



ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕТЕРОПЕРЕХОДА $Cu_{2-x}Se$ - $CdSe$

К.А.Ботиров

Ферганский государственный университет

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10060133>

Аннотация. В этой главе представлены результаты исследования прямых и обратных ветвей вольт-амперных характеристик, вольт емкостных исследований, нагрузочных и спектральных характеристик солнечных фотопреобразователей на основе гетеро структур $Cu_{2-x}Se$ - $CdSe$. Исследованные образцы солнечных элементов не имели токоёмных контактных сеток в $Cu_{2-x}Se$. Для проведения электрических и фотоэлектрических свойств солнечных элементов использовали точечный контакт, нанесенный на поверхность теллурида меди серебряной пастой.

Ключевые слова: вольт-амперных характеристики, токопрохождения, солнечный элемент, сопротивление.

Исследование вольт-амперных характеристик ГП при различных температурах и освещенности даёт ценные сведения о качестве ГП и механизме токопрохождения.

Теоретическая темновая вольт-амперная характеристика р-п-перехода в большинстве случаев выражается следующим образом

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{eU}{kT} \right) - 1 \right], \quad (1)$$

где I_0 – обратный ток насыщения, e -заряд электрона, U -приложенное внешнее напряжение, k -постоянная Больцмана, T -абсолютная температура.

Однако, как показывают экспериментальные результаты, для объяснения механизма переноса носителей заряда в большинстве ГП вышеуказанная формула является непригодной. Поэтому при интерпретации результатов вольт-амперной характеристики в реальных полупроводниковых структурах, в частности и в ГП, используется выражение типа (1) с поправками n в показателе экспоненты

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{eU}{nkT} \right) - 1 \right] \quad (2)$$

где n – диодный фактор, учитывающий расхождение теории с экспериментом.

Теория утверждает, что в идеальных случаях зависимость прямого тока от напряжения является экспоненциальной, а значение $n=1$, т.е. механизм токопрохождения является термоэмиссионным. Однако в эксперименте часто получают значения $n>1$, которые свидетельствуют о том, что помимо термоэмиссионного механизма токопрохождения в реальных случаях наблюдаются и другие механизмы. Так, например, учёт генерации и рекомбинации носителей заряда в области объёмного заряда даёт значения n , находящиеся в пределах между 1 и 2. Наличие поверхностных каналов приводит к избыточным токам с более высокими значениями n ($n>2$). К избыточным токам можно отнести туннельный механизм токопрохождения, который часто наблюдается в СЭ с ГП на основе соединений A^2B^6 .

В большинстве случаев основе соединений для СЭ с ГП на A^2B^6 характерна линейная или степенная зависимость обратного тока от напряжения, т.е.

$$I \sim U^n \quad (3)$$

Исследуя экспериментально значение n в формуле (3), также можно говорить о механизме токопрохождения.

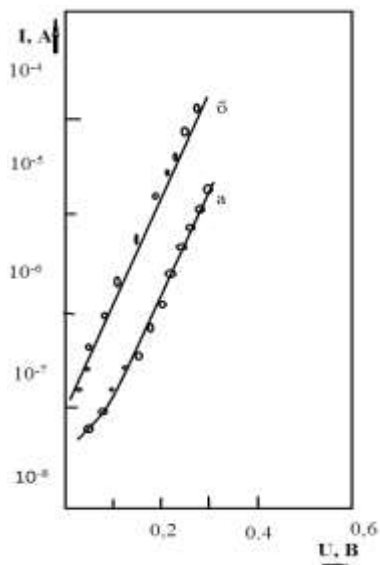


Рис.1. Зависимость прямого тока от напряжения для $Cu_{2-x}Te-CdTe$ СЭ при температуре $T=300$ К (а) и 325 К (б)

Прямые ветви ВАХ ГП $Cu_{2-x}Te-CdTe$ снимались для двух температур ($T=300$ К, 325 К). прямым смещением считается, когда положительный полюс источника питания прикладывается к слою $p-Cu_{2-x}Te$ а отрицательный к $n-CdTe$.

Зависимость прямого темного тока от приложенного смещения (при $T=300$ к) при разности потенциалов для $Cu_{2-x}Te-CdTe$, описывается выражением.

$$I = I_{01} \exp\left(\frac{eU}{n_1 kT}\right) + I_{02} \exp\left(\frac{eU}{n_2 kT}\right)$$

где I_{01}, I_{02} и n_1, n_2 – соответственно компоненты обратного тока насыщения и диодные коэффициенты, отвечающие различным механизмам протекания тока. Такой вид вольт-амперной характеристики характерен для большинства исследованных образцов. Значение I_{01}, I_{02} и n_1, n_2 можно определить из экспериментальных данных соответственно по пересечению линейного участка представляющих зависимость $\lg I$ от U , с осью ординат и по его наклону. При рассмотрении солнечного элемента, в эквивалентную схему которого включены два диода, на графике зависимости $\lg I$ от U можно выделить две области, характеризующиеся разным наклоном и, следовательно, двумя значениями n , которые относятся к различным диодам, а также двумя значениями I_0 , определяемыми путём экстраполяции каждой из зависимостей до точки пересечения соответствующей кривой с осью ординат. На рис. представлена зависимость прямого тока от приложенного напряжения для двух температур. Значения I_0 и n , определенные вышеуказанным способом, равны:

$$\begin{aligned} I_{01} &= 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ A}; & n_1 &= 4 \\ I_{02} &= 4 \cdot 10^{-9} \text{ A}; & n_2 &= 1,4 \end{aligned}$$

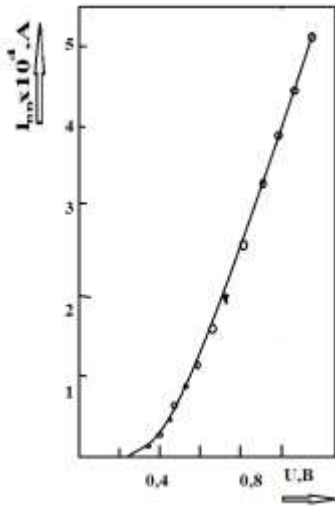


Рис. 2. Типичная вольт-амперная характеристика $\text{Cu}_{2-x}\text{Te-CdTe}$ СЭ в линейном масштабе

Первая область с большими избыточными токами обусловлена, вероятно, поверхностными утечками и утечками через шунтирующие р-п-переход участки. Очевидно, атомы меди является ответственными за образование этих шунтирующих р-п-переход каналов в $\text{Cu}_{2-x}\text{Te-CdTe}$.

Эти каналы образуются непосредственно в процесс получения ГП химическим способом.

Судя по значению n , во второй области прямых ветвей ВАХ накладывается и термоэмиссионный и генерационно-рекомбинационные токи.

С повышением температуры прямая ветви ВАХ описывается одним экспоненциальным членом, т.е.

$$I = I_0 \exp\left(\frac{eU}{nkT}\right)$$

Где $I_0 = 1 \cdot 10^{-7} \text{A}$, $n = 1,7$

В этом случае, вероятно, доминирует генерационно-рекомбинационный механизм протекания прямого тока.

С увеличением напряжения (больше контактной разности потенциалов) наблюдаются линейная зависимость прямого тока от напряжения, которая связано с ограничением величины прямого тока последовательным с р-п-переход сопротивлением. Последовательные сопротивление из-за резкой асимметрии проводимости слоёв Cd Te и Cu_{2-x}Te обусловлена, главным образом, сопротивлением n-Cd Te.

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 РЬТЕ-ТЕ// 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 PbTe 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, Абдуқохор 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 Otajonov //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 Otazhonov, MM Khalilov, N Yunusov, U Mamadzhanov, NM Zhuraev //Effective dielectric permeability and electrical conductivity of polycrystalline PbTe films with disturbed stochiometry// 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 Otazhonov, 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 фотоувствительных активированных тонких пленках p-CdTe// Журнал физики и инженерии поверхности. 02.2016

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

