

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ SCANTRONIC™



Атомно-силовая микроскопия - широко распространенный и мощный метод исследования материалов в наноразмерном диапазоне. Однако, методика АСМ измерений не проста в использовании, что может приводить к ошибочным результатам у исследователей с недостаточным опытом. Компания NT-MDT Spectrum Instruments (NT-MDT SI), вдохновленная успехами применений технологий нейронных сетей, создала интеллектуальный программный модуль ScanTronic™, упрощающий работу с использованием амплитудно-модуляционного метода АСМ для исследователей любого уровня квалификации.

ВВЕДЕНИЕ

Амплитудно-модуляционный метод АСМ (АМ-АСМ), также известный как «полуконтактный» или «тэппинг», основан на зависимости амплитуды колебаний кантилевера от расстояния между поверхностью образца и зондом. Этот метод часто предпочитают другим методам АСМ, так как он относительно прост в реализации и способен минимизировать силу взаимодействия между зондом и образцом.

Тем не менее, как показывает практика, значительная часть АСМ изображений содержит различные артефакты, обусловленные неконтролируемыми перескоками режима колебаний кантилевера, избыточным шумом измеряемых сигналов и отрывом зонда от поверхности образца (эффект парашютирования) (рис.1). Эти искажения могут повлиять на интерпретацию результатов и привести к неверным выводам.

Чтобы избежать артефактов и достичь высокого качества изображения, пользователь во время сканирования должен вести подстройку основных параметров, включая скорость сканирования, амплитуду колебаний зонда, рабочее значение амплитуды (сет-пойнт), параметры обратной связи и т. д. Это особенно важно для образцов с большой шероховатостью, слабо закрепленных на поверхности объектов (наночастицы, нанотрубки, одиночные молекулы) мягких материалов (гели, мягкие полимеры, биологические объекты) или образцов, у которых характеристики поверхности заранее неизвестны.

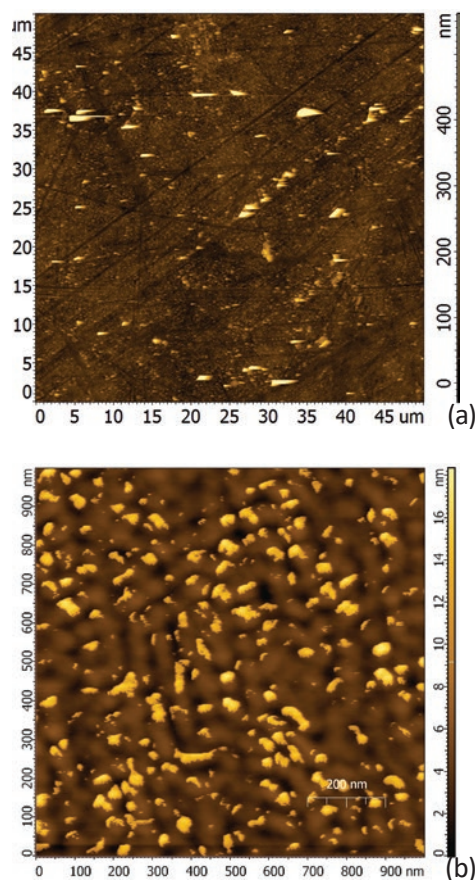


Рис. 1. Изображение рельефа поверхности стекла (a) и полимера PS-b-PMMA (b) при неоптимальной настройке параметров сканирования. Изображения крупных частиц на поверхности имеют дефект в виде комы или «затяжек», которые возникают из-за отрыва зонда от поверхности. Изображение полимера имеет другой тип дефектов, проявляющийся в виде областей с более высоким рельефом (светлые участки на изображении), которые обусловлены перескоками колебательного режима зонда из режима отталкивания в режим притяжения

Это требует не только хорошего понимания работы микроскопа и того, как различные параметры влияют на качество изображения в различных сценариях, но и опыта работы с различными типами образцов для надежного получения приемлемых изображений. Все это не самым лучшим образом сказывается на производительности АСМ. Это создает еще одно препятствие, поскольку получение опыта требует доступа к образцам и времени, необходимого для изучения прибора и техники сканирования.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПО ДЛЯ АСМ – ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ SCANTRONIC ОТ NT-MDT SPECTRUM INSTRUMENTS

Программный модуль ScanTronic™ использует нейронные сети для автоматической настройки параметров сканирования и обработки изображений в АМ-АСМ. Требуя минимальных знаний о свойствах образца и минимального участия пользователя, ScanTronic™ полезен не только для начинающих, но и для опытных пользователей, особенно в тех случаях, когда характеристики рельефа образца заранее неизвестны. ScanTronic™ снижает уровень шума до минимума, значительно уменьшает дефекты изображения рельефа за счет уменьшения количества затяжек

Как ответ на это, автоматическая настройка параметров для получения изображений в АМ-АСМ крайне желательна, чтобы избежать траты большого количества времени и усилий на освоение прибора прежде, чем пользователь сможет их получать. Интеллектуальный программный модуль ScanTronic™ позволяет пользователю быстро начать получать качественные достоверные результаты на своих образцах в АМ-АСМ.

(эффекта парашютирования), возбуждения обратной связи и перескоков между режимами притяжения и отталкивания в АМ-АСМ, обеспечивая получение высококачественных достоверных результатов на образцах с различными характеристиками поверхности.

Алгоритм модуля выявляет дефекты во время процедуры настройки и устраняет или уменьшает их за счет оптимизации параметров обратной связи, а также настройки величины амплитуды колебаний кантилевера, значения рабочей точки (сет-пойнт) и скорости сканирования.

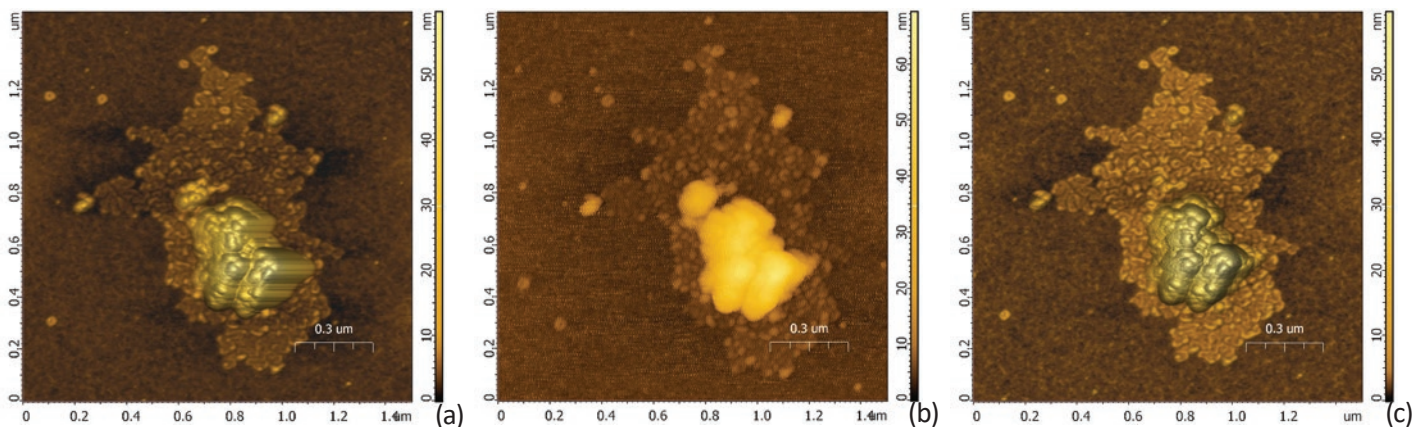


Рис. 2. Изображение рельефа поверхности фторалканов на кремнии, полученное при недостаточной (а), избыточной (б) и оптимальной (с) величине коэффициентов усиления обратной связи. При недостаточной величине мелкий рельеф воспроизводится хорошо, но на высоких объектах возникает дефект типа «затяжки» («парашютирование»). При избыточной величине изображение становится зашумленным из-за возбуждения обратной связи. При оптимальной величине усиления обратной связи мелкий и крупный рельеф воспроизводятся без дефектов и с минимальным шумом

На рис. 2 представлен пример неоптимальной настройки обратной связи (слева и в центре) в сравнении с изображением, когда коэффициенты усиления обратной связи подобраны оптимально. Один из наиболее распространенных дефектов в АМ-АСМ, который вызван перескоками между режимами притяжения и отталкивания, обусловлен неправильным выбором величины амплитуды колебаний зонда и значения сет-пойнт. Рельеф на таких изображениях выглядит «рваным» и во многих случаях вместе с некачественными результатами может привести исследователя к

неверным выводам. ScanTronic™ устраняет или значительно минимизирует этот тип дефектов благодаря надежному контролю силы путем автоматической настройки амплитуды и рабочей точки в соответствии со свойствами образца и позволяет контролируемо сканировать только в режиме притяжения или отталкивания. На рис. 3 приведены примеры изображений, полученных в режиме притяжения и в случае, когда происходят перескоки между режимами притяжения и отталкивания.

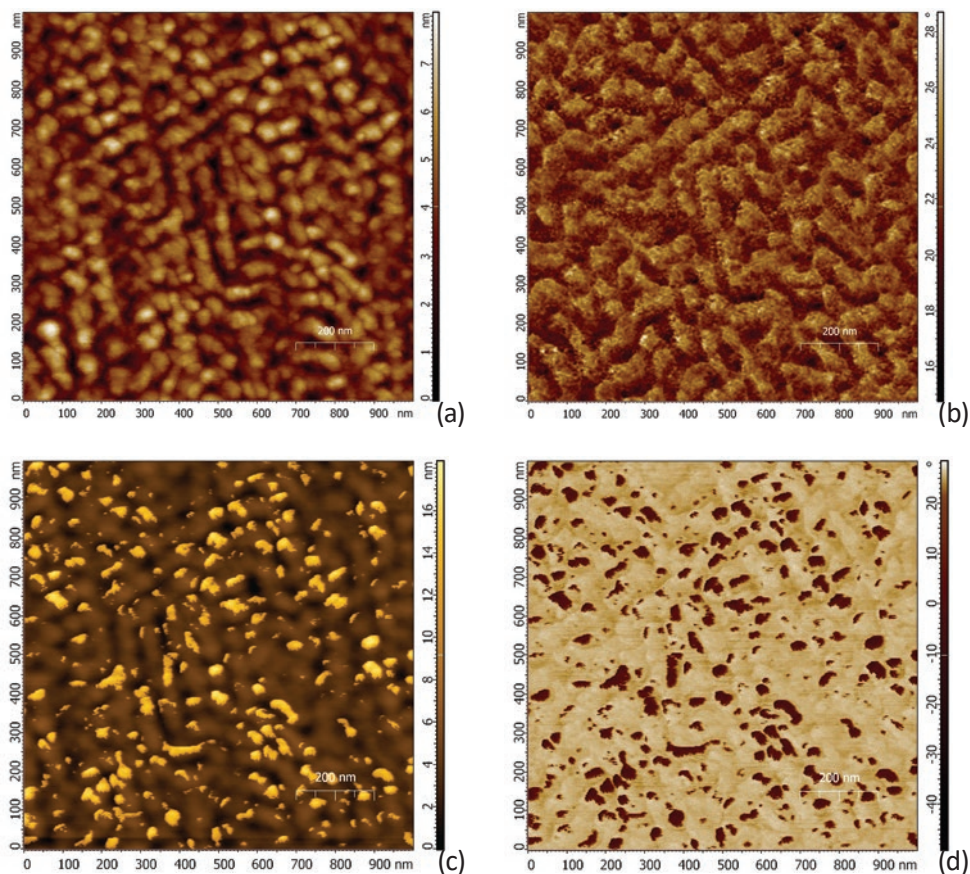


Рис. 3. (а) - изображения рельефа и фазового контраста, (b) - PS-*b*-PMMA, полученные при сканировании в режиме притяжения. (с) - изображения рельефа и фазового контраста, (d) - с дефектами, вызванными перескоками между режимами притяжения и отталкивания. Светлые области на изображении рельефа и соответствующие им темные на изображении фазового контраста обусловлены изменением режима колебаний зонда

Одним из преимуществ сканирования в режиме притяжения является сохранение остроты зонда, что значительно увеличивает его срок службы. Однако, наличие на поверхности отдельных участков с крутым рельефом, например, одиночно лежащей крупной частицы, может привести к повреждению острия. Алгоритм ScanTronic отслеживает сигнал ошибки обратной связи и препятствует

разрушению острия зонда в процессе настройки и сканирования.

Программный модуль ScanTronic™ также позволяет стабильно контролировать малую силу взаимодействия образца с зондом в режиме притяжения и делает визуализацию сложных и мягких образцов повторяемой и рутинной процедурой.

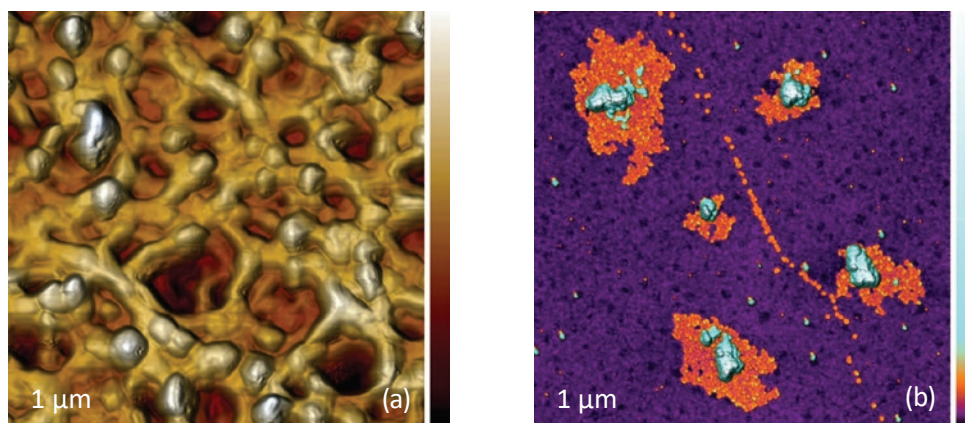


Рис. 4. Изображения рельефа нитроцеллюлозной мембраны с шероховатой поверхностью (слева) и частиц фторолакана, слабо связанными с поверхностью (справа)

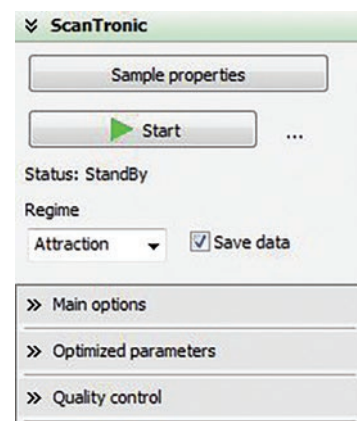


Рис. 5. Интерфейс модуля ScanTronic™

Модуль ScanTronic™ имеет дружелюбный интерфейс, который позволяет сразу запускать процедуру получения изображения (рис. 5). Для проведения измерения, в зависимости от задачи, выбирается режим притяжения или отталкивания в AM-ACM, а затем начинается сканирование.

В то же время все индикаторы качества изображения и расширенный набор элементов управления по-прежнему доступны для опытных пользователей, которые хотят иметь полный контроль параметров в процессе сканирования.

Наличие на поверхности образца областей с относительно резкими перепадами высот может привести к тому, что на крутых участках могут возникнуть дефекты, связанные с отрывом зонда от поверхности («парашютирование»). Часто бывает так, что изображение почти всей сканируемой поверхности имеет высокое качество и такого рода дефекты проявляются только на нескольких небольших участках, как правило, связанных с отдельными частицами. В результате качество

полученного изображения оказывается неприемлемым и требуется повторное сканирование данной области.

Встроенный в программу алгоритм GTransform™ позволяет устранять дефекты «парашютирования» на изображении рельефа. В результате из изображения посредственного качества получается вполне приемлемый результат, как это показано на рис. 6.

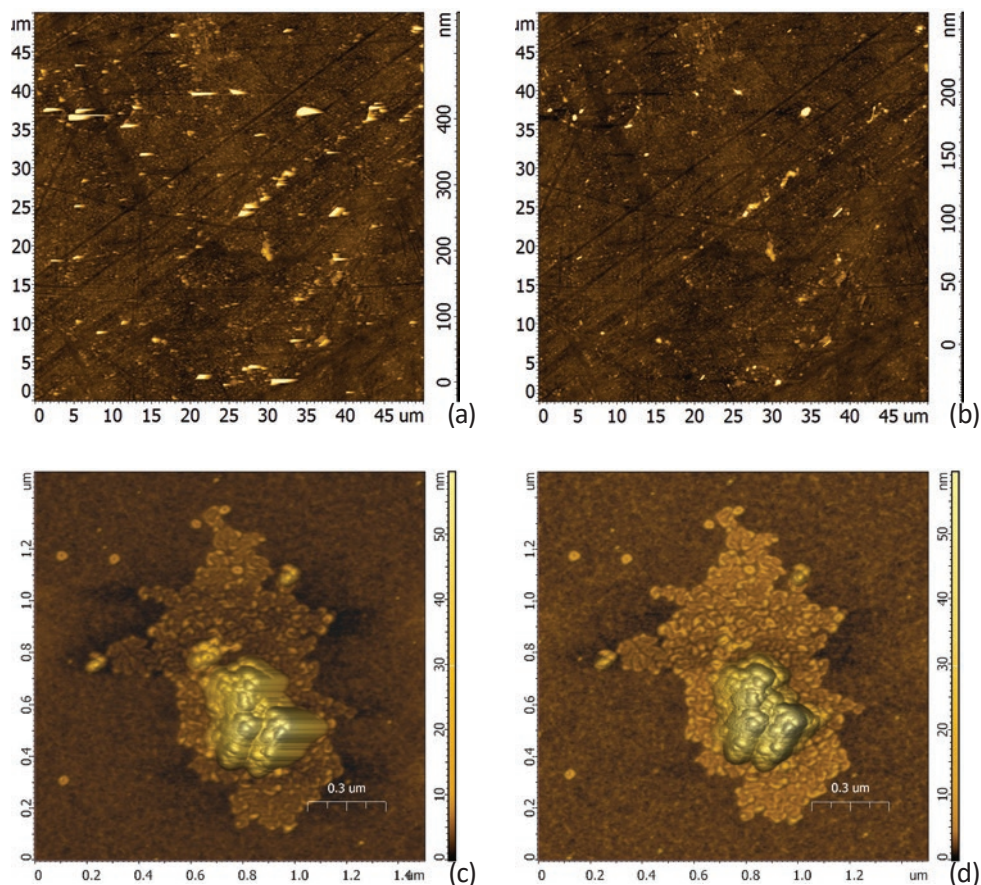


Рис. 6. Изображение рельефа до и после применения GTransform™ для коррекции эффекта «парашютирования». GTransform™ устраняет «затяжки», возникающие из-за отрыва зонда от поверхности на объектах с крутым склоном.

Кроме того, алгоритм GTransform™ позволяет извлечь из сканированного изображения значимую информацию. Действительно, изображения фазового контраста, тока растекания или латеральных сил содержат наряду с информацией, связанной с гетерогенностью свойств поверхности, также контраст, обусловленный рельефом, который в некоторых случаях может в значительной степе-

ни маскировать карту характеристики, связанную с гетерогенностью свойств поверхности. На рис. 7 приведен пример применения алгоритма GTransform™ для извлечения из изображения фазового контраста информации, непосредственно связанной со свойствами материала, путем устранения искажений, обусловленных влиянием рельефа поверхности на сигнал смещения фазы.

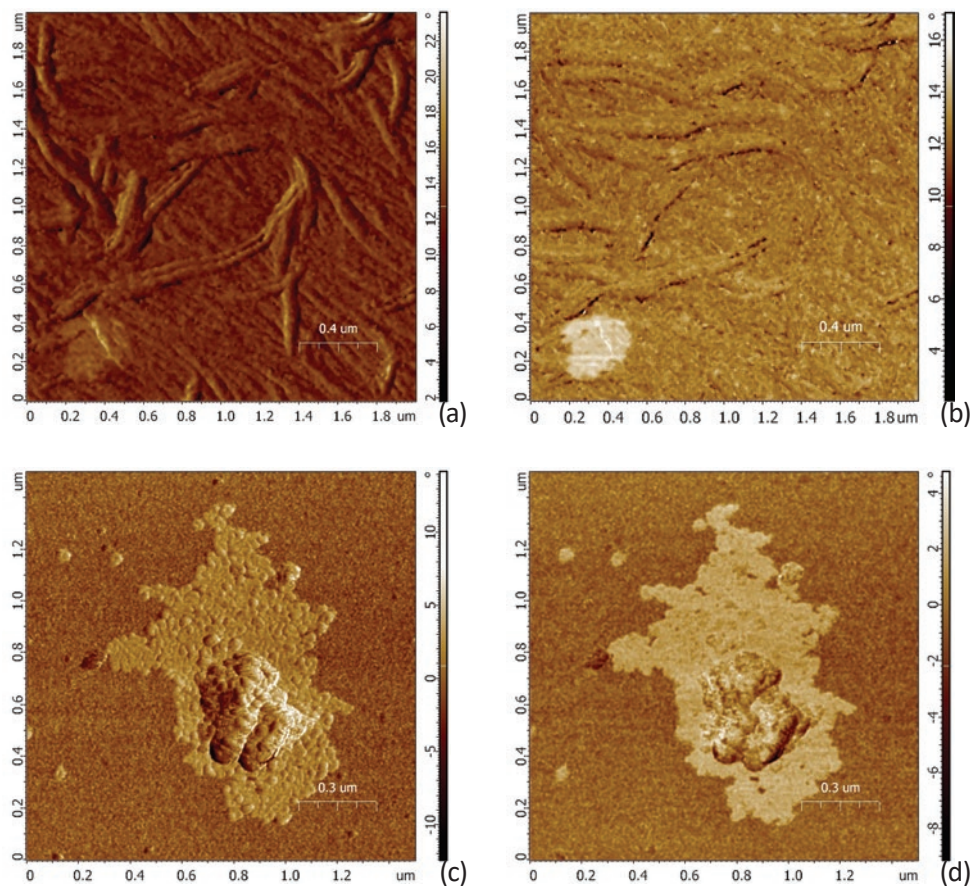


Рис. 7. Изображение фазового контраста агрегатов молекул красителя до (a) и после (b) удаления эффекта влияния рельефа с помощью GTransform™. (c) и (d) - применение GTransform™ для карты фазового контраста агрегатов молекул фторалкана

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для начинающих пользователей ACM интеллектуальный программный модуль ScanTronic™ значительно облегчает путь к получению высококачественных AM-АСМ изображений с оптимизацией одним щелчком мыши и без трудоемкого обуче-

ния. Опытным исследователям программный модуль ScanTronic™ помогает высвободить время, которое в противном случае было бы потрачено на создание рутинных изображений, не жертвуя при этом контролем над процедурой.