

Низкотемпературная полевая реконструкция атомных нанокластеров на поверхности вольфрама

Т. И. Мазилова

*Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»,
Украина, 310108, г. Харьков, ул. Академическая, 1*

Статья поступила в редакцию 25 марта 1998 г.

Впервые методом полевой ионной микроскопии наблюдается низкотемпературная полевая реконструкция атомных кластеров на плотноупакованной грани металла. Обнаружен распад компактных кластеров на неплотноупакованные зигзагообразные атомные цепочки.

Уперше методом польової іонної мікроскопії спостережено низькотемпературну польову реконструкцію атомних кластерів на щільноупаковані грані металу. Виявлено розпад компактних кластерів на нещільноупаковані зигзагоподібні атомні ланцюжки.

PACS: 68.35.Bs

Большинство чистых металлических поверхностей имеет атомную структуру, соответствующую идеальному сечению объемной решетки. Структура таких атомночистых поверхностей не отличается от структур нижележащих атомных плоскостей. Однако в некоторых металлах, как правило, при повышенных температурах происходит перестройка первого поверхностного слоя, получившая название поверхностной реконструкции [1,2]. Реконструированные поверхности характеризуются измененной по сравнению с идеальной решеткой симметрией или размером элементарной ячейки. В сильных электрических полях, индуцирующих диполь-дипольное взаимодействие атомов, наблюдается особый вид реконструкции поверхности, связанный с практически безактивационным смещением атомов со ступенек плотноупакованных граней в стабилизированные полем метастабильные положения [3,4]. Комбинированное термо-полевое воздействие может приводить к распаду компактных атомных кластеров на плотноупакованных гранях металлов [5]. Детальная информация о перестройке конфигураций атомных комплексов в сильных электрических полях необходима, в частности, для обеспечения надежности интерпретации изображений сканирующих

туннельных микроскопов и воспроизводимости эксплуатационных параметров созданных на их базе нанотехнологических устройств [6,7]. Явления поверхностной релаксации и реконструкции поверхности макроскопических объектов детально изучены методами дифракции медленных электронов [1,2], однако практически полностью отсутствуют данные о протекании этих явлений в поверхностных атомных нанокластерах.

В настоящей работе с помощью метода полевой ионной микроскопии обнаружена низкотемпературная полевая перестройка компактных атомных нанокластеров на грани (110) вольфрама. Исследования проводились в двухкамерном полевом ионном микроскопе с охлаждением образцов жидким азотом. Температура образцов контролировалась по данным о температурных зависимостях пороговой напряженности испаряющего поля и разрешающей способности микроскопа [3]. При определении напряженности электрического поля в качестве опорной точки использовалось пороговое значение напряженности испаряющего поля вольфрама с учетом анизотропии полевого испарения [8]. Давление остаточных газов в рабочей камере составляло 10^{-8} – 10^{-6} Па; давление изображающего газа — гелия — 10^{-3} – 10^{-2} Па. Игольчатые образцы, ориентированные вдоль кристаллографического

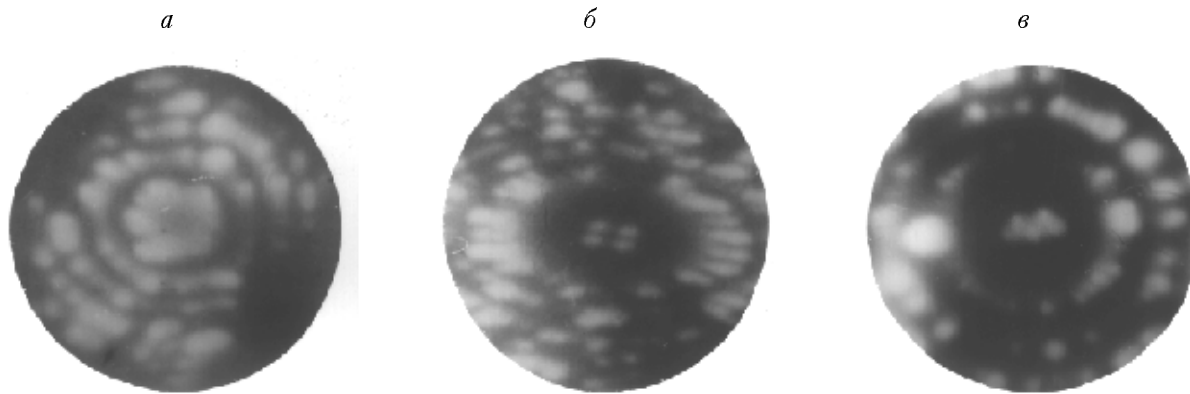


Рис. 1. Полевые ионномикроскопические изображения компактного нанокластера (а) и неплотноупакованных атомных групп (б, в), сформированных в процессе низкотемпературного полевого испарения граней {110} вольфрама.

направления $[110]$, изготавливались электрохимическим травлением из текстурированной вольфрамовой проволоки чистотой 99,98%. После установки в микроскоп они подвергались полемому испарению при напряженности электрического поля $(5,7-6,5) \cdot 10^8$ В/см до формирования идеальной атомногладкой поверхности. Радиусы кривизны образцов у вершины после формирования составляли 4,5–50 нм. Испарение при 78 К осуществлялось путем наложения положительного напряжения 1–25 кВ.

Круговые атомные наноконфлекс (рис. 1,а) формировались в процессе контролируемого низкотемпературного полевого испарения верхнего атомного слоя (110). Конфигурация комплекса приблизительно соответствовала круговому следу пересечения кристаллографической плоскости (110) с огибающей поверхность полусферой. При радиусах кривизны игольчатых образцов более 12–15 нм по мере полевого испарения комплексов сохранялась круговая конфигурация. При меньших радиусах кривизны полевого испарение со ступенек верхнего слоя (110) приводило к скачкообразному распаду кластера и образованию неплотноупакованных атомных групп различных конфигураций (рис. 1,б,в). Испарение образцов с радиусами кривизны у вершины менее 7–8 нм сопровождалось формированием зигзагообразных цепочек (рис. 1,в), подобных наблюдавшимся ранее при термо-полевым воздействием на микрокристаллы [5]. Анализ изменения конфигурации атомных цепочек в процессе низкотемпературного испарения показал, что звенья цепочки образуются парами атомов, расположенных на расстояниях, превышающих атомный диаметр $a/2[111]$. Из-за частичного перекрытия изображения атомов точность непосредственного определения углов между

смежными звеньями цепочек сравнительно низка и составляет 10–15°. Точность расчета углов с учетом ширины, длины и количества атомов в зигзагообразных цепочках выше в 3–4 раза. Такие расчеты показывают, что углы между парами атомов на ионномикроскопических изображениях изменяются с уменьшением длины цепочек в процессе испарения. Звенья цепочек из 9–10 атомов ориентированы в пределах ошибок измерения вдоль направлений $[\bar{1}\bar{1}3]$ и $[\bar{1}13]$. По мере испарения цепочек угол между смежными атомами непрерывно увеличивается, достигая значения $(60 \pm 5)^\circ$. В сильных электрических полях возможен переход атомов в метастабильное положение, соответствующее расположению над тройкой атомов нижележащего слоя {100} [3]. Регистрируемое непрерывное изменение углов между смежными атомными гантельками на ионномикроскопических изображениях не может отражать реального распределения метастабильных положений атомов на плотноупакованной грани. Анализ ста микрофотографий атомных цепочек показал, что такое изменение углов на ионномикроскопических изображениях связано с неоднородностью локального увеличения над неосесимметричным кластером. При уменьшении длины цепочек выравниваются главные радиусы кривизны возмущенного участка эффективной электронной поверхности, уменьшается анизотропия увеличения микроскопа над неосесимметричным кластером [9] и угол между парами атомов на изображениях, увеличиваясь, приближается к реальному углу между звеньями цепочек. На рис. 2 приведена схема расположения атомов на грани (110) в ближайших решеточных узлах (а) и в формируемой в процессе низкотемпературной полевого реконструкции неплотноупакованной зигзагообразной цепочке (б). При построении

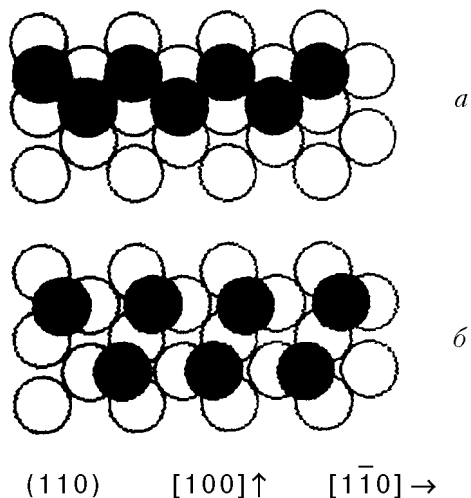


Рис. 2. Схема расположения атомов вольфрама на грани {110} в плотноупакованных (а) и неплотноупакованных (б) зигзагообразных цепочках.

схемы на рис. 2,б предполагалось, что поверхностные атомы расположены в стабилизированных электрическим полем метастабильных поверхностных состояниях. Движущей силой наблюдавшегося распада нанокластеров, по-видимому, является индуцированное сильными электрическими полями диполь-дипольное отталкивание [4] атомов в нанокластере.

Таким образом, в настоящей работе обнаружен особый тип низкотемпературной полевой перестройки — дезинтеграция атомных нанокластеров на плотноупакованной грани.

В заключение автор выражает глубокую признательность А. С. Бакаю и И. М. Михайловскому за полезные обсуждения.

1. М. А. Васильев, *Структура и динамика поверхности переходных металлов*, Наукова думка, Киев (1988).
2. А. Г. Наумовец, *ФНТ* **20**, 1091 (1994).
3. Э. Мюллер, Т. Цонь, *Автоионная микроскопия*, Металлургия, Москва (1972).
4. А. Л. Суворов, *Структура и свойства поверхностных слоев металлов*, Энергоатомиздат, Москва (1989).
5. S. Nishigaki and S. Nakamura, *Jpn. J. Appl. Phys.* **14**, 769 (1975).
6. V. A. Ksenofontov, I. M. Mikhailovskij, V. M. Shulaev, O. A. Velikodnaja, L. I. Fedorova, T. I. Mazilova, P. Ja. Poltinin, and T. V. Mamontova, in: *Physics, Chemistry, and Application of Nanostructures*, V. E. Borisenko et.al. (eds.), Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, 244 (1995).
7. S. N. Magonov and M.-H. Whangbo, *Surface Analysis with STM and AFM*, Springer-Verlag, Berlin (1996).
8. И. М. Михайловский, В. А. Ксенофонов, Т. И. Мазилова, *Письма в ЖЭТФ* **65**, 516 (1997).
9. И. М. Михайловский, В. С. Гейшерик, *Радиотехника и электроника* **19**, 1490 (1974).

Low-temperature field reconstruction of atomic nanoclusters on the surface of tungsten

T. I. Mazilova

The field ion microscopy observation of low temperature field reconstruction of atomic clusters at a close-packed face of a metal is first reported. It is found that the compact clusters are disintegrated in to nonclose-packed zigzag atom chains.