

ЗАХИРИДДИН  
МУҲАММАД БОБУР  
НОМИДАГИ АНДИЖОН  
ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ANDIJAN STATE  
UNIVERSITY NAMED  
AFTER ZAKHIRIDDIN  
MUKHAMMAD BABUR

**ИЛМИЙ ХАБАРНОМА**  
**Физика-математика**  
**Тадқиқотлари**  
**(Махсус сон)**

**SCIENTIFIC BULLETIN**  
**Physical and**  
**Mathematical Research**  
**(Special Issue)**

Андижон  
2023 йил

**Муассис**

Захиридин Мухаммад Бобур номидаги Андижон давлат университети

**ИЛМИЙ ХАБАРНОМА.  
ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА  
ТАДҚИҚОТЛАРИ**

Журнал бир йилда 2 марта чоп этилади.

Андижон вилояти ахборот ва оммавий коммуникациялар бошқармаси  
томонидан 2019-йил 26 декабря  
0452 рақам билан рўйхатга олинган.

Нашр индекси: 344

Нашр учун масъул:  
А.Й.Бобоев

Босишига руҳсат этилди:  
27.12.2019.  
Қоғоз бичими: 60x81 1/8  
Босма табоғи: 13,5  
Офсет босма. Офсет қоғози.  
Адади: 110 дона.  
Баҳоси келишилган нарҳда.  
Буюртъя №: 165.  
“Мұхаррір” нашриёти манбаа бўлимида чоп этилди.  
Тошкент шаҳри, Сўгалли ота кўчаси 7-уй

**Таҳририят манзили:**

170100, Андижон шаҳри, Университет кўчаси, 129. Телефон: +998911602043.  
Факс: (374) 223-88-30

E-mail: [adu\\_xabarnoma@mail.ru](mailto:adu_xabarnoma@mail.ru) Расмий сайт: [uzjournals.edu.uz/adu](http://uzjournals.edu.uz/adu)

**Сборник статей международной научно-практической конференции по  
«Полупроводниковая опто- и наноэлектроника, альтернативные  
источники энергии и их перспективы» Андижан, 12-13 октября 2023 года**

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

**С.З. ЗАЙНАБИДИНОВ, А.Й. БОБОЕВ, Б.М. ЭРГАШЕВ**

Механизмы формирования квантово-размерных нанообъектов в многокомпонентных структурах GaAs/Ge/ZnSe и GaAs/Si/ZnSe..... 7

**М.Х.АШУРОВ, Б.Л.ОКСЕНГЕНДЛЕР, С.Х.СУЛЕЙМАНОВ, С.Е.МАКСИМОВ,  
З.И.КАРИМОВ, Н.Н.НИКИФОРОВА, Ф.А.ИСКАНДАРОВА**

Современные аспекты радиационной деградации твердых тел и биообъектов..... 10

**М.Т.НОРМУРАДОВ, Е.Н. ВЛАСОВА, К.Т.ДОВРАНОВ, Д.А. НОРМУРОДОВ,  
Х.Т. ДАВРАНОВ**

Измерение оптических параметров, диэлектрических материалов, созданных низкоэнергетическим ионно-плазменным методом..... 15

**Е.С. РЕМБЕЗА, Т.В. СВИСТОВА, Н.Н. КОШЕЛЕВА, М.Б. РАСУЛОВА**

Гетероструктуры металлооксид-кремний, как перспективные структуры для создания солнечных элементов..... 24

**О.О. МАМАТКАРИМОВ, В.Х. QUHQAROV, М.А. ERGASHEV, А.А.  
ХОЛМИРЗАЕВ**

Yarimo'tkazgich moddalariga asoslangan konvertorlarni ishlab chiqishda va uning asl parametrlarini saqlanishini o'rganish xossalari..... 28

**S.Z. ZAINABIDINOV, Н.Ж. MANSUROV, Н.Ю. YUNUSALIEV**

Photoelectric Properties of n-ZnO/p-Si Heterostructures..... 34

**Х.Б.АШУРОВ, А.А. ЗАРИПОВ, А.А.РАХИМОВ, У.Ф.БЕРИДЕВ, И.Ж.  
АБДИСАИДОВ, М.М.АДИЛОВ**

Методы синтеза никелевого нанокатализатора для получения углеродных нанотрубок..... 39

**Н.Ф. ЗИКРИЛЛАЕВ, М.М.ШОАБДУРАХИМОВА**

Особенности автоколебаний тока в компенсированном кремнии и их применение в электронике..... 46

**Ш.Б.УТАМУРАДОВА, Ж.Ж.ХАМДАМОВ, В.Ф.ГРЕМЕНОК, К.А.ИСМАЙЛОВ,  
Х.Ж.МАТЧОНОВ, Х.Ю.УТЕМУРАТОВА**

Комбинационное рассеяние света в монокристаллическом Si, легированного атомами Gd..... 54

**N.N. ABDURAZAKOV, R. ALIEV**

Power load forecasting using linear regression method of machine learning: Andijan regional case..... 58

**И. Н. КАРИМОВ. М. ФОЗИЛЖОНОВ. А.Э.АБДИКАРИМОВ**

Вольт-фарадный характеристики SOI FINFET структуры..... 63

**О.А. АБДУЛХАЕВ, А.З. РАХМАТОВ**

Низковольтные ограничители напряжения на основе структур с эффектом смыкания..... 67

**SH.X. YO'LCHIYEV, B.D. G'ULOMOV, J.A. O'RINBOYEV**

ZnO va ZnO:Al урпқа рyonkalarini sintez qilish va ularni fizik xossalari o'rganish..... 75

**Ш.Т.ХОЖИЕВ, С.Ф.КОВАЛЕНКО, С.Е.МАКСИМОВ, В.М.РОТШТЕЙН,  
О.Ф.ТУКФАТУЛЛИН, Б.Л.ОКСЕНГЕНДЛЕР. Ш.К.КУЧКАНОВ**

Кластеры  $Y_n^+$  И  $Y_nO_m^+$ , распыленные ионной бомбардировкой: эксперимент и теоретические аспекты..... 79

<b>M. RASULOVA</b>	
Application of Solution of the Quantum Kinetic Equations for Renewable Energy problem.....	85
<b>A.А.МИРЗААЛИМОВ, Р.АЛИЕВ, Н.А.МИРЗААЛИМОВ</b>	
разработка высокоеффективных и ресурсосберегающих конструкций кремниевых высоковольтных фотоэлектрических устройств.....	89
<b>D.G. КНАЖИВАЕВ, B.Ya. YAVIDOV</b>	
On correlation of $T_c$ and Cu-O <sub>apex</sub> distance in single layered cuprates.....	97
<b>А. АБДУЛВАХИДОВ, С.ОТАЖНОВ, Р.ЭРГАШЕВ</b>	
Фоточувствительность солнечных элементов гетероструктуры p CdTe – n CdS и p CdTe – n CdSe с глубокими примесными уровнями.....	102
<b>М.К. КУРБАНОВ, К.У. ОТАБАЕВА, Д.У. ХУДОЙНАЗАРОВА</b>	
Распыление пленок льда при бомбардировке ионами Ar+.....	107
<b>H.O. QO'CHQAROV S.B. FAZLIIDDINOV B.B.BURXONJANOV</b>	
Simmetrik bo'lgan silikon diodning statik parametrlarini hisoblash p-n-uch nuqtali zaryadlangan nuqsonlarning δ-qatlami o'tish.....	113
<b>N.Yu. SHARIBAYEV, B.M. BAXROMOV R.M. JALALOV A.A. YUSUFJONOV</b>	
Study of electrophysical properties of semiconductor materials based on lead-selenium.....	120
<b>Ш.К.КУЧКАНОВ, Х.Б.АШУРОВ, Б.М.АБДУРАХМАНОВ, С.Е.МАКСИМОВ, О. Э. КИМИЗБАЕВА, Ш.А.МАХМУДОВ</b>	
О роли структурных дефектов в процессах генерации при нагреве эдс и носителей заряда в эпитаксиальных плёночных кремниевых p-n-структурах.....	125
<b>S.Z. ZAYNABIDINOV, I.M. SOLIYEV, SH.K. AKBAROV</b>	
Kremniy monokristallarida elektro noaktiv nikel va kislorod atomlarining o'zaro tasirlashuvi.	128
<b>M.A.MUYDINOVA, G.J. MAMATOVA</b>	
Yarimo'tkazgich plastinalar sirti va p-n strukturalarning optik xususiyatlari va ularni takomillashtirish usullari.....	132
<b>L.O.OLIMOV, I.I. ANARBOYEV</b>	
Kremniy granulalari asosida termoelektrik material samaradorligini oshirish mexanizimi.....	136

## Фоточувствительность солнечных элементов гетероструктуры p cdte – n cds и p cdte – n cdse с глубокими примесными уровнями

**А. Абдулвахидов<sup>1</sup>, С.Отажонов<sup>2</sup>, Р.Эргашев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ростов-Донской Южный Федеральный университет, Россия

<sup>2</sup>Ферганский государственный университет, Узбекистан Получена 2 мая 2023 г. Принята к печати 23 мая 2023г.

**Аннотация:** В работе рассмотрено фотоэлектрические характеристики солнечных элементов созданной на основе пленочных гетеропереходов p CdTe – n CdS и p CdTe – n CdSe. Установлено, что спектральная область чувствительности солнечных элементов со структурой CdTe – CdS имеет значение длины волны 0,52 и 0,85 мкм. Показано, что разделение носителей происходит не на границе раздела CdS и CdTe, а в глубине слоя CdTe, которые равно несколько микрометров от поверхности, что связано с образованием слоя в результате диффузия свободного атома кадмия в p – CdTe.

**Ключевые слова:** гетеропереходы, солнечные элементы, p CdTe – n CdS, фоточувствительность, поликристаллическая пленка, рекомбинационные центры, спектральная чувствительность.

**1. Введение.** В настоящее время на основе CdTe получены гетеропереходы, эффективно работающие в качестве солнечных элементов [1] и фотоприемников в видимой и ИК области спектра [2].

Предельный теоретический коэффициент полезного действия(КПД) солнечного элемента с гетеропереходом p CdTe – n CdS и p CdTe – n CdSe составляет соответственно 17 и 21% [3]. Вследствие этого интерес к исследованиям теллурида кадмия в последнее время уделяет большое внимание.

В такие гетеропереход существенно снижается влияние поверхностной рекомбинации и последовательного сопротивления. Рассогласование постоянных кристаллических решеток CdTe и CdS составляет  $\sim 10\%$ , в случае пары CdTe – CdSe  $\sim 13\%$ . При таком рассогласовании постоянных решеток возникает большая концентрация рекомбинационных центров на границе раздела двух полупроводников. Однако результаты исследование [4,5] показали, что для фоточувствительных приборов наличие высокой плотности рекомбинационных центров  $N_s$  на границе не является губительным. Это видно из того факта, что скорости поверхностной рекомбинации  $S$  на гетерогранице при  $N_s \rightarrow \infty$  стремятся не к бесконечности, а к конечной дрейфовой скорости в приграничном электрическом поле.

Авторами работы [6] по методике переходные процессы контактной фотопроводимости в пленках CdTe было определено скорости поверхностной рекомбинации которые равна  $\tau_R \approx 19$  нс. В этих работах также определено доминирующий глубокий уровень с энергией фотоионизации 1,23 эВ, которые приводят к уменьшению воздействия поверхностной рекомбинации.

Полученные на основе гетероперехода p CdTe – n CdSe солнечный элемент пока обладают низким КПД, что связано с трудностью легирование слоев CdSe и возникновением тройного соединения в области перехода вследствие взаимной растворимости CdTe и CdSe [2]. Для избежание взаимной растворимости CdTe и CdSe температура осаждения CdSe на поверхности CdTe не должно превышать  $\sim 300^\circ\text{C}$ .

В работе приводятся фотоэлектрическая характеристика и результаты изучения механизма переноса тока солнечных элементов на основе пленочных гетеропереходов p CdTe – n CdS и p CdTe – n CdSe.

**2. Методика эксперимента.** Рассмотрим методики получения CdTe и гетеропереходов p CdTe – n CdS и p CdTe – n CdSe. Поликристаллические пленки CdTe

осаждались газотранспортным методом в квазизамкнутом объеме в патоке водорода предварительно химически обработанную подложку из молибдена. Пленки CdTe осаждались также на графитовые подложки. В качестве источника CdTe использовались порошки CdTe полупроводниковой частоты. Температура источника во время процесса варьировалась в диапазоне 850 – 950°C. Размер зерен пленке зависел от температуры подложки, при 500°C, получалась пленка размером зерен 20-30 мкм, а при 600°C – 50 мкм и более.

Структурные исследования подтвердили, что в интервале температуры подложки 450…550°C зерна пленки CdTe получаются ориентированными т.е. столбчатыми и с поверхностным рельефом. Темновое удельное сопротивление полученных пленок превышает 10<sup>3</sup> Ом·см и обладает дырочной проводимостью. При использовании в качестве легирующих примесей Sb или As удельной сопротивление снижается в 2-3 раза [6].

Гетеропереходы p CdTe – n CdS и p CdTe – n CdSe изготавливались напылением в вакууме (~10<sup>-5</sup> мм рт.ст.) слоя CdS и CdSe толщиной 1…5 мкм на поверхность базовых слоев p-CdTe. Пленки CdS и CdSe формировались при температуре подложки 250°C и 300°C соответственно. Слои CdS и CdSe легировались индием (In) непосредственно во время их напыления. Токосъемочные контакты были получены напылением In в вакууме (~10<sup>-5</sup> мм рт.ст.) в виде полосок.

**3. Экспериментальные результаты и их обсуждение.** Изучение вольт - амперных характеристик (ВАХ) гетероперехода p CdTe – n CdS и p CdTe – n CdSe показало, что прямые токи превышают обратные в 10<sup>3</sup>…10<sup>4</sup> раз, напряжение отсечки, найденное из ВАХ при 290°K, составляло 0,6…0,7В для гетероперехода p CdTe – n CdS и 0,9…1,1В для гетероперехода p CdTe – n CdSe.

Прямые ветви ВАХ гетероперехода p CdTe – n CdS при различных температурах в полулогарифмическом масштабе представлена на рис.1. Полученных ВАХ невозможно объяснить на основе одной из моделей p-n-гетероперехода. Это связано с тем, что при получении CdS происходит диффузия свободного атома кадмия Cd вдоль прослоек приповерхностном слое зерен. Таким образом, в зернах CdTe проявляется мелкие p-n-гомопереходы и структура состоит из последовательно включенных изотипных n CdTe – n CdS гетеропереходов и p CdTe – n CdTe гомопереходов. При формировании n-слоя CdTe нельзя исключить и роль индия, который диффундируется из CdS, так как CdS легирован с индием.

В диапазоне напряжений 0<V<0,6В и при температуре T>298K преобладающим является процесс рекомбинации инжектированных дырок или в области объемного заряда n – CdTe или на поверхностных состояниях. Соответствующий участок ВАХ подчиняется закономерности [8,9].

$$I = I_0 \left[ \exp \left( \frac{qV}{\beta RT} \right) - 1 \right], \quad (1)$$

где:

$$I_0 = \left( \frac{kT}{2E_{max}} n_i + qn_i S n_o \right)$$

V-напряжение на структуре, E<sub>max</sub> - максимальное поле в слое объемного заряда, n<sub>i</sub> – собственная концентрация электронов CdTe, S<sub>n</sub> – скорость поверхностной рекомбинации. Диодный коэффициент в показателе степени приблизительно равняется двум и слабо изменяется с температурой. Вычислено значение I<sub>0</sub> намного меньше, значение найденных из ВАХ. При напряжении V>0,6В начинается второй участок, где β принимает возрастающее значение.

Надо отметить, что второй участок ВАХ в двойной логарифмической координате дает прямую линию и аппроксимируется зависимостью  $I \sim V^n$ , где  $n \approx \frac{3}{2}$ .

Обратная ветвь ВАХ гетероперехода р CdTe – n CdS состоит из двух участков. Начальный участок при комнатной температуре в интервале напряжений  $0 < V < 0,2\text{В}$  обладает экспоненциальной закономерностью с диодным коэффициентом  $\beta \approx 2$ . При напряжении  $V > 0,2\text{В}$  зависимость тока от напряжения носит степенной характер:  $I \sim V^n$ , где  $n \approx 0,5$ . С увеличением температуры начальный экспоненциальный участок расширится и при  $378^\circ\text{K}$  доходит до напряжения  $0,5\text{В}$ . При обратных напряжениях нарушение диффузионно-дрейфового равновесия обуславливает расширение области объемного заряда (003) р-п-перехода и ее объединение как электронами, так и дырками. В этом случае генерация дырок в 003 преобладает над рекомбинацией. Плотность тока, обусловленного генерацией в обедненной области, выражается формулой [4].

$$I = \frac{q n_i d}{r_p}, \quad (2)$$

где  $d$  – ширина объединенного слоя.

Как видно из формулы (2), при заданной температуре ток генераций пропорционален ширине обедненного слоя, которая, в свою очередь, зависит от приложенного обратного напряжения. Таким образом, соответствующий участок обратной ветви ВАХ описывается сублинейной зависимостью [5]

$$I = \frac{q n_i}{\tau_p} \sqrt{\frac{2 \varepsilon_n}{q} \frac{V}{N_\alpha}}. \quad (3)$$

Прямые ветви ВАХ гетероперехода р CdTe – n CdSe при различных температурах представлены на рис.2. В этих структурах зависимость прямого тока от напряжения также имеет экспоненциальный характер, определяемый формулой (1). Однако диодный коэффициент  $\beta$  зависит от температуры, то есть он увеличивается с ее ростом.

Прохождение прямого тока через гетеропереход р CdTe – n CdSe удовлетворительно описывается рекомбинационным механизмом Долеги [6], характерным для поликристаллических гетероструктур с большим числом дислокаций на границе материалов, образующих гетеропереход.

Обратные ветви ВАХ (рис. 3) гетероперехода р CdTe – n CdSe имеют три участка, характерные для токов, ограниченных пространственными зарядами. Первый участок – ловушечные квадратичные, второй участок – участок резкого роста тока, начинается при напряжении, необходимом для полного заполнения ловушек, затем следует квадратичный участок.

Как видно на рис.3, с увеличениями температуры, протяжённость ловушечное квадратичного участка расширяется, а участок резкого роста тока укорачивается. Кроме того, значение тока при высоких температурах в квадратичном участке меньше, чем его значение при комнатной температуре, то есть при постоянном напряжении с увеличением температуры ток уменьшается. Такое поведение ВАХ явно свидетельствует о режиме токов, ограниченных пространственными зарядами.

Из первого квадратичного участка определялся фактор прилипания  $\theta$  ( $\theta$  – отношение свободного заряда к заряду, захваченному на ловушках). Оценка, проведенная по формуле [3]

$$V_{\text{пл}} = \frac{e N_t d^2}{2 \varepsilon},$$

дает для  $\theta$  значение  $\approx 10^{-9}$ . Такое малое значение фактора прилипание свидетельствует о наличии большой концентрации ловушек в слое CdSe и границе раздела.

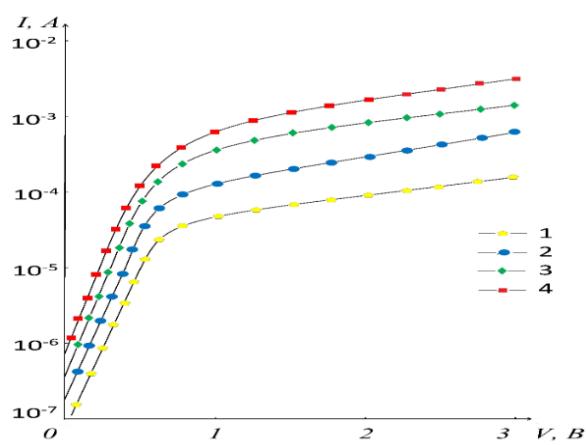


Рис.1. Прямые ветви ВАХ гетероперехода р CdTe – n CdS при различных температурах, К: 1-302, 2-338, 3-358, 4-376

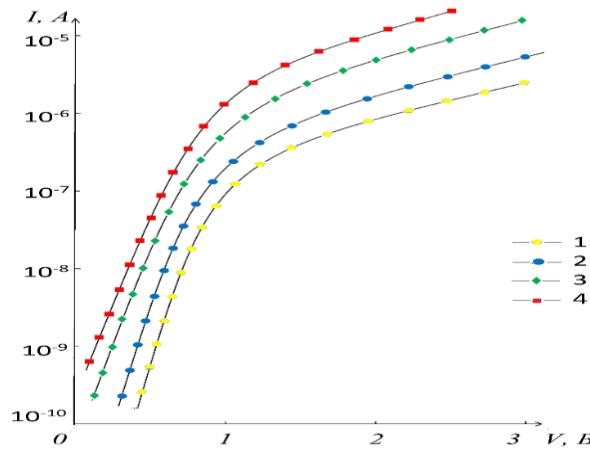


Рис.2. Прямые ветви ВАХ гетероперехода р CdTe – n CdSe при различных температурах, К: 1-298, 2-325, 3-355, 4-376

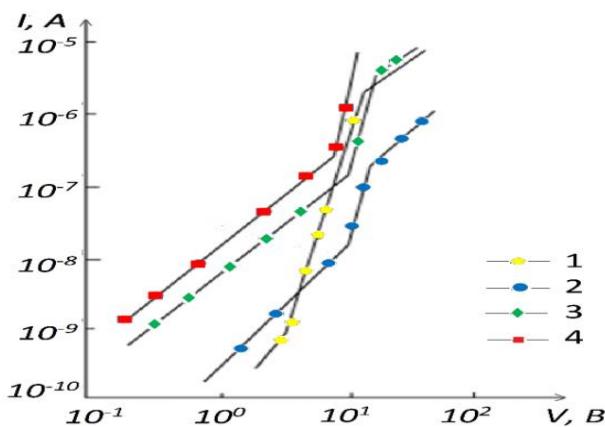


Рис.3. Обратные ветви ВАХ гетероперехода р CdTe – n CdS при различных температурах, К: 1-302, 2-338, 3-358, 4-376

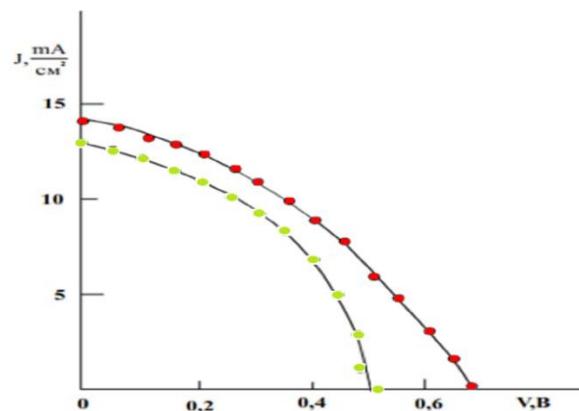


Рис.4. Нагрузочная ВАХ пленочных солнечных элементов на основе гетероперехода р CdTe – n CdS (1) и р CdTe – n CdSe (2) при мощности солнечного излучения  $60 \frac{\text{мВт}}{\text{см}^2}$

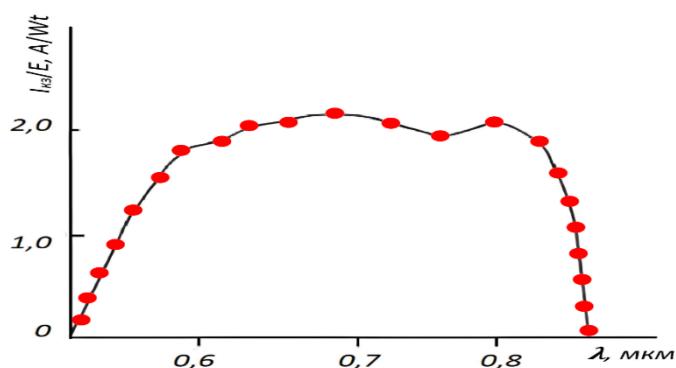


Рис. 5. Спектральное распределение фоточувствительности структуры р CdTe – n CdSe

Концентрация ловушек  $N_t$ , вычисленная по направлению  $V_{\text{пл}}$ , оказалось равной  $N_t \approx 3,4 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ . Зная  $\theta$  и  $N_t$ , вычислили глубину залегания ловушек  $E_t$ , которая оказалось равной  $\approx 0,5 \text{ эВ}$  [4].

На рис.4 приведены нагрузочные ВАХ солнечного элемента на основе гетероперехода р CdTe – n CdS (кривая 1) и р CdTe – n CdSe (кривая 2). При интенсивности солнечного

излучения  $\sim 60 \frac{\text{мВт}}{\text{см}^2}$  солнечного элемента на основе гетероперехода p CdTe – n CdS имели следующие характеристики:  $V_{xx} \simeq 0,65\text{В}$   $I_{kz} \simeq 14 \frac{\text{мА}}{\text{см}^2}$ , коэффициент заполнения нагрузочной характеристики 0,4, КПД 5...6%. При таких условиях солнечного элемента на основе гетероперехода p CdTe – n CdSe обладали меньшими показателями:  $I_{kz} \simeq 13 \frac{\text{мА}}{\text{см}^2}$ ,  $V_{xx} \simeq 0,5\text{В}$ , коэффициент заполнения 0,45, КПД 3...4% [5, 6].

Спектральная область чувствительности солнечного элемента со структурой CdTe – CdS ограничена значениям длины волны 0,52 и 0,85 мкм, причем в диапазоне 0,58...0,81 мкм кривая чувствительности имеет плоскую форму (рис.5) [7]. Спектральные положения коротковолновой и длинноволновой границ области чувствительности определяется значениями ширины – запрещенных зон, соответственно CdTe и CdS и не зависят от напряжения смещения, которое влияет на эффективность сортирования носителей заряда. Еще одна особенность этих элементов состоит в том, что разделение носителей происходит не на границе раздела CdS и CdTe, а в глубине слоя CdTe, на расстоянии от его поверхности, равном нескольким микрометром, что связано с образованием слоя в результате диффузии свободного атома кадмия в p-CdTe [8, 9].

Спектральная область чувствительности солнечного элемента на основе структуры CdTe – CdSe лежит в диапазоне 0,45...0,80 мкм. Однако коэффициент сортирования носителя заряда в коротковолновой части спектра меньше чем в длинноволновой, что свидетельствует о малой диффузионной длине носителей CdSe.

**4. Выводы.** Таким образом, по полученным экспериментальным результатам можно судить, созданные гетеропереходы существенно снижают влияние поверхностной рекомбинации на фоточувствительности и при этом спектральное распределение фоточувствительности расширяется от 0,5 мкм до 0,9 мкм

#### Список литературы

1. Kuddus, Abdul & Ismail, Abu Bakar Md & Hossain, Jaker. (2021). Design of a highly efficient CdTe-based dual-heterojunction solar cell with 44% predicted efficiency. Solar Energy. 221. 488-501. 10.1016/j.solener.2021.04.062. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X21003625>
2. Bing Ren, Jijun Zhang, Meiyong Liao, Jian Huang, Liwen Sang, Yasuo Koide, and Linjun Wang. High-performance visible to near-infrared photodetectors by using (Cd,Zn)Te single crystal. Vol. 27, No. 6 | 18 Mar 2019 | OPTICS EXPRESS 8935/ <https://opg.optica.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-27-6-8935&id=407310>
3. Дирин Д.Н. Синтез и оптические свойства коллоидных нанокристаллов CdTe/CdSe и CdTe/CdS на основе тетраподов CdTe. / «Фундаментальное материаловедение и наноматериалы»/ Московский Государственный Университет им.М.В.Ломоносова, Факультет наук о материалах, Москва, Россия 2009 г. <http://www.lssm.inorg.chem.msu.ru/pDirin.html>
4. S. Otajonov, T. Ahmedov, Ya. Usmonov, M. Khalilov, N. Yunusov. Optical properties of polycrystalline films of lead telluride with distributed stoichiometry // journal of physics: Conf. ser....
5. А.Г. Витухновский А.С. Шульга С.А. Амброзевич Е.М. Хохлов Р.Б. Васильев Д.Н. Дирин В.И. Юдсон. Влияние разветвления тетраподных нанокристаллических гетероструктур CdTe/CdSe на их люминесценцию. /Физика Буквы А/ Том 373, выпуск 26 , 15 июня 2009 г., страницы 2287-2290. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375960109005350?via%3Dihub>
6. E.Gaubas, T. Ceponis, D. Dobrovolskas, J. Mickevicius, N. Alimov, S. Otajonov. Study of polycrystalline CdTe films by contact and contactless pulsed photo-ionization spectroscopy // J. Thin Solid films 660 june 2018 pp. 231-235. Doi
7. Роман Б. Васильев, Дмитрий Н. Дирин, Александр Михайлович Гаськов. Влияние температуры на рост коллоидных нанотетраподов CdTe. Менделеевские сообщения. Том 19, выпуск 3 , май – июнь 2009 г., страницы 126–127.<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959943609000649?via%3Dihub>
8. C.Li, J.Poplawsky, Y. Yans, S.J. Pennycook, Understanding individual defects in CdTe thin-film solar cells via STEM: from atomic structure to electrical activity, Mater.Sci. Semicond. Process. 65 (2017) 64-76.
9. T. Okamoto, A. Yamada, M. Konagai, Optical and electrical characterizations of highly efficient CdTe thin film solar cells, Thin Solid Films 387 (2001) 6-10