

## ЗОНДОВЫЕ МЕТОДЫ И ОБОРУДОВАНИЕ В НАНОДИАГНОСТИКЕ

Чирик С.А.

Президиум НАН Беларуси  
Минск, Республика Беларусь

Разработки в области нанотехнологий в значительной степени обеспечиваются широким внедрением в практику методов нанодиагностики, в первую очередь основанных на методе сканирующей зондовой микроскопии (далее - СЗМ), которую называют «глазами и руками нанотехнологий».

Сканирующая зондовая микроскопия объединяет достаточно большой класс методов исследования поверхности и отдельных нанобъектов с помощью сканирующего механического острия (зонда). Эффективно дополняя современные подходы тонкого анализа материалов, СЗМ открывает возможности визуализацию рельефа, материаловедческих структур, а также оценивать физико-механические свойства материалов с высокой степенью локализации измерений, вплоть до нескольких нанометров. Практически каждая материаловедческая лаборатория в настоящее время оснащена многомодовыми сканирующими зондовыми микроскопами. Такая востребованность СЗМ метода обусловлена следующими факторами:

высоким, вплоть до атомарного, пространственным разрешением поверхности;

комплексностью и доступностью интерпретации получаемой информации;

возможностями использования микрозонда СЗМ в качестве инструмента создания нанобъектов и манипуляции ими;

удобством компьютерной визуализации и широкими возможностями компьютерного анализа результатов.

Максимальный эффект от использования СЗМ обеспечивается при сочетании подходов формирования мультиизображений (топография и изображения контрастов и силовой спектроскопии).

Наряду с первичными для СЗМ изображениями топографии практически все современные модели сканирующих зондовых микроскопов позволяют получить дополнительно изображения контрастов на том же исследуемом участке. В зависимости от используемого режима сканирования это различные информационные карты характеризующие поверхность. Например, изображение латеральных сил для контактного режима, изображение сдвига фазы для полуконтактного динамического режима, изображение магнитных сил в магнитно-силовом микроскопе и др. Разнообразие получаемых изображений контраста велико и, по-видимому, далеко не исчерпано. Изображения контраста дают информа-

цию о неоднородности физико-механических свойств изучаемого объекта.

Оцифровка изображений, отражающих микромеханическую неоднородность поверхности возможна с помощью дополнительных измерений, которые позволяют выполнить количественные оценки для различных свойств. Традиционно, такими являются измерения зависимости силы взаимодействия острия зонда с поверхностью образца от расстояния между ними (статическая силовая микроскопия). Актуальным является развитие методик силовой спектроскопии для слоистых систем, что связано с анизотропией механических свойств приповерхностных слоев, а также с развитием тонкопленочных технологий. Важнейшим условием достоверности оценок является точная калибровка измерительной системы.

Более информативной является динамическая силовая спектроскопия, когда с поверхностью образца сближается осциллирующий зонд, и в качестве информативной зависимости регистрируются изменения динамических параметров зонда (амплитуда, частота, фаза) от расстояния между острием и поверхностью образца. Данные зависимости могут характеризовать упругие, вязкоупругие и адгезионные свойства материала.

В работе анализируется современный уровень развития экспериментальных методов, базирующихся на сканирующей зондовой микроскопии, в том числе достижения ученых Беларуси по разработке приборов и методик СЗМ. Обсуждаются также задачи механики, направленные на расширение возможностей приборной техники СЗМ и методов нанодиагностики на ее основе. В работе представляются традиционные функции сканирующих зондовых микроскопов (контактный, динамический режимы сканирования и силовая спектроскопия), а также оригинальные (нанотопография, наноизнашивание, наносверление и осциллирующая трибометрия). Продемонстрировано новое отечественное оборудование, созданное на базе метода СЗМ: метрологический СЗМ, измерительные комплексы для измерения элементов субмикрорелектроники и биологических клеток.

Несмотря на интенсивное развитие СЗМ, возможности метода еще далеко не исчерпаны. Во многих задачах наноматериаловедения метод СЗМ не имеет равноценных альтернатив, хотя его метрологическое обеспечение пока имеет ограничения, в особенности применительно к нанокompозитам.