

**СКАНИРУЮЩАЯ ЗОНДОВАЯ МИКРОСКОПИЯ НЕПРОВОДЯЩИХ
ПОВЕРХНОСТЕЙ СО СЛОЖНОЙ МОРФОЛОГИЕЙ**

С.Д.АЛЕКПЕРОВ

*Институт физики НАН Азербайджана
AZ 1143, Баку, пр. Г. Джавида, 33*

Метод multi-data-mode (MDM) позволяет исследовать любые непроводящие поверхности со сложным рельефом и большими перепадами высот. При этом исключается неконтролируемое взаимодействие зонда с образцом и артефакты, вызываемые процессом сканирования. В данной работе с помощью метода MDM были исследованы образцы β -цеолита и керамического катализатора на основе Al_2O_3 . В обоих случаях сканирование методом MDM дало четкое с высоким разрешением изображение поверхности со сложной морфологией.

За последние годы были достигнуты значительные успехи в области синтеза нанокристаллических керамических материалов, сверхтонких порошков с новой морфологией и композитов, обладающих особыми каталитическими характеристиками. Данные материалы обладают уникальными морфологическими и структурными свойствами поверхности, что позволяет рассматривать их в качестве весьма перспективных высокоизбирательных катализаторов, селективных сорбентов и молекулярных фильтров. Конечной целью здесь является как получение нового поколения мезопористых материалов (в частности – цеолиты, керамика на базе различных оксидов), обладающих очень высокой избирательностью и, как следствие, обеспечивающих высокий выход продуктов реакции, так и возможность изменения характеристик получаемых материалов простым изменением функциональных свойств поверхности за счет, скажем, четко регулируемых размеров пор фильтра или катализатора.

Исследование подобных нанокристаллических материалов “ex-situ” и “in-situ” (в частности, морфология, распределение пор по размерам) требует разработки принципиально новых методов исследования. Существующие методы исследования (рентгеновские, оптическая спектроскопия, электронная и ультразвуковая микроскопии и т. д.) в ряде случаев дают усредненные результаты и поэтому имеют ограниченное применение при исследовании таких материалов. С другой стороны, атомно-силовая и сканирующая туннельная микроскопии [1] являются на сегодняшний день одними из основных методов экспериментального изучения структурных и электронных особенностей нанокристаллических материалов. Кстати, именно успехи в развитии этих двух методов, объединенных под общим названием “сканирующая зондовая микроскопия” (СЗМ), в определенной степени обеспечили новейшие достижения в этой области. Несмотря на это, при исследовании таких поверхностей со сложной морфологией (ПСМ) с помощью сканирующей зондовой микроскопии не удавалось, в силу ряда причин, реализовать высокое пространственное разрешение, присущее этому методу [2,3]. Вкратце перечислим основные проблемы, которые возникают в этом случае при использовании традиционных режимов работы СЗМ. Режим “contact mode”: контактные методики обладают высоким разрешением, но могут исследовать очень ограниченный класс поверхностей – эти поверхности должны быть достаточно гладкими и жесткими. Если, вдобавок, мы исследуем поверхность при атмосферных условиях, то с помощью этого режима никаких адсорбированных слоев на поверхности увидеть не удастся (зонд просто будет их сметать). Кроме того, при исследовании ПСМ зонд может просто застрять во время сканирования в какой-нибудь расщелине или упереться в какой-нибудь выступ и прекратить свое

движение относительно поверхности. И, самое главное, при исследовании в этом режиме таких поверхностей зонд просто может стачиваться как о поверхность наждачной бумаги [4]. При исследовании в режиме “tapping mode” будет происходить сканирование, но не возникает проблем как со стиранием зонда, так и с его застреванием. Однако при исследовании поверхности при атмосферных условиях этот режим не различает адсорбированные слои, т.е. видит только «чистую» поверхность и, кроме того, разрешение в этом случае заведомо хуже, чем в режиме “contact mode”. В режиме “non-contact mode,” чтобы обеспечить сохранность зонда, т.е. избежать его загрязнения и разрушения, в СЗМ используется широкий спектр модуляционных методик. Режим “non-contact mode” не имеет проблем со стиранием и застреванием зонда, но при этом приходится жертвовать разрешением, т.к. зонд идет достаточно высоко над поверхностью. При атмосферных условиях на поверхностях с развитым рельефом всегда имеются адсорбированные слои и «увидеть» поверхность сквозь эти слои с достаточно высоким разрешением в этом режиме практически невозможно. Вдобавок, при сканировании ПСМ в этом режиме велика вероятность прилипания зонда к поверхности [5]. Поэтому весьма актуальной была разработка новой методики работы СЗМ, позволяющей эффективно решить три основные проблемы при исследовании ПСМ: обеспечить сканирование такой поверхности без застревания зонда; исключить при этом возможность стирания самого зонда; и получить топографию поверхности с высоким разрешением.

Все вышеперечисленные задачи решает так называемый Multi data mode метод (MDM) [6], суть которого заключается в следующем. При исследовании выбранного участка поверхности зонд, как обычно, сканирует по растру матрицу с заданным шагом сканирования. Однако траектория зонда в вертикальной плоскости существенно отличается от траекторий в традиционных режимах СЗМ. Исходное положение зонда – это положение, при котором отсутствуют какие-либо взаимодействия зонда с поверхностью. Из этого положения зонд начинает подвигаться к поверхности вплоть до контакта с ней, после чего производится измерение координат топографии поверхности, т.е. разрешающая способность метода MDM сравнима с режимом “contact mode”. После контакта с поверхностью, зонд отводится на расстояние, при котором отсутствует всякое взаимодействие с поверхностью. Только после этого производится латеральное перемещение зонда к следующей точке. В таком случае сил трения практически нет, т.к. зонд переходит от точки к точке вне контакта с поверхностью высоко над ней. А вот регистрация данных осуществляется только при движении зонда вниз-вверх строго перпендикулярно к поверхности. Фактически такое сканирование напоминает работу швейной машинки. Все это гарантированно исключает как застревание, так и стирание самого зонда во время сканирования ПСМ. Сам характер движения зонда к поверхности и обратно имеет, конечно, более сложный вид и описывается силовой кривой. Основным информационным сигналом в методе MDM является сигнал отклонения кантилевера по нормали к поверхности (к плоскости сканирования) [7]. Регистрация этого сигнала в процессе подвода зонда к поверхности и отвода от нее дает силовую кривую $S(Z)$, т.е. кривую зависимости величины изгиба кантилевера S от координаты положения поверхности (если перемещаемый элемент – поверхность) Z , которая является задаваемой и считается всегда определенной. Определим связь этих параметров с характеристиками исследуемой поверхности и рассмотрим, как силовая кривая (СК) их отображает. Величина S характеризует силу взаимодействия зонда с поверхностью F_s , т.к. кантилевер представляет собой плоскую пружину с коэффициентом упругости K_c и изгибается под действием приложенных к нему внешних сил F_s согласно закону Гука: $F_s = -F_c = -K_c \times S$, где F_c – сила упругости кантилевера. Для наглядности будем

считать, что у нас идеальный случай однородной поверхности в условиях вакуума при отсутствии поверхностных слоев и зарядов, а зонд является точечным объектом. Теперь рассмотрим процесс регистрации СК.

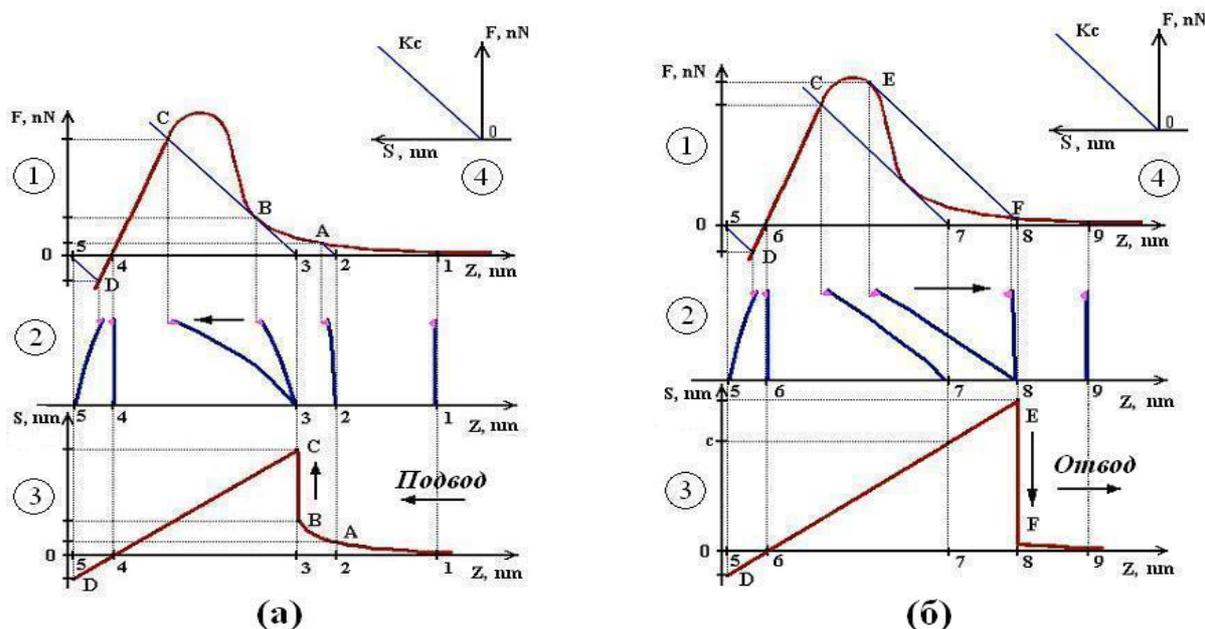


Рис.1.

Процесс подвода зонда к поверхности (а) и отвода зонда от поверхности (б).

При рассмотрении процесса подвода кантилевера к поверхности будем следовать направлению справа-налево (Рис.1(а)), а в процессе отвода от нее слева-направо (Рис. 1(б)). Здесь (1) – условно показана зависимость Ван-дер-Ваальсовых взаимодействий (ВдВ) от расстояния до поверхности $F_s(S)$; (2) – показаны положения кантилевера с зондом в характерных точках представленных зависимостей; (3) – силовая кривая $S(Z)$, качественно показана зависимость величины изгиба кантилевера с зондом от координаты положения поверхности; (4) – показана зависимость величины силы упругости кантилевера от величины изгиба кантилевера $F_c(S)$ (график этой зависимости также присутствует в (1) и проходит через характерные точки). Регистрация СК начинается, когда зонд находится далеко от поверхности и не чувствует влияния поверхностных сил (Рис.1(а)- (1), точка 1). Закрепленный конец кантилевера, следовательно и его свободный конец с зондом начинает приближаться к поверхности. В процессе приближения зонда к поверхности проявляются дальнедействующие поверхностные силы притяжения и кантилевер начинает изгибаться в направлении к поверхности. Если зонд при этом находится в точке А, то закрепленный конец кантилевера находится в точке 2 (Рис.1(а)-(1)). Положение зонда уравновешено поверхностными силами и силой упругости кантилевера. Координата точки А или любой точки положения зонда на кривой взаимодействия, в которой выполняется это равновесие, определяется пересечением кривой взаимодействия $F_s(Z)$ и зависимости силы упругости кантилевера $F_c(Z)$ (прямая с наклоном $\text{tg}\alpha=K_c$), проведенной из точки положения закрепленного конца кантилевера (Рис.1(а)-(1), точка 2). В процессе сближения на отрезке А-В кантилевер изгибается плавно, т.к. соблюдается условие устойчивого равновесия зонда: $K_c > dF_s/dZ$. Но когда зонд окажется в точке В (закрепленный конец кантилевера при этом будет находиться в точке 3), где $dF_s/dZ=K_c$, то в этой точке крутизна ВдВ кривой совпадет со значением коэффициента упругости K_c

кантилевера и равновесие зонда окажется неустойчивым, а в последующих точках и вовсе будет отсутствовать, т.к. $(dF_s/dZ > K_c)$, т.е. поверхностные силы изменяются настолько резко, что сила упругости кантилевера уже не может их компенсировать. Поэтому кантилевер резко изгибается, и зонд делает скачок к поверхности. Происходит так называемый «прыжок в контакт». При этом на СК $S(Z)$ получается разрыв функции (Рис. 1(а) – (3), отрезок от точки В до точки С). Очевидно, что прыжок кантилевера к поверхности остановится в точке следующего устойчивого равновесия. Легко убедиться, что этой точкой будет точка С (Рис.1(а)-(1)). Координата этой точки также определяется пересечением кривой взаимодействия $F_s(Z)$ и зависимости силы упругости кантилевера, проведенной из точки положения закрепленного конца кантилевера (Рис.1(а)-(1), точка 3). Дальнейшее перемещение закрепленного конца кантилевера к поверхности происходит с опусканием зонда по кривой $F_s(Z)$ в точку 4 (точка контактного равновесия), в которой силы отталкивания уравновешены силами притяжения, кантилевер будет при этом находиться в состоянии нулевого отклонения ($S=0$), а сила его упругости будет равна нулю ($F_c=0$). При продолжении процесса сближения кантилевер, компенсируя возрастающие силы отталкивания, прогибается уже в направлении от поверхности, нажимающей на него. Когда зонд достигает точки D (при этом закрепленный конец кантилевера находится в точке 5) (Рис.1(а)-(1)), в которой сила взаимодействия достигает ранее заданной оператором величины $F_s=f_{const}$, направление движения закрепленного конца кантилевера меняется на противоположное и начинается процесс отвода.

При отводе зонда от поверхности процесс происходит в обратном порядке (Рис. 1(б)). Зонд поднимается по кривой $F_s(Z)$ от точки D через точку 6 (аналогично точке контактного равновесия 4 на Рис.1(а)). В точке 6 кантилевер выпрямляется и при дальнейшем отводе уже начинает изгибаться в направлении к поверхности, компенсируя увеличивающиеся силы притяжения. Точку С, точку завершения «прыжка в контакт», зонд (а закрепленный конец кантилевера – соответственно точку 7) проходит плавно, так как в этой точке, как и на всем участке от точки D до точки E состояние равновесия устойчиво. В точке E (аналогично точке С на кривой подвода), скорость изменения поверхностных сил совпадает со значением коэффициента упругости кантилевера K_c , и равновесие становится неустойчивым ($dF_s/dZ = K_c$). А в последующих точках равновесие отсутствует, т.к. поверхностные силы спадают быстрее сил упругости кантилевера $dF_s/dZ < K_c$. Поэтому когда зонд находится в точке E на кривой $F_s(Z)$, а закрепленный конец кантилевера – в точке 8, происходит скачкообразный отрыв зонда от поверхности, так называемый «прыжок из контакта». На СК $S(Z)$ вновь наблюдается разрыв функции (Рис.1(б)-(3) отрезок от точки E до точки F). Положение следующего устойчивого равновесия, где остановится зонд – это точка F на спадающем участке кривой, по которому производился подвод к поверхности (отрезок между точками 7 и 9). При продолжении процесса отвода дальнедействующие спадающие силы исчезают и кантилевер возвращается в исходное положение нулевого отклонения (точка 9). Однако при достаточной длине кантилевера и низкой его жесткости положение закрепленного конца кантилевера в момент отрыва (точка 8) может оказаться слишком далеко, чтобы зонд попал на этот спадающий участок, поэтому часто после отрыва зонда от поверхности кантилевер сразу приходит в состояние нулевого отклонения (точка 9).

Таким образом, форма и размеры СК в большой степени зависят от коэффициента упругости кантилевера, а также размеров и формы острия зонда, определяющих площадь и характер взаимодействия с поверхностью (помимо физико-химических свойств самой поверхности). Поэтому, зная эти параметры, можно, кроме получения топографии самой ПСМ, также одновременно определять

различные характеристики поверхности, такие как сила адгезии, толщина адсорбционного слоя [8], модуль упругости и т. д.

В качестве образцов, имеющих поверхности со сложной морфологией, были взяты два образца: β -цеолит и керамический катализатор на основе Al_2O_3 . Предварительно для сравнения и в качестве теста оба образца были исследованы с помощью стандартного режима “contact mode”. Использовался пирамидальный зонд из Si_3N_4 (коэффициент упругости кантилевера $\sim 0,3N/m$, радиус острия зонда – $120nm$, угол конусности зонда $\sim 55^\circ$). Как оказалось, при сканировании таких ПСМ зонд либо застревал, либо все-таки двигался по образцу и стачивался об него, как о наждачную бумагу. А изображения поверхности в этом случае отображали артефактные «рельефы» [9] в виде треугольников, размеры которых увеличивались от кадра к кадру. Как известно, изображение данных о поверхности, строго говоря, представляет собой математическую свертку геометрических форм зонда и поверхности [10]. Поэтому при мелких размерах деталей ПСМ на изображениях четко визуализируется пирамидальная форма зонда, а не сама поверхность. Другими словами, когда зонд больше, чем поверхностные объекты, тогда именно зонд и смотрится [11]. Поэтому в нашем случае увеличение размеров треугольников от кадра к кадру наглядно демонстрирует процесс стирания зонда при сканировании в режиме “contact mode”. Таким образом, как и ожидалось, получить четкое изображение таких ПСМ в режиме “contact mode” не удалось.

Затем оба образца были исследованы с помощью метода MDM. В обоих случаях удалось получить четкое с высоким разрешением изображение поверхности. В первом эксперименте порошок β -цеолита был нанесен на графитовую подложку. Однако изображения поверхности получить не удалось, поскольку при сканировании под действием поверхностных сил кристаллы β -цеолита прилипали к зонду и оставались на нем. Поэтому предварительно порошок был спрессован механическим прессом, после чего данная пластина была исследована методом MDM.

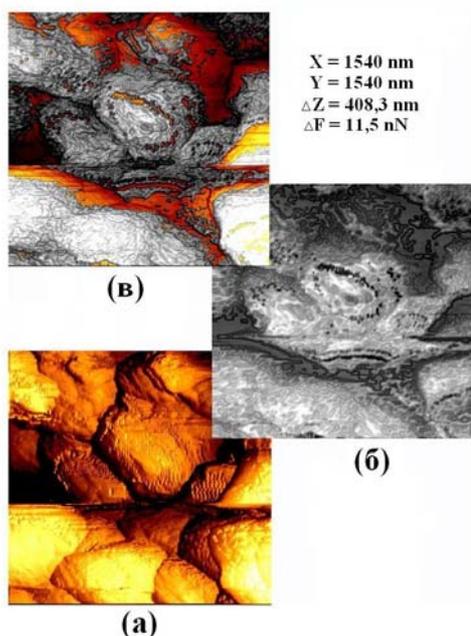


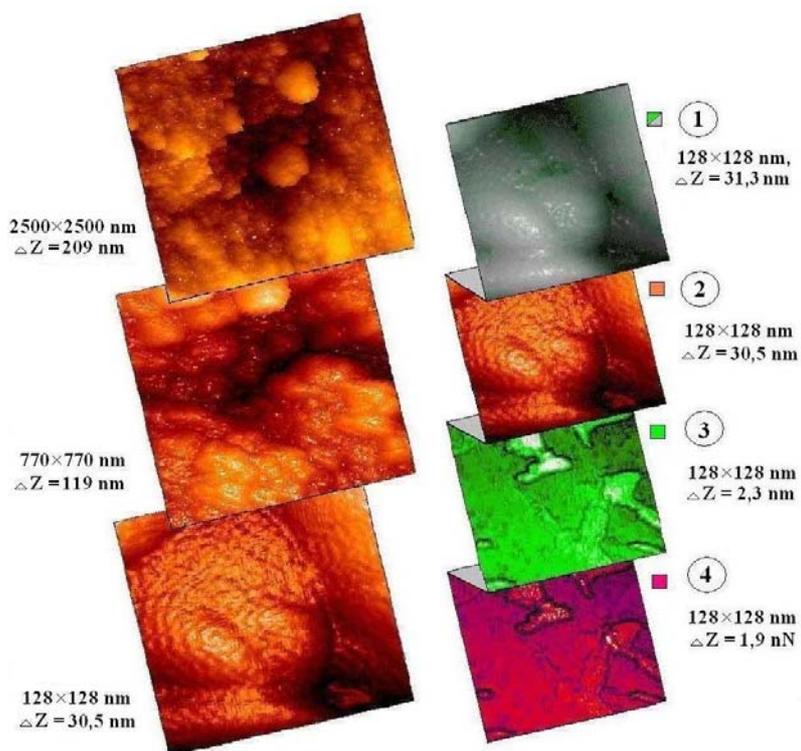
Рис. 2.

Топография «чистой» поверхности β -цеолита, размер поля сканирования $1540 \times 1540 nm$ (а), карта распределения сил адгезии (б), реальная поверхность, покрытая слоем адсорбата (в).

На Рис.2(а) показана топография «чистой» поверхности β -цеолита без адсорбционного слоя (размер поля сканирования $1540 \times 1540 nm$), полученная при атмосферных условиях. На Рис.2(б) показана карта распределения сил адгезии на том же участке поверхности, а на Рис.2(в) показана та же поверхность, покрытая слоем адсорбата. Как видим, диапазон по Z от самой низкой до самой высокой точки поверхности достигает здесь $408,3 nm$. Несмотря на такой большой перепад высот и сложную морфологию с помощью метода MDM удалось получить качественное изображение реальной поверхности (четко видны ступеньки роста кристаллов) с достаточно высоким разрешением. Поскольку весь участок поверхности виден одинаково четко, то это косвенно доказывает, что повреждений и стираний зонда при этом не происходило. Если сопоставить карту распределения слоя адсорбата с картой распределения сил адгезии, то легко заметить характерную

корреляцию между ними. Отсюда можно сделать вывод, что такой большой диапазон изменений сил адгезии ($\Delta F=11,5\text{ nN}$) связан не столько с топографией поверхности, а определяется наличием дополнительных капиллярных сил, вносимых островками адсорбционного слоя (алгоритмы получения карт распределения толщины адсорбированного слоя и распределения сил адгезии описаны ниже). Т.е. метод MDM позволил получить изображение рельефа поверхности β -цеолита без артефактов, вызываемых изменениями адгезионных и капиллярных сил, которые обуславливаются присутствием адсорбционных слоев и которые могут быть неравномерно распределены по поверхности и, как показал эксперимент, достигать значительных величин.

Во втором эксперименте с помощью метода MDM была исследована поверхность керамического катализатора на основе Al_2O_3 . Были получены



изображения одного и того же участка поверхности с разным полем сканирования, причем во время всего эксперимента использовался один зонд (был использован вольфрамовый зонд конической формы с радиусом острия $\sim 3\text{ nm}$ и с углом конусности $- 20^\circ$).

Рис.3.

MDM метод: слева – топография одного и того же участка поверхности керамического катализатора на основе Al_2O_3 с разным полем сканирования; справа – четыре карты различных параметров одного и того же участка поверхности $128 \times 128\text{ nm}$ (1 – поверхность вместе с адсорбционным слоем, 2– топография «чистой» поверхности, 3 – отдельная карта адсорбционного слоя, 4 – карта распределения сил адгезии на поверхности).

На Рис.3 слева показаны три изображения поверхности с полем сканирования $2500 \times 2500\text{ nm}$, $770 \times 770\text{ nm}$ и $128 \times 128\text{ nm}$ соответственно более светлому тону соответствует более высокая точка рельефа поверхности, т.е. сканирование методом MDM дало четкое с высоким разрешением изображение высокоабразивной поверхности. Легко видеть, что поверхность отличается сильноразвитым рельефом – на кадре $2500 \times 2500\text{ nm}$ диапазон по Z от самой низкой до самой высокой точки поверхности достигает 209 nm . Кадр $128 \times 128\text{ nm}$ демонстрирует достаточно высокое разрешение метода MDM на такой высокоабразивной непроводящей поверхности – на поверхности просматриваются поры диаметром $\sim 5\text{ nm}$. Поскольку на всех трех кадрах наблюдалось четкое изображение, полученное с помощью одного и того же зонда, то это косвенно доказывало, что никаких стираний и повреждений зонда при этом не происходило. Справа на Рис.3 показаны четыре различные карты одного и того же участка $128 \times 128\text{ nm}$ (на всех картах более светлый тон соответствует большему значению измеряемого параметра): (1) – топография поверхности вместе с находящимся на ней адсорбированным слоем (сама поверхность – серого цвета, адсорбат выделен

зеленым цветом); (2) – «чистая» поверхность без адсорбционного слоя; (3) – отдельная карта адсорбционного слоя; (4) – распределение сил адгезии по поверхности. Вкратце качественно опишем алгоритм получения этих карт. Карта адсорбционного слоя: когда на поверхности присутствует адсорбционный слой, то зонд при подводе сначала делает скачок к поверхности адсорбата и после движения внутри него делает еще один скачок уже к «чистой» поверхности. Поэтому регистрируется координата точки касания зондом адсорбционного слоя и координата точки касания зондом поверхности. Разница между этими координатами в итоге дает толщину адсорбционного слоя в данной точке поверхности. Карта распределения сил адгезии, строго говоря, это сила, которую надо приложить, чтобы оторвать зонд от поверхности при отводе (ее называют силой “pull-off”). Она характеризует в первую очередь короткодействующие адгезионные взаимодействия. В момент, когда сила упругости сгибаемого в процессе отвода кантилевера превосходит величину сил адгезии (Рис.2(б)-(1), точка E), зонд отрывается от поверхности, и кантилевер выпрямляется (точка F). Величина абсолютного максимума СК $S(Z)$ в точке E и будет значением силы адгезии (Рис.2(б) – (3)). Но при атмосферных условиях величина силы адгезии на островках адсорбата будет больше, чем на поверхности, т.к. здесь дополнительный вклад оказывают капиллярные силы, которые могут быть одного порядка с короткодействующими взаимодействиями.

Карты адсорбционного слоя (Рис.3-(3)) и адгезии (Рис.3-(4)) хорошо коррелируют между собой, показывая наличие островков адсорбата на поверхности образца (максимальная толщина островков адсорбата была $\Delta Z = 2,3$ nm). Можно заметить, что наличие этих островков адсорбата никак не влияет на изображение топографии поверхности (Рис.3-(2)), т.е. видна топография именно «чистой» поверхности. Отдельно показана возможность представления реальной поверхности при атмосферных условиях (Рис. 3-(1)), т.е. когда на карту «чистой» поверхности (Рис.3-(2)) накладывается карта распределения толщины адсорбционного слоя (Рис.3-(3)). Величина силы адгезии варьировалась от $4,46 \times 10^{-9}$ N на самой поверхности до $6,36 \times 10^{-9}$ N на островках адсорбата, т.е. видно, что сила адгезии островков адсорбата выше, чем сила адгезии поверхности, и, кроме того, сила адгезии сильно меняется по площади поверхности ($\Delta Z = 1,9$ nN). Как указывалось выше, это связано с тем, что при наличии адсорбата к силе адгезии дополнительно прибавляются еще и капиллярные силы. По-видимому, вариации на карте силы адгезии скорее всего не связаны с неоднородностью материала, а являются следствием влияния адсорбционного слоя, находящегося на пористой поверхности керамического катализатора.

Таким образом, метод MDM совмещает неразрушающие возможности режимов “tapping mode” и “non-contact mode” с детальностью и высокой разрешающей способностью режимов “contact mode”. Это позволяет исследовать любые непроводящие поверхности со сложной морфологией с одновременной регистрацией ряда характеристик самой поверхности. При этом отсутствует неконтролируемое взаимодействие зонда с поверхностью, что, во-первых, обеспечивает полную сохранность самого зонда, а, во-вторых, исключает артефакты, возникающие в процессе сканирования таких сложных поверхностей.

Автор выражает благодарность д.ф.-м. наук, проф. С.Г.Абдуллаевой за постоянное внимание к работе и С.П.Молчанову за предоставленную возможность работы на СЗМ и ценные консультации.

1. Р.З. Бахтизин, *Соросовский образовательный журнал*, 6 №11 (2000) 1.

2. P. Grutter, W. Zimmermann-Edling, D. Brodbeck, *Appl. Phys. Lett.*, **60** (1992) 2741.
3. С.А.Виноградова, А.О.Голубок, Н.А.Тарасов, В.А.Тимофеев, *Научное приборостроение*, 1 №3 (1991) 3.
4. U.Landman, W.D.Luedtke, M.W.Ribarsky, *J. Vac. Sci. Technol. A*, **7** (1989) 2829.
5. J.Voets, R.J.P.Keijsers, O.I.Shklyarevskii, H. van Kempen, *Physica B*, **218** №1/4 (1996) 290.
6. S.P.Molchanov, V.V.Dremov, A.P.Kirpichnikov, *Patent № 2145055, Russia Federation*
7. S.P.Molchanov, S.H.Abdullayeva, I.A.Chernova-Kharaeva, S.D.Alekperov, *Physica (Azerbaijan National Academy of Sciences)*, **XI** №1-2 (2005) 56.
8. S.P.Molchanov, I.A.Chernova-Kharaeva, S.H.Abdullayeva, S.D.Alekperov, *Proceedings of I International scientific seminar "Light in Nanosize Solids"*, Baku, (2004) 49.
9. H.Fuch, Th.Schimmel, M.Lux-Steiner, E.Bucher, *Ultramicroscopy*, **42** (1992) 1295.
10. S.H.Abdullayeva, S.D.Alekperov, *Physica (Azerbaijan National Academy of Sciences)*, **XI** № 4 (2005) 27.
11. X.-Y.Zheng, D.Youzhen, L.A.Bottomley, *J. Vac. Sci. Technol. B*, **13** (1995) 1320.

**KEÇİRTMƏYƏN MÜRƏKKƏB RELİYEFİLİ SƏTHLƏRİNİN RASTR ZOND
MİKROSKOPİYASI**

S.C. ƏLƏKBƏROV

MDM metodu işənilən keçirtməyən, böyük yüksəkliyin düşməsinə və mürəkkəb relyefli olan səthləri tədqiq etməyə imkan verir. Bu metod skaner olunması prosesində zond ilə nümunə arasında yarana bilən idarə olunmayan qarşılıqlı təsiri və artefaktları istisna edir. Verilmiş işdə MDM metodunun köməyi ilə β -seolit və Al_2O_3 əsaslı keramik katalizator nüminələri tədqiq edilmişdir. Hər iki halda MDM metodu ilə mürəkkəb morfoloji səthlərin skaner olunması yüksək dəqiqliklə həll edilmişdir.

**SCANNING PROBE MICROSCOPY OF THE NONCONDUCTIVITE COMPLEX
TOPOGRAPHY SURFACES**

S.D. ALEKPEROV

MDM method allows to explore any nonconductive surfaces with complex topography and large differences of heights. Moreover, it allows to exclude uncontrollable interaction of probe with sample, and artifacts caused by scanning process. In this work the samples of the β -zeolite and of the Al_2O_3 ceramic catalyst have been investigated by MDM method. In both cases scanning by MDM method forms a clear image of complex morphology surface with high resolution.

Редактор: Э.Гусейнов