

- [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 ~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 α 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 ~12°, 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

между ступенями D_k , а второй гладкий (рис. 2, б). Смыкание произойдет в результате пластического обтекания рельефа нижнего берега верхним. Зная предельную плотность дислокаций ($\rho = 10^{13} \text{ м}^{-2}$), можно определить минимально возможный радиус кривизны верхней поверхности R из $\rho = (bR \cos \chi)^{-1}$ [2], где b — вектор Бюргерса, χ — угол между плоскостью скольжения и поверхностью образца до деформации. Величина прогиба должна быть равна высоте ступеньки h_k . Тогда $l = \sqrt{2Rh_k}$ — расстояние от ступеньки, на котором при данном радиусе кривизны верхним берегом

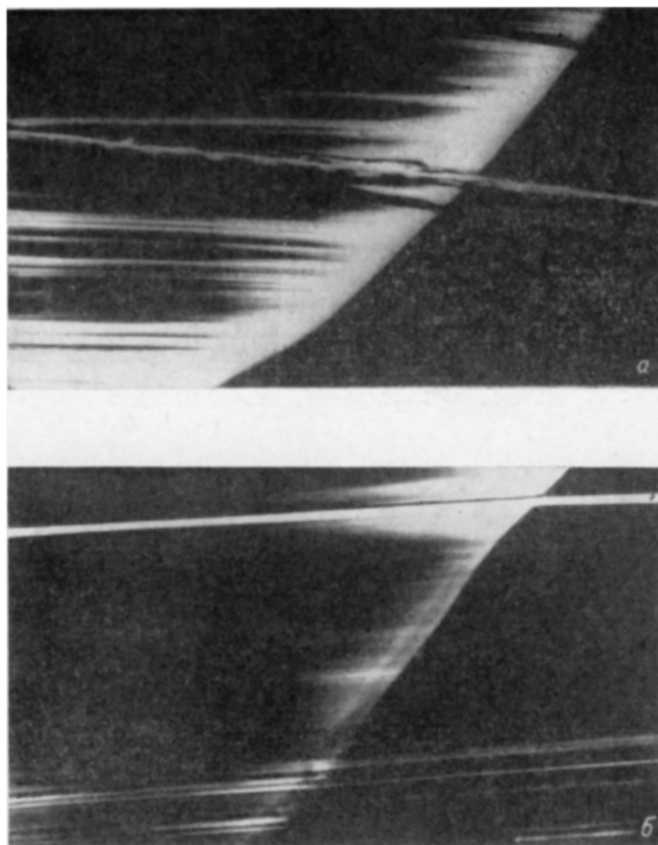


Рис. 1. Незалеченные области вдоль двух СГ (сдвиг $a = 6 \text{ мкм}$).

$\theta_n = 7'$ (а) и 0 (б), $\theta_n = 35'$. Темные участки — области восстановленной, светлые — невосстановленной сплошности.

будет выбрана невязка глубиной h_k . Если l окажется больше интервала между ступеньками, то контакт между берегами проблематичен. Оценим значение D_k , при котором выполняется условие $l < D_k$ и смыкание и реанимация оказываются возможными в пределах одной ступени.

После каждого акта объединения ступенек расстояние между ними увеличивается в два раза: $D_k = 2^k b / \theta$. Одновременно вдвое изменяется и высота ступенек $h_k = 2^k b$. Однако вследствие нелинейности зависимости $l(h)$ величина D_k растет быстрее. Поэтому вероятность контакта по мере удаления от границы увеличивается и необходимое для него условие будет выполнено при $k \geq 1.44 \ln(2R\theta^2/b)$. Координату точки X_k , в которой это произойдет, найдем из $X_k = (5b/\theta) \sum_{n=1}^k 2^{n-1}$. Отсюда даже в рассматриваемом самом благоприятном случае (вторая половина не имеет рельефа) залечивание в непосредственной близости от границы возможно только при очень малых углах разориентировки $\theta \leq 3'$ (рис. 2). При бóльших значениях θ

материал рядом с СГ в достаточной мере не прогнется и контакта между берегами не возникнет.

Реальная ситуация менее благоприятна для залечивания в силу существования ступеней на обеих поверхностях и продольного сдвига a . Границы, вблизи которых наблюдались вскрытия, находились далеко позади фронта прошедшего разрушения (более 1000 мкм). На таких расстояниях относительный сдвиг берегов составлял в исследованных кристаллах 1—5 мкм. Углы продольного сдвига не превышали $10'$. Поэтому в интервале 30—50 мкм от границы значение a было практически постоянным. В этих условиях вблизи субграниц ($a > D_k$) совпадение рельефов невозможно (рис. 2, ϵ) и восстановления сплошности не произойдет не только при $\theta = 3'$, но и при меньших углах. Вдалеке от границы ($a < D_k$) (рис. 2, ζ) экспериментально наблюдается реанимация. При этом рельефы

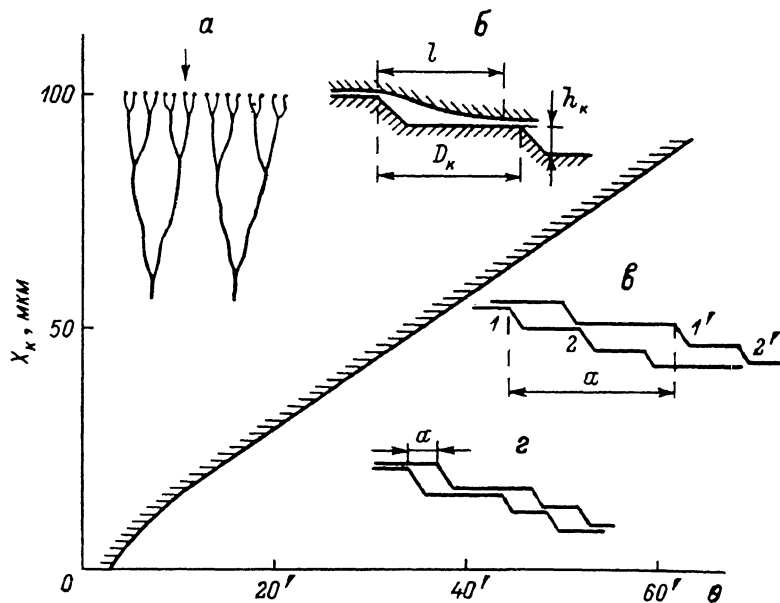


Рис. 2. Зависимость расстояния X_k от СГ, на котором возможна реанимация, от разориентировки субзерен θ_n .

Заштрихованная область отвечает залечиванию. a — речной узор при $\alpha = 90^\circ$, b — схема возникновения контакта между поверхностями в наиболее благоприятном случае, ϵ — наложение рельефов поверхностей вблизи СГ при $a > D_k$, ζ — образование каналов при $a < D_k$.

хорошо совпадают и плоскость залеченной трещины представляет собой участки восстановленной сплошности, разделенные каналами вдоль ступеней скола [3]. Описанное выше имеет место в интервале углов $\alpha = 90 \div 20^\circ$.

Иная ситуация при $\alpha = 2 \div 10^\circ$. Трещина пересекает дислокации границы неодновременно, и к тому моменту, когда образуется элементарная ступенька от очередной дислокации, возникшие раньше успевают объединиться несколько раз. Поэтому характерной особенностью речного узора является слияние ступенек различной высоты вплоть до 20—50 мкм. При $\alpha = 0$ все элементарные ступеньки сливаются в одну. Сверхвысокие ступеньки такого рода (собственно, это уже не ступеньки, а целая система микротрещин с большим количеством щепок) являются серьезным препятствием реанимации.

Л и т е р а т у р а

- [1] Финкель В. М., Дорохова Н. В. ФТТ, 1988, т. 30, № 6, с. 1894—1896.
 [2] Фридель Ж. Дислокации. М.: Мир, 1967. 644 с.
 [3] Финкель В. М., Курганская Л. А., Сафронов В. П. ФТТ, 1985, т. 27, № 1, с. 189—191.

Поступило в Редакцию
8 июля 1988 г.