

## **Мультиформатный сверхвысоковакуумный СЗМ СОЛВЕР-UHV**

В.А. Быков, Б.К. Медведев, Д.Ю. Соколов

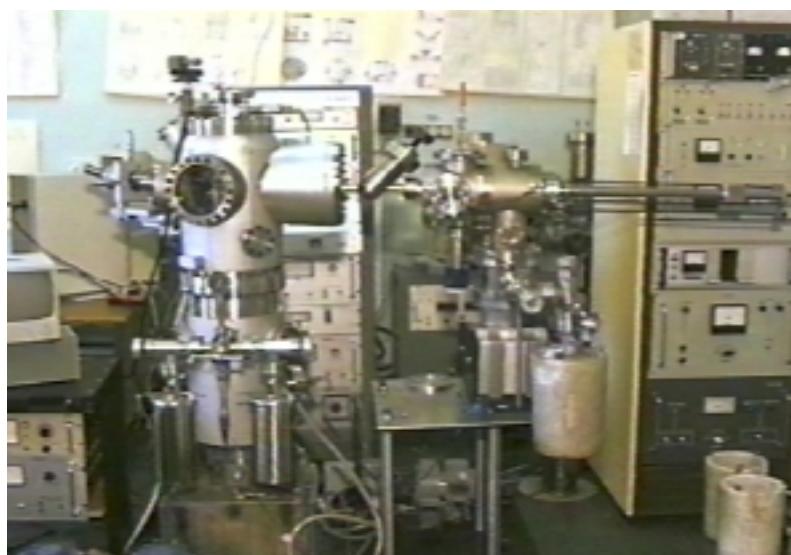
Гос.НИИФП, Корпорация МДТ,

103460 Москва - Зеленоград, Гос.НИИФП

тел.(095) 535-03-05, факс (095) 535-64-10, e. mail: spm@ntmdt.zgrad.ru,

<http://www.ntmdt.ru>

В настоящее время начал функционировать мощный нанотехнологический комплекс на основе мультиформатного сканирующего силового микроскопа.



*Рис. 1. Фотография двухкамерного нанотехнологического комплекса на основе СЗМ с оптической системой регистрации положения кантилевера*

Комплекс представляет собой двухкамерную систему с возможностью сквозной передачи образцов и зондов. Конструкция комплекса позволяет его адаптацию к различным сверхвысоковакуумным системам. Камеры представляют из себя стандартные камеры на базе установок УСУ-6, соединенные между собой сверхвысоковакуумным транспортным каналом.

Камеры отсекаются друг от друга вентилем. Проходное отверстие трека 30 мм, что допускает возможность передачи образцов, диаметром 25мм из камеры подготовки в камеру со сканирующим зондовым микроскопом.

Основным узлом комплекса является фланцевый модуль со сканирующим зондовым микроскопом на стандартном фланце ДУ250. Изготовлена также необ-

ходимая для работы комплекса оснастка, представляющая собой механические, ручные сверхвысоковакуумные манипуляторы для смены образцов и зондов.

Основной блок прибора представляет из себя фланцевый модуль, устанавливаемый на вертикальный фланец ДУ-253. Прибор имеет мультимодовый режим работы микроскопа с оптико-позиционной схемой регистрации положения зондов; интервал температур 100К - 500К; вакуум в камере (лучше  $10^{-10}$  торр) обеспечивается применением классических откачных средств (комбинация криоадсорбционного, магниторазрядного и сублимационного титанового насосов).

Конструкция прибора допускает смену образцов, замену кантileверов, установку СТМ иглы или световолокна без разгерметизации. Управление прибором осуществляется посредством стандартного электронного модуля СОЛВЕР-Р7.

На рис.2. приведена фотография фланцевого модуля.

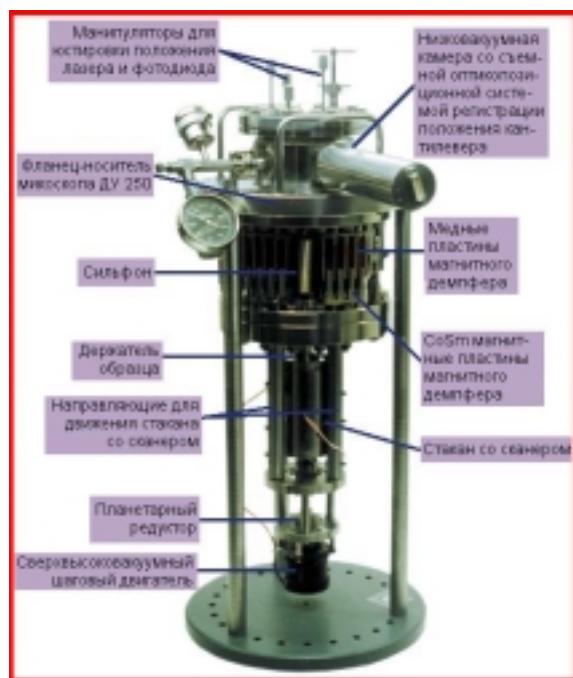


Рис.2. Фотография фланцевого модуля СЗМ с системой оптической регистрации положения кантileвера

Виброзоляция прибора осуществляется посредством вывески микроскопа на трех пружинах, который соченен мягким сильфонным соединением с фланцем - носителем. Гашение колебаний осуществляется магнитным демпфером {медь - кобальт/ самарий}. При движении медных пластин в магнитном поле в них индуцируются токи Фуко, что и является причиной затухания механических колебаний.

Сближение образца и зонда осуществляется специальным сверхвысоковакуумным шаговым двигателем посредством специального планетарного редуктора, исключающего заклинивание системы в условиях сверхвысокого вакуума.

В конструкции применена оригинальная система высокочастотной механической развязки в системе {сканер - держатель кантileвера} - оптико-позиционная регистрирующая система, обеспечивающая возможность резкого снижения влияния асинхронных вибраций в системе образец - кантileвер.

Для загрузки образца на сканер используется двухманипуляторная схема из грубого манипулятора для перемещения образца из камеры подготовки в основную камеру комплекса и трехкоординатного прецизионного манипулятора, посредством которого осуществляется установка образцов на сканер и зондов на столик - держатель.

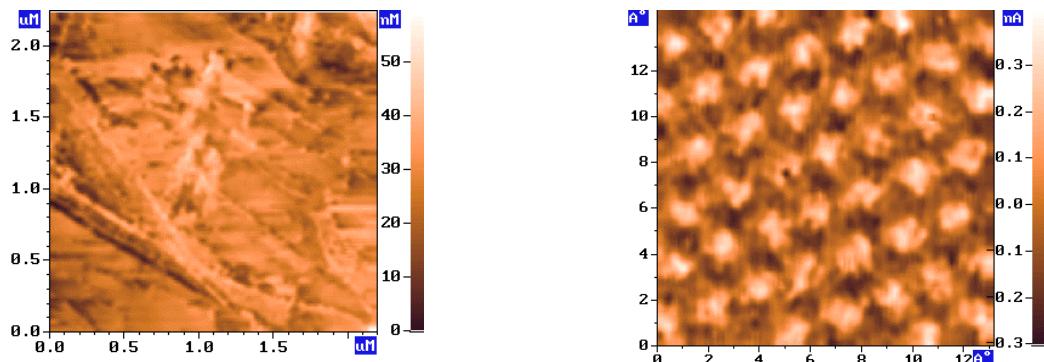
#### Технические характеристики прибора

Вакуум в камерах	до $10^{-11}$ торр
Температура отжига	120 - 150 <sup>0</sup> C
Минимальное время замены кассеты с образцами и зондами	1 час
Количество образцов в кассете	5
Количество зондов в кассете	5
Режимы работы	СТМ; СТС; СТМ&АСМ двухпроходная методика; контактная АСМ мода; латеральная АСМ мода; резонансная мода; фазовая регистрация; псевдофазовые: $A\cos(\omega t+\phi)$ , $A\sin(\omega t+\phi)$ ; магнитно-силовая и электростатическая моды; емкостная бесконтактная мода, ток растекания; адгезионная мода; спектроскопия: I(U,R), I(Z,R), F(Z,R), A( $f_{0-2MHz}$ ); БОМ; Shear force; токовая модификация; тензомодификация; модуляционная модификация.
Размер пластин	$\varnothing \leq 40$ мм, толщина до 10мм
Максимальный размер области сканирования	от $3.5 \times 3.5 \times 1.5 \mu\text{m}^3$ до $100 \times 100 \times 5 \mu\text{m}^3$ в зависимости от типа сканера
Разрядность применяемых цифроаналоговых преобразователей для X,Y разверток	22
Поперечная резонансная частота сканера	1.6 кГц для сканера $30 \times 30 \times 3 \mu\text{m}^2$

Продольная резонансная частота сканера	7 кГц для сканера 30×30×3 мкм <sup>2</sup>
Диапазон измеряемых частот	0.01 Гц ÷ 2 МГц
Диапазон рабочих частот в модах модуляционной и резонансной микроскопии	20 кГц ÷ 1.8 МГц
Минимальный шаг задатчика частоты и дискрет регистрации частоты	0.01 Гц
Точность измерения фазы	0.1°
Дискрет задатчика сдвига фазы между измеряемыми сигналами	0.4°
Входные токи	10pA - 10nA
Максимальное количество одновременно записываемых и выводимых на экран сигналов в процессе сканирования	4
Максимальное число точек в строках и столбцах	1000
Требования к месту установки	Изолированный фундамент
RMS	0.01 - 0.02 нм

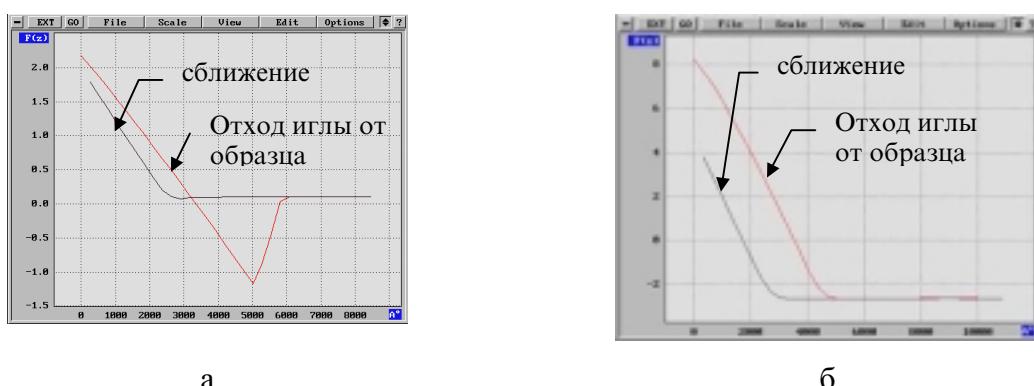
Моды работы в режиме регистрации тока, имеющего, как правило, туннельную природу с экспоненциальной зависимостью от расстояния по нормали к поверхности (координата Z):

СТМ топография (рис. 3.). В процессе сканирования поддерживается постоянным ток между образцом и зондом подачей требуемого для этого напряжения на пьезокерамический элемент (трубка), обеспечивающий смещение образца относительно зонда по координате Z.



*Рис.3. СТМ топография поверхности монокристаллического кремния после термообработки и токовое СТМ изображение поверхности HOPG*

Контактная АСМ мода в условиях сверхвысокого вакуума в отличии от условий на воздухе, где минимальная устойчивая сила, при которой можно осуществлять сканирование определяется притяжением вследствие капиллярного эффекта и составляет приблизительно  $5 \times 10^{-9}$ Н, может осуществляться при сколь угодно малых силах.



*Рис.4. Зависимость силы взаимодействия между острием зонда (Si) и образцом (GaAs) на воздухе (а) и в условиях сверхвысокого вакуума (б).*

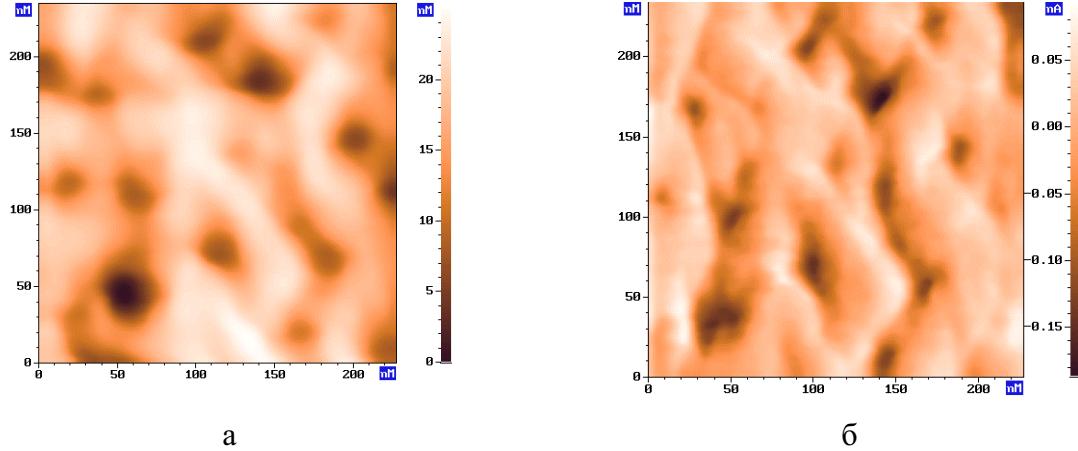
Смещение кривых при приближении и отходе обусловлено гистерезисом пьезокерамического двигателя развертки по Х .

Возможность сканирования при малых силах в контактной моде является принципиальным преимуществом условий сверхвысокого вакуума, хотя оно должно уже проявляться и в низком вакууме, когда подвижный поверхностный адсорбционный слой испаряется.

В контактных модах в приборе имеется возможность регистрации топографии при постоянной силе, латеральные силы, электрический ток в системе зонд - образец во время сканирования (сопротивление растекания - spreading resistance), адгезионное взаимодействие между образцом и иглой, производить исследования с модуляцией силы.

В отличии от измерений на воздухе, где вследствие капиллярного эффекта и высокой поверхностной вязкости подвижного адсорбционного слоя, как правило, существует значительный потенциальный барьер для латерального движения зонда вдоль поверхности и измерения в режиме регистрации латеральных сил сложно и неоднозначно интерпретируемые, а изображение, как правило, теряет построчную

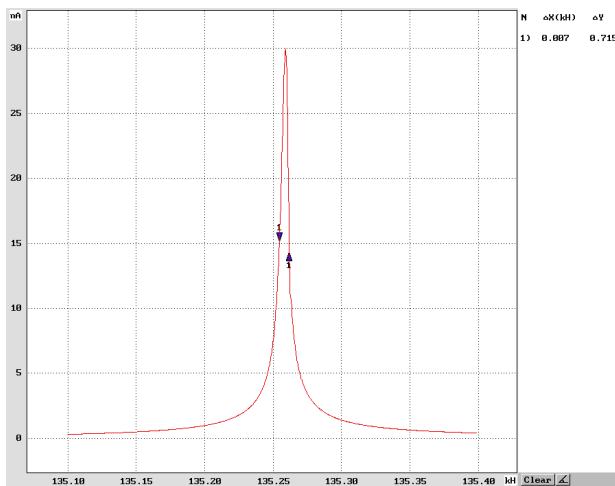
непрерывность (скачки производной), в вакууме, также как и в жидкости, измерение латеральных сил становится устойчивым и приобретает физический смысл для качественного анализа поверхности. На рис. 5 показана топография (а) в контактной моде и распределение латеральных сил поверхности отожженного GaAs.



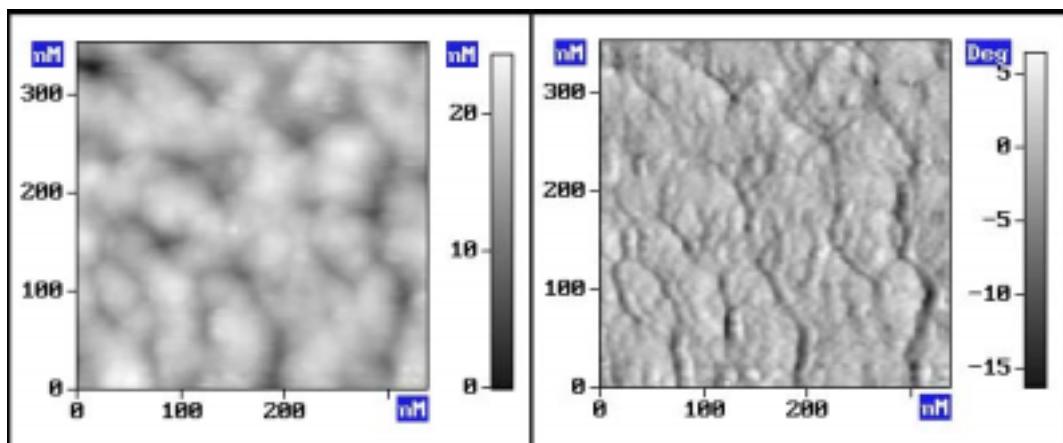
*Рис.5. Топография в контактной моде (а) и распределение латеральных сил на поверхности монокристалла GaAs (110) после термического отжига при температуре 800°C*

Особенностью резонансных мод СЗМ в условиях сверхвысокого вакуума является то, что потери энергии при колебаниях кантилевера из за сопротивления воздуха отсутствуют и добротность кантилеверов начинает достигать  $10^4$  -  $3 \times 10^4$  (рис.6).

В резонансных модах возможна регистрация топографии с получением истинного атомарного разрешения, изменения фазы сигнала с регулируемой фазовой задержкой при измерениях (рис.8), регистрации проекций  $A \times \cos(\omega t + \varphi)$ ,  $A \times \sin(\omega t + \varphi)$ ,  $-180^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$ , магнитных, электростатических, электродинамических сил с чувствительностью более чем в 10 раз ( $\sim \sqrt{Q}$ ) большей чем на воздухе.



*Рис.6. Резонансная характеристика колебаний кантителевера в сверхвысоком вакууме ( $Q=1,93 \times 10^4$ )*



*Рис.7. Топография и фазовое изображение поверхности отожженного кристалла GaAs. Отжиг производился до  $800^{\circ}\text{C}$  непосредственно в сверхвысоковакуумной камере.*