

Д.М. Насирова¹, М.М. Мырзатай¹, А. Усенова¹, Б. Нұрахмет¹

¹Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

АДАПТИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ СММ-2000 К НАУЧНЫМ РАБОТАМ ОБУЧАЮЩИХСЯ, ПО ИЗУЧЕНИЮ ПОВЕРХНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация

В данной работе приводятся возможности устройства "Сканирующий мульти-микроскоп СММ-2000", как одного из наиболее современных методов измерения характеристик материалов и диагностика особенностей малоразмерных систем. «Сканирующий мульти-микроскоп СММ-2000» предназначен для измерений геометрических и физических параметров топографии поверхности образцов с нанометровым пространственным разрешением. Кратко изложен принцип работы устройства и представлены параметры ручной и автоматической настроек.

На примере сканирования образца № 2 – золото на слюде продемонстрированы графические результаты, которые показывают секционный анализ для выделенной области кадра, также показаны результаты параметров шероховатости поверхности выделенной области. Описана возможность проведения Фурье-анализа, морфологического анализа, корреляционного анализа, фрактального анализа, и др.

Ключевые слова: образец, АСМ-режим, фрактальный анализ поверхности, анализ шероховатости поверхности.

Аңдатпа

Д.М. Насирова¹, М.М. Мырзатай¹, А. Усенова¹, Б. Нұрахмет¹

¹Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

СММ-2000 ҚҰРЫЛҒЫСЫН, ӘРТҮРЛІ МАТЕРИАЛДАРДЫҢ БЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ БОЙЫНША БІЛІМ АЛУШЫЛАРДЫҢ ҒЫЛЫМИ ЖҰМЫСЫНА БЕЙІМДЕУ

Бұл жұмыста материалдардың сипаттамаларын өлшеудің және шағын өлшемді жүйелердің ерекшеліктерін диагностикалаудың ең заманауи әдістерінің бірі ретінде СММ-2000 сканерлеу мульти-микроскопы құрылғысының мүмкіндіктері келтірілген. "Сканерлеуші мульти-микроскоп СММ-2000" нанометрлік кеңістіктік өлшемді үлгілердің беткі қабатының топографиясының геометриялық және физикалық параметрлерін өлшеуге арналған. Құрылғының жұмыс принципі қысқаша сипатталған және колмен және автоматты түрде орындалатын параметрлер көрсетілген.

№2 Слюдадағы алтын үлгіні сканерлеу мысалында графикалық нәтижелер көрсетілген, олар таңдалған аймақ бөлігіне жүргізілген секциялық талдауды, сонымен қатар таңдалған аймақтың бетінің кедір-бұдырлық параметрлерінің нәтижелерін көрсетеді. Фурье-талдау, морфологиялық талдау, корреляциялық талдау, фракталдық талдау және т. б. жүргізу мүмкіндігі сипатталған.

Түйін сөздер: үлгі, АСМ-режим, беттің фрактальді талдауы, беттің кедір-бұдырлығын талдау.

Abstract

ADAPTATION OF THE SMM-2000 INSTALLATION TO STUDENTS SCIENTIFIC WORKS ON STUDYING THE SURFACE OF VARIOUS MATERIALS

Nassirova D.M.¹, Myrzatay M.M.¹, Ussenova A.¹, Nurakhmet B.¹

Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

This paper presents the capabilities of the device "Scanning multi-microscope SMM-2000" as one of the most modern methods for measuring the characteristics of materials and diagnostics of features of small-size systems. The SMM-2000 scanning multi-microscope is designed for measuring geometric and physical parameters of the surface topography of samples with nanometer spatial resolution. The principle of operation of the device is briefly described and the parameters of manual and automatic settings are presented. On the example of scanning sample No. 2 - gold on mica, graphical results are shown that show sectional analysis for the selected area of the frame, and the results of the surface roughness parameters of the selected area are also shown. Described the possibility of carrying out Fourier analysis, morphological analysis, correlation analysis, fractal analysis, etc.

Keywords: sample, AFM mode, fractal surface analysis, surface roughness analysis.

Электронная и сканирующая зондовая микроскопия дают уникальную возможность измерения характеристик материалов и диагностики особенностей малоразмерных систем. Сканирующая зондовая микроскопия включает в себя сканирующую туннельную микроскопию, а также различные

варианты сканирующей силовой микроскопии, так, в частности – атомно-силовую микроскопию (АСМ) [1, 2].

Если рассмотреть конструкцию доступного нам микроскопа (на базе лаборатории ЛПИТОФ, КазНПУ им.Абая), то можно выделить следующие его особенности и технические характеристики:

1) «Сканирующий мульти-микроскоп СММ-2000» предназначен для измерений геометрических и физических параметров топографии поверхности образцов с нанометровым пространственным разрешением, причем для этой процедуры помещать исследуемый образец в вакуум нет необходимости;

2) устройство дает возможность работать в 2-х режимах - атомно-силовой режим и сканирующий-туннельный режим.

Таблица 1. Технические характеристики устройства

№	Характеристика	Значение
1	Разрешение	По вертикали (Z) - 0.3 Å; По латерали (XY) для СТМ-режима - 3 Å; для АСМ-режима - 10 Å
2	Поле кадра	От 15/15 мкм до 100/100 Å Глубина до 2 мкм
3	Допустимый размер образца	Длина: от 5 мм до 10 мм; Ширина: от 3 мм до 10 мм Высота: от 0,5 мм до 3 мм
4	Позиционирование зонда	3 мм по (Z) 6/6 по (XY)

Устройство «СММ-2000» работает в режиме контактной атомно-силовой микроскопии, если регистрируемым сигналом является сигнал отгиба зонда-кантилевера, а в случае регистрации амплитуды колебаний говорят о вибрационном режиме работы зонда-кантилевера; кантилевер представляет собой упругую балку с иглой [3].

Если регистрируемым и поддерживаемым на заданном уровне сигналом является туннельный ток, то говорят, что устройство «СММ-2000» работает как сканирующий туннельный микроскоп (STM), при этом туннельный ток будет проходить при приложении напряжения между электропроводными зондом-иглой и образцом [3]. Т.е. данный режим эффективен только в случае исследования электропроводящих материалов.

Группой исследователей, в которую вошли студенты 4 курса по специальности 5В060400-Физика и магистранты 1 курса по специальности 7М05302-Физика, в тестовом режиме была запущена работа устройства СММ-2000 по изучению и анализу кадров тестового образца № 2 – золота на слюде (Рисунок 1).



Рисунок 1. Тестовые образцы

В АСМ-режиме был применен кантилевер для "контактной" АСМ-моды, на который не было необходимости подачи напряжения, т.к. в данном режиме микроскоп работает без протекания какого-либо тока на электропроводных или неэлектропроводных образцах, а посредством сил межмолекулярного взаимодействия. Образец № 2 был установлен на столик и зазор между ним и кантилевером составил 0,5 мм (норма 0,3-1 мм). Для получения высококачественных кадров с атомарным разрешением необходима правильная установка АСМ-столика, это проделывается с помощью регулировки винтов 1, 2, 3, 4. При такой регулировке, луч лазера будет менять свое направление, а именно, пройдя через фокусирующие линзы в теле АСМ-столика сначала попадает на первое зеркало (оно поворачивается в вертикальной оси рычажком от винта 2) (Рисунок 2).

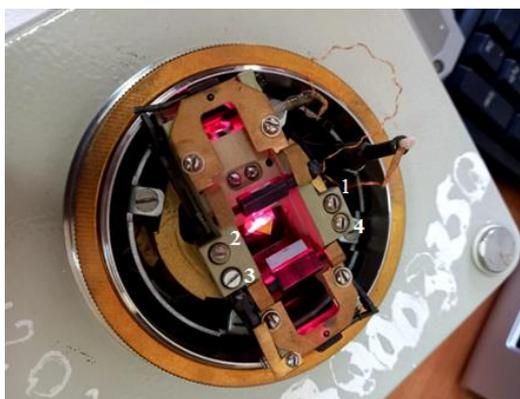


Рисунок 2. Установка АСМ-столика
1, 2, 3, 4 - винты для наведения луча лазера на нужную балку

Далее луч идёт на второе зеркало (поворачивается в горизонтальной оси рычажком от винта 1), и далее попадает на «спину» кантилевера. Под "спиной" кантилевера подразумевается обратная относительно игловок сторона кантилевера, которая покрыта золотом для наилучшего отражения луча [4 - 6]. Данные манипуляции называют ручными настройками устройства, после которого идет процесс настройки через программное обеспечение. После ручной настройки АСМ-столика было запущено окно управления микроскопом "SMM – 2000N ControlPanel" и кнопками Mode в правой верхней части этого окна нами был установлен «F» – режим АСМ (Рисунок 3). Под надписью Mode вместо параметров СТМ-режима появляются параметры АСМ-режима, пользовались только двумя параметрами - $F(nN)$ и $F0(nN)$ (в этом параметре не надо пользоваться знаком, он должен быть всегда «+», это мода отталкивания). Параметр $F(nN)$ показывает сигнал с фотодиода АСМ-столика, он соответствует углу изгиба нажимающего на образец кантилевера. Параметр $F0(nN)$ отвечает за смещение сигнала с фотодиода АСМ-столика, задающееся оператором.



Рисунок 3. Окно управления микроскопом «SMM-2000N Control Panel»

Кнопка «FB» должна быть всегда включена, и ее параметр должен поддерживаться на постоянном уровне после подвода иглы к образцу как при неподвижном состоянии, так и при сканировании. Оптимальными считаются и используются значения $F0(nN)$ от 5 до 30, в нашем случае нами

установлено значение 20. От силы, с которой кантилевер действует на образец, напрямую зависит качество получаемых изображений, чем меньше $F_0(nN)$, тем меньше сила нажима на образец и тем хуже будет отслеживание рельефа образца, малые значения $F_0(nN)$ нужно использовать на мягких образцах [4]. Помехи установленного сигнала $F(nN)$ будут значительными из-за флуктуаций воздуха. Так как вблизи образца воздух будет привязан к образцу, т.е. почти неподвижен, то и шум сильно уменьшится. Но вблизи образца луч лазера, который бьёт не только на балки кантилевера, но также попадает и на образец, и, отражаясь от образца, будет попадать на фотодиод, при этом смещая его сигнал $F(nN)$ в положительную область. Из-за этого надо установить сигнал $F(nN)$ до подвода к образцу немного в отрицательную область, чтобы не подстраивать смещение этого сигнала вблизи образца при подводе.

Итак, на этом подстройка винтов в АСМ-столике завершается и далее запускается процесс сканирования. Кадр 1 образца № 2, для секции размером 10,42 мкм, показал следующие графические данные (рисунок 4):

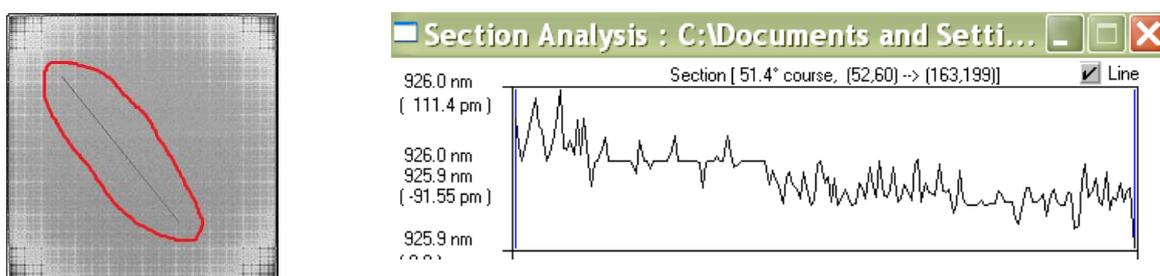


Рисунок 4. Секционный анализ для выделенной области Кадра 1

Кадр 2 образца № 2, для секции размером 427 нм (рисунок 5):

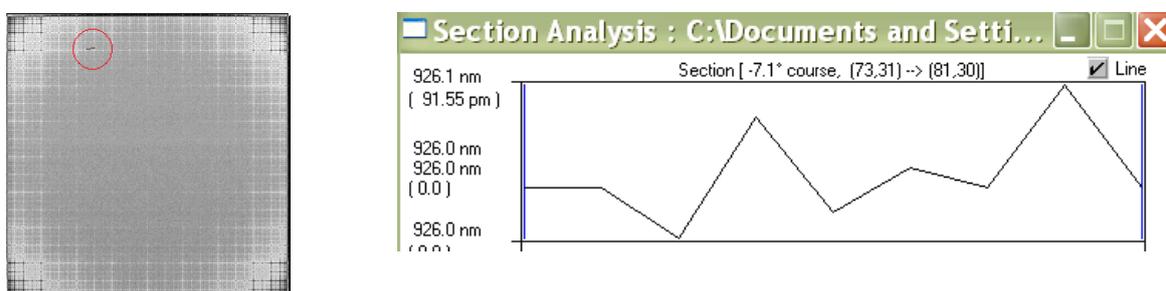


Рис. 5. Секционный анализ для выделенной области Кадра 2

Сопоставляя графические данные рисунков 4 и 5 можем сделать анализ пиков, которые показывают топографию поверхности Образца № 2 (поверхность не имеет идеальную гладкость).

Далее для данного кадра был проделан анализ на шероховатость поверхности, совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами на базовой длине. Шероховатость относится к микрогеометрии твёрдого тела и определяет его важнейшие эксплуатационные свойства.

Из рисунка 6 можно увидеть, что базовая длина (Base) изучаемой области составила 5,44 мкм, значение ширины (Sm) составил 325,5 нм, локальная ширина 226,4 нм, наибольшая высота профиля колебалась в пределах 44,06 пм до - 43,50 пм, уровень сечения профиля составляет от 44,06 пм до - 19,72 пм.

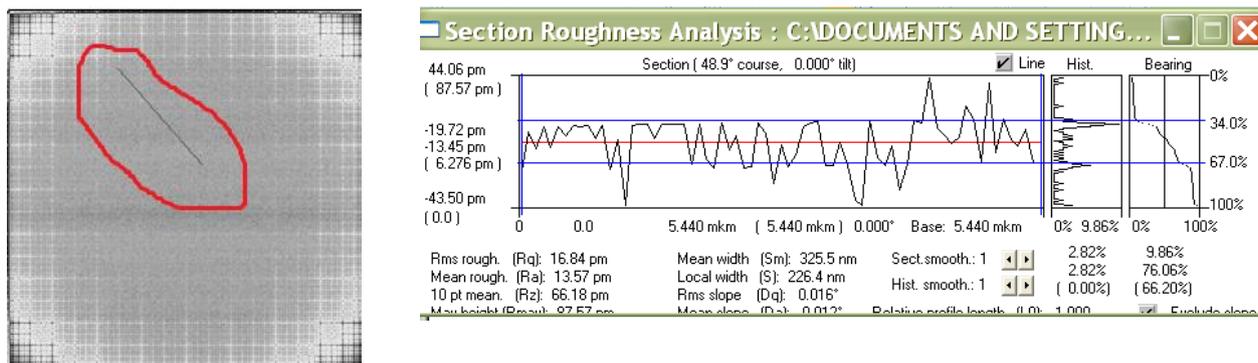


Рисунок 6. Параметры шероховатости поверхности выделенной области Кадр 3

Фрактальный анализ кадра показал следующие данные: объекты в интервале размеров 129,9 нм - 1,819 мкм имеют минимальную фрактальную размерность Section Fractal Dimension = 1,174 (рисунок 7), это подтверждает малую шероховатость от первичной механической обработки рассматриваемого образца.

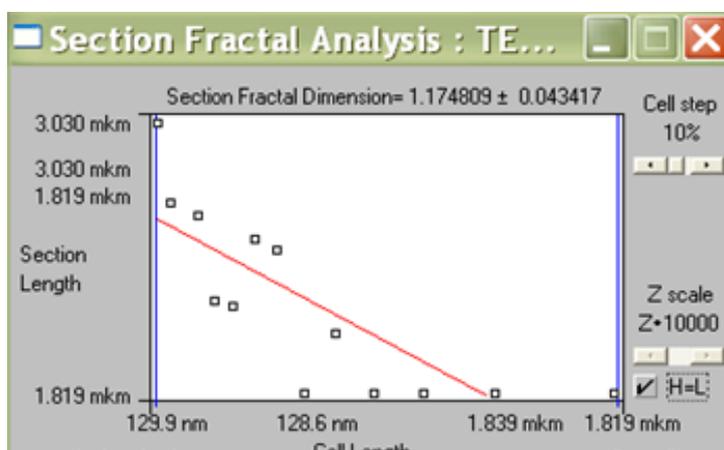


Рисунок 7. Фрактальный анализ микрорельефа поверхности образца

На приведенном в данной статье анализе возможности устройства СММ-2000 не ограничиваются. Есть возможность проведения Фурье-анализа, морфологического анализа, корреляционного анализа, фрактального анализа, и др., отражающих геометрические и физические параметры топографии поверхности образцов с нанометровым пространственным разрешением. С помощью устройства СММ-2000 есть возможность исследовать качественные характеристики материалов на атомном уровне, что даст возможность анализировать химический состав рассматриваемого вещества. Проводя научные исследования в этом направлении можно развить интерес молодых исследователей и привлекать их к научно-исследовательской работе уже на этапе прохождения производственных или преддипломных практик.

Список использованной литературы:

- 1 Binning, G. Surface studies by scanning tunneling microscopy / G. Binning, H. Rohrer, C. Gerber, E. Wiebel // Phys. Rev. Letters. – 1982. – № 49. – P. 57-61.
- 2 Нанотехнологии. Азбука для всех. Под редакцией Ю.Д.Третьякова. М.: – ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 368 с.
- 3 Паспорт Сканирующий мульти-микроскоп СММ-2000. ОАО "Завод ПРОТОН-МИЭТ", М. – 2011 г. с.11
- 4 Логинов Б.А. Сканирующая туннельная и атомно-силовая микроскопия: Пособие по работе на микроскопе СММ-2000. ГОУ МИФИ (ГУ), 2007, 92 стр.
- 5 Такибаев Н.Ж., Зайцев С.И., Курмангалиева В.О., Насирова Д.М., Такибаева М.Н., Абдыкадыров Б.К., Лабораторный практикум по физике: виртуальный практикум Nanotaker, нанотехнологии, термодинамика. Уч.пособие, Алматы: КазНПУ им.Абая, 2012. – 140 с.
- 6 Смирнов В.И. Фундаментальные основы нанотехнологий и наноматериалы. Учебное пособие. – 2017.

References

- 1 Binning, G. (1982) *Surface studies by scanning tunneling microscopy*. G. Binning, H. Rohrer, C. Gerber, E. Wiebe. *Phys. Rev. Letters*, № 49, 57-61. (In English)
- 2 *Nanotehnologii. Azbuka dlja vseh [Nanotechnology. ABC for everyone]*. Pod redakciej Ju.D.Tret'jakova. (2008) M.: FIZMATLIT, 368. (In Russian)
- 3 *Pasport Skanirujushhij mul'ti-mikroskop SMM-2000 (2011.) [Scanning multi-microscope SMM-2000]*. OAO "Zavod PROTON-MIJeT", M., 11. (In Russian)
- 4 Loginov B.A. (2007) *Skanirujushhaja tunnel'naja i atomno-silovaja mikroskopija [Scanning tunneling and atomic force microscopy]: Posobie po rabote na mikroskope SMM-2000*. GOU MIFI (GU), 92. (In Russian)
- 5 Takibaev N.Zh., Zajcev S.I., Kurmangalieva V.O., Nasirova D.M., Takibaeva M.N., Abdykadyrov B.K., (2012) *Laboratornyj praktikum po fizike: virtual'nyj praktikum Nanomaker, nanotehnologii, termodinamika [Nanomaker, nanotechnologies, thermodynamics]*. Uch.posobie, Almaty, KazNPU im.Abaja, 140. (In Russian)
- 6 Smirnov V.I. (2017) *Fundamental'nye osnovy nanotehnologij i nanomaterialy [Fundamental bases of nanotechnologies and nanomaterials. Training manual]*. Uchebnoe posobie. (In Russian)