

Маматов Олмосбек Мухамматович,
uzferfizika@mail.ru
Мамадиева Диохумор Талибжоновна,
Насиров Мардонбек Халдарбекович
Юлдашев Носиржон Хайдарович, д.ф.-м.н., проф.,
Юлчиев Ифтихор Исакович
Ферганский политехнический институт, Узбекистан

ФОТОРЕЗИСТИВНЫЕ И ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОЧНОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ $n-CdS / p-CdTe$

Исследованы вольтамперные, люксамперные, 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.

Mamatov Olmosbek Muhammaddovich,
Mamadiyeva Dilkhumor Talibzhonovna,
Nasirov Mardonbek Haydarbekovich,
Yuldashev Nosirjon Khaidarovich, D.ph.-m.s., prof.,
Yulchiev Iftikhor Isakovich,
Ferghana Polytechnic Institute, Uzbekistan

PHOTORESISTIVE AND PHOTOVOLTAIC PROPERTIES OF A FILM $n-CdS / p-CdTe$ HETEROSTRUCTURE

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.

Key words: photo voltage properties, fine-grain polycrystalline a film, photo resistor, hetero structure, photo converter.

В последнее время постоянно растет интерес к исследованию варизонной гетероструктуры $n-CdS / p-CdTe$, как эффективного преобразователя солнечной энергии [1, 2]. Для оптоэлектроники представляет интерес интегральная пленочная гетеросистема, состоящая из высокочувствительного фоторезистивного (ФР) слоя CdS на прозрачной проводящей подложке и пленки CdTe как верхнего сэндвич-слоя с аномальным фотовольтаическим (АФВ) свойством. В такой активной пленочной гетероструктуре при определенном оптимальном условии технологии получения путем модуляции фотопроводимости CdS можно осуществить целенаправленное оптическое

селективное управление АФВ параметрами пленки $CdTe$ без разрушения исходного слоя, что позволяет использовать её в качестве чувствительного фотодатчика, оптического модулятора, фототранзистора, фотопереклювателя, элементов памяти и т.п.

Цель настоящей работы заключается в разработке технологии получения пленочной гетероструктуры $n-CdS / p-CdTe$ с ФР и АФВ свойствами, т.е. в создании фотопреобразователя нового типа на основе ФР - АФВ-пленка, а также в изучении её электрофизических и фотоэлектрических характеристик. Приводятся результаты исследования вольт-амперных, люкс-амперных, люкс-вольтных характеристик, спектральной зависимости тока $I_{кз}$ короткого замыкания АФВ - пленки при освещении фоторезистора подсветкой из области собственного поглощения CdS ($h\nu \geq 2,5 \text{ эВ}$) и без подсветки. При этом обнаружено, что АФВ свойства слоя $CdTe$ существенно модулируются при возбуждении фотопроводимости слоя CdS . В частности, показано, что подсветка CdS со стороны подложки собственным светом интенсивностью $L_{nc} \approx 10^3 \text{ лк}$ полностью снимает аномально большое фотонапряжение (АФН) $V_{АФН} \approx 200 \text{ В}$ в слое $CdTe$, генерированное при комнатной температуре естественным светом лампы накаливания с освещенностью $L \approx 10^5 \text{ лк}$.

Для получения резкой пленочной гетероструктуры $n-CdS / p-CdTe$ с АФВ свойством известный метод изготовления АФН - пленок [3] является непригодным. Слой $CdTe$, выращенный таким способом на фотопроводящем слое CdS , порой не обнаруживал заметные АФВ свойства. Оказалось, что при этом определяющими факторами для изготовления интегральной гетеросистемы фоторезистор-фотовольтаический слой (ФР-ФВС) являются относительные сопротивления, направления роста (рис.1). Гетероструктуры $n-CdS / p-CdTe$ 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 газов $\approx 10^{-4} - 10^{-5}$ Торр. Сначала при температуре подложки $T_n = 573 - 723 \text{ К}$

под углом $\alpha = 60 - 80^\circ$ на поверхность подложки через специальные маски осаждался слой CdS (2) площадью $20 \times 5 \text{ мм}^2$ и толщиной $0,2 - 0,4 \text{ мкм}$. Затем очувствляли его последующим отжигом в вакууме при $T = 773 - 823 \text{ К}$ в течение $10 - 15 \text{ мин}$. Темновое сопротивление пленки CdS с электронной проводимостью достигало до значений $R \approx 10^{12} \text{ Ом}$, а кратность $K = R_{mem} / R_{св}$ изменения сопротивления под действием освещения – 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 $d_{кз} \approx 1 - 3 \text{ мкм}$. 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 $d_{nl} \approx 0,5 - 0,8 \text{ мкм}$ со скоростью

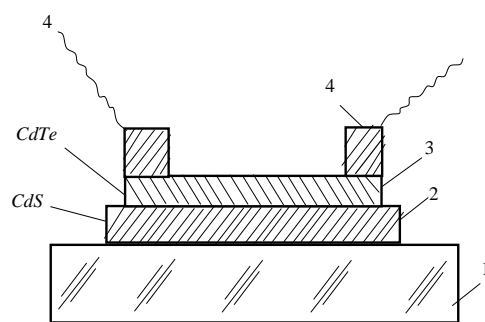


Рис.1. Схематический вид пленочной гетероструктуры: 1- прозрачная стеклянная подложка; 2- фоторезистор (CdS); 3- аномально фотовольтаический слой ($CdTe$); 4-токосъемные омические контакты.

1,5–2,0 A/c 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_{nl} , приводило к падению $V_{\text{АФН}}$. Заметная генерация АФН происходила лишь в тех случаях, когда темновое сопротивление ФР превосходило световое сопротивление ФВС. Верхние омические контакты (4 на рис.1) образовались путем напыления Ag в виде полосок через маски. Активная площадь гетероструктуры ФР-ФВС составляла $50 \div 80 \text{ мм}^2$. Стехиометрический состав пленок достигался путем предварительного препарирования шихты при закрытой шторе 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 фотонапряжение $V_{\text{АФН}} \approx 200 \text{ В}$. В случае дополнительной - тыловой (со стороны подложки) подсветке в спектральной области $\lambda \leq 500 \text{ нм}$ уже при $L_{nc} \approx 1 \text{ лк}$ АФН заметно падает, а при $L_{nc} \approx 10^5 \text{ лк}$ практически исчезает. Заметим, что аналогичным АФВ свойством с фоторезистивной модуляцией обладала другая изотипная гетероструктура $n\text{-CdS}/n\text{-CdTe}:\text{In}$ омическими индиевыми контактами. При этом АФВ слой $\text{CdTe}:\text{In}$ получали дополнительной термической обработкой [3].

Вольтамперные, люкс-амперные, люкс-вольтовые характеристики пленок измерялись с помощью электрометрического усилителя У7-9 и электростатическим вольтметром типа С-50. Источником напряжения служила УИП. Предел чувствительности измерительной схемы порядка 10^{15} 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-05 М усиливался усилителем Н37 и подавался на автоматический регулятор тока, который 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.

На рис. 2. представлены типичные темновые (кривые 0; 1) и световые (0; 2-4) экспериментальные ВАХ контрольного образца CdTe (0, 0) и слоя CdTe (1-4) в исследуемой гетеросистеме ФР-ФВС, которые снимались при комнатной температуре. Монослой CdTe выращивался на стеклянной подложке по известной технологии [3] и генерировал $V_{\text{АФН}} \approx 400 \text{ В}$ при освещенности $L \approx 10^5 \text{ лк}$ естественного света. Как видно из рисунка, ВАХ слоя CdTe как на стеклянной подложке (0, 0), так и на ФР 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 $n\text{-CdS}/p\text{-CdTe}$ ($1,6 \cdot 10^{11} \text{ Ом}$ и $6,4 \cdot 10^9 \text{ Ом}$). Механизм прохождения электрического тока через ФВС слой в условиях отсутствия подсветки является в основном туннельным, т.к. фототок короткого замыкания, как и в работе [3] при заданном значении освещенности возбуждающего света не зависит от температуры: $I_{\text{кз}} = V_{\text{АФН}} / R_{\text{nl}}$, причем $V_{\text{АФН}} \sim R_{\text{nl}} \sim f(T)$.

Вольтамперная характеристика АФВ слоя в системе ФР-ФВС при подсветке ФР светом с $h\nu \geq 2,52 \text{ эВ}$ и $L_{nc} \approx 30 \text{ лк}$ состоит из трех характерных участков: квазилинейные $ав$ (с $R \approx 5 \cdot 10^9 \text{ Ом}$) и cd ($1,8 \cdot 10^{10} \text{ Ом}$), сверхлинейный ($3,2 \cdot 10^9 \text{ Ом}$) $вс$ (кривая 3 на рис.2). Причем с ростом интенсивности L_{nc} подсветки участок $вс$ сглаживается и вместе с

участком cd исчезает при достаточно больших значениях интенсивности подсветки $L_{nc} \approx 10^2 \text{ лк}$ (кривая 4), т.е. когда ФР полностью шунтирует ФВС и ВАХ определяется фототоком через слой CdS . Причиной появления переходной нелинейной bc и линейных av , cd (с разными наклонами) участков ВАХ, по-видимому, является изменение вклада гетероперехода $n-CdS/p-CdTe$ в процесс токопрохождения через структуру под действием подсветки и внешнего напряжения.

Эквивалентную электрическую схему поликристаллической гетероструктуры ФР-ФВС в поперечном режиме фотопроводимости представим так, что микро – фотовольтаический и ФР элементы вместе с гетеропереходными мостиками составляют элементарную замкнутую электрическую цепочку [4]. Периодически последовательно соединенные такие цепочки образуют линейную эквивалентную схему исследуемой гетеросистемы. Грубо можно полагать, что сила тока такой системы складывается из двух составляющих:

$$I = I_{\text{ФВС}} + I_{\text{ФР}} = \frac{V_{\text{вн}} \pm V_{\text{АФН}}}{N} \left(\frac{1}{R_{\text{ФВС}}} + \frac{1}{R_{\text{ГП}} + R_{\text{ФР}}} \right), \quad (1)$$

где $V_{\text{вн}}$ – внешнее приложенное напряжение, N – число кристаллических зерен ФВС вдоль линии прохождения тока, а $R_{\text{ФВС}}$, $R_{\text{ФР}}$, $R_{\text{ГП}}$ – элементарные сопротивления). Действительно, без подсветки ФР в случае $R_{\text{ГП}} + R_{\text{ФР}} \gg R_{\text{ФВС}}$ согласно (1) ВАХ

полностью определяется фотопроводимостью ФВС (кривая 2 на рис. 2.). При включении подсветки в условиях $R_{\text{ГП}} + R_{\text{ФР}} \ll R_{\text{ФВС}}$ в ВАХ доминирует вклад ФР. С ростом L_{nc} ток короткого замыкания и, следовательно, $V_{\text{АФН}}$ уменьшается, а наклон участка av , т.е. электропроводность структуры увеличивается за счет фотопроводимости ФР слоя.

Как показали в работе [5], гетеропереход $n-CdS/p-CdTe$ обнаруживает нелинейный темновой ВАХ, а механизм прохождения тока является туннельно-рекомбинационным. Для заданного значения L_{nc} сначала с ростом $V_{\text{вн}}$ ток через гетеропереход растет экспоненциальным законом

$$\exp\left(\frac{e(V_{\text{вн}} + V_{\text{АФН}})}{nkT}\right) \quad (\text{где } n \text{ "фактор идеальности"}),$$

однако он лимитируется фотоспротивлением $R_{\text{ФР}} \geq R_{\text{ГП}}$. Поэтому начальный участок av ВАХ полностью обусловлен фотопроводимостью слоя CdS . При дальнейшем росте $V_{\text{вн}}$ туннельно-рекомбинационный процесс на гетеропереходе $n-CdS/p-CdTe$ лимитируется [5] и увеличение тока испытывает насыщение ($R_{\text{ГП}} \geq R_{\text{ФР}}$). А это приводит к ослаблению шунтирования АФВ слоя и росту

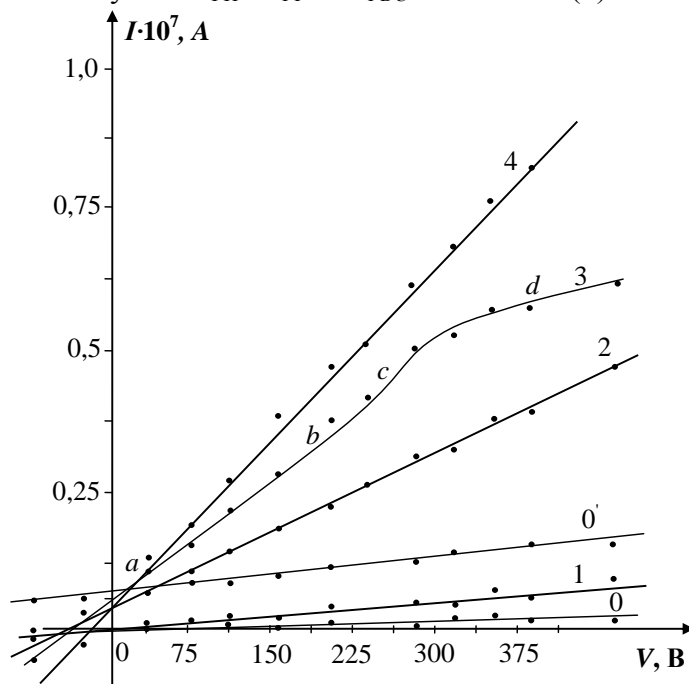


Рис.2. Вольт-амперная характеристика АФВ-пленки из $CdTe$, выращенной на стеклянной подложке (кривые 0 и 0') и на поликристаллической фотопроводящей пленке (1-4) из CdS , предварительно осажденной на стеклянной подложке. Кривые 0 и 1- темновые, 0' и 2-4 – световые ($L=3 \cdot 10^3 \text{ лк}$) ВАХ. Кривые 3 и 4 снимались под действием подсветки ФР с $L_{nc}=30 \text{ лк}$ и $5 \cdot 10^2 \text{ лк}$, соответственно. $T=300 \text{ K}$.

V_{AFH} , что в свою очередь вызывает нелинейный рост тока (участок bc на рис. 2.). Однако дальнейший ход ВАХ при $R_{ГП} + R_{ФР} \leq R_{ФВС}$ протекает в условиях лимитирования тока через гетеропереход (участок cd). Точка b на ВАХ (начало лимитирования) определяется значением $V_{вн} + V_{AFH} \approx 200$ В, а в случае одиночного гетероперехода аналогичной точке соответствует $V_{вн} \approx 0,05$ В [5]. Будем считать, что в данном условии протекания тока через структуры ФР-ФВС падение напряжения 200 В происходит на последовательно включенных элементарных сопротивлениях $R_{ГП} + R_{ФР}$. Тогда легко получим их общее количество вдоль пленки: $N=200:0,05=4 \cdot 10^3$. А зная длину пленки $l=10$ мм, находим 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.) определяются 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 $V_{вн} = V_{AFH}$. В случае сильной подсветки фотовольтаический эффект в слое $CdTe$ подавляется, т.е. АФН разрушается фотопроводимостью слоя CdS и ВАХ будет симметричной относительно начала координат ($V=0, I=0$).

Типичные люкс-вольтовые характеристики (ЛВХ) ФВС из $CdTe$ на стеклянной подложке (кривая 1) и на ФР из CdS (2-4), представленные на рис.3, качественно совпадают. А это означает, что механизмы формирования АФН в этих слоях не отличаются. Однако подсветка ФР количественно сильно деформирует кривые ЛВХ структуры ФР-ФВС.

Как видно из рисунка, при малых значениях L значение V_{AFH} 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_{AFH} пропорционально уменьшается по всему интервалу L , следовательно, кривая $V_{AFH}(L)$ качественно не меняется (см. кривые 2-4). Последнее означает, что, во-первых, подсветка ФР не влияет на асимметрию потенциальных барьеров, генерирующих фотонапряжения [3, 4], во-вторых, V_{AFH} линейно зависит от сопротивления шунтирующего слоя $R_{ш}(L_{nc})$.

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

На рис. 4 показаны люкс - амперные характеристики (ЛАХ) для контрольного образца (кривая 0) и ФВС гетероструктуры (1-3) в двойном логарифмическом масштабе при одном и том же значении внешнего напряжения $V_{вн}=100 В$, которые снимались при комнатной температуре. Если ЛАХ представить как $I^{\phi} \sim L^n$, где L -интенсивность освещения (в единицах лк или $фот/см^2 \cdot с$), n -показатель ЛАХ, то, как видно из кривой 0, ЛАХ контрольной АФВ пленки состоит из 4-х характерных участков: на участке I, где $L \leq 2 \cdot 10^2 лк$, имеет место отрицательная дифференциальная фотопроводимость (ОДФП) 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 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 ФВС на стекле и на ФР. Однако на участке I ОДФП исчезает и он заменяется слабочувствительной областью с $n \approx 0.2$. Высокочувствительная область 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 $L = 2 \cdot 10^3 лк$.

Таким образом, тонкая поликристаллическая фотопроводящая пленка CdS сильно влияет на ЛАХ АФВ слоя из $CdTe$ при слабой интенсивности ($L < 2 \cdot 10^2 лк$) и в области $10^3 < L < 2 \cdot 10^3 лк$.

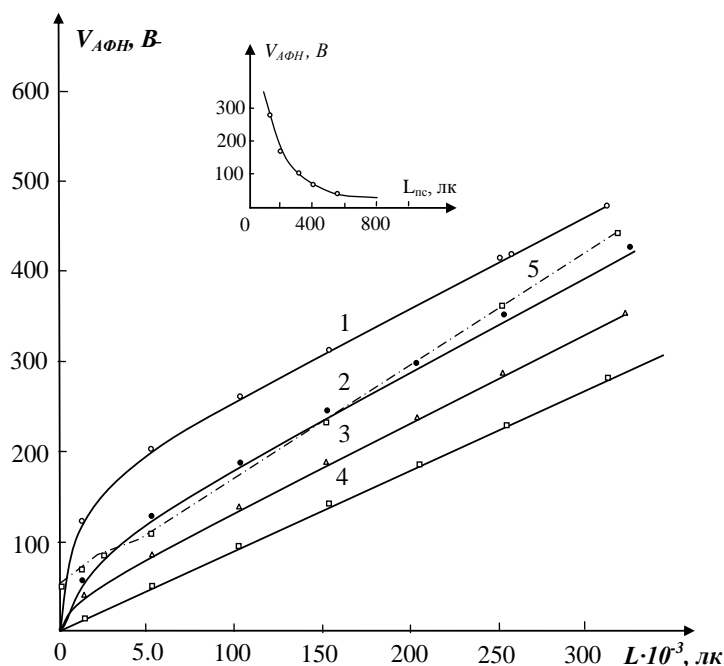


Рис.3. Люкс-вольтовые характеристики пленок $CdTe$ (кривая 1) и гетероструктуры $CdTe/CdS$ (2- $L_{nc}=0$; 3- $L_{nc}=1 лк$; 4- $L_{nc}=10 лк$). Кривая 5-подсветка ФР через красный светофильтр: $L_{nc}=10^2 лк$. На вставке зависимость $V_{AФН}(L_{пс})$. $T=300 K$.

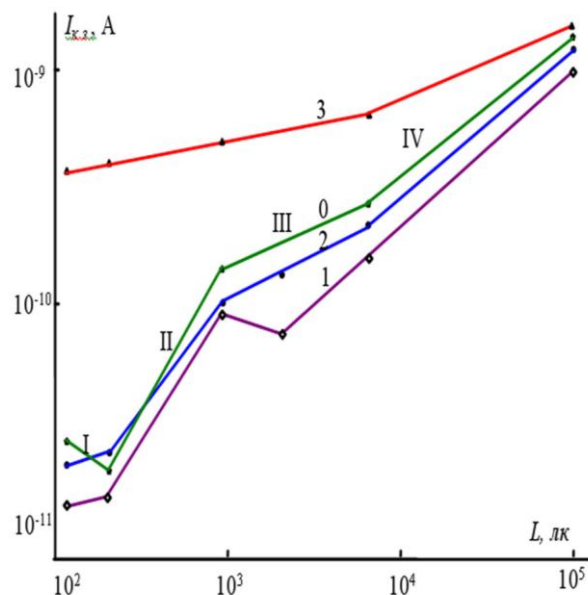


Рис.4. ЛАХ гетероструктуры $n - CdS / p - CdTe$: 0- $CdTe$ контроль. 1- без подсветки CdS ; 2 - подсветка $CdS, L=500 лк$; 3- подсветка $CdS, L=3 \cdot 10^3 лк$;

В случае подсветки со стороны стеклянной подложки через слой CdS $L=10^2$ лк фоточувствительность заметно растет и в области III ОДФП исчезает (кривая 2). Отсюда можно заключить, что ОДФП на участке ЛАХ системы $n-CdS/p-CdTe$ также, 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 «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.

В заключение лишний раз отметим, что разработанная технология получения гетероструктуры $n-CdS/p-CdTe$ с фоторезистивными и АФВ свойствами, позволяющая селективно управлять значением $V_{АФН}$ слоя $CdTe$ за счет фотопроводимости слоя CdS (подсветка CdS при $T=300$ К светом с $h\nu \geq 2,5$ эВ интенсивностью $L_{nc} \approx 10^2$ лк практически снимает АФН ≈ 200 В в слое $CdTe$, генерированное другим источником естественного света при освещенности $L \approx 10^3$ лк), дает возможность использовать её в качестве сверхчувствительного фотодатчика для контроля и диагностики оптических объектов оптоэлектроники.

Литература:

1. **Nakamura K.** Electromodulated Photoluminescence Study of $CdS/CdTe$ Thin-Film Solar Cell [Text] / M. Gotoh, T. Fujihara, T. Toyama, et al. // Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 40, 2001 - P. 4508-4511.
2. **Ikhmayies Sh. J.** Interface photoluminescence of the $SnO_2:F/CdS:In/CdTe$ thin film solar cells prepared partially by the spray pyrolysis technique [Text] / R. N. Ahmad-Bitar // Journal of Luminescence, Vol.132, Is.2, 2012 -P. 502–506.
3. **Каримов М.А.** Влияние примеси индия на фотовольтаические свойства косонапыленных пленок $CdTe$ [Текст] / Н.Х. Юлдашев // Физическая инженерия поверхности - Харьков. 2006. №1-2 (4). - стр. 58-62.
4. **Вайткус Ю.Ю.** О механизме образования высоковольтной фото-эдс в тонких косонапыленных пленках $CdTe:Ag$ при собственном и примесном поглощении [Текст] / Н.Х. Юлдашев, С.М. Отажонов // Физическая инженерия поверхности - Харьков, т. 3, № 3-4, 2005-С.219-227.
5. **Косяченко Л.А.** Генерационно – рекомбинационный механизм переноса заряда в тонкопленочном гетеропереходе $CdS/CdTe$ [Текст] / X.Mather, В.В.Мотушук, В.М. Складчук // Физика и техника полупроводников-Санкт-Петербург, №5 (39), 2005 - С.569-572.
6. **Каримов М.А.** Спектры тока короткого замыкания фотовольтаических пленок $CdTe, CdTe:In$ [Текст] / Н.Х. Юлдашев // Изв. ВУЗов. Серия Физика- Томск, №1, 2007. - С. 71-74.