

05.1

© 1991

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ СТОПОРОВ ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ
ДИСЛОКАЦИЙ В АНТИМОНИДЕ ИНДИЯ

В.И. А л е к с е е н к о

В работе [1] экспериментально обнаружены аномалии подвижности винтовых дислокаций в закаленных после отжига монокристаллах антимонида индия. Высказано предположение о комплексной природе образующихся в процессе отжига, стопоров для движения дислокаций. Установлен диапазон механических напряжений ($\sigma \leq \leq 15$ МПа), где работает механизм термоактивированного преодоления этих стопоров перегибами.

В настоящей работе экспериментально показан эффект неустойчивости отмеченных в [1] дефектов в области температур $T \lesssim 450$ К. Этот эффект проявляется в том, что в диапазоне напряжений $\sigma < < 15$ МПа [1] значение скорости винтовых дислокаций закаленных монокристаллов через определенное время стремится к значению, свойственному не закаленным образцам, т.е. эффект закалки носит релаксационный характер.

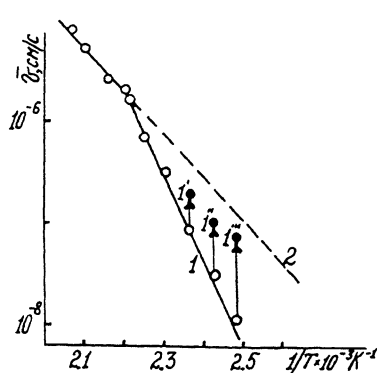
Исследования проводились на бездислокационных монокристаллах антимонида индия, легированных теллуром до концентраций $2 \times \times 10^{17}$ см⁻³. Образцы отжигались при температуре 623 К в течение 1 часа на воздухе, после чего закачивались приведением в контакт с охлажденной до 0 °С массивной медной пластиной. После этого в образец вводились одиночные винтовые дислокации по методике, описанной в той же работе [1].

На эксперименте снималась зависимость средней скорости винтовых дислокаций в закаленном антимониде индия от температуры при $\sigma = 5$ МПа (рис. 1, прямая 1). Выбор напряжения $\sigma = 5$ МПа связан с необходимостью получения как можно большего изменения энергии активации движения дислокаций в закаленном образце по сравнению с незакаленным (так как при $\sigma > 15$ МПа движение перегибов осуществляется надбарьерно, и дислокация слабо чувствует стопоры).

Из рис. 1 видно, что в области температур $T < 450$ К, как и в [1], наблюдается резкое увеличение энергии активации движения винтовых дислокаций от 0.9 ± 0.05 эВ в не закаленном (прямая 2), до 1.4 ± 0.05 эВ в закаленном (прямая 1). Важно отметить, что среднее время, за которое снималась каждая точка на прямой 1 (рис. 1) в области значений температур до 403 К, не превышало 1 часа.

Затем исследуемый образец выдерживался на воздухе без механической нагрузки ($\sigma = 0$), последовательно при трех температурах

Рис. 1. Зависимость средней скорости движения винтовых дислокаций от температуры (закаленный образец: 1 - после закалки; 1' - после выдержки 10 часов при 423 К; 1'' - 15 часов при 413 К; 1''' - 20 часов при 403 К, не закаленный образец - 2) при $\sigma = 5$ МПа.



423, 413, 403 К соответственно 10, 15 и 20 часов. После выдержки его при 423 К, 10 часов, в режиме механического нагружения $T=423$ К, $\sigma = 5$ МПа измерялась скорость движения исследуемых дислокаций. Она соответствовала значению скорости, отмеченному на рисунке 1 точкой 1'. Дальнейшие выдержки указанного образца при 423 К и временах более 10 часов не изменяли измеренного значения скорости. Аналогичная процедура производилась при температурах 413 и 403 К. Установившиеся значения скоростей при этих температурах и $\sigma = 5$ МПа отмечены на рис. 1 (точки 1'', 1'''). Как видно из рис. 1, наблюдаемый эффект релаксации скорости движения дислокаций с понижением температуры увеличивается, и значения этих скоростей стремятся к значениям, соответствующим не закаленным образцам (рис. 1, прямая 2).

Представленные экспериментальные результаты можно объяснить следующим образом. В работе [1] нами было высказано предположение: при высокотемпературном отжиге ($T=630$ К) в монокристаллах антимионида индия образуются комплексы точечных дефектов [4], которые и представляют собой стопоры для движения дислокаций. Причем, концентрация стопоров по порядку величины равна концентрации легирующей примеси. На основании высказанного предположения, а также описанного в настоящей работе эффекта релаксации скорости движения дислокаций, можно считать, что отмеченные выше комплексы точечных дефектов являются неустойчивыми в области температур ниже температуры отжига, причем равновесная их концентрация в объеме имеет температурную зависимость. Для оценки равновесной концентрации стопоров, соответствующей каждой из трех исследуемых температур, используем выражение [3]:

$$v = v_0 \left(1 + \frac{E}{6ab\tau} + \frac{l_c}{l} \right)^{1/2} \exp \left(- \frac{U_{nn} + U_m + E}{2kT} - \frac{E}{2\sigma ab l} - \frac{l_c}{2l} \right), \quad (1)$$

где E - энергия стопора, l_c - критическая длина парного перегиба, U_{nn} - энергия зарождения парного перегиба; U_m - энергия миграции перегиба. Возможность использования (1) основывается на том, что одним из элементов стопора является легирующая

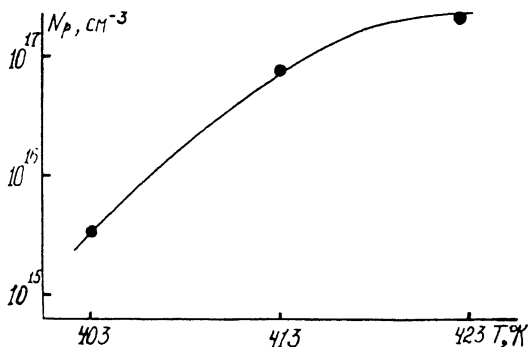


Рис. 2. Зависимость равновесной концентрации стопоров от температуры в закаленном монокристалле антимонида индия (отжиг при 623 K, 1 час).

примесь Ge, равномерно распределенная по объему, а это значит, что среднее расстояние \bar{l} между стопорами непосредственно связано с их концентрацией.

На рис. 2 представлена зависимость равновесной концентрации стопоров от температуры. Как видно, с понижением температуры их концентрация падает.

Таким образом, вероятнее всего, неустойчивость стопоров в области указанных температур, а также зависимость их концентрации от температуры и приводит к наблюдаемому эффекту.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Алексеевко В.И., Мостовой В.М. // ФТТ. 1991. Т. 31. № 8.
- [2] Ерофеева С.А., Осипьян Ю.А. В кн.: Динамика дислокаций. К.: Наукова думка, 1975. 401 с.
- [3] Рыбин В.В., Орлов А.Н. // ФТТ. 1969. Т. 11. С. 3251-3258.
- [4] Вернер В.Д., Ковязин В.Я. и др. // ФТТ. 1977. Т. 19. № 11. С. 3304-3306.

Физико-технический
институт
АН УССР, Донецк

Поступило в Редакцию
13 июля 1991 г.