

12-1-2020

## PREPARATION BY THERMOVACUUM EVAPORATION OF FILM HETEROSTRUCTURE n-CdS / p-CdTe WITH ANOMALOUS PHOTOELECTRIC PROPERTIES

O M. Mamatov

*Ferghana Polytechnic Institute. Ferghana, Uzbekistan. olmosbek\_85@umail.uz, radiofizik2012@mail.ru*

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

---

### Recommended Citation

Mamatov, O M. (2020) "PREPARATION BY THERMOVACUUM EVAPORATION OF FILM HETEROSTRUCTURE n-CdS / p-CdTe WITH ANOMALOUS PHOTOELECTRIC PROPERTIES," *Scientific-technical journal*: Vol. 3 : Iss. 5 , Article 1.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol3/iss5/1>

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).

УДК. 538.975

**PREPARATION BY THERMOVACUUM EVAPORATION OF FILM HETEROSTRUCTURE n-CdS / p-CdTe WITH ANOMALOUS PHOTOELECTRIC PROPERTIES**

Mamatov O.M.

Ferghana Polytechnic Institute. Ferghana, Uzbekistan. [olmosbek\\_85@umail.uz](mailto:olmosbek_85@umail.uz)**ПОЛУЧЕНИЕ МЕТОДОМ ТЕРМОВАКУУМНОГО ИСПАРЕНИЯ ПЛЕНОЧНОЙ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ n-CdS/p-CdTe С АНОМАЛЬНЫМИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ**

Маматов О.М.

Ферганский политехнический институт. Фергана, Узбекистан. [olmosbek\\_85@umail.uz](mailto:olmosbek_85@umail.uz)**ТЕРМОВАКУУМ БУҒЛАТИШ УСУЛИ БИЛАН АНОМАЛ ФОТОЭЛЕКТРИК ХУСУСИЯТ ЭГА БЎЛГАН ЮПҚА ПЛЕНКАЛИ n-CdS/p-CdTe ГЕТЕРОСТРУКТУРА ОЛИШ**

Маматов О.М.

Фарғона политехника институти. Фарғона, Ўзбекистан. [olmosbek\\_85@umail.uz](mailto:olmosbek_85@umail.uz)

**Abstract.** An original thermal vacuum technology is proposed for obtaining an n-CdS / p-CdTe film heterostructure with anomalous photovoltaic and photoresistive properties. It is shown that when a CdS photoresistor is illuminated by illumination from the region of its own absorption ( $h\nu \geq 2.5$  eV), the photoelectric properties of the active CdTe layer are significantly modulated. This undoubtedly opens up new applied possibilities of this structure in the field of photonics and film optoelectronics.

**Key words:** thermal vacuum technology, n-CdS/p-CdTe film heterostructure, anomalous photovoltaic effect, photoresistor, electron micrograph.

**Аннотация.** Предлагается оригинальная термовакuumная технология получения пленочной гетероструктуры n-CdS/p-CdTe с аномальными фотовольтаическими и фоторезистивными свойствами. Показано, что при освещении фоторезистора CdS подсветкой из области его собственного поглощения ( $h\nu \geq 2,5$  эВ) фотоэлектрические свойства активного слоя CdTe существенно модулируются. Это, безусловно, открывает новые прикладные возможности данной структуры в области фотоники и пленочной оптоэлектроники.

**Ключевые слова:** термовакuumная технология, пленочная гетероструктура n-CdS/p-CdTe, аномальный фотовольтаический эффект, фоторезистор, электронная микрофотография.

**Аннотация.** Аномал фотовольтаик ва фоторезистив хусусиятли n-CdS/p-CdTe юпқа пленкали гетероструктура олишининг оригинал термовакuum тнехнологияси ишлаб чиқилган. Фоторезистор CdS қатламни хусусий ютилиши спектрал соҳасидаги қўшимча ёруғлик билан ёритилганда CdTe фаол қатламнинг фотоэлектрик хосалари кучли модуляцияланиши кўрсатилган. Бу сўзсиз, ушбу структуранинг фотоника ва юпқа пленкали оптоэлектроника соҳасидаги янги амалий имкониятларини очади.

**Таянч сўзлар:** термовакuumли технология, юпқа пленкали n-CdS/p-CdTe гетероструктура, аномаль фотовольтаик эффект, фоторезистор, электрон микрофотография.

**Введение.** Аномальный фотовольтаический (АФВ) эффект тесно связан со структурно-чувствительными свойствами полупроводников и проявляется в виде генерации аномально больших фотонапряжений (АФН, порядка  $10 \div 10^4$  В/см), как правило, в специально косонапыленных тонких пленках с толщиной  $d \leq 1$  мкм на диэлектрической подложке при возбуждении светом из спектральной области собственного и примесного поглощения [1-3] (см. также показанные в них библиографии). К настоящему времени в литературе накоплен значительный экспериментальный материал по изучению АФВ свойства пленок из *CdTe*. Так, детально исследованы влияние технологических параметров на изменение полярности фото-ЭДС, на угловые, спектральные, люкс-вольтовые, температурные и другие характеристики тонких слоев со стехиометрическим составом и с нарушенной стехиометрией, а также возможности их применения в оптоэлектронике. Однако до сих пор процессы формирования и разрушения АФН в зависимости от конкретных структурных неоднородностей, таких, как собственные дефекты решетки, пористость, границы зерен, наличие интерфейсного слоя между зернами и поверхностных уровней адекватно не рассматривались. В работах [4-6] с участием авторов данной статьи разработан оригинальный метод технологии получения тонких поликристаллических пленок *CdTe* с АФВ свойством. Сначала путем термовакуумного косонапыления в квазизамкнутом объеме на стеклянной подложке выращены поликристаллические слои *CdTe*, генерирующие АФН при  $T=300$  К с максимальным значением  $V_{АФН} \sim (600 \div 700)$  В/см при интенсивности  $\sim 10^4$  лк освещения лампы накаливания. Затем часть из этих образцов легированы примесями *In* методом ионной имплантации, в результате чего у них  $V_{АФН}$  падало до 150-300 В/см, а после термической обработки этих пленок в вакууме при  $T \approx 600$  К в течение 10-20 мин,  $V_{АФН}$  сильно возрастало и достигало до значений  $\sim 3000$  В/см.

На основе анализа литературных данных [1-12] естественным образом возникает заманчивая идея создания оптоэлектронного прибора из пленочной гетероструктуры, функционирующего на основе одновременного использования фотопроводимости и АФВ эффекта в тонких поликристаллических пленках. Для такой цели подходящими полупроводниковыми материалами являются халькогениды кадмия. Так, поликристаллические пленочные структуры из халькогенидов кадмия отличаются высокой фоточувствительностью, обусловленной наличием специфических фотоочувствляющих локальных центров и особыми электронными свойствами зернограничной поверхности. Подробно исследованы фотопроводимость пленок *CdS*, *CdTe* и АФВ свойства косонапыленной пленки из *CdTe*. В последнее время постоянно растет интерес к исследованию пленочной гетероструктуры *CdS/CdTe* [7-12] в качестве эффективного солнечного элемента. Как с физической, так и с прикладной точки зрения для оптоэлектроники и фотоники представляет большой интерес интегральная пленочная гетеросистема, состоящая из высокочувствительного фоторезистивного слоя *CdS* на прозрачной проводящей подложке и пленки *CdTe* в виде верхнего сэндвич-слоя с АФВ свойством. Заведомо при определенном оптимальном условии технологии получения в такой активной пленочной гетероструктуре *CdS/CdTe* путем модуляции фотопроводимости *CdS* с помощью дополнительной подсветки будет возможным осуществить целенаправленное оптическое управление АФВ параметрами пленки *CdTe*, что позволяет использовать её в качестве оптического модулятора, фототранзистора, фотопереклювателя, элементов памяти и т.п.

Целью данной работы заключается в разработке методом термовакуумного испарения оригинальной технологии получения пленочной гетероструктуры *n-CdS/p-CdTe* с фоторезистивными и АФВ свойствами для дальнейшего изучения её электрических, фотоэлектрических и оптических характеристик, а также принципиальной возможности изготовления на её основе новых оптоэлектронных приборов, в частности пленочного

эффективного солнечного элемента.

**Технология получения плёночной гетероструктуры  $n\text{-CdS}/p\text{-CdTe}$  с аномальными фотовольтаическими и фоторезистивными свойствами.** Основная задача технологии заключалась в том, что, во-первых, на чистой прозрачной подложке методом термического испарения в вакууме необходимо было выращивать тонкий поликристаллический слой  $n\text{-CdS}$  ( $d \approx 0.3\text{-}0.5$  мкм) с достаточно высокой фотопроводимостью, причем его темновое сопротивление было существенно больше сопротивления слоя  $\text{CdTe}$  ( $d \leq 1$  мкм). Во-вторых, не изменяя степени вакуума, на поверхность свежеприготовленного слоя  $n\text{-CdS}$  следует напылять слой  $p\text{-CdTe}$ , обладающим заметным АФВ свойством. Предварительные исследования показали, что для получения резкой пленочной гетероструктуры  $n\text{-CdS}/p\text{-CdTe}$  с нужными фоторезистивным и АФВ свойствами, известные методы изготовления пленок [1-6] оказались непригодными. Слой  $\text{CdTe}$ , выращенный таким способом на фотопроводящем слое  $\text{CdS}$ , порой не обнаруживал заметные АФВ свойства. Выяснилось, что при этом определяющими варьирующими факторами для изготовления интегральной гетеросистемы  $n\text{-CdS}/p\text{-CdTe}$  с необходимыми фоточувствительными параметрами являются относительное сопротивление, направление роста кристаллических зерен и толщины слоев  $\text{CdS}$  и  $\text{CdTe}$ .

После неоднократных тщательных опытов все таки удалось формировать гетероструктуру  $n\text{-CdS}/p\text{-CdTe}$  (рис.1) с указанными выше свойствами в едином технологическом цикле методом своеобразного последовательного напыления порошкообразного  $\text{CdS}$  и  $\text{CdTe}$  с маркой «для полупроводников» на прозрачные стеклянные подложки (1) в вакууме с давлением остаточных газов  $p \approx 10^{-2} - 10^{-3}$  Па. Сначала при температуре подложки  $573 - 623$  К под углом  $\alpha_1 = 40\text{-}60^\circ$  относительно нормали поверхности подложки через специальные маски осаждался слой  $\text{CdS}$  (2) площадью  $20 \times 5$  мм<sup>2</sup> и толщиной  $0,2\text{-}0,4$  мкм. Затем очувствляли его последующим термическим отжигом в вакууме при  $T = 773\text{-}823$  К в течение  $10\text{-}15$  мин. Темновое сопротивление пленки  $\text{CdS}$  с электронной проводимостью достигало до значений  $R \approx 10^{12}$  Ом, а кратность  $K = R_{\text{тем}} / R_{\text{св}}$  изменения сопротивления под действием освещения – до  $K \approx 10^2\text{-}10^3$  отн. ед. Согласно электронным микрофотографиям поперечного скола (рис. 2) и поверхности, выращенный слой  $\text{CdS}$  имел столбчатую структуру без пор, размеры кристаллических зерен вдоль поверхности подложки оказались порядка  $d_{\text{кз}} \approx 0.3\text{-}0.5$  мкм.

Во второй стадии выращивания структуры, не разрушая достигнутый вакуум, непосредственно на поверхность фоторезистивной пленки  $n\text{-CdS}$  также через маски осаждали слой  $p\text{-CdTe}$  (3 на рис.1) толщиной  $d_{\text{пл}} = 0.5\text{-}0.8$  мкм со скоростью  $1.5\text{-}2.0$  Å/с под углом  $\alpha = -(50\text{-}30^\circ)$  при температуре подложки  $T_{\text{п}} = 423\text{-}573$  К. Следовательно, по условиям настоящей технологии, направления молекулярных пучков  $\text{CdS}$  и  $\text{CdTe}$  в направлении к подложке расходились на угол  $\sim 90^\circ$ . Не соблюдение этого угла также, как и увеличение  $T_{\text{п}}$  и  $d_{\text{пл}}$ , приводило к падению максимального значения  $V_{\text{АФВ}}$ , генерируемое слоем  $\text{CdTe}$  при освещении лампой накаливания. Заметная генерация фотонапряжения происходила лишь в тех случаях, когда темновое сопротивление слоя  $n\text{-CdS}$  существенно превосходило световое сопротивление АФВ слоя  $p\text{-CdTe}$ . Верхние омические контакты (4 на рис.1) образовались путем напыления  $\text{Ag}$  в виде полосок через маски. Активная площадь гетероструктуры  $n\text{-CdS}/p\text{-CdTe}$  составляла  $50\text{-}80$  мм<sup>2</sup>. Стехиометрический состав пленок достигался путем

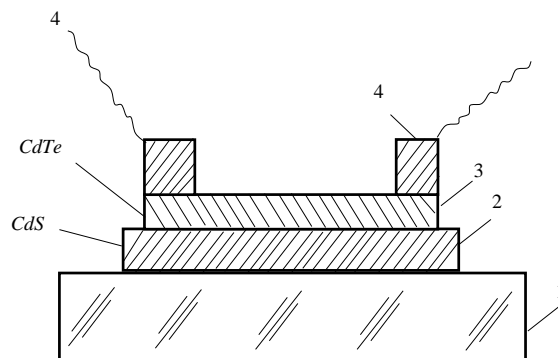


Рис.1. Схематический вид пленочной гетероструктуры  $n\text{-CdS}/p\text{-CdTe}$  на прозрачной стеклянной подложке (1): 2- фоторезистор  $\text{CdS}$ , 3- фотовольтаический слой  $\text{CdTe}$ , 4- токосъемные омические контакты.

предварительного препарирования шихты при закрытой шторе между подложкой и лодочкой, контролируемой последующей обработкой спектров рентгеноструктурного анализа на установке DRON-3.

Результаты электронномикроскопических исследований также показывают, что отжиг пленок приводит к изменению размеров кристаллитов. Из представленных на рисунке 2 а,б микрофотографий поверхности и поперечного скола очувствленной пленки CdTe в гетероструктуре n-CdS/p-CdTe, полученных при температуре подложки  $T_{\text{п}}=523$  К и 573 К видно, что увеличение  $T_{\text{п}}$  приводит к увеличению размеров зерен за счет других зерен, спрямлению границ и приглаживанию углов стыка. Значение размера зерен для пленок CdTe, полученных при  $T_{\text{п}}=523$  К, составляет порядка 1.0-1.5 мкм, а при  $T_{\text{п}}=573$  К – 1.5-2.0 мкм. Из рисунков также видно, что столбчатая структура распространяется в ряде случаев на всю толщину пленки. Однако следует отметить, что хотя визуально наблюдаемое по фрактограммам поперечное строение является монолитным, но на самом деле среднее значение областей когерентного рассеяния намного меньше, что установлено результатами рентгеноструктурного исследования.

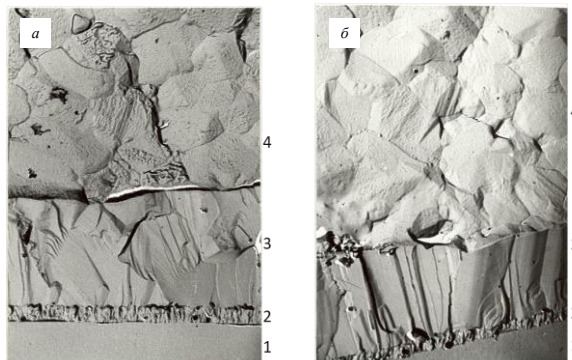


Рис.2. Электронные микрофотографии поперечного скола пленочной гетероструктуры n-CdS/p-CdTe со стороны поверхности пленки CdTe, полученных при температуре подложки  $T_{\text{п}}=523$  К (а) и  $T_{\text{п}}=573$  К (б). 1- стеклянная подложка, 2-слой CdS, 3-слой CdTe, 4- поверхность CdTe.

В пленочной гетероструктуре n-CdS/p-CdTe, изготовленной по описанной выше технологии, основным рабочим элементом является фотоприемник p-CdTe. В комнатной температуре, при фронтальном стационарном освещении светом с длиной волны в интервале  $600 \leq \lambda \leq 800$  нм и интенсивностью  $L \approx 10^5$  лк, он генерировал фотонапряжение  $V_{\text{АФВ}} \approx 200$  В. При дополнительной тыловой (т.е. со стороны подложки) подсветке в спектральной области  $\lambda \leq 500$  нм уже при  $L_{\text{nc}} \approx 1$  лк фотонапряжение  $V_{\text{АФВ}}$  заметно падает, а при  $L_{\text{nc}} \approx 10^5$  лк - практически исчезает. Отметим, что аналогичным АФВ свойством с фоторезистивной модуляцией обладала и, другая, изотипная гетероструктура n-CdS/n-CdTe:In с индиевыми омическими контактами. При этом АФВ слой CdTe:In получали дополнительной термической обработкой в вакууме или на воздухе в присутствии молекул CdCl<sub>2</sub>, приводящей к увеличению размеров кристаллитов и росту доли кубической модификации.

В заключение следует отметить, что предложенная здесь оригинальная технология позволяет функционировать полученной пленочной гетероструктуры n-CdS/p-CdTe в поперечном режиме фотопроводимости, что актуально для создания тонкопленочного оптического модулятора, фототранзистора, фотопереклювателя и т.п. А в пленочном солнечном элементе гетероструктура n-CdS/p-CdTe работает в продольном режиме фотопроводимости, что требует включения дополнительного технологического процесса изготовления прозрачных омических контактов, к чему будет посвящена отдельная работа.

#### References

- [1] Yuldashev N.X., Vaytkus Yu.Yu., Otajonov S.M. Visokovoltный poverxnostnyy foto EDS v tonkix kosonapilennix plenках pri sobstvennom i primesnom fotovozbuzhdenii // UzFJ. 2004. №3(6). S.177-187.
- [2] E.I.Adirovich, E.M.Mastov, T.M.Mirzamaxmudov i dr. V sb.: Fotoelektricheskiye yavleniya v poluprovodnikax i optoelektronika. Pod redaksiyey akademika E.I. Adirovicha. – Tashkent: «Fan», 1972. – 343 s.
- [3] Atakulov B.A., Abdullayev E.A., Karimov M.A., Yuldashev N.X., Ergashev J. Texnologiya polucheniya fotoelektretov «bez vneshnego polya» na osnove AFN plenok CdTe:Ag i issledovaniye ix foto- i

**Materials of the V International Conference "Optical and photoelectrical phenomena in semiconductive micro- and nanostructures". Ferghana, November 13-14, 2020.**

---

- [4] tenzoelektricheskix svoystv // Perspektivi razvitiya i prakticheskoye primeneniye metodov tenzometrii pri issledovanii prochnosti konstruksiy. Chast I.: Materiali III Vsesoyuznogo nauchno - texnicheskogo seminarasoveshaniya. – Fergana: 1983. - S. 212 - 246.
- [5] Karimov M.A., Yuldashev N.X. Vliyaniye primesi indiya na fotovoltaicheskiye svoystva kosonapi-lennix plenok CdTe // Fizicheskaya injeneriya poverxnosti - Xarkov. 2006. -№1-2 (4). - S. 58-62.
- [6] Karimov M.A., Yuldashev N.X. Kosonapilennie plenki CdTe:In s anomalnimi fotovol-taicheskimi svoystvami // Izv. RAN. Seriya Fizicheskaya - Moskva. 2007. -№ 8. - S.1182-1185.
- [7] Patent RUz № IAP 05384 ot 10.03.2017 // Sposob polucheniya anomalno fotovoltaicheskix plenok. Axmadaliyev B.J., Karimov M.A., Mamatov O.M., Polvonov B.Z., Yuldashev N.X.
- [8] Tuteja M., Koirala P., Soares J., Collins R., Rockett A. Low temperature photoluminescence spectroscopy studies on sputter deposited CdS/CdTe junctions and solar cells // Journal of Materials Research. 2016. Vol.31, Issue 02, pp. 186-194. <https://doi.org/10.1557/jmr.2015.399>
- [9] L. Kosyachenko. Efficiency of thin-film CdS/CdTe solar cells. In Solar Energy, edited by: Radu D. Rugescu, 2010., pp. 105–130. [www.intechopen.com](http://www.intechopen.com)
- [10] T. M. Razykov, K. M. Kuchkarov, B. A. Ergashev, and Sh. A. Esanov. Fabrication of Thin-Film Solar Cells Based on CdTe Films and Investigation of Their Photoelectrical Properties. // Applied Solar Energy, 2020, Vol. 56, No. 2, pp. 94–98. / Russian Text © The Author(s), 2020, published in Geliotekhnika, 2020, No. 2, pp. 137–143. <https://link.springer.com/content/pdf/10.3103/S0003701X20020097.pdf>
- [11] M. Dharmadasa, P. Bingham, O. Echendu, H. Salim, and at. all. Fabrication of CdS/CdTe-based thin film solar cells using an electrochemical technique // Coatings, 4 (3) (2014), pp. 380-415. [www.mdpi.com/journal/coatings](http://www.mdpi.com/journal/coatings)
- [12] Mirsagatov SH.A., Kabulov R.R., Maxmudov M.A. Injeksionniy fotodiod na osnove geterostrukturi n-CdS/p-CdTe // FTP. 2013. T.47. Vip. 6. - S.815-820.
- [13] Xripunov G.S. Strukturnie mexanizmi optimizatsii fotoelektricheskix svoystv plenochnix geterosistem CdS/CdTe // FTP. 2005. T.39. Vip.10.SS. 1266-1270.