

05.1;12

## **Снижение подвижности и размножения двойникующих дислокаций в кристаллах висмута при приложении постоянного магнитного поля**

© С.Д. Шаврей, А.И. Пинчук

Мозырский государственный педагогический университет  
E-mail: APinchook@yandex.ru*Поступило в Редакцию 11 февраля 2003 г.*

Обнаружено, что одновременное приложение к монокристаллам висмута постоянного магнитного поля и сосредоточенной нагрузки приводит к частичному подавлению двойникового за счет снижения подвижности и размножения двойникующих дислокаций. В результате существенно уменьшаются суммарный сдвойникованный объем и суммарная площадь границ раздела двойник–матрица.

В последнее десятилетие активно ведутся исследования магнитоупругого эффекта (МПУ) в твердых телах. Несмотря на значительные достижения в области физики МПУ, практически не изучен вопрос о влиянии магнитного поля (МП) на такой важнейший вид пластической деформации, как двойникование. В работах [1,2] было впервые обнаружено, что приложение постоянного МП к кристаллам висмута с одновременным воздействием на образцы сосредоточенной нагрузки приводит к частичному подавлению двойникового. Последний эффект выражается в падении средней длины клиновидных двойников на плоскости спайности (111) кристаллов висмута, существенном уменьшении суммарного сдвойникового объема и суммарной площади границ раздела двойник–матрица. Поскольку двойникование и скольжение являются конкурирующими видами пластической деформации, авторами было выдвинуто предположение о том, что МП повышает интенсивность скольжения за счет подавления двойникового. Эволюция в МП спинового состояния в системе полная дислокация–парамагнитный центр приводит к снятию спинового запрета и, как следствие, разрушению стопора. В результате размеры

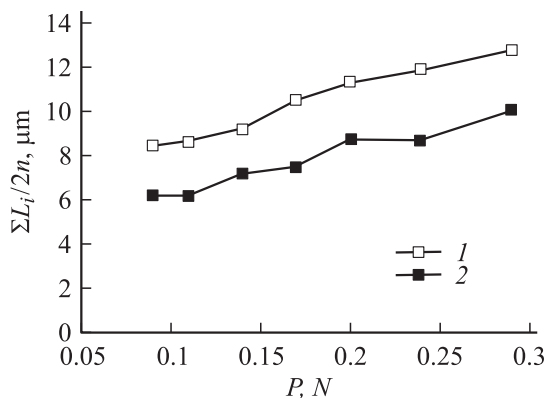
дислокационной розетки в кристаллах висмута под воздействием МП существенно увеличиваются при прочих равных условиях. Двойникоующие дислокации, по-видимому, в меньшей степени испытывают пластифицирующее влияние МП. В пользу такой точки зрения свидетельствует тот факт, что вектор Бюргерса частичных двойникоующих дислокаций в кристаллах висмута равен всего  $b = \frac{1}{12}a$ , где  $a$  — параметр кристаллической решетки [3]. Поэтому в ядрах двойникоующих дислокаций имеется меньшее количество парамагнитных центров по сравнению с полными дислокациями.

Цель настоящей работы состояла в том, чтобы установить основные причины, приводящие к частичному подавлению двойникоования при приложении постоянного МП. Для этого проводилось изучение роста клиновидных двойников под воздействием сосредоточенной нагрузки без полевого воздействия и при наложении МП на образцы.

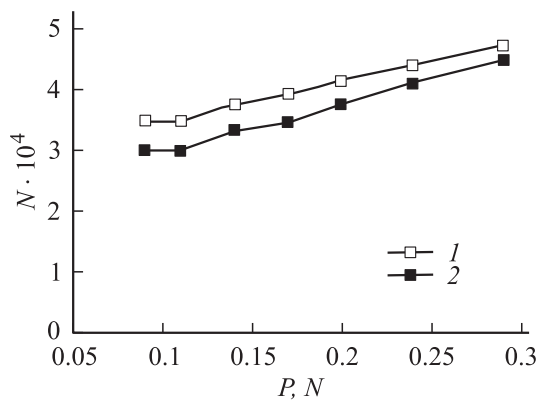
Монокристаллы висмута выращивались по методу Бриджмена из сырья чистотой 99.97% (с примесью свинца). Раскальванием монокристаллов по плоскости спайности (111) получалась поверхность, пригодная к исследованиям без дальнейшей обработки. Микроиндентирование проводилось с помощью специальной экспериментальной установки, изготовленной как приставка к микротвердомеру ПМТ-3, все детали которой были сделаны из немагнитных металлов. Клиновидные двойники, принадлежащие системе  $\{110\}\langle 001 \rangle$ , получались путем вдавливания алмазного индентора в плоскость (111) монокристаллических образцов висмута. Индукция МП в зазоре сердечника электромагнита, в центре которого помещался образец, была постоянна и равна  $B = 0.2$  Т.

Рост клиновидных двойников осуществлялся за счет увеличения силы тяжести груза  $P$  на штоке индентора при одном и том же времени микроиндентирования как в МП, так и без приложения поля.  $P$  варьировалась в интервале от 0.09 до 0.29 Н. В наших опытах МПЭ проявлялся при одновременном воздействии сосредоточенной нагрузки и постоянного МП на образец. После снятия нагрузки и отключения поля производились замеры длины клиновидного двойника  $L$  и его ширины  $h$  у устья, а также числа клиновидных двойников  $n$  у отпечатков индентора. Усреднение величин  $L$ ,  $h$  и  $n$  проводилось по результатам измерений не менее 20 отпечатков. Экспериментальная погрешность не превышала 3%.

Средняя длина пробега двойникоующих дислокаций  $\lambda$  рассчитывалась по формуле  $\lambda = \sum L_i / 2n$ . Число двойникоующих дислокаций  $N$ ,



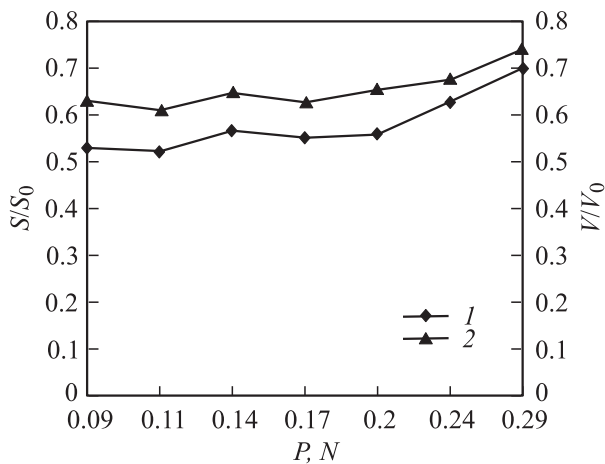
**Рис. 1.** Зависимость среднего пробега двойникоующих дислокаций  $\lambda = \Sigma L_i/2n$  от нагрузки на индентор  $P$  при приложении МП (2) и без поля (1).



**Рис. 2.** Число двойникоующих дислокаций  $N$  на границе двойник–матрица в зависимости от нагрузки на индентор  $P$  с полем (2) и без поля (1).

локализованных на границе раздела двойник–матрица, находилось из соотношения  $N = h/a$ , где  $a$  — параметр кристаллической решетки в направлении, перпендикулярном плоскости двойникоования [4].

Из рис. 1 следует, что с увеличением нагрузки на индентор  $P$  средняя длина пробега двойникоующих дислокаций  $\lambda$  обнаруживает рост как без поля, так и при наложении МП на образец. В присутствии МП



**Рис. 3.** Зависимости отношений  $V/V_0$  (2) и  $S/S_0$  (кривая 1) от нагрузки на индентор  $P$ .

$\lambda$  заметно меньше, чем без поля. Наблюдаемое уменьшение длины клиновидных двойников объясняется частичным подавлением трансляции двойникующих дислокаций вдоль границ раздела двойник–матрица под воздействием МП.

На рис. 2 приведена зависимость среднего числа двойникующих дислокаций  $N$ , локализованных в плоскости двойникования, от нагрузки на индентор  $P$ . Можно видеть, что с увеличением нагрузки  $N$  растет. Сравнивая поведение кривых 1 и 2 на рис. 2, заключаем, что приложение постоянного МП частично подавляет процесс размножения двойникующих дислокаций.

Пластическая деформация при двойниковании может быть количественно описана в терминах суммарного сдвойникового объема  $V$  и суммарной площади границ раздела  $S$  двойник–матрица [5]. Известно, что рост клиновидных двойников складывается из зарождения в устье двойника двойникующих дислокаций и их дальнейшей трансляции вдоль границ раздела двойник–матрица. Частичное подавление подвижности и размножения двойникующих дислокаций при приложении МП приводят к заметному падению суммарного сдвойникового объема  $V$  и суммарной площади границ раздела двойник–матрица  $S$ . На рис. 3 показаны зависимости отношений  $V/V_0$  и  $S/S_0$  от нагрузки на

индентор  $P$ ;  $V$  и  $S$  получены при помещении образцов в МП,  $V_0$  и  $S_0$  — в отсутствие поля. При малых  $P$  воздействие МП приводит к падению интенсивности двойникования почти в 2 раза. При больших нагрузках отношения  $V/V_0$  и  $S/S_0$  обнаруживают рост. Подобное поведение указанных зависимостей наталкивает на мысль о поверхностном характере МПЭ. Разумеется, для выяснения причин этого явления необходимо проведение дополнительных исследований.

## Список литературы

- [1] Пинчук А.И., Шаврей С.Д. // Металлофизические новейшие технологии. 2000. Т. 22. № 12. С. 43–46.
- [2] Пинчук А.И., Шаврей С.Д. // ФТТ. 2001. Т. 43. В. 1. С. 39–41.
- [3] Лаврентьев Ф.Ф. // ФММ. 1964. Т. 18. № 3. С. 428–431.
- [4] Косевич А.М., Бойко В.С. // УФН. 1971. Т. 104. В. 2. С. 201–255.
- [5] Пинчук А.И. // Металлофизические новейшие технологии. 2000. Т. 22. № 3. С. 88–92.