

рода  $x$  в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  [12]. В то время как первое приводит к большим изменениям частот полносимметричной  $A_g$  моды атома O4 и валентно-деформационной моды  $B_{1g}$ , второе не оказывает значительного влияния на  $B_{1g}$  компоненту, но сильно меняет частоты полносимметричных колебаний.

### Л и т е р а т у р а

- [1] Кулаковский В. Д., Мисочко О. В., Тимофеев В. Б. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, т. 46, № 11, с. 460—462.
- [2] Баженов А. В., Гаспаров Л. В., Кулаковский В. Д. и др. Письма в ЖЭТФ, 1988, т. 47, № 3, с. 162—165.
- [3] Liu R., Thomsen C., Kress W. et al. Phys. Rev. B, 1988, vol. 37, N 8, p. 3876—3884.
- [4] Kulakovskii V. D., Misochko O. V., Timofeev V. B., Emel'chenko G. A. Proc. of Interlaken Conference, 1988.
- [5] Macfarlane R. M., Rosen H., Seki H. Sol. St. Commun., 1987, vol. 63, N 9, p. 831—834.
- [6] Liu R., Cordona M. et al. Sol. St. Commun., 1987, vol. 63, N 9, p. 839—841.
- [7] Cordona M., Thomsen C. et al. Sol. St. Commun., 1988, vol. 65, N 1, p. 71—75.
- [8] Мержанов А. Г., Боровинская И. П. ДАН СССР, 1972, т. 204, № 2, с. 366—369.
- [9] Beno M. A. et al. Appl. Phys. Lett., 1987, vol. 51, p. 51—57.
- [10] Barbillat J., Dhamelincourt P., Delhaye M. J. de Physique, 1984, vol. 45, N 2, p. C2—C255.
- [11] Syassen K. et al. Proc. of Interlaken Conference, 1988.
- [12] Thomsen C., Cordona M. et al. Sol. St. Commun., 1988, vol. 65, N 1, p. 55—58.

Институт физики  
твёрдого тела АН СССР  
Черноголовка  
Московская область

Поступило в Редакцию  
6 июля 1988 г.

УДК 548 : 4

Физика твёрдого тела, том 30, в. 11, 1988  
Solid State Physics, vol. 30, № 11, 1988

## АНИЗОТРОПИЯ ПОДВИЖНОСТИ ВИНТОВЫХ ДИСЛОКАЦИЙ В КРИСТАЛЛАХ АНТИМОНИДА ИНДИЯ

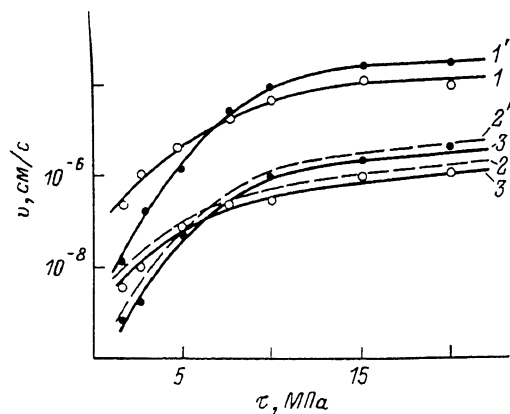
В. И. Барбашов

Отсутствие центра симметрии в структуре сфалерита приводит как к появлению анизотропии механических свойств [1], так и к существованию  $\alpha$ - и  $\beta$ -дислокаций [2]. Различие динамических характеристик  $60^\circ$ -ных  $\alpha$ - и  $\beta$ -дислокаций связывается с их электрической активностью, обусловленной существованием оборванных связей [3]. С целью выделения только анизотропных свойств кристалла с решеткой сфалерита в настоящей работе исследуются динамические свойства изолированных винтовых дислокаций, не имеющих оборванных связей. В отличие от [3] здесь проводится раздельное изучение подвижностей винтовых дислокаций с учетом направления их скольжения.

Эксперименты выполнялись на кристаллах антимонида индия  $n$ -типа с концентрацией теллура  $1.0 \cdot 10^{15}$  и  $2.9 \cdot 10^{17}$  см $^{-3}$ . Источниками дислокационных петель при изгибе образца относительно оси  $\langle 11\bar{2} \rangle$  служили поверхностные дефекты и микронеоднородности внутри кристалла. При индуцировании свежих дислокаций уровень внешнего напряжения и температура подбирались таким образом, чтобы на поверхность образца  $(111)$  выходили преимущественно винтовые сегменты изолированных полупетель, расположенных в плоскостях скольжения  $(\bar{1}11)$  и  $(1\bar{1}1)$ , векторы Бюргера которых были  $\langle 101 \rangle$  и  $\langle 110 \rangle$ . В этом случае каждая полупетля диаметром не менее 80 мкм состояла из двух параллельных винтовых дислокаций, замкнутых в глубине кристалла короткой  $60^\circ$ -ной  $\alpha$ -дислокацией [3]. Пробеги дислокаций при напряжениях  $\tau < 7.5$  МПа измерялись только

на одиночных полупетлях. При более высоких напряжениях они совпадали с пробегами головных дислокаций (число дислокаций в ряду не более четырех).

На рисунке представлены зависимости скорости винтовых дислокаций от приложенного напряжения, полученные при различных температурах ( $I, I' - 200$ ;  $2, 2', 3, 3' - 160$  °С). Кривые  $I-3$  соответствуют направлениям движения дислокаций  $[10\bar{1}1]$  и  $[01\bar{1}1]$  (в сторону движения  $60^\circ$ -ных  $\alpha$ -дислокаций при сжатии стороны кристалла  $(11\bar{1})$ ), а кривые ( $I'-3'$ ) получены для дислокаций, движущихся в обратных направлениях  $[1011]$  и  $[0111]$  (в сторону перемещения  $60^\circ$ -ных  $\beta$ -дислокаций). Обозначим их соответственно дислокациями типа А и В. Кривые ( $I, I', 3, 3'$ ) относятся к примесным кристаллам, а кривые  $2, 2'$  — к чистым.



Приведенные зависимости  $v(\tau)$  свидетельствуют об анизотропии динамических свойств винтовых дислокаций. Отношение скоростей дислокаций  $v_A/v_B$  зависит от приложенного напряжения, направления движения и не зависит от типа плоскости скольжения и степени легирования.

Зависимости скорости дислокаций от напряжения и температуры.

В области относительно высоких напряжений  $\tau > 10$  МПа  $v_A/v_B < 1$ , и при  $\tau > 15$  МПа это отношение становится равным  $0.64 \pm 0.08$ . Можно предположить, что различие подвижностей дислокаций А и В в области больших напряжений связано либо с анизотропией кристалла, либо со знаком дислокации (право- и левовинтовая).

При напряжениях  $\tau < 10$  МПа знак эффекта меняется, а его величина тем больше, чем ниже уровень приложенного внешнего напряжения. Различный характер зависимостей  $v(\tau)$  при  $\tau \rightarrow 0$  для дислокаций А и В может быть объяснен неодинаковостью граничных условий в местах их соединения с  $60^\circ$ -ной  $\alpha$ -дислокацией: угол между дислокациями В и  $60^\circ$ -ной равен  $120^\circ$ , а между дислокациями А и  $60^\circ$ -ной —  $60^\circ$ . Следует учесть также возможность существования во втором случае вырожденной  $60^\circ$ -ной  $\beta$ -дислокации. Свободная поверхность кристалла, как было показано в [4, 5], существенно не влияет на подвижность дислокаций. Из рисунка следует, что уменьшение концентрации примеси качественно не изменяет вида зависимостей  $v(\tau)$ , а приводит только к их параллельному смещению.

Приведенные результаты свидетельствуют об анизотропном характере движения винтовых дислокаций в кристаллах с решеткой сфалерита и о влиянии на этот процесс в области низких напряжений ( $\tau \ll \tau_P$ ,  $\tau_P$  — напряжение Пайерлса) граничных условий. Можно сделать предположение, что механизмом, ответственным за подвижность дислокаций при низких сдвиговых напряжениях, является преимущественная генерация одиночных геометрических перегибов в узловых точках дислокационной петли. Этот механизм должен слабо зависеть от температуры и существенно от величины приложенного напряжения, что и следует из рисунка. Последующее перемещение одиночных перегибов вдоль дислокационной линии происходит термоактивационным путем. При этом не исключается механизм образования парных перегибов, однако при  $\tau \rightarrow 0$  он не носит контролирующего характера.

Автор благодарит Т. В. Родзину за помощь в выполнении экспериментов.

- [1] Shimizu H., Sumino K. *Jap. J. Appl. Phys.*, 1970, vol. 29, N 3, p. 1096—1097.  
 [2] Хольт Д. Б. В кн.: Дефекты в кристаллах полупроводников. М.: Мир, 1969, с. 100—119.  
 [3] Ерофеева С. А., Осипьян Ю. А. В кн.: Динамика дислокаций. Киев: Наукова думка, 1975, с. 26—30.  
 [4] Никитенко В. И., Фарбер Б. Я., Бондаренко И. Е. *ЖЭТФ*, 1982, т. 82, № 5, с. 1539—1549.  
 [5] Барбашов В. И., Родзина Т. В., Хариш Н. П. *ФТТ*, 1988, т. 30, № 6, с. 1830—1832.

Донецкий физико-технический  
институт АН УССР  
Донецк

Поступило в Редакцию  
6 июля 1988 г.

УДК 539.4.019.3

*Физика твердого тела, том 30, в. 11, 1988*  
*Solid State Physics, vol. 30, № 11, 1988*

## ЗАЛЕЧИВАНИЕ ТРЕЩИН В КРИСТАЛЛАХ С ВИНТОВЫМИ И СМЕШАННЫМИ СУБГРАНИЦАМИ

*В. М. Финкель, Н. В. Дорохова*

Исследование влияния границ наклона на реанимацию материала с трещиной [1] показало, что они служат существенным препятствием к восстановлению сплошности. Целью настоящей работы является выявление особенностей залечивания трещин в кристаллах с винтовыми границами.

Образцы выкалывались из блоков монокристаллов NaCl и LiF, изготовленных в промышленных условиях и имеющих естественную блочную структуру. Разориентировка субзерен определялась гониометрически. Винтовые границы имели разворот  $\theta_v = 2 \div 35'$ . В смешанных субграницах (СГ) компонента кручения составляла 5—40', а наклона от 10' до 2°. Залечивание трещин по спайности производилось посредством одноосных механических усилий.

При залечивании кристалла с границей наклона вдоль СГ остается зона невосстановленной сплошности [1], связанная с образованием при разрыве СГ двугранных углов на поверхности разрушения. В случае винтовой границы ситуация совершенно иная. При пересечении трещиной СГ кручения возникает речной узор — система атомных ступенек, поэтапно объединяющихся в более крупные. Именно вдоль них после сжатия образуются каналы — несомкнувшиеся участки трещины. Незалеченные области (рис. 1) в случае смешанных границ представляют собой комбинацию двух вышеупомянутых типов вскрытий. При этом краевая компонента СГ препятствует залечиванию в области, прилегающей к границе, шириной  $\sim 10$  мкм. На больших же расстояниях мешают ступеньки скола, возникшие на винтовых дислокациях СГ.

Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что морфология речного узора в значительной мере зависит от угла  $\alpha$  между направлением разрушения и границей. Рассмотрим реанимацию кристалла, если фронт трещины параллелен линии СГ ( $\alpha = 90^\circ$ ) и, следовательно, все элементарные ступеньки образуются одновременно (рис. 2, а). При этом угол встречи двух ступенек одинаковой высоты составляет  $\sim 12^\circ$ , а их слияние происходит на расстоянии, примерно в пять раз большем начального интервала между ними [2]. В данном случае на всех этапах объединяются ступеньки практически одинаковой высоты.

Оценим ситуацию в самом благоприятном для залечивания варианте такого рода, когда только один из берегов имеет рельеф с расстоянием