

Лабораторная работа по курсу Вакуумная электроника

Атомно-силовой микроскоп

Выдренкова Екатерина
752 группа

г. Долгопрудный
2019 год

1 Цели работы:

- Практическое ознакомление с физическими принципами функционирования атомно-силового микроскопа и основными методиками измерения
- Изучение сканирующего зондового микроскопа NanoEducator (измерения проводятся в атомно-силовом бесконтактном режиме)

2 Теоретическое введение

При взаимодействии с поверхностью образца макроскопическая гибкая консоль (кантилевер) с острой иглой под действием атомных сил может быть изогнута на достаточно большую величину, чтобы быть измеренной с помощью обычных средств. В настоящее время наиболее удобным и широко используемым является метод, предложенный Амером и Мейером. В соответствии с предложенным методом атомно-силовой микроскоп включает иглу, установленную на микромеханический кантилевер. В процессе сканирования исследуемой поверхности межатомные силы взаимодействия кончика иглы и поверхности образца вызывают смещение иглы и, соответственно, изгиб кантилевера.

Луч лазера направляется на кантилевер и отражается от него для измерения изгиба кантилевера. Отраженный лазерный луч детектируется позиционно-чувствительным (двухсекционным) фотоприемником. Выходной сигнал с двухсекционного фотоприемника подается на компьютер для выработки данных, отражающих рельеф поверхности образца с атомарным разрешением. Используемые в настоящее время позиционно-чувствительные фотодетекторы являются четырехсекционными и позволяют измерять не только продольные, но также и торсионные изгибы кантилевера.

Кантилевер может изгибаться не только под действием непосредственно контактных сил, но также и под действием сил, действующих на расстоянии – относительно короткодействующих Ван-дер-Ваальсовых и более дальнедействующих электрических и магнитных сил. В процессе сканирования кантилевер может совершать колебания. Колебания могут происходить в непосредственном контакте иглы с поверхностью образца, без касания поверхности образца в процессе колебаний и с частичным касанием поверхности (с прерывистым контактом). Сканирование может осуществляться в несколько проходов, каждый новый проход может давать дополнительную информацию относительно исследуемого образца.

Бесконтактный режим работы. В этом режиме используется принцип определения «модуляции амплитуды». Соответствующая измерительная схема использует изменения амплитуды колебаний кантилевера, обусловленные взаимодействием зонда с образцом.

Резонансная частота колебаний кантилевера изменяется при изменении градиента силы $\partial F/\partial z$ (при приближении зонда к поверхности) по сравнению со свободно резонирующим кантилевером (вдали от поверхности) в соответствии с выражением:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{1 - \frac{1}{k_0} \frac{\partial F}{\partial z}}$$

Если возбуждающая частота колебаний кантилевера $\omega_{set} > \omega_0$, то сдвиг резонансной частоты в сторону меньших значений приводит к уменьшению амплитуды колебаний f_{set} кантилевера с частотой ω_{set} при приближении к образцу.

Эти изменения амплитуды A используются в качестве входного сигнала в системе обратной связи. Для получения сканированного изображения необходимо прежде всего выбрать некую амплитуду A_{set} в качестве уставки, при этом $A_{set} < A(\omega_{set})$ когда кантилевер находится вдали от поверхности образца. Система обратной связи подводит кантилевер поближе к поверхности, пока его мгновенная амплитуда A не станет равной амплитуде A_{set} при заданной частоте возбуждения колебаний ω_{set} . Начиная с этой точки может начаться сканирование образца в x - y плоскости с удержанием системой обратной связи $A = A_{set} = constant$. Система обратной связи подводит кантилевер ближе к образцу, если A_{set} уменьшается в какой-либо точке, и отодвигает кантилевер от образца, если A_{set} увеличивается. В целом, как следствие вышеизложенной модели в пределе малых A сканированное изображение может рассматриваться как рельеф постоянного градиента силы взаимодействия зонд-образец.

Бесконтактный режим работы обладает тем преимуществом, что зонд не контактирует с образцом и поэтому не разрушает его и не искажает его изображения.

3 Экспериментальная часть

3.1 Оценка степени остроты зонда с помощью калибровочной поверхности TGT01 (новый кантилевер)

1. Настроим резонансную частоту зонда. Изображение резонансного пика на рис.1.

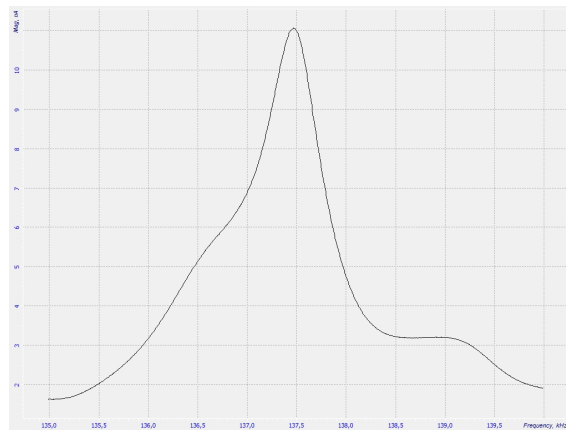


Рис. 1: Резонансный пик кантилевера (эксперимент 3.1)

3.1 Оценка степени остроты зонда с помощью калибровочной поверхности TGT01 (новый кантилевер) ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

- Исследуем топографию решетки. Получим изображение образца и "изображение" распределение амплитуды колебаний кантилевера по поверхности (рис. 2).

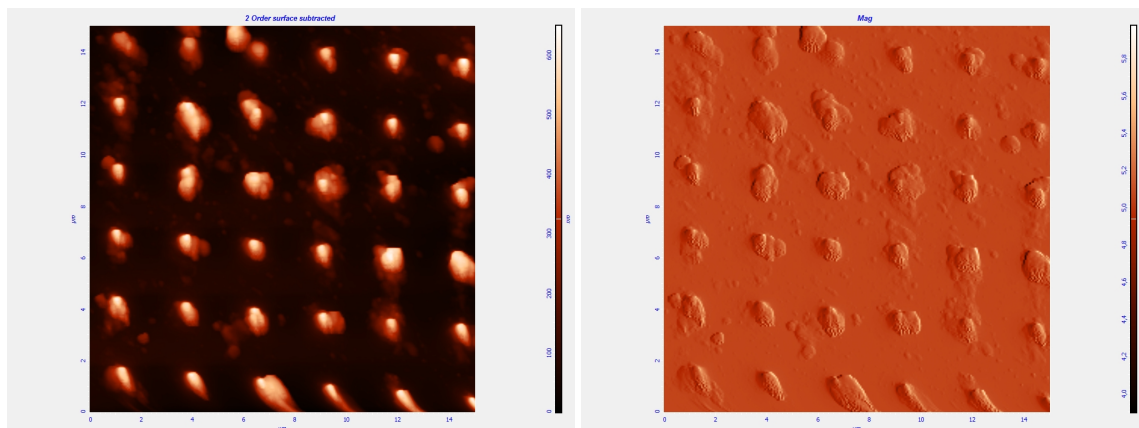


Рис. 2: Изображение образца (слева) и распределение амплитуды (справа) (эксперимент 3.1)

- Сняла характерное сечение вдоль одного из полученных на скане выступов (рис. 3). Зная, что радиус закругления острия исследуемой решетки порядка 10 нм, оценим радиус закругления зонда - 10 нм.

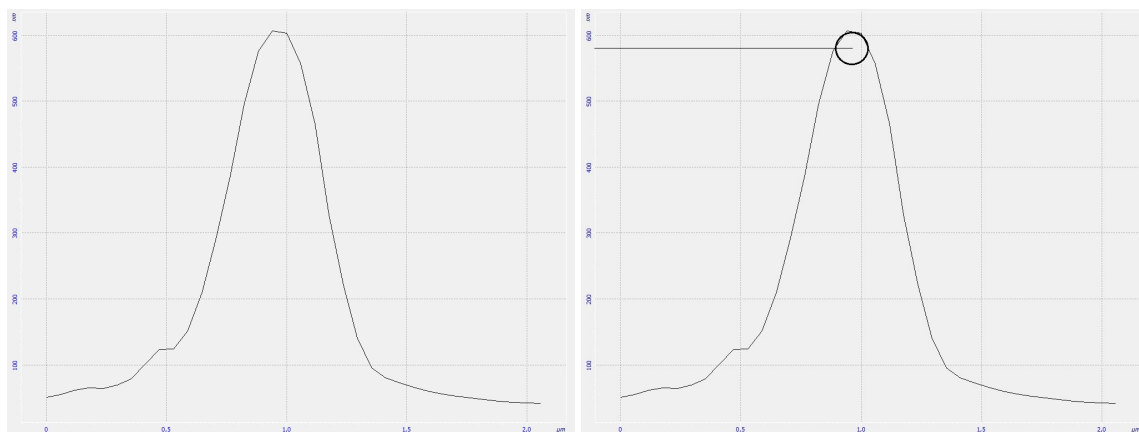


Рис. 3: Сечение вдоль выступа (эксперимент 3.1)

- Сняла зависимость амплитуды колебаний зонда от расстояния зонд-образец (рис. 4).

3.2 Оценка степени остроты зонда с помощью калибровочной поверхности TGT01 (использованный кантилевер)

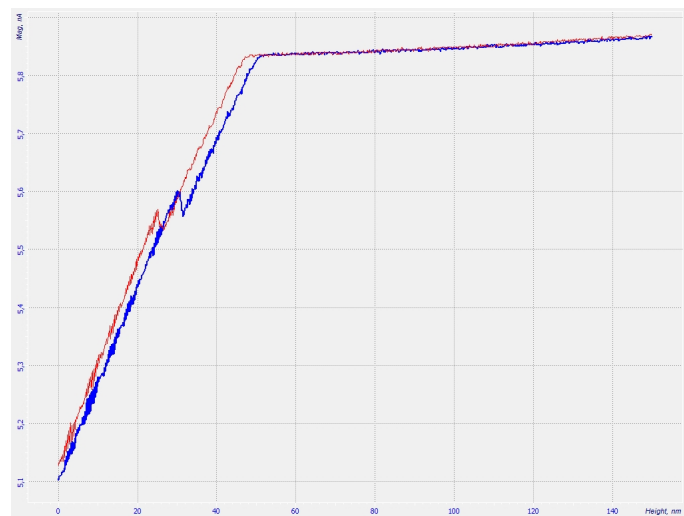


Рис. 4: Зависимость сигнала MAG от смещения вдоль оси Z (эксперимент 3.1)

3.2 Оценка степени остроты зонда с помощью калибровочной поверхности TGT01 (использованный кантилевер)

1. Настроим резонансную частоту зонда. Изображение резонансного пика на рис.5.

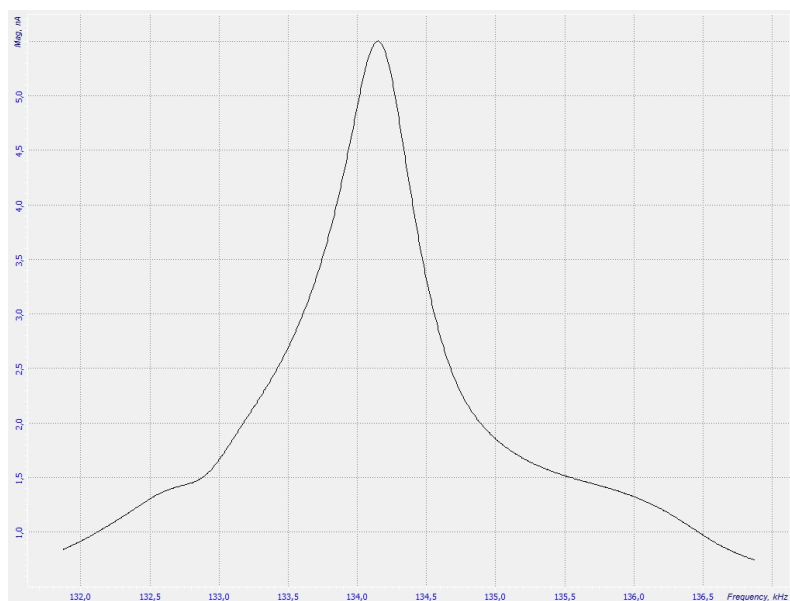


Рис. 5: Резонансный пик кантилевера (эксперимент 3.2)

2. Исследуем топографию решетки. Получим изображение образца и "изоб-

3.2 Оценка степени остроты зонда с помощью калибровочной поверхности TGT01 (использованная в эксперименте)

ражение" распределение амплитуды колебаний кантилевера по поверхности (рис. 6).

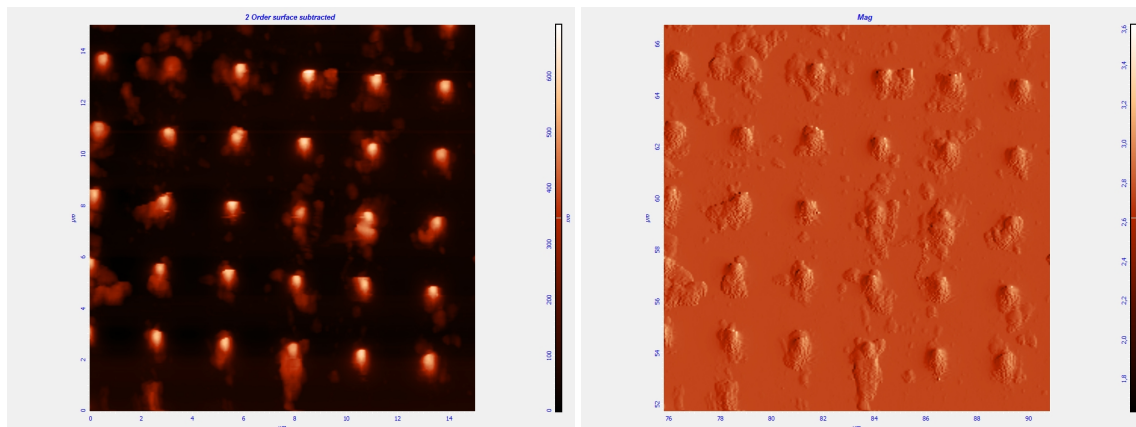


Рис. 6: Изображение образца (слева) и распределение амплитуды (справа) (эксперимент 3.2)

3. Сняла характерное сечение вдоль одного из полученных на скане выступов (рис. 7). Зная, что радиус закругления острия исследуемой решетки порядка 10 нм, оценим радиус закругления зонда - 30 нм.

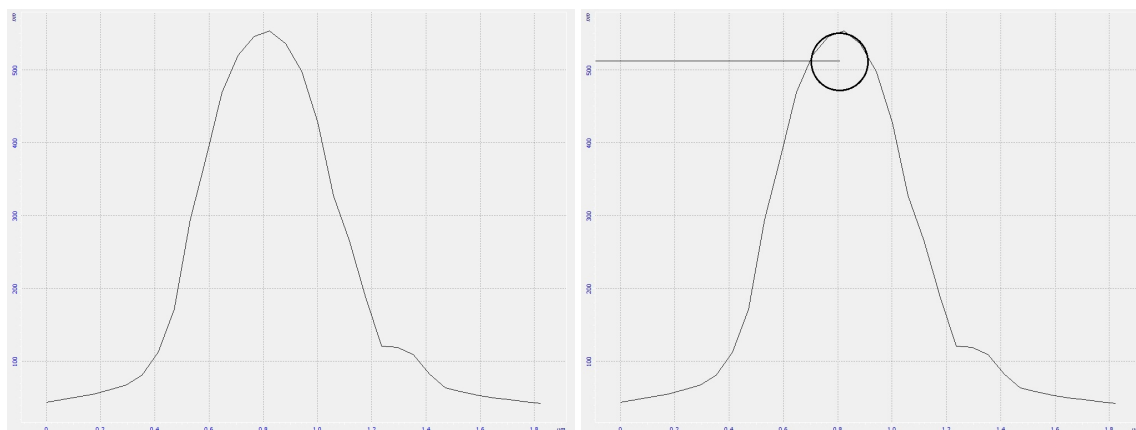


Рис. 7: Сечение вдоль выступа (эксперимент 3.2)

4. Сняла зависимость амплитуды колебаний зонда от расстояния зонд-образец (рис. 8).

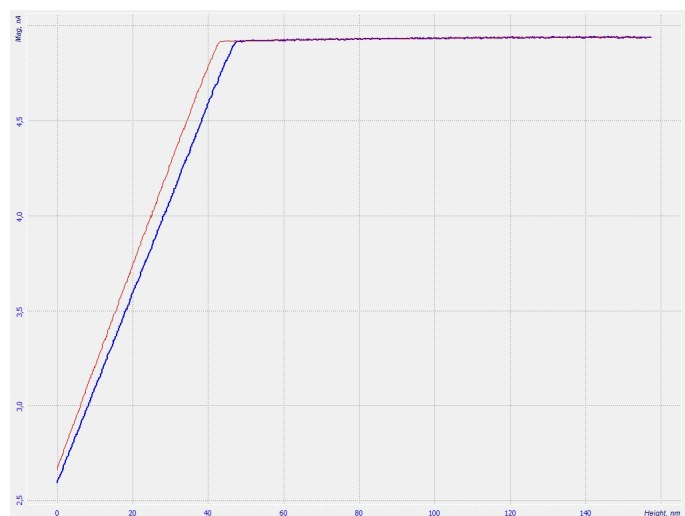


Рис. 8: Зависимость сигнала MAG от смещения вдоль оси Z (эксперимент 3.2)

3.3 Исследование тестового образца

1. Настроим резонансную частоту зонда. Изображение резонансного пика на рис.9.

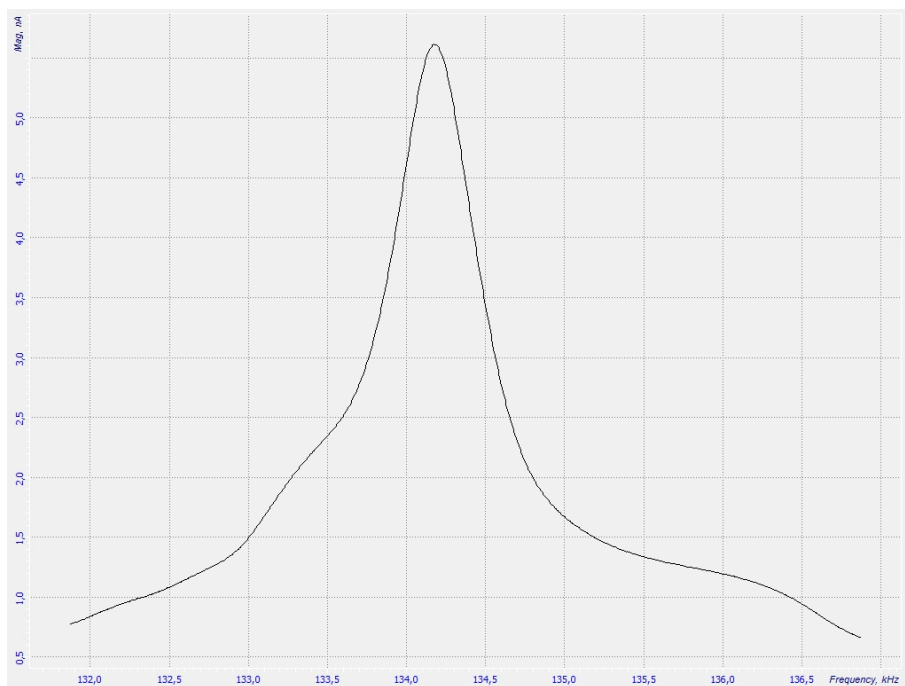


Рис. 9: Резонансный пик кантилевера (эксперимент 3.3)

2. Исследуем топографию решетки. Получим изображение образца и "изображение" распределение амплитуды колебаний кантилевера по поверхности (рис. 10).
3. Сняла характерное сечение вдоль разрезов (рис. 11).

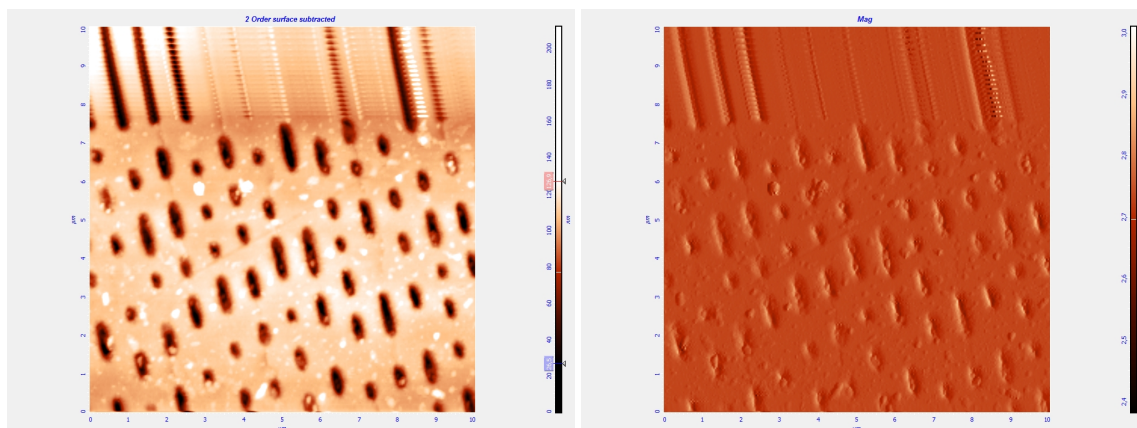


Рис. 10: Изображение образца (слева) и распределение амплитуды (справа) (эксперимент 3.3)

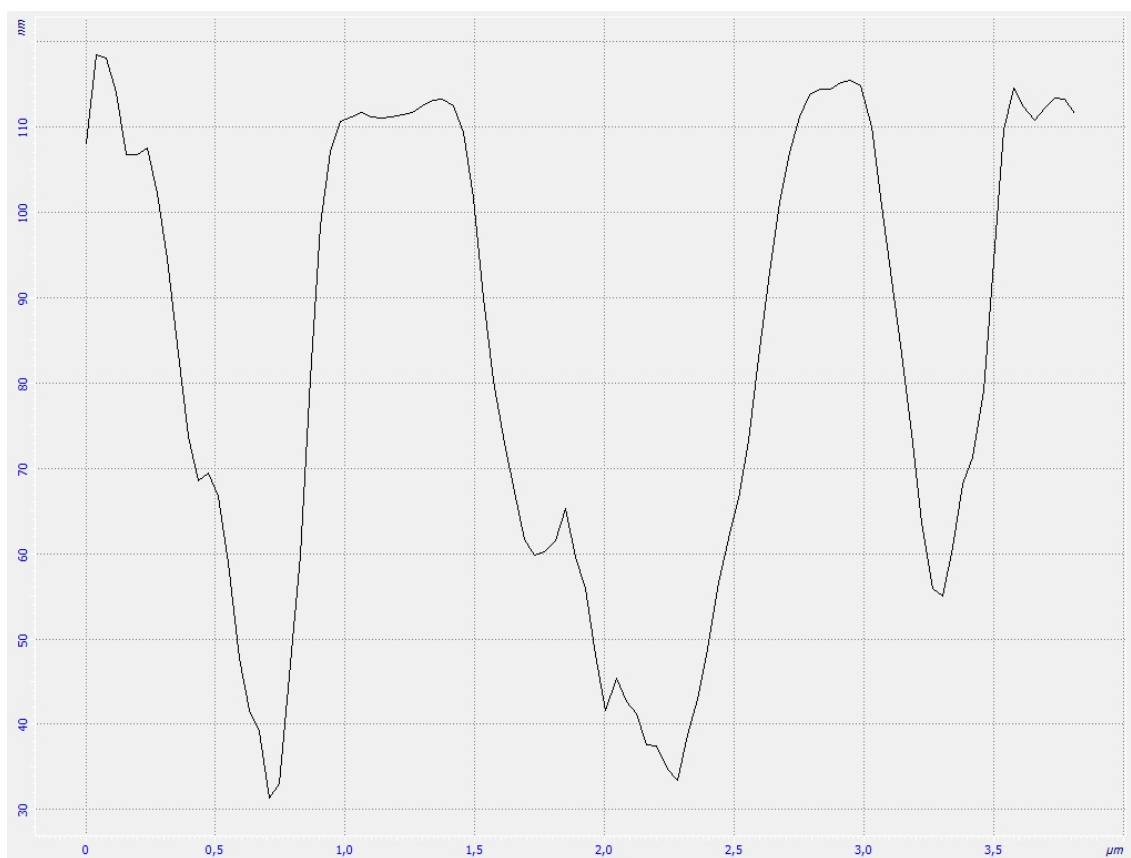


Рис. 11: Сечение вдоль "разрезов" CD-диска (эксперимент 3.3)