

### 2.3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СТРУКТУР С ПОМОЩЬЮ СЗМ

**Цель работы:** получить практические навыки в области обработки и количественного анализа СЗМ-изображений.

#### Задание по работе

1. Выбрать один из предназначенных для проведения работы образцов: образец 1 – дифракционная решетка, покрытая токопроводящей пленкой, образец 2 – пленка золота на кремниевой подложке (тестовый образец TGZ3 (маркировка фирмы НТ-МДТ) или любой другой по выбору преподавателя).
2. Осуществить подбор зонда с наиболее характерной амплитудно-частотной характеристикой (одиночный симметричный максимум) согласно процедуре, представленной в руководстве пользователя комплекса NanoEducator.
3. Получить эталонное СЗМ-изображение. Получение изображения выполняется на одном приборе под контролем преподавателя.  
Для образца 1: выполнить визуализацию поверхности образцов с использованием следующих методов: метод постоянной силы, метод отображения фазы, метод постоянного тока.  
Для образца 2: выполнить визуализацию поверхности образцов с использованием следующих методов: метод постоянной силы, метод постоянного тока.
4. Провести обработку полученного изображения. Обработка экспериментальных данных каждым студентом проводится индивидуально.
5. Проанализировать результаты работы, сформулировать краткие выводы по работе, оформить отчет и представить его к защите.

#### Методические указания по выполнению работы

Перед выполнением заданий данного практического упражнения необходимо выполнить все работы, предусмотренные практической работой № 1 «Подготовка и проведение СЗМ-эксперимента».

Последовательность действий для визуализации структур с помощью СЗМ следующая:

Включите комплекс NanoEducator и запустите управляющую программу аналогично последовательности, отработанной в практической работе № 1, выберите конфигурацию ССМ (кнопка F).

Установите образец 1 и зондовый датчик (в соответствии с указаниями инструкции).

Выполните процедуру предварительного подвода (*Fast Landing*); выполните процедуру *Resonance*.

Проведите захват взаимодействия *Landing*.

Откройте окно сканирования (рис. 2.21), уменьшите величину взаимодействия (*Amplitude Suppression*) до величины 0,1 с помощью правого ползунка в окне *Interaction* (это окно вызывается при нажатии кнопки *Set Interaction* на панели окна *Scanning*).

Убедитесь, что взаимодействие не потеряно (величина *Z* на индикаторе *Z* значительно не изменилась), и выполните измерение рельефа пробного участка площадью *Scan Area*:  $5000 \times 5000$  nm, при скорости сканирования *Velocity* = 3000 nm/s.

Выберите область сканирования площадью  $\sim 15\,000 \times 15\,000$  nm в левом нижнем углу окна *Area*.

Проведите сканирование с использованием метода отображения фазы (*Phase Image*) ССМ (после каждого эксперимента обязательно выполните операцию *Save Experiment*, иначе полученные данные будут утрачены).

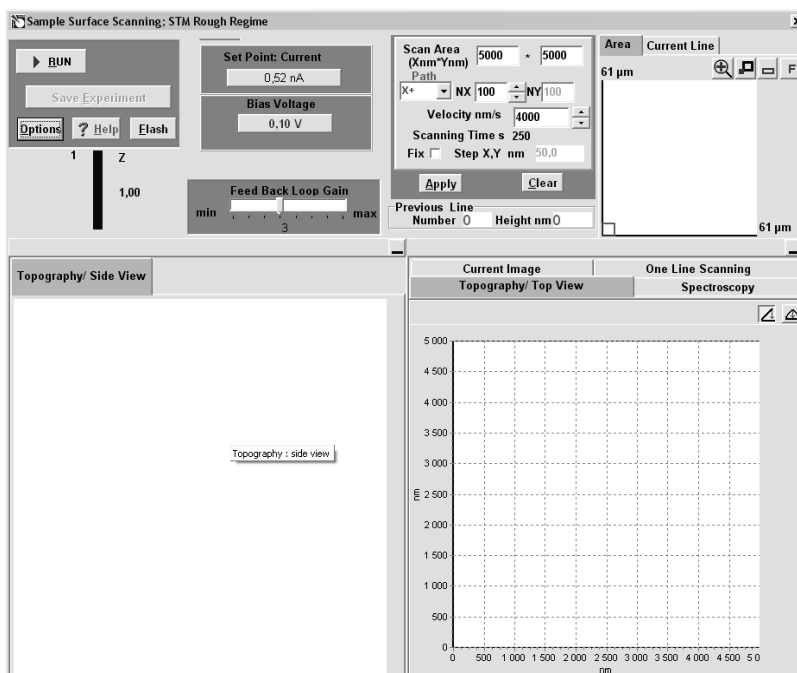


Рис. 2.21. Окно управления параметрами сканирования

Закройте окно сканирования и с помощью приборной панели, установите режим СТМ (кнопка Т).

Выполните захват взаимодействия (если это необходимо) (рис. 2.22) при следующих параметрах:

<i>Set point</i>	0,5 nA;
<i>Integrator delay</i> (в меню <i>Options</i> )	1000 ms;
<i>Feed Back Loop Gain</i>	3;

*Bias Voltage* 0,2 V.

После захвата взаимодействия с целью уменьшения шумов установите следующие значения параметров:

*Feed Back Loop Gain* 1;

*Set Point* 2 nA.

Если величина *Z* на индикаторе начнет уменьшаться, увеличьте один из параметров *Feed Back Loop Gain* или *Set Point*, пока величина *Z* не восстановится.

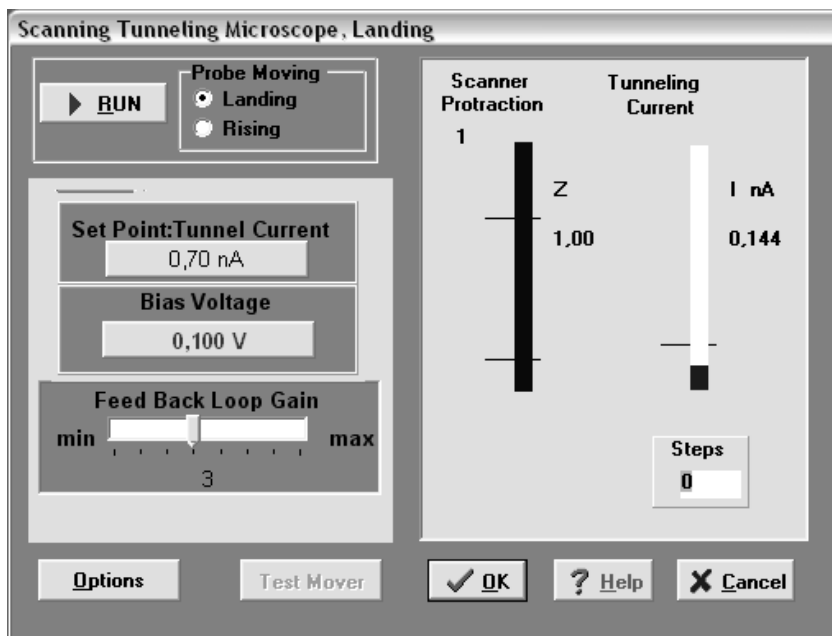


Рис. 2.22. Окно управления параметрами захвата взаимодействия (*Landing*)


Откройте окно сканирования и выполните измерение рельефа образца 1, не изменяя параметров сканирования (не забывайте сохранять результаты после эксперимента).

После окончания эксперимента закройте окно сканирования и осуществите отвод зонда от образца.

Установите образец 2 и зондовый датчик (в соответствии с указаниями инструкции) и установите метод СТМ.

Выполните предварительный подвод (*Adjust*).


Проведите захват взаимодействия *Landing*. После захвата взаимодействия установите первоначальные параметры.

Перейдите к процедуре сканирования. Для улучшения качества изображения рекомендуется перейти в режим *Fine* (кнопка  на закладке *Area*).

Выберите область сканирования площадью  $\sim 1000 \times 1000$  nm на поле сканирования *Area*. Установите параметры эксперимента:

$Velocity = 1000 \text{ nm/s}$ , количество точек измерения в линии  $NX = 100$  (шаг сканирования  $Step X, Y$  при этом будет  $\sim 10 \text{ nm}$ ).

Запомните результат, закройте окно сканирования.

Отменить режим *Fine* (кнопка  на закладке *Area*), отведите зонд от образца (в режиме *Landing*).

Установите конфигурацию ССМ. Последовательно выполните пункты 4–7.

Выполните измерение рельефа в режиме *Fine* (кнопка  на закладке *Area*).

Проанализируйте полученные результаты, оформите их в виде отчета и сформулируйте основные выводы по работе.

Примечание. В случае плохого качества изображений рекомендуется поменять зонд либо провести его травление.

### Порядок оформления отчета по лабораторной работе

Отчет оформляется в виде журнала лабораторных работ и должен содержать:

1. Краткую теоретическую часть.
2. Схематическое изображение или фотографию сканирующего зондового микроскопа NanoEducator с указанием его основных частей.
3. Фотографии или эскизы исследуемых образцов.
4. Фотографию или эскиз полученного на экране изображения образцов.
5. Обработку результатов исследования
6. Выводы.

### Контрольные вопросы

1. Каковы принципы сканирующей зондовой микроскопии?
2. Как устроена система автоматического регулирования СЗМ?
3. Какими факторами определяются быстродействие, точность и стабильность слежения за микрорельефом?
4. Перечислите методы измерений СЗМ?
5. Дайте общую характеристику метода постоянного тока (Constant Current mode)?
6. Дайте общую характеристику метода постоянной высоты (Constant Height mode)?
7. Дайте общую характеристику метода отображения работы выхода?
8. Дайте общую характеристику метода  $I(z)$ -спектроскопии?
9. Дайте общую характеристику метода  $I(V)$ -спектроскопии (or Current Imaging Tunneling Spectroscopy, CITS)?
10. Дайте общую характеристику метода постоянной силы (Constant Force mode)?
11. Дайте общую характеристику контактного метода рассогласования (Contact Error mode)?

12. Дайте общую характеристику микроскопии латеральных сил (Lateral Force Microscopy)?
13. Дайте общую характеристику метода модуляции силы (Force Modulation mode)?
14. Дайте общую характеристику отображения силы растекания (Spreading Resistance Imaging)?
15. Дайте общую характеристику контактной электростатической силовой микроскопии (ЭСМ) (Contact EFM)?
16. Дайте общую характеристику атомно-силовой акустической микроскопии (АСАМ) (Atomic-force acoustic microscopy, AFAM)?
17. Дайте общую характеристику АСАМ-резонансной спектроскопии (AFAM Resonance Spectroscopy)?
18. Дайте общую характеристику прерывисто-контактной сканирующей силовой микроскопии?
19. В чем суть прерывисто-контактного метода?
20. Перечислите основные особенности прерывисто-контактного метода расогласования (Semicontact Error mode)?
21. В чем состоит суть метода отображения фазы (Phase Imaging mode)?
22. Перечислите особенности бесконтактной атомно-силовой микроскопии (Noncontact AFM)?
23. Какие многопроходные методики (Many-pass techniques) вы знаете? Дайте их сравнительные характеристики?
24. В чем состоит статическая магнитно-силовая микроскопия (СМСМ) (DC Magnetic Force Microscopy, DC MFM)?
25. Каковы особенности динамической магнитно-силовой микроскопии (ДМСМ) (AC Magnetic Force Microscopy, AC MFM) вы знаете?
26. Дайте общую характеристику электростатической силовой микроскопии (ЭСМ) (Electrostatic Force Microscopy, EFM)?
27. В чем суть метод зонда Кельвина (Kelvin Probe Microscopy)?
28. Укажите особенности сканирующей емкостной микроскопии (СЭМ) (Scanning Capacitance Microscopy, SCM)?
29. В чем суть ближнепольной оптической микроскопии (БОМ)?