

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГЕТЕРОПЕРЕХОДА $\text{Cu}_{2-x}\text{Se}-\text{CdSe}$

К.А. Ботиров, Н.Ортикова

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 $\text{Cu}_{2-x}\text{Se}-\text{CdSe}$. Исследованные образцы солнечных элементов не имели токосъёмных 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

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

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

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

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. 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.

Прямые ветви ВАХ ГП $\text{Cu}_{2-x}\text{Te}-\text{CdTe}$ снимались для двух температур ($T=300\text{K}$, 325K). прямым смещением считается, когда положительный полюс источника питания прикладывается к слою р- Cu_{2-x}Te а отрицательный к п- Cd Te .

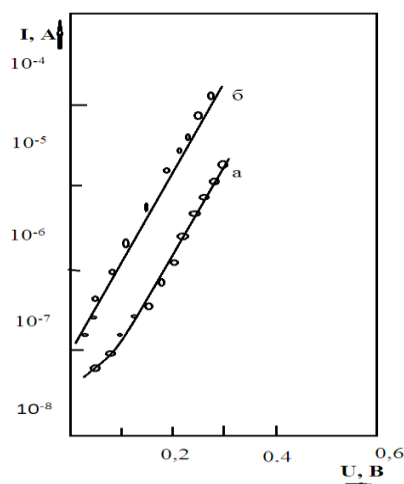


Рис.1 Зависимость прямого тока от напряжения для $\text{Cu}_{2-x}\text{Te-CdTe}$ СЭ при температуре $T=300$ К (а) и 325 К (б)

Зависимость прямого темного тока от приложенного смещения (при $T=300$ к) при разности потенциалов для $\text{Cu}_{2-x}\text{Te-CdTe}$, 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:

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

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 образуется непосредственно в процесс получения ГП химическим способом.

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

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

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

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

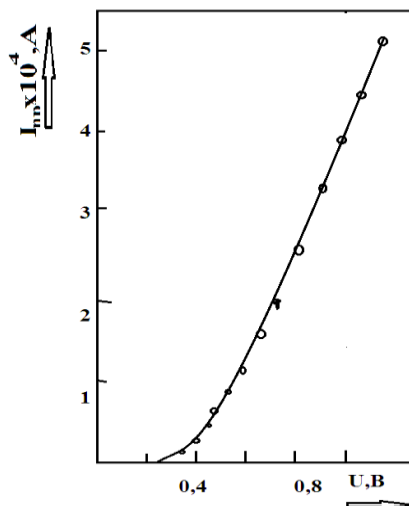


Рис. 5. Типичная вольт-амперная характеристика $\text{Cu}_{2-x}\text{Te-CdTe}$ СЭ в линейном масштабе

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 $\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{GaSe}$ 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 WS_2/WSe_2 and $\text{WSe}_2/\text{WTe}_2$ 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/Volume233,15March2022,109645. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.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 MoS_2 (2D)/ WS_2 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>

- [7] Salah Sadek. CdTe - CdSe anisotype heterojunction. Electrical Engineering Department, Imperial College London, S. W. 7. June, 1975
- [8] D. L. Feucht. Heterojunctions in photovoltaic devices. J. Vac. Sci. Technol. 14, 57–64 (1977). <https://doi.org/10.1116/1.569153>
- [9] Chuang Liu, Yuchen Hao, Xiaoli Dong, Xiuying Wang. A novel supermolecular preorganization route for improving g-C₃N₄/g-C₃N₄ metal-free homojunction photocatalysis. September 2017. New Journal of Chemistry 41(20). DOI:10.1039/C7NJ02639K
- [10] 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>
- [11] 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>
- [12] 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.
- [13] R.N. Ergashev, M.M. Bakhramov. Transparent conductive Sn based. Horizon: Journal of Humanity and Artificial Intelligence. 2023/5/31. <http://univerpubl.com/index.php/horizon/article/view/1882>