

СТИМУЛИРОВАННОЕ ДЕФОРМАЦИЕЙ СВЕЧЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ ZnS .

С.И.Бредихин, С.З.Шмурак

Обнаружено излучение коротких световых импульсов при деформации кристаллов ZnS . Исследованы спектральные, временные и температурные характеристики процесса. Доказан дислокационный механизм возникновения свечения.

В работах [1 – 3] показано, что дислокации, движущиеся под действием механического напряжения в окрашенных щелочногалоидных кристаллах вызывают свечение (деформационную люминесценцию). При пластической деформации деформационная люминесценция в этих кристаллах стационарна. Другой характер свечения – излучение коротких импульсов света – при пластической деформации кристаллов ZnS обнаружен в настоящей работе.

Исследования проводились на кристаллах ZnS , выращенных из расплава по методу Бриджмена под давлением 600 атм в атмосфере аргона¹⁾. Кристаллы размером $2 \times 2 \times 4$ мм³ имели огранку $(1\bar{2}10)$, $(10\bar{1}1)$, при этом базисная плоскость располагалась под углом 45° к деформирующему напряжению. Деформация осуществлялась электромагнитной установкой, описанной в [2]. Температура кристалла поддерживалась с точностью $\pm 0,5^\circ$. Свечение регистрировалось фотоумножителями ФЭУ-77 и осциллографами С1-37 или С1-11. Для спектральных исследований применялась методика, описанная в [2]. Для исключения возможного запасаения светосуммы, образцы перед исследованием прогревались при $500^\circ C$ 20 мин в светонепроницаемом термостате, в котором затем и проводились эксперименты.

Кристалл нагружался прямоугольными импульсами механического напряжения длительностью $0,2 \div 30$ сек. В области упругой деформации

¹⁾ Кристаллы были любезно предоставлены М.П.Кулаковым, которому авторы выражают глубокую благодарность.

свечение не наблюдалось. При напряжениях $\sigma \sim \sigma_y$ (σ_y – предел упругости) возникают отдельные вспышки свечения (рис. 1). Число вспышек за единицу времени (N) увеличивается с ростом внешнего напряжения (рис. 1). Свечение исчезает при разгрузке кристалла. Повышение температуры при фиксированной величине σ также приводит к росту N (рис. 2). Значение N увеличивается в 30 раз при нагреве кристалла от 62 до 96°C. Параметры отдельного всплеска свечения (амплитуда и длительность) слабо зависят от величины внешнего напряжения и температуры, при которой производится нагружение образца. В то же время длительность импульса свечения τ уменьшается с увеличением степени деформирования кристалла. В исходных образцах $\tau_{0,5} \sim 0,2$ мксек, после деформации 3% $\tau_{0,5} \sim 0,05$ мксек.

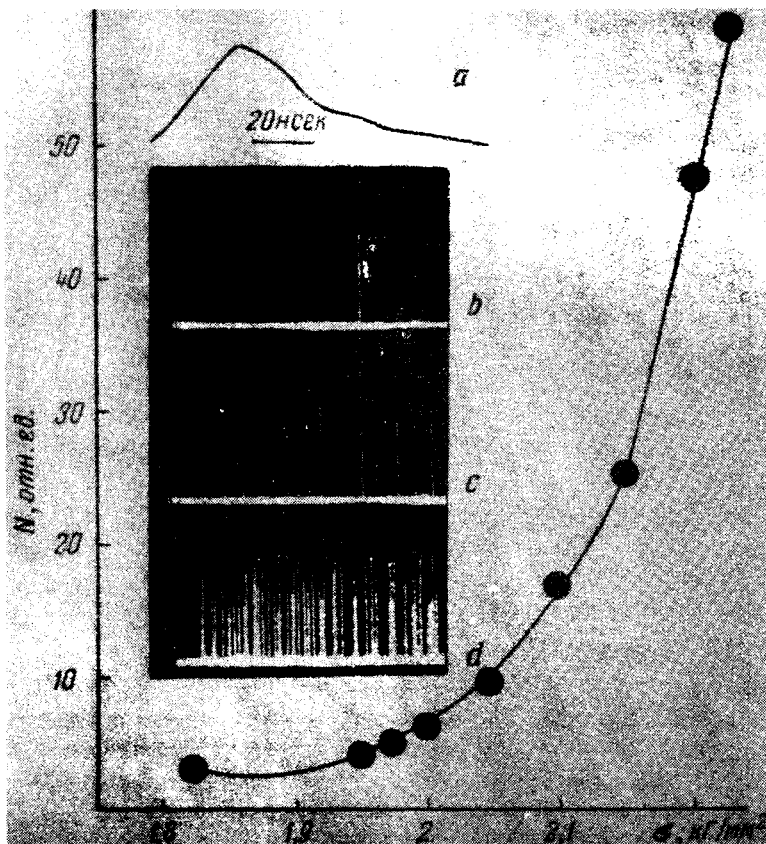


Рис. 1. Зависимость числа всплесков свечения (N) от величины внешнего напряжения (σ). (Значение N – среднее из 10 измерений); a – форма импульса свечения, b, c, d – осциллограммы свечения при разных величинах σ ($T = 80^\circ\text{C}$) 1 см – 250 мсек

Спектр излучения имеет основной максимум при $E \sim 3,56$ эв и ступеньки при 3,30 и 3,10 эв. Подобный спектр свечения наблюдается при возбуждении кристалла светом с $E = E_g$ (E_g – ширина запрещенной зоны). Согласно литературным данным обнаруженные нами полосы свечения связаны с присутствием в образцах ZnS примеси кислорода [4].

Наблюдение кристалла между скрещенными поляризационными призмами показало, что синхронно с возникновением всплеска свечения появляется полоса скольжения. Так как полоса скольжения формируется движущимися дислокациями, можно предположить, что всплески свечения имеют дислокационную природу.

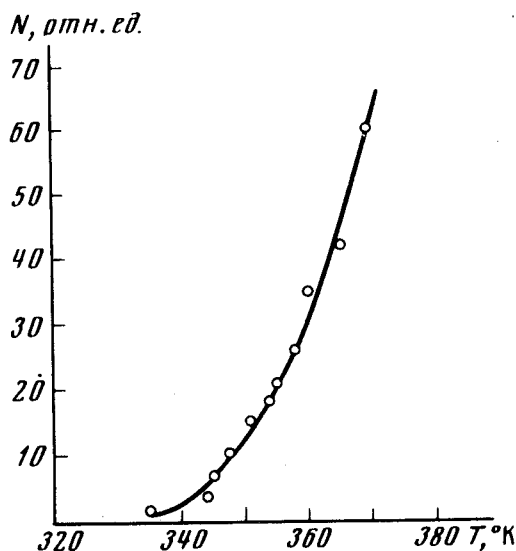


Рис. 2. Зависимость числа всплесков свечения (N) от температуры

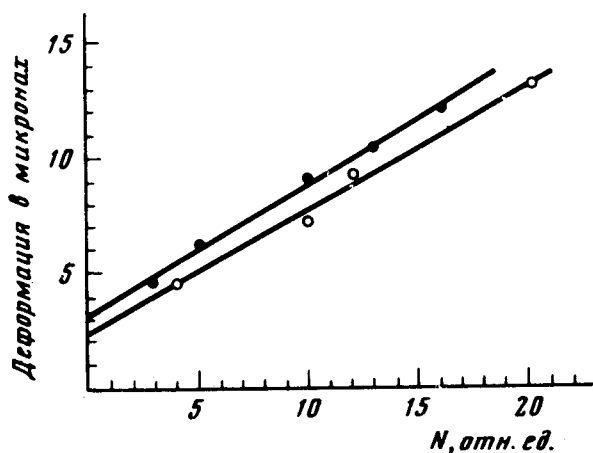


Рис. 3. Зависимость остаточной деформации кристалла (ϵ) от числа всплесков свечения (N) —●— $T = 100^\circ\text{C}$, —○— $T = 80^\circ\text{C}$

На рис. 3 представлена остаточная деформация кристалла (ϵ), возникающая после излучения различного числа всплесков свечения при одинаковом времени нагружения. Из рис. 3. видно, что остаточная деформация пропорциональна числу всплесков свечения, деформация, приходящаяся на один всплеск, слабо зависит от T . Эти опыты позволяют сделать следующие выводы: 1) всплески свечения — результат пластической деформации образца, которая в свою очередь является следствием движения и размножения дислокаций. 2) в исследуемых кристаллах деформация протекает скачкообразно, для осуществления деформации необходимо некоторое время ожидания, которое зависит от σ и T (рис. 1).

Максимальная остаточная деформация, возникающая при прохождении одной дислокации через образец равна $\sim a$ (a — постоянная решетки). Деформация, соответствующая одному всплеску свечения $\sim 0,5$ мк. Значит каждый импульс люминесценции формируется большим числом дислокаций, которые, как следует из поляризационных исследований, и формируют полосы скольжения.

Если принять дислокационный механизм возникновения всплесков свечения, можно ожидать ослабления или исчезновения всплесков в условиях, когда затруднено движение и размножение дислокаций. Действительно, деформация кристалла (даже при $T = 150^\circ\text{C}$), вырезанного так, чтобы базисная плоскость располагалась параллельно направлению деформирования, вплоть до разрушения, не приводила к возникновению вспышек люминесценции.

Другие, недислокационные механизмы возникновения всплесков свечения не объясняют ряда экспериментальных фактов. Пьезополе, возникающее при нагружении кристалла может вызвать электролюминесценцию. Однако, пьезоэффект не объясняет дискретный характер люминесценции, зависимость ее от σ и T , отсутствие всплесков свечения при нагружении кристалла параллельно базисной плоскости.

Исследуемое нами свечение не является и триболюминесценцией — свечением кристалла при возникновении трещин в образце. Наблюдение свечения с использованием электронооптического преобразователя показывает, что в ряде случаев светится вся базисная плоскость. Возникновение такой трещины привело бы к разрушению образца. В то же время легко продеформировать кристалл на 25%, при такой деформации появляется несколько тысяч всплесков свечения, однако при наблюдении в оптический микроскоп в продеформированном образце не видно нарушений сплошности. Кроме того, согласно [5] триболюминесценция сильно уменьшается при увеличении температуры, при которой деформируется кристалл. Это противоречит полученным нами результатам.

Таким образом, дислокационный механизм возникновения всплесков свечения, при деформировании кристаллов ZnS нами представляется доказанным. Свечение же ряда кристаллов ($\text{NaCl}:\text{Mn}$, $\text{ZnS}:\text{Mn}$ и т. д.), наблюдавшееся в [6], по-видимому, является триболюминесценцией.

В заключение отметим, что нагружение кристаллов ZnS также приводит к возникновению свечения, однако в этих образцах наблюдается стационарная люминесценция — свечение в течение всего времени нагружения.

Выражаем глубокую благодарность В.Л.Броуде и Ю.А.Осипьяну за плодотворные дискуссии.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
22 апреля 1974 г.

Литература

- [1] С.З.Шмурак, М.Б. Элиашберг. ФТТ, 9, 1818, 1967.
- [2] Ф.Д.Сенчуков, С.З.Шмурак. ФТТ, 12, 9, 1970.

[3] С.З.Шмурак, Ф.Д.Сенчуков. ФТТ, 15, 2976, 1973.

[4] М.П.Голубева, М.В.Фок. ЖПС, 19, 851, 1973.

[5] Ю.Н.Мартышев. Кристаллография, 10, 224, 1965.

[6] G.Alzetta, I.Chudacek, R.Scarmozzino. Phys. Stat. Sol (a), 1, 775, 1970.
