

12-10-2019

## STUDY OF PHOTOVOLTAIC AND PHOTORESISTIVE PROPERTIES OF A THIN CDTE LAYER IN A FILM HETEROSTRUCTURE N-CDS / P-CDTE

O M. Mamatov

*Ferghana Polytechnic Institute*

N Kh Yuldashev

*Ferghana Polytechnic Institute, uzferfizika@mail.ru*

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

---

### Recommended Citation

Mamatov, O M. and Yuldashev, N Kh (2019) "STUDY OF PHOTOVOLTAIC AND PHOTORESISTIVE PROPERTIES OF A THIN CDTE LAYER IN A FILM HETEROSTRUCTURE N-CDS / P-CDTE," *Scientific-technical journal*: Vol. 23 : Iss. 4 , Article 15.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol23/iss4/15>

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](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

## FUNDAMENTAL SCIENCES

STUDY OF PHOTOVOLTAIC AND PHOTORESISTIVE PROPERTIES OF A THIN  
CDTE LAYER IN A FILM HETEROSTRUCTURE N-CDS / P-CDTE

O.M. Mamatov, N.Kh.Yuldashev

Fergana Polytechnic Institute

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ И ФОТОРЕЗИСТИВНЫХ СВОЙСТВ  
ТОНКОГО СЛОЯ CdTe В ПЛЕНОЧНОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ  
n-CdS/p-CdTe

O.M. Mamatov, N.X. Юлдашев

Ферганский политехнический институт, 150107 Фергана, Узбекистан

N-CDS/P-CDTE ПЛЕНКАЛИ ГЕТЕРОСТРУКТУРАДАГИ CDTE ЮПҚА  
ҚАТЛАМНИНГ ФОТОВОЛЬТАИК ВА ФОТОРЕЗИСТИВ ХОССАЛАРИНИ ТАДҚИҚ  
ЭТИШИ

O.M. Mamatov, N.X. Юлдашев

Фарғона полтехника институти

**Abstract.** The volt-ampere, lux-ampere, lux-voltage characteristics of CdTe film by thickness  $\sim 1 \mu\text{m}$  with the photo voltage property, grown up on photo resistive CdS layer ( $\sim 0.3 \mu\text{m}$ ) with a transparent glass substrate are investigated. It is revealed, that photo voltage properties of CdTe film are essentially modulated at excitation of photoconductivity of the CdS layer. In particular, backlight CdS from a substrate own light with intensity  $L_{bl} \approx 10^3 \text{ lx}$  completely removes photo voltage  $\sim 200 \text{ V}$  in CdTe layer.

**Keywords:** photo voltage properties, fine-grain polycrystalline a film, photoresistor, heterostructure, photoconverter.

**Аннотация.** Исследованы вольт-амперные, люкс-амперные, люкс-вольтовые характеристики пленки CdTe толщиной  $\sim 1 \mu\text{м}$  с фотовольтаическим свойством, выращенной на тонком ( $\sim 0.3 \mu\text{м}$ ) фоторезистивном слое CdS с прозрачной стеклянной подложкой. Обнаружено, что фотовольтаические свойства пленки CdTe существенно модулируются при возбуждении фотопроводимости слоя CdS. В частности, подсветка CdS со стороны стеклянной подложки собственным светом интенсивностью  $L_{nc} \approx 10^3 \text{ лк}$  полностью снимает фотонапряжения порядка  $\sim 200 \text{ В}$  в слое CdTe.

**Ключевые слова:** мелкозернистая поликристаллическая пленка, фоторезистор, гетероструктура, фотопреобразователь.

**Аннотация.** Шаффоф ишиша тагликдаги юпқа ( $\sim 0.3 \mu\text{м}$ ) фоторезистив CdS қатлам устида  $\sim 1 \mu\text{м}$  қалинликда ўстирилган фотовольтаик хусусиятли CdTe пленканинг вольт-ампер, люкс-ампер, люкс-вольтавий характеристикалари ўрганилган. Юпқа CdTe пленканинг фотовольтаик хоссалари CdS қатламнинг фотўтказувчанлиги таъсири остида кучли модуляцияланиши кузатилган. Хусусан, ишиша таглик орқали CdS қатлам хусусий ютилиши спектрал соҳасида  $L_{nc} \approx 10^3 \text{ лк}$  интенсивликдаги ёруғлик билан ёритилганда CdTe қатламдаги  $\sim 200 \text{ В}$  фотокучланиши тўлиқ олинади.

**Таянч сўзлар:** фотовольтаик хоссалар, поликристалл юпқа пленка, фоторезистор, гетероструктура, фото ўзгартиргич.

## I. ВВЕДЕНИЕ

## FUNDAMENTAL SCIENCES

В последнее время постоянно растет интерес к исследованию варизонной гетероструктуры  $n-CdS / p-CdTe$ , как эффективного фотопреобразователя солнечной полупроводниковой энергетики с теоретическим пределом КПД 29% [1,2]. Интегральная пленочная гетеросистема, состоящая из высокочувствительного фоторезистивного ( $\Phi P$ ) слоя  $CdS$  на прозрачной проводящей подложке и поликристаллической пленки  $CdTe$  как верхнего сэндвич-слоя с фотовольтаическим ( $\Phi B$ ) свойством представляет также интерес для твердотельной оптоэлектроники. В такой активной пленочной гетероструктуре при определенном оптимальном условии технологии получения путем модуляции фотопроводимости  $CdS$  можно осуществить целенаправленное оптическое селективное управление фотовольтаическими параметрами пленки  $CdTe$  без разрушения исходного слоя, что позволяет использовать её в качестве оптического модулятора, фототранзистора, фотопереклювателя, элементов памяти и т.п.

Цель настоящей работы заключается в разработке технологии получения пленочной гетероструктуры  $n-CdS / p-CdTe$  с  $\Phi P$ ,  $\Phi B$  свойствами и создании фотопреобразователя нового типа на основе  $\Phi P$ - $\Phi B$  - структуры, а также в изучении её электрофизических и фотоэлектрических характеристик. Приводятся результаты исследования вольт-амперных, люкс-амперных, люкс-вольтных характеристик  $\Phi B$  - пленки при освещении фоторезистора подсветкой из области собственного поглощения  $CdS$  ( $h\nu \geq 2,5$  эВ) и без подсветки. При этом обнаружено, что  $\Phi B$  свойства слоя  $CdTe$  существенно модулируются при возбуждении фотопроводимости слоя  $CdS$ . В частности, показано, что подсветка  $CdS$  со стороны подложки собственным светом интенсивностью  $L_{nc} \approx 10^3$  лк полностью снимает фото напряжения  $V_{\Phi H} \approx 200$  В в слое  $CdTe$ , генерированное при комнатной температуре естественным светом лампы накаливания с освещенностью  $L \approx 10^5$  лк. Анализирован процесс прохождения темнового и светового токов через структуру  $n-CdS / p-CdTe$ .

## II. ТЕХНОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для получения резкой пленочной гетероструктуры  $n-CdS / p-CdTe$  с  $A\Phi B$  свойством известные методы изготовления  $A\Phi B$  - пленок [3,4] являются непригодными. Слои  $CdTe$ , выращенные такими способами на фотопроводящем слое  $CdS$ , порой не обнаруживал заметные  $A\Phi B$  свойства. Оказалось, что при этом определяющими факторами для изготовления интегральной гетеросистемы фоторезистор – фотовольтаический слой ( $\Phi P$ - $\Phi B C$ ) являются относительные сопротивления, направления роста фоточувствительных слоев 2 и 3 (рис.1). Гетероструктура  $n-CdS / p-CdTe$  формировалась нами в едином технологическом цикле методом своеобразного последовательного напыления порошкообразного  $CdS$  и  $CdTe$  с маркой «для полупроводников» на прозрачные стеклянные подложки (1) в вакууме с давлением остаточных паров  $\approx 10^{-4} - 10^{-5}$  Торр. Сначала при температуре подложки  $T_n = 573 - 723$  К под углом  $\alpha = 60 - 80^\circ$  на поверхность подложки через специальные маски осаждался слой  $CdS$  (2) площадью  $20 \times 5$  мм<sup>2</sup> и толщиной  $0,2 - 0,4$  мкм. Затем

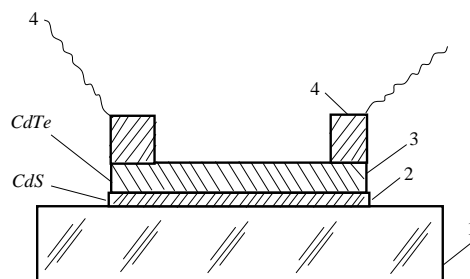


Рис.1. Схематический вид пленочной гетероструктуры: 1- прозрачная стеклянная подложка; 2- фоторезистор ( $CdS$ ); 3- аномально фотовольтаический слой ( $CdTe$ ); 4- токосъемные омические контакты.

---

**FUNDAMENTAL SCIENCES**


---

очувствляли его последующим отжигом в вакууме при  $T = 773 - 823 \text{ K}$  в течение  $10 - 15 \text{ мин}$ . Темновое сопротивление пленки  $CdS$  с электронной проводимостью достигало до значений  $R \approx 10^{12} \text{ Ом}$ , а кратность  $K = R_{\text{тем}} / R_{\text{св}}$  изменения сопротивления под действием освещения  $L_{\text{нс}} \approx 10^3 \text{ лк}$  – до  $K \approx 10^2 - 10^3 \text{ отн.ед}$ . Согласно электронным микрофотографиям поперечного скола и поверхности, выращенный слой  $CdS$  имел столбчатую структуру без пор, размеры кристаллических зерен вдоль поверхности подложки оказались порядка  $d_{\text{кз}} \approx 1 - 3 \text{ мкм}$ . Во второй стадии выращивания структуры, не разрушая достигнутый вакуум, непосредственно на поверхность фоторезистивной пленки  $CdS$  также через маски осаждали слой  $p - CdTe$  (3 на рис.1) толщиной  $d_{\text{нт}} \approx 0,5 - 0,8 \text{ мкм}$  со скоростью  $3,0 - 4,0 \text{ \AA/с}$  под углом  $\alpha = 130 - 150^\circ$  при температуре подложки  $T_n = 423 - 573 \text{ K}$ . Следовательно, по условиям технологии получения направления молекулярных пучков  $CdS$  и  $CdTe$  расходились на угол  $70 - 90^\circ$ . Уменьшение этого угла также, как и увеличение  $T_n$  и  $d_{\text{нт}}$ , приводило к падению  $V_{\text{АФН}}$ . Заметная генерация  $\text{АФН}$  происходила лишь в тех случаях, когда темновое сопротивление  $\Phi P$  превосходило световое сопротивление  $\Phi BC$ . Верхние омические контакты (4 на рис.1) образовались путем напыления  $Ag$  в виде полосок через маски. Активная площадь гетероструктуры  $\Phi P - \Phi BC$  составляла  $18 \div 5 \text{ мм}^2$ . Стехиометрический состав пленок достигался путем предварительного препарирования шихты при закрытом положении штора между подложкой и лодочкой, контролируемой последующей обработкой спектров рентгеноструктурного анализа на установке DRON-3.

Фотоприемник, изготовленный по описанной выше технологии, при фронтальном освещении со светом длиной волн  $600 \leq \lambda \leq 800 \text{ нм}$  и интенсивностью  $L \approx 10^5 \text{ лк}$  при комнатной температуре генерировал фотонапряжения  $V_{\text{АФН}} \approx 200 \text{ В}$ . В случае дополнительной тыловой (со стороны стеклянной подложки) подсветке в спектральной области  $\lambda \leq 500 \text{ нм}$  уже при  $L_{\text{нс}} \approx 1 \text{ лк}$   $\text{АФН}$  заметно падает, а при  $L_{\text{нс}} \approx 10^3 \text{ лк}$  практически исчезает. Заметим, что аналогичным  $\text{АФВ}$  свойством с фоторезистивной модуляцией обладала и другая изотипная гетероструктура  $n - CdS / n - CdTe : In$  с омическими индиевыми контактами. При этом  $\text{АФВ}$  слой  $CdTe : In$  получали дополнительной термической обработкой [3]. Вольт-амперные, люкс-амперные, люкс-вольтовые характеристики пленок измерялись с помощью электрометрического усилителя У7-9 и электростатическим вольтметром типа С-50. Источником напряжения служил УИП. Предел чувствительности измерительной схемы порядка  $10^{15} \text{ Ом}$ . Пленки освещались осветителем ОИ-19. Интенсивность световых лучей изменялась набором нейтральных светофильтров. Для измерения спектрального распределения фототока образец, помещенный в криостат, освещался лампой типа КИМ через монохроматор ИКМ-3. Пропорциональный фототоку сигнал из электрометра ЭД-05М усиливался усилителем Н-37 и подавался на автоматический регулятор тока. Этот регулятор изменял ток через лампу так, чтобы фотопроводимость образца была постоянной при изменении энергии световых квантов. При этом интенсивность света измерялась термоэлементом, сигнал которого поступал на микровольтметр постоянного тока Ф116/1, после усиления регистрировался самописцем Н-37.

### III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

На рис. 2 представлены типичные темновые (кривые 0; 1) и световые (0'; 2-4) экспериментальные  $V_{\text{АХ}}$  контрольного образца  $CdTe$  (0, 0') и слоя  $CdTe$  (1-4) в исследуемой гетеросистеме  $\Phi P - \Phi BC$ , которые снимались при комнатной температуре. Монослой  $CdTe$  выращивался на стеклянной подложке по известной технологии [3,4] и генерировал  $V_{\text{АФН}} \approx 400 \text{ В}$  при освещенности  $L \approx 10^5 \text{ лк}$  естественного света.

## FUNDAMENTAL SCIENCES

Как видно из рисунка,  $VAX$  слоя  $CdTe$  как на стеклянной подложке (0, 0'), так и на  $\Phi P$  без подсветки последнего (1, 2) носят линейный характер. Заметим, что темновое и световое (при  $L = 10^3 \text{ лк}$ ) сопротивления монослоя  $CdTe$  ( $3 \cdot 10^{12} \text{ Ом}$  и  $4 \cdot 10^{10} \text{ Ом}$ ) почти на порядок превосходят аналогичные сопротивления бислоя  $n-CdS/p-CdTe$  ( $1,6 \cdot 10^{11} \text{ Ом}$  и  $6,4 \cdot 10^9 \text{ Ом}$ ). Механизм прохождения электрического тока через  $\Phi BC$  слой в условиях отсутствия подсветки является в основном туннельным, т.к. фототок короткого замыкания, как и в работах [3,5] при заданном значении освещенности возбуждающего света не зависит от температуры:  $I_{кз} = V_{A\Phi H} / R_{нл}$ , причем  $V_{A\Phi H} \sim R_{нл} \sim f(T)$ .

Вольт-амперная характеристика  $A\Phi B$  слоя в системе  $\Phi P-\Phi BC$  при подсветке  $\Phi P$  светом с  $h\nu \geq 2,52 \text{ эВ}$  и  $L_{пс} \approx 30 \text{ лк}$  состоит из трех характерных участков: квазилинейные  $av$  ( $R \approx 5 \cdot 10^9 \text{ Ом}$ ) и  $cd$  ( $1,8 \cdot 10^{10} \text{ Ом}$ ), сверхлинейный  $bc$  ( $3,2 \cdot 10^9 \text{ Ом}$ ) (кривая 3 на рис. 2). Причем с ростом интенсивности  $L_{пс}$  подсветки участок  $bc$  сглаживается и, вместе с участком  $cd$  исчезает при достаточно больших значениях  $L_{пс} \approx 10^2 \text{ лк}$  (кривая 4). Иначе говоря, когда  $\Phi P$  полностью шунтирует  $\Phi BC$ ,  $VAX$  определяется фототоком через слой  $CdS$ . Причиной появления переходной нелинейной  $bc$  и линейных  $av$ ,  $cd$  (с разными наклонами) участков  $VAX$ , по-видимому, является изменение вклада гетероперехода  $n-CdS/p-CdTe$  в процесс токопрохождения через структуру под действием подсветки и внешнего напряжения.

Так, эквивалентную электрическую схему поликристаллической гетероструктуры  $\Phi P-\Phi BC$  в поперечном режиме фотопроводимости можно представить так, что согласно которой микро-фотовольтаический и  $\Phi P$  элементы вместе с гетеропереходными мостиками составляют элементарную замкнутую электрическую цепочку. Периодически последовательно соединенные такие цепочки образуют линейную эквивалентную схему продольной проводимости исследуемой гетеросистемы. Грубо можно полагать, что сила тока такой системы складывается из двух параллельно соединенных составляющих:

$$I = I_{\Phi BC} + I_{\Phi P} = \frac{V_{вн} \pm V_{A\Phi H}}{N} \left( \frac{1}{R_{\Phi BC}} + \frac{1}{R_{ГП} + R_{\Phi P}} \right), \quad (1)$$

где  $V_{вн}$  – внешнее приложенное напряжение,  $N$  – число кристаллических зерен  $\Phi BC$  вдоль линии прохождения тока, а  $R_{\Phi BC}$ ,  $R_{\Phi P}$ ,  $R_{ГП}$  – элементарные сопротивления. Действительно, без подсветки  $\Phi P$  в случае  $R_{ГП} + R_{\Phi P} \gg R_{\Phi BC}$  согласно (1)  $VAX$  полностью определяется фотопроводимостью  $\Phi BC$  (кривая 2 на рис.2). При включении подсветки в условиях  $R_{ГП} + R_{\Phi P} \ll R_{\Phi BC}$  в  $VAX$  доминирует вклад  $\Phi P$ . С ростом  $L_{пс}$  ток короткого замыкания и, следовательно,  $V_{A\Phi H}$  уменьшается, а наклон участка  $av$ , т.е. электропроводность структуры увеличивается за счет фотопроводимости  $\Phi P$  слоя.

Как показали в работе [6], гетеропереход  $n-CdS/p-CdTe$  обнаруживает нелинейный темновой  $VAX$ , а механизм прохождения тока является туннельно-рекомбинационным. Для

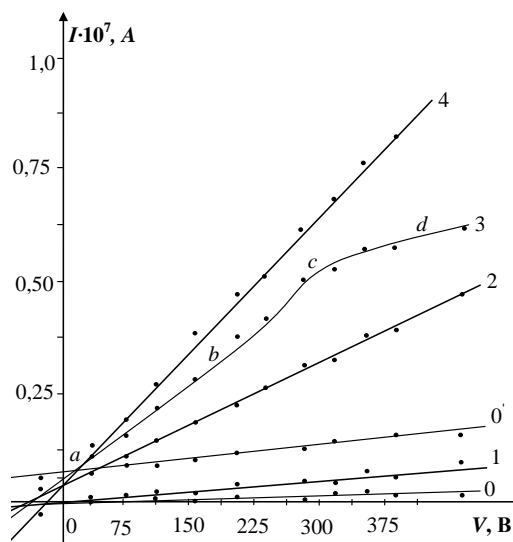


Рис.2. Вольт-амперная характеристика  $A\Phi B$ -пленки из  $CdTe$  на стеклянной подложке (кривые 0 и 0') и на пленке  $CdS$  (1-4). Кривые 0 и 1- темновые, 0' и 2-4 – световые ( $L = 3 \cdot 10^3 \text{ лк}$ )  $VAX$ . Для кривых 3 и 4  $L_{пс} = 30 \text{ лк}$  и  $5 \cdot 10^2 \text{ лк}$ .  $T = 300 \text{ K}$ .

## FUNDAMENTAL SCIENCES

заданного значения  $L_{nc}$  сначала с ростом  $L_{nc}$  и  $V_{вн}$  ток через гетеропереход растет экспоненциальным законом  $\exp\left(\frac{e(V_{вн} + V_{АФН})}{nkT}\right)$  (где  $n$  "фактор идеальности"), однако он лимитируется фотоспротивлением  $R_{ФР} \geq R_{ГП}$ . Поэтому начальный участок  $ав$   $ВАХ$  полностью обусловлен фотопроводимостью слоя  $CdS$ . При дальнейшем росте  $V_{вн}$  туннельно-рекомбинационный процесс на гетеропереходе  $n-CdS/p-CdTe$  лимитируется [6] и увеличение тока испытывает насыщение ( $R_{ГП} \geq R_{ФР}$ ). А это приводит к ослаблению шунтирования  $АФВ$  слоя и росту  $V_{АФН}$ , что, в свою очередь, вызывает нелинейный рост тока (участок  $вс$  на рис. 2). Однако дальнейший ход  $ВАХ$  при  $R_{ГП} + R_{ФР} \leq R_{ФВС}$  (см. (1)) протекает в условиях лимитирования тока через гетеропереход (участок  $сд$ ). Точка  $в$  на  $ВАХ$  (начало лимитирования) определяется значением  $V_{вн} + V_{АФН} \approx 200 В$ , а в случае одиночного гетероперехода аналогичной точке соответствует значение  $V_{вн} \approx 0,05 В$  [6]. Если будем считать, что в данном условии протекания тока через структуры  $ФР-ФВС$  падение напряжения  $200 В$  происходит на последовательно включенных элементарных сопротивлениях  $R_{ГП} + R_{ФР}$ , то легко получим их общее количество вдоль пленки:  $N = 200 : 0,05 = 4 \cdot 10^3$ . А допуская, что длина пленки  $l \approx 10 мм$ , оценим средний линейный размер кристаллических зерен  $d_{кз} \approx 2,5 мкм$ , что вполне совпадает с результатами рентгеноструктурного анализа и электронно-микроскопическими фотографиями поверхности пленок.

Следует заметить, что при достаточно больших значениях  $L_{nc} \geq 10^3 лк$  наступает относительно высокий уровень генерации фотоносителей в областях объемных зарядов гетероперехода  $n-CdS/p-CdTe$  и в объеме  $ФР$ , который блокирует эффекты лимитирования туннельно-рекомбинационных процессов и частичного восстановления  $АФВ$  свойства структуры. При таких условиях ток в исследуемой системе проходит в основном через слой  $ФР$  с гетеропереходом, шунтирующий  $ФВС$  и линейная  $ВАХ$  (кривая 4 на рис. 2) заведомо обусловлена фотоэлектрическими свойствами  $ФР$ .

Также заметим, что обратные ветви  $ВАХ$  исследованных образцов качественно практически не отличались от приведенных выше прямых ветвей. При  $L_{nc} = 0$  прямые и обратные ветви  $ВАХ$  симметричны, если принять за начало отсчета напряжения  $V_{вн} = V_{АФН}$ . В случае сильной подсветки фотовольтаический эффект в слое  $CdTe$  подавляется, т.е.  $АФН$  разрушается фотопроводимостью слоя  $CdS$  и  $ВАХ$  будет симметричной относительно начала координат ( $V=0$ ,  $I=0$ ).

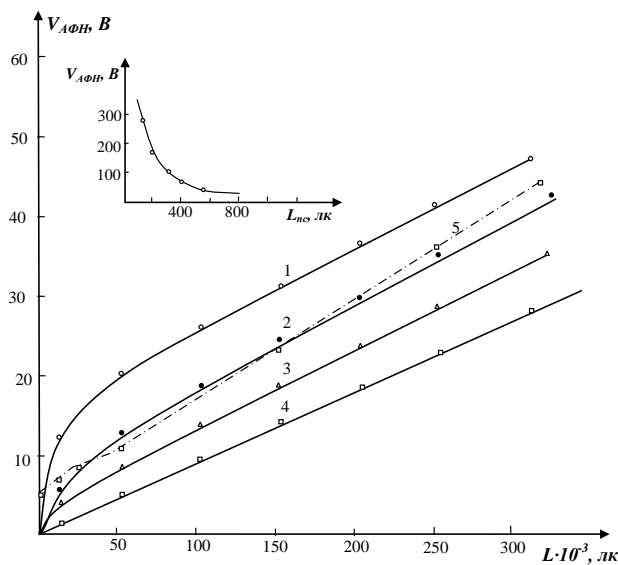


Рис. 3. Люкс-вольтовые характеристики пленок  $CdTe$  (кривая 1) и гетероструктуры  $CdTe/CdS$  (2 -  $L_{nc}=0$ ; 3 -  $L_{nc}=1 лк$ ; 4 -  $L_{nc}=10 лк$ ). Кривая 5 - подсветка  $ФР$  через красный светофильтр:  $L_{nc}=10^2 лк$ . На вставке зависимость  $V_{АФН}(L_{nc})$ .  $T=300 К$ .

## FUNDAMENTAL SCIENCES

Типичные люкс-вольтовые характеристики ( $ЛВХ$ )  $\Phi BC$  из  $CdTe$  на стеклянной подложке (кривая 1) и на  $\Phi P$  из  $CdS$  (2-4), представленные на рис. 3, качественно совпадают. А это означает, что механизмы формирования  $A\Phi H$  в этих слоях не отличаются. Однако подсветка  $\Phi P$  количественно сильно деформирует кривые  $ЛВХ$  структуры  $\Phi P-\Phi BC$ . Как видно из рисунка, при малых значениях  $L$  величина  $V_{A\Phi H}$  сверхлинейно зависит от интенсивности возбуждающего света  $L$ , а затем уже при  $L \sim 10^4$  лк выходит на линейный участок. С ростом  $L_{nc}$  нелинейный участок претерпевает сужения, а значение  $V_{A\Phi H}$  пропорционально уменьшается по всему интервалу  $L$ , следовательно, кривая  $V_{A\Phi H}(L)$  качественно не меняется (см. кривые 2-4). Последнее означает, что, во-первых, подсветка  $\Phi P$  не влияет на асимметрию потенциальных барьеров, генерирующих фотонапряжения [3, 4], во-вторых,  $V_{A\Phi H}$  линейно зависит от сопротивления шунтирующего слоя  $R_{ш}(L_{nc})$ .

Интересно заметить, что подсветка  $\Phi P$  через красный светофильтр качественно меняет зависимость  $V_{A\Phi H}(L)$  в начальном участке  $ЛВХ$  (кривая 5): при  $L=0$  значение  $V_{A\Phi H} \neq 0$ . Это объясняется тем, что подсветка с  $h\nu \leq 1,5 \text{ эВ}$  проходит через подложки  $\Phi P$ , а также вызывает генерацию «примесного»  $A\Phi H$  [4], совпадающего по полярности с  $A\Phi H$  при фронтальном освещении. На вставке к рис. 3 приведена зависимость  $V_{A\Phi H}$  от интенсивности подсветки  $L_{nc}$ . Видно, что уже при  $L_{nc} \approx 10^2$  лк  $V_{A\Phi H}$  начинает сильно падать. Это связано с уменьшением сопротивлений гетероперехода и  $\Phi P$  (т.е.  $R_{пл}(L_{nc})$ ) за счет фотопроводимости. Естественно, кривая разрушения  $A\Phi H$  с подсветкой существенно зависит от интенсивности  $L$  возбуждающего света.

На рис. 4 показаны люкс-амперные характеристики ( $ЛАХ$ ) для контрольного образца (кривая 0) и  $\Phi BC$  гетероструктуры (1-3) в двойном логарифмическом масштабах при одном и том же значении внешнего напряжения  $V_{вн} = 100 \text{ В}$ , которые снимались при комнатной температуре. Если  $ЛАХ$  представить как  $I^\Phi \sim L^n$ , где  $L$  - интенсивность освещения (в единицах лк или  $\text{фотон}/\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ),  $n$  - показатель  $ЛАХ$ , то, как видно из кривой 0,  $ЛАХ$  контрольной  $A\Phi B$  пленки состоит из 4-х характерных участков: на участке I, где  $L \leq 2 \cdot 10^2$  лк, имеет место отрицательная дифференциальная фотопроводимость ( $ОД\Phi\Pi$ ) с показателем  $ЛАХ$   $|n| < 1$ ; II-сверхлинейный участок, где  $L \in 2 \cdot 10^2 \div 10^3$  лк представляет собой высокочувствительную область с  $n > 1$ . В области  $L > 10^3$  лк,  $ЛАХ$  сначала переходит в сублинейную (III участок с  $n \approx 0,35$ , где  $10^3 < L < 10^4$  лк), а затем линейную (IV участок) зависимость. Такая зависимость  $I^\Phi \approx f(L)$  характерна фоточувствительным полупроводниковым поликристаллическим пленкам с двумя или более центрами рекомбинации [3].

Люкс-амперная характеристика системы  $n-CdS/p-CdTe$ , без подсветки фоторезистора  $CdS$  в общих чертах сохраняет 4-х ступенчатую структуру  $ЛАХ$  для обычной фотовольтаической пленки  $CdTe$  (кривая 1), что также подтверждает схожесть фотоэлектрических свойств  $\Phi BC$  на стекле и на  $\Phi P$ . Однако на участке 1  $ОД\Phi\Pi$  исчезает и он заменяется слабочувствительной областью с  $n \approx 0,2$ . Высокочувствительная область

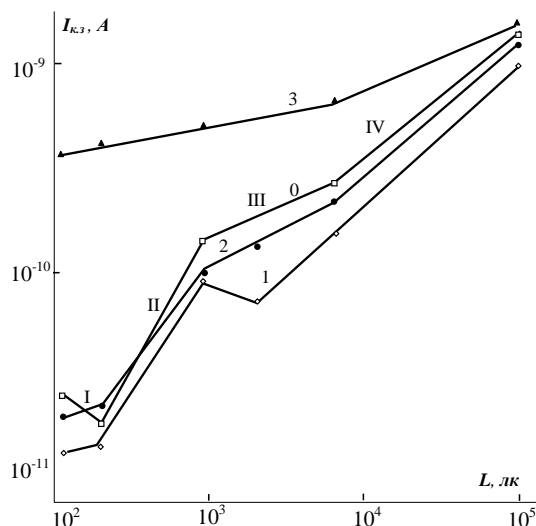


Рис. 4.  $ЛАХ$  гетероструктуры  $n-CdS/p-CdTe$ : 0- $CdTe$  контроль. 1- без подсветки  $CdS$ ; 2 - подсветка  $CdS$ ,  $L=500$  лк; 3- подсветка  $CdS$ ,  $L=3 \cdot 10^3$  лк.



---

**FUNDAMENTAL SCIENCES**


---

*ЛАХ* остается почти без изменения, а область III сужается ( $10^3 < L < 2 \cdot 10^3$  лк) и появляется даже *ОДФП*, почти линейная область IV здесь начинается со значения  $L = 2 \cdot 10^3$  лк. Следовательно, тонкая поликристаллическая фотопроводящая пленка *CdS* существенно влияет на *ЛАХ АФВ* слоя из *CdTe* при слабой интенсивности ( $L < 2 \cdot 10^2$  лк) и в области  $10^3 < L < 2 \cdot 10^3$  лк.

В случае подсветки со стороны стеклянной подложки через слой *CdS* с  $L = 10^2$  лк фоточувствительность заметно растет и в области III *ОДФП* исчезает (кривая 2). Отсюда можно заключить, что *ОДФП* на участке *ЛАХ* системы *n-CdS/p-CdTe* так же, как и сверхлинейный участок *ВАХ* (рис. 2, кривая 3), по-видимому, обусловлены гетеропереходной границей структуры. При достаточно сильных подсветках *CdS* с  $L_{nc} = 10^3$  лк *ЛАХ* системы *n-CdS/p-CdTe* состоит из двух высокочувствительных сублинейных областей (рис.4, кривая 3). Интересно заметить, что при монохроматической подсветке *CdS* красным светом происходит оптическое гашение фотопроводимости и при этом даже *ОДФП* частично «восстанавливается» на участке I. Эти аномальные свойства *ЛАХ АФВ* слоя на *ФР*, по-видимому, обусловлены своеобразной перестройкой потенциальных барьеров на границах зерен, участвующих в генерации *АФН* и влиянием модуляции гетерограницы исследуемой структуры под действием света.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, при выполнении определенных технологических условий (направление роста, толщина, относительное сопротивление) получения гетероструктуры *n-CdS/p-CdTe* тонкая (0,2–0,4 мкм) фотопроводящая пленка *CdS*, играющая роль высокоомной подложки, в зависимости от интенсивности  $L_{nc}$  подсветки её в области собственного поглощения *CdS* существенно модулирует фотоэлектрические и фотовольтаические характеристики *АФВ* слоя *CdTe*. Это позволяет использовать данной гетероструктуры как фотопреобразователя нового типа в области частот  $h \geq 2,52$  эВ путем селективного управления *АФВ* свойством слоя *CdTe* при температурах  $T \leq 473$  К. Изучение *ВАХ*, *ЛАХ* и *ЛВХ АФВ* слоя *CdTe* наряду их люминесцентными свойствами [7,8] в случаях подсветки фоторезистивного слоя *CdS* дает ценные сведения о кристаллической структуре, фотоэлектрических и оптических свойствах гетерограницы *n-CdS/p-CdTe*.

#### References:

- [1]. Nakamura K., Gotoh M., Fujihara T., Toyama T., et al. *Japanese Journal of Applied Physics* **40**, 4508 (2001).
- [2]. Ikhmayies Sh. J., Ahmad - Bitar R. *Journal of Luminescence* **132**, Is.2, 502 (2001).
- [3]. Karimov M. A., Yuldashev N.X. *FIP* **4**, 58 (2006).
- [4]. Vaytkus Yu. Yu., Yuldashev N. X., Otajonov S. M. *FIP* 2006. **3,4** . 219 (2006).
- [5]. Karimov M. A., Yuldashev N. X. *Izv. VUZov. Seriya Fizika* №1, 71 (2007).
- [6]. Kosyachenko L. A., Mather X., Motushuk V. V., Sklyarchuk V. M. *FTP* **39**, 569 (2005).
- [7]. Axmadaliev B.J., Karimov M.A., Polvonov B.Z., Yuldashev N.X. *FIP* **10**,76 (2010, T.).
- [8]. Akhmadaliev B. J., Mamatov O.M., Polvonov B. Z., Yuldashev N, Kh.. *Journal of Applied Mathematics and Physics* **4**, 391 (2016). <http://dx.doi.org/10.4236/jamp.42046>.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Nakamura K., Gotoh M., Fujihara T., Toyama T., et al. *Japanese Journal of Applied Physics* **40**, 4508 (2001).
- [2]. Ikhmayies Sh. J., Ahmad - Bitar R. *Journal of Luminescence* **132**, Is.2, 502 (2001).
- [3]. Каримов М. А., Юлдашев Н.Х. *ФИП* **4**, 58 (2006).
- [4]. Вайткус Ю. Ю., Юлдашев Н. Х., Отажонов С. М. *ФИП* 2006. **3,4** . 219 (2006).



**FUNDAMENTAL SCIENCES**

---

- [5]. Каримов М. А., Юлдашев Н. Х. Изв. ВУЗов. Серия Физика №1, 71 (2007).
- [6]. Косяченко Л. А., Mather X., Мотушук В. В., Склярчук В. М. ФТП **39**, 569 (2005).
- [7]. Ахмадалиев Б.Ж., Каримов М.А., Полвонов Б.З., Юлдашев Н.Х. ФИП **10**,76 (2010, Т.). Akhmadaliev B. J., Mamatov O.M., Polvonov B. Z., Yuldashev N, Kh.. Journal of Applied Mathematics and Physics **4**, 391 (2016). <http://dx.doi.org/10.4236/jamp.42046>.

**Web сайтлар**

- [1]. [uzferfizika@mail.ru](mailto:uzferfizika@mail.ru)