

АРТЕФАКТЫ ЗОНДА И СКАНЕРА В АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Как и в случае с любым другим микроскопическим методом, в атомно-силовой микроскопии (АСМ) могут возникнуть проблемы. Некоторые из них происходят из-за неправильного использования микроскопа оператором, а некоторые из-за определенных характеристик образца. Различные вопросы возникают из-за типа используемого инструмента или из-за повреждения зонда. Некоторые из проблем являются артефактами, присущими технике. Знание этих вопросов важно для правильного сбора и интерпретации данных. В этой статье описываются распространенные для атомно-силовой микроскопии артефакты, вызванные неидеальной формой зонда и артефакты сканера, а также способы решения таких ситуаций.

Так, в атомно-силовой микроскопии несовершенные зонды приводят к несовершенным изображениям, и это самый распространенный артефакт, наблюдаемый в атомно-силовой микроскопии. В атомно-силовой микроскопии данные артефакты зонда вызывают проблемы, так как зонд обычно вступает в физический контакт с образцом. Поскольку зонд может изменяться во время сканирования, это приводит к проблемам на изображении. Обычно, проблемы с зондами в атомно-силовой микроскопии легко устраняются, например, путем замены поврежденного или загрязненного зонда новым.

В целом, большинство артефактов может быть исправлено или предотвращено внимательным пользователем, но первым шагом в этом процессе является знание того, как распознать артефакты, которые могут возникнуть.

Артефакты зонда возникают, когда форма зонда неидеальна. В АСМ, как и во многих других методах, данные на выходе всегда зависят от природы зонда. Изображение, полученное на любом микроскопе, является сверткой зонда и образца. В случае АСМ идеальной ситуацией является наличие зонда с диаметром наконечника, меньшим, чем наивысшее требуемое разрешение. Зонд также должен иметь высокое соотношение сторон, чтобы он мог доходить до дна любого углубления или ям на поверхности образца, с минимальным контактом между сторонами зонда и сторонами элементов образца. Настоятельно рекомендуется чтобы лаборатории АСМ были оснащены образцом для определения характеристик наконечника зонда, чтобы диагностировать проблемы, связанные с зондами. Для этой цели можно использовать несколько типов образцов, в том числе золотые коллоиды, пористый алюминий и тонкие пленки со множеством острых шипов. В идеале зонд должен иметь изотропную форму: то есть он должен быть

приблизительно конусообразным с наконечником сфероида. В этих условиях в большинстве случаев не произойдет значительных изменений формы. Также очень часто небольшая часть образца прилипает к наконечнику и меняет его форму, что приводит к искажениям на изображениях. Повреждение наконечника также может произойти из-за разрушения материала зонда ввиду приложения больших усилий. Если кантилевер загрязнен, возможно, его можно будет почистить, в то время как сломанный кантилевер не может быть исправлен и можно только осуществить замену на новый. В целом, в большинстве случаев лучше всего перейти на новый зонд.

Таким образом, изображение обычно содержит пирамидальные элементы, когда возникают артефакты из-за неидеальной формы зонда. Любое изображение пирамид, встречающихся в АСМ-изображении, должно анализироваться с осторожностью, поскольку они очень часто являются артефактами.

Вторая наиболее распространенная категория артефактов в атомно-силовой микроскопии – это артефакты сканера. АСМ-сканер позволяет позиционировать и перемещать зонд относительно образца с точностью до субнанометра, но при этом высокое эффективное увеличение и чувствительность атомно-силового микроскопа означает, что небольшие ошибки в позиционировании или перемещении в сканере могут быть довольно очевидными. Сканеры АСМ подвержены множеству различных артефактов, которые в некоторой степени зависят от их конструкции. Их часто можно избежать или уменьшить, если пользователь знает, что искать. Также могут возникать другие различные артефакты, некоторые из которых обнаруживаются только при выполнении определенных видов измерений, а некоторые могут быть непреднамеренно введены во время обработки изображений.

В АСМ движение зонда относительно образца осуществляется с помощью сканера, который переводит напряжение, создаваемое управляющей электроникой, в нано- или микрометрическое движение. Почти во всех случаях сканеры основаны на пьезоэлектрических кристаллах, которые расширяются или сжимаются в зависимости от полярности приложенного к ним напряжения. В целом, сканеры страдают от ряда недостатков, которые приводят к определенным артефактам изображения. Не все АСМ-сканеры одинаковы, так как используется много разных конструкций и некоторые из них уменьшают или устраняют часть артефактов. Следует помнить, что пьезоэлектрики являются довольно чувствительными материалами: они хрупкие и легко ломаются, а также могут деполяризоваться под воздействием тепла или воды, что сделает их бесполезными. Поэтому со сканерами АСМ следует обращаться осторожно и всегда поддерживать их в сухой комнатной температуре.

Первым основным артефактом, связанным со сканером, является нелинейность в плоскости $x - y$. В целом, реакция пьезоэлектриков на напряжение нелинейна. Несмотря на то, что существует ряд способов

улучшить или уменьшить этот эффект, если его не исправить, это может привести к серьезным искажениям на изображении. Есть несколько способов исправить или улучшить линейность в сканерах АСМ. Можно использовать программную коррекцию нелинейности. Успех этого подхода зависит от сложности алгоритмов, используемых для коррекции линейности, а также от сложности искажений, присущих конкретной конструкции сканера. Недостатком этого подхода является то, что он делает калибровку сканера сложнее и снижает вероятность получения высокоточных результатов. Другой способ заключается в использовании так называемой конструкции сканера с обратной связью. В дополнение к пьезоэлектрикам для обеспечения движения зонда относительно образца в сканер включены датчики смещения, чтобы измерить, насколько далеко фактически перемещается сканер. Эта информация передается обратно в сканер, чтобы гарантировать, что он перемещается на точное требуемое расстояние.

В практике данный метод может найти применение в сферах высокой необходимости безопасности. Например, таможенный контроль и экспертиза. Использование метода атомно-силовой микроскопии предоставляет уникальную возможность исследовать органические объекты, не используя сложных методов фиксации, а также анализировать их структуру на атомном уровне. Это может помочь в выявлении структуры перевозимых предметов на соответствие их с заявленными в декларации.

Таким образом на практике существует довольно широкий спектр артефактов, которые можно встретить в АСМ. Из них артефакты, возникающие из-за повреждения зонда, являются наиболее распространенными. Такие ситуации могут быть неприятными и трудоемкими, но их легко диагностировать и устранить. Знание того, как распознать и избежать этих артефактов, делает визуализацию АСМ значительно проще и продуктивнее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Michael Hollas J. Modern spectroscopy. // Modern spectroscopy. Wiley, Hoboken, NJ, 2004. — С. 71.
2. Spence J. High-resolution Electron Microscopy, 3rd edn // Oxford University Press, New York, 2003. – С. 432
3. Ramirez-Aguilar KA, Rowlen KL. Tip characterization from AFM images of nanometric spherical particles // Langmuir, NJ, 1998. — С. 71.
4. Eaton P, West P. Instrumental aspects of AFM. // Oxford University Press, Oxford, 2010. — С. 148.