



ПОЛУЧЕНИЕ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ТИПА $\text{Cu}_{2-x}\text{Te-CdTe}$ МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ

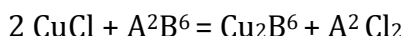
Т.Ахмедов

Доцент Ферганского государственного университета
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10060119>

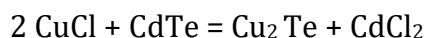
Аннотация. В данной статье рассмотрено получение тонкоплёночных фотопреобразователей типа $\text{Cu}_{2-x}\text{Te-CdTe}$ методом химического осаждения. Так же показано методы химического осаждения в растворе CuCl для получения фотопреобразователя на основе $\text{Si}_{2-x}\text{Te-CdTe}$. При получении плёнок полупроводников в квазизамкнутом объёме возможно уменьшить перепад температур между подложкой и испарителем.

Ключевые слова: термовакuum, низкоомный, фотовольтаический, фазовый состав, квазизамкнутый объём.

Наиболее простым и технологичным является химический способ создания солнечных фотопреобразователей на основе соединений A^2B^6 . Впервые солнечные элементы (СЭ) на основе соединений A^2B^6 (CdTe) химическим способом получил Кузано [2]. Он показал, что при погружении тонких слоёв p-CdTe в подогретый водный раствор CuCl на поверхности CdTe благодаря ионообменной реакции образуется тонкий слой теллурида меди- полупроводник p- типа проводимости. С тех пор этот метод успешно применяется и для других представителей соединений A^2B^6 . Суть метода такова, что при взаимодействии веществ группы A^2B^6 с водными растворами солей различных металлов могут образоваться на их поверхности новые фазы. Общую формулу реакции замещения можно записать в следующем виде:



Например, при создания гетероперехода $\text{Cu}_2\text{Te-CdTe}$ происходит следующая реакция:



Следует отметить, что исключительное большинство СЭ, полученных химическим способом на основе тонких плёнок соединений A^2B^6 , были изготовлены на базовых слоях полученных химической пульверизации, газотранспортным методом или вакуумным испарением в открытом объёме. Тогда по работы по созданию СЭ химическим способом на базе соединений A^2B^6 , полученных в результате вакуумного испарения в квазизамкнутом объёме, практически отсутствует.

В первом параграфе данной главе вы уже отмечали технологическое преимущество метода получения плёнок термовакuumной конденсации в квазизамкнутом объёме.

Поэтому огромный научный и практический интерес представляет получения СЭ химическим способом на основе соединений A^2B^6 , конденсированных в квазизамкнутом объёме и исследование их свойств. С этой целью мы получили СЭ $\text{Cu}_{2-x}\text{Te-CdTe}$, базовый материал для которых был получен в квазизамкнутом объёме.

Кратко опишем технологию получения СЭ химическим способом.

Насыщенный медью водный раствор хлорида меди изготовлялся следующим образом: в 200 мл, дистиллированной воде перемешали 5-6г порошка CuCl_2 . Для достижения нужной концентрации ионов меди раствор добавлялась концентрированная соляная кислота. Для разработки оптимальной технологии химического осаждения ГП на CdTe варьировались такие технологические факторы, как кислотность раствора (pH), его температура и время обработка.

На рис. показаны зависимость основных параметров ($U_{\text{хх}}$, $I_{\text{кз}}$)

$\text{Cu}_{2-x}\text{Te-CdTe}$ СЭ от кислотности раствора (а) и его температуры (б). Время обработки в обоих случаях составляет 5с, которое также установлено экспериментальным путём. Из рисунка видно, что как напряжение холостого хода, так и ток короткого замыкания достигают своих максимальных значений при кислотности раствора pH=6 и его температуре $\sim 80^\circ\text{C}$. Таким образом, оптимальным технологическим режимом для получения солнечных фотопреобразователей типа $\text{Cu}_{2-x}\text{Te-CdTe}$ является:

pH=6, $t=5\text{с}$, $t^0=80^\circ\text{C}$

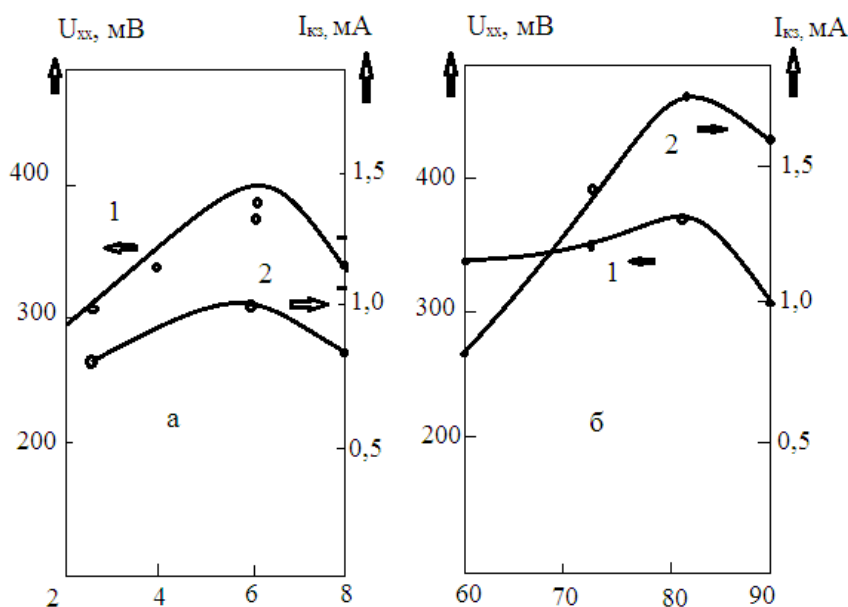


Рис. 1. Зависимость $U_{\text{хх}}$, $I_{\text{кз}}$ $\text{Cu}_{2-x}\text{Te-CdTe}$ СЭ от кислотности (pH) раствора CuCl_2 (а) и его температуры (б)

На качество р-п-перехода, а также на выходные параметры солнечных фотопреобразователей сильно влияет последовательное и шунтирующее сопротивление р-п-перехода. Поэтому для целенаправленного управления технологическим процессом с целью получения эффективных преобразователей солнечной энергии необходимо определить $R_{\text{п}}$ и $R_{\text{ш}}$ р-п-перехода и установить их связь с технологическими параметрами. Существуют различные методы по их определению. В работе дана методика определения вышеуказанных параметров по нескольким нагрузочным характеристикам, снятым в разных интенсивностях освещенности. В работе Евдокимова В.М. для определения $R_{\text{п}}$ и $R_{\text{ш}}$, n , I_0 используется одна экспериментальная нагрузочная характеристика. Для расчёта параметров используются следующие аналитические выражения:

$$R_{\Pi} = \frac{12P_0}{I_{k3}^2} - \frac{12P_1}{I_{k3}^3} - \frac{6U_{xx}}{I_{k3}} + 3\operatorname{tg}\alpha$$

$$n = \frac{eI_{k3}}{kT} (\operatorname{tg}\alpha - R_{\Pi}) = \frac{2e}{kT} (3U_{xx} + \frac{6P_1}{I_{k3}^2} - \frac{6P_0}{I_{k3}} - I_{k3}\operatorname{tg}\alpha)$$

$$\frac{1}{R_{\Pi}} = \frac{1}{U_{xx}^2} \left(10P_0 - \frac{12P_1}{I_{k3}} + I_{k3}^2\operatorname{tg}\alpha \right) - \frac{4I_{k3}}{U_{xx}}$$

$$I_0 = I_{k3} \exp\left(-\frac{eU_{xx}}{nkT}\right)$$

где P_0 – площадь под кривой в зависимости $I \sim f(u)$, P_1 – площадь под кривой в зависимости $IU \sim f(I)$, $\operatorname{tg}\alpha$ – наклон кривой $I \sim f(u)$. Вблизи напряжения холостого хода.

Преимуществом данной методики является то, что для определения основных параметров фотоэлемента используется одна нагрузочная ВАХ. Недостатком методик является трудоемкость определения P_0 и P_1 с достаточной точностью, которое занимает у экспериментатора намного больше времени, чем на сам эксперимент.

Нами разработана машинная программа для расчёта R_{Π} , R_{Π} , n и I_0 на языке «БЭЙСИК». Экспериментатору необходимо при наличии разработанной нами программы ввести в машину значение тока и соответствующее ему значение напряжения. За короткий промежуток времени машина даёт все искомые параметры фотоэлемента и форму нагрузочной характеристики. Ниже приводится данная программа.

Использованные литературы:

1. L.Leontie, V.Nedeff, I.Evtodiev, M Stamate. Photoelectric properties of Bi2O3/GaSe heterojunctions. February 2009 Applied Physics Letters 94(7):071903-071903-3. DOI:10.1063/1.3035854
2. V.N.Katerynychuk, Z.D.Kovalyuk, Z.Kudrynskyi. Photoelectric properties of n-ITO/p-GaTe heterojunctions. May 2015 Semiconductors 49(5):600-603. DOI:10.1134/S1063782615050085
3. Kangwei Cen, Shenlang Yan, Ning Yang, Xiansheng Dong, Luzhen Xie, Mengqiu Long, Tong Chen. The adjustable electronic and photoelectric properties of the WS2/WSe2 and WSe2/WTe2 van der Waals heterostructures. Vacuum. Volume 212, June 2023, 112020. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2023.112020>
4. Jianpei Wang, Haiying Yang, Ping Yang. Photoelectric properties of 2D ZnO, graphene, silicene materials and their heterostructures. Composites Part B: Engineering/ Volume 233, 15 March 2022, 109645.
5. A.Hendi, R.Alkhraif, H.Alshehri, F.AlKallas, M. Almoneef. Photovoltaic Performance of Thin-Film CdTe for Solar Cell Applications. Journal of Nanofluids / Vol. 10, pp. 91–97, 2021/ www.aspbs.com/jon
6. Intu Sharma, Bodh Raj Mehta. KPFM and CAFM based studies of MoS2 (2D)/WS2 heterojunction patterns fabricated using stencil mask lithography technique. Journal of Alloys and Compounds / Volume 723, 5 November 2017, Pages 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.06.203>
8. SM Otajonov, RN Ergashev, T Axmedov, Ya Usmonov, B Karimov. Photoelectric properties of solar cells based on pCdTe-nCdS and pCdTe-nCdSe heterostructures. Journal of Physics: Conference Series. 2022/12/1. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2388/1/012062/meta>

9. SM Otazhonov, RN Ergashev, KA Botirov, BA Qaxxorova, MA Xudoynazarova, NA Abdulkarimova. Influence of thickness and temperature on photoelectric properties of p-CdTe-nCdS and pCdTe-CdSe heterostructures. Journal of Physics: Conference Series. (2022, December). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/2388/1/012001>
10. I.Karimov S.M.Otajonov, R.N.Ergashev. Electrophysical and surface active properties of p-CdTe-nCDS and pCdTe-CdSe heterostructures with deep impurity levels. Modern trends in the development of semiconductor physics: achievements, problems and prospects. © Research Institute of FPM, 2022.
11. Tursunboy Axmedov, Siddikova Ranoxon Abdulxay qizi, Xusanova Lobarxon Murodovna //Basics of Wood Materials and Woodworking Technology// Texas Journal of Engineering and Technology. <https://zienjournals.com>. VOL. 9, JUNE, 2022. 100-102 pages.
12. Yakubjon Usmanov, Ikromova Komila Hamidullo qizi //Use of Innovative Technologies in Teaching Electrical Engineering// Texas Journal of Engineering and Technology. <https://zienjournals.com>. VOL. 9, JUNE, 2022. 97-99 pages.
13. Salim Madrahimovich Otajonov, Qaxxorova Barchinoy Abdiraximovna //Polymer and Composition Materials// Texas Journal of Engineering and Technology. <https://zienjournals.com>. VOL. 9, JUNE, 2022. 103-106 pages.
14. Otazhonov S.M., Yunusov N., Qakhkhorova B. //DEFORMATION CHARACTERISTICS OF PbTe-Te POLYCRYSTALLINE FILMS// SCIENCE AND WORLD International scientific journal № 3 (103), 2022. 27-31 page
15. Отажонов С.М., Юнусов Н., Қаххорова Б //ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК РbTe-Te// Деформационный наука и мир 2022 №3.
16. Qaxxorova Barchinoy Abdiraximovna, Ikromova Komila Hamidullo qizi, Nazirova Arofatxon Maxmudjon qizi //INNOVATIVE METHODS USED IN THE EDUCATIONAL PROCESS// IJODKOR O'QITUVCHI JURNALI. 5 IYUN / 2022 YIL / 19 – SON. 277-283 betlar.
17. Ikromova Komila Hamidullo qizi, Qaxxorova Barchinoy Abdiraximovna //MATERIALS SCIENCE AND ITS PROBLEMS// IJODKOR O'QITUVCHI JURNALI. 5 IYUN / 2022 YIL / 19 – SON. 288-292 betlar.
18. Otazhonov S.M., Botirov K.A., Khalilov M.M., Yunusov N //EFFECT OF DEFORMATION ON DEFECT MIGRATION IN PHOTSENSITIVE THIN FILMS CdTe: Ag AND PbTe// Science and World International scientific journal № 6 (94) июн 2021 ISSN 2308-4804 . IF 0,325 Pages 11-16
19. Отажонов С.М., Ахмедов Т., Усмонов Я., Ботиров К.А., Халилов М.М., Юнусов Н. //ВЛИЯНИЕ ВНУТРЕННЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК РbTe С ИЗБЫТКОМ ТЕЛЛУРА И СВИНЦА// Science and World International scientific journal. 2021. № 3 (91). 18-22 pages.
20. T Akhmedov , S M Otajonov, Ya Usmonov, M M Khalilov, N Yunusov and A K Amonov // Optical properties of polycrystalline films of lead telluride with distributed stichiometry// Journal of Physics Conference Series/ 1889(2021)022052 doi:10.1088/1742-6596/1889/2/022052. 1-8 pages.
21. Салим Мадрахимович Отажонов, Абдуқаҳор Маматбоқиевич Худойбердиев, Ботиров Қодир Абдуллаевич, Мухаммадмусо Мухаммаджонович Халилов, Нурзод Юнусов, Улугбек Мамажонов //Тензочувствительности полупроводниковых пленок с мелких и

глубоких

примесей при температуре жидким гелием// *Universum: технические науки*. 12-2 (69) 2019. 28-32 pages.

22. E Gaubas, T Šeponis, D Dobrovolskas, J Mickevičius, J Pavlov, V Rumbauskas, JV Vaitkus, N Alimov, S Otazonov //Study of polycrystalline CdTe films by contact and contactless pulsed photo-ionization spectroscopy// *Thin Solid Films*. 2018/8/30. 231-235 pages.

23. T Akhmedov, SM Otazonov, MM Khalilov, N Yunusov, U Mamadzhonov, NM Zhuraev //Effective dielectric permeability and electrical conductivity of polycrystalline PbTe films with disturbed stoichiometry// *Journal of Physics: Conference Series* 2021/12/1 052008/

24. Салим Отажонов, Кодир Ботиров, Пахлавон Мовлонов, Нурзод Юнусов //ИЗМЕНЕНИЕ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ $Cu_{2-x}Te-CdTe$ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРОБОТКЕ// *InterConf* 2021/2/12/

25. SM Отажонов, МХ Рахмонкулов, ПИ Мовлонов, Н Юнусов //Влияние термообработки на фотоэлектрические свойства гетероструктуры $Cu_{2-x}Te-CdTe$ // *Science*, 2021. 89.

26. Салим Отажонов, Кодир Ботиров, Бахтиёр Раззоков, Нурзодбек Юнусов //ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОПЕРЕХОДА $Cu_{2-x}Te-CdTe$ // *InterConf* 2020/12/12.

27. S Otazonov, N Alimov, P Movlonov, K Botirov //CdTe-SiO₂-Si-Al HETEROSTRUCTURE PHOTSENSITIVITY CONTROL WITH DEEP IMPURITY LEVELS UNDER EXTERNAL FACTORS// *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*. 05.2020. 5

28. Салим Отажонов, Кодир Ботиров, Мухаммадмусо Халилов //СТАБИЛИЗАЦИЯ ТЕНЗОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК PbS ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ// *Science and World International scientific journal*. 2020/8. 11-16 pages.

29. Салим Отажонов //Изучение деформационных эффектов в нанокристаллических фоточувствительных активированных тонких пленках $p-CdTe$ // *Журнал физики и инженерии поверхности*. 02.2016

30. ЮЮ Вайткус, НХ Юлдашев, SM Отажонов //О механизме образования высоковольтной фото-ЭДС в тонких косонапыленных пленках CdTe: Ag при собственном и примесном поглощении// *Физическая инженерия поверхности*. 2005.

