

05.1;12

## **Корреляция между микротвердостью и подвижностью двойникующих дислокаций в кристаллах висмута при приложении постоянного магнитного поля и импульсов тока**

© А.И. Пинчук, С.Д. Шаврей

Мозырский государственный педагогический институт, Мозырь  
E-mail: APinchook@yandex.ru

Поступило в Редакцию 25 января 2002 г.

Установлено, что при одновременном воздействии на кристаллы висмута сосредоточенной нагрузки, постоянного магнитного поля и импульсов электрического тока между микротвердостью и подвижностью двойникующих дислокаций существует корреляция. Показано, что приложение внешних полей способствует трансляции двойникующих дислокаций вдоль границ раздела двойник-матрица.

Исследование вопроса о корреляции между микротвердостью ( $H$ ) и подвижностью дислокаций при приложении внешних полей актуально с точки зрения как физики процессов микроиндентирования, так и физики электропластической деформации.

Формирование отпечатка индентора обусловлено пластической деформацией кристалла под воздействием сосредоточенной нагрузки. В случае микроиндентирования кристаллов висмута работа силы тяжести груза на штоке индентора затрачивается не только на образование дислокационной розетки, но и на формирование системы клиновидных двойников вокруг отпечатка. Приложение постоянного магнитного поля (МП) и одиночных импульсов электрического тока снижает микротвердость кристаллов висмута [1]. Длина клиновидных двойников при этом существенно увеличивается [2], поэтому целесообразно изучить вопрос о корреляции между микротвердостью и подвижностью двойникующих дислокаций.

К настоящему времени установлено, что образцам с высокой твердостью соответствует низкая подвижность дислокаций [3]. Однако

в некоторых случаях уменьшение микротвердости связано не с увеличением подвижности дислокаций, а с уширением лучей дислокационных розеток (т.е. с разбеганием дислокаций из узких дислокационных рядов). Клиновидные двойники, образующиеся в кристаллах типа висмута под воздействием сосредоточенной нагрузки, в этом плане могут служить хорошим модельным объектом. Все двойничающие дислокации локализованы на границе раздела двойник-матрица.

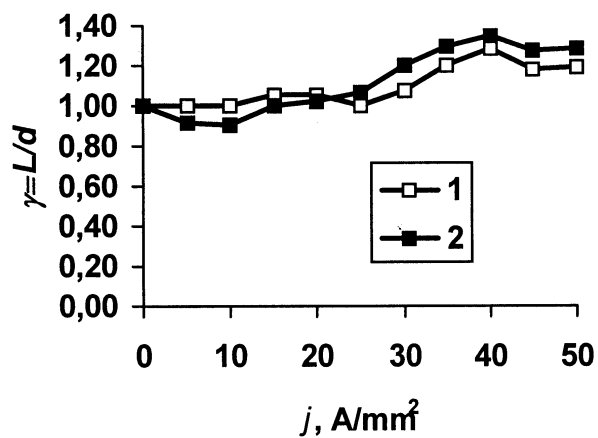
Для выращивания кристаллов висмута по методу Бриджмена использовалось сырье химической чистоты. Образцы, имевшие вид прямоугольных призм и размеры  $10 \times 5 \times 5$  mm, получались раскалыванием монокристалла висмута по плоскости спайности. Клиновидные двойники системы  $\{110\}\langle 001 \rangle$  получались путем вдавливания стандартной алмазной пирамиды в плоскость спайности (111) кристаллов висмута.

Исследования проводились с помощью микротвердомера ПМТ-3 с использованием специального устройства для фиксации образца в условиях приложения внешних полей. Детально экспериментальная установка описана в [4].

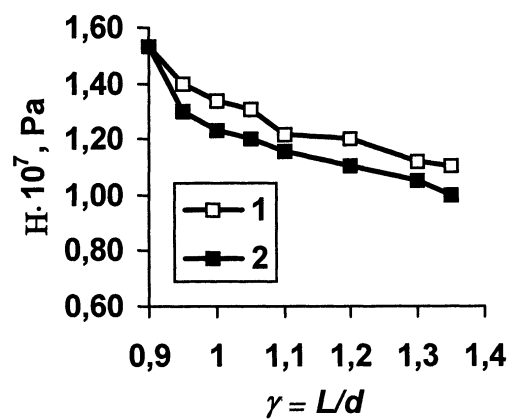
Способ приложения внешних полей и сосредоточенной нагрузки был следующим. В постоянном МП (с индукцией  $B = 0.2T$ ) на образец в течение 20 s воздействовала сосредоточенная нагрузка, равная  $P = 0.14$  N. Затем через образец пропусклся импульс тока длительностью  $t_{imp} = 4 \cdot 10^{-4}$  s. Амплитуда токовых импульсов варьировалась в пределах  $j_{imp} = 0 - 50$  A/mm<sup>2</sup>. Векторы нагрузки  $\mathbf{P}$ , плотности тока  $\mathbf{j}$  и магнитной индукции  $\mathbf{B}$  образовывали тройку взаимно перпендикулярных векторов. При этом векторы  $\mathbf{j}$  и  $\mathbf{B}$  лежали в плоскости спайности (111). Точки на экспериментальных кривых получены путем усреднения результатов измерений размеров клиновидных двойников, образовавшихся вокруг 20 отпечатков. Экспериментальная погрешность не превышала 3%.

Авторами работы [3] показано, что в качестве характеристики подвижности дислокационных ансамблей следует выбрать не длину  $L$  лучей дислокационной розетки, а параметр  $\gamma = L/d$ , где  $d$  — размер отпечатка индентора. В настоящей работе  $L$  представляет собой длину клиновидных двойников.

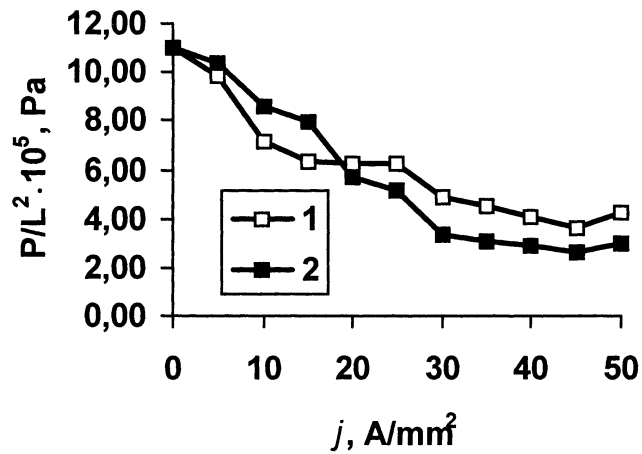
Из рис. 1 видно, что воздействие постоянного МП и импульсов тока на кристаллы висмута увеличивает подвижность ансамблей двойничающих дислокаций. (На всех приведенных рисунках светлые точки соответствуют положительному заряду, появляющемуся в результате



**Рис. 1.** Зависимость подвижности двойниующих дислокаций  $\gamma$  от амплитуды токового импульса  $j_{imp}$ .



**Рис. 2.** Зависимость микротвердости  $H$  от подвижности двойниующих дислокаций  $\gamma$ .



**Рис. 3.** Зависимость напряжений старта двойникующих дислокаций  $P/L^2$  от амплитуды токового импульса  $j_{imp}$ .

холловской поляризации образца, на исследуемой грани (111), темные точки соответствуют отрицательному заряду на этой же грани).

С целью выяснения вопроса о корреляции величин  $H$  и  $\gamma$  между собой построены зависимости  $H$  ( $\gamma$ ) (рис. 2). Из рисунка видно, что рост  $\gamma$  сопровождается заметным падением микротвердости. Интенсификация двойниковогоания при полевом воздействии может быть одной из причин увеличения размеров отпечатка.

Наблюдаемое повышение пластичности кристаллов висмута сопровождается снижением стартовых напряжений двойникующих дислокаций. В [5] указывается, что параметр  $P/L^2$  имеет размерность напряжений и соответствует порядку величин напряжений старта двойникующих дислокаций. Из поведения кривых, изображенных на рис. 3, следует, что  $P/L^2$  уменьшается с ростом амплитуды токового импульса  $j_{imp}$ .

Таким образом, проведенное исследование показало, что одновременное приложение постоянного МП и импульсов тока способствует трансляции двойникующих дислокаций вдоль границ раздела двойник-матрица. При этом между микротвердостью и подвижностью двойникующих дислокаций наблюдается корреляция.

## Список литературы

- [1] Пинчук А.И., Шаврей С.Д. // ФТТ. 2001. Т. 43. В. 8. С. 1416–1417.
- [2] Савенко В.С., Пинчук А.И., Поняров В.В., Злотник В.Б. // Вестн. Белорус. ун-та. 1995. № 2. Сер. 1. С. 27–30.
- [3] Грабко Д.З., Боярская Ю.С., Дынту М.П. Механические свойства полуметаллов типа висмута. Кишинев: Штиинца, 1982. 134 с.
- [4] Pinchook A.I., Savenko V.S. // J. Appl. Phys. 1999. V. 86. N 5. P. 2479–2482.
- [5] Башмаков В.И., Савенко В.С. // Изв. вузов. Физика. 1980. № 7. С. 29–33.