

АТОМНО-СИЛОВОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ МИКРОСКОП

Атомно-силовой микроскоп (АСМ) является основным инструментом для исследования нано- и микрообъектов. В связи с быстрым развитием наноиндустрии возник целый спектр задач, для которых высокоточное позиционирование зонда имеет первостепенное значение. Вместе тем, в ряде случаев такое позиционирование на нанообъекты или топологические особенности микрообъектов затруднено. Новая разработка ООО НПП "Центр перспективных технологий" [1] – атомно-силовой интерференционный микроскоп (АСИМ) – в значительной степени обеспечивает решение существующих проблем.

История оптической микроскопии насчитывает более четырех веков. Создано множество сложных оптических микроскопов. Однако возможности классической оптической микроскопии ограничены дифракционным пределом (примерно 1000-кратное увеличение). Для дальнейшего повышения разрешения необходимо перейти на меньшие длины волн либо учитывать фазовые характеристики излучения.

Первый путь был реализован в электронных микроскопах, для получения изображений в которых используют электронный пучок с малыми длинами волн.

Второй путь получил наибольшее развитие в интерференционной микроскопии, которая берет начало от интерферометров – измерительных приборов, в которых используется интерференция волн.

Все интерферометры можно подразделить на двулучевые и многолучевые. Любой интерференционный микроскоп представляет собой сочетание оптического микроскопа и интерферометра. Для исследования поверхностных свойств объекта его помещают вместо одного из отражающих зеркал интерферометра. Изменение рельефа поверхности образца создает разность фаз между интерферирующими лучами, и помимо оптического изображения объекта наблюдается интерференционная картина. Обработка серии снимков позволяет восстановить фазовую картину и рельеф поверхности образца [2, 3].

Прорывом в развитии микроскопии стало изобретение в 1981 году сканирующего туннельного микроскопа, а пятью годами позже – АСМ) [4], являющегося на сегодняшний день одним из самых распространенных инструментов исследования объектов с нанометровым разрешением. Его использование позволяет на атомном уровне анализировать поверхности многих материалов: полимерных пленок, кристаллов, биологических микрообъектов и т.д. АСМ позволяет получать информацию не только о рельефе поверхности образца, но и о заряде, проводимости и магнитных свойствах исследуемой поверхности. Измерения могут проводиться на воздухе, в атмосфере газа и в жидкости [5, 6].



Рис.1 Интерференционный микроскоп ФемтоСкан Инлайт



Рис.2 Атомно-силовой интерференционный микроскоп (общий вид)

Следующим шагом в развитии микроскопии стал атомно-силовой интерференционный микроскоп (АСИМ). Совмещение в одном приборе принципов интерференционной и атомно-силовой микроскопии дает широкие возможности для исследования различных материалов на наноуровне.

СОВМЕЩЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

АСИМ позволяет получать изображения с атомным разрешением. Размер кадра обычно не превышает сотни микрон, а время получения изображения составляет от десятков секунд до

нескольких минут. В то же время интерференционный микроскоп позволяет получать изображения размером в тысячи микрон за доли секунды с нанометровым разрешением по вертикали и дифракционным ограничением в плоскости образца. В результате АСИМ и интерференционный микроскоп дополняют друг друга как по временным, так и по пространственным масштабам исследования.

СВЕРХТОЧНОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ

При решении ряда нанотехнологических задач условие высокоточного позиционирования зонда имеет первостепенное значение. Для этих целей обычно используются системы видеонаблюдения на основе оптического микроскопа [7]. Оптический микроскоп ориентирован перпендикулярно к исследуемой поверхности, что в случае прозрачных объектов затрудняет получение информации о рельефе исследуемой поверхности. Точное наведение зонда микроскопа на нанообъекты или необходимую топологическую область образца (вершину, впадину или участок с заданным углом наклона) затруднено. Вместе с тем на основании получаемой интерференционной картины АСИМ позволяет легко и быстро производить позиционирование.



Рис.3 Атомно-силовой интерференционный микроскоп (рабочая зона)

КАЛИБРОВКА СКАНЕРА АСМ И КОНТРОЛЬ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Одним из основных элементов любого АСМ является сканер – система перемещений образца или зонда при сканировании по трем координатам. Точность измерений в АСМ напрямую зависит от точности его перемещений. Обычно сканер представляет собой пьезокерамическую трубку, для калибровки которого используют эталоны сравнения с известными размерными параметрами [8]. Однако даже на откалиброванном микроскопе при сканировании могут проявляться эффекты дрейфа, нелинейности и гистерезиса пьезокерамики. Таким образом, для высокоточных измерений необходимо проведение контроля перемещений в реальном времени. Следует отметить, что емкостные датчики, используемые для контроля перемещений, в ряде случаев могут являться дополнительным источником шумов. Однако применение современных методов обработки наблюдаемой интерференционной картины позволяет без внесения дополнительных шумов проводить калибровку сканера и контролировать величину перемещений при процессе сканирования в реальном времени.

КОНТРОЛЬ ИЗГИБА КАНТИЛЕВЕРА

Помимо перемещений сканера АСИМ позволяет контролировать величину изгиба кантилевера, что может быть полезно для предотвращения избыточных деформаций балки кантилевера и ее механических повреждений. Помимо этого одновременный контроль за перемещением образца и зонда микроскопа может дать информацию о возникающих в процессе сканирования деформациях исследуемого объекта.



Рис.4 Церемония награждения. На фото (слева направо): зам. ген. директора РОСНАНО Лосюков А.П., авторы проекта Меньшиков Е.А., Яминский И.В.

Технические характеристики АСИМ

Характеристики	Тип исследований	
	атомно-силовые	интерференционные
Разрешающая способность по горизонтали, нм	1–10	750
Разрешающая способность по вертикали, нм	0,1	20
Размер кадра, мкм×мкм	10×10	800×600
Разрешение изображений, пкс×пкс	512×512	2048×1536
Скорость получения кадров	0,01	0,1

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

АСИМ предназначен для проведения исследований в различных областях науки и техники: нанотехнология, биология, кристаллография, материаловедение, метрология.

Возможные направления использования АСИМ:

- контроль устройств микроэлектроники (транзисторы, микросхемы);
- решение ряда задач материаловедения (соотношение рельефа материала на микро- и наноуровне, выявление корреляции структура–свойства);
- исследование бактерий и клеток животных и растений;
- изучение поверхности и процессов роста кристаллов;
- контроль процессов, происходящих на поверхности пленочных биосенсоров;
- исследование прозрачных пленок и нанобъектов;
- изучение поверхностных процессов (комплексобразование, изменение шероховатости, самоорганизация структур).

АСИМ позволяет одновременно проводить атомно-силовые и интерференционные исследования. Технические характеристики АСИМ приведены в таблице.

Работа "Атомно-силовой интерференционный микроскоп" стала победителем конкурса на лучший молодежный проект в области наноиндустрии, проводимого Российской корпорацией нанотехнологий в рамках Первого ежегодного российского молодежного инновационного конвента.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.nanoscopy.net
2. Schwider J., Schreiber H., Zou L. Physical limitations and challenges in modern interferometry. – Optik, 1996, 101, 166.
3. Тодуа П.А. Метрология в нанотехнологии – Российские нанотехнологии, 2007, №2, с. 61–69.
4. Binnig G., Quante C.F., Gerber Ch. Atomic force microscope. – Phys. Rev. Lett., 1986, 56(9), 930.
5. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. – М.: 2004, с. 74.
6. Филонов А., Яминский И. Обработка и анализ данных в сканирующей зондовой микроскопии: алгоритмы и методы. – Наноиндустрия, 2007, №2, с. 32–34.
7. Багров Д., Яминский И. Атомно-силовая микроскопия деформаций полимерных материалов – Наноиндустрия, 2008, №5, с. 32–36.
8. Раков А.В., Новиков Ю.А., Тодуа П.А. Калибровка АСМ по трем координатам с использованием одного аттестованного размера. – Измерительная техника, 2008, 5.