

АНИЗОТРОПИЯ ПОДВИЖНОСТИ 60° β -ДИСЛОКАЦИЙ В КРИСТАЛЛАХ GaAs

В. И. Барбашов

Ранее для ряда полупроводниковых кристаллов было установлено, что скорости дислокаций в них зависят от направления скольжения [1-4]. При изменении знака внешней нагрузки (перехода от расширения к сужению дислокационной полупетли) может наблюдаться как увеличение скорости дислокаций [1, 2], так и ее уменьшение [3]. Анизотропия подвижности дислокаций объяснялась структурными перестройками примесных комплексов [1], изменением порядка следования частичных дислокаций [4], геометрическими особенностями дислокационной петли [2, 3]. Ограниченное число исследованных материалов (Ge, Si, InSb) и неоднозначная трактовка экспериментальных результатов обусловили выбор кристаллов арсенида галлия в качестве объекта для изучения эффектов анизотропии динамических свойств дислокаций. Поскольку в данной работе исследуются особенности реверсивного движения дислокаций на полярных гранях А (111) и В (111), то важным является условие надежного выявления дислокаций на этих гранях с помощью методики двойного химического травления. Детально изученные ранее кристаллы InSb не обладали этим преимуществом. Из измерений микротвердости известно [5], что в кристаллах с решеткой сфалерита ее значение на грани А (111) больше, чем на грани В (111). Поэтому если предположить дислокационный механизм релаксации напряжений в области воздействия сосредоточенной нагрузки, то следовало бы ожидать и различия подвижности дислокаций на этих гранях.

Эксперименты выполнялись на чистых (без специального легирования) кристаллах GaAs л-типа с концентрацией носителей $1.2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Плотность ростовых дислокаций 10^4 см^{-2} . Дислокации индуцировались царапиной на гранях кристалла А и В и выводились в стартовое положение на расстоянии свыше 200 мкм четырехпопным изгибом образца относительно оси $\langle 112 \rangle$. Методика испытаний не отличалась от описанной ранее [2]. Вывод дислокаций в стартовое положение всегда осуществлялся растяжением стороны А или В. В случае реверсивных испытаний эта сторона подвергалась сжатию. Таким образом, данная методика нагружения позволяла, с одной стороны, сравнить скорости $60^\circ \beta$ -дислокаций, отличающихся только порядком следования частичных дислокаций, а с другой — исключить эффекты, связанные с появлением квазигидростатического давления, возникающего при знакопеременном изгибе образца [6, 7].

Поскольку при данном способе индуцирования дислокаций в направлении $\langle 112 \rangle$ от царапины выводились как β -дислокации, так и винтовые [8], в работе особое внимание уделялось их идентификации. Она осуществлялась тремя способами: 1) рентгеновская топография выборочных образцов; 2) работа только с лидирующими в ансамбле дислокациями, так как из [8] следует, что $v_\beta > v_s$; 3) численное сопоставление значений скоростей β -дислокаций на гранях А (111) и В (111) с данными работ [8-10]. Перечисленные способы контроля и повторяемость результатов дают основание считать, что объектом исследований в наших опытах были только $60^\circ \beta$ -дислокации.

На рис. 1 представлены зависимости скорости дислокаций от приложенного напряжения τ , измеренные на сторонах кристалла А (а) и В (б). Сопоставление кривых 1, соответствующих случаю расширения полупетли, показывает, что при $\tau = \text{const}$ скорости β -дислокаций на грани В (111) всегда выше, чем на грани

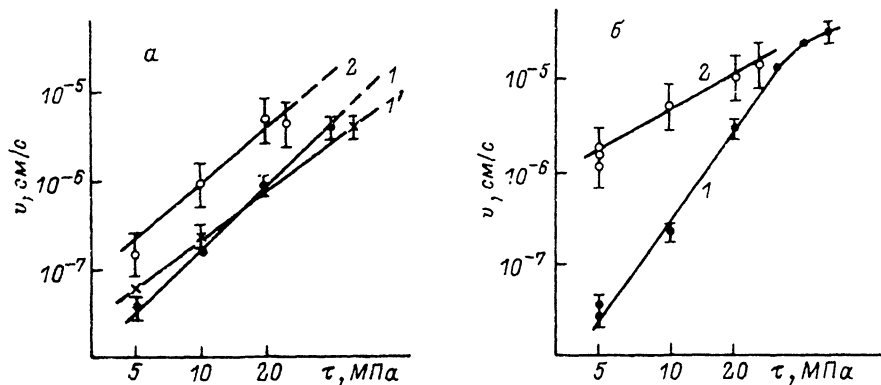


Рис. 1. Зависимость скорости дислокаций при расширении (1, 1') и сужении (2) полупетли, вызываемой на гранях А (а) и В (б).

А (111). Поскольку при данной схеме нагружения образцов влияние квазигидростатических эффектов исключено, то наблюдаемое различие подвижностей дислокаций обусловлено, по-видимому, двумя причинами: диссоциацией ядра дислокации или особыми свойствами граней А и В.

Согласно [11, 12], в кристаллах с решеткой сфалерита возможно существование двух типов 60° β -дислокаций, отличающихся порядком следования частичных дислокаций (30/90 или 90/30). На рис. 2 приведена схема дислокационной петли с векторами Бюргерса $[101]$ или $[0\bar{1}1]$, параллельными поверхности образца (111). Из нее следует, что при одинаковом характере движения дислокаций (расширение или сужение дислокационной петли) различие их подвижностей на гранях А и В может быть действительно обусловлено неодинаковым порядком следования частичных дислокаций. Изменить его можно, только поменяв знак внешней нагрузки, что приведет к инверсии направления скольжения дислокаций.

На рис. 1 кривые 2 соответствуют случаю реверсивного движения. Переход от расширения к сужению полупетли приводит к увеличению скорости дислокаций, а величина этого эффекта выше на грани В (III). Сопоставляя полученные зависимости, видим, что при инверсии направления скольжения дислокаций наблюдаются уменьшение показателя степени m в эмпирическом соотношении $v = v_0 (\tau/\tau_0)^m$ и меньшее его значение на грани А (III) для соответствующих кривых (см. таблицу). По аналогии с [4] можно предположить, что большее значение m соответствует порядку следования частичных дислокаций 30/90. В расширяющихся полупетлях этот порядок следования будет соблюдаться при растяжении грани В (III) и сжатии грани А (III). На рис. 1, а прямая 1 получена для дислокаций, принадлежащих расширяющимся полупетлям,

индуцированных сжатием грани А и выявляемых на этой грани. Сравнивая кривые 1 и 1', видим, что изменение порядка следования частичных дислокаций приводит только к изменению показателей степени m . Сопоставляя кривые 2 и 1', соответствующие одному порядку следования частичных дислокаций, можно

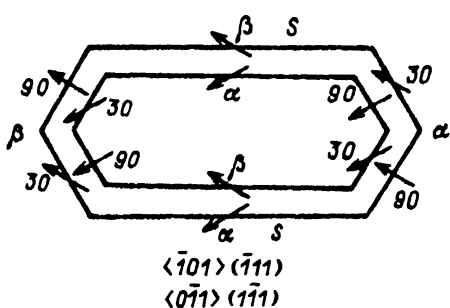


Рис. 2. Схема дислокационной петли в кристаллах с решеткой сфалерита.

Значения показателя степени m для различных условий нагружения

	Поверхность				
	A (111)			B ($\bar{1}\bar{1}\bar{1}$)	
	1	2	1	1	2
	m				
	2.2	2.0	1.7	3.5	1.3

в чистом виде выделить эффекты, связанные со взаимодействием смежных дислокационных сегментов [2, 3]. Отметим, что величина этого эффекта на два порядка превышает возможное влияние квазигидростатического давления [13].

Приведенный выше анализ показывает, что объяснить все полученные в настоящей работе закономерности не удастся без привлечения особых свойств популярных граней [14]. Можно предположить, что различный характер меж-атомного взаимодействия на этих гранях и связанное с этим возникновение растягивающих на B ($\bar{1}\bar{1}\bar{1}$) и сжимающих на A (111) компонент напряжения в приповерхностных слоях приводят к изменению граничных условий в местах выходов дислокационных сегментов на свободную поверхность кристалла. Как было показано в [15], плотность и подвижность геометрических перегибов зависят от граничных условий. Этим эффектом и можно, по-видимому, объяснить различие динамических свойств дислокаций на полярных гранях кристаллов арсенида галлия.

Список литературы

- [1] Никитенко В. И., Фарбер Б. Я., Бондаренко И. Е. // ЖЭТФ. 1982. Т. 82. № 5. С. 1539—1549.
- [2] Барбашов В. И., Родзина Т. В. // УФЖ. 1990. Т. 35. № 6. С. 942—946.
- [3] Alekseenko V. J., Barbashov V. I., Zilberman L. A. // Phys. Stat. Sol. (a). 1989. Т. 111. N 2. P. K145—K148.
- [4] Alexander H., Kisielowski-Kemmerich C., Weber E. R. // Physica. 1983. Т. 116B+C. N 1—3. P. 583—594.
- [5] Миронов К. Е., Эйхе С. Н., Бердичевская Л. И. // Изв. АН СССР. Сер. неорганические материалы. 1971. Т. 7. № 1. С. 193—195.
- [6] Никитенко В. И., Ерофеев В. Н., Надгорная Н. М. Динамика дислокаций. Харьков, 1968. С. 84—98.
- [7] Барбашов В. И., Хариш Н. П. // УФЖ. 1989. Т. 34. № 6. С. 919—921.
- [8] Choi S. K., Mihara M., Ninomiya T. // Japan J. Appl. Phys. 1977. V. 16. N 5. P. 737—745.
- [9] Ерофеева С. А., Осипьян Ю. А. // ФТТ. 1973. Т. 15. № 3. С. 772—776.
- [10] Освенский В. Б., Холодный Л. П. // ФТТ. 1972. Т. 14. № 11. С. 3330—3335.
- [11] Хольт Д. Б. Дефекты в кристаллах полупроводников. М., 1969. 375 с.
- [12] Kuesters K.-H., De Cooman V. C., Carter C. B. // Phil. Mag. A. 1986. V. 53. N 1. P. 141—159.
- [13] Алексеев В. И., Барбашов В. И., Родзина Т. В. // Физика и техника высоких давлений. 1989. В. 31. С. 49—51.
- [14] Gatos N. C. // J. Electrochem. Soc. 1975. V. 422. N 9. P. 287C—300C.
- [15] Алексеев В. И., Барбашов В. И., Зильберман Л. А. // Препринт ДонФТИ АН УССР. Донецк, 1988. 43 с.

Донецкий физико-технический институт
АН Украины

Поступило в Редакцию
6 апреля 1992 г.