

- [6] Neelmani J., Verma G. S. // Phys. Rev. B. 1972. V. 6. N 9. P. 3509—3514.  
 [7] Callaway J. // Phys. Rev. 1959. V. 113. N 4. P. 1046—1051.  
 [8] Nakuraku Y. // Jpn. J. Appl. Phys. 1983. V. 22. N 9. P. 1465.  
 [9] Numazawa T., Watanabe Y., Hashimoto T., Sato A., Nakagame H., Horigami O., Takayama S., Watanabe M. // Proc. IV Int. Criog. Engin. Conf. 1982. P. 30—33.  
 [10] Daudin B., Lagnier R., Salce B. // J. Magn. Materials. 1982. V. 27. N 3. P. 315—322.

Брянский государственный  
 педагогический институт  
 Брянск

Поступило в Редакцию  
 24 апреля 1989 г.

УДК 539.214 : 620.191

Физика твердого тела, том 31, в. 10, 1989

Solid State Physics, vol. 31, N 10, 1989

## ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ LiF С НАРУШЕННЫМ ПОВЕРХНОСТНЫМ СЛОЕМ

С. В. Лубенец, Л. С. Фоменко

Механические свойства твердых тел отличаются чувствительностью к характеру окружающей среды и к состоянию приповерхностного слоя [1—6]. В данной работе обнаружено и проведено предварительное изучение влияния тонкой шлифовки поверхности на параметры деформационного упрочнения монокристаллов LiF и прежде всего на величину предела текучести, качественно исследована картина развития дислокационной структуры на участке микропластичности, продемонстрирована

возможность управления процессом формирования образца, с помощью шлифовки реализовано одиночное скольжение.

Кристаллы LiF-2 [7, 8] при комнатной температуре имели предел

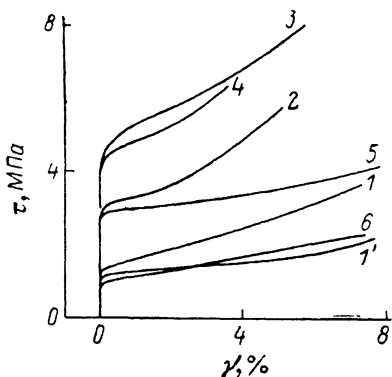


Рис. 1. Диаграммы деформации нешлифованных (1, 1') и шлифованных (2—6) образцов кристалла LiF-2.

Размеры поперечного сечения  $a \times b$  (мм): 2.03  $\times$  3.55 (1), 1.95  $\times$  3.4 (1'), 2.78  $\times$  3.03 (2), 1.78  $\times$  2.49 (3), 1.52  $\times$  2.58 (4); шлиф. широкие грани, 1.79  $\times$  2.61 (5); шлиф. узкие грани, 3.05  $\times$  4.17 (6); шлиф. для одиночного скольжения).

текучести  $\tau_0 = 1.1 \pm 0.15$  МПа. Боковые грани образцов прямоугольного сечения с размерами от 1.5  $\times$  2.5 до 3  $\times$  4 мм и высотой 9—11 мм шлифовали вручную на стеклянной пластинке, смачиваемой взвесью абразивного порошка М-1 в керосине. После шлифовки образцы промывали в ацетоне. Деформирование сжатием проводили при комнатной температуре со средней скоростью сдвиговой деформации  $\dot{\gamma} \approx 3 \cdot 10^{-4}$  с<sup>-1</sup>.

На рис. 1 показаны характерные диаграммы деформации. Кривые 1, 1' являются граничными для нешлифованных образцов в отношении предела текучести  $\tau_0 \pm \Delta \tau$  и коэффициентов упрочнения  $\theta \pm \Delta \theta$ . Отличительные особенности кривых деформационного упрочнения шлифованных образцов заключаются в следующем.

1. Наличие искаженного поверхностного слоя приводит к увеличению предела текучести  $\tau_0^{\text{III}}$ , которое зависит от площади поперечного сечения образца. Например, для кривой 2 отношение  $\tau_0^{\text{III}}/\tau_0 \approx 2.6$  и  $\sim 3.8$  для кривой 3.

2. Эксперименты показали, что упрочняющее влияние нарушенной поверхности сильнее выражено для исходно мягких кристаллов и ослабевает с увеличением их жесткости. Например, для образца кристалла  $\text{LiF} : \text{Mg}^{2+}$  ( $\tau_0 = 3.6 \pm 0.15$  МПа), имевшего почти те же размеры, что и образец LiF-2 (кривая 3), относительное увеличение  $\tau_0^{\text{ш}}/\tau_0 \approx 1.6$ . Эффект упрочнения уменьшается также при понижении температуры.

3. Шлифованием поверхности (рис. 1) можно изменять протяженность стадий деформационного упрочнения и величину коэффициентов  $\theta_I$  и  $\theta_{II}$ . Для шлифованных образцов характерной является переходная (после упругой) стадия параболического упрочнения протяженностью до 1 % сдвиговой деформации (ср. кривые 1 и 3), что может быть косвенным свидетельством развития множественного скольжения в области предела текучести. Первая стадия становится короче. Для кристаллов LiF-2

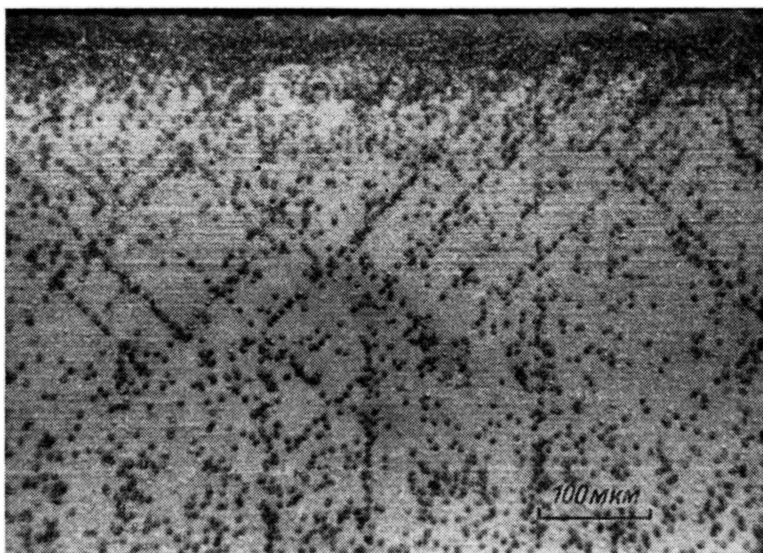


Рис. 2. Дислокационная структура шлифованного образца кристалла LiF-2, нагруженного до  $\tau = 1.2$  МПа.

Протравлена плоскость, параллельная оси сжатия. Шлифованная поверхность слева.

$\theta_I$  увеличивается в среднем на 30—40 %, а  $\theta_{II}$  в 2.3—2.4 раза. В то же время для образцов, у которых шлифованы только две узкие грани, характерно скольжение с малой скоростью упрочнения (кривая 5).

4. Анализ формы деформированных образцов и характера дислокационной структуры показывает, что скольжение всегда протекает по системам с вектором Бюргера, параллельным шлифованным граням. Поэтому если шлифованы четыре грани, то образец принимает форму бочки, две широкие грани — форму двусторонней бочки, две узкие — S-образную форму. Одним из интересных примеров управления процессом формоизменения образца является реализация одиночного скольжения. Для этого достаточно сохранить нешлифованным слой материала (как в [9], необлученный слой), где при нагружении и осуществляется сдвиг в основном по одной запрограммированной системе. Диаграмма деформации подобного образца показана на рис. 1, б.

Типичная картина травления шлифованного образца, нагруженного до напряжения  $\tau \approx \tau_0$ , показана на рис. 2. Плотность дислокаций в нарушенном слое (слева) высокая, так что отдельные фигуры травления не разрешаются. Толщина слоя  $(3 \div 3.5) \cdot 10^{-3}$  см. Средняя плотность дислокаций в объеме кристалла ( $\sim 2 \cdot 10^6$  см $^{-2}$ ) такая же, как и в нешлифованном образце при этом напряжении. Однако уже при  $\tau = \tau_0^{\text{ш}}$ , когда фиксируется остаточная деформация, она достигает значения  $\sim 2 \cdot 10^7$  см $^{-2}$ .

Таким образом, в шлифованном образце в области микротекучести разыгрываются дислокационные процессы, которые в обычных условиях охватывают первую и значительную часть второй стадии деформации [9].

Причина сильного упрочнения образцов с нарушенной поверхностью, очевидно, обусловлена специфическим самосогласованным развитием дислокационной структуры. Нарушенный слой играет двойную роль, будучи источником дислокаций и барьером для их выхода из образца, обеспечивая протекание скольжения в стесненных условиях. Это приводит к росту внутренних напряжений и соответственно к подъему уровня внешнего напряжения, требуемого для начала макроскопического пластического сдвига.

В заключение отметим, что управление с помощью нарушенного поверхностного слоя процессом формоизменения, степенью активности нагруженных систем скольжения, величиной предела текучести, уровнем деформирующих напряжений открывает дополнительные возможности в исследовании закономерностей формирования специальных дислокационных структур, их устойчивости и взаимосвязи с параметрами деформационного упрочнения.

Авторы выражают благодарность В. Д. Нацки, В. З. Бенгусу, Ф. Ф. Лаврентьеву, В. А. Москаленко и Л. М. Соيفеру за полезные дискуссии.

#### Список литературы

- [1] Ioffe A., Kirpitschova M., Levitsky M. // *Z. Phys.* 1924. Bd 22. S. 286—302.
- [2] Rebinder P. // *Z. Phys.* 1932. Bd 72. S. 191—205.
- [3] Лихтман В. И., Щукин Е. Д., Ребиндер П. А. *Физико-химическая механика металлов*. М., 1962. 303 с.
- [4] Surface effects in crystal plasticity. Series E: Applied Science. N 17 / Ed. R. M. Latanision and J. T. Fourier. Noordhoff—Leyden, 1977. 944 p.
- [5] Алексин В. П. *Физика прочности и пластичности поверхностных слоев материалов*. М., 1983. 280 с.
- [6] *Физика и технология упрочнения поверхности металлов* // Тез. докл. III засед. постоянного семинара «Физико-технологические проблемы поверхности металлов». Л., 1984. 104 с.
- [7] Lubenets S. V., Ostapchuk E. I., Soifer L. M., Appel F., Kaufmann H.-J. // *Cryst. Res. Technol.* 1984. V. 19. N 3. P. 349—356.
- [8] Кауфманн Х.-Й., Лубенец С. В., Напик В. Д., Пустовалов В. В., Фоменко Л. С., Шумилин С. Э. // *ФНТ*. 1988. Т. 14. № 6. С. 625—632.
- [9] Смирнов Б. И. *Дислокационная структура и упрочнение кристаллов*. Л., 1981. 236 с.

Физико-технический институт  
низких температур АН УССР  
Харьков

Поступило в Редакцию  
24 апреля 1989 г.

УДК 548.0 : 587.635

*Физика твердого тела, том 31, в. 10, 1989*  
*Solid State Physics, vol. 31, N 10, 1989*

## ЭПР РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В БЕРИЛЛЕ

В. П. Солнцев, Г. Г. Храпенко

Полученная в последнее время при 300 К плавпоперестраиваемая генерация стимулированного излучения [1, 2] на электронно-колебательных переходах  $\text{Cr}^{3+}$  в берилле ( $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ ) способствовала дальнейшему исследованию других активаторов ( $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ) и ионов компенсаторов в этой матрице. Известно, что примесные ионы в берилле предпочтительно занимают октаэдрические позиции Al [8]. Поэтому для получения устойчивого двухвалентного состояния активаторных ионов необходима компенсация заряда.