance of MAM-Wafer-fine_06

- Equipment: Wyco NT1100
- Amplification: 10x PSI
- Wafer: fine_06 - 150 mm

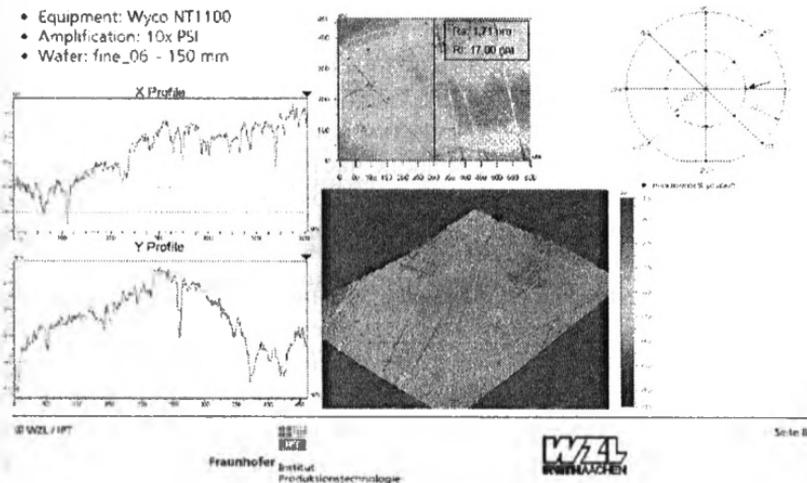


Рис.2. Профилограммы и топограмма поверхности кремниевой подложки после МАП в системе Veeco

Подобные измерительные комплексы также созданы в и Республике Беларусь (ИТМО, НАН Б). На рис.3 представленный прибор – нанотестер, позволяющий измерять шерохова-

тость и глубину нарушенного дефектного слоя образцов из различных материалов в субнанометровом диапазоне.



Рис.3. Измерительный модуль на основе атомного силового микроскопа мод. NT206 (ИТМО НАН Б)

Для повышения точности и обеспечения достоверности измерений перед началом сканирования необходимо обязательно осуществлять тщательную очистку поверхности образцов кремниевых пластин от пыли, мелких частиц, остатков абразивных суспензий и прочих посторонних включений. Для визуализации и анализа АСМ-данных в ИТМО разработан специальный программный пакет «SurfaceView».

Проведенный анализ и сопоставление полученных результатов измерений полупроводниковых кремниевых подложек показывает очевидные преимущества атомного силового микроскопа по сравнению с оптическими и электронно-лучевыми методами контроля. К основным достоинствам рассматриваемого метода следует отнести безопасность, экологичность, высокую точность измерений и на порядок более низкую (по сравнению с зарубежными аналогами) стоимость контрольно-измерительного оборудования. К недостаткам АСМ мод. NT 206 на сегодняшний день относятся ограниченная рабочая зона микроскопа ($\varnothing 30$ мм и высота 10 мм) и относительно большое время сканирования (проход участка 35×35 мкм осуществляется за 20 мин).