

различия значений  $P_s$ , полученных в переменном поле и электрометрическим методом. Данные для  $L$  заимствованы из результатов прямых измерений [5].

Из рисунка видно, что поведение  $\tau$  (сплошные линии) и  $P_s$  (штриховые линии) под давлением  $\sigma_{yy}$  одинаково внутри полярной фазы —  $\tau$  и  $P_s$  изменяются приблизительно по одному закону. Вне полярной фазы поведение  $P_s$  и  $\tau$  различно:  $P_s=0$ , а  $\tau \neq 0$  и плавно уменьшается с температурой при удалении от полярной фазы. Появление отличного от нуля  $\tau$  вне полярной фазы типично для несоизмеримых фаз ( $H$ -фаз) в сегнетоэлектриках, где существует пространственно-модулированная поляризация [4]. Существование  $H$ -фазы справа на температурной шкале от полярной фазы доказано прямым методом рассеяния нейтронов [6]. Появление  $\tau \neq 0$  при  $\sigma_{yy} \neq 0$  слева от полярной фазы может быть следствием индуцирования давлением  $\sigma_{yy}$  еще одной  $H$ -фазы, которая вклинивается между полярной и сегнетоэластической фазами. Последнее заключение не противоречит также предположению в [3] об индуцировании в ТМА  $\text{ZnCl}_2$  второй  $H$ -фазы при гидростатическом давлении.

Совпадение зависимостей  $\tau$  и  $P_s$  от температуры и давления  $\sigma_{yy}$  внутри полярной фазы в пределах точности измерений указывает на то, что  $\tau$  пропорционально  $P_s$ , а другие величины, влияющие на значения измеряемых  $\tau$  и  $P_s$ , остаются практически постоянными. Оценка  $L$  по данным для  $\tau$  и  $P_s$  дает значение  $L = \tau/P_s = (16 \pm 2) \cdot 10^{-4}$  см (вставка на рисунке), что согласуется с данными прямых измерений в [5]. Подвижность же доменных границ, которая могла бы существенно влиять на результаты измерения  $P_s$ , вызывая расхождение кривых  $\tau(T)$  и  $P_s(T)$  при различных значениях  $\sigma_{yy}$ , также практически остается постоянной.

Таким образом, результаты измерений свидетельствуют о том, что и в полидоменном кристалле ТМА— $\text{ZnCl}_2$  одноосное давление  $\sigma_{yy}$  существенно влияет только на спонтанную поляризацию и практически не влияет на другие параметры доменной структуры.

### Список литературы

- [1] Каллаев С. Н., Гладкий В. В., Кириков В. А., Шувалов Л. А. // Письма в ЖЭТФ. 1989. Т. 50. № 2. С. 98—101.
- [2] Gladkii V. V., Smutny F., Fousek J., Kroupa J. // Ferroelectrics Lett. 1984. V. 2. N 5. P. 177—183.
- [3] Shimizu H., Kokubo N., Yasuda N., Fujimoto S. // J. Phys. Soc. Jap. 1980. V. 49. N 1. P. 223—229.
- [4] Gladkii V. V. // Phase Transitions Sect. A. 1986. V. 6. N 4. P. 273—328.
- [5] Le Bihan R., Averty D., Hilcer B., Szcepnaska L. // Ferroelectrics Lett. 1989. V. 9. N 6. P. 151—154.
- [6] Gesi K., Izumi M. // J. Phys. Soc. Jap. Lett. 1980. V. 48. N 1. P. 337—338.

Институт кристаллографии АН СССР  
Москва

Поступило в Редакцию  
6 апреля 1990 г.

УДК 548.4

© Физика твердого тела, том 32, № 10, 1990  
Solid State Physics, vol. 32, N 10, 1990

## СТАРЕНИЕ ВИНТОВЫХ ДИСЛОКАЦИЙ В ОБЪЕМЕ И У ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ $\text{NaCl}$

В. Г. Весна, Н. Н. Новиков, О. В. Руденко, Н. А. Сидорин

В [1, 2] обнаружено, что дислокационные полупетли, выходящие винтовыми участками на поверхность кристалла, подвержены достаточно интенсивным процессам старения. В этих опытах наблюдались дислокации, контактирующие при старении с внешней средой (воздухом). Был сде-

лан вывод, что основную роль во взаимодействии между дислокациями и точечными дефектами играют различия в размерах атомов примеси и матрицы. Внутри кристалла старение этих же винтовых участков может в принципе происходить по-другому. Поэтому в настоящей работе поставлена задача выяснить отличия в характере старения участков винтовых дислокаций в зависимости от места их расположения — в объеме или у поверхности кристалла.

Опыты были проведены на монокристаллах NaCl с пределом текучести  $3.00 \pm 0.25$  МПа. Методика приготовления и нагружения образцов описана в [1-3]. Для разделения эффектов старения приповерхностных и расположенных в объеме кристалла участков дислокаций на части образцов после старения непосредственно перед нагружением химической полировкой снимали поверхностные слои различной толщины.

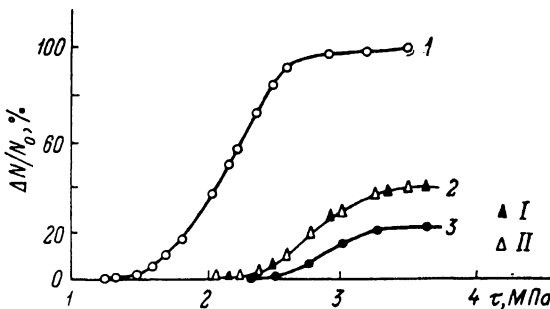


Рис. 1. Зависимость  $\Delta N/N_0$  от  $\tau$  после старения дислокаций в течение  $\sim 1$  мин (I) и 1000 ч (2, 3).

Кривая 2 получена после снятия непосредственно перед нагружением кристалла слоя толщиной 50 (I) и 100 мкм (II). Время нагружения 2 с.

Экспериментально измерялось с погрешностью  $\pm 5\%$  относительное число сместившихся дислокаций  $\Delta N/N_0$  при различных уровнях приложенного напряжения  $\tau$  и временах старения  $t$ . На рис. 1 в качестве примера приведены некоторые из полученных зависимостей. Видно, что в объеме кристалла дислокации также подвержены старению, однако в отличие от приповерхностных участков этот процесс происходит медленнее хотя, вероятно, и характеризуется теми же зависимостями. После сплирывывания приповерхностного слоя более 10 мкм количество сместившихся дислокаций переставало зависеть от толщины снятого слоя. При больших напряжениях кривые  $(\Delta N/N_0)(\tau)$  всегда выходят на горизонтальный участок с наибольшим числом сместившихся дислокаций  $(\Delta N/N_0)_m$  при данных условиях эксперимента.

В [1, 2] предложена модель старения, основывающаяся на наличии на выходящих на поверхность кристалла винтовых дислокациях краевых отрезков (зигзагообразная форма дислокаций). Смена винтовой ориентации на краевую происходит на расстоянии от поверхности порядка 10 мкм [4], что согласуется с нашими результатами.

Предположим, что изменение числа несмещающихся при малом времени старения дислокаций

$$d[1 - (\Delta N/N_0)_m] = dN$$

пропорционально числу подошедших к ним атомов примеси, т. е.

$$dN = k\rho dn(t), \quad (1)$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности;  $\rho$  — плотность дислокаций;  $dn(t)$  — число атомов, захваченных одной дислокацией единичной длины за указанный промежуток времени  $t$ . Учитывая [5], что

$$dn(t) = n_0 df(t)/\rho, \quad (2)$$

где

$$f(t) = 1 - \exp[-\beta\rho (ADt/kT)^{2/(n+2)}], \quad (3)$$

$n_0$  — число примесных атомов в единице объема материала, которые могут попасть на дислокацию за бесконечное время,  $\beta \approx 3$ ,  $A \approx 10^{-9}$  эВ·см для NaCl,  $D$  — коэффициент диффузии примесных атомов,  $n=1$  при преобладании размерного эффекта и  $n=2$  при преобладании различия в упругих постоянных примеси и матрицы [6], интегрируя (1) от 0 до  $N$ , получим

$$N = kn_0 f(t). \quad (4)$$

Учитывая, что  $N_{t \rightarrow \infty} = N_{\max} = kn_0$ , так как  $f(t \rightarrow \infty) = 1$ , запишем

$$N/N_{\max} = f(t) \quad (5)$$

или

$$1 - \frac{1 - (\Delta N/N_0)_m}{[1 - (\Delta N/N_0)_m]_{t \rightarrow \infty}} = 1 - f(t) = \exp[-\beta\rho (ADt/kT)^{2/(n+2)}]. \quad (6)$$

Из рис. 2 следует, что пропорциональность между величинами  $\ln[1 - f(t)]$  и  $t^{2/(n+2)}$  наблюдается при  $n=1$  независимо от места старения.

В то же время при переходе от поверхности в глубь кристалла примерно в два раза меняется тангенс угла наклона прямых, который, согласно (6), определяется только коэффициентом диффузии примеси.

Таким образом, процесс старения винтовых дислокаций в кристаллах NaCl независимо от места (у поверхности или в объеме образца) контролируется диффузией

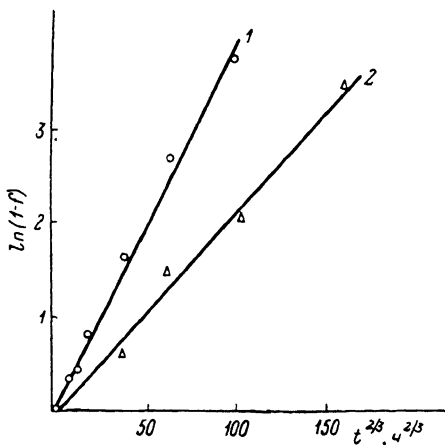


Рис. 2. Зависимость  $\ln(1-f)$  от  $t^{2/3}$  при старении у поверхности (1) и в объеме (2).

примесей и других точечных дефектов к размещенным на них локальным участкам с краевой ориентацией. При этом основную роль во взаимодействии между дислокациями и точечными дефектами играют размерные эффекты. Отличия в скорости старения дислокаций обусловлены различиями в коэффициентах диффузии примесей у поверхности и в объеме кристалла.

#### Список литературы

- [1] Весна Г. В., Новиков Н. Н., Руденко О. В. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 4. С. 282—284.
- [2] Весна Г. В., Новиков Н., Руденко О. В. // УФЖ. 1989. Т. 34. № 7. С. 1060—1065.
- [3] Новиков Н. Н., Руденко О. В. // ФТТ. 1977. Т. 19. № 11. С. 3359—3362.
- [4] Новиков Н. Н., Руденко О. В. // Изв. вузов, физика. 1980. Т. 23. № 10. С. 89—90.
- [5] Котрелл А. Х. Дислокации и пластическое течение в кристаллах / Под ред. А. Г. Рахштамма. М.: Металлургия, 1959. 267 с.
- [6] Фридель Ж. Дислокации. М.: Мир, 1967.

Киевский государственный университет  
им. Т. Г. Шевченко

Поступило в Редакцию  
9 апреля 1990 г.