

В. А. МАКАРА, Н. Н. НОВИКОВ

О ПРЕОДОЛЕНИИ ДИСЛОКАЦИЯМИ ЛОКАЛЬНЫХ ПРЕПЯТСТВИЙ В МОНОКРИСТАЛЛАХ KCl

(Представлено академиком Б. Е. Патоном 6 XI 1970)

В большинстве работ, посвященных изучению подвижности единичных дислокаций в кристаллах (¹⁻⁵), результаты исследований даются в виде зависимостей скорости движения дислокаций от приложенного к кристаллу напряжения, температуры испытания и т. п. При построении таких зависимостей предполагается, что 1) свежевведенные в кристалл дислокации мгновенно приходят в движение под действием импульса напряжения; 2) скорость движения дислокаций не зависит от времени действия нагрузки. В то же время в (^{1, 6-8}) отмечалось, что во многих кристаллах как щелочногалогенидных, так и металлических, особенно при малых уровнях приложенного напряжения, движение дислокаций носит существенно неравномерный, скачкообразный характер. По мнению авторов (⁶⁻¹⁰), такой характер движения дислокаций обусловлен их периодическими задержками на встречающихся локальных препятствиях (стопорах), всегда существующих в реальных кристаллах.

Так как большинство свежевведенных в кристалл дислокационных полупетель закрепляется своими концами на приповерхностных стопорах (^{7, 9, 10}), то под влиянием приложенной нагрузки сдвиг с места каждого конца дислокации возможен лишь при условии преодоления им соответствующего стопора. В связи с тем, что процесс преодоления дислокациями локальных препятствий при малых уровнях приложенного напряжения, по видимому, будет протекать во времени, представляет интерес исследовать кинетику открепления дислокаций от стопоров и последующего их движения в кристалле в этих условиях.

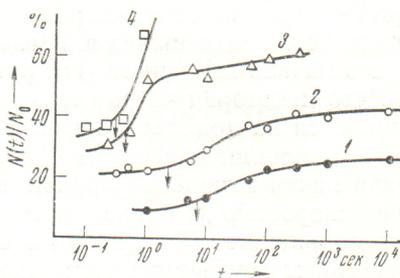
Исследование проводилось на отожженных кристаллах KCl с плотностью дислокаций порядка 10^4 см⁻². Пределы текучести кристаллов, определенные при помощи жесткой деформационной машины, составляли в пересчете на напряжение сдвига $\tau \approx 160$ Г/мм². Для определения положения дислокаций использовался метод избирательного травления плоскости (100) в насыщенном растворе PbCl₂ в этиловом спирте. Определение относительного числа переместившихся дислокаций и величин их пробегов в зависимости от времени действия нагрузки при различных напряжениях проводилось на дислокационных полупетлях, введенных в кристалл непосредственно перед приложением нагрузки. Методика введения полупетель в принципе не отличалась от описанной в (³⁻⁵).

Длительность импульсов напряжения, прикладываемых к кристаллу путем четырехточечного изгиба, изменялась в пределах от 10^{-1} до 10^4 сек. При такой длительности и величине импульса, общее число исследуемых дислокаций для определения процента сместившихся выбиралось равным 200, средняя величина пробега \bar{l} определялась на основании не менее 30 замеров.

На рис. 1 представлены полученные зависимости относительного числа переместившихся дислокаций от времени действия нагрузки при различных внешних напряжениях. Относительное число сместившихся дислока-

ций зависит как от величины приложенного к кристаллу внешнего напряжения, так и от времени действия нагрузки. Процент сместившихся дислокаций начинает заметно расти с увеличением времени действия нагрузки лишь после того, как длительность импульса превысит зависящее от напряжения критическое значение $t_{кр}$. Это критическое время, по-видимому, представляет собой среднее время задержки, необходимое дислокациям

Рис. 1. Зависимость относительного числа $N(t)/N_0$ переместившихся дислокаций от времени t действия нагрузки при различных внешних напряжениях τ (координаты полулогарифмические): 1 — 60 Г/мм²; 2 — 100; 3 — 140; 4 — 160 Г/мм². Стрелками на кривых показаны значения $t_{кр}$



для преодоления некоторой части стопоров, удерживающих их в «стартовом» положении.

Зависимость времени задержки от приложенного внешнего напряжения представлена на рис. 2, из которого следует, что это время экспоненциально уменьшается с ростом напряжения. Можно предположить, что найденное в наших экспериментах время задержки тесно связано с так называемым инкубационным периодом процесса ползучести, тем более, что уменьшение «инкубационного периода» с ростом напряжения обычно также дается в виде экспоненциальной зависимости.

При напряжениях ниже предела текучести (рис. 1, 1—3) только некоторая часть свежевведенных дислокаций способна прийти в движение даже при времени выдержки под нагрузкой, существенно превышающем время задержки. Это указывает на существование в кристалле, по крайней мере, двух типов стопоров — легко преодолимых (время преодоления которых определяет найденное в наших экспериментах время задержки) и трудно или вовсе не преодолимых (время преодоления которых превышает время проведения эксперимента).

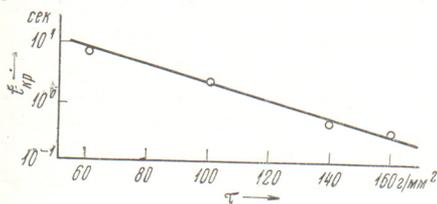


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость времени задержки $t_{кр}$ от величины действующего напряжения τ (координаты полулогарифмические)

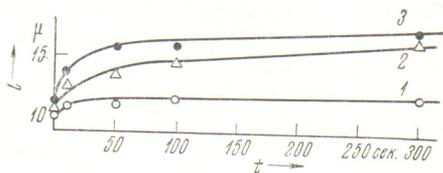


Рис. 3

Рис. 3. Зависимость средней величины пробега краевых дислокаций \bar{l} от времени t действия нагрузки при различных уровнях напряжения τ : 1 — 20 Г/мм²; 2 — 60 Г/мм²; 3 — 100 Г/мм²

Поскольку опыты по кинетике открепления дислокаций от стопоров, по-видимому, убеждают нас в том, что в кристалле могут существовать и непреодолимые стопоры (при напряжениях меньше предела текучести), интересно исследовать на этих же кристаллах и кинетику движения дислокаций, т. е. зависимость $\bar{l}(t)$. На рис. 3 показаны зависимости средней величины пробега дислокаций от времени действия нагрузки при различных внешних напряжениях. Видно, что средняя величина пробега вначале растет с увеличением времени действия нагрузки, а затем испытывает тенден-

цию к насыщению. Это подтверждает наш вывод о наличии в кристалле при выбранных уровнях напряжения непреодолимых стопоров. При увеличении приложенного к кристаллу внешнего напряжения до значений, близких или больше макроскопического предела текучести, средняя величина пробега дислокаций значительно возрастает. По-видимому, это может быть следствием того, что при таких напряжениях большинство стопоров, встречающихся на пути движения дислокаций, являются преодолимыми.

При $t \rightarrow 0$ кривые, характеризующие изменение во времени относительного количества сместившихся дислокаций и средних величин их пробегов, не идут в начало координат (см. рис. 1 и 3). Это можно объяснить, если учесть, что некоторая часть свежесведенных дислокаций, которые обычно закрепляются на приповерхностных стопорах, может быть освобождена от них при травлении кристалла. Такие дислокации в момент приложения нагрузки почти мгновенно приходят в движение и движутся с достаточно большой скоростью до ближайшего стопора даже при низких уровнях приложенного внешнего напряжения или при отсутствии последнего лишь под действием внутренних напряжений. Это положение качественно согласуется с результатами других авторов по определению истинной скорости движения дислокаций в щелочногалоидных кристаллах в промежутке между стопорами (¹¹⁻¹³).

Киевский государственный университет
им. Т. Г. Шевченко

Поступило
29 X 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ W. G. Johnston, J. J. Gilman, J. Appl. Phys., 30, 129 (1959). ² D. F. Stein, J. R. Law, J. Appl. Phys., 31, 362 (1960). ³ Э. Ю. Гутманас, Э. М. Надгорный, А. В. Степанов, ФТТ, 5, 1022 (1963). ⁴ В. Б. Парийский, А. И. Третьяк, ФТТ, 9, 2457 (1967). ⁵ С. В. Лубенец, В. И. Старцев, ФТТ, 10, 22 (1968). ⁶ В. Н. Рожанский, В. М. Степанова, ДАН, 133, 804 (1960). ⁷ В. Н. Рожанский, В. М. Сенапова и др., ФТТ, 5, 634 (1963). ⁸ В. Б. Парийский, А. И. Ландау, В. И. Старцев, ФТТ, 5, 1377 (1963). ⁹ А. А. Предводителей, Н. К. Ракова, Нан Хун-бинь, ФТТ, 9, 300 (1967). ¹⁰ А. И. Ландау, В. М. Боржковская, М. Т. Торкатюк, Сборн. статей Металлофизика, в. 24, Киев, 1968, стр. 47. ¹¹ G. V. Backer, J. Appl. Phys., 33, 1730 (1962). ¹² В. Я. Платков, В. П. Ефименко, В. И. Старцев, ФТТ, 9, 2799 (1967). ¹³ Ф. Д. Сенчук, С. З. Шмурак, ДАН, 190, 77 (1970).