

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ВЫЗВАННОЕ ДЕФОРМАЦИЕЙ СВЕЧЕНИЕ КРИСТАЛЛОВ ZnS

С.И.Бредихин, С.З.Шмурак

Обнаружено зависящее от полярности электрического поля (U) изменение (увеличение или уменьшение) числа всплесков свечения в единицу времени, вызванных деформацией, которое является следствием влияния U на процессы движения и размножения дислокаций.

В работе [1] обнаружено излучение коротких световых импульсов при пластической деформации кристаллов ZnS. Всплески свечения имеют дислокационную природу, а их число в единицу времени характеризует темп пластической деформации кристалла $\dot{\epsilon}$. Свечение оказалось очень чувствительным к изменению $\dot{\epsilon}$, определяемого движением и размножением дислокаций [2]. Поэтому представляется целесообразным применить методику свечения для исследования различных факторов, влияющих на пластическую деформацию кристаллов.

В настоящей работе изучается влияние электрического поля на процесс стимулированного деформацией свечения. Такое исследование представляло интерес еще в связи с тем, что в работе [3] уже наблюдалось упрочняющее действие электрического поля (U) на кристаллы ZnSe, независящее от полярности U — четный по полю электропластический эффект (ЭПЭ). При проведении экспериментов нами обнаружены новые экспериментальные данные. В кристаллах ZnS наблюдается в зависимости от полярности электрического поля упрочнение или разупрочнение образца — "нечетный" ЭПЭ. Предлагается механизм процесса.

Исследования проводились на кристаллах ZnS, выращенных из расплава по методу Бриджмена. Образцы имели огранку $(1\bar{2}10)$, $(10\bar{1}1)$, при этом активная при одноосной деформации плоскость скольжения (0001) располагалась под углом 45° к деформирующему напряжению рис. 1. Методика нагружения кристаллов и регистрации свечения описаны в [1].

Для изучения влияния электрического поля (U) на стимулированное деформацией свечение использовались два способа: электрическое напряжение подавалось либо на припаянные к образцу индиевые контакты, либо на обкладки конденсатора, в которой помещался кристалл. Индиевые контакты наносились ультразвуковым паяльником на грани кристалла с индексами $(10\bar{1}1)$.

Нагружение кристаллов ZnS прямоугольным импульсом механического напряжения, амплитуда которого $\sigma > \sigma_y$ (σ_y — предел упругости) приводит к возникновению серии всплесков свечения. Каждый всплеск свечения формируется большим числом дислокаций ($\sim 10^3$), которые образуют полосу скольжения [1]. Амплитуды и длительности всплесков в серии оказываются близкими и поэтому свечение можно характеризовать числом световых импульсов в единицу времени (N). Величина N

в этом случае оказывается пропорциональной темпу пластической деформации $\dot{\epsilon}$. Факторы, приводящие к изменению $\dot{\epsilon}$ должны вызывать изменение N . Действительно, как показано в работе [2], дополнительное освещение кристалла светом в полосах поглощения активатора приводит к возникновению фотостопоров, которые изменяют характер пластической деформации кристалла и частично или полностью подавляют свечение кристалла, при этом N всегда пропорционально $\dot{\epsilon}$.

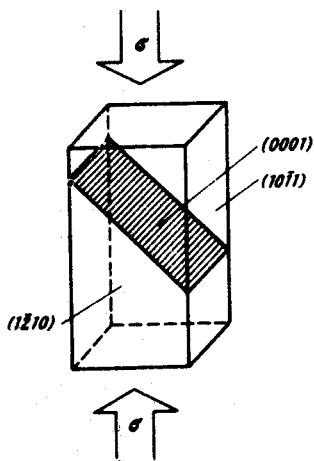


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая ориентацию образца ZnS, при одноосной деформации. Индексы граней даны в гексагональной системе

Основной экспериментальный результат, полученный в настоящей работе заключается в том, что внешнее электрическое поле (U) изменяет величину N , причем характер этого изменения зависит от величины и полярности U . Поле одной полярности увеличивает, а другой уменьшает число всплесков в единицу времени (рис. 2). При этом средняя амплитуда всплесков свечения изменяется незначительно.

Одновременно с регистрацией числа импульсов люминесценции, возникающих при деформации кристалла в электрическом поле (N_u), производилось измерение остаточной деформации $\Delta\epsilon_u$ ($\Delta\epsilon_u/t = \dot{\epsilon}$, где t — время). Оказалось, что N_u пропорционально $\Delta\epsilon_u$, т. е. внешнее электрическое поле, как и освещение деформируемого кристалла светом [2], не влияет на центры свечения, а изменяет условия движения и размножения дислокаций. Изменение отношения $N/N_u = \Delta\epsilon/\Delta\epsilon_u$ ($\Delta\epsilon = \Delta\epsilon_{u=0}$) в зависимости от величины и полярности электрического поля приведено на рис. 2. Из рис. 2 видно, что увеличение электрического поля до величины $|u| \sim 12$ кВ/см сопровождается монотонным увеличением (уменьшением) отношения N/N_u . При $|U| > 12$ кВ/см одновременно с возникновением электролюминесценции кристаллов рост величины N/N_u прекращается.

Следует отметить, что эффект влияния поля на процесс пластической деформации практически не зависит от способа приложения поля — подается ли поле на припаянные к образцу контакты или на обкладки конденсатора, в которой помещается кристалл.

Влияние температуры на вызванное электрическим полем изменение темпа пластической деформации иллюстрирует рис. 3. Низкотемператур-

ный максимум, является общим для электрического поля обеих полярностей (упрочняющего и разупрочняющего кристалл).

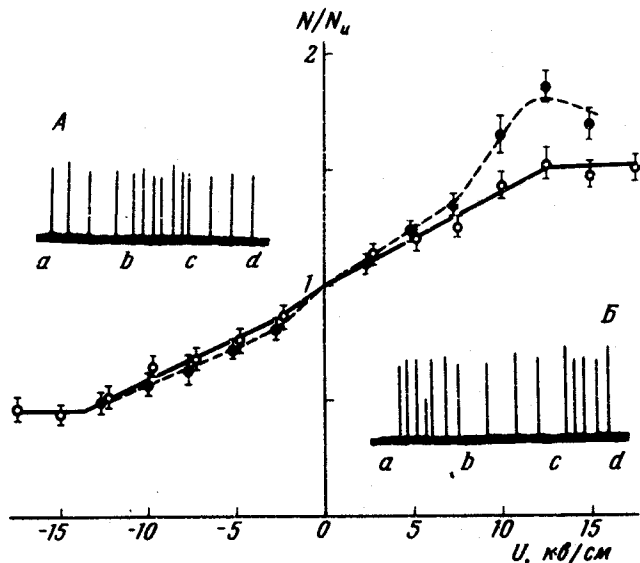


Рис. 2. Зависимость отношения N/N_u от величины и полярности электрического поля (U) в кристаллах ZnS : — \bullet — — U подавалось на припаянные к образцу контакты; — \circ — — U подавалось на обкладки конденсатора, в котором находился образец; A, B — осциллограммы, иллюстрирующие влияние поля различной полярности на всплески свечения. a и d — моменты нагружения и разгрузки кристалла; b и c — моменты включения и выключения внешнего напряжения. $1 \text{ см} - 1 \text{ сэк}$, $T = 340\text{К}$

Как отмечалось в [3], возможным механизмом независимого от полярности U ЭПЭ, который имеет пороговый характер, является возникновение в присутствии большого электрического поля дополнительного торможения дислокаций в результате инжекции из контакта в объем кристалла $ZnSe$ неосновных носителей. В пользу этого свидетельствует отсутствие упрочняющего действия поля на кристаллы $ZnSe$ при приложении U к обкладкам конденсатора, в который помещен образец.

Сравнивая экспериментальные данные, описанные в [3] с результатами, полученными в настоящей работе, мы приходим к выводу, что в кристаллах ZnS нами обнаружен, скорее всего, принципиально другой процесс влияния электрического поля на пластическую деформацию кристалла. "Нечетный" ЭПЭ и его свойства легко объяснить предположив, что дислокации в ZnS заряжены. Из-за электростатического взаимодействия с заряженной дислокацией, эффект включения электрического поля эквивалентен соответствующему уменьшению или увеличению внешней нагрузки на величину $\Delta\sigma$, которую легко определить, сопоставляя зависимости $N = N(\sigma)$ (рис. 1 из работы [1]) и $N/N_u = f(U)$ рис. 2. Из условия равенства действующих на дислокацию электростатической и механической ($\Delta F = (\Delta\sigma/2)b$, b — вектор Бюргерса) сил, можно найти заряд дислокации (q). Он оказался равным 10^{-2} CGSE/см .

Движение заряженных дислокаций должно приводить к возникновению заряда на поверхности кристалла [4, 5]. Нами обнаружены на гранях $(10\bar{1}1)$ импульсы электрического потенциала длительностью $\tau_{0,5} \sim 40$ нсек. Они возникают синхронно со всплесками свечения, поэтому очевидно, как и импульсы люминесценции, формируются движущимися в полосе скольжения дислокациями. Величина заряда, соответствующая одному всплеску, оказалась равной $1,7 \cdot 10^{-10}$ к. Такой заряд может возникнуть, если средний заряд каждой из 10^3 дислокаций, формирующих всплеск свечения, а значит и импульс заряда, равен $0,5 \cdot 10^{-2}$ CGSE/см, что хорошо совпадает по порядку величины с оценкой, полученной выше.

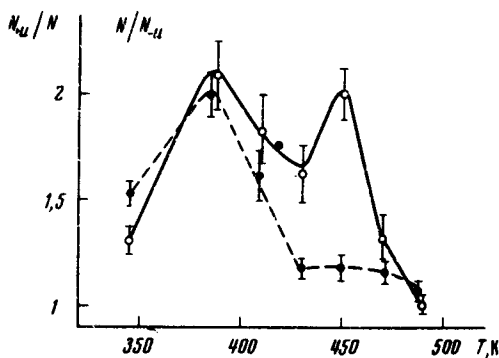


Рис. 3. Температурная зависимость относительного изменения числа всплесков свечения, для кристаллов ZnS при включении упрочняющего (U) — ● — и разупрочняющего (— U) — ○ — электрического поля

В рамках развитых представлений, уменьшение числа всплесков свечения (упрочнение образца) следует ожидать в том случае, когда полярности внешнего электрического поля и всплесков свечения совпадают. Эксперимент подтверждает это предположение.

Таким образом, в настоящей работе обнаружено зависящее от полярности электрического поля изменение пластичности кристалла, которое скорее всего обусловлено электростатическим взаимодействием внешнего электрического поля с заряженными дислокациями.

В заключение отметим, что электрическое поле, приложенное к поверхностям $(1\bar{2}10)$ кристалла ZnS независимо от полярности вызывает увеличение темпа пластической деформации — разупрочнение образца.

Выражаем глубокую благодарность Г.И.Бабкину, В.Л.Броуде и Ю.А.Осипьяну за ценные советы и плодотворные дискуссии.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
29 января 1975 г.

Литература

- [1] С.И.Бредихин, С.З.Шмурак. Письма в ЖЭТФ, 19, 709, 1974.
- [2] С.И.Бредихин, Ю.А.Осипьян, С.З.Шмурак. ЖЭТФ, 68, 750, 1975.
- [3] Ю.А.Осипьян, В.Ф.Петренко. Письма в ЖЭТФ, 17, 555, 1973.
- [4] D.V.Fischbach, A.S.Nowick. Phys. Rev., 98, 1543, 1955; 99, 1333, 1955.
- [5] А.А.Урусовская. УФН, 96, 39, 1968.