

- [1] Brinkmann D. // Physica C. 1988. V. 153—155. P. 737—738.  
 [2] Bottyan L., Molnar B., Nagy D. L., Szucz I. S., Toth J., Dengler J., Ritter G., Schober J. // Phys. Rev. B. 1988. V. 38. N 16. P. 11373—11381.  
 [3] Zhang H., Wang G. M., Zhang Q. R. // Phys. Lett. A. 1989. V. 138. N 9. P. 517—522.  
 [4] Мастеров В. Ф., Насрединов Ф. С., Серегин П. П. // Сверхпроводимость: физика, химия, технология. 1990. Т. 3. N 3.  
 [5] Stadnik Z. M., Stroink G., Dunlap R. A. // Phys. Rev. B. 1989. V. 39. N 13. P. 9108—9112.  
 [6] Alp E. E., Soderholm L., Shenoy G. K., Hinks D. C., Cappone D. W., Zhang H. K., Dunlap B. D. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. N 16. P. 8910—8913.  
 [7] Hodges J. A., Imbert P., Marimon da Cunha J. B., Hammann J., Vincent E., Sanchez J. P. // Physica C. 1988. V. 156. N 1. P. 143—156.  
 [8] Hodges J. A., Imbert P., Marimon de Cunha J. B., Sanchez J. P. // Physica C. 1989. V. 160. N 1. P. 49—54.  
 [9] Gubbens P. C. M. // J. Magn. and Magn. Mater. 1988. V. 76—77. P. 615—616.  
 [10] Hodges J. A. e. a. // Sol. St. Comm. 1987. V. 64. N 9. P. 1209—1211.  
 [11] Dezzi I., Pattyn H., Verbiest E., van Rossum M. // Phys. Rev. B. 1989. V. 39. N 10. P. 6321—6324.  
 [12] Lyubutin I. S., Terziev V. G., Dmitrieva T. V., Gor'kov V. P. // Phys. Lett. A. 1989. V. 137. N 3. P. 144—148.

Физико-технический институт  
им. А. Ф. Иоффе АН СССР  
Ленинград

Поступило в Редакцию  
24 апреля 1990 г.

УДК 548.0.539.3 : 5

© Физика твердого тела, том, 32, № 11, 1990  
Solid State Physics, vol. 32, N 11, 1990

## ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ПРИМЕСИ НА СКОРОСТНУЮ ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ МОНОКРИСТАЛЛОВ NaCl : Ca

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

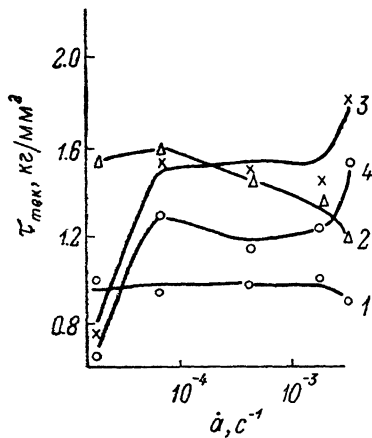
На кристаллах NaCl, легированных двухвалентными катионными примесями, обнаружен аномальный ход скоростной зависимости предела текучести  $\tau_{тек}$  [1, 2] и высказано предположение, что это явление связано с разбием примесных комплексов движущимися дислокациями (по-видимому, эти комплексы являются более сильными препятствиями для движения дислокаций, чем вновь возникающие, более мелкие дефекты; в результате происходит разупрочнение кристалла, т. е. уменьшение  $\tau_{тек}$ ). Если это предположение справедливо, то на кристаллах, подвергнутых специальной термообработке, приводящей к разрушению примесных агрегатов и преципитатов, следует ожидать отсутствия аномального поведения  $\tau_{тек}$ .

Влияние закалки на предел текучести кристаллов NaCl : Ca,  
деформированных при 100 °С

$\dot{\epsilon}$ , с <sup>-1</sup>	$C = 3.65 \cdot 10^{-2}$ мол.%		$C = 1.6 \cdot 10^{-1}$ мол.%	
	$\Delta\tau_{тек}$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\Delta\tau_{тек}/\tau_{тек}^0$ , %	$\Delta\tau_{тек}$ , кг/мм <sup>2</sup>	$\Delta\tau_{тек}/\tau_{тек}^0$ , %
$1.66 \cdot 10^{-5}$	-0.26	26.5	-0.88	58.6
$6.6 \cdot 10^{-5}$	0.6	63.7	-0.22	14.4
$3.4 \cdot 10^{-4}$	0.52	53.0	-0.31	20.8
$1.66 \cdot 10^{-3}$	0.45	45.0	-0.1	7.3
$33.4 \cdot 10^{-3}$	0.9	100.0	0.36	30.5

Для выяснения этого вопроса в настоящей работе изучено влияние предварительной закалки кристаллов NaCl : Ca на скоростную зависимость предела текучести. Исследовались образцы, содержащие  $3.65 \cdot 10^{-2}$  и  $1.6 \cdot 10^{-1}$  мол. % примеси. Образцы нагревались до  $600^\circ\text{C}$ , выдерживались при этой температуре 3 ч, затем закалывались охлаждением на воздухе. В работе [3] на кристаллах NaCl : Ca получены результаты, свидетельствующие о разбииии примесных комплексов при подобной термообработке: измерение концентрации диполей ион примеси — катионная вакансия показало, что этот параметр существенно возрастает после закалки.

Одноосное сжатие предварительно закаленных образцов, а также образцов, не подвергавшихся термообработке, проводилось вдоль оси [001] на машине «Instron» в интервале скоростей  $8 \cdot 10^{-6}$  —  $1.7 \cdot 10^{-3}$   $\text{c}^{-1}$ . Температура деформирования равнялась  $100^\circ\text{C}$ , так как при этой температуре при обеих концентрациях примеси наблюдалась ранее аномальная зависимость  $\tau_{\text{тек}}(\dot{a})$  ( $\dot{a}$  — скорость сдвиговой деформации) [2]. До начала деформирования образец выдерживался при этой температуре  $\sim 30$  мин. Исследования показали, что закалка оказывает существенное влияние на предел



Зависимость предела текучести от скорости сдвиговой деформации для необработанных (1, 2) и предварительно закаленных (3, 4) кристаллов NaCl : Ca.

Температура деформирования  $100^\circ\text{C}$ . Концентрация примеси  $3.65 \cdot 10^{-2}$  (1, 3),  $1.6 \cdot 10^{-1}$  (2, 4).

текучести. В таблице приведены изменения этого параметра ( $\Delta \tau_{\text{тек}} = \tau_{\text{тек}} - \tau_{\text{тек}}^0$ , где  $\tau_{\text{тек}}^0$ ,  $\tau_{\text{тек}}$  — значения предела текучести для незакаленных и закаленных образцов) вследствие закалки. Видно, что при наименьшей скорости деформирования на образцах обоого типа проявляется разупрочнение, ярче выраженное для кристаллов, содержащих большую концентрацию примеси. Этот результат хорошо согласуется с данными, полученными на NaCl : Ca при микроиндентировании [3]; отметим, что скорость микроиндентирования при стандартных измерениях  $\sim 1$  мкм/с, т. е. очень близка к наименьшей скорости, используемой в настоящей работе. Наблюдаемое в работе [3] разупрочнение была связано с разбиением примесных скоплений, преципитатов на более мелкие комплексы, диполи. Однако деформирование кристаллов с другими скоростями (см. таблицу) показывает, что при повышении скорости деформации эффект разупрочнения либо сразу сменяется эффектом упрочнения ( $C = 3.65 \cdot 10^{-2}$  мол. %), либо вначале уменьшается и затем переходит в эффект упрочнения ( $C = 1.6 \cdot 10^{-1}$  мол. %). Эффекты разупрочнения и упрочнения легированных щелочно-галогенидных кристаллов вследствие закалки были обнаружены в работах [4, 5] и [6] соответственно. Оба эффекта были выявлены в NaCl : Ca в зависимости от предыстории образцов [7]. Высказано мнение, что наблюдаемые явления связаны с изменением состояния примеси при закалке, в частности с распадом преципитатных выделений [7], разбиением примесных комплексов на более мелкие [5]. Поэтому можно заключить, что данные (см. таблицу) свидетельствуют об изменении состояния примеси в исследуемых кристаллах при их закалке. Конечно, необходимы прямые эксперименты, позволяющие контролировать состояние примеси в кристаллах, но это предмет самостоятельной работы.

На рисунке представлены скоростные зависимости предела текучести исследуемых кристаллов, полученные для закаленных образцов и для образцов, не подвергшихся термообработке. Видно, что на необработанных образцах наблюдается аномальное поведение зависимости  $\tau_{\text{тек}}(\dot{a})$  — паде-

ние  $\tau_{\text{тек}}$  при больших скоростях деформации. На кристаллах, подвергну-  
 тых предварительной закалке, аномалия в этой области скоростей отсут-  
 ствует, вместо падения предела текучести наблюдается четко выраженный  
 подъем (кривые 3, 4). Таким образом, можно заключить, что изменение  
 состояния примеси, вызванное термообработкой, приводит к исчезновению  
 аномального поведения предела текучести при высоких скоростях дефор-  
 мирования. Учитывая, что характерным процессом, имеющим место при  
 закалке легированных кристаллов, является разбиение крупных примес-  
 ных комплексов или преципитатов на более мелкие, представляется воз-  
 можным сделать вывод, что полученные в настоящей работе данные под-  
 тверждают высказанное ранее предположение [2] о природе аномалии  $\tau_{\text{тек}}$ .  
 В работе [8] в определенном интервале скоростей деформирования наблю-  
 далась аномальная скоростная зависимость деформирующего напряжения  
 в кристаллах КС1 и КВг. В этой же области скоростей обнаружена скачко-  
 образность деформации [9]. Авторы [8] считают, что аномальная скорост-  
 ная чувствительность деформирующего напряжения связана с особенно-  
 стями процесса размножения подвижных дислокаций при скачкообразной  
 деформации (аномальное поведение наблюдается тогда, когда при каждом  
 акте лавинообразного размножения образуется количество дислокаций,  
 превышающее необходимое для данного мгновенного значения  $\dot{\epsilon}$ ). Подоб-  
 ное объяснение вряд ли применимо к наблюдаемому в настоящей работе  
 аномальному поведению предела текучести (см. рисунок), так как получен-  
 ные нами кривые деформации кристаллов NaCl не обладали скачкообразным  
 характером.

Примечательным является тот факт, что на закаленных кристаллах (кри-  
 вые 3, 4) скоростная чувствительность  $\alpha \tau_{\text{тек}} / \alpha \ln \dot{\epsilon}$  существенно меняется  
 в зависимости от скорости деформирования, причем закономерности этого  
 изменения четко повторяются для обеих исследованных концентраций  
 примеси. Для объяснения этих особенностей необходима постановка даль-  
 нейших экспериментов, выходящих за рамки настоящей работы.

#### Список литературы

- [1] Boyarskaya Yu. S., Zhitaru R. P., Murachovsky I. E., Palistrant N. A. // Collected  
 abstracts of 12 European crystallographic meeting. V. 1. Moscow, 1989. P. 302—303.
- [2] Боярская Ю. С., Житару Р. П., Палистрант Н. А. // ФТТ. Т. 32. N 3. С. 769—772.
- [3] Boyarskaya Yu. S., Zhitaru R. P., Linte M. A. // Cryst. Res. and Technol. 1982.  
 V. 17. N 10. P. 1283—1293.
- [4] Тагиева М. М., Гайдучева В. Ф., Шаскольская М. П. // Дефекты в оптических  
 монокристаллах. М., 1976. С. 10—17.
- [5] Блистанов А. А., Гусев Э. Б., Добржанский Г. Ф. и др. // Динамика дислокаций.  
 Харьков, 1968. С. 470—480.
- [6] Кожоголов О. Ч., Кожоголова А. Б., Макаров В. П., Шалпыков А. // Физические  
 свойства неметаллических кристаллов. Фрунзе, 1981. С. 39—44.
- [7] Шаркези И., Предводителев А. А. // Кристаллография. 1977. Т. 22. N 4. С. 784—  
 791.
- [8] Бенгус В. З., Комник С. Н., Табачникова Е. Д. // ФТТ. 1969. Т. 11. N 7. С. 1774—  
 1778.
- [9] Komnik S. N., Bengus V. Z., Lyak E. D. // Phys. St. Sol. 1967. V. 19. P. 533—541.

Институт прикладной физики  
 АН МССР  
 Кишинев

Поступило в Редакцию  
 28 декабря 1989 г.  
 В окончательной редакции  
 14 мая 1990 г.