

УДК 537.26

## ИЗМЕНЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ТОЧЕЧНЫХ ДЕФЕКТОВ НА АКТИВНЫХ ДИСЛОКАЦИЯХ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОСВЕЩЕНИЯ В МОНОКРИСТАЛЛАХ CdS

Л.Г. ГАСПАРЯН, А.С. МЕЛКОНЯН, М.С. САКАНЯН,  
С.А. ВАЛАСАНЯН, М.ГАВETИСЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 9 августа 2004 г.)

Исследовано влияние освещения на микропластические свойства кристаллов CdS. По данным измерений проводимости и фотопроводимости в зависимости от амплитуды ультразвуковой деформации и температуры в кристаллах CdS установлено, что важную роль в этих процессах играет взаимодействие межузельных атомов Cd с заряженными дислокациями.

Изучение закономерностей движения дислокаций в CdS интересно тем, что может явиться ключом к объяснению наблюдаемых в этих кристаллах своеобразных проявлений фото- и электропроводимостей. Поскольку дислокации в этих кристаллах являются объектами, несущими на себе значительный электрический заряд, то пластическая деформация из-за интенсивного движения и размножения дислокаций, их взаимодействия с решеткой, между собой и другими точечными дефектами, распределенными по всему объему кристалла, может привести к возникновению новых точечных дефектов [1-4], что существенно меняет энергетический спектр носителей заряда. В свою очередь, освещение влияет на состояние пластичности этих монокристаллов, приводя к эффекту фотоупрочнения и фоторазупрочнения [5]. Так как освещение в первую очередь изменяет энергетический спектр носителей заряда, то представляет интерес изучение влияния освещения на изменение концентрации точечных дефектов, взаимодействующих с дислокациями при ультразвуковой деформации кристаллов.

В настоящей работе на основе измерений амплитудных зависимостей поглощения ультразвука (УЗ) и электропроводности (ЭП) монокристаллов CdS проведены расчеты изменения концентрации точечных дефектов на активных дислокациях под влиянием светового воздействия.

Исследование внутреннего трения проводилось методом составного вибратора в области колебаний ультразвука ~100 кГц [5]. Освещение осуществлялось галогенной лампой накаливания КГМ мощностью 80 Вт. Инфракрасная часть спектра вырезалась водяным фильтром.

Изучение фоточувствительного дислокационного поглощения УЗ в зависимости от амплитуды деформации и температуры проводилось на высокоомных монокристаллах CdS *n*-типа с избыточными дислокациями в базисных плоскостях.

При температурах 80 К и 300 К в темноте в области амплитуд деформации  $\varepsilon \sim 10^{-6} + 10^{-4}$  дислокационное поглощение УЗ в этих кристаллах является амплитуднонезависимым (рис.1). С повышением температуры (350 К + 370 К) поглощение ультразвука  $\delta(\varepsilon)$  увеличивается и одновременно в области малых амплитуд деформации наблюдается его спад, а потом оно медленно возрастает. В ходе наших экспериментов прилагаемая на образцах величина амплитуды ультразвуковой деформации имеет допороговую мощность, когда не имеет место явление размножения дислокаций [6]. Под влиянием освещения поглощение уменьшается, т.е. наблюдается упрочнение кристалла. Такое уменьшение  $\delta(\varepsilon)$  при освещении в основном обусловлено торможением движения дислокаций в результате увеличения плотности точечных дефектов, образовавшихся под влиянием освещения.

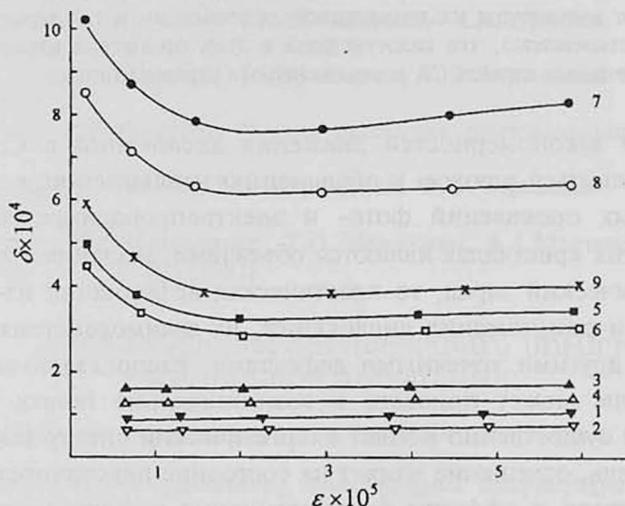


Рис.1. Внутреннее трение в образцах CdS в темноте: 1 – при 80 К, 3 – 300 К, 5 – 350 К, 7 – 370 К. При освещении: 2 – 80 К, 400 лк; 4 – 300 К, 400 лк; 6 – 350 К, 35 лк; 8 – 370 К, 35 лк; 9 – 370 К, 400 лк.

Изобразим полученные результаты в координатах  $\ln(\delta\varepsilon)$  от  $\varepsilon^{-1}$  (рис.2).

По теории Гранато-Люкке [7] амплитуднозависимый декремент затухания имеет вид:

$$\delta = \frac{\Omega \Lambda \Delta_0 L_N^3}{\pi L_c} \cdot \frac{K \eta b}{\varepsilon L_c} \exp\left(-\frac{K \eta b}{\varepsilon L_c}\right), \quad (1)$$

где  $\Omega$  – ориентационный фактор,  $\Lambda$  – плотность дислокаций,  $L_N$  – длина дислокационной петли между сильными точками закрепления,  $L_c$  – длина дисло-

кационной петли между слабыми точками закрепления (примесные центры),  $\eta$  – параметр несоответствия Коттрелла,  $b$  – вектор Бюргерса,  $\Delta_0 = 8Gb^2 / \pi^3 C$  ( $G$  – модуль сдвига,  $C = 2Gb^2 / \pi(1-\nu)$  – постоянная, определяющая силу на единицу длины дислокации,  $\nu$  – коэффициент Пуассона,  $K = G/4RE$  – модуль Юнга,  $R$  – коэффициент проведения сдвигового напряжения,  $E$  – модуль упругости.

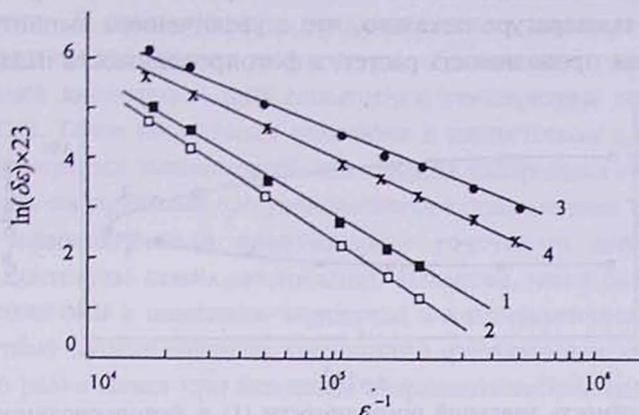


Рис.2. Зависимость  $\ln(\delta\epsilon)$  от  $\epsilon^{-1}$  для CdS; в темноте: 1 – при 350 К, 3 – 370 К. При освещении: 2 – 350 К; 400 лк, 4 – 370 К, 400 лк.

Логарифмируя соотношение (1), получаем:

$$\ln(\delta\epsilon) = \ln\left(\frac{\Omega\Delta_0\Lambda L_N^3}{\pi L_c} \cdot \frac{K\eta b}{L_c}\right) - \frac{K\eta b}{\epsilon L_c} = \ln\frac{\Omega\Delta_0\Lambda L_N^3}{\pi} + \ln\frac{1}{L_c} + \ln\text{tg}\alpha - \frac{\text{tg}\alpha}{\epsilon}, \quad (2)$$

$$\text{где } \text{tg}\alpha = \frac{K\eta b}{L_c}.$$

Полученная зависимость (2)  $\ln(\delta\epsilon)$  от  $\epsilon^{-1}$  представляет собой уравнение прямой линии с угловым коэффициентом  $\text{tg}\alpha$ , пропорциональным количеству точек закрепления ( $L_c$  обратно пропорционально концентрации точечных дефектов  $c$  на линии дислокации) и отсекающим на оси ординат отрезок  $\theta$ , пропорциональный плотности дислокаций  $\Lambda$ , движущихся в кристалле под действием упругой волны:

$$\theta = \ln M + \ln c + \ln \text{tg}\alpha, \quad (3)$$

$$\text{где } M = \frac{\Omega\Delta_0\Lambda L_N^3}{\pi}.$$

Как видно из рис.2, наклон прямых, пропорциональный концентрации точек закрепления, возрастает при освещении. С ростом температуры концентрация точек закрепления уменьшается, а соотношение  $c_2/c_1$  ( $c_1$  и  $c_2$  – концентрации точек закрепления до и после светового воздействия) увеличивается от 1,5 при 350 К до 2,3 при 370 К, что свидетельствует об увеличении эффекта фотоупрочнения с повышением температуры [8].

Влияние освещения на пластические свойства монокристаллов CdS весьма неоднозначно, так как в них существует множество светочувствительных точечных дефектов, которые по-разному могут влиять на подвижность дислокаций. Некоторое представление о природе точечных дефектов дают результаты исследования проводимости кристаллов.

Измерение амплитудной зависимости проводимости кристаллов CdS при комнатной температуре показало, что с увеличением амплитуды деформации  $\varepsilon$  темновая проводимость растет, а фотопроводимость падает (рис.3).

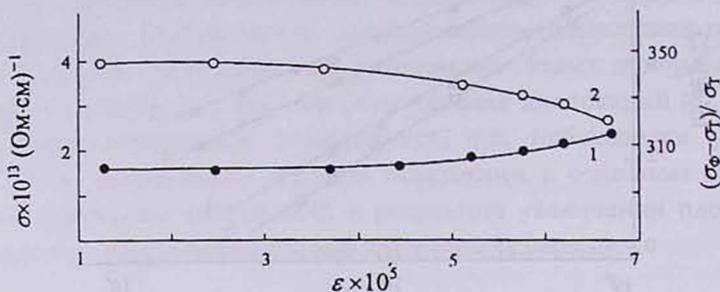


Рис.3. Зависимость удельной проводимости (1) и фотопроводимости (2) образцов CdS от амплитуды ультразвуковой деформации при  $T = 300$  К.

Предполагается, что увеличение темновой проводимости в зависимости от амплитуды деформации  $\varepsilon$  вызвано ионизацией глубоких донорных уровней, связанных со взаимодействием межузельных атомов Cd и набегающих на них заряженных дислокаций [9], а ионизация дырок из центров медленной рекомбинации в электростатическом поле движущихся дислокаций приводит к уменьшению фототока.

На температурной зависимости проводимости наблюдается увеличение как темновой проводимости, так и фотопроводимости (рис.4), причем темновая компонента достигает насыщения. По данным температурной зависимости проводимости рассчитана энергия активации процесса ( $\approx 0.54$  эВ), что совпадает со значением энергии активации межузельного атома Cd.

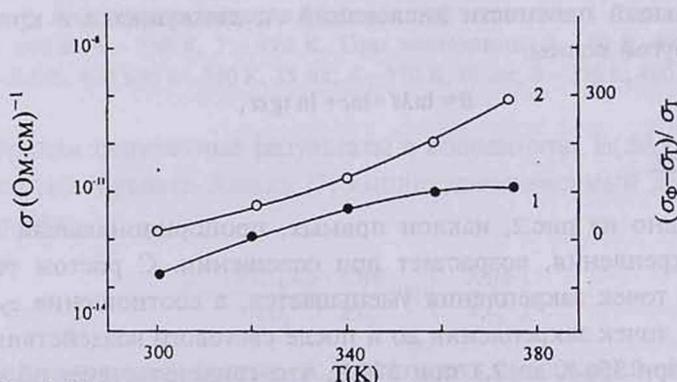


Рис.4. Температурные зависимости удельной проводимости (1) и фотопроводимости (2) для образцов CdS.

Возможной причиной увеличения темновой проводимости и фотопроводимости в зависимости от температуры является свойственная полупроводникам проводимость, обусловленная примесями и собственными дефектами [9,10]. Увеличение фотопроводимости по отношению к темновой проводимости с повышением температуры, по-видимому, обусловлено появлением новых уровней в запрещенной зоне, световое возбуждение которых увеличивает фотопроводимость. В свою очередь, появление новых светочувствительных дефектов, вследствие увеличения температуры, обуславливает увеличение эффекта закрепления дислокаций при повышении температуры вплоть до 380K в кристаллах CdS. Такое обсуждение находится в соответствии с результатами измерения амплитудных зависимостей поглощения ультразвука под влиянием освещения, когда соотношение  $c_2/c_1$  увеличивается с повышением температуры [1].

При взаимодействии дислокаций с точечными дефектами важную роль играет состояние самих дислокаций. Известно, что в базисных плоскостях скольжения они в основном заряжены, а в призматических – не заряжены [1]. Поэтому взаимодействие дислокаций с точечными дефектами может существенно различаться при базисном и призматическом скольжениях.

Обобщая полученные результаты, можно сказать, что исследовано влияние освещения на микропластические свойства кристаллов CdS. По данным измерений проводимости и фотопроводимости в зависимости от амплитуды ультразвуковой деформации и температуры в кристаллах CdS установлено, что важную роль в этих процессах играют взаимодействия межузельных атомов Cd<sub>i</sub> и заряженных дислокаций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.А.Осипьян, В.Ф.Петренко. ЖЭТФ, 75, 296 (1978).
2. А.С.Мелконян, С.В.Карапетян, М.С.Саканян и др. Изв. НАН Армении, Физика, 35, 162 (2000).
3. T.Wichert, M.Deicher. Nuclear Physics, A 693, 327 (2001).
4. Y.Hatanaka, M.Miraula, A.Nakamura, T.Aoki. Applied Surface Science, 467, 462 (2001).
5. A.H.Durgaryan, H.S.Melkonyan, R.P.Vardapetyan. Solid State Comm., 73, 185 (1990).
6. А.С.Мелконян, А.А.Дургарян, Р.П.Вардапетян. Изв. НАН Армении, Физика, 24, 40 (1989).
7. А.Гранато, К.Люкке. Физическая акустика, т.4. М., Мир, 1969.
8. Р.П.Вардапетян, А.С.Мелконян. ФТТ, 33, 466 (1991).
9. А.В.Зарецкий, В.Ф.Петренко. ФТТ, 20, 1167 (1978).
10. В.В.Дякин, Е.А.Сальков, В.А.Хвостов. ФТТ, 9, 1812 (1975).

## CHANGE OF THE CONCENTRATION OF POINT DEFECTS ON ACTIVE DISLOCATIONS UNDER THE INFLUENCE OF LIGHT IN CdS SINGLE CRYSTALS

L.G. GASPARYAN, H.S. MELKONYAN, M.S. SAQANYAN,  
S.H. VALASANYAN, M.H. AVETISYAN

Influence of light on microplastic properties of CdS is studied. On the basis of observed dependences of the conductivity and photoconductivity on the amplitude of ultrasound deformations and temperature in CdS crystals the important role of the interaction of interstitial Cd<sub>i</sub> atoms with charged dislocations is established.