

05;10;11;12

Влияние облучения ионами углерода и окисления поверхности на скорость двойникования монокристаллов висмута

© О.М. Остриков

Мозырский государственный педагогический институт,
247760 Мозырь, Белоруссия

(Поступило в Редакцию 30 марта 1998 г.)

Изучено изменение зависимостей нормальной скорости движения двойниковых границ от величины сдвиговых напряжений в плоскости двойникования $v_n = v_n(\tau)$ в кристаллах висмута при ионно-кластерном легировании и окислении облученной поверхности. Облучение производилось ионами углерода энергией 25 keV, дозой 10^{17} ион/см². Двойникование кристаллов проводилось в условиях импульсной нагрузки при длительности импульсов 10^{-4} – 10^{-5} с и амплитуде напряжений 0.2 – $2.0 \cdot 10^3$ г/мм². Установлено, что облучение ионами углерода монокристаллов висмута приводит к смещению зависимости $v_n = v_n(\tau)$ в область более низких напряжений. Окисная пленка тормозит движение двойникующих дислокаций.

В работе [1] исследовалось влияние легирования, закалки и окисления поверхности кристаллов висмута на скорость их двойникования и было установлено, что данные факторы оказывают одинаковое влияние на изменение зависимости $v_n = v_n(\tau)$, а именно приводят к их смещению в область более высоких напряжений. Представляет также интерес изучение воздействия на подвижность двойниковых границ ионно-кластерного легирования, так как данный вид энергетических воздействий на кристалл позволяет широко модифицировать его механические свойства [2], в том числе и пластические. Физическая проблема при этом заключается в изучении влияния структурных изменений приповерхностных слоев, вызванных ионным пучком, на процесс двойникования кристаллов.

Целью данной работы явилось изучение влияния облучения ионами углерода монокристаллов висмута на скорость их двойникования при импульсном нагружении.

Методика эксперимента

Монокристаллы висмута выращивались по методу Бриджмена размерами $5 \times 10 \times 70$ мм из сырья чистой 99.999% и имели исходную плотность дислокаций леса 10^5 см⁻² базисных и 10^3 см⁻² пирамидальных. Для исследования использовались призматические образцы размерами $2 \times 5 \times 10$ мм. Одна из боковых граней образца, на которой измерялось смещение двойниковых границ после каждого импульса нагрузки, совпадала с плоскостью сдвига атомов при двойниковании, торцевые поверхности образцов были ограничены плоскостью спайности (111). Подготовка боковых граней образцов проводилась с помощью химической полировки [3]. Методика деформирования, расчет напряжений и длительности импульсов подробно описаны в [4].

В качестве исследуемого материала висмут был выбран по той причине, что процесс его пластической деформации двойникованием по сравнению с реализацией данного процесса в других материалах осуществляется

сравнительно легко (фактор Шмида 0.48). Кроме того, температура плавления висмута относительно низкая и составляет 273°C [5].

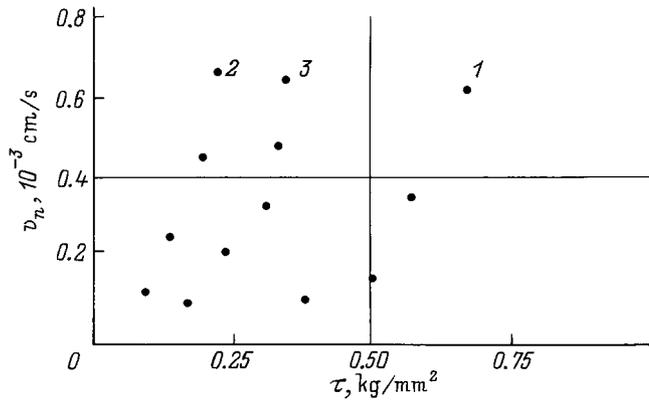
Облучение ионами углерода производилось потому, что он очень плохо растворяется в висмуте. Ничтожно мала растворимость углерода в висмуте при температуре его кипения и составляет 0.0003 wt% (0.0052 at%) [5]. Это свойство бинарной системы Vi–C позволяет исключить из рассмотрения ситуацию влияния на процесс двойникования химических соединений, образующихся в результате взаимодействия атомов имплантированной примеси и атомов мишени, что значительно упрощает моделирование механизмов двойникования облученных кристаллов.

В проводимом эксперименте монокристаллы висмута облучались ионами углерода энергией 25 keV, дозой 10^{17} ион/см². Длительность импульсов нагрузки составила 10^{-4} – 10^{-5} с, а амплитуда напряжений 0.2 – $2.0 \cdot 10^3$ г/мм².

Скорость расширения двойников (нормальная скорость v_n) вычислялась путем измерения смещения двойниковых границ на плоскости сдвига после каждого импульса нагрузки в предположении равномерного движения границ в течение времени действия импульса. При этом, как правило, в образце одновременно развивалось несколько параллельных прослоек одной кристаллографической системы. Двойникование проводилось до тех пор, пока соседние прослойки не сталкивались друг с другом. Толщина прослоек в конце эксперимента достигала 400–500 мкм.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Результаты измерений приведены на рисунке. Каждая точка на кривой — среднее арифметическое из измерений на нескольких прослойках. Из сравнения кривых 1–3 видно, что облучение ионами углерода монокристаллов



Зависимость скорости нормального роста двойниковой прослойки от напряжений: 1 — необлученный монокристалл висмута; 2 — монокристалл висмута, облученный ионами углерода; 3 — облученный монокристалл висмута с окисной пленкой.

висмута стимулирует подвижность двойнивающих дислокаций, смещая зависимость $v_n = v_n(\tau)$ в область более низких напряжений. Окисление же облученной поверхности приводит к некоторому замедлению развития двойниковых прослоек, смещая зависимость $v_n = v_n(\tau)$ в область более высоких напряжений по сравнению с напряжениями, при которых реализуется процесс двойникования облученных кристаллов без окисной пленки.

Экспериментальные точки зависимостей $v_n(\tau)$ на рисунке в исследованном интервале скоростей в полулогарифмических координатах хорошо ложатся на прямые линии, что дает право аппроксимировать эти зависимости выражениями типа

$$v_n = A \exp \frac{\gamma\tau}{kT}, \quad (1)$$

где A — константа, γ — активационный объем, k и T — постоянная Больцмана и абсолютная температура.

Экспоненциальный характер зависимостей $v_n(\tau)$ свидетельствует о преобладании термически активируемого механизма преодоления препятствий двойнивающими дислокациями в процессе развития двойников. Определение активационного объема по углу наклона зависимостей $\ln v_n(\tau)$ показало, что $\gamma = 34a^3$ (a — параметр решетки) для необлученного кристалла, $\gamma = 56a^3$ и $48a^3$ для облученных ионами углерода монокристаллов висмута без окисной пленки и с окисной пленкой соответственно.

Деформирование монокристаллов висмута приводит к реализации двух конкурирующих между собой процесса: двойникования и скольжения.

Стимуляция одного из указанных процессов приводит к подавлению другого, что можно объяснить с точки зрения закона сохранения энергии. Обозначим через W_d энергию, идущую на деформацию твердого тела, а через W_{dis} и W_{tv} — соответственно энергию скольжения и двойникования. Тогда можно записать

$$W_d = W_{dis} + W_{tv}. \quad (2)$$

Из данного соотношения очевидно, что уменьшение W_{dis} приведет к увеличению W_{tv} и, наоборот, увеличение W_{dis} приведет к уменьшению W_{tv} .

В качестве фактора, подавляющего скольжение, могут выступать примеси, равномерно распределенные в матрице кристалла [6]. Так, двойникование чистого железа статическим нагружением можно осуществить лишь при пониженных температурах [7,8]. Введение же в кристалл нескольких процентов кремния затрудняет скольжение настолько, что образцы при комнатных температурах и статическом нагружении деформируются в основном двойникованием [9].

В данной работе фактором, препятствующим развитию скольжения, выступила имплантированная примесь углерода, локализованная в приповерхностном слое облученного материала. Окисная пленка на боковых гранях кристалла толщиной 100–1000 Å [1] приводит к увеличению напряжений, необходимых для достижения таких же скоростей двойникования, как и на облученных образцах без пленки. Поскольку при движении двойнивающих дислокаций внутри кристалла пленка не может оказывать заметного влияния, то можно утверждать, что ее действие состоит в торможении двойнивающих дислокаций вблизи поверхности.

Выводы

Таким образом, в результате исследования двойникования монокристаллов висмута, облученных ионами углерода энергией 25 keV, дозой 10^{17} соп/см² под действием импульсов нагрузки длительностью 10^{-4} – 10^{-5} s и амплитудой напряжений 0.2 – $2.0 \cdot 10^3$ г/мм², было установлено, что ионная обработка ведет к подавлению скольжения и активации двойникования кристаллов. Окисление поверхности затрудняет движение двойнивающих дислокаций.

Список литературы

- [1] Башмаков В.И., Бродский М.М. // ФММ. 1973. Т. 35. № 1. С. 163–168.
- [2] Углов В.В., Кулешов А.К., Раушенбах Б., Кенигер А., Хаммерл К. // Материалы IV Всероссийской конф. по модификации свойств конструкционных материалов пучками заряженных частиц. Томск, 1996. С. 316.
- [3] Lovell L.C., Wernick J.H. // J. Appl. Phys. 1959. Vol. 30. P. 234.
- [4] Startsev V.I., Soldatov V.P., Brodsky M.M. // Phys. St. Sol. 1966. Vol. 18. P. 863.
- [5] Хансен М., Андерко К. Структуры бинарных сплавов. М., 1962. 608 с.
- [6] Башмаков В.И., Яковенко Н.Г., Заворная Л.Ф. // ФММ. 1970. Т. 29. № 5. С. 947–951.
- [7] Гиндин И.А., Стародубов Я.Д. // ФТТ. 1959. Вып. 1. С. 1794.
- [8] Гарбер Р.И., Гиндин И.А. // УФН. 1960. Т. 70. С. 57.
- [9] Hull D. // Acta Met. 1960. Vol. 8. P. 11.