

05.1;12

Форма клиновидных двойников кристаллов висмута в условиях магнитоэластического эффекта

© А.И. Пинчук, С.Д. Шаврей

Мозырский государственный педагогический университет

E-mail: arinchook@tut.by

Поступило в Редакцию 14 сентября 2004 г.

Получено, что одновременное воздействие сосредоточенной нагрузки и постоянного магнитного поля приводит к изменению формы клиновидных двойников кристаллов висмута. Без приложения магнитного поля угол раствора клиновидных двойников близок к нулю градусов, при полевом воздействии — близок к 180 градусам. Изменение формы двойников объясняется резким увеличением линейной плотности двойнивающих дислокаций на конце двойника. Эффект проявляется уже после двухминутной выдержки образцов в магнитном поле под нагрузкой.

В работе авторов [1] впервые обнаружено, что воздействие на кристаллы висмута постоянного магнитного поля (МП) приводит к сокращению длины клиновидных двойников. С целью углубления представлений о природе магнитоэластического эффекта при двойниковании следует изучить форму двойников, которую они приобретают при длительном воздействии внешней нагрузки и постоянного МП.

Монокристаллические образцы висмута химической чистоты 99.97% имели форму прямоугольных призм и размеры $5 \times 5 \times 15$ mm. Для достижения однородности МП образцы закреплялись с помощью специального устройства, изготовленного из неферромагнитных металлов, в геометрическом центре сердечника электромагнита на большой высоте (10 см) от стального столика микротвердомера ПМТ-3. Непосредственные измерения, выполненные с помощью датчика Холла, показали, что неоднородность МП вдоль образца не превышала 2%. С целью устранения инструментальных эффектов стальные детали ПМТ-3, находившиеся в МП (оправка стандартной пирамиды Виккерса, грузы на штоке индентора) заменялись деталями, изготовленными из неферро-

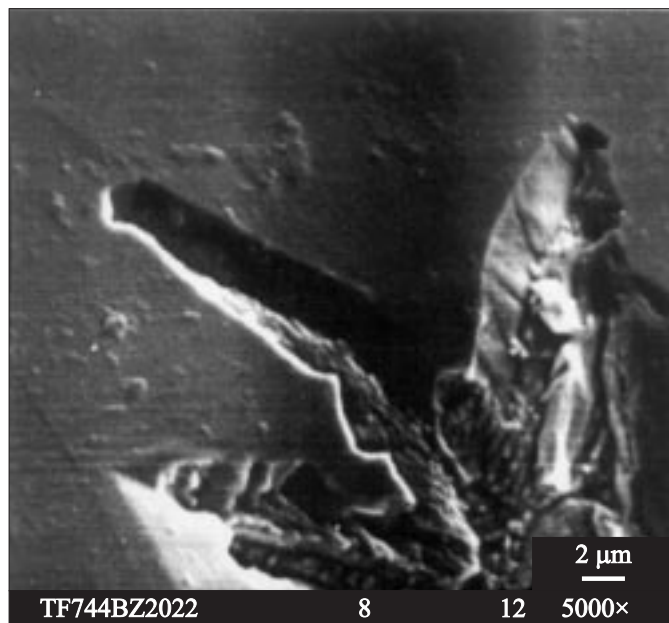


Рис. 1. Типичная форма двойников в магнитном поле с индукцией $B = 0.2$ Т, $5000\times$. Время выдержки кристалла под индентором 5 min.

магнитных металлов. Сосредоточенная нагрузка прикладывалась перпендикулярно свежесколотой плоскости спайности (111) кристаллов висмута. При таком способе нагружения возникают линзовидные двойники системы $\{110\}\langle 001\rangle$, которые легко прорастают в глубь кристалла под действием внешней силы и при выходе на свободную поверхность имеют форму клина.

Индукция МП была постоянна и равна $B = 0.2$ Т. Время выдержки кристалла под индентором варьировалось в интервале 0–5 min. Форма заклинившихся клиновидных двойников изучалась с помощью электронно-микроскопических исследований.

Каждая точка на графике соответствует результатам замеров двойников, образовавшихся вокруг 20 отпечатков алмазного индентора. Экспериментальная погрешность не превышала 3%.

Без приложения МП клиновидные двойники в кристаллах висмута имеют угол раствора, близкий к 0° . На рис. 1 показана типичная форма клиновидных двойниковых прослоек в МП. Из изучения микрофотографий видно, что в МП угол раствора конца двойника близок к 180° .

Установление термодинамически равновесной длины клиновидного двойника может быть одной из причин изменения его формы. Из общих соображений ясно, что термодинамическое равновесие двойника наступает в том случае, когда поверхностная энергия двойниковой границы будет минимальна. Минимальная площадь раздела межфазной границы двойник–материнский кристалл соответствует такой форме двойника, когда угол при его вершине увеличивается, а длина двойника сокращается.

Установление термодинамически равновесной формы двойников происходит по мере преодоления двойническими дислокациями стопоров различной природы и силы сухого трения. При таком механизме дислокации ожидают подходящих термических флуктуаций для преодоления стопоров. Приложение МП способствует разблокированию контура двойника от стопоров парамагнитного типа. Под действием внешней нагрузки двойничающие дислокации, расположенные в соседних плоскостях двойникового, движутся от устья к концу двойника. В то же время двойничающие дислокации на конце двойника начинают обратное движение за счет действия сил поверхностного натяжения. Поэтому следует ожидать, что в МП линейная плотность двойничающих дислокаций, локализованных на границе двойника, будет меньше вдоль длины двойника, за исключением малой области на его конце, где линейная плотность будет значительно больше.

Известно [2], что изучение формы двойника позволяет экспериментально определить линейную плотность $\rho(x)$ двойничающих дислокаций вдоль длины двойника, совпадающей с направлением x . Линейную плотность двойничающих дислокаций можно найти из соотношения [3]

$$\rho(x) = -\frac{1}{a} \frac{dh(x)}{dx},$$

где a — параметр решетки в направлении, перпендикулярном плоскости двойникового, $h(x)$ — толщина двойника. Следовательно, по измерениям $h(x)$ на полученных микрофотографиях можно определить значение функции $\rho(x)$ в каждой точке вдоль длины двойника. Как и в [2], для построения экспериментальной зависимости $\rho(x)$ строился

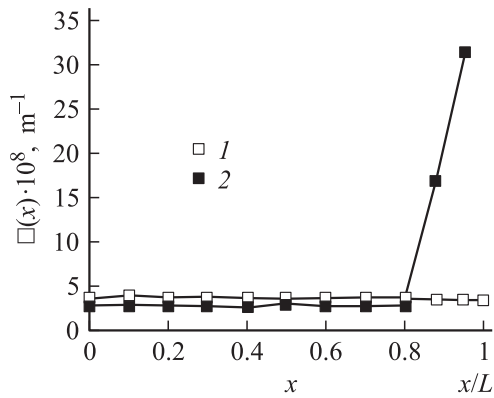


Рис. 2. Изменение линейной плотности двойнивающих дислокаций $\rho(x)$ вдоль длины двойника. Время выдержки кристалла под индентором 5 min: 1 — без МП; 2 — в МП с индукцией $B = 0.2 \text{ Т}$.

график зависимости $h(x)$, затем путем графического дифференцирования находились значения линейной плотности. Полученный результат представлен на рис. 2.

Без приложения МП линейная плотность двойнивающих дислокаций вдоль длины двойника равна $\rho_0 = 3.5 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1}$. На конце двойника длиной L , при $x = L$, она обращается в нуль, т.е. $\rho(L) = 0$. В МП численное значение линейной плотности меньше, $\rho = 2.6 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1}$. При этом, как видно из рис. 2, в интервале $0.8L \leq x \leq L$ функция $\rho(x)$ обнаруживает резкий рост и на порядок превышает численное значение ρ_0 .

Без приложения МП установление термодинамически равновесной длины двойника происходит в течение десятков часов [4], в то время как приложение МП снижает длительность этого процесса до 2 min. По-видимому, МП снимает принцип запрета по спине на протекание взаимодействия дислокаций и точечных дефектов, разблокирует двойниковую границу от стопоров парамагнитного типа и значительно ускоряет установление термодинамического равновесия.

Работа была частично поддержана Фондом фундаментальных исследований Республики Беларусь (грант Ф03–105).

Список литературы

- [1] Пинчук А.И., Шаврей С.Д. // ФТТ. 2001. Т. 43. В. 1. С. 39–41.
- [2] Солдатов В.П., Старцев В.И. // ДАН СССР. 1966. Т. 166. В. 3. С. 588–591.
- [3] Косевич А.М., Пастур Л.А. // ФТТ. 1961. Т. 3. В. 4. С. 1290–1297.
- [4] Бойко В.С., Гарбер Р.И., Кривенко Л.Ф. // ФТТ. 1967. Т. 9. В. 2. С. 435–443.