

# ЗАВИСИМОСТЬ ЭНЕРГИИ КЛИНОВИДНЫХ ДВОЙНИКОВ В КРИСТАЛЛАХ ВИСМУТА ОТ СОСРЕДОТОЧЕННОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ПРИЛОЖЕНИИ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Пинчук А.И., Шаврей С.Д.

Мозырский государственный педагогический университет  
247760, Мозырь, Беларусь  
E-mail: [apinchook@tut.by](mailto:apinchook@tut.by)

Ранее авторами было обнаружено [1], что длительное воздействие сосредоточенной нагрузки с одновременным приложением слабого постоянного магнитного поля (МП) частично подавляет двойникование в кристаллах висмута. Это выражается в уменьшении размеров и числа клиновидных двойников. Как результат, снижаются объем двойников и площадь границ раздела двойник-матрица [2]. В то же время, широко распространено мнение о том, что слабое МП  $B \sim 1$  Т не может существенно повлиять на структуру и свойства немагнитных твердых тел. В этой связи представляется актуальным выяснить вопрос об энергетическом балансе в условиях магнитоэластического эффекта при двойниковании. Иначе говоря, следует выяснить, приводит ли приложение МП к увеличению объемной упругой энергии двойников и поверхностной энергии границы раздела двойник-матрица.

В наших опытах было проведено изучение объемной упругой и поверхностной энергии двойников в зависимости от нагрузки на индентор при индукции МП  $B=0.2$  Т и времени выдержки кристалла под индентором  $t=5$  min. 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, изготовленного из неферромагнитных металлов, для нагружения образца в условиях приложения к нему МП. Вектор магнитной индукции лежал в плоскости спайности (111) кристаллов висмута. Особое внимание было уделено отсутствию инструментальных эффектов. Специальный контрольный опыт показал, что включение и выключение МП в ходе нагружения образца не приводит к увеличению размеров отпечатка алмазного индентора. Неоднородность МП в геометрическом центре зазора сердечника электромагнита, куда помещался образец, не превышала 2%.

В опытах с помощью окуляр-микрометра ПМТ-3 непосредственно измерялись длина и ширина клиновидных двойников, а так же их число у отпечатка алмазного индентора. Точки на экспериментальных кривых получены путем усреднения результатов измерений размеров клиновидных двойников, заклинившихся вокруг 20 и более отпечатков. Экспериментальная погрешность не превышала 3 %.

Объемная упругая энергия двойника оценивалась из соотношения  $W_V = w_V V N$ , где  $w_V$  - плотность объемной упругой энергии,  $V$  - усредненный объем одного двойника,  $N$  - среднее число механических двойников, заклинившихся у отпечатка индентора после снятия нагрузки и выключения МП.

В кристалле по обе стороны границы двойник-материнский кристалл возникают смещения равные по порядку величины толщине клиновидного двойника. Поскольку в конце

клиновидного двойника это смещение равно нулю, то вокруг его возникают упругие деформации порядка  $sh/L$ , где  $h$  – ширина клиновидного двойника у устья,  $L$  – его длина,  $s=0.694$  – множитель [3]. Следовательно, плотность объемной упругой энергии по порядку величины равна

$$w_v = \frac{G(sh)^2}{L^2}. \quad (1)$$

Тогда объемную упругую энергию клиновидного двойника можно найти из соотношения

$$W_v = \frac{G(sh)^2}{L^2} VN. \quad (2)$$

Поскольку форму двойниковых прослоек возникающих при точечном нагружении можно аппроксимировать линзой, то объем двойника находился из формулы объема шарового сегмента. Радиус основания шарового сегмента принимался равным усредненной длине клиновидного двойника, а толщина сегмента равной средней толщине клиновидного двойника у устья [4,5].

Поверхностная энергия межфазной границы двойник-материнский кристалл может быть оценена из формулы  $W_s = w_s SN$ , где  $w_s$  - удельная поверхностная энергия межфазной границы двойник-матрица,  $S$  - ее площадь. В [3] удельная поверхностная энергия двойниковой границы оценивалась из соотношения  $w_s = Ga$ , где  $G$  - модуль сдвига,  $a$  - параметр решетки кристалла висмута. Следовательно, поверхностная энергия границ раздела двойник матрица равна

$$W_s = GaSN. \quad (3)$$

Площадь границ раздела двойник-матрица  $S$  находилась как половина площади шарового сегмента с радиусом основания равным усредненной длине клиновидного двойника [4,5].

На графиках представлены полученные результаты.

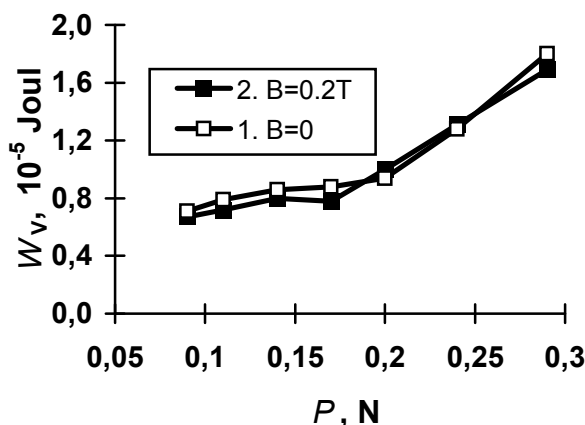


Рис.1. Зависимость объемной упругой энергии  $W_v$  клиновидных двойников в кристаллах висмута от нагрузки на индентор  $P$ .

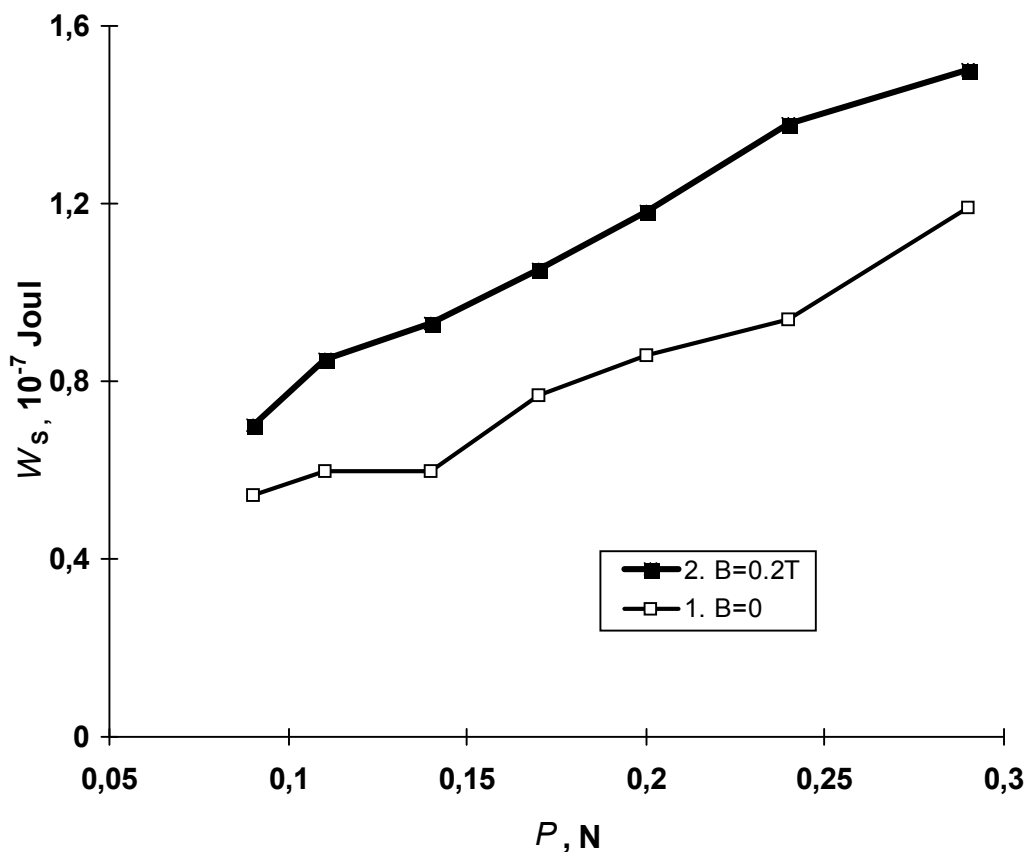


Рис.2. Зависимость поверхностной энергии границ раздела двойник матрица  $W_s$  в кристаллах висмута от нагрузки на индентор  $P$ .

Из рисунков видно, что наблюдаемое авторами частичное подавление двойникования в кристаллах висмута при приложении постоянного магнитного поля не сопровождается увеличением объемной упругой энергии  $W_V$ , запасенной в клиновидных двойниках. Рост  $W_V$  контролируется только внешней нагрузкой. Приложение магнитного поля снижает поверхностную энергию границы раздела двойник-матрица  $W_s$ . Наши оценки показывают, что эта энергия на два порядка меньше объемной упругой энергии двойников.

- [1] А.И. Пинчук, С.Д. Шаврей ФТТ **43**, 1, 39 (2001).
- [2] С.Д. Шаврей, А.И. Пинчук. Письма в ЖТФ **29**, 15, 35 (2003).
- [3] М.В. Классен-Неклюдова. Механическое двойникование кристаллов. Изд-во АН СССР, М. (1960). 262с.
- [4] А.И. Пинчук. Металлофизика. Новейшие технологии. **22**, 3, 88 (2000).
- [5] А.И. Пинчук, С.Д. Шаврей. Металлофизика. Новейшие технологии. **22**, 12, 43 (2000).
- [6] А.И. Пинчук, С.Д. Шаврей. ФТТ, **46**, 9, 1603 (2004).