

УДК 547.022.1/.4+539.2

## КОНТРОЛИРУЕМОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ НАНОЧАСТИЦ ПО ПОВЕРХНОСТИ ПОДЛОЖКИ В РЕЖИМЕ КРАТКОВРЕМЕННОГО КОНТАКТА ЗОНДА С ПОВЕРХНОСТЬЮ ОБРАЗЦА

А. М. Дубравин, О. Ю. Комков

Институт механики металлополимерных систем им. В. А. Белого НАН Беларуси,  
ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь

*Показана возможность осуществления в динамическом режиме АСМ визуализации частиц и их перемещения по подложке путем изменения начальной амплитуды колебаний консоли.*

### Введение

Режим динамического кратковременного контакта АСМ на сегодняшний день является наиболее распространенным благодаря своей стабильности, чувствительности зонда к упругим и вязким свойствам образца, а также благодаря получению дополнительной информации о поверхностных свойствах образца за счет регистрации фазового сдвига в колебаниях консоли.

Использование режима кратковременного контакта открывает больше возможностей использования АСМ как инструмента не только для получения информации о поверхности, но и для воздействия на нее. Один из недостатков данного режима – отсутствие точной аналитической зависимости между динамическими параметрами зонда и силой, действующей в системе зонд – образец. Оценка силы взаимодействия является важным критерием применимости этого режима к различным приложениям в АСМ.

Путем аналитического и компьютерного моделирования показано [1], что при относительной амплитуде колебаний консоли  $A/A_0=0,5$  максимальная сила взаимодействия за период колебаний консоли может быть оценена как

$$F_{\max} = \alpha k_c \frac{A_0}{Q_0},$$

где  $\alpha = 10 \div 30$  – коэффициент, определенный путем численного моделирования;  $k_c$  – изгибная жесткость консоли зонда;  $A_0$  – амплитуда свободных колебаний консоли на резонансной частоте зонда (начальная амплитуда колебаний консоли);  $Q_0$  – добротность зонда.

Таким образом, для зонда с заданными жесткостью консоли и добротностью изменять силу взаимодействия между зондом и образцом можно путем изменения начальной амплитуды колебаний консоли. Зависимость силы взаимодействия от относительной амплитуды колебаний консоли ( $A/A_0$ ) носит нелинейный характер и в случае существования в системе зонд – образец только консервативных сил

такая зависимость немонотонна с максимумом приблизительно при  $A/A_0=0,5$ .

Нами сделана попытка использования данного режима для манипулирования наночастицами и визуализации их положения путем изменения силы взаимодействия между зондом и образцом с помощью начальной амплитуды колебаний консоли. В большинстве случаев для перемещения частиц по поверхности подложки используется контактный режим, а для их визуализации – динамический неконтактный [2]. Нами осуществлена попытка перемещения частиц в режиме динамического кратковременного контакта, а визуализация самого перемещения – в динамическом бесконтактном режиме.

### Объекты и методика эксперимента

Для проведения экспериментов по манипулированию частицами изготовлен АСМ (рис. 1) [3] со сканером на пьезостеках, использующий емкостные датчики перемещения [4]. В работе применялся зонд NSC14 (Micromash) с жесткостью консоли  $k_c = 5$  Н/м. Перемещение частиц осуществлялось при амплитуде колебаний 50–100 нм, а их визуализация – при амплитуде 2–10 нм. Фазовый сдвиг служил индикатором преобладающего влияния сил отталкивания (в случае перемещения частиц) или сил притяжения (в случае визуализации положения частиц на поверхности) между зондом и образцом [1]. Объектом манипулирования явились серебряные наночастицы, покрытые полимером, с диаметром порядка 800 нм, осажденные на кремниевую подложку, покрытую слоем OTS толщиной 2 нм. Для уменьшения влияния адсорбированного слоя на стабильность колебаний зонда при уменьшении амплитуды колебаний консоли до 2–10 нм применялся термостол, представляющий собой ячейку Пельтье. При поднятии температуры до 50 °С получали устойчивые изображения для амплитуды колебаний консоли 2–10 нм.



Рис. 1. АСМ-наноманипулятор

### Обсуждение результатов

На рис. 2 приведен результат манипулирования частицами, полученный на разработанном АСМ. После сканирования участка поверхности (рис. 2, *a*) и выбора частицы для перемещения с помощью управляющей программы осуществлено ее перемещение (в горизонтальном направлении относительно рисунка) в

новое положение (рис. 2, б). При попытке переместить другую частицу (в вертикальном направлении относительно рисунка), произошло не только перемещение, но и ее “прилипание” к рядом расположенной за счет сил адгезии (рис. 2, в).

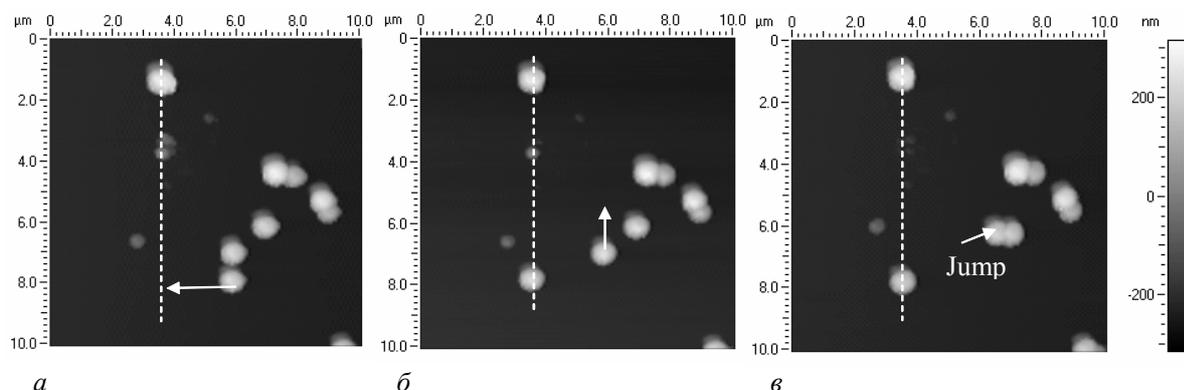


Рис. 2. Контролируемое перемещение наночастиц по поверхности подложки: изображение поверхности с наночастицами до перемещения (а); результат перемещения частицы вправо (б); результат перемещения частицы вверх (в)

## Заключение

За счет контролирования начальной амплитуды колебаний консоли в динамическом режиме взаимодействия зонда с поверхностью образца возможно использование одного и того же зонда как для перемещения наночастиц, так и для их визуализации на поверхности. Попытка получить аналогичный результат путем изменения только относительной амплитуды колебаний консоли не увенчалась успехом.

## Литература

1. Дубравин А. М. Выбор оптимальных режимов СЗМ и интерпретация фазового изображения применительно к поверхностям трения // Трение и износ. 2004. Т. 25. № 6. С. 612–623.
2. Direct and controlled manipulation of nanometer-sized particles using the non-contact atomic force microscope / Ramachandran T. R., Baur C., Bugacov A., Madhukar A., Koel B. E., Requicha A. and Gazen C. // Nanotechnology, 1998. № 9. Pp. 237–245.
3. Development of nano movement system / Myshkin N. K., Grigoriev A. Ya., Komkov O. Yu., Dubravina A. M., Yoon E.-S. // 1st Intern. Symp. for Nanoscale Mechanics & Manufacturing: Proc. Seoul, Korea, 2004. February 5-6. Pp. 183–190.
4. <http://www.pi.ws>.