

12-15-2019

## INFLUENCE OF DOSE $\gamma$ - IRRADIATION ON THE CURRENT TRANSFER MECHANISM OF PHOTOSCEPTORS WITH SDS STRUCTURE pCdTe-TeO<sub>2</sub>-n SnO<sub>2</sub>

Sharifa Bekmuradovna Utamuradova

*Research Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the NUUz, Tashkent, Uzbekistan.,*  
sh-utamuradova@yandex.ru

Sultanpasha Anvarovna Muzafarova

*Physical-Technical Institute NGO «Physics–Sun» of ASUz, Tashkent, Uzbekistan*

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

---

### Recommended Citation

Utamuradova, Sharifa Bekmuradovna and Muzafarova, Sultanpasha Anvarovna (2019) "INFLUENCE OF DOSE  $\gamma$  - IRRADIATION ON THE CURRENT TRANSFER MECHANISM OF PHOTOSCEPTORS WITH SDS STRUCTURE pCdTe-TeO<sub>2</sub>-n SnO<sub>2</sub>," *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*: Vol. 1 : Iss. 6 , Article 10.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/semiconductors/vol1/iss6/10>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact [sh.erkinov@edu.uz](mailto:sh.erkinov@edu.uz).

УДК 621. 315. 592

**ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ  $\gamma$  - ОБЛУЧЕНИЯ НА МЕХАНИЗМ ПЕРЕНОСА ТОКА  
ФОТОПРИЕМНИКОВ С ПДП СТРУКТУРОЙ pCdTe-TeO<sub>2</sub>-n SnO<sub>2</sub>**

**Утамуродова Шарифа Бекмуродовна\***, д.ф.-м.н. (DSc), профессор, директор НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз, Ташкент, Узбекистан.

e-mail: [sh-utamuradova@yandex.ru](mailto:sh-utamuradova@yandex.ru)

**Музафарова Султанпаша Анваровна**, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник Физико-технического института НПО «Физика-Солнце» АН РУз, Ташкент, Узбекистан.

e-mail: [samusu@rambler.ru](mailto:samusu@rambler.ru)

**Аннотация.** В настоящей работе исследованы структуры полупроводник-диэлектрик-полупроводник типа pCdTe-TeO<sub>2</sub>-n SnO<sub>2</sub> на основе тонких пленок pCdTe, имеющих столбчатую структуру с размерами зерен 100 ÷ 150  $\mu\text{m}$ . Сопротивление пленок pCdTe  $\rho \approx 10^2 \div 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ , толщина составляла  $d \approx 70 \div 100 \mu\text{m}$ . Слои SnO<sub>2</sub> n-типа наносились методом магнетронно-ионного распыления. Фоточувствительную структуру pCdTe-TeO<sub>2</sub>-n SnO<sub>2</sub> можно широко использовать в качестве датчиков для регистрации рентгеновского и гамма-излучений.

**Ключевые слова:** Облучение, радиация, структура, плёнка, промежуточный слой, рекомбинация, дефекты.

**INFLUENCE OF DOSE  $\gamma$  - IRRADIATION ON THE CURRENT TRANSFER  
MECHANISM OF PHOTOSCCEPTORS WITH SDS STRUCTURE pCdTe-TeO<sub>2</sub>-n SnO<sub>2</sub>**

**Utamuradova Sharifa Bekmuradovna\***, Dr. of Phys.-Math. Sc., Professor, Director of the Institute of Semiconductor Physics and Microelectronics at the NUUZ, Tashkent, Uzbekistan.

e-mail: [sh-utamuradova@yandex.ru](mailto:sh-utamuradova@yandex.ru)

**Muzafarova Sultanpasha Anvarovna**, Cand. of Phys.-Math. Sc., Senior Researcher of the Physical-Technical Institute NGO «Physics–Sun» of ASUZ, Tashkent, Uzbekistan.

**Abstract.** In this paper, we investigated the semiconductor-dielectric-semiconductor structures of the pCdTe-TeO<sub>2</sub>-n SnO<sub>2</sub> type based on pCdTe thin films having a columnar structure with grain sizes of 100 ÷ 150  $\mu\text{m}$ . The resistance of the pCdTe films is  $\rho \approx 10^2 \div 10^3 \Omega \cdot \text{cm}$ , the thickness is  $d \approx 70 \div 100 \mu\text{m}$ . N-type SnO<sub>2</sub> layers were deposited by magnetron-ion sputtering. The photosensitive structure pCdTe-TeO<sub>2</sub>-n SnO<sub>2</sub> can be widely used as sensors for detecting X-ray and gamma radiation.

**Keywords.** Irradiation, radiation, structure, film, intermediate layer, recombination, defects.

**1. Введение**

Полупроводниковые соединения  $A^2B^6$  являются наиболее перспективными для изготовления неохлаждаемых полупроводниковых детекторов X,  $\gamma$  и других видов ядерных излучений. В процессе синтеза базового соединения крупноблочных поликристаллических CdTe-пленок из-за реиспарения легколетучего компонента Cd образуются свободные атомы

теллур  $-Te$  на поверхности, которые, взаимодействуя с остаточным кислородом  $O_2$  в реакторе, образует тонкие высокоомные диэлектрические слои диоксида теллура  $TeO_2$ , которые пассивирует поверхностные состояния в межзеренных границ [1-3]. Это приводит к снижению поверхностной рекомбинации и значительному росту времени жизни неравновесных носителей заряда до нескольких десятков микросекунд [4]. Пленки  $CdTe$  состоят из монокристаллов, разделенных высокоомными прослойками. Рекомбинационные постоянные в пленочных структурах  $CdTe$  исследовались в работе [5] и было установлено [6], что поликристаллические слои  $CdTe$  не уступают по транспортным свойствам высококачественным  $CdTe$ -монокристаллам. Прослойки между зёрнами в пленках  $CdTe$  со столбчатой структурой могут быть эффективными стоками различного типа дефектов [7].

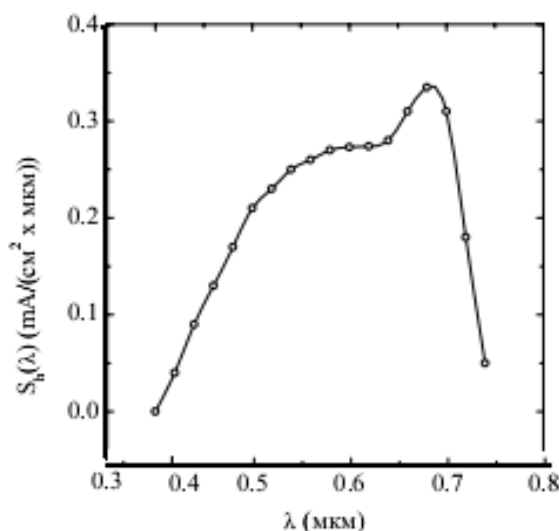
В связи с этим, целью настоящей работы являлось исследование влияния дозы  $\gamma$  - облучения на механизм переноса тока фотоприемников со структурой полупроводник-диэлектрик-полупроводник (ПДП) типа  $pCdTe-TeO_2-n SnO_2$ .

## 2. Результаты и их обсуждение

Для проведения исследований были изготовлены ПДП структуры  $pCdTe-TeO_2-n SnO_2$  методом, описанным в [8]. Тыльный контакт изготовлен из молибдена. Сопротивление пленок  $pCdTe$   $\rho \approx 10^2 \div 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , а толщина составляла  $d \approx 70 \div 100 \text{ мкм}$ . Пленка  $pCdTe$  состоит из блоков микрокристаллов со столбчатой структурой зёрен, ориентированных по направлению роста и разориентированных по азимуту. Размеры зёрен находятся в пределах от 100 до 150  $\mu\text{м}$ , так что зёрна охватывают всю толщину пленки. Прозрачные слои  $SnO_2$  наносились методом магнетронно-ионного распыления. При нанесении прозрачных слоёв  $n SnO_2$  [8,9] давление рабочего газа в системе магнетрона ( $1,33 \div 2,6$ )  $10^{-4}$  Па в атмосфере  $Ar$  с  $12 \div 15\%$   $O_2$ . Потребляемая мощность 4 Вт/см<sup>2</sup>. Время распыления 120 с. При этом фоточувствительная ПДП структура  $pCdTe-TeO_2-n SnO_2$  формируется в едином технологическом цикле. В таких структурах диэлектрический слой диоксид теллура  $TeO_2$  [7,8] имеет толщину  $(40 \div 50) \text{ \AA}$  [3]. Фронтальная часть структуры – оксидный слой  $SnO_2$  обладает прозрачностью  $T$  85%, удельным сопротивлением  $\rho = 5 \cdot 10^{-3} \text{ Ом см}$ , концентрацией и подвижностью соответственно  $N = 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ,  $\mu_n = 30 \div 35 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ . В процессе магнетронно-ионного распыления температура подложки была не более  $50^\circ\text{C}$ . После этого термическим испарением индия в вакууме  $\sim 10^{-5}$  торг был получен верхний токосъёмный контакт в форме Ш. При этом температура подложки  $70^\circ\text{C}$ , а значение давления остаточного газа порядка  $10^{-4}$  Па.

Спектральная чувствительность  $S_\lambda$  таких ПДП структур охватывает область длин волн спектра  $\lambda = (0.3 \div 0.8) \text{ мкм}$ .

На рис. 1 представлено спектральное распределение фоточувствительности структуры  $pCdTe-TeO_2-n SnO_2$ . Коротковолновый край фоточувствительности ( $S_\lambda$ ) уже при  $\lambda = 300 \div 400 \text{ нм}$  достигает  $0,1 \div 0,2 \text{ А/Вт}$ . Структуры при комнатной температуре обладают чувствительностью в области  $300 \div 850 \text{ нм}$ , максимальное значение  $S_\lambda = 0,35 \text{ А/Вт}$ , что соответствует  $\lambda = 750 \text{ нм}$ . Как видно из этих кривых спектрального распределения фоточувствительности, длинноволновый спад фоточувствительности соответствует энергиям квантов  $1,46 \text{ эВ}$ .



**Рис.1. Спектральная зависимость фоточувствительности  $S_{\lambda}$  от длин волн  $\lambda$  ПДП структур  $pCdTe-TeO_2-n SnO_2$ .**

Под воздействием радиации в фоточувствительных структурах возникают дефекты, которые по своей природе могут быть сложными [10], в конечном итоге они влияют на электрофизические и на фотоэлектрические свойства фоточувствительных структур.

В фоточувствительных ПДП структурах радиационные дефекты создаются, очевидно, по всей структуре. Однако, дефекты на границе диэлектрик – полупроводник, а также в базовом полупроводнике наиболее сильно влияют на электрические и фотоэлектрические свойства структур [9, 10]. Исследуемые структуры  $pCdTe-TeO_2-nSnO_2$  облучались  $\gamma$  - квантами ( $Co^{60}$ ) при температуре  $50^{\circ}C$  с помощью установки мощностью 1700 R/s и энергией квантов  $E \approx 1.2 MeV$ .

На рис. 1. приведена спектральная зависимость фоточувствительности  $S_{\lambda}$  от длин волн  $\lambda$  ПДП структур  $pCdTe-TeO_2-n SnO_2$  в зависимости от дозы облучения  $\gamma$  – квантами до  $10^0 R$ . На прямой ветви ВАХ ток при фиксированном значении напряжения ( $V = const$ ) до  $\Phi = 5 \cdot 10^8 R$  падает, а затем он вновь возрастает с увеличением дозы облучения.

Как видно, из рис. 2 и таблицы 1 до облучения прямая ВАХ описывается, в основном, двумя экспоненциальными зависимостями при комнатной температуре:

$$J = J_{01} \exp \frac{eV}{C_1KT} \quad (\text{где, } C = 2,8; J_{01} = 10^{-7} \text{ A/cm}^2)$$

$$J = J_{02} \exp \frac{eV}{C_2KT} \quad (\text{где, } C = 60; J_{01} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ A/cm}^2)$$

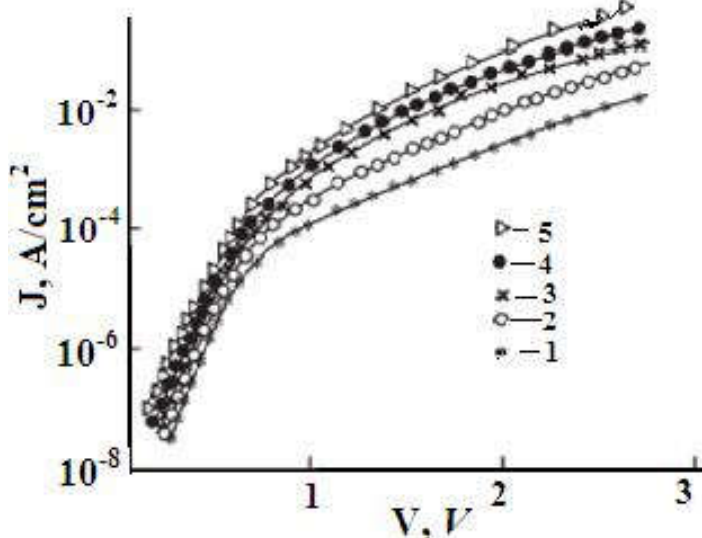
Из измерений ВАХ установлено, что на первом участке ток ограничивается рекомбинацией носителей тока через поверхностные состояния на границе раздела диэлектрик – полупроводник, а во второй рекомбинацией в базовом полупроводнике  $pCdTe$ .

Как следует из табл. 1, до дозы облучения  $\Phi = 10^7 R$  значения “С” и “ $J_{01}$ ” уменьшаются, затем начинают возрастать и при  $\Phi = 5 \cdot 10^8 R$ , приобретают наибольшее значение.

Таблица 1.

$\Phi, \text{P}$	$C_1$	$J_{01}, \frac{A}{\text{см}^2}$	$D_{SS}, \text{см}^2$ эВ	$C_2$	$J_{02}, \frac{A}{\text{см}^2}$	$\frac{d}{L}$	$L_n,$ мкм	$d,$ мкм	$\rho, \text{Ом}\cdot\text{см}$
0	2,8	$10^{-7}$		60,6	$8 \cdot 10^{-4}$	4,2	11,9	50	$1,5 \cdot 10^5$
$10^7$	2,1	$8 \cdot 10^{-8}$		33,3	$4 \cdot 10^{-5}$	3,6	13,9	50	$1,5 \cdot 10^6$
$10^8$	2,5	$1,09 \cdot 10^{-7}$	$4,5 \cdot 10^{-12}$	26,5	$1,5 \cdot 10^{-6}$	3,36	14,9	50	$3 \cdot 10^7$
$5 \cdot 10^8$	6,25	$1,6 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-13}$	61,7	$1,1 \cdot 10^{-5}$	4,21	11,9	50	$1,2 \cdot 10^7$
$10^9$	4,19	$2,7 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-12}$	46,3	$5,6 \cdot 10^{-5}$	3,93	12,7	50	$1,7 \cdot 10^6$

Как следует из табл. 1, до дозы облучения  $\Phi = 10^7 \text{ P}$  значения “С” и “ $J_{01}$ ” уменьшаются, затем начинают возрастать и при  $\Phi = 5 \cdot 10^8 \text{ P}$ , приобретают наибольшее значение. С дальнейшим ростом дозы облучения величина показателя экспоненты “С” вновь уменьшается. При облучении  $\gamma$  – квантами до  $10^7 \text{ P}$  появляются радиационные дефекты вблизи поверхностных состояний, которые нейтрализуются, по всей вероятности, как в диэлектрике, так и в приповерхностном слоя теллурида кадмия.



**Рис.2.** Прямая ветвь вольт-амперной характеристики для образца  $p\text{CdTe-TeO}_2\text{-}n \text{ SnO}_2$  до и после облучения с различными дозами  $\gamma$ -квантов: 1 – до облучения; 2 – после облучения с  $\Phi=10^7 \text{ P}$ ; 3 – после облучения с  $\Phi=10^8 \text{ P}$ ; 4 – после облучения с  $\Phi=5 \cdot 10^8 \text{ P}$ ; 5 – после облучения с  $\Phi=10^9$

С увеличением дозы облучения  $\gamma$  – квантами концентрация поверхностных состояний значительно увеличивается и ток через структуру определяется, в основном, рекомбинацией через эти центры. При этом показатель экспоненты описывается выражением (1):

$$C = \frac{\lambda}{C_{ox}} \left( \frac{E_n}{W} + qD_{SS} \right) \quad (1)$$

Концентрации поверхностных состояний при различных дозах облучения  $\gamma$  – квантами, вычисленные используя выражения (1) и экспериментальные значения “С”, приведены в

табл.1. В этом случае толщина диэлектрической прослойки  $\lambda = 100 \text{ \AA}$  и толщина объемного заряда  $W = 5 \cdot 10^{-4} \text{ см}$ .

Отметим, что величина  $D_{ss}$  до дозы облучения  $\Phi = 5 \cdot 10^8 \text{ Р}$  возрастает и при этом достигает максимальное значение  $D_{ss} = 2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \text{ эВ}^{-1}$ , что соответствует результатам, полученным из емкостных измерений. При дозах облучения с дозой  $\Phi = 10^9 \text{ Р}$  по всей вероятности, величина  $D_{ss}$  и концентрация дефектов в слое объемного заряда увеличиваются и вследствие этого вырастает вероятность туннелирования основных носителей - «дырок» через поверхностные состояния в проводящем вырожденном слое  $\text{SnO}_2$ . Об этом свидетельствует возрастание предэкспоненциального множителя  $J_0$  при больших дозах облучения. Например,  $J_{01} = 5.4 \cdot 10^{-6} \text{ А/см}^2$ , что на 2 – 2,5 порядка превышает плотность рекомбинационного тока. Что касается уменьшения значения “С” и “ $J_{01}$ ” после облучения  $\gamma$  – квантами с потоком  $\Phi = 10^7 \text{ Р}$  по сравнению со значениями “С” и “ $J_{01}$ ” до облучения, то оно связано с образованием дефектов, которые вместе с дефектами, внесенными технологией, образуют донорно – акцепторные пары. Если эти радиационные дефекты создаются и вблизи границы раздела диэлектрик – полупроводник, то они могут перезаряжать поверхностные состояния и уменьшить их концентрация в заряженном состоянии [7].

Дефекты, созданные воздействием  $\gamma$  – квантов в толще базового полупроводника, могут привести к изменению рекомбинационных постоянных и сопротивления этого материала. Чтобы выяснить насколько изменяются кинетические параметры и удельное сопротивление полупроводника при облучении  $\gamma$  – квантами, изучен второй участок прямой ветви ВАХ в зависимости от дозы облучения. Вычисленные значения  $d/L_n$ ,  $L_n$  и  $\rho$  – базы при  $\Phi = 14,9 \text{ мкм}$ . С дальнейшим ростом дозы облучения  $\gamma$  – квантами длина диффузии неосновных носителей уменьшается при  $\Phi = 5 \cdot 10^8 \text{ Р}$  и пройдя через минимум, она вновь возрастает.

Результаты проведенных исследований показывают, что относительно при малых дозах облучения до  $\Phi = 10^7 - 5 \cdot 10^8 \text{ Р}$  в базе создаются дефекты донорного типа, а с дальнейшим ростом дозы облучения образуются дефекты акцепторного типа. Анализ влияния радиации на обратную ветвь ВАХ показывает, что величина тока при фиксированном напряжении ( $V = \text{const}$ ) возрастает до  $\Phi = 10^7 \text{ Р}$ , затем с дальнейшим увеличением дозы облучения начинает падать. Проходя через минимум при  $\Phi = 10^8 \text{ Р}$  значения, тока вновь начинает расти. До облучения обратная ВАХ состоит из двух участков  $J - V$ ,  $J - V^2$ . линейный участок переходит в квадратичную зависимость при значении напряжения  $V = 0,5 \text{ В}$ . С ростом дозы облучения эта переходная точка сдвигается в сторону больших напряжений. При  $\Phi = 5 \cdot 10^8 \text{ Р}$  обратная ВАХ до 10 В целиком описывается линейной зависимостью.

### 3. Заключение

Динамика изменения значения обратного тока с дозой облучения  $\gamma$  – квантами ( $\Phi$ ) также свидетельствует о возможности образования двух типов радиационных дефектов. При дозе облучения  $\Phi = 10^9 \text{ Р}$  обратный ток, найденный экстраполяцией при  $V \rightarrow 0$  на ось ординат, равен  $1,2 \cdot 10^{-4} \text{ А/см}^2$ , что почти на четыре порядка превышает значения генерационного тока.

Исследования  $\gamma$  – облучения на ПДП структур типа  $p\text{CdTe}-\text{TeO}_2-n \text{ SnO}_2$  показывают, что при облучении  $\gamma$  – квантами до дозы  $\Phi = 10^7 \text{ Р}$  в диэлектрике диоксида теллура  $\text{TeO}_2$  и на

границе раздела диэлектрик -  $TeO_2-SnO_2$  - полупроводник в структурах типа  $pCdTe-TeO_2-n SnO_2$  образуются радиационные дефекты донорного типа, а при дозах облучения  $\Phi = 5 \cdot 10^8 - 10^9$  Р преимущественно возникают дефекты акцепторного типа. Изготовленные фоточувствительные ПДП структуры типа  $pCdTe-TeO_2-n SnO_2$  на основе поликристаллического соединения pCdTe можно широко использовать в качестве источников энергии и датчиков различного назначения.

### References

1. Boyko B.T., Kopach V.R. et al. Helioelectronics. Structure and properties of film heterosystems with a layer of cadmium telluride. 1983. No. 6. pp. 7-10.
  2. Elina A., Asano A., Takahashi T.J. Phys. Rev. B. 1980. V. 22. N. 4. pp. 1980-1991
  3. Gorshkov A.V., Zaitov F.A., Mirsagatov Sh.A. et al. Reports of the Academy of Sciences of Azerbaijan. SSR. 1981. vol. 37. No. 11. pp. 31-32.
  4. Achilov A.S., Kobulov R.R., Mirsagatov Sh.A. *Mekhanizmy perenosa toka v CdTe-detektornykh strukturakh s bar'erom Shottki na osnove plenok s ortogonal'nymi podlozhke kristallitami* [Transfer mechanisms current in CdTe-detector structures with a Schottky barrier based on films with crystallites orthogonal to the substrate]. *Mezhdunarodnaya konferentsiya «Fundamental'nye i prikladnye voprosy fiziki»* [International conference "Fundamental and applied problems of physics"], Physical-Technical Institute NGO «Physics-Sun» of ASUZ, Tashkent, June 13-14, 2017, pp. 214-219. (In Russ.)
  5. Gyaryagydyev G., Lyubchenko A.V., Sytko S.A. *Fotoelektricheskie yavleniya v poluprovodnikakh* [Photoelectric phenomena in semiconductors], USSR Academy of Sciences. Scientific council on the problem "Physics and chemistry of semiconductors". Abstracts of the 2<sup>nd</sup> scientific conference. Ashgabat, October 23-25, 1991. Ashgabat, Ylym, 1991. pp. 41-42. (In Russ.)
  6. Achilov A.S., Kobulov R.R., Mirsagatov Sh.A. *Issledovanie energeticheskoi razreshayushchei sposobnosti CdTe – detektora s bar'erom Shottki. Issledovanie shumovykh i amplitudnykh kharakteristika CdTe – detektorov s bar'erom Shottki.* [Study energy resolution of CdTe - barrier detector Schottky. Study of noise and amplitude characteristics of CdTe - detectors with Schottky barrier]. 7<sup>th</sup> International Conference on Physical Electronics IPEC-7, Tashkent, May 18-19, 2018 pp. 163, 1647. (In Russ.)
  7. Mirsagatov Sh.A. *Elektronnye protsessy v SiC i CdTe-strukturakh* [Electronic processes in SiC and CdTe structures]. Doct. dis. Baku, 1988.
  8. S.A. Muzafarova Photovoltaic devices based on CdTe. Proceedings of the Conference dedicated to the 60th anniversary of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan and the Physico-Technical Institute, Tashkent, 2003, pp. 386-388.
  9. Mirsagatov Sh.A., Muzafarova S.A., Achilov A.S., Movlonov A.A. *Issledovanie promezhutochnykh sloev dioda s bar'erom Shottki Al-pCdTe-Mo* [Investigation of intermediate layers of a diode with a Schottky barrier Al-pCdTe-Mo]. Physical engineering of the PSE surface. Kharkov, 2012, vol. 10, No. 1, pp. 78-84. (In Russ.)
  10. Dell R.O., Serreze H.B., Wold F.V., A new logic of CdTe solar cell. Conf. Res. 11<sup>th</sup> IEEE Photo volt Spec Conf. New York 1975, pp 497-502.
-