

## ИНДУЦИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ ЦИКЛИЧЕСКИЕ СТРУКТУРНЫЕ ПЕРЕСТРОЙКИ В ДВОЙНИКОВЫХ КРИСТАЛЛАХ

*В.А.Гончаров, Ю.А.Осипьян, И.М.Шмытько*

Электронномикроскопическими исследованиями установлено, что при действии электронного пучка в двойниковых кристаллах сульфида цинка и кремния осуществляются циклические перестройки двойниковой структуры с характерными периодами 10 с для сульфида цинка и 0,1 – 0,5 с для кремния.

Ранее циклические структурные перестройки наблюдали при действии постоянного светового потока в области сегнетоэлектрического фазового перехода первого рода <sup>1</sup>. При этом циклический характер фазового перехода связывался авторами с изменением нелинейных характеристик сегнетоэлектрика в процессе превращения. Другой пример циклических перестроек под действием постоянного возбуждения описан в работе <sup>2</sup>, в которой в сульфиде кадмия были зарегистрированы периодические световые "мерцания" различной поляризации, т. е. перекачка интенсивности из одной поляризации в другую, возникающие в полсе скольжения в процессе непрерывного освещения.

В настоящем сообщении представлены результаты электронномикроскопического наблюдения циклических перестроек атомной структуры, возникающих при действии непрерывного электронного пучка в кристаллах сульфида цинка и кремния при температурах, далеких от температур возможных фазовых переходов.

Исследовались микродвойниковые кристаллы сульфида цинка и кристаллы кремния, содержащие ростовые двойники. Срез кристаллов совпадал с плоскостью {110}.

Проявление циклического характера структурных перестроек в сульфиде цинка носило пороговый характер по току электронного пучка (порог  $10^{-7}$  А) и заключалось в том, что для некоторых областей кристалла на микродифракционном изображении двойниковой

матрицы периодически во времени появлялись и исчезали дополнительные рефлексы, см. рис. 1, а и рис. 1, б. При этом различались несколько типов дополнительных рефлексов. Рефлексы типа II (см. рис. 1, в) проявлялись в виде коротких вспышек и не образовывали какой-либо правильной системы точек, принадлежащей плоской решетке. Рефлексы типа I "разгорались" неравномерно относительно друг друга, но в конечном итоге образовывали правильную решетку<sup>1)</sup>. Период осцилляции такой решетки изменялся от цикла к циклу и находился в пределах 8 – 10 с. Указанный процесс был также зарегистрирован в режиме дифракционного контраста. Оказалось, что осцилляции контраста изображения возникают в границах общего типа на фоне системы когерентных двойников. В этом случае наблюдалось волнообразное движение теней контраста, подобных обычно наблюдаемым при движении дислокаций в электронномикроскопических динамических экспериментах<sup>3</sup>.

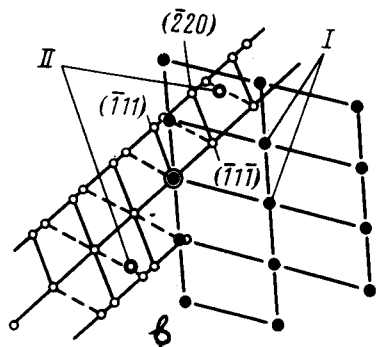
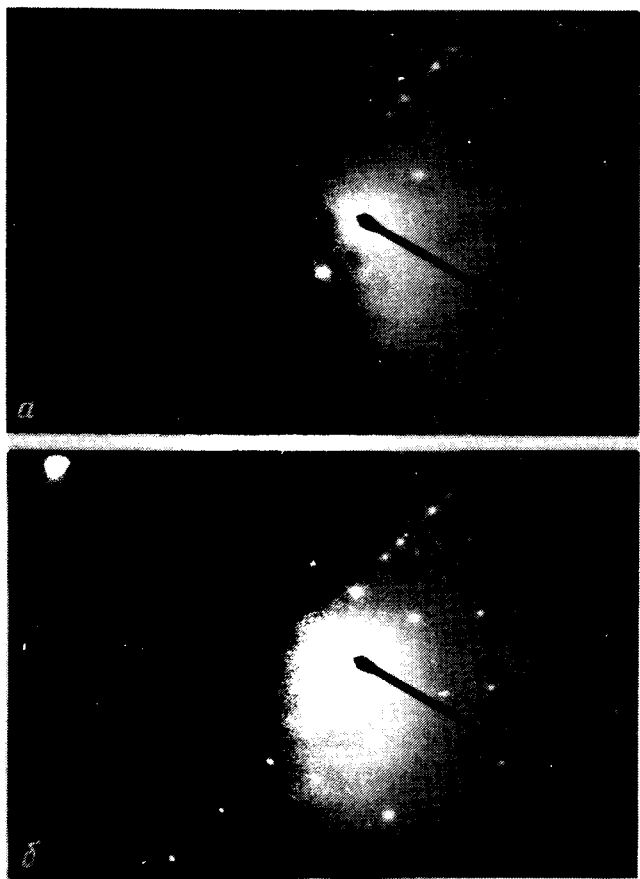


Рис. 1. Динамические микродифракционные картины сульфида цинка, срез (110): а – электронограмма начальной стадии формирования дополнительных рефлексов (типа II на схеме). Основные рефлексы соответствуют микродвойниковой матрице. б – Электронограмма состояния, соответствующего проявлению решетки осциллирующих рефлексов (тип I на схеме). в – Схема относительного расположения двойниковой матрицы и осциллирующих рефлексов

Несколько иной характер структурные изменения носили в кремнии. Они наблюдались только в областях кристалла, содержащих неравновесные ростовые двойники, которые посредством предварительной деформации кристалла были насыщены дислокациями. В отличие от сульфида цинка, рефлексов, соответствующих новой кристаллической структуре, не появлялось, а происходила циклическая перекачка интенсивности изображения рефлексов одной двойниковой ориентации в другую. Период таких осцилляций оценивается нами в 0,5 – 1,0 с. В кремнии процесс оказался быстрозатухающим во времени.

1) Только одно сечение обратной решетки не позволяет нам однозначно идентифицировать наблюдаемую структуру.

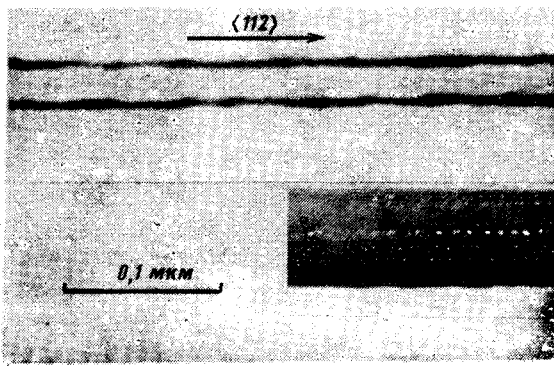


Рис. 2. Пример изображения некогерентных двойниковых областей кремния, в которых наблюдались осциллирующие структурные перестройки

Его период релаксации изменялся от точки к точке образца и составлял 5 – 20 с. Характерно также, что наиболее яркие проявления перестроек в кремнии наблюдались в двойниках, содержащих границы с изломами (см. рис. 2). Последние переходили по истечении процесса в более равновесное состояние.

При интерпретации полученных результатов следует иметь в виду как объяснение самого механизма изменения структуры, так и объяснение циклического характера процесса. Механизм изменения кристаллической структуры, как нам представляется, связан с наблюдавшимися в эксперименте изменениями дислокационной структуры. Конкретно, мы здесь имеем в виду то, что связь между изменением дислокационной и кристаллической структурами может быть обусловлена переупаковкой атомных слоев при последовательном движении частичных дислокаций<sup>4</sup>. В нашем случае наблюдаемая цикличность процесса требует обратимого характера движения дислокаций. Как раз такое поведение дислокаций наблюдалось в процессах упругого раздвоения<sup>5</sup>.

В качестве одной из возможных действующих сил, приводящей к циклическому перемещению дислокаций, может быть сила электростатического отталкивания между зарядами, возникающими под действием падающего пучка и скопившимися в области ядер дислокаций и в области двойниковых границ. В этом случае процесс перестройки структуры за счет движения дислокаций будет продолжаться до тех пор, пока не произойдет уменьшение накопленного заряда, например, при выходе дислокации из зоны действия пучка или за счет пробоя скопившихся электронов на массу кристаллодержателя. В обоих случаях уменьшение отталкивающей силы приведет к возвращению дислокаций в состояние равновесия, что будет соответствовать восстановлению исходной структуры. Далее процесс повторится. Если в процессе циклирования в кристалле будет изменяться дефектная структура, или если часть дислокаций в каждом цикле будет закрепляться или уходить из поля действия пучка, то со временем процесс автоколебаний затухнет, что и наблюдается в эксперименте.

Описанная выше модель циклических структурных перестроек носит предположительный характер, и для выяснения всех аспектов механизма изменения структуры необходимы дальнейшие исследования.

В заключение отметим, что результаты этой работы, как и предыдущих исследований<sup>1,2</sup>, дают основание предположить, что автоколебательные процессы в твердых телах с дислокациями являются довольно общим явлением.

#### Литература

1. Шмытько И.М., Иванов В.И., Шехтман В.Ш., Хасанов С.С. Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, 425.
2. Негрий В.Д., Осипьян Ю.А. Письма в ЖЭТФ, 1982, 35, 484.
3. Икео S. Phys. Stat. Sol. (a), 1976, 36, 317.
4. Шмытько И.М., Матвеева Л.А., Бредихин С.И., Шехтман В.Ш., Шмурак С.З. ФТТ, 1984, 26, 2033.

**5. Омельченко С.А.** "Исследование влияния деформации на структуру кристаллов сульфида и селенида цинка". Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, 1984 г.

Институт физики твердого тела  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
30 апреля 1985г.

---