

Письма в ЖЭТФ, том 13, стр. 40 – 43

5 января 1971 г.

О КРАУДИОННОМ МЕХАНИЗМЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Ж.Н. Дранова, А.М. Дьяченко, И.М. Михайловский

Б [1] было установлено, что при ограниченной подвижности дислокаций в хрупких материалах пластическая деформация в значительной мере контролируется перемещением внедренных атомов в виде динамических краудионов.

В данной работе показано, что пластическая деформация вольфрама при механических напряжениях близких к теоретическому пределу прочности и низких температурах может быть связана с образованием и диффузионным перемещением межузельных атомов с подвижностью характерной для метастабильных краудионных конфигураций.

Игольчатые вольфрамовые образцы чистотой выше 99,99% с диаметром у вершины 200–2000 Å нагружались пондеромоторными силами электрического поля в вакуумной камере автоионного микроскопа с азотным охлаждением [2]. Межузельные атомы регистрировались по появлению на автоионных изображениях характерных локализованных центров с повышенным эмиссионным контрастом [3].

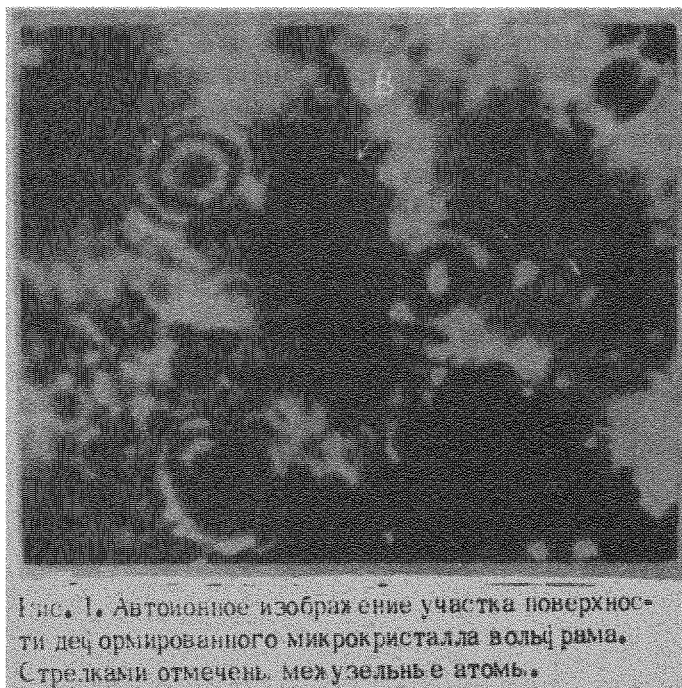


Рис. 1. Автоионное изображение участка поверхности деформированного микрокристалла вольфрама. Стрелками отмечены межузельные атомы.

Автоионные изображения образцов, в которых удавалось вызвать при $\approx 80^\circ\text{K}$ пластическую деформацию под действием нагрузки σ в интервале $1000\text{--}1500 \text{ кг/мм}^2$, обнаруживали выход на поверхность значительного числа внедренных атомов. На рис. 1 приведена автоионная фотография участка поверхности игольчатого микрокристалла диаметром $\approx 800 \text{ Å}$ после микродеформационного скачка в поле напряженности $\approx 500 \text{ Мэ/см}$ ($\sigma \approx 1100 \text{ кг/мм}^2$). Как видно из рисунка, межузельные атомы наблюдаются не только в области максимальных искажений (А), но также на значительном расстоянии от нее (В). Местоположение межузельных атомов, как следует из анализа автоионнограмм, не связано с выходом дислокации на поверхность. Привлекая во внимание, что смещенные атомы вольфрама остаются практически неподвижными вплоть до комнатных температур [3], обнаружение их на расстояниях от зон нарушения более 500 Å при $\approx 80^\circ\text{K}$ позволяет предполагать, что они перемещаются либо в виде динамических краудионов [1], либо путем диффузии в метастабильной краудионной конфигурации, характеризующейся, как было показано ранее (см., например [4]) малой энергией активации миграции.

Автоионномикроскопические наблюдения показывают, что в сильных электрических полях, близких к полю испарения F , ($\Delta F \sim 0,1F$) межузельные атомы, возникающие в процессе деформации, не испаряются с поверхности. На основе теории ионного испарения в электрическом поле [5] можно показать, что максимальное значение кинетической энергии атома, выходящего на поверхность, выражается соотношением

$$E = \frac{1}{2} \frac{\Delta F}{F} \left[\Lambda + I_n - n\phi + \frac{1}{2} (a_0 - a_1) F^2 \right], \quad (1)$$

где Λ -- теплота сублимации, I_n -- потенциал n -кратной ионизации, ϕ -- работа выхода, a_0 -- поляризуемость атомов металла в поверхностном узле решетки, a_1 -- поляризуемость свободных ионов.

Расчет по формуле (1) показывает, что энергия межузельного атома, выходящего на поверхность в процессе пластической деформации, не превышает 0,5 эв. Эта величина на два порядка меньше минимальной энергии характерной для распространения динамических краудионов [6]. При меньших энергиях происходит конверсия динамических краудионов в фокусоны, выход на поверхность которых сопровождался бы удалением поверхностных атомов. Таким образом перемещение краудионов при низкотемпературной деформации вольфрама носит не динамический, а диффузионный характер.



Рис.2. Игольчатый кристалл вольфрама после микродеформационного скачка, $\sigma = 1500 \text{ кг/мм}^2$, $T \cong 80^\circ \text{ К}$

В ряде случаев под нагрузкой до 1500 кг/мм^2 наблюдается скачкообразное деформационное изменение образца; при этом на автоионных изображениях обнаруживаются микроступеньки характерные для дислокационной деформации. Кристалл, предварительно сформированный испарением в поле, теряет первоначальную кристаллографическую огранку и на поверхности наблюдается большое число смещенных атомов. Величина потока атомов, необходимого для реализации наблюдаемой деформации (рис. 2), должна составлять $10^{15} - 10^{16} \text{ атом/см}^2$.

На основе приведенных экспериментальных данных можно заключить, что при низких температурах возможно пластическое деформирование, связанное с миграцией

крадионов, которое может рассматриваться как частный случай диффузионной ползучести, описываемой в высокотемпературной области моделью Херринга — Набаро — Лидшица [7 — 9].

Одесский
государственный университет
им. И.И.Мечникова

Поступила в редакцию
19 ноября 1970 г.

Литература

- [1] V.N.Rozhanskii, M.P.Nazarova, I.Z.Svetlov, L.K.Kalashnikova. Phys. Stat. Sol., 41, 579, 1970.
 - [2] Р.И.Гарбер, Ж.И.Дранова, И.М.Михайловский. ДАН СССР, 174, 1044, 1967.
 - [3] Р.И.Гарбер, Ж.И.Дранова, И.М.Михайловский, В.А.Стратиевко. ЖЭТФ, 54, 1025, 1968.
 - [4] A.Seeqer. Phys. Stat. Sol., 38, 235, 1970.
 - [5] T.T.Tsong. E.W.Nüller. Phys. Stat. Sol. (a), 1, 513, 1970.
 - [6] A.Seeqer. Radiation damage in solids, I, Vienna, 1962, p. 101.
 - [7] C.Herring. J.Appl. Phys., 21, 437, 1950.
 - [8] F.R.N.Nabarro. Conference of the strength of solids. Phys. Soc., London, 1948, p.75.
 - [9] И.М.Лидшиц. ЖЭТФ, 44, 1349, 1963.
-