

DRANOVA, Zh. I.

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

SEP 24 1974

Fizika
ФИЗИКА
ТВЕРДОГО ТЕЛА
Tverdogo Tela

ТОМ 14

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК

A. N. Baranov



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Ленинград 1972

температура 900°C была достигнута в опытах с V_2O_5 . Не было обнаружено каких-либо принципиальных изменений ВАХ при переходе через точку плавления. Заметим, что температура плавления Sb_2O_3 — 656°C , V_2O_5 — 450°C .

Представляет особый интерес выяснение природы ЭП. Как и в случае халькогенидных стекол [1, 5, 6], можно предположить два существенно различных по природе механизма: электронный и тепловой. Экспериментально наблюдаемые ВАХ могут быть объяснены в рамках как первого, так и второго механизмов, поэтому необходимо знать дополнительные характеристики процесса. Как показано в [7], такими информативными характеристиками являются зависимости порогового поля переключения $E_{п.п.}$ от расстояния и температуры.

Наблюдение ЭП в жидкой фазе открывает широкие возможности для измерения $E_{п.п.}$ в функции расстояния, так как возможно создание устройства для непрерывного и, следовательно, плавного микроперемещения электродов в расплаве. С другой стороны, термодинамическая устойчивость стеклообразного состояния V_2O_5 (отсутствие расстекловывания) обеспечивает достаточный интервал для температурных измерений $E_{п.п.}$. Следует заметить, что в целях предотвращения образования высших окислов измерения велись в атмосфере аргона.

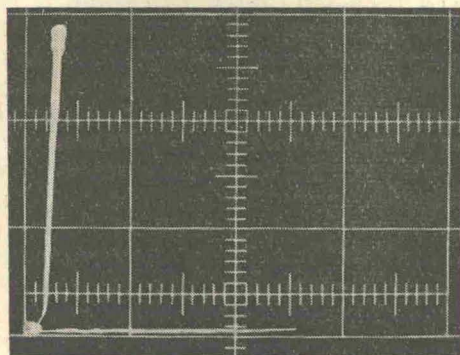


Рис. 1. Вольтамперная характеристика V_2O_5 при $T=180^{\circ}\text{C}$ (твердая фаза).

Цена деления E — $1.3 \cdot 10^3$ в/см, I — 210 ма.

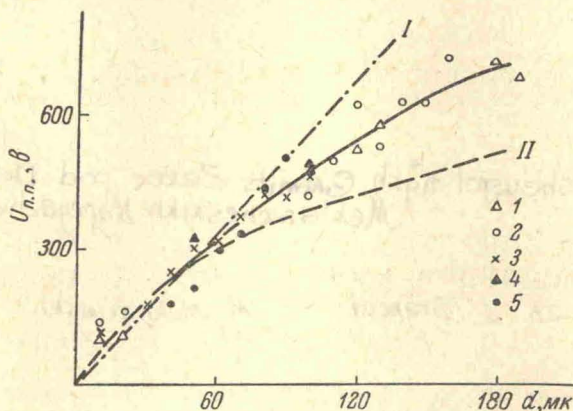


Рис. 2. Зависимость $U_{п.п.}$ от расстояния между электродами для расплава Sb_2O_3 при $T=680^{\circ}\text{C}$.

Для сравнения приведены теоретические кривые для электронного и теплового (по Фоку [8]) механизмов. Экспериментальные точки 1—5 — результаты независимых экспериментов.

$$I - U_{п.п.} \sim d, \quad II - U_{п.п.} \sim d^{0.5}.$$

Результаты измерения порогового напряжения переключения $U_{п.п.}$ от расстояния между электродами d для расплава Sb_2O_3 приведены на рис. 2. Из сопоставления экспериментальной и теоретической кривых для электронного и теплового механизмов, также приведенных на рис. 2, видно, что экспериментальная кривая при малых зазорах ($d < 50$ мк) удовлетворительно аппроксимируется линейной зависимостью, характерной для электронного механизма. При больших зазорах ($d > 100$ мк) наблю-

дается явное отклонение от линейной зависимости. Однако существенно, что экспериментальная кривая все же не согласуется с зависимостью $U_{п.п.} \sim d^{0.5}$, даваемой тепловой теорией Фока [8].

Аналитическая обработка показывает, что экспериментальная зависимость $E_{п.п.}$ подчиняется закону $E_{п.п.} \sim 1/d^{0.2}$. Заметим, что для электронного механизма $E_{п.п.} = \text{const} (d)$, для теплового, по Фоку, $E_{п.п.} \sim 1/d^{0.5}$.

В связи с неоднозначностью выводов представляют ценность результаты температурных измерений $E_{п.п.}$. Температурные измерения показывают отсутствие зависимости $E_{п.п.}(T)$ в твердой фазе и в жидком состоянии вблизи точки плавления. Однако при дальнейшем повышении температуры $E_{п.п.}$ начинает падать. Отсутствие существенной температурной зависимости свойственно электронному механизму. Напротив, уменьшение $E_{п.п.}$ с повышением температуры предсказывает тепловая теория.

На основании проведенных исследований представляется обоснованным вывод об электронном механизме переключения в окислах Sb_2O_3 , V_2O_5 в твердом и жидком состояниях в непосредственной близости от точки плавления. При более высоких температурах преимущественным становится тепловой процесс. Следует подчеркнуть, что данный вывод относится к импульсному режиму измерений. При работе в режиме постоянного тока ситуация может быть существенно отличной. Можно ожидать проявления тепловых эффектов при значительно более низких температурах.

Л и т е р а т у р а

- [1] Б. Г. Коломиец, Э. А. Лебедев, И. А. Таксами. ФТП, 3, 731, 1969.
- [2] H. Fritzsche, S. R. Ovshinsky. J. Non-Cryst. Sol., 2, 393, 1970.
- [3] H. K. Henisch, E. A. Fagen, S. R. Ovshinsky. J. Non-Cryst. Sol., 4, 538, 1970.
- [4] A. E. van Arkel, E. A. Flood, N. F. H. Bright. Can. J. Chem., 31, 1109, 1953.
- [5] P. W. McMillan, P. Nesvadbá. J. Phys. D: Appl. Phys., 4, 1401, 1971.
- [6] H. K. Henisch, R. W. Pryor. Sol. St. Electronics, 14, 765, 1971.
- [7] Б. Т. Коломиец, Э. А. Лебедев, И. А. Таксами. ФТП, 3, 312, 1969.
- [8] В. А. Фок. Тр. ЛФТЛ, вып. 5, 52, 1928.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе АН СССР
Ленинград

Поступило в Редакцию
17 июля 1972 г.

Образование большеугольных границ зерен под действием
механических напряжений

ОБРАЗОВАНИЕ БОЛЬШЕУГОЛЬНЫХ ГРАНИЦ ЗЕРЕН ПОД ДЕЙСТВИЕМ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Zh. I. Dranová I. M. Mikhailovskii
Ж. И. Дранова и И. М. Михайловский

В [1] было показано, что формирование большеугольных границ зерен может рассматриваться как результат реакций между решеточными дислокациями под действием локальных напряжений. Для протекания реакций требуются напряжения, на порядок и более превышающие макроскопический предел текучести кристаллов. В деформированных материалах такие напряжения могут возникать, например, в местах пересечения скоплений дислокаций.

В субмикроструктурах, исследуемых автоионно-микроскопически, электрическое поле высокой напряженности создает механические напряжения, которые могут достигать в совершенных кристаллах теоретического предела прочности [2, 3]. В связи с этим представлялось интересным автоионно-микроскопически изучить изменения микроструктуры вольфрамовых образцов под действием высоких механических напряжений.

Образцы для исследования изготавливались из вольфрамовой проволоки чистотой 99.95% и имели исходный диаметр у вершины ~ 200 А.

После установки в автоионный микроскоп и формирования атомно-гладкой поверхности образцы испарялись полем при 78°K со скоростью, приблизительно равной одному атомному слою (110) в секунду. При этом плотность пондеромоторных сил на поверхности образцов составляла $\sim 1500 \text{ кг/мм}^2$ и поддерживалась постоянной в процессе испарения в пределах 2%.

В результате проведенных исследований оказалось, что при испарении полем игольчатых монокристаллов в интервале диаметров $200\text{--}1000 \text{ \AA}$ более 50% образцов не обнаруживают каких-либо следов пластической деформации. Приблизительно у 10% образцов в процессе низкотемпературного нагружения электрическим полем наблюдается пластическая деформация с нарушением монокристалльности. В качестве примера на рис. 1, а и б приведены автоионные микрофотографии, иллюстрирующие возникновение переориентированного участка микрокристалла. Первоначально монокристалльный образец (рис. 1, а) под действием пондеромотор-

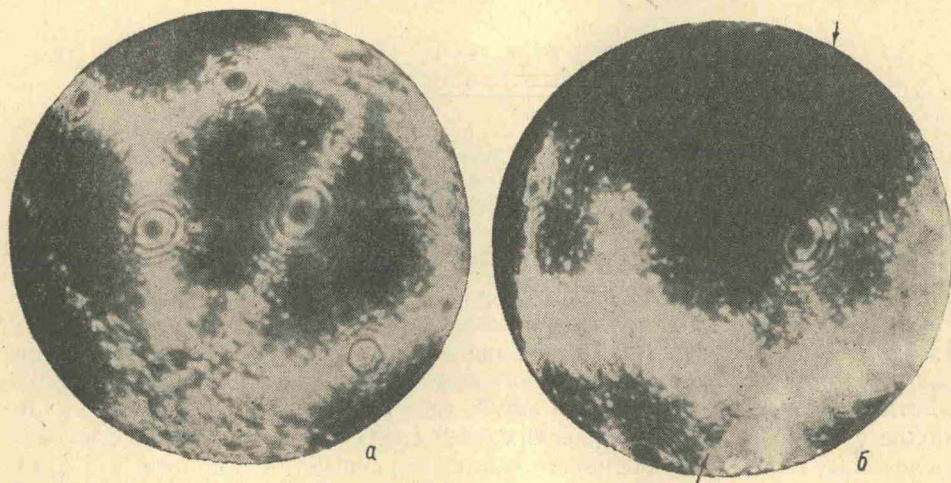


Рис. 1. Переориентация части микрокристалла под действием механических напряжений.

Угол разориентации 55° относительно оси $[110]$.

ных сил продеформировался с образованием большеугольной границы. Разориентация смежных зерен описывается поворотом относительно оси $[110]$ на угол 55° , приблизительно соответствующий образованию решетки совпадающих узлов [4, 5] с обратной плотностью совпадений $\Sigma=11$. Вблизи центрального полюса $[110]$ на границе наблюдаются спиральные атомные ступеньки, обычно возникающие при отклонении ориентационных соотношений большеугольных границ от специальных. Нормальная к поверхности компонента векторов Бюргера дислокаций, порождающих в процессе испарения полем геликоидальные фигуры, равна $\frac{1}{2} [110]$.

В большинстве случаев деформация монокристаллов приводила к образованию бикристаллов с большеугольными границами сравнительно малой кривизны. В двух из более ста исследованных образцов наблюдалась переориентация с формированием более сложных зернограничных конфигураций. Границы зерен, как правило, обнаруживали высокую устойчивость в поле пондеромоторных сил электрического поля. Однако в ряде случаев наблюдалось скачкообразное перемещение границ зерен на расстояние $200\text{--}400 \text{ \AA}$. Образование и перемещение большеугольных границ под действием высоких напряжений, по-видимому, аналогично наблюдавшемуся ранее [6] явлению низкотемпературной «механической рекристаллизации».

Приведенные данные об образовании большеугольных границ в условиях, практически исключающих термическую активацию процесса,

качественно согласуются с описанным в [1] механизмом формирования и миграции границ зерен под действием механических напряжений. Сдвиговое напряжение, необходимое для безактивационного протекания реакции между параллельными отталкивающимися дислокациями с векторами Бюргера b , ориентированными под углом α друг к другу, равно [1]

$$\tau_0 \approx \frac{\mu B \cos \alpha}{2\pi(1-\nu)r_0\sqrt{e}},$$

где μ — модуль сдвига, ν — коэффициент Пуассона, r_0 — радиус ядра дислокации.

Напряжения, при которых наблюдалась низкотемпературная переориентация микросталлов, изменялись в пределах $\mu/30$ — $\mu/20$, что

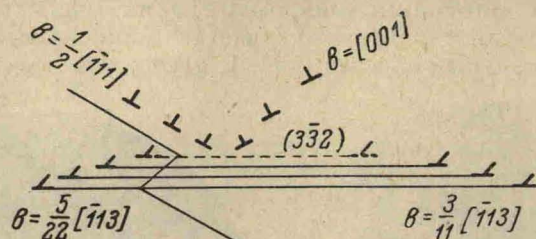


Рис. 2. Схема образования зародыша нового зерна при пересечении скоплений дислокаций.

в 2—3 раза меньше величины τ_0 . Последнее может быть связано с образованием в процессе пластической деформации небольших скоплений дислокаций, повышающих уровень локальных напряжений до величины τ_0 . На рис. 2 изображена одна из возможных схем образования нового зерна, разориентированного относительно матрицы на угол $\omega=50.5^\circ$ при взаимодействии пересекающихся скоплений дислокаций $1/2 [111]$ и $[001]$, лежащих соответственно в плоскостях (112) и (110) . Возникающие в процессе последовательно протекающих реакций краевые дислокации $1/2 [\bar{1}13]$ расщепляются в плоскости $(3\bar{3}2)$ на две частичные $5/22 [\bar{1}13]$ и $3/11 [\bar{1}13]$, ограничивающие переориентированную область кристалла.

Снижение напряжения формирования большеугольных границ зерен, по-видимому, может быть связано также с непараллельностью дислокаций, вступающих в реакцию. Образующиеся в результате реакций зернограничные дислокации ограничены тройными узлами. Такая дислокационная конфигурация является сидячей и при наличии сдвиговых напряжений в плоскости расщепления может служить источником зернограничных дислокаций.

Л и т е р а т у р а

- [1] И. М. Михайловский. ФТТ, 14, 0000, 1972.
- [2] Р. И. Гарбер, Ж. И. Дранова, И. М. Михайловский. ДАН СССР, 174, 1044, 1967.
- [3] Ж. И. Дранова, И. М. Михайловский, В. И. Афанасьев. ФММ, 32, 179, 1971.
- [4] D. G. Brandon. Acta Met., 15, 341, 1967.
- [5] Р. И. Гарбер, Ж. И. Дранова, И. М. Михайловский. ЖЭТФ, 54, 714, 1968.
- [6] И. А. Гиндин, Б. Г. Лазарев, Я. Д. Стародубов. ФТТ, 3, 920, 1961.

Физико-технический институт
АН УССР
Харьков

Поступило в Редакцию
10 апреля 1972 г.
В окончательной редакции
20 июля 1972 г.