

УДК 538.911, 935, 958, 975

INFLUENCE OF CONDENSATION RATE OF CdTe:Ag FILMS WITH PHOTOELECTRETIC STATE WITHOUT EXTERNAL POLARIZING FIELD ON THEIR PHOTOCONDUCTIVITY AND SHORT-CIRCUIT CURRENT SPECTRA

Nurmatov O.R., Yuldashev N.Kh.

Fergana city, Fergana street 86, Fergana Polytechnical Institute,

email: uzferfizika@mail.ru

Abstract. The photovoltaic properties of thin ($d \approx 1 \mu\text{m}$) specially doped CdTe: Ag films are considered, in which the effects of anomalous photovoltage and photoelectret state without external polarizing field, which are formed only by natural light, are clearly seen. It is shown that the study of the photoconductivity spectra and short-circuit current depending on the technological parameters of these films allows obtaining additional information about their substructure, micro potential barriers and deep impurity levels.

Key words: thin doped films, anomalous photovoltage, photoelectret state, short circuit current, spectral characteristics.

TASHQI POLARIZATSIYA MAYDONI BO'LMAGANDA CdTe:Ag PLYONKALARI FOTOELEKTRET HOLATINING KONDENSATSIYA TEZLIGINI ULARNING FOTOO'TKAZUVCHANLIGI VA QISQA TUTASHUV TOKI SPEKTRLARIGA TA'SIRI

Nurmatov O.R., Yuldashev N.X.

Farg'ona shaxri Farg'ona ko'chasi 86 uy, Farg'ona poltexnika instituti

email: uzferfizika@mail.ru

Аннотация. Ташқи электрон майдонсиз, фақат табиий ёруғлик таъсирида аномал фотокучланиш ва фотоэлектрет ҳолат яққол юзага келадиган махсус легирланган CdTe:Ag юпқа ($d \approx 1 \mu\text{м}$) пленкаларнинг фотовольтаик хусусиятлари қараб чиқилган. Ушбу пленкаларнинг фотоўтказувчанлик ва қисқа туташув токи спектрларини технологик параметрларига боғлиқ ҳолда ўрганиш уларнинг субструктураси, микропотенциал барьерлари ва чуқур аралашма сатҳлари тўғрисида қўшимча маълумотлар олишга имкон беради.

Таянч сўзлар: легирланган юпқа пленкалар, аномал фотокучланиш, фотоэлектрет ҳолат, қисқа туташув токи, спектрал характеристикалар.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ КОНДЕНСАЦИИ ПЛЕНОК CdTe:Ag С ФОТОЭЛЕКТРЕТНЫМ СОСТОЯНИЕМ БЕЗ ВНЕШНЕГО ПОЛЯРИЗУЮЩЕГО ПОЛЯ НА ИХ СПЕКТРЫ ФОТОПРОВОДИМОСТИ И ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Нурматов О.Р., Юлдашев Н.Х.

г. Фергана, ул. Ферганская 86, Ферганский политехнический институт, email:

uzferfizika@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены фотовольтаические свойства тонких ($d \approx 1 \mu\text{м}$) легированных пленок CdTe:Ag, в которых ярко обнаруживаются эффекты аномального фотонапряжения и фотоэлектретного состояния без внешнего поляризирующего поля, образующиеся под действием лишь естественного света. Показано, что изучение спектров фотопроводимости и тока короткого замыкания в зависимости от

технологических параметров этих пленок позволяет получить дополнительные сведения об их субструктуре, микропотенциальных барьерах и глубоких примесных уровнях.

Ключивые слова: тонкие легированные пленки, аномальное фотонапряжение, фотоэлектретное состояние, ток короткого замыкания, спектральные характеристики.

Введение. При изучении фотопроводимости (ФП) тонких пленок, обладающих свойствами генерации аномально большого фотонапряжения (АФН) и фотоэлектретного напряжения (ФЭН), возникают некоторые сложности, связанные с тем, что в результате фотовозбуждения появляется фото-ЭДС, сравнимая и даже больше значения приложенного внешнего напряжения [1-3]. В настоящей работе проведен комплекс исследований, позволяющий рассматривать отдельно тока ФП $I_{ФП}$ и тока короткого замыкания $I_{КЗ}$, приложив внешнее напряжение вдоль и поперек образца на плоскости подложки. Спектры $I_{КЗ}$ измерялись без внешнего поля вдоль АФВ слоя, а спектры $I_{ФП}$ - с внешним напряжением, приложенным поперек линии асимметрии кристаллитов.

Методика. Анализ экспериментальных спектральных зависимостей $I_{ФП}$ вдоль линии асимметрии кристаллитов показывает, что в длинноволновой области спектра до $h\nu=1.15$ эВ кривые $I_{ФП}(h\nu)$ не зависят от полярности внешнего напряжения. Причиной тому является то, что в примесной области поглощения создается фото-ЭДС намного меньшей величины по сравнению с величиной внешнего напряжения [4]. С увеличением кванта света уже при его энергии $h\nu=1.5$ эВ существенно проявляется влияние фото-ЭДС. В случае, когда полярность фото-ЭДС совпадает с полярностью приложенного напряжения фотосигнал увеличивается. Когда полярности АФН и $E_{вн}$ противоположены, в результате возникновения большой фото-ЭДС при значениях $h\nu>1.35$ эВ может наблюдаться инверсия знака $I_{ФП}$. Путем усреднения аналогичных зависимостей было вычислено влияние $I_{КЗ}$ и построены спектры ФП.

В перпендикулярном к линии асимметрии кристаллитов направлении фотосигналы при разных поляриностях $E_{\text{внеш.}}$ совпадают по величине во всём измеренном интервале спектра, так как в этом направлении величина генерируемой фото-ЭДС оказалась более чем на порядок меньше величины фото-ЭДС генерируемой параллельно асимметрии кристаллитов.

В случае глубокого локального уровня электрон сильно связан с дефектом и поэтому изменение зарядового состояния примесного центра при фотоионизации будет сопровождаться изменением локализованных колебаний дефектного комплекса, который может изменять спектры сечения захвата фотонов (СЗФ) глубоких локальных уровней. Для описания СЗФ глубоких уровней, энергия оптической ионизации которых в несколько раз меньше ширины запрещенной зоны, предполагается, что примесный потенциал можно аппроксимировать с помощью δ -функцией, а масса связанного носителя заряда равна величине эффективной массы в близлежащей разрешенной зоне, и воспользуемся формулой Г. Луковского [5]

$$\sigma_{\phi}(h\nu) = \frac{R \sqrt{E_0}}{m^*} \cdot \frac{(h\nu - E_0)^{3/2}}{(h\nu)^3} \quad (1)$$

где $R = \left(\frac{16 \pi e^2 h}{3 \bar{n} c} \right) \cdot E_{\text{эфф}} / E_0$, m^* – эффективная масса носителя заряда, $\bar{n}$ – показатель преломления полупроводника, $E_{\text{эфф}}$ – эффективная глубина потенциальной ямы в окрестности дефекта, E_0 – энергия ионизации примесного центра.

Для достаточно глубоких уровней размер локализации носителей заряда одного порядка с постоянной решетки. Тогда СЗФ описывается выражением

$$\sigma_{\phi}(h\nu) = \frac{R \cdot g \sqrt{E_0 m^* m_0}}{2 m_H^2} \cdot \frac{(h\nu - E_0)^{3/2}}{h\nu} \quad (2)$$

где m_H^- – эффективная масса, входящая в оператор оптического возбуждения,

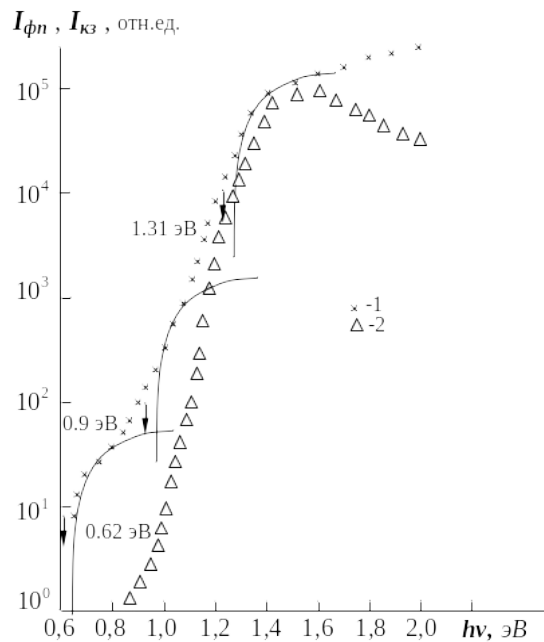


Рис.1. Спектры тока фотопроводимости (кривая 1) и тока короткого замыкания (2) пленок $CdTe:Ag$, полученных при скорости конденсации $1,8 \text{ нм/с}$, $T=300^0 \text{ К}$.

которая не зависит от $h\nu$; g – фактор вырождения. Считается, что примесная $\Phi\Pi$ пропорциональна произведению $C3\Phi$ глубокого уровня σ_Φ и интенсивности возбуждающего света L . При этом она зависит от степени заполнения локальных уровней, которая определяется как скоростью генерации, так и временем жизни неравновесных носителей. Следует отметить, что в исследуемых пленках при фотовозбуждении существенно изменяется подвижность носителей заряда, что также следует учитывать при анализе примесного $\Phi\Pi$.

Результаты и обсуждения. Экспериментальные спектры $I_{\Phi\Pi}$ и $I_{кз}$ для пленок $CdTe:Ag$, полученных со скоростями конденсации $1,8 \text{ нм/с}$ и $0,3 \text{ нм/с}$, представлены на рисунках 1 и 2. Видно, что спектры токов $\Phi\Pi$ и короткого замыкания в области частот $h\nu=0.6-1.2 \text{ эВ}$ и $h\nu \geq 1.4-1.5 \text{ эВ}$ существенно отличаются. Это обусловлено примесной и собственной генерацией фото-ЭДС в асимметричных приграничных барьерах кристаллических зерен. При больших скоростях конденсации получают более мелкозернистые пленки, что отражается в характерных частотах

спектров $I_{ФП}$ и $I_{КЗ}$. В спектрах $I_{КЗ}$ обнаруживаются коротковолновый спад при частотах $h\nu \geq 1.5$ эВ (кривая 2, рис. 1) и $h\nu \geq 1.35$ эВ (кривая 2, рис. 2), связанный увеличением скорости поверхностной рекомбинации носителей заряда. Отсутствие коротковолнового спада спектров $ФП$, по-видимому,

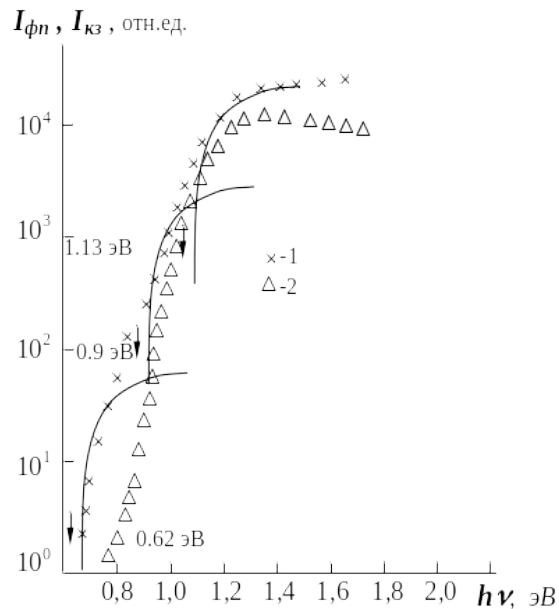


Рис.2. Спектры тока фотопроводимости (кривая 1) и тока короткого замыкания (2) пленок $CdTe:Ag$, полученных при скорости конденсации $0,3$ нм/с. $T=300^0$ К.

показывает, что длина диффузии носителей превышает размер кристаллита.

Поскольку толщина образца не превышает $d \approx 1$ мкм, что соответствует размеру кристаллита, то считая, что коэффициент диффузии носителей такой же, как в кристалле, получим $d/2 = L = \sqrt{D\tau}$ и $\tau \leq (1-3) \cdot 10^{-10}$ с, где приняли $D_p = 13$ см²/с и $D_n = 30$ см²/с. Прямое измерение времени жизни носителей в исследуемых образцах $CdTe:Ag$ по спаду $ФП$ после фотовозбуждения коротким импульсом света также дало значения $\tau \approx 100$ пс [6].

Монотонное возрастание фототока с увеличением энергии квантов света показывает, что одновременно изменяются скорость генерации носителей и высота потенциальных барьеров, из-за чего спектральная зависимость $I_{ФП}$ сглаживается. Подсветка стабилизирует изменение барьеров, что проявляется в полосе примесной $ФП$ с энергиями активации $0.62, 0.9, 1.13$ и 1.31 эВ, рассчитанные по формуле (2). Длинноволновый край

$\Phi\Pi$ простирается до значений $0.5-0.6$ эВ понижение температуры приводит к опустошению этих уровней вследствие роста длины экранирования. Спектры при 100 К показали, что фотогенерация осуществляется из уровней с энергии активации 1.1 эВ. Подсветка заполняет более мелкие уровни, в спектре $\Phi\Pi$ выявляются уровни с энергиями активации $0.5-0.8$ эВ.

Заключение. Таким образом, в данной работе показано, что изучение спектров $\Phi\Pi$ и тока короткого замыкания в зависимости от технологических параметров исследуемых активированных пленок $CdTe:Ag$ с АФН и ФЭН свойствами позволяет получить дополнительные информации о субструктуре, потенциальных барьерах и глубоких примесных уровнях.

Литература

- [1]. Адирович Э.И., Матов Э.М., Мирзамахмудов Т., Найманбоев Р., Рубинов., Шакиров Н., Юабов В.М. В сб.: «Фотоэлектрические явления и оптоэлектроника». Изд. «Фан», Ташкент, 1972. с.143.
- [2]. Эргашев Ж., Юлдашев Н.Х. Фотоэлектретный эффект в полупроводниковых пленочных структурах. Монография. «Техника», Фергана-2017, 180 с.
- [3]. Yuldashev N. K., Nurmatov O. R., Mamadieva D. T. (2024). Photoelectric State with Long-Term Relaxation in $CdTe:(Ag, Cu, Cd)$ and $Sb_2Se_3:Se$ Photovoltaic Films // Journal of Applied Mathematics and Physics, 12, 43-51.
- [4]. Юлдашев Н.Х., Ахмаджонов М.Ф., Мирзаев В.Т., Нурматов О.Р. Фотоэлектретные пленки $CdTe:Ag$ при собственном и примесном поглощении света. // Евразийский союз ученых (ЕСУ, ежемесячный научный журнал), -Россия, 2019. №3 (60)/ 4 часть. СС.72-78.
- [5]. Lukovsky G. On the photionization of deep impurity centers in semiconductors. Sol.St.Com, 1965. V.3. P.229.
- [6]. Нурматов О. Р., Абдуллаев Ш. Ш., Юлдашев Н. Х. Временная релаксация фотоэлектретного состояния в фотовольтаических пленках $CdTe: Ag, Cd, Cu$ и $Sb_2Se_3:Se$ // Central Asian Journal of Theoretical & Applied Sciences. – 2021. – Т. 2. – №. 12. – С. 315-322.