

6-7-2019

THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF CdTe:Ag PHOTOELECTRICAL FILMS IN THE AREAS OWN AND IMPURITE ABSORPTION

M F. Axmadjonov
Fergana Polytechnic Institute

O M. Mamatov
Fergana Polytechnic Institute

O R. Nurmatov
Fergana Polytechnic Institute

T I. Rahmonov
Fergana Polytechnic Institute

N Kh Yuldashev
Fergana Polytechnic Institute

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi>

Recommended Citation

Axmadjonov, M F.; Mamatov, O M.; Nurmatov, O R.; Rahmonov, T I.; and Yuldashev, N Kh (2019) "THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF CdTe:Ag PHOTOELECTRICAL FILMS IN THE AREAS OWN AND IMPURITE ABSORPTION," *Scientific-technical journal*: Vol. 2 : Iss. 2 , Article 4.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol2/iss2/4>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific-technical journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

FUNDAMENTAL SCIENCES

УДК 538.958

THE SPECTRAL CHARACTERISTICS OF CdTe:Ag PHOTOELECTRICAL FILMS IN THE AREAS OWN AND IMPURITE ABSORPTION

M.F. Axmadjonov, O.M. Mamatov, O.R. Nurmatov, T.I. Rahmonov, N.Kh. Yuldashev

Fergana Polytechnic Institute

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОЭЛЕКТРЕТНЫХ ПЛЕНОК CdTe:Ag В ОБЛАСТЯХ СОБСТВЕННОГО И ПРИМЕСНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ

М.Ф. Ахмаджонов, О.М. Маматов, О.Р. Нурматов, Т.И. Рахмонов, Н.Х. Юлдашев

Ферганский политехнический институт

CdTe:Ag АСОСИДАГИ ФОТОЭЛЕКТРЕТ ПЛЕНКАЛАРНИНГ ХУСУСИЙ ВА АРАЛАШМАВИЙ СОҲАЛАРДАГИ СПЕКТРАЛ ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

М.Ф. Ахмаджонов, О.М. Маматов, О.Р. Нурматов, Т.И. Рахмонов, Н.Х. Юлдашев

Фарғона политехника институти

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 (APhV) and photoelectret state (PhES) without external polarizing field, which are formed only by natural light, are clearly seen. The experimental results of the study of the spectral dependences of the absorption $\kappa(\lambda)$ coefficient, anomalous photoelectric $V_{\text{AФН}}(\lambda)$ and photoelectret $V_{\text{ФЭН}}(\lambda)$ voltages, and short-circuit $I_{\text{кз}}(\lambda)$ current in these films are given.

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

Аннотация. Рассмотрены фотовольтаические свойства тонких ($d \approx 1 \mu\text{м}$) специально легированных пленок CdTe:Ag, в которых ярко обнаруживаются эффекты аномального фотонапряжения (АФН) и фотоэлектретного состояния (ФЭС) без внешнего поляризирующего поля, образующиеся под действием лишь естественного света. Приводятся результаты экспериментальных исследований спектральных зависимостей коэффициента поглощения $\kappa(\lambda)$, аномальных фотозлектрического $V_{\text{АФН}}(\lambda)$ и фотозлектретного $V_{\text{ФЭН}}(\lambda)$ напряжений, а также тока короткого замыкания $I_{\text{кз}}(\lambda)$ в этих пленках.

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

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. Ютилиш коэффициенти $\kappa(\lambda)$, аномал фотозлектрик $V_{\text{АФН}}(\lambda)$ ва фотоэлектрет $V_{\text{ФЭН}}(\lambda)$ кучланишлар, шунингдек қисқа туташув $I_{\text{кз}}(\lambda)$ токининг спектрал характеристикаларини экспериментал тадқиқ қилиш натижалари келтирилган.

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

Изучение спектральных характеристик тонких поликристаллических полупроводниковых пленок позволяет расширить наши представления о внутренней структуре, природе центров и микро неоднородностей образцов, дает возможность определить энергию активации примесных уровней, ответственных за фотозлектрические и

FUNDAMENTAL SCIENCES

фотовольтаические эффекты в области собственного и примесного поглощения, а также сведения о спектральном распределении поглощаемой пленкой энергии [1-5]. В настоящей работе рассматриваются фотовольтаические свойства тонких ($d \approx 1 \mu\text{м}$) специально легированных пленок CdTe:Ag, в которых ярко обнаруживаются эффекты аномального фотонапряжения (АФН) и фотоэлектретного состояния (ФЭС) без внешнего поляризующего поля, образующиеся под действием лишь естественного света. Приводятся экспериментальные результаты исследования спектральных зависимостей коэффициента поглощения $\kappa(\lambda)$, аномальных фотоэлектрического $V_{\text{АФН}}(\lambda)$ и фотоэлектретного $V_{\text{ФЭС}}(\lambda)$ напряжений, а также тока короткого замыкания $I_{\text{кз}}(\lambda)$ в этих пленках.

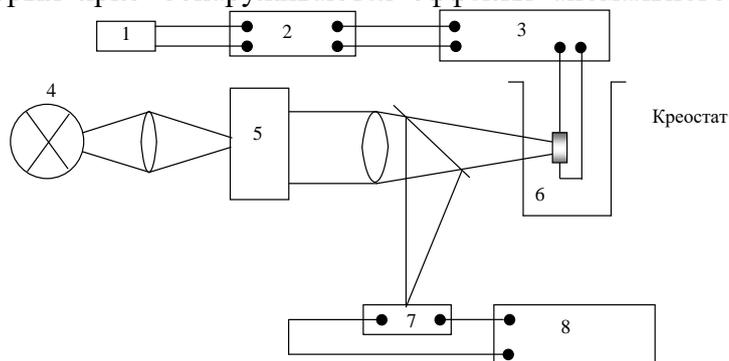


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки для снятия спектральных характеристик $V_{\text{АФН}}$ и $I_{\text{кз}}$. 1-самописец НЗ7, 2-усилитель ИЗ7, 3-электрометр ЭД-0,5М, 4-лампа КИМ, 5-монохроматор ИКМ-1, 6-образец, 7-термоэлемент, 8-микровольтметр Ф 116/1.

При анализе спектров $V_{\text{АФН}}$ исходили из того, что $V_{\text{АФН}}$ можно представить с помощью формулы

$$V_{\text{АФН}}(\lambda) = \eta f(\lambda) \rho(\lambda) \Delta\lambda, \quad (1)$$

где $f(\lambda)$ - искомая спектральная чувствительность $V_{\text{АФН}}$; $\rho(\lambda)$ - спектральная плотность энергии излучения источника света; $\Delta\lambda$ - величина спектрального интервала, проходящего через выходную щель прибора, η - площадь пленки. Значение $\rho(\lambda)$ вычислялось для $T = 2380 \text{ K}$ по таблице, приведенной в работе [6], а значение $\Delta\lambda$ равна обратной величине

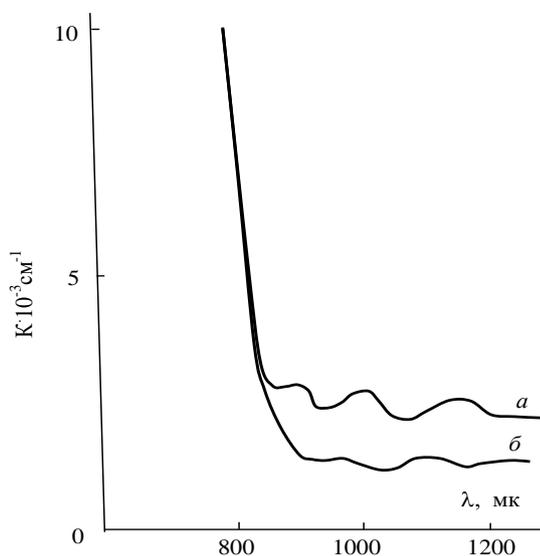


Рис. 2. Спектры поглощения АФН пленок CdTe:Ag (а) и CdTe (б) ($T = 293 \text{ K}$).

дисперсии монохроматора $\frac{d\lambda}{d\ell}$ ($\Delta\ell$ - ширина выходной щели монохроматора). Произведение функций $\rho(\lambda) \Delta\lambda$, которая равна $\frac{\rho(\lambda)}{d\ell/d\lambda}$, берется из таблицы, составленной с учетом паспортных данных прибора. Для определения искомой спектральной чувствительности $V_{\text{АФН}}$ и $I_{\text{кз}}$, отнесенной к единице энергии, падающей на пленку, измеренные значения величин напряжения или тока делились на соответствующие значения функции $\rho(\lambda) \frac{d\ell}{d\lambda}$, которая также берется из таблицы. Полученные таким образом, значения представляют собой с точностью до постоянного множителя спектральную чувствительность $V_{\text{АФН}}$ и $I_{\text{кз}}$ АФН пленки.

Для проведения спектральных исследований $V_{\text{АФН}}$, $V_{\text{ФЭС}}$ и $I_{\text{кз}}$ использованы спектрофотометры СФ-4, НИТАСНИ, ЭМР-2 и др. Зависимости $V_{\text{АФН}}$, $I_{\text{кз}}$ от λ света в собственной области в основном определялись с помощью кварцевого спектрофотометра СФ-4, методика измерений которой описаны в работах [1]. Для измерения спектра примесного АФН пленки CdTe:Ag и температурных зависимостей $V_{\text{АФН}}$ и $I_{\text{кз}}$ была

FUNDAMENTAL SCIENCES

использована более чувствительная установка, блок схема которой приведена на рис. 1. Исследуемый образец помещался в криостат и освещался лампой типа *КИМ* через монохроматор *ИКМ-1*. Сигнал из электрометра ЭД-05 *M* пропорциональный $V_{АФН}$ или $I_{кз}$, усиливался с помощью усилителя И-37 и записывался самописцем Н-37. При снятии спектральной зависимости $V_{АФН}(\lambda)$ и $I_{кз}(\lambda)$ число квантов света поддерживалось постоянным регулированием тока через лампу *КИМ* и контролировалось термоэлементом, сигнал которого поступал на микровольтметр постоянного тока Ф 116/1. Измеренная термоэлементом энергия квантов $V_{АФН}$, отн. ед. пересчитывалась на число квантов.

На рис. 2 показаны кривые спектрального распределения коэффициента поглощения света (κ) для АФН пленок *CdTe:Ag* (а) и *CdTe* (б), полученных при одинаковых технологических условиях. Видно, что спектры поглощения света активированных *CdTe:Ag* и нелегированных *CdTe* АФН пленок одинаково в области собственного возбуждения ($\lambda \leq 860$ нм), а в примесной спектральной области несколько

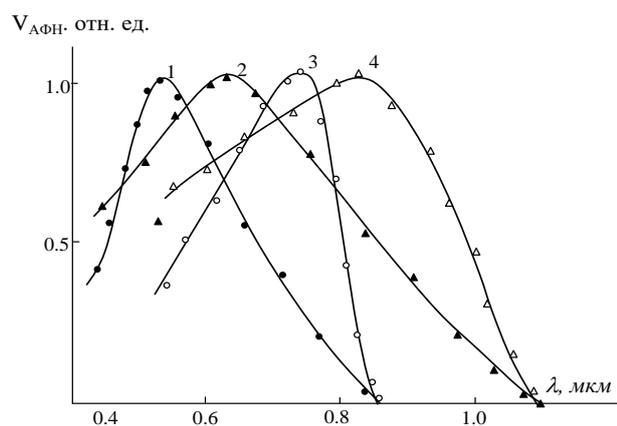


Рис. 3. Спектральные характеристики $V_{АФН}$ фотоэлектретных пленок *CdTe:Ag*: (1, 3) и *Sb₂Se₃:Se* (2, 4) при фронтальном (1, 2) и тыловом освещении (3, 4).

поглощения, снятые при фронтальном (1, 3) и тыловом (2, 4) освещении. Толщины этих пленок соответственно равны 1 мкм и 1,5 мкм, а скорости их получения - 0,15 нм/с и 0,5 нм/с. Эти спектры не отличались от аналогичных спектров контрольных образцов. Видно, что в пленках *CdTe:Ag* и *Sb₂Se₃:Se* спектральная чувствительность $V_{АФН}$ практически отлична от нуля вплоть до 860 нм и 1100 нм соответственно.

Максимумы фоточувствительности АФН находятся при фронтальном фотовозбуждении соответственно в области 540 нм и 650 нм, а при тыловом освещении - 780 нм и 830 нм.

Отметим, что максимумы $V_{АФН}$, полученных нами с небольшой скоростью пленок *CdTe* и *Sb₂Se₃* при фронтальном освещении смещены в коротковолновую область спектра по сравнению с соответствующими максимумами у пленок *CdTe* и *Sb₂Se₃*, полученных

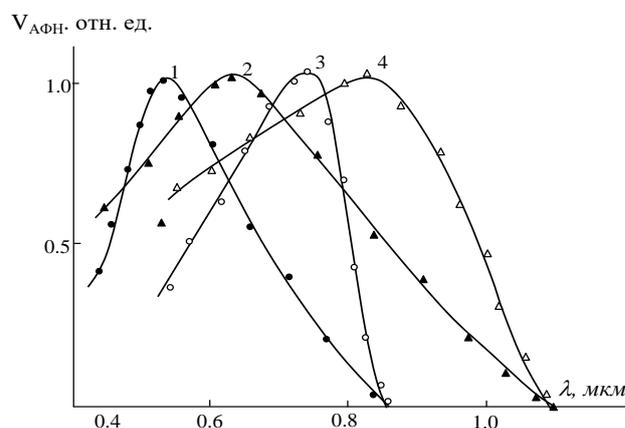


Рис. 3. Спектральные характеристики $V_{АФН}$ фотоэлектретных пленок *CdTe:Ag*: (1, 3) и *Sb₂Se₃:Se* (2, 4) при фронтальном (1, 2) и тыловом освещении (3, 4).

отличаются. Наблюдающиеся максимумы $k(\lambda)$ в этой области, по-видимому, связаны с интерференцией света в пленке, а остаточное поглощение определяется наличием глубоких примесей, концентрации которых больше в легированном образце. Энергию активации примесных центров из данных спектров определить невозможно, но лишь можно утверждать, что она значительно меньше 0,9 эВ.

На рис. 3 приведены спектры $V_{АФН}(\lambda)$ пленок *CdTe:Ag* (кривые 1, 2) и *Sb₂Se₃:Se* (кривые 3, 4) в области собственного

FUNDAMENTAL SCIENCES

авторами работы [1] при больших скоростях испарения. А положение максимумов при тыловом освещении практически совпадают. Этот факт навел нас на мысль об изучении зависимости положения спектрального максимума $V_{АФН}$ от скорости нанесения пленок при фронтальном и тыловом освещении.

На рис. 4 представлены спектры $V_{АФН}$ пленок $CdTe:Ag$ и $Sb_2Se_3:Se$ при фронтальном фотовозбуждении в собственной области поглощения, полученных с различными скоростями ($нм/с$) напыления для $CdTe:Ag$; 0,15 (1, 1'), 0,3 (2, 2'), 0,55 (3, 3'), для $Sb_2Se_3:Se$; 0,5 (1, 1'), 0,8 (2, 2'), 1,2 (3, 3'). Из рисунка видно, что с уменьшением скорости осаждения основного полупроводникового материала максимум $V_{АФН}$ смещается в более коротковолновую область спектра.

В пленках $CdTe:Ag$ максимум смещается от 780 нм до 500 нм, а в пленках $Sb_2Se_3:Se$ – от 830 нм до 650 нм. При тыловом освещении пленок $CdTe$ и Sb_2Se_3

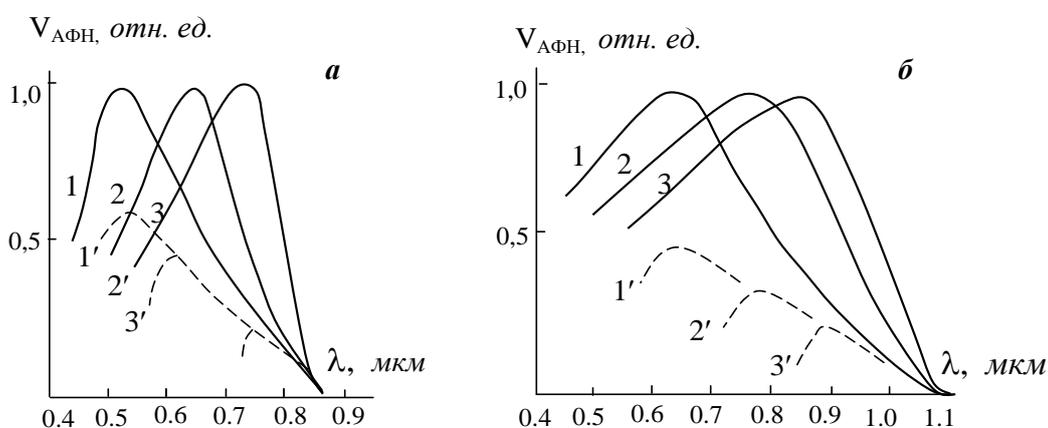


Рис. 4. Спектральные характеристики $V_{АФН}$ фотоэлектретных пленок $CdTe:Ag$ (а) и $Sb_2Se_3:Se$ (б), полученных с различными скоростями напыления: 0,15 и 0,5 (кривые 1,1'), 0,3 и 0,8 (2, 2'), 0,5 и 1,2 (3, 3') нм/с.

смещение максимумов не происходит. Отметим, что абсолютная величина $AФН$ была больше при любой длине волне света в пленках, полученных медленным испарением,

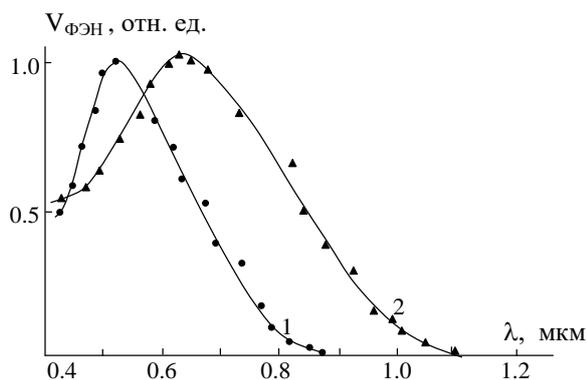


Рис.5. Спектр $V_{ФЭН}$ фотоэлектретных пленок $CdTe:Ag$ (1) и $Sb_2Se_3:Se$ (2).

т.е. с увеличением скорости напыления коротковолновый спад $AФН$ проявляется сравнительно при меньших частотах падающих квантов (см. кривые 1' – 3'). Смещение максимума спектральной чувствительности $V_{АФН}$ в зависимости от скорости (или то же самое, что от температуры) испарения полупроводника, по-видимому, можно объяснить следующим образом. С уменьшением скорости нанесения материала фотовольтаически более активные слои смещаются в сторону свободной поверхности пленки, вблизи которой интенсивно поглощаются фотоны с более короткой длиной волны. Условия напыления пленки обеспечивают начальный рост пленки в виде дендритов с асимметричными контактами (приповерхностными потенциальными барьерами) между ними. При медленном испарении полупроводника образование достаточно асимметричной структуры происходит в основном по всей толщине пленки

FUNDAMENTAL SCIENCES

(крупнозернистость). С увеличением скорости испарения пленки выращиваются более мелкозернистыми и в некоторой степени нарушается эта закономерность. В результате некоторая часть слоя теряет генерирующего свойства АФН, превращая сильно поглощающий фильтр. Сквозь эту нефотоактивную часть пленки проходит только более длинноволновой свет, поэтому генерируется небольшое значение АФН тыловым приповерхностным слоем.

Следует отметить, что спектры $V_{\PhiЭН}$ и $V_{АФН}$ пленок $CdTe:Ag$ и $Sb_2Se_3:Se$, полученные в собственной области спектра поглощения качественно практически не отличаются, т.е. смещение максимумов $V_{\PhiЭН}$ от скорости конденсации также наблюдаются, только значение $V_{\PhiЭН}$ относительно больше для коротковолнового излучения, чем $V_{АФН}$. На рис. 5 приведены спектральные зависимости $V_{\PhiЭН}$ пленок $CdTe:Ag$ (1) и Sb_2Se_3 (2), полученные со скоростью конденсации 0,15 и 0,5 (нм/с), т.е. достаточно медленным испарением. Из рисунка видно, что действительно положения максимумов $V_{\PhiЭН}$ пленок смещены в коротковолновую область спектра по сравнению с максимумами спектров $V_{АФН}$ (сравни кривые 1(а), 3(б) из рис. 4 с кривыми 1, 2 рис. 5).

До выполнения настоящих исследований практически во всех работах, посвященных

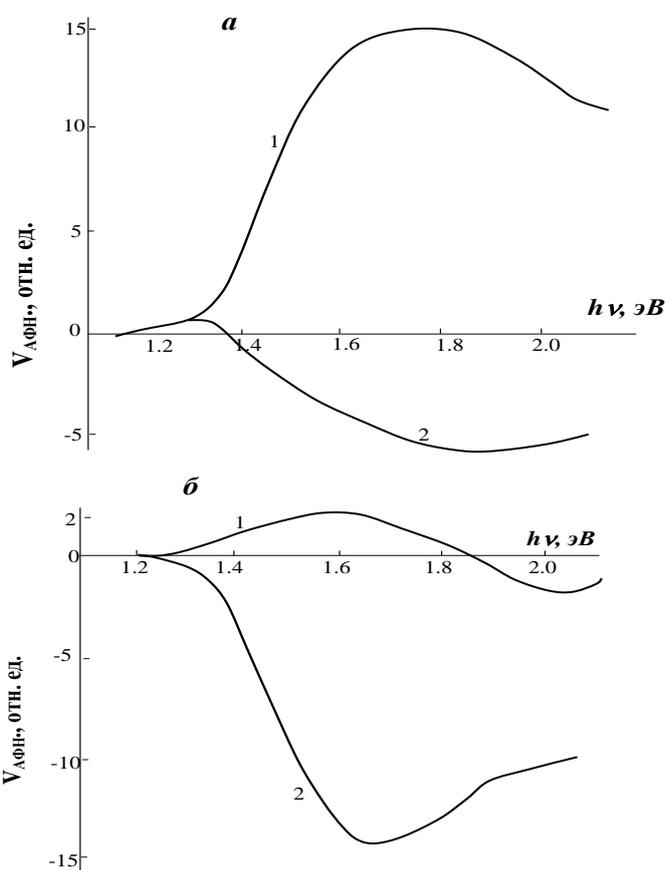


Рис. 6. Спектры АФН пленок $CdTe:Ag$, полученных со скоростью испарения 0,3 нм/с (а) и 0,55 нм/с (б) при фронтальном (1) и тыловом (2) освещении.

исследованию АФН эффекта, утверждалось, что этот эффект обусловлен только поглощением из собственной области. Однако, в наших экспериментах по исследованиям ФЭС активированных пленок $CdTe:Ag$ впервые удалось наблюдать образование АФН в области примесного поглощения. Поэтому в дальнейшем проводилось более детальное изучение спектральных зависимостей $V_{АФН}$ и $I_{кз}$ пленок $CdTe:Ag$, включая примесной области светового возбуждения как при комнатной, так и при более низких температурах.

На рис. 6, а представлены спектральные кривые $V_{АФН}$ при $T = 300 K$ для пленки $CdTe:Ag$ в области энергии квантов $1 \text{ эВ} \leq h\nu \leq 2,2 \text{ эВ}$. Спектры снимались при фронтальном (кривая 1) и тыловом фотовозбуждении (кривая 2). Из этого рисунка видно, что в случае фронтального освещения пленки с увеличением энергии падающих фотонов значение $V_{АФН}$ сначала

монотонно растет, достигает максимума при $h\nu \cong 1,8 \text{ эВ}$, а затем падает. При тыловом освещении её в спектре $V_{АФН}$ наблюдается инверсия знака в окрестности энергии фотонов $h\nu \cong 1,36 \text{ эВ}$. Спектры $V_{АФН}$ также изучались в АФН пленках $CdTe:Ag$, полученных сравнительно быстрым испарением полупроводника. На рис. 6, б приведены спектральные

FUNDAMENTAL SCIENCES

зависимости $V_{A\Phi H}$ пленки $CdTe:Ag$, полученной со скоростью конденсации $\nu = 0,55 \text{ нм/с}$. При фронтальном фотовозбуждении пленки $A\Phi H$ положительно, имеет максимум при $h\nu \cong 1,6 \text{ эВ}$.

Заметим, что с увеличением энергии падающих квантов на пленку значение $V_{A\Phi H}$ резко падает и при $1,85 \text{ эВ}$ меняет знак. В спектре имеется два максимума, первый при значении энергии кванта $1,6 \text{ эВ}$ (положительный), а второй при $2,1 \text{ эВ}$ (отрицательный). При тыловом освещении пленка сначала имеет отрицательный знак $V_{A\Phi H}$ (по сравнению с фронтальным освещением) с максимумом при $h\nu = 1,7 \text{ эВ}$ не меняет знак во всем пределе спектра. Отмечалось, что инверсия знака $V_{A\Phi H}$ в пленках связана наличием двух конкурирующих микро $n-p$ – переходных областей, лежащих на разной глубине [1,8].

Сравнивая спектральные характеристики $V_{A\Phi H}$, полученных со стороны подложки (тыловое освещение) отметим, что при наиболее поверхностном возбуждении (т.е. при больших частотах света) знаки $V_{A\Phi H}$ одинаковы, независимо от скорости напыления (кривые 2 на рис. 6, а и б). С увеличением глубины проникновения света (т.е. с уменьшением частоты света) в быстро напыленных пленках при фронтальном освещении меняется знак $V_{A\Phi H}$ (кривая 1 на рис. 6, б), свидетельствуя о том, что характер барьеров в объеме пленки меняется по глубине. В более медленно напыленной пленке аналогичное изменение происходит лишь на самой поверхности (кривая 2 на рис. 6, а). Эти образцы при фронтальном возбуждении генерируют большее $V_{A\Phi H}$, и не меняет знак с уменьшением длины волны света. В быстро напыленной пленке при поверхностном возбуждении с фронтальной стороны $A\Phi H$ генерируется того же знака, что и с тыловой стороны, которое показывает на одинаковую асимметричность барьеров на обеих поверхностях, нарушения асимметричности происходит только в глубине пленки. Поэтому такой слой при фронтальном фотовозбуждении дает меньшую эффективность фотогенерации.

Мы будем ограничиться этими качественными обсуждениями, так как отсутствует другие методы измерения структуры барьеров, их асимметрии в двух измерениях (вдоль и вглубь слоя). Считаем, что результаты спектральных исследований $A\Phi H$ в пленках способствуют изучению асимметричных энергетических барьеров, позволяют создать методику изучения. Однако последние уже выходит за пределы основной цели настоящей работы.

Отметим, что спектральные зависимости $V_{A\Phi H}$ и $I_{\kappa 2}$ были почти одинаковыми, при этом подсветка влияла только на коротковолновый участок спектра, незначительно уменьшая $V_{A\Phi H}$. Отсюда следует, что только в этой области имеется отклонения от линейности люкс-вольтовой или люкс-амперной характеристики $A\Phi H$ пленки $CdTe:Ag$. Более детальное измерение и анализ длинноволнового края фоточувствительности пленки показало, что на спектральном распределении $A\Phi H$ и $I_{\kappa 2}$ обнаруживаются некоторые закономерности структурного образования, которые также наблюдаются в легированных моно- и поликристаллических слоях A_2B_6 . Известно, что в полупроводниковых соединениях этой группы поглощение света глубокими центрами хорошо описываются моделью Луковского [5]. Поэтому нами была попытка, используя его теоретические кривые определить энергии активации примесных уровней в $A\Phi H$ пленках в зависимости от скорости конденсации.

Спектральная зависимость $V_{A\Phi H}$ и $I_{\kappa 2}$ в пленках, полученных со скоростью напыления $0,3 \text{ нм/с}$ и $0,55 \text{ нм/с}$, показана на рис. 7. Спектральные кривые снимались при комнатной температуре. В пленках, выращенных с меньшей скоростью конденсации (кривая а) обнаружены примесные уровни с энергиями активации $E_1 = 1,04 \pm 0,03 \text{ эВ}$,

FUNDAMENTAL SCIENCES

$E_2 = 1,17 \pm 0,03$ эВ, $E_3 = 1,33 \pm 0,03$ эВ. Погрешность определения энергии активации E_3 была больше из-за трудности точного выделения края собственной проводимости. В более быстро напыленных пленках (кривая б) отсутствует уровень E_1 (видимо, концентрация её значительна мала по сравнению с другими уровнями). Спектры V_{AFH} и $I_{кз}$, полученных для разных участков пленки, где изменение толщины было незначительно, показали идентичные результаты, т.е. примесные уровни оказались те же, поэтому соответствующие графики не приведены.

Нами также были получены спектральные зависимости V_{AFH} при температуре 100 K (рис. 8). Видно, что с уменьшением температуры спектральные зависимости АФН в основном качественно сохраняются, только увеличиваются значения характерных энергий активации примесных центров в пленке, а подсветка приводит к небольшому увеличению V_{AFH} во всей полосе сильного поглощения.

Увеличение энергии активации с понижением температуры указывает на то, что эти уровни привязаны к одной из разрешенных зон и возбуждение происходит в другую зону. В результате увеличения ширины запрещенной зоны полупроводника с понижением температуры также увеличивается энергии фотоактивности уровней.

Обычно энергии активации в пределе температур 100 – 300 K меняется линейно согласно выражению $E_i = E_i(T=0) - \alpha T$. Тогда изменение энергии активации в этих интервалах температур равно $\Delta E = \alpha(T_1 - T_2) = \alpha \cdot 200$ K и зная ΔE для каждой характерной энергии получаем значение параметра α . Так, для уровня E_1 получим $a = 3,5 \cdot 10^{-4}$ эВ/K, а для E_2 и E_3 - $a = 4,5 \cdot 10^{-4}$ эВ/K. Аналогичные закономерности типичны и для других полупроводников группы A_2B_6 . Например, различные уровни в пленках $CdSe$ по-разному зависят от температуры [9]. Поэтому предполагаем, что уровень E_1 создан комплексами, включающие доноры и акцепторы, так как он слабо зависит от температуры, как и ширина запрещенной зоны $CdTe$ [10]. Энергетические уровни E_2 и E_3 являются простыми центрами, привязанные к одной зоне.

Известно, что для полупроводниковых соединений A_2B_6 термические и оптические методы определения энергии активации дают почти одинаковые результаты. Сопоставим полученные нами результаты этими методами и по исследованиям релаксации ФЭС. Так как ширина запрещенной зоны $CdTe$ при $T = 300$ K равна $E_g = 1,5$ эВ, то имеем, что уровень E_1 отстоит от ближайшей зоны на энергии $(0,46 \pm 0,03)$ эВ, а E_2 - на $(0,33 \pm 0,03)$ эВ и E_3 - на $(0,17 \pm 0,03)$ эВ. Определенный нами уровень E_2 , по-видимому, соответствует центру, связанному с примесью серебра, который ранее встречался в кривых ТСТ ФЭС и релаксации фото ЭДС. Уровень E_3 также наблюдался в кривых ТСТ ФЭС и возможно он

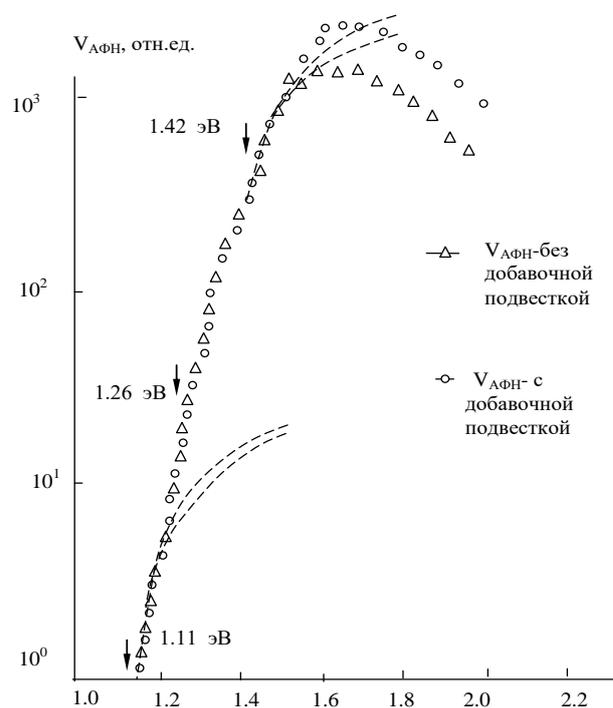


Рис. 8. Спектры АФН для пленки $CdTe:Ag$ (фронтальное фотовозбуждение) $T = 100$ K.

FUNDAMENTAL SCIENCES

является уровнем захвата для основных носителей заряда, который проявляется при низких температурах. В фото-ЭДС последний уровень хорошо наблюдается тогда, когда интенсивная дополнительная подсветка обуславливает его частичное заполнение при установлении рекомбинационного равновесия.

На рис. 9 схематически показаны процессы поглощения квантов света с участием примесных уровней для температур $T = 300\text{ K}$ и 100 K . Поскольку примесное АФН возникает в результате поглощения фотонов примесными центрами в областях потенциальных барьеров, то для образования фото-ЭДС необходима термическая генерация дырок из акцепторов в n -области и их заполнение электронами в p -области. Действительно, при $T = 300\text{ K}$ электроны из примесных уровней фотовозбуждаются в свободную зону, а дырки генерируются теплом в валентную зону и они разделяются электрическим полем $p-n$ -перехода, что приводит к образованию фото-ЭДС. А при $T = 100\text{ K}$ теплового выброса нет, но свободные дырки могут генерироваться через $D(E_1)$ уровень, которые заполняются электронами, генерированные из уровней $A_1(E_2)$ и $A_2(E_3)$.

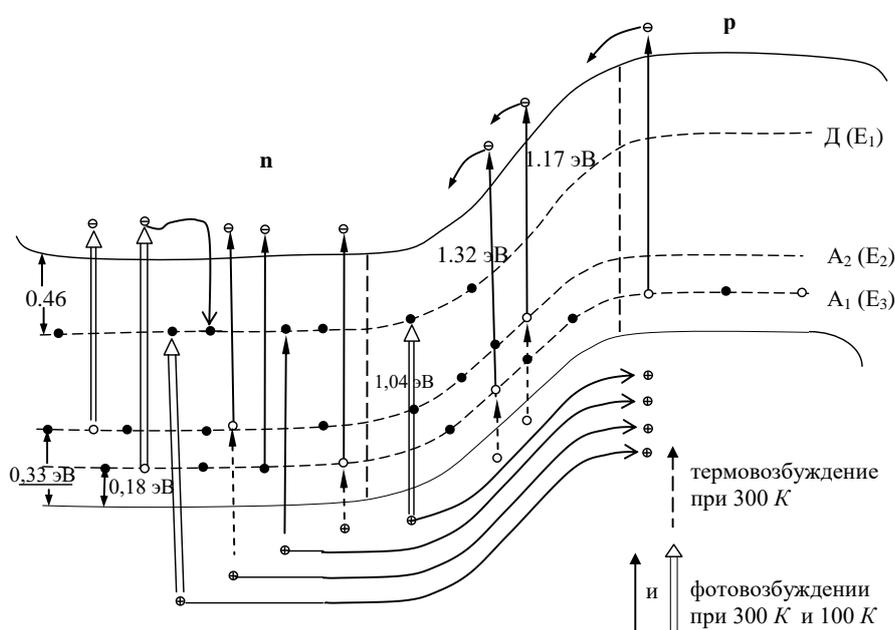


Рис. 9. Схема процессов поглощения квантов с участием глубоких примесных центров, приводящих к генерации АФН в плёнках $CdTe:Ag$.

Электроны, захваченные уровнями A_1 и A_2 в p -области структуры, фотовозбуждаются и диффундируют в n -область, создавая при этом фото-ЭДС. Так как, генерация носителей в области объёмного заряда пленки мала по сравнению с объемной генерацией, поэтому образуется примесное ФЭН не значительно. На эксперименте нам не удалось обнаружить образование ФЭС в легированной АФН

пленке $CdTe:Ag$ в примесной области поглощения. Генерированные носители быстро проходит область объёмного заряда, вместе с тем поток их при примесной генерации слишком мал для накопления заметного связанного заряда, образующего ФЭС. Отметим, что для возникновения примесного АФН также необходимо $p-n$ -переходы, которые создавали бы асимметричные пары барьеров.

В случае примесного возбуждения в пленках $CdTe:Ag$ отсутствует ярко выраженное насыщение в зависимостях $V_{АФН}(L)$. Заметим, что возможно в таких структурах не только обыкновенное примесное, но и двухступенчатое возбуждение, когда один и тот же квант света с определенной энергией возбуждает носитель на примесный уровень из одной зоны, а затем из уровня в другую зону. Этот случай имеет большую вероятность для глубоких уровней E_1 и E_2 , и меньшую - для E_3 уровня. Однако, как отмечалось выше, второй этап возбуждения для последних уровней происходит более вероятным образом с помощью термовозбуждения.

FUNDAMENTAL SCIENCES

По результатам исследований в настоящей работе можно сделать вывод, что глубокие уровни в АФН пленках четко проявляли себя в процессах образования и релаксации ФЭС. Вместе с тем, они участвуют и в фотогенерации носителей при возбуждении в примесной области поглощения, которое приводит к возникновению АФН.

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]. Фридкин В.М. Физические основы электрофотографического процесса. М-Л.: «Энергия», 1966 г.
- [4]. Базакуца В.А., Кулибаба В.Д. Фотоэлектреты нового типа на основе АФН слоёв $Na_2S \cdot Sb_2Se_3$. ФТП, 1975. Т.9, В.7, С. 1432.
- [5]. Lukovsky G. On the photionization of deep impurity centers in semiconductors. Sol.St.Com, 1965. V.3. P.229.
- [6]. Гасанов О.К., Извозчиков В.А. К вопросу об исследовании уровней захвата в неоднородных системах методом термостимулированных токов. ФТП, 1970. Т.4. В.2. С. 375.
- [7]. Фабри Ш. Общие введения в фотометрию. М., ОНТИ, 1938. С. 138.
- [8]. Аронов Д.А., Юабов Ю.М. К теории АФН эффекта в полупроводниковых пленках с периодической р-п-р... структурой. ФТП, 1984. Т. 18. В.7. С. 1318.
- [9]. Каримов М.А., Хайдаров А., Юлдашев Н.Х. Роль границы раздела зерен в люкс-амперной характеристике поликристаллической пленки твердого раствора $CdSe_xS_{1-x}$. Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2006, № 5, с.88- 92.
- [10]. Физика и химия соединения A_2B_6 . «Мир», М.:, 1970, 460 с.
- [11]. Юлдашев Н.Х., Вайткус Ю.Ю., Отажонов С.М. Высоковольтная поверхностная фото-ЭДС в тонких косонапыленных пленках при собственном и примесном поглощении. УзбФЖ, 2004. Т.6. №3. С.177.