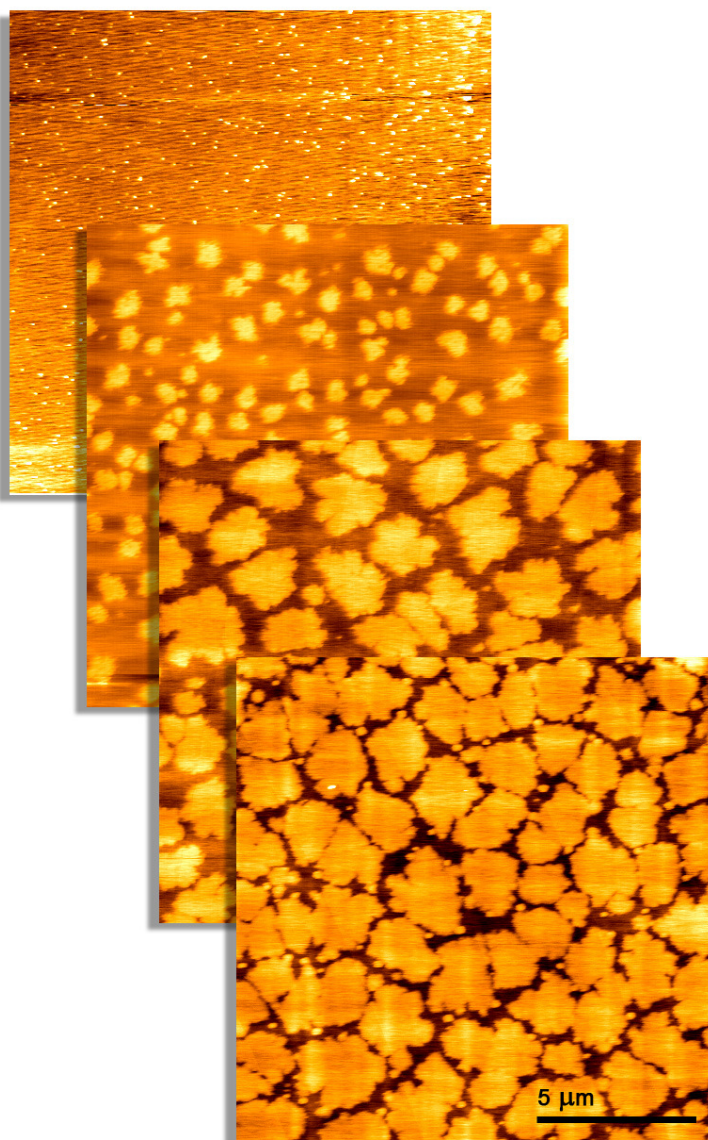


Примеры использования СЗМ для решения задач в материаловедении и нанотехнологии

В этой главе приводится несколько примеров решения реальных задач методами СЗМ. Эта глава не преследует своей целью проиллюстрировать все методики, описанные в пособии. Здесь собраны некоторые интересные сканы, которые сможет получить любой читатель, овладевший основами теории СЗМ, которым посвящен этот курс, и получивший первые практические навыки работы с аппаратурой.

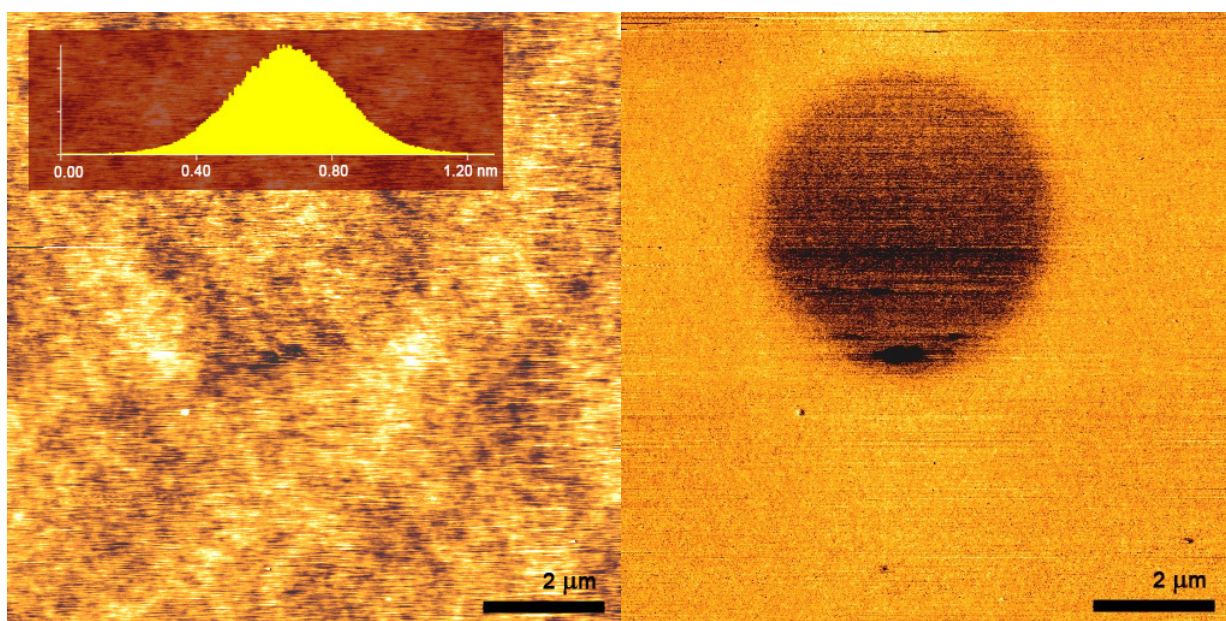
Исследование кинетики роста самоорганизованных монослоев ОТС



Самоорганизованные монослои – интересные объекты, представляющие собой один слой упорядоченных органических молекул на подложке. Один их наиболее изученных классов

монослоев – монослои октадецилтрихлорсилана (ОТС) на кремниевых подложках. Молекулы ОТС образуют связи с гидроксигированной поверхностью кремния и между собой. Но образование монослоя из молекул происходит не сразу – слой растет островками. Исследование кинетики этого процесса – достаточно сложная задача. СЗМ является в этом случае, пожалуй, уникальным методом. Контактная атомно-силовая микроскопия была применена для получения сканов поверхности кремниевых подложек, которые были выдержаны в ростовом растворе в течение различного времени. На сканах видно, как постепенно растут островки монослоя (их высота составляет около 1,4 нм). Компьютерная обработка позволяет определить количество островков и площадь – параметры важные для дальнейшего построения кинетических зависимостей.

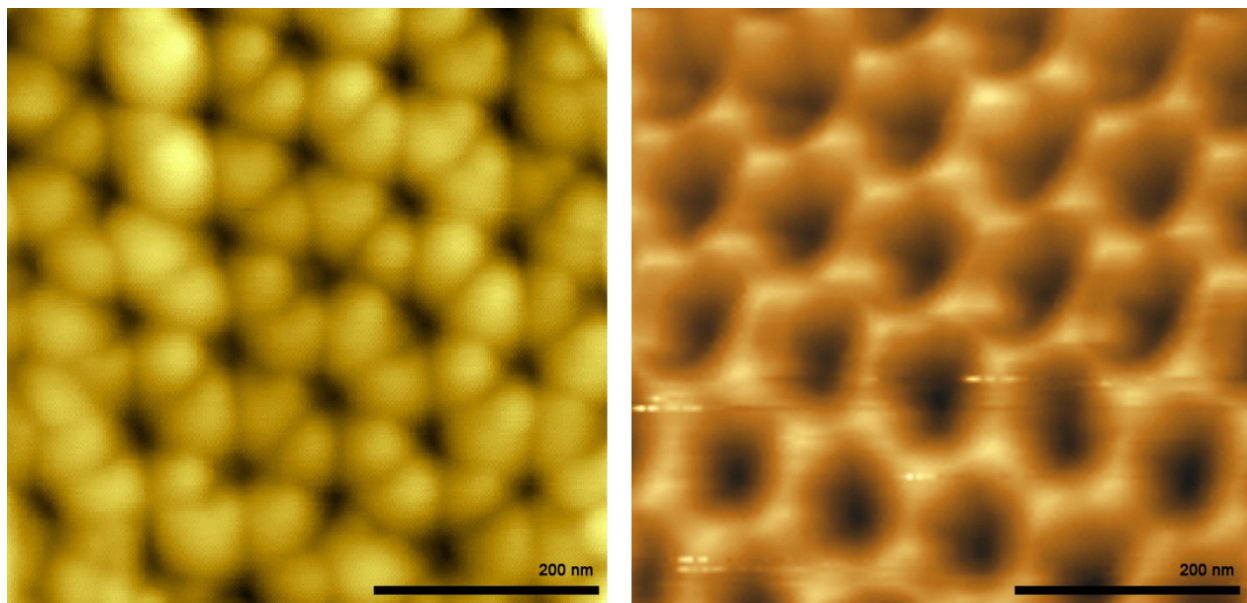
Локальное окисление тиольных самоорганизованных монослоев под действием лазерного излучения



Это другой пример исследования монослоев методами СЗМ. Только здесь речь идет о монослое, образованном тиолом на стекле, покрытом слоем платины. Монослой сформировался за счет образования связей – S – Pt. Слева показана топография поверхности, полученная методом контактной АСМ в режиме постоянной силы. На врезке приведена гистограмма распределения точек скана по высоте. Статистический анализ этой гистограммы позволяет определить среднеквадратичную шероховатость поверхности – параметр, очень часто измеряемый при помощи АСМ. Среднеквадратичная шероховатость поверхности – это фактически среднеквадратичное отклонение точек скана по высоте от среднего значения высоты.

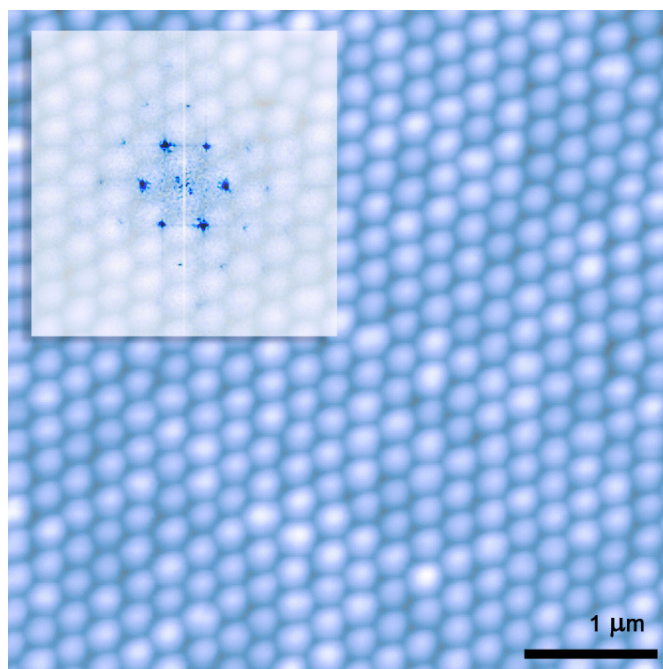
Существенно более интересно правое изображение – оно представляет собой скан того же фрагмента поверхности, выполненный методом МЛС. Темное пятно – это область никак не выделяющаяся топографически, но имеющая резко отличающийся коэффициент трения. Это пятно сформировалось при импульсе облучения монослоя аргоновым ионным лазером на воздухе. Возможно, изменение трения связано с локальным окислением монослоя под действием лазера.

Определение диаметра пор в анодированном оксиде алюминия



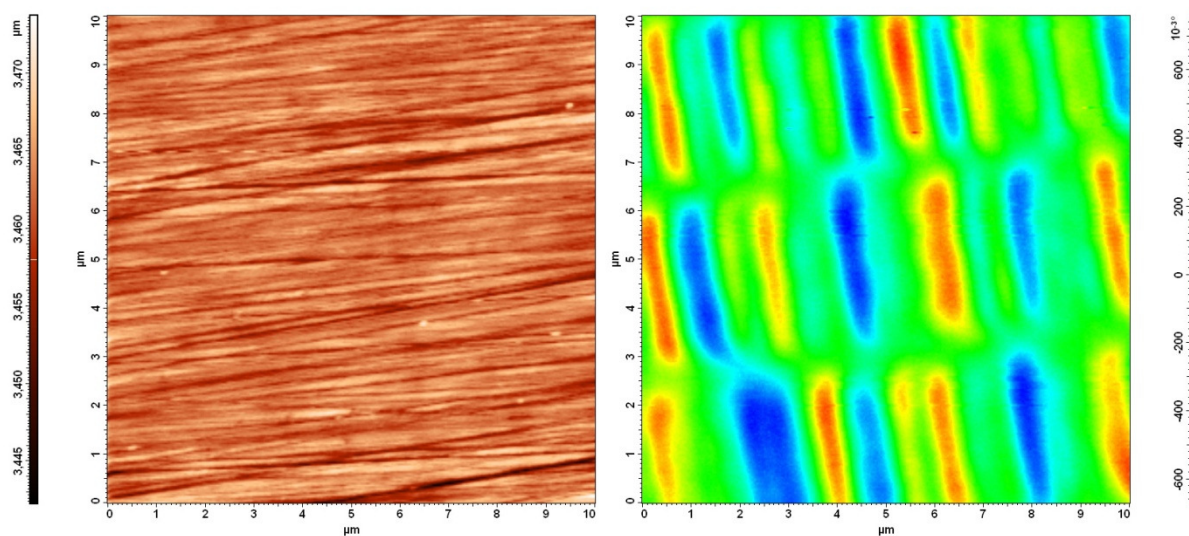
Анодированный оксид алюминия – другой пример самоорганизованных наноструктур. Он получается при электрохимическом травлении алюминия, а его параметры могут быть эффективно исследованы при помощи СЗМ. Два приведенных скана выполнены полуконтактным методом в одном и том же масштабе в одной и той же области одного образца. Тем не менее размер пор, определяемый по двум изображениям совершенно разный. Это вызвано использованием различных зондов. Правый скан выполнен иглой с высоким аспектным соотношением и радиусом кривизны острия менее 1 нм, поэтому он отображает реальную картину поверхности. Скан слева сделан существенно более тупой иглой, и на изображении присутствует эффект игловой свертки. Поэтому определение размера таких глубоких пор следует проводить по сканам, сделанным высокоаспектными острыми иглами.

Изучение поверхности фотонных кристаллов для определения периода кристалла



В этом примере при помощи полуконтактной АСМ был получен скан поверхности фотонного кристалла – объекта, состоящего из коллоидных микросфер SiO_2 . На врезке приведен результат двумерного преобразования Фурье над полученным изображением. Анализ Фурье-образа скана позволяет определить симметрию и периодичность фотонного кристалла.

Распределение магнитных полей на поверхности жесткого диска



Этот пример – это стандартная тестовая задача для проверки работоспособности МСМ перед проведением реальных измерений. На сканах приведена топография (слева) и распределение намагниченности (справа) компьютерного жесткого диска. Изображение топографии было получено на первом проходе полуконтактным методом, а МСМ контраст – методом слежения за фазой колебаний на втором проходе (динамическая МСМ).

Самое важное в этой главе

- В главе приведено несколько примеров задач, которые вы смогли бы решить и сами на зондовом микроскопе. Главное в работе на СЗМ – аккуратность и критическое отношение к результатам, которые могут быть искажены за счет влияния многих эффектов.

Источники для самостоятельного изучения

- В интернете можно найти большое количество примеров решения самых различных задач на СЗМ. Сканы и их описания могут быть найдены и на web-страницах производителей зондов и микроскопов, научных групп и лабораторий.

Контрольные вопросы

- С чем могут быть связаны ошибки при проведении метрологии микро- и нанообъектов по СЗМ сканам?
- Какую обработку сканов следует применять при изучении параметров периодических структур?
- Как проводят анализ шероховатости поверхности?

Дополнительные вопросы

- Все сканы в этой главе приведены после компьютерной обработки. Какая компьютерная коррекция применяется практически ко всем изображениям, полученным на СЗМ?
- Важной и активно развивающейся областью СЗМ является исследование биообъектов с помощью сканирующих микроскопов. Какие биомолекулы и объекты на сегодня могут быть изучены с помощью СЗМ? Какая пробоподготовка требуется?