

05.1;12

©1995

## НЕАДЕКВАТНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ПОДВИЖНОСТИ КРАЕВЫХ И ВИНТОВЫХ ДИСЛОКАЦИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ

*Ю.С.Боярская, Р.П.Житару, Н.А.Палистрант*

Вопрос о влиянии точечных дефектов, вводимых при легировании или облучении, на механические свойства кристаллов, на подвижность дислокаций рассмотрен в ряде работ [1-5]. Однако практически отсутствуют сведения о сравнении поведения краевых и винтовых дислокаций при их взаимодействии с такого рода дефектами. Для подобных исследований в качестве модельных удобно выбрать щелочно-галлоидные кристаллы, так как на плоскости скола этих материалов при индентировании возникают дислокационные розетки, сформированные из ансамблей краевых и винтовых дислокационных полупетель [6].

В настоящей работе приведены результаты, полученные на кристаллах NaCl:Ca. Кристаллы были выращены методом Чохральского. Концентрация примеси в них варьировалась в пределах  $10^{-3}$ – $1.6 \cdot 10^{-1}$  mol.%. Деформирование плоскости спайности (001) осуществлялось с помощью микротвердомера ПМТ-3. Нагрузка на индентор равнялась 10g. Дислокационные розетки, возникающие вокруг отпечатков индентора, выявлялись методом избирательного травления. Подвижности дислокаций характеризовались длиной пробега краевых и винтовых дислокационных ансамблей.

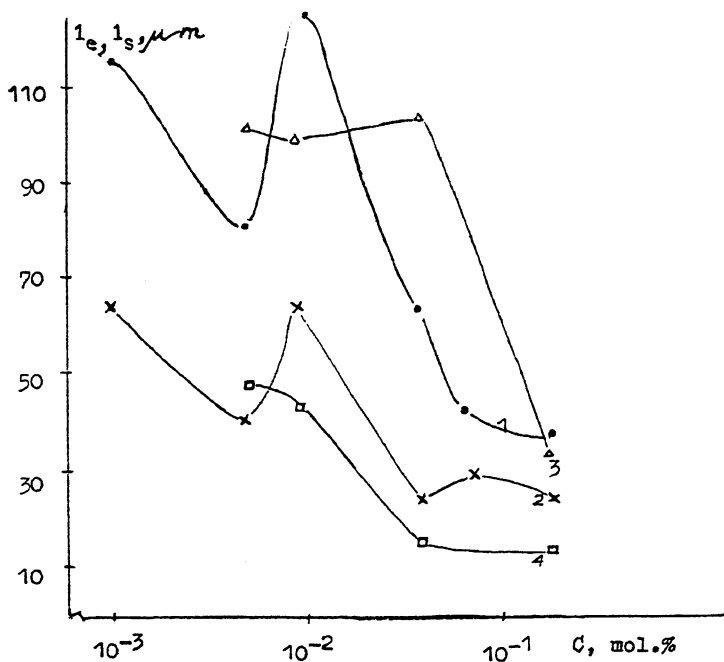


Рис. 1. Концентрационные зависимости подвижности краевых (1, 3) и винтовых (2, 4) дислокаций: 1, 2 — до старения, по данным [7]; 3, 4 — после старения.

блей в поле напряжений индентора  $l_e$  и  $l_s$  соответственно. Состояние примеси в образцах варьировалось путем старения (12 лет при комнатной температуре) и закалки. Температура закалки  $T_q$  менялась в пределах 323–723 К, время выдержки при каждой температуре — 6 часов.

Из рис. 1 следует, что до старения имеется хорошая корреляция между концентрационными зависимостями подвижности винтовых и краевых дислокаций (кривые 1, 2). С ростом концентрации  $C$ , в общем, наблюдается уменьшение подвижности дислокаций, что вполне естественно, так как возрастает число примесных дефектов, тормозящих дислокации, увеличиваются их размеры. Образцы с  $C = 9 \cdot 10^{-3}$  мол.% являются исключением. Однако примечательно, что при этой концентрации краевые и винтовые дислокации ведут себя аналогично, на обеих концентрационных кривых имеются максимумы.

Ситуация существенно меняется после старения. Между ходом зависимостей  $l_e(C)$  и  $l_s(C)$  наблюдается заметное несоответствие (кривые 3 и 4, рис. 1). Так, в интервале

концентраций примеси  $5 \cdot 10^{-3} - 3.65 \cdot 10^{-2}$  mol.%  $l_e$  практически постоянна, а  $l_s$  уменьшается в три раза, в области же  $C = 3.65 \cdot 10^{-2} - 1.6 \cdot 10^{-1}$  mol.%, наоборот,  $l_e$  падает в 3.2 раза, а  $l_s$  почти не меняется. При  $C = 3.65 \cdot 10^{-2}$  mol.%, наблюдается неожиданное явление — изменения  $l_e$  и  $l_s$  при старении различны не только по величине, но и по знаку, происходит увеличение подвижности краевых дислокаций и уменьшение этого параметра для винтовых. Эти изменения достаточно велики (60 и 37% для краевых и винтовых дислокаций соответственно), заметно превышают ошибку измерения  $l$  ( $\sim 10\%$ ). Такое неадекватное влияние примесных дефектов на подвижность краевых и винтовых дислокаций можно связать с тем, что при движении последних возникает двойное поперечное скольжение (ДПС). Из литературы известно, что в этом случае образуются осколки (диполи краевых дислокаций, призматические петли, точечные дефекты), создающие дополнительное торможение винтовых дислокаций [8-10]. Известно также, что точечные дефекты, вводимые в кристаллы типа NaCl, состоящие, в котором они находятся, влияют на параметры ДПС [8,11]. Поэтому весьма вероятно, что при старении примесных кристаллов могут возникать различные ситуации. Например, подвижность краевых дислокаций в некотором интервале концентраций примеси остается практически постоянной (увеличиваются размеры дефектов, но уменьшается их количество), а параметры ДПС меняются таким образом, что торможение винтовых дислокаций усиливается и  $l_s$  уменьшается (кривые 3, 4, рис. 1). Возможен и такой случай. В образцах с определенным значением  $C$  (например,  $C = 3.65 \cdot 10^{-2}$  mol.%, рис. 1) в процессе старения  $l_e$  возрастает вследствие образования довольно больших примесных комплексов и очищения матрицы кристалла. Параметры же ДПС при таком состоянии примеси изменяются так, что возрастает торможение винтовых дислокаций и происходит уменьшение  $l_s$ .\*

Наличие хорошей корреляции зависимостей  $l_e(C)$  и  $l_s(C)$  до старения (кривые 1, 2, рис. 1) указывает, что при диспергированном состоянии примеси ( $\text{Ca}^{2+}$  — хорошо растворимая примесь в NaCl) увеличение ее концентрации не приводит к существенному изменению параметров ДПС и усилению торможения винтовых дислокаций по сравнению с краевыми.

Если это мнение справедливо, то после закалки состаренных кристаллов должно наблюдаться улучшение кор-

\* В работе [8] высказано мнение, что одним из основных источников ДПС винтовых дислокаций являются выделения примеси, преципитаты.

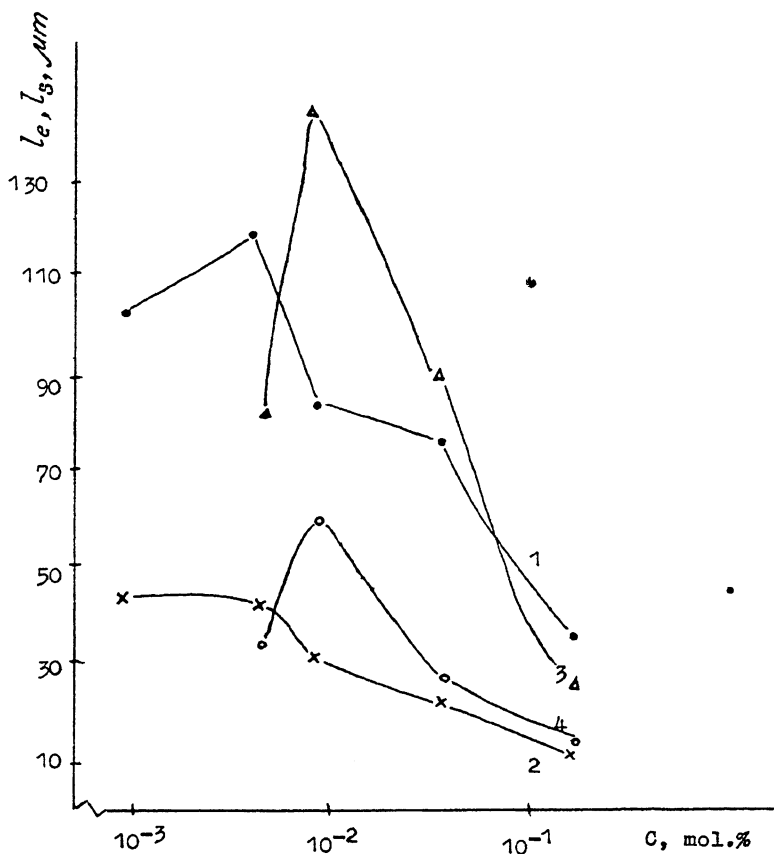


Рис. 2. Концентрационные зависимости подвижности краевых (1, 3) и винтовых (2, 4) дислокаций для закаленных образцов.  $T_c$ , К: 373 (1, 2); 423 (3, 4).

реляции кривых  $l_e(C)$  и  $l_s(C)$  (закалка приводит к разбиению примесных комплексов). Результаты, приведенные на рис. 2, показывают, что это действительно имеет место. Особенно хорошая корреляция наблюдается в случае  $T_c = 423$  К (кривые 3, 4, рис. 2).

В заключение укажем основной результат настоящей работы. Впервые на примере кристаллов NaCl:Ca обнаружено существенное нарушение корреляции между изменениями подвижностей краевых и винтовых дислокаций, наблюдающимися при изменении состояния примеси. Это явление объяснено дополнительным торможением винтовых дислокаций, возникающим при ДПС.

## Список литературы

- [1] *Aerts E., Amelinckx S., Derkeser W.* // *Acta Metal.* 1959. V. 7. N 1. P. 29-42.
- [2] *Сойфер Л.М.* Физика конденсированного состояния. В. XXIV. Харьков: ФТИНТ, 1973. С. 45-64.
- [3] *Grau P., Fröhlich F.* // *Phys. Stat. Sol. (a).* 1979. V. 55. N 2. С. 479-487.
- [4] *Orozco E., Soullard J., Agullo-Lopez F.* // *Phil. Mag. A.* 1987. V. 55. N 4. P. 513-526.
- [5] *Боярская Ю.С., Грабко Д.З., Кац М.С.* Физика процессов микроиндентирования. Кишинев: Штиинца, 1986. 294 с.
- [6] *Предводителев А.А., Рожанский В.Н., Степанова В.М.* // *Кристаллография.* 1962. Т. 7. № 3. С. 418-424.
- [7] *Линте М.А.* Влияние точечных дефектов на микротвердость и другие параметры пластической деформации монокристаллов NaCl. Канд. дис. Кишинев, 1985. 235 с.
- [8] *Смирнов Б.И.* Дислокационная структура и упрочнение кристаллов. Л.: Наука, 1981. 235 с.
- [9] *Gilman J.J.* // *Appl. Phys.* 1962. V. 33. N 9. P. 2703-2709.
- [10] *Johnston W.G., Gilman J.J.* // *J. Appl. Phys.* 1960. V. 31. N 4. P. 632-643.
- [11] *Житару Р.П., Клявин О.В., Смирнов Б.И., Степанов А.В.* Физические процессы пластической деформации при низких температурах. Киев: Наук. думка, 1974. С. 112-119.

Институт  
прикладной физики  
АН РМ  
Кишинев

Поступило в Редакцию  
27 февраля 1995 г.