



МЕХАНИЗМ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ $\text{Cu}_{2-x}\text{Te}-\text{CdTe}$ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕРМООБРАБОТКИ

С.М.Отажонов

Профессор, доктор физика-математические наук
Ферганский государственный университет
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10060115>

Аннотация

В данной работе рассмотрено механизм изменения свойств $\text{Cu}_{2-x}\text{Te}-\text{CdTe}$ солнечных элементов под действием термообработки. Установлено, что атомы меди из раствора CuCl в процессе создания гетероперехода химическим способом проникают в базовой слой CdTe по границам зерен через слой Cu_{2-x}Te . В процессе термообработки шунтирующие р-р-перехода атомы меди проникают в глубь базового слоя, образовав компенсирующие акценторные уровни в CdTe .

Ключевые слова: термообработка, гетеропереход, атомы меди, объёмная заряд, туннелирования носителей заряда.

Abstract

In this paper, the mechanism of $\text{Cu}_{2-x}\text{Te}-\text{CdTe}$ solar cells properties change under the action of heat treatment is considered. It is found that copper atoms from CuCl solution during the process of heterojunction creation chemically penetrate into the CdTe base layer along the grain boundaries through the Cu_{2-x}Te layer. During the heat treatment process, the p-p junction shunting Cu atoms penetrate deep into the base layer to form compensating accentor levels in CdTe .

Keywords: heat treatment, heterojunction, copper atoms, volume charge, charge carrier tunneling.

Получено термическим испарением и химическим способом гетероструктуры на основы $\text{Cu}_{2-x}\text{Te}-\text{CdTe}$. Сразу же после получения гетероперехода базовый слой n- CdTe ещё недостаточно конденсирован медью, чем обусловлено узкая область объёмного заряда. Кроме того известно, что атомы меди из раствора CuCl в процессе создания гетероперехода химическим способом проникают в базовой слой CdTe по границам зерен через слой Cu_{2-x}Te . При внезапном прекращена химической реакции некоторая часть атомов меди, не связанных с CdTe , остаётся на границе раздела гетероперехода. Эти атомы меди образуют на границе раздела шунтирующие каналы. Узкая область объёмная заряда и наличия шунтирующих каналов на границе раздела дают возможность туннелирования носителей заряда через эти каналы. Туннельные токи через шунтирующие каналы на



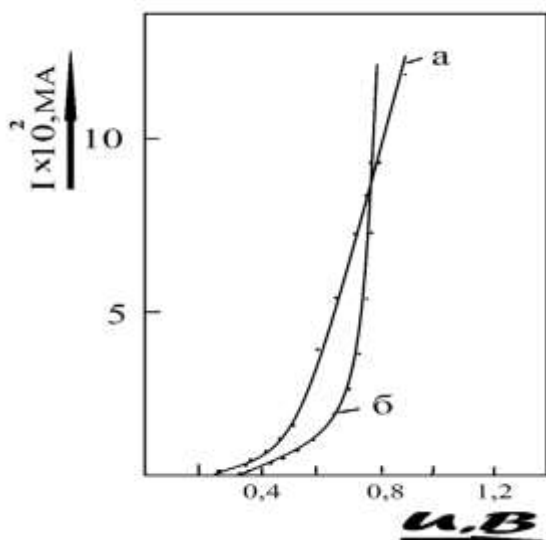


Рис. 1 Прямые ветви ВАХ $\text{Cu}_{2-x}\text{Te-CdTe}$ солнечных элементов до (а) и после (б) ТО

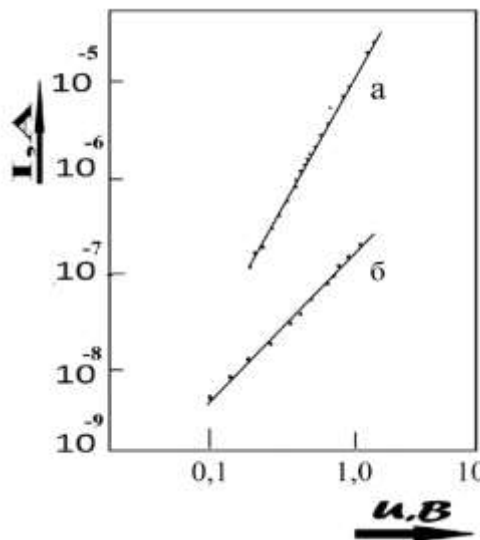


Рис.2 Обратные ветви ВАХ $\text{Cu}_{2-x}\text{Te-CdTe}$ солнечных элементов до (а) и после (б) ТО

границе раздела уменьшают эффективную высоту потенциального барьера и тем самым значение напряжения холостого хода. Образцы из партии С и К характеризуются меньшими размерами кристаллитов по сравнению с образцами из партии П. поскольку, как уже отмечалось выше, атомы меди проникают в базовый слой CdTe по границам кристаллитов, то, очевидно, что плотность свободных (не связанных с CdTe) атомы меди (шунтирующих р-п-переход) в образцах из партии С и К выше, чем в образцах из партии П. В свете вышеизложенного становятся ясными низкие исходные значения параметров элементов партии С и К сразу же после их получения.

В процессе термообработки шунтирующие р-п-перехода атомы меди проникают в глубь базового слоя, образовав компенсирующие акцепторные уровни в CdTe. Образование акцепторных уровней приводит к расширению области объёмного заряда [1-56].

Таким образом, при термообработке происходит, с одной стороны, уменьшение плотности граничных состояний и, с другой стороны, расширение области объёмного заряда. Оба этих взаимосвязанных процесса уменьшают вероятность туннелирования носителей заряда на границе раздела и тем самым увеличивают эффективную высоту потенциального барьера. Следовательно, происходит возрастания напряжения холостого хода. Об уменьшении плотности шунтирующих каналов также свидетельствует уменьшение значения обратного тока насыщения поле ТО. Уменьшение плотности шунтирующих каналов также свидетельствует уменьшении значения обратного тока насыщения поле ТО. Уменьшение плотности граничных состояний увеличивает значение шунтирующего сопротивления р-п-перехода. Известно, что увеличения шунтирующего сопротивления способствует росту коэффициента заполнения нагрузочной характеристики. При длительной термообработке параметры образцов уменьшается особенно ярко это выражено в уменьшении. В свете развитых представлений уменьшение при длительной термообработке можно объяснить двумя причинами.

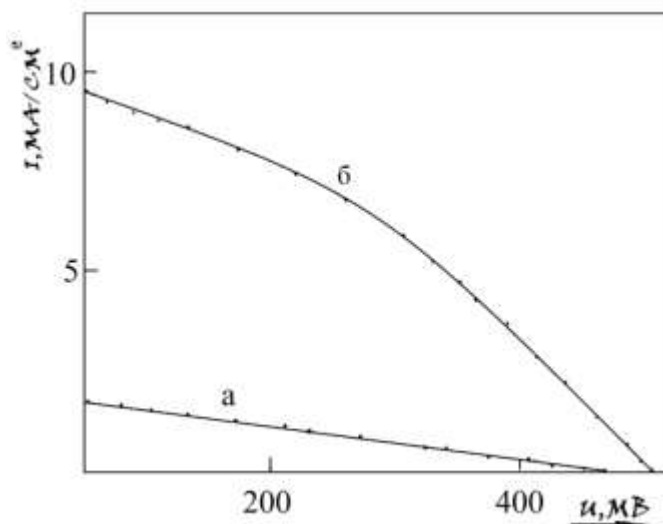


Рис. 3 Нагрузочные характеристики $\text{Cu}_{2-x}\text{Te}-\text{CdTe}$ солнечных элементов до (а) и после (б) ТО

Поскольку термообработки образцов происходит на воздухе, поверхность их негерметизирована, то возможно образования на поверхности теллурида меди окисного слоя, например, аналогично тому, что наблюдается в элементах типа $\text{Cu}_2\text{S}-\text{CdSe}$. Так как окись меди – является более широкозонным материалом, то возможно уменьшение поверхностной рекомбинации, которое приводит к росту значения фототока.

Заключения

Во-первых, медь может диффундироваться в слой CdTe как из медных закороток, так и из слоя теллурида меди, изменяя при этом стехиометрии слоя теллурида меди. При изменения состава Cu_{2-x}Te заменяется и параметры решётки. Несоответствию параметров кристаллической решётки Cu_{2-x}Te и CdTe является причиной возникновения механических напряжений на границе раздела р-п-перехода. Под влиянием механических напряжений на границе раздела происходит обрыв связей между Cu_{2-x}Te и CdTe , что приводит к возникновению энергетических уровней в запрещенной зоне. Следовательно, уменьшаются выходные параметры фотоэлемента. Во-вторых, при длительной термообработке происходит глубокие проникновение атомов меди в CdTe и, следовательно, чрезмерное расширение области объёмного заряда.

С расширением области объёмного заряда уменьшается напряжённость электрического поля р-п-перехода. В свою очередь уменьшение напряженности электрического поля приводит к уменьшению коэффициента сбора и тока короткого замыкания согласно выражению:

$$Q = \frac{\mu_n E}{S + \mu_n E}$$

где S – скорость поверхностной рекомбинации на границе раздела, μ_n – подвижность электронов, E – напряжённость электрического поля р-п-перехода.

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. Katerynchuk, 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. 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>
4. SM Otazhonov, RN Ergashev, KA Botirov, BA Qaxxorova, MA Xudoynazarova, NA Abdukarimova. 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>
- 5.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.
- 6.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>
- 7.T Akhmedov, SM Otajonov, Y Usmonov, MM Khalilov, N Yunusov. Optical properties of polycrystalline films of lead telluride with distributed stichiometry// Journal of Physics: Conference Series 1889 (2), 022052; 50; 2021
- 8.SM Otazhonov, KA Botirov, MM Khalilov, N Yunusov // IN PHOTSENSITIVE THIN FILMS CdTe: Ag AND PbTe // Science and World International scientific journal 6 (94), 11-16;
- 9.СМ Отажонов, МХ Рахмонкулов, ПИ Мовлонов, Н Юнусов // Влияние термообработки на фотоэлектрические свойства гетероструктуры Cu_{2-x}Te-CdTe// Science 89, 19; 23; 2021
- 10.SM Otazhonov, N Yunusov, B Qakhkhorova // Deformation characteristics of PbTe-Te Polycrystalline films // Science and world 103, 22; 26; 2022
- 11.А.Абдулхамидов, Н.Э. Алимов Спектральная память низкоразмерных p-CdTe с глубокими примесными уровнями.; Тринадцатая международная конференция «ФИЗИКА ДИЭЛЕКТРИКОВ» (Диэлектрики — 2014) Санкт-Петербург, 2-6 июня 2014
- 12.N.Alimov D. Ismoilova Role of deep impurity levels in film heterostructures p - CdTe-ZnSe.; IUPAC 11th International Conference on Novel Materials and Synthesis (NMS - XI) 24 International Symposium oh Fine Chemistry and Functional Polymers (FCFP - XXIII) 11 - 16 oktober, 2015 Qinhuangdao, China;
- 13.С. М. Зайнолобиддинова, Н. Э. Алимов, М. М. Халилов, Д. А. Юсупова, Ш. Якубова Изменение потенциальных барьеров низкоразмерных тонких пленок p-CdTe в условиях внешних воздействий; Журнал физики и инженерии поверхности Харьков 2016 том 1, № 1, стр. 52–56;;

- 14.К. Ботиров, П. Мовлонов, Н. Э. Алимов, М. М. Халилов, О. Эргашев, Ш. Якубова Изучение деформационных эффектов в нанокристаллических фоточувствительных активированных тонких пленках р-CdTe; Журнал физики и инженерии поверхности Харьков 2016 том 2, № 2, стр. 140 – 144;;
- 15.Н. Жураев М. Халилов Н. Э. Алимов, Фоточувствительность и механизм протекания тока в гетероструктурах р - CdTe - SiO₂ - Si с глубокими примесными уровнями; Журнал физики и инженерии поверхности Харьков 2017 том 2, № 1, стр. 26 –29;
- 16.Алимов Н Жураев Н Мовлонов П Халилов М Элементы памяти с управляемым временем запоминания и спектральной фоточувствительности; Патент№ IAP 20170249 Агенства по интеллектуальной собственности РУз 26 декабря 2017 Расмий Ахборотнома Тошкент-2018 , 12(212);
- 17.Юлдашалиев Д Каримов Б Ахматжонов Р Малооборотный генератор тока; Полезный модел № FAP 20170037 АГЕНСТВА ИНТЕЛКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ РУЗ 10 АВГУСТА 2017;
- 18.Алимов Н FOTOSensitivity of nanocrystalline cdte and polycrystalline silicon based structures; 81Th International conf Polymers and Organic Materials for Elektronics Praga Chehiua 10-14 September 2017;
- 19.Алимов Н Study of polycrystalline CdTe films by contact and contactless pulsed photo-ionization spectroscopy; Journal Thin Solid Films 660 June 2018 pp.231-235 ,США IF 2,03 DOI: 10.1016/j.tst.2018.06.016 Scopus;
- 20.О Алимов Н птическая спектральная память в пленочной ультракристаллической гетероструктуре р-CdTe-SiO₂-Si; Научно-Технический журнал ФерПИ 2018 Том 22. №2 стр. 113-116;
- 21.Алимов Н Ботиров Қ //Особенности физических свойств модифицированной поверхности пленочной структуры р-CdTe-ZnSe с глубокими примесными уровнями; Международная конференция «ФОТОНИКА-2017» 11-15 сентября 2017, Новосибирск ,Россия;
- 22.Алимов Н //Фотопроводимость в ультракристаллических гетероструктурах CdTe-SiO-Si; Международная конференция «ФОТОНИКА-2018» 11-15 сентября 2018, Новосибирск ,Россия;
- 23.Meskauskaite D Gaubas E Алимов Н // Comparative analysis of Gan and CdTe thin films for radiation detectors.; I6 th Inter.conf on Radiation and Applications on various Fields of research. Ohrid.2018 18-22 iyun Makedonia;
- 24.М.Халилов Ботиров К // Стабилизация тензочувствительности поликристаллических пленок PVS под действием лазерного отжига; Science and World International scientific journal № 8 (84) август 2020 ISSN 2308-4804 . IF 0,325 стр 11-16
- 25.Алимов Н, Ботиров К, Раззоков Б, Юнусов Н // И Исследование электрических и фотоэлектрических свойств фотопреобразователей на основе гетероперехода Cu Te - CdTe; Международной научно-практической конференции CHALLENGES IN SCIENCE JF NOWADAYS 26-28 ноября 2020 г. г.ВАШИНГТОН ,США;
- 26.Юнусов Н,Мовлонов П, Рахмонкулов М // Effect of heat treatment on the photovoltaic properties of the si 2-te-cdte heterostructure; Science and World International scientific journal № 1 (89) январь 2021 ISSN 2308-4804 . IF 0,325 Page 22-27;
- 27.Ботиров К Мовлонов П, Алимов Н //CdTe-SiO₂-Si-Al hetestructure photosensitivity control with deep impurity levels under external factors.; Euroasian Journal of

- Semiconductors Science and Engineering Volime2, ISSUE5 5, 2020. p 22-25 <https://uzjournals.edu.uz/semiconductors/vol/2issue/5>;
- 28.Akhmedov T, Usmonov Ya, Ботиров Қ, Khalilov M, Yunusov N, Влияние внутреннего напряжения на деформационные характеристики поликристаллических плёнок PbTe с избытком теллура и свинца; Science and World International scientific journal № 3 (91) март 2021 ISSN2308-4804 IF0,325 Page 18-22 http://scienceph.ru/f/science_and_world_no_3_91_march.pdf
- 29.Рахмонқулов М, Халилов М, Ботиров Қ, Юнусов Н // Effect of group VII elements on strain sensitivity of polycrystalline films PBTE, PBS; European Science Review 2021 № 1-2/ January-February/ Vienna <https://doi.org/10.29013/ESR-21-1.2-35-38>;
- 30.Ахмедов Т, Усмонов Я, Халилов М, Юнусов Н. // 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 Scopus;
- 31.Вайткус Ю.Ю., Халилов М.М., Юнусов Н. // Влияние Избытка Теллура И Свинца На Деформационные Характеристики Поликристаллических Пленок PbTe ; Scientific Bulletin, Physical and Mathematical Research Vol.3 Iss.2021 УДК: 621.315.592
- 32.Ботиров Қ, Халилов М.М., Юнусов Н // Влияние деформации на миграцию дефектов в фоточувствительных тонких пленках CdTe: Ag И PbTe Science and World International scientific journal № 6 (94) июн 2021 ISSN 2308-4804 . IF 0,325 Page 11-16;
- 33.Максудов Р, Ахмедов М, Шухратов Ш, Хожикаримова Г. // Инновацион таълимда дарс шакли, методи ва воситаларини танлаш; Ўқув қўлланма 2021 ФарДУ УК N7.30 март 2021; 146
- 34.Максудов Р, Шухратов Ш, Рахмонқулов М. // Материалшунослик ва конструкцион материаллар технологияси; Ўқув қўлланма ФарДУ УК N7.30 март 2021; 210
- 35.Далиев Х. Онорқулов М // Device for stud device for studying tenze sensi ying tenze sensitivity in pho y in photosensitive semiconductor films; Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering//vol3. 2021.31-35
- 36.T.Akhmedov, N.Yunusov .M.Khalilov // Effective dielectric permeability and electrical conductivity of polycrystalline PbTe films with disturben stoichiometry.; Journal of Physics Conference Series/(2131) 2021 doi:10.1088/1742-6596/2131/5/052008.Scopus;
- 37.T.Akhmedov,Usmonov Ya.,Khalilov M.M., Mamajonov U.M // Влияние термообработки на электрофизические свойства поликристаллических пленок теллурида свинца; Science and world.2022.№1(101) Стр 12-17);
- 38.Akhmedov T., Usmonov Ya., Khalilov M.M., Botirov K.A. EFFECTS OF UNIAXIAL DEFORMATION ON THE CARRIER; Science and world. 2022. № 2 (102)Стр 12-15
- 39.Yuldashaliev .D., Otazhonov S.M., Usmonov Ya., Akhmedov T.A., Karimov B.X// TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION AND RESEARCH OF HOLE; Science and world. 2022. № 2 (102)Стр 15-20
- 40.Mirzazhonov M.A., Movlonov P.I., Otazhonov S.M // IMPROVING THE EFFICIENCY OF SOLAR CELLS BASED ON CU2-XS-CDS WITH DEEP IMPURITY LEVELS; Science and world. 2022. № 3 (103)Стр 12-14
- 41.Onarkulov K.E., Rakhmankulov M.Kh., Omonov B.U RADIATION-STIMULATED OXYGEN DIFFUSION IN LEAD CHALCOGENIDE LAYERS.; Science and world. 2022. № 3 (103)Стр 14-18
- 42.Khalilov M.M., Mamadzhanov U.// TECHNOLOGY FOR PRODUCING LEAD TELLURIDE FILMS OF VARIABLE COMPOSITION; Science and world. 2022. № 3 (103) Стр 18-23

43. Yunusov N., Qakhkhorova B. // DEFORMATION CHARACTERISTICS OF PbTe-Te POLYCRYSTALLINE FILMS; Science and world. 2022. № 3 (103) Стр 23-27
44. Мовлонов П. Юнусов Н. // STUDY OF THE PROCESS OF PHOTOFATIGUE AND CURRENT-VOLTAGE CHARACTERISTICS OF SOLAR CELLS BASED ON CU₂-X S-CDS; Science and world. 2022. №5 (105) Стр 13-17
45. Мовлонов П. Юнусов Н. Мамажонов У.М. // РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НИЗКООМНЫХ БАЗОВЫХ СЛОЁВ А2В6 МЕТОДОМ ТЕРМОВАКУУМНОЙ КОНДЕНСАЦИИ И ХИМИЧЕСКИМ ОСАЖДЕНИЕМ; UNIVERSUM: Технический наук 2022. 3(96). URL: Выпуск:3(96) Часть 6 5-10
46. Ergashev R., Yunusov N // STUDY OF THE SURFACE RECOMBINATION OF HETEROJUNCTIONS BASED ON p CdTe – n CdS AND p CdTe – n CdSe; Science and world. 2022. №9 (109) Стр 26-30
47. Xalilov M Axmedov T // ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЛЕНОК PbTe; Science and world. 2022. №10 (110)
48. Шухратов Ш Рахмонкулов М // Механизациялаштириш, автоматлаштириш ва робототехника асослари; ОЎМТМ, Мувофиқлаштириш Кенгаши 2022 йил 13 май №166 5112100 Технологик таълим; 166
49. Шухратов Ш, Ахмедов М, Хожикаримова Г // Инновацион таълимда дарс шакли, методи ва воситаларни таъминлаш; ОЎМТМ, Мувофиқлаштириш Кенгаши 2022 йил 13 май №166 5112100 Технологик таълим ; 156
50. Alimov N, // Фотоэлектрические явления в широкозонных полупроводниковых гетероструктурах с глубокими примесными уровнями; Монография ФарДУ илмий Кенгаш тавсиясига биноан 2022 йил 14 октябр Издательские решения По лицензии Ridero 2022 ; 110
51. Ergashev R, Botirov Q , Qaxxorova B, Xudoynazarova M, Abdulkarimova N, Madaminova M, Ismoilova K, // Influence of thickness and temperature on photoelectric properties of p-CdTe-nCdS and pCdTe-CdSe heterostructures. ; Journal of Physics: Conference Series 2388 (2022) 012001/doi:10.1088/1742-6596/2388/1/012001
52. Kamaludin Abdulvakhidov • Zhengyou Li • Bashir Abdulvakhidov • Alexander Soldatov Structure phase state and physical properties of YbMn_{1-x}FexO₃ compositions ; Applied Physics A (2023) 129:185 <https://doi.org/10.1007/s00339-023-06469-5>
53. R N Ergashev, T Axmedov, Ya Usmonov and B Karimov // Photoelectric properties of solar cells based on pCdTe-nCdS and pCdTe-nCdSe heterostructures; APITECH-IV - 2022 Journal of Physics: Conference Series 2388 (2022) 012062 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/2388/1/012062 ;
54. N E Alimov¹ , J V Vaitkus , and K Botirov // Investigation of the surface recombination rate in polycrystalline films from the A₆B₆ compound by the MW-PC method; APITECH-IV - 2022 Journal of Physics: Conference Series 2388 (2022) 012006 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/2388/1/012006 1;
55. Эргашев Р.Н., К.Ботиров // Влияние температуры и давления на электрофизические свойства гетероструктуры pcdte-ncds и pcdte-ncdse с глубокими примесными уровнями//SCIENCE AND WORLD International scientific journal, № 8 (120), 2023
56. Эргашев Р.Н., К.Ботиров // Фотоэлектрические явления в гетероструктурах на основе pcdte – ncds и pcdte – ncdse с глубокими примесными уровнями; SCIENCE AND WORLD International scientific journal, № 9 2023;