**Содержание**

1. Введение

2. Принципиальное устройство микроскопа АСМ

2.1 Атомно-силовой микроскоп

2.2 Способы сканирования

3. Исследование механических свойств полимерных пленок

3.1 Исследование деформированой поверхности

3.2 Необходимость. Проблематика

4. Сканирующий туннельный микроскоп

4.1 Открытие

4.2 Преимущества и недостатки сканирующей зондовой микроскопии по отношению к другим методам диагностики поверхности

4.3 Режимы сканирования

5. Применение АСМ

6. Перспективы

Литература

**1. Введение**

Разрешающая способность человеческого глаза - около 100 микрометров (0,1 мм), что примерно соответствует толщине волоска. Чтобы увидеть более мелкие предметы, требуются специальные устройства. Изобретенный в конце XVII века микроскоп открыл человеку новые миры, и в первую очередь мир живой клетки. Но у оптического микроскопа есть естественный физический предел разрешения - длина волны света, и этот предел (приблизительно равный 0,5 мкм) был достигнут к концу XIX века. Следующим этапом погружения в глубь микромира стал электронный микроскоп, в котором в роли луча света выступает пучок электронов. Его разрешение достигает нескольких ангстрем (0,1 нм), благодаря чему ученым удалось получить изображение вирусов, отдельных молекул и даже атомов. Но и оптический и электронный микроскоп дают лишь плоскую картинку[1].

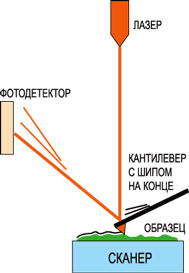


Рис.1

Увидеть трехмерную структуру микромира удалось только тогда, когда на смену оптическому лучу пришла тончайшая игла. Вначале принцип механического сканирования с помощью микрозонда нашел применение в сканирующей туннельной микроскопии, а затем на этой основе был разработан более универсальный метод атомно-силовой микроскопии. Атомно-силовая микроскопия позволяет анализировать на атомном уровне структуру самых разных твердых материалов - стекла, керамики, пластиков, металлов, полупроводников. Измерение можно проводить не только в вакууме, но и на воздухе, в атмосфере любого газа и даже в капле жидкости. Этот метод незаменим и для исследования биологических объектов[1].

**Суть метода.**

Суть метода заключается в том, что пучок электронов, взаимодействуя с поверхностью, рассеивается на ней и регистрирует её структуру, он может проходить образец насквозь — ПЭМ, или отражаться ОЭМ[2].

**Устройство микрозонда.**

Микрозонд представляет собой тонкую пластинку-консоль (ее называют кантилевером, от английского слова "cantilever" - консоль, балка). На конце кантилевера расположен острый шип (радиус закругления от 1 до 10 нм). При перемещении микрозонда вдоль поверхности образца острие шипа приподнимается и опускается, очерчивая микрорельеф поверхности, подобно тому, как скользит по грампластинке патефонная игла. На выступающем конце кантилевера (над шипом) расположена зеркальная площадка, на которую падает и от которой отражается луч лазера. Когда шип опускается и поднимается на неровностях поверхности, отраженный луч отклоняется, и это отклонение регистрируется фотодетектором. Данные фотодетектора используются в системе обратной связи, которая обеспечивает постоянную силу давления острия на образец. Пьезоэлектрический преобразователь может регистрировать изменение рельефа образца в режиме реального времени. В другом режиме работы регистрируется сила взаимодействия острия с поверхностью при постоянном положении шипа над образцом. Микрозонд обычно делают из кремния или нитрида кремния. Разрешающая способность метода составляет примерно 0,1-1 нм по горизонтали и 0,01 нм по вертикали. Смещая зонд по горизонтали, можно получить серию рельефов и с помощью компьютера построить трехмерное изображение[1,4].

При использовании атомно-силовой микроскопии не требуется, чтобы образец проводил электричество. Благодаря этому атомно-силовая микроскопия нашла широкое применение для анализа биологических объектов - кристаллов аминокислот, белков, клеточных мембран и многого другого[1].

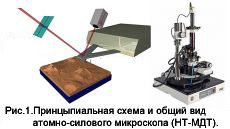
В лаборатории, где занимаются исследованиями, имеется уникальный сверхвысоковакуумный отражательный электронный микроскоп, позволяющий проводить in-situ эксперименты с полупроводниковыми материалами и имеющий только один аналог в мире в Японии. Также есть микроскопия высокого разрешения на базе ПЭМ Jeol-4000[2].

**2. Принципиальное устройство микроскопа АСМ**

Сканирующая зондовая микроскопия — это метод исследования поверхности, основанный на взаимодействии микрозонда (кантилевера в случае АСМ) с поверхностью образца. Микрозонд или кантилевер (англ. — балка) представляет собой кремниевую пластинку (3х1.5х0.3 мм) с торчащей из торца балкой (как прямоугольной, так и треугольной формы), — на конце балки находится шип, конец которого и зондирует поверхность[3].

**2.1 Атомно-силовой мікроскоп**

Одной из наиболее распространенных разновидностей «сканирующей зондовой микроскопии», является атомно-силовая микроскопия (Рис. 1).



Первый микроскоп такого типа был сконструирован Г. Биннигом, Х. Гербером и С. Квайтом в 1986 году, после того как годом ранее Г. Бинниг показ принципиальную возможность неразрушающего контакта зонда с поверхностью образца[2].

Кантилеверы разделяются на жёсткие и мягкие, — по длине балки, а характеризуется это резонансной частотой колебаний кантилевера. Процесс сканирования микрозондом поверхности может происходить как в атмосфере или заранее заданном газе, так и в вакууме, и даже сквозь плёнку жидкости. СЗМ измеряет как нормальное к поверхности отклонение зонда (субангстремное разрешение) так и латеральное — одновременно. Для детектирования отклонения используется полупроводниковый лазер с длинной волны 670 нм и оптической мощностью 0,9 мВт. Лазерный луч направляется на обратную к по отношению к поверхности сторону кантилевера (на самый кончик), которая покрыта специальным алюминиевым зеркальным слоем для наилучшего отражения, и отраженный луч попадает в специальный четырёхсекционный 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. Такая система позволяет измерять отклонения лазера в угле 0,1", что соответствует отклонению кантилевера на угол 2•10–7 рад[2,5].

**2.2 Способы сканирования**

Сканирование поверхности может происходить двумя способами, — сканирование кантилевером и сканировение подложкой. Если в первом случае движения вдоль исследуемой поверхности совершает кантилевер, то во втором относительно неподвижного кантилевера движется сама подложка. Для сохранения режима сканирования, — кантилевер должен находиться вблизи поверхности, — в зависимости от режима, — будь то режим постоянной силы, или постоянной высоты, существует система, которая могла бы сохранять такой режим во время процесса сканирования. Для этого в электронную схему микроскопа входит специальная система обратной связи, которая связана с системой отклонения кантилевера от первоначального положения. Уровень связи (рабочая точка) кантилевер—подложка задается заранее, и система обратной связи отрабатывает так, чтобы этот уровень поддерживался постоянным независимо от рельефа поверхности, а сигнал, характеризующий величину отработки и является полезным сигналом детектирования[2,5].

Образец (поверхность) и кантилевер сближаются с помощью шагового двигателя до тех пор пока поверхность и кантилевер не начнут взаимодействовать, что приведёт к такому смещению лазерного луча на секциях фотодиода,а значит к такому разностному току, что обратная связь прекратит сближение.

Кантилевер непосредственно связан с четырёхобкладочной пьезотрубкой, подавая напряжение на противоположные обкладки, можно соответственно менять изгиб трубки, а значит и область сканирования кантилевера (горизонтальтное отклонение пьезотрубки) вдоль соответственно оси абсцисс и оси ординат. Внутри трубки находиться также пьезоэлемент, который отвечает за смещение кантилевера вдоль нормали к поверхности, то есть оси аппликат. При сканировании поверхности задается рабочая точка, физический смысл которой есть величина выдвижения пьезотрубки по отношению в максимальной амплитуде (обычно около 50 %). Обратная связь отрабатывает величину выдвижения пьезотрубки для поддержания режима (постоянной силы или постоянной высоты, в случае СТМ — постоянного туннельного тока) сканирования. В случае сканирования подложкой такая система присоединена к подложке[1,2].

**3. Исследование механических свойств полимерных пленок**

В последнее время не ослабевает интерес к нанотехнологиям, в частности к процессам самоорганизации в материалах. В свете этого становится очевидна необходимость разработки новых нетрадиционных подходов для выявления корреляции "структура-свойства" гетерофазных полимерных систем.

Исследование механических свойств полимерных пленок (измерение модуля Юнга, коэффициента Пуассона и т.д.) является важной практической задачей, связанной с существенными экспериментальными сложностями. Поскольку пленки тонкие и гибкие, для регистрации их деформаций требуются специальные методы. В частности, для исследования деформаций поверхности пленок может быть использована атомно-силовая микроскопия, за которой в последние годы закрепился статус одного из основных методов исследования поверхности твердых тел [1,2]. Ее основное преимущество перед другими видами микроскопии (оптической, электронной, Оже) состоит в том, что она позволяет получить трехмерное изображение, т.е. предоставляет информацию о структуре и микрорельефе поверхности. Хотя этот метод применяется для изучения чрезвычайно широкого класса объектов (макромолекул, биологических объектов, наноструктур), лишь в нескольких работах он был использован для прямого изучения деформацій полимеров[1,2].

**3.1 Исследование деформированой поверхности**

Все методы описания деформаций можно разделить на две группы в зависимости от того, исследуется ли образец непосредственно в процессе или после деформации. К первой группе относятся, например, наблюдение деформируемого образца под оптическим микроскопом и уникальные эксперименты по деформации углеродных нанотрубок под электронным микроскопом [10]. В таких случаях иногда говорят, что исследование происходит в реальном времени, in situ. Ко второй группе относятся эксперименты, в которых деформация и изучение образца производятся на разных устройствах. В этом случае экспериментатора обычно интересуют средние, общие характеристики и параметры образца, а не особенности его конкретной точки или области[5].

В таком контексте применение атомно-силовой микроскопии для описания деформаций поверхности имеет особое место. Для того, чтобы наблюдать деформацию поверхности в АСМ, необходимо ступенчато увеличивать нагрузку, и при каждом ее значении исследовать поверхность. По-видимому, первой работой, в которой, предложен такой эксперимент, была статья [3]. Схема использованной авторами установки показана на рис. 1. Пленка ориентированного полиэтилентерефталата (ПЭТФ) размещалась в специальном зажиме, на который сверху устанавливался АСМ. Проводилось сканирование участка поверхности вблизи заметного в оптический микроскоп дефекта, затем образец деформировался. Рис 1 Схема установки для деформации пленок и наблюдения в АСМ [3] Один из зажимов неподвижен. Специальная система винтов позволяла корректировать положение АСМ так, чтобы после деформации можно было вновь исследовать тот же самый участок. Прикладываемое к образцу напряжение измерялось специальным датчиком, а величина деформации измерялась по смещению микроскопических дефектов и неровностей на кадре размером 50\*50мкм. Таким методом была получена силовая кривая и измерен коэффициент Пуассона. Было показано, что отношение боковой контракции к продольной деформации растет в процессе вытяжки от 0,25 при деформации 25% до 0,45 при деформации 50%[2,5].

В работе тех же авторов [4] исследовалась пленка из полиимида. В процессе вытяжки образца макроскопическая деформация (между зажимами) сравнивалась с микроскопической (измеренной на масштабах 50 мкм и 5мкм).

Авторами было показано, что эти кривые в пределах погрешности совпадают, т.е. наблюдается аффинная деформация образца. Авторы работы [5] предложили использовать аналогичный метод для измерения коэффициента Пуассона тонких пленок, изготовленных из различных материалов (ПЭТФ, полиэтил).

**3.2 Необходимость. Проблематика**

Развитие современной полупроводниковой технологии было бы немыслимо без микроскопических способов исследования. Требования к интеграции полупроводниковых логических элементов, уменьшению их размеров, улучшения качества задают необходимость в точной диагностике границ раздела. Развитие процессов самоорганизации на поверхностях полупроводников, систем молекулярно-лучевой эпитаксии, нанолитографии несёт за собой развитие новых полупроводниковых технологий.

К сожалению электронная микроскопия ограничена в своих возможностях по исследованию и диагностике поверхности. Наряду с огромными плюсами, которые она имеет (например, возможность иметь в каждый момент информацию о всей поверхности, возможность реализации in-situ экспериментов), существует несколько неоспоримых недостатков. К таковым относятся, в первую очередь, необходимость достаточного вакуума для получения относительно хорошего разрешения (нет возможности исследовать жидкостные объекты), отсутствие возможности просмотра больших образцов, достижение атомного разрешения в критических для поверхности условиях, когда энергия пучка электронов достигает величины до 300 КэВ[3].

**4. Сканирующий туннельный микроскоп**

**4.1 Открытие**

В связи с этим неоспоримым достижением стало открытие 1982 году (момент опубликования в Phys. Rev. Lett.) Генрихом Рорером и Гердом Биннигом метода сканирующей туннельной микроскопии, которая положила начало развитию сканирующей зондовой микроскопии. Работая над микроскопическими исследованиями роста и электрических свойств тонких диэлектрических слоев в лаборатории IBM в Рюмликоне в Швейцарии, авторы думали использовать туннельную спектроскопию. В то время были известны работы Янга о полевом излучающем микроскопе, Томпсона по туннелированию в вакууме с управляемым остриём, так что мысль о способности измерения с помощью эффекта туннелирования не только спектроскопических свойств поверхности, но и её рельефа, была основана на трудах немалого количества исследователей[2].

И вот когда авторы получили атомное изображение давно волновавшей всех поверхности кремния с периодом 7 на 7, — в 1986 году мир отметил их Нобелевской премией. Множество трудностей, которые усложняли исследование образцов в СТМ, побудили к 1986 году разработать их первый атомно-силовой микроскоп, который мог использовать те самые силы взаимодействия между образцом и остриём, которые так мешали в случае СТМ. Атомно-силовой микроскоп позволял проводить измерения не только в вакууме, но и в атмосфере, заранее заданном газе и даже сквозь плёнку жидкости, что стало несомненным успехом для развития биологической микроскопии. Так было положено начало эры сканирующей зондовой микроскопии. Вскоре была представлена микроскопия ближнего поля, которая задействовала оптические волны для разрешения объектов до 10 ангстремм[2].

**4.2 Преимущества и недостатки сканирующей зондовой микроскопии по отношению к другим методам диагностики поверхности**

Перемещаясь в плоскости образца над поверхностью, «кантилевер» изгибается, отслеживая ее рельеф. Однако при сканировании образца в контактном режиме поверхность образца частично повреждается, а разрешение метода оказывается достаточно низким. Разработка методов полуконтактного и бесконтактного сканирования, когда, зонд входит в контакт с поверхностью только в нижней точке траектории собственных резонансных колебаний или не входит в контакт вообще, позволили увеличить разрешение АСМ, значительно снизив давление на образец со стороны зонда. Для регистрации отклонения «кантилевера» предложены различные системы, основанные на использовании емкостных датчиков, интерферометров, систем отклонения светового луча или пьезоэлектрических датчиков. В современных приборах угол изгиба «кантилевера» регистрируется с помощью лазера, луч которого отражается от внешней стороны консоли и падает на фотодиодный секторный датчик (Рис.2). Система обратной связи отслеживает изменение сигнала на фотодетекторе и управляет «системой нанопозицонирования». Использование «пьезодвигателей» и атомно-острых зондов позволяет добиться атомного разрешения АСМ в высоком вакууме (рис. 3).

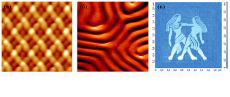
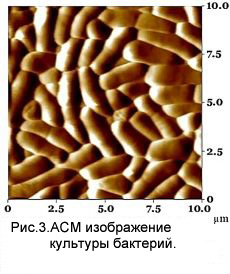


Рис.3

Помимо непосредственного исследования структуры поверхности методом контактной АСМ, можно регистрировать силы трения и адгезионные силы. В настоящее время разработаны многопроходные методики, при которых регистрируется не только топография, но и электростатическое или магнитное взаимодействие зонда с образцом. С помощью этих методик удается определять магнитную и электронную структуру поверхности, строить распределения поверхностного потенциала и электрической емкости, и т.д. (рис. 3). Для этого используют специальные «кантилеверы» с магнитными или проводящими покрытиями. АСМ также применяются для модификации поверхности. Используя жесткие зонды, можно делать гравировку и проводить «наночеканку» – выдавливать на поверхности крошечные рисунки. Применение жидкостной атомно-силовой микроскопии позволяет локально проводить электрохимические реакции, прикладывая потенциал между зондом и проводящей поверхностью (рис. 2), а также открывает возможность применения АСМ для исследования биологических объектов (рис. 4)[1,2].



Необходимо было решить множество технических проблем: как избежать механических вибраций, приводящих к столкновению острия с поверхностью (мягкая подвеска), какие силы действуют между образцом и остриём (к созданию АСМ), как перемещать остриё с такой высокой точностью (пьезоэлектрик), как приводить образец и остриё в контакт (специальный держатель), как избежать тепловых флуктуаций (использование не нитевидных кристаллов с большими упругими константами, низкие темепературы), форма острия и её получение (на поверхности основного острия существуют миниострия — сначала использовались они, потом с помощью самого процесса туннелирования — сильное вакуумное электрическое поле при напряжении всего лишь несколько вольт вызвало миграцию ионов (испарение)[2].

Принципиальным свойством электронной, оптической, ядерной микроскопий является, то что каждая частица, провзаимодействовавшая с образцом, будь то атом или субатомные объекты, является зондом. Однако, у данного метода есть свои минусы и плюсы. Так квантовый принцип неопределённости, гласящий, что определение одновременно импульса и координаты объекта исследования, возможно только с определённой точностью, заставляет увеличивать импульс регистрирующих частиц (энергию), что связано с созданием специальных технологий. Увеличение импульса регистрирующих частиц (например, электроны в ПЭМ достигают энергий до 1000 КэВ) создаёт проблемы с устойчивостью объекта к разрушению. Однако плюсом является тот факт, что одновременно получается информация сразу с относительно большого участка поверхности, что позволяет использовать данный метод для in-situ исследований. Так же главным недостатком данного вида микроскопии можно назвать условие относительного вакуума, для получения более менее качественного изображения.

Атомно-силовая микроскопия позволяет обрабатывать образцы в атмосфере, однако, главным её недостатком является отсутствие одновременной информации о всей поверхности, — в каждый момент времени мы имеем информацию только от участка непосредственно регистрируюемого зондом. Это не позволяет использовать in-situ методику. Атомно-силовая микроскопия позволяет получать информацию о поверхностном заряде, о поверхностной емкости, о поверхностной проводимости, о магнитных свойствах. Позволяет измерять эти параметры даже сквозь плёнку жидкости [1,2,4].

**4.3 Режимы сканирования**

Существуют контактный, безконтактный и полуконтактный или резонансный режимы сканирования поверхности.

Контактный метод заключается в том, что кантилевер непосредственно касается поверхности и повторяет её форму по мере прохождения поверхности[2].

Бесконтактный и полуконтактный режим характеризуются дополнительным условием сканирования, которое позволяет осуществить более щадящее и более тонкое сканирование поверхности. Кантилевер жестко связывается с отдельным пъезоэлементом и колеблется со своей резонансной частотой. При взаимодействии с поверхностью сбивается фаза, и специальный синхронный детектор старается выровнять частоту с помощью сигнала обратной связи. Таким образом, теперь детектируется кроме отклонения амплитудного также отклонение фазовое. В этом режиме кантилевер как бы постукивает по поверхности.

Основные моды работы:

1.Контактная мода.

Топография. F=const.

Измерение сил. Z=const.

Измерение сил трения.

Измерение локальной жесткости (модуляционная методика).

Измерение сопротивления растекания.

Резонансная мода.

Топография.

Фазовый контраст.

Магнито-силовая микроскопия.

Электристатическо-силовая микроскопия.

2.Бесконтактная мода.

Литография.

Механическая.

Электрическая.

Достижения в мире АСМ

**5. Применение АСМ**

Специалисты из Massachusetts Institute of Technology и Stanford University предложили терабитную плотность записи для ЗУ с помощью АСМ технологии при комнатной температуре и на воздухе (локальное окисление на поверхности титана). Специалисты лаборатории Lindsay Florida Institute of Technology активно исследуют ДНК и РНК с помощью метода АСМ. Специалисты Institute of Applied Physics and Microstructure Research Center, University of Hamburg исследуют плёнки фуллеренов С60 на различных поверхностях.

В Laboratory of Applied Physics, Linkoping University (Швеция) изучается взаимодействие в полиэлектролитах.

Таким образом, очень разнообразная тематика может быть затронута в исследованиях с помощью метода сканирующей силовой микроскопии.

Одной из наиболее распространенных разновидностей «сканирующей зондовой микроскопии», является атомно-силовая микроскопия (Рис. 1). Первый микроскоп такого типа был сконструирован Г. Биннигом, Х. Гербером и С. Квайтом в 1986 году, после того как годом ранее Г. Бинниг показ принципиальную возможность неразрушающего контакта зонда с поверхностью образца[2].

Действительно, если подвести зонд к образцу на расстояние в несколько ангстрем, то между атомами, образующими острие, и атомами, расположенными на поверхности образца, начнет действовать Ван-дер-Ваальсова сила притяжения. Под действием этой силы зонд будет приближаться к образцу до тех пор, пока не начнется электростатическое отталкивание одноименно (отрицательно) заряженных электронных оболочек атомов зонда и поверхности (в химии обычно используют специальную форму кривой, описывающего такие взаимодействия – так называемый «потенциал 6-12»).

В первых атомно-силовых микроскопах зонд (иголку кристаллического сапфира) закрепляли на тонкой платиновой фольге, за перемещением которой следили по изменению туннельного тока, по аналогии со сканирующей туннельной микроскопией. В настоящее время зонд закрепляют на гибкой балке, называемой «кантилевером» или консолью. При подводе зонда к образцу на расстояние в несколько ангстрем и возникновении отталкивающего взаимодействия «кантилевер» изгибается до тех пор, пока давление со стороны зонда (определяемое силой упругости консоли) не окажется больше предела упругой деформации материала образца или зонда. Таким образом, основным свойством «кантилевера» является его жесткость, а подбор материала и геометрических характеристик «кантилевера» позволяет использовать метод АСМ для самых различных приложений[1,2].

Перемещаясь в плоскости образца над поверхностью, «кантилевер» изгибается, отслеживая ее рельеф. Однако при сканировании образца в контактном режиме поверхность образца частично повреждается, а разрешение метода оказывается достаточно низким. Разработка методов полуконтактного и бесконтактного сканирования, когда, зонд входит в контакт с поверхностью только в нижней точке траектории собственных резонансных колебаний или не входит в контакт вообще, позволили увеличить разрешение АСМ, значительно снизив давление на образец со стороны зонда. Для регистрации отклонения «кантилевера» предложены различные системы, основанные на использовании емкостных датчиков, интерферометров, систем отклонения светового луча или пьезоэлектрических датчиков. В современных приборах угол изгиба «кантилевера» регистрируется с помощью лазера, луч которого отражается от внешней стороны консоли и падает на фотодиодный секторный датчик (Рис. 1). Система обратной связи отслеживает изменение сигнала на фотодетекторе и управляет «системой нанопозицонирования». Использование «пьезодвигателей» и атомно-острых зондов позволяет добиться атомного разрешения АСМ в высоком вакууме (рис. 2).

Помимо непосредственного исследования структуры поверхности методом контактной АСМ, можно регистрировать силы трения и адгезионные силы. В настоящее время разработаны многопроходные методики, при которых регистрируется не только топография, но и электростатическое или магнитное взаимодействие зонда с образцом. С помощью этих методик удается определять магнитную и электронную структуру поверхности, строить распределения поверхностного потенциала и электрической емкости, и т.д. (рис. 2). Для этого используют специальные «кантилеверы» с магнитными или проводящими покрытиями. АСМ также применяются для модификации поверхности. Используя жесткие зонды, можно делать гравировку и проводить «наночеканку» – выдавливать на поверхности крошечные рисунки. Применение жидкостной атомно-силовой микроскопии позволяет локально проводить электрохимические реакции, прикладывая потенциал между зондом и проводящей поверхностью (рис. 2), а также открывает возможность применения АСМ для исследования биологических объектов (рис. 3). АСМ уже стал одним из основных «наноинструментов» нанотехнологов, быть может, следующий шаг за покорением «бионанотехнологий»?

**6. Перспективы**

Как уже было сказано, метод Атомно-силовой микроскопии может быть использован для производства ЗУ с терабитной плотностью записи. Так специалисты IBM разработали специальную матрицу кантилеверов 32х32 штуки, что позволяет одновременно проводить литографию тысячей кантилеверов. Метод позволяет узнать качественно новую информацию не только о поверхности но и о приповерхностных слоях, — это приведет к развитию диагностики в различных направлениях, — магнитная диагностика АСМ , электростатическая, электропроводная и т. п.

Пленка ориентированного полиэтилентерефталата (ПЭТФ) размещалась в специальном зажиме, на который сверху устанавливалась АСМ. Проводилось сканирование участка поверхности вблизи заметного в оптический микроскоп дефекта, затем образец деформировался. Специальная система винтов позволяла корректировать положение АСМ так, чтобы после деформации можно было вновь исследовать его.

Современная атомно-силовая микроскопия активно используется во всем мире для исследования как полупроводников, так и любых других материалов. Очень широкое развитие она получила по исследованию вирусов, клеток, генов в биологии, — там с ней связывают большие надежды. Интересным является возможность использовать АСМ для литографии, — как механического царапания поверхности шипом, так и окисления поверхности под шипом при подаче на иглу потенциала. Это открывает большие возможности по использованию самого метода СЗМ для нужд нанолитогафии[2].

**Литература**

1. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. 2004. Мир.
2. Рашкович Л.Н. Атомно-силовая микроскопия процессов кристаллизации в растворе // Соросовский образовательный журнал, 2001, №10, с. 102-108.
3. Р. Хейденрайх Основы просвечивающей электронной микроскопии, Москва, Мир, 1966, с.472.
4. Takashi Nishino, Akiko Nozawa, Masara Kotera, and Katsuhiko Nakamae In situ observation of surface deformation of polimer films by atomic force mikroskopy // Rev. Sci. Instrum 71, 5, 2094-2094(2000).
5. Хирш П., Хови. И др. Электронная микроскопия тонких кристаллов. М.: Мир, 1968.