

Технология быстрого сканирования SmartSPM

Создание СЗМ, позволяющего получать **изображения высокого качества при больших скоростях сканирования** - комплексная задача, требующая новых подходов в разработке механики, электроники и программного обеспечения прибора. Прежде всего, требуется разработать сканер, способный обеспечивать быструю обработку поступающих на него воздействий. Необходим контроллер, удовлетворяющий целому набору требований: нужны быстрые малощумящие высоковольтные усилители и схемы измерения сигналов зонда/датчиков; нужна высокоскоростная цифровая часть, в основе которой лежит высокопроизводительный DSP или микроконтроллер, обеспечивающий возможность синтезировать гибкие и эффективные алгоритмы управления. И, собственно, «умные» алгоритмы управления, реализованные в программном обеспечении. Также нужен зонд, способный с необходимым быстродействием перестраиваться при взаимодействии с поверхностью.

Компания АИСТ-НТ ведет интенсивную разработку в указанных направлениях и по ряду основных характеристик прибора опережает достижения других мировых производителей коммерческих СЗМ. Применительно к теме быстрого сканирования компания АИСТ-НТ имеет **два ключевых преимущества**:

- во-первых, это **уникальный быстрый сканер**, сочетающий в себе большой диапазон перемещения и высокие резонансные частоты, и, при этом, не имеющий "проблем" с другими важными характеристиками, такими как дрейф, нелинейности и взаимное влияние осей;
- во-вторых, это **технология "MagicScan"**, представляющая собой совокупность программных методов управления сканером и процессом сканирования.

Сканер компании АИСТ-НТ

В настоящее время в компании АИСТ-НТ разработан и производится самый быстрый в индустрии зондовых микроскопов 100-микронный сканер на гибких направляющих и монолитных пьезопакетах. Положение сканера контролируется высокочувствительными емкостными датчиками.

Уникальность сканера заключается в том, что он обладает самыми высокими на сегодняшний день резонансными частотами среди сканеров коммерческих СЗМ с большими диапазонами перемещения по осям: при диапазоне

100x100x15 мкм резонансные частоты составляют до 7 кГц по XY и 15 кГц по Z. Высокие резонансные частоты при большом диапазоне сканирования позволяют расширить полосы частот обратных связей и обеспечить высокую скорость обработки сигналов и получения изображений.

Таким образом, при сканировании со скоростями, типичными для обычных сканеров, ошибка обработки неровностей на поверхности и, соответственно, сила взаимодействия зонда с образцом уменьшаются. При этом обеспечиваются сохранность и длительное время работы зонда, и неразрушающее измерение рельефа и других характеристик образца. При быстром сканировании при поддержании ошибки на обычном уровне существенно уменьшается время получения данных.

При разработке сканера диапазон перемещения и его резонансные частоты представляют собой конструктивно противоречивые параметры – чем больше диапазон, тем ниже резонансные частоты.

В целом для сканеров с любыми диапазонами перемещения и любыми типами конструкции производство резонансной частоты на диапазон перемещения (по каждой из осей) используется как основной критерий качества динамических свойств сканера [1].

Разработчикам АИСТ-НТ удалось создать уникальный сканер - оценка его качества по этому критерию дает величину, в несколько раз превосходящую аналогичную характеристику у любых других коммерчески производимых сканеров. Диаграммы сравнения различных типов сканеров по этому критерию приведены на рисунках 1а и 1б. Следует отметить, что столь высокие скоростные характеристики сканера были достигнуты без компромиссов с другими важными параметрами. Сканер АИСТ-НТ обладает отличными метрологическими параметрами - нелинейность по осям XYZ составляют не более 0,05%. Такая малая нелинейность соответствует уровню лучших коммерческих сканирующих зондовых микроскопов. Конструкция сканера обеспечивает плоскопараллельное перемещение образца без дополнительного наклона, независимо от положения сканера. Дрейф сканера по XY минимизирован термокомпенсированной конструкцией сканера и выбором материалов в конструкции СЗМ. Это позволяет получать с помощью SmartSPM качественные изображения с высоким разрешением, например, атомарное разрешение на высокоориентированном пиролитическом графите или ламелярную структуру органических полимерных монослоев.

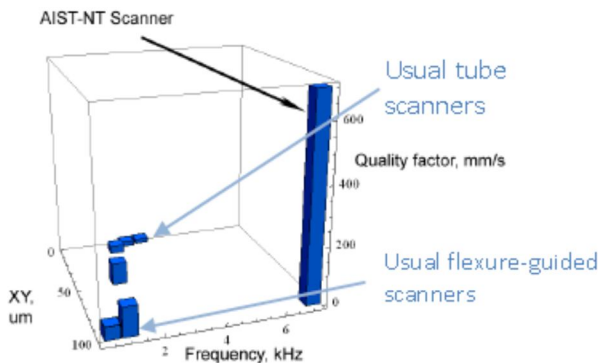


Рисунок 1а

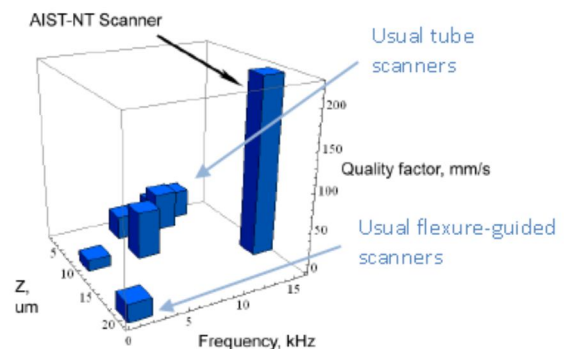


Рисунок 1б

Технология "MagicScan"

Технология "MagicScan" представляет собой совокупность программных методов управления сканером и процессом сканирования. Данные методы позволяют исключить различные динамические ошибки, такие как перерегулирование, паразитные колебания и фазовая задержка, возникающие в процессе сканирования. Основной особенностью технологии "MagicScan" является **отсутствие или малый уровень искажений изображения** при изменении скорости сканирования в широком диапазоне значений.

Для демонстрации возможностей технологии "MagicScan" в качестве образца была выбрана кремниевая тестовая решетка с шагом 3 мкм и высотой 25 нм. Сканирование такого рода образцов является довольно сложной задачей, что объясняется рядом причин. Это, во-первых, наличие нескольких или многих (на больших полях сканирования) резких ступенек вдоль линии сканирования. Во-вторых, поверхность данного образца достаточно гладкая, так что динамические ошибки («звон» и переколебания сканера) должны быть хорошо видны на изображении. Кроме того, сканирование маленьких ступенек (несколько нанометров) чередующихся с большими (25 нм) показывает отсутствие потери разрешения при увеличении скорости.

Для получения изображений использовался полуконтактный режим АСМ и жесткий зонд с резонансной частотой около 500 кГц на площадях сканирования 12x12 мкм и 30x30 мкм с разрешением 300x300 и 400x400 точек в плоскости XY соответственно.

Возможности технологии "Magic Scan" иллюстрируют рисунки 2-4, а также видеоролики на сайте компании АИСТ-НТ [2]. На рисунках на одном скане совмещены части изображений, полученных при сканировании снизу вверх и сверху вниз с разными скоростями. Прежде всего, следует обратить внимание на отсутствие фазовой задержки, т.е. при изменении скорости сканирования изображение не смещается. Это важно для дальнейшего позиционирования внутри отсканированной области. Также нет обычных для сканирования с большими скоростями переколебаний после разворота в начале строки (переколебания проявляют себя в виде одной или нескольких вертикальных полос, проходящих через все поле сканирования).

При сканировании площади 12x12 мкм скорость увеличивалась **с 3 до 30 линий в секунду**, а при сканировании площади 30x30 мкм - **с 2 до 20 линий в секунду**. Текущая скорость сканирования показана рядом с полем "rate" в окне сканирования (реальная скорость немного отличается от заданного значения, так как использовался адаптивный алгоритм сканирования, учитывающий ошибку обратной связи по Z).

Для демонстрации быстрого сканирования на малых полях с малым рельефом использовалась титановая пленка, на которой методом анодного окисления была произведена векторная литография (рис. 4).

Размер изображения 3 мкм, скорость сканирования меняется **от 30Гц до 5 Гц**. Использовался полуконтактный режим АСМ и зонд с резонансной частотой около 400 кГц.

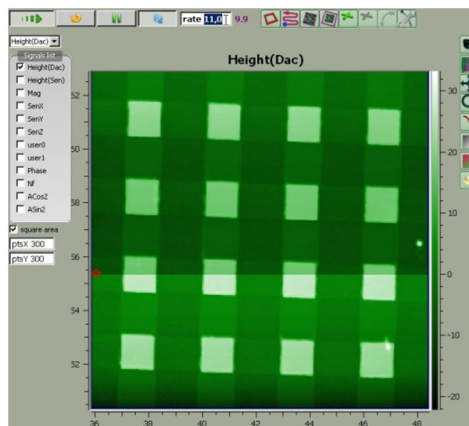


Рисунок 2. Тестовая решетка, шаг 3мкм, высота - 25 нм. Размер поля 12x12 мкм. Ниже красного маркера скорость сканирования 3Hz, выше - 10 Hz.

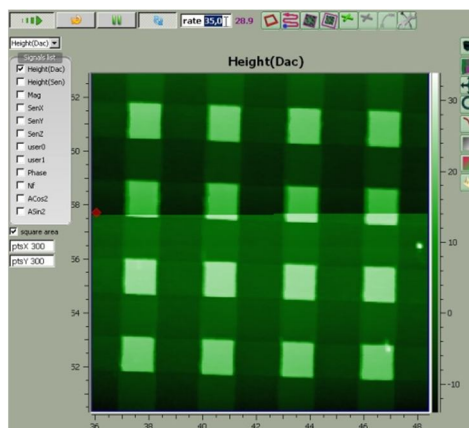


Рисунок 3. Тестовая решетка, шаг 3мкм, высота - 25 нм. Размер поля 12x12 мкм. Ниже красного маркера скорость сканирования 20Hz, выше - 30 Hz.

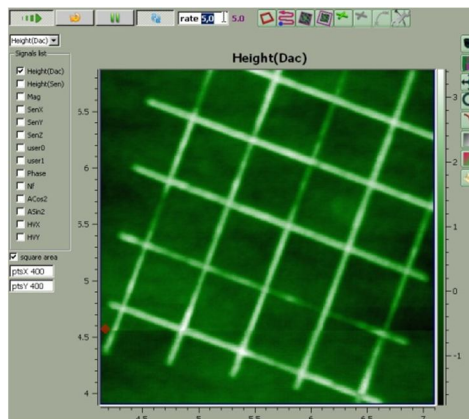


Рисунок 4 Векторная литография методом анодного окисления на титановой пленке. Размер поля 3x3 мкм, высота полосок 3 нм. Ниже красного маркера скорость сканирования 30Hz, выше - 20, 10 и 5 Hz.

1. Some design criteria in scanning tunneling microscopy. Dieter W. Pohl. IBM J. Res. Develop. Vol. 30 No. 4, July 1986.
2. Видеоролики быстрого сканирования на сайте компании АИСТ-НТ www.aist-nt.com/categories/fast-scanning