

TiO₂ АСОСИДАГИ ЮҚОРИ СЕЗГИР БЎЁҚЛИ ҚУЁШ ЭЛЕМЕНТЛАРИНИНГ ФОТОЭЛЕКТРИК ХАРАКТЕРИСТИКАЛАРИ

*О.О.Маматкаримов, А.А. Абдукаримов, Б.И. Ўктамалиев,
Х.Н.Бозоров, А.У.Соатиллаев*

Наманган муҳандислик технология институти

Аннотация. Ушбу ишда TiO₂ асосидаги (DSSC- Dye sensitized solar cell) қуёш элементларини фотоэлектрик характеристикалари яъни: заряд тўплаш самарадорлиги (η_{coll}), электронларни диффузия коэффиценти (D) ва электронларнинг эркин югуриш узоклиги (L_n) тадқиқ қилинди. Қуёш элементидаги эркин электронларнинг 87% қисми электр токини ҳосил қилишда иштирок этиши аниқланди.

Калит сўзлар. Юқори сезгир бўёқли қуёш элементлари (DSSC- Dye sensitized solar cell), фотоэлектрод, контурэлектрод, фотоанод, электролит, гел полимер электролит (GPE), ёруғликка юқори сезгир бўёқ.

Ҳозирги вақтда дунёда истемол қилинадиган энергияни асосан қазилма ёқилғилардан олинадиган энергия, яъни иссиқлик энергияси, ядро энергияси, гидроэнергиялар ташкил қилади. Лекин бундай ёқилғиларнинг миқдори чекланганлиги, экологик жиҳатдан тоза эмаслиги ва сейсмик жиҳатидан барқарор эмаслиги уларнинг асосий камчилиги ҳисобланади [1]. Шу сабабли замонавий талаблар қайта тикланувчи ва экологик тоза энергия манбалари, яъни қуёш ҳамда шамол энергиясидан фойдаланишни инсоният олдиға қўймоқда.

Айни пайтда жаҳонда қуёш радиацияси энергиясини электр энергиясига айлантирувчи яримўтказгич асосли қуёш элементларини тайёрлаш технологиясини мураккаблиги ва улардан олинадиган электр энергияси таннархини қимматлиги бу қуёш элементларидан кенг миқёсда фойдаланиш имкониятларига тўсқинлик қилмоқда. Умуман олганда эски типдаги кремний асосли қуёш элементларининг фойдали иш коэффицентини лаборатория шароитида 25% гача, арсенид-галлий асосли қуёш элементларининг фойдали иш коэффицентини лаборатория шароитида 32% гача ошириш мумкин [2].

Шунга қарамай, ҳозирги замон талаби тайёрлаш технологияси ва ишлаб чиқариладиган электр энергиясини таннархи арзон бўладиган қуёш элементларини излашга мажбур қилмоқда. Бундай қуёш элементларига "Юқори сезгир бўёқли қуёш элементлари (DSSC- Dye sensitized solar cell) ёки "Грацел элементлари"ни мисол қилиб кўрсатиш мумкин DSSC қуёш элементларининг схематик кўриниши 1-расмда келтирилган. Бу қуёш элементлари тайёрлаш технологияси, уларни жорий этиш ва такомиллаштиришнинг арзонлиги, улардан

фойдаланиш ва ишлаб чиқаришнинг бир қанча қулайликларга эгаллиги билан шу соҳа мутахассисларини ўзига жалб қилмоқда [3-4]. 2-расмда DSSC қуёш элементларининг ишлаш принципи келтириб ўтилган.

Ушбу ишда TiO_2 асосидаги (DSSC- Dye sensitized solar cell) қуёш элементларини фотоелектрик характеристикалари ўрганилган.

TiO_2 асосидаги бўёқли қўп қатламли структуралардан ташкил топган ҚЭ лари учун электронларни транспорт ваки ва ўртача яшаш вақтини аниқлаш учун модуляцияланган фототок интенсивлиги спектроскопияси (IMPS) ва Модуляцияланган фотокучланиш интенсивлиги спектроскопияси (IMVS) усулларидан фойдаланилди.

$$\tau_{tr} = \frac{1}{2\pi f_{IMPS}} \quad (1)$$

бу ерда f_{IMPS} DSSC учун IMPS нинг максимал частотаси

Бундан ташқари IMVS тажрибасидан фойдаланиб электроннинг ўртача яшаш вақти аниқланди.

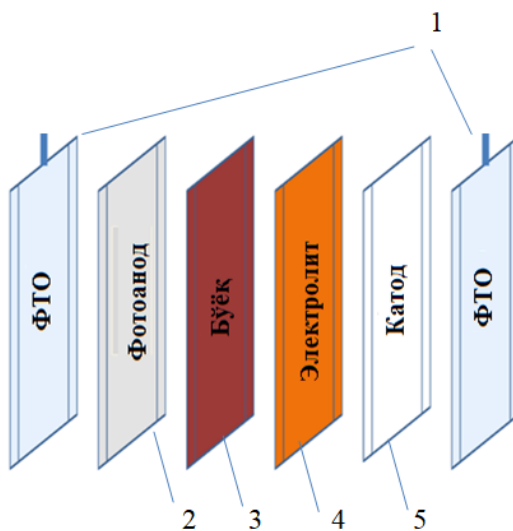
$$\tau_{rec} = \frac{1}{2\pi f_{IMVS}} \quad (2)$$

бу ерда f_{IMVS} DSSC учун IMVS нинг максимал частотаси.

$$\eta_{coll} = 1 - \frac{\tau_{tr}}{\tau_{rec}} \quad (3)$$

$$D = \frac{d^2}{2.35\tau_{tr}} \quad (4)$$

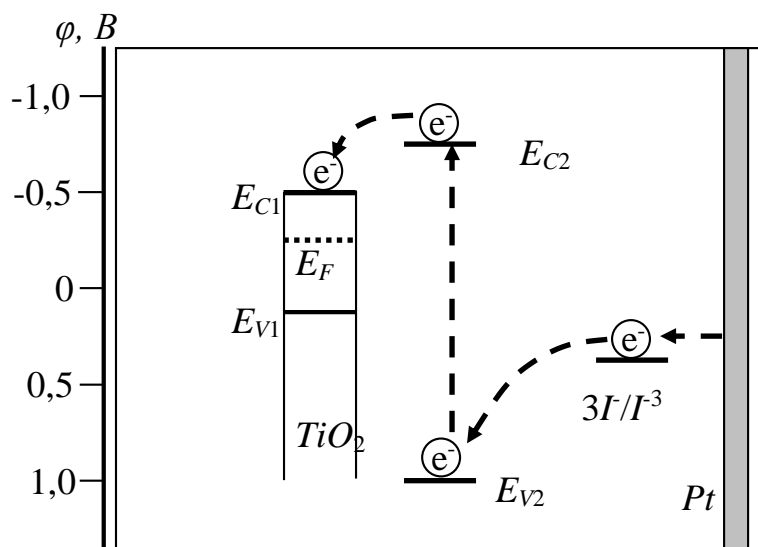
$$L_n = \sqrt{D\tau_{rec}} \quad (5)$$



1-расм. DSSC қуёш элементининг таркибий қисмлари. 1- FTO ўстирилган шиша, 2-фотоанод, 3- фотосезгир бўёқ, 4-электролит, 5-контр электрод (катод).

Электронларни транспорт вақти ва ўртача яшаш вақтини мос равишда (1) ва (2) формулалардан фойдаланиб аниқланди. Юқоридаги параметрларни билган ҳолда биз (3), (4) ва (5) формулалар орқали заряд тўплаш самарадорлиги (η_{coll}),

электронларни диффузия коэффициентини (D) ва электронларнинг эркин югуриш узоклиги (L_n) ни аниқладик. 1-жадвалда Таркибида 0.20 гр ТРАИ ва 0.1 гр РЕО бўлган гел-полимер электролит асосли ва турли миқдардаги ТРАИ тузига эга бўлган суюқ электролит асосли DSSC ларидан олинган натижалар келтирилган.



2-расм. TiO₂ асосли DSSC қуёш элементи-нинг ишлаш принципи. EC1 - ва EV1 – лар мос равишда TiO₂ нинг ўтказувчанлик ва валент зонасининг чегаралари, EC2 – ва EV2 - бўёқнинг ўтказувчанлик ва валент зонасининг чегаралари, EF – Ферми сатҳи.

1-жадвал.

Таркибида 0.20 гр ТРАИ ва 0.1 гр РЕО бўлган гел-полимер электролит асосли яримўтказгичли DSSC ларининг τ_{tr} , τ_{rec} , D , L_n ва η_{coll} параметрлари

Электролит	τ_{tr} (ms)	τ_{rec} (ms)	D (nm ² s ⁻¹)	L_n (µm)	η_{coll}
ГПЭ (РЕО+ТРАИ)	6.3	50.3	11.42	23.97	0.87

Хулоса. Тажриба натижаларини кўрсатишича қуёш элементида ёруғлик таъсирида пайдо бўладиган эркин электронларнинг 87% қисми электр токини ҳосил қилишда иштирок этади. Бу эса DSSC лардан самарали қуёш элементлари сифатида фойдаланиш мумкин эканлигидан далолат беради.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Bozorov, Kh N., O. O. Mamatkarimov, and B. T. Abdulazizov. "Electric and ionic conductivity of potassium antimony tungstate with addition of alkali metals." «Узбекский физический журнал» 24.2 (2022): 129-132.

2. Uktamaliyev, B. I., et al. "Determination of transport properties for polymer electrolytes containing LiTf and MgTf₂ salts." *Molecular Crystals and Liquid Crystals* 763.1 (2023): 17-27.
3. Mamatkarimov, O. O., R. Khamidov, and A. Abdukarimov. "The relative current change, concentration, and carrier mobility in silicon samples doped nickel and at pulse hydrostatic pressure." *Materials Today: Proceedings* 17 (2019): 442-445.
4. Uktamaliyev, B. I., et al. "Determination of transport properties for polymer electrolytes containing LiTf and MgTf₂ salts." *Molecular Crystals and Liquid Crystals* 763.1 (2023): 17-27.
5. Mamatkarimov, O., B. Uktamaliyev, and A. Abdukarimov. "Temperature dependence of active and reactive impedances of PMMA-EC-LITF₂ solid polymer electrolytes." *НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НОВОГО УРОВНЯ И СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ* (2022): 366.
6. Manjuladevi, R., et al. "Preparation and characterization of blend polymer electrolyte film based on poly (vinyl alcohol)-poly (acrylonitrile)/MgCl₂ for energy storage devices." *Ionics* 24 (2018): 1083-1095.
7. Mamatkarimov, O., A. Abdukarimov, and B. Uktamaliyev. "ABOUT THE CHARACTERISTICS OF MULTILAYER THIN-FILM STRUCTURES WITH DYES BASED ON TITANIUM DIOXIDE." *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering* 3.40 (2021): 26-29.
8. Odiljon, Mamatkarimov, Uktamaliyev Bekzod, and Abdullaziz Abdukarimov. "Determination of ionic conductivity of polymer electrolytes in li-ion batteries using electrochemical impedance spectroscopy." *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal* 11.7 (2021): 141-146.
9. Ikramov, R. G., et al. "Calculation of the interband absorption spectra of amorphous semiconductors using the Kubo-Greenwood formula." *Journal of Applied Science and Engineering* 25.5 (2021): 919-924.
10. Ikramov, Rustamjon G., et al. "Calculation of the Density of the Distribution of Electronic States in the Conduction Band from the Fundamental Absorption Spectra of Amorphous Semiconductors." *East European Journal of Physics* 4 (2023): 153-158.
11. Ikramov, Rustamjon G., et al. "Dangerous Bonds Individual of Hydrogenated Amorphous Silicon and Defect Absorption Spectra." *East European Journal of Physics* 4 (2023): 244-250.
12. Абдулазизов, Б. Т., et al. "Дефекты, характерные для гидрированных аморф-ных полупроводников, и спектры дефектного поглощения." *«Узбекский физический журнал»* 25.3 (2023).

13. Ikramov, R. G., et al. "Kubo-greenwood Formula For The Exponential Absorption Region Of Amorphous Semiconductors And Distribution Of The Density Of Electronic States In The Tail Of The Conduction Band." *Journal of Applied Science and Engineering* 26.8 (2022): 1167-1171.

14. Абдулазизов, Б. Т., et al. "Область экспоненциального поглощения аморфных полупроводников." «Узбекский физический журнал» 24.2 (2022): 96-99. Икрамов, Рустамжон, et al. "СПЕКТРЫ КОЭФФИЦИЕНТА ДЕФЕКТНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ АМОРФНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ." *Scientific Collection «InterConf»* 107 (2022): 409-420.

15. Муминов, Х. А., Б. Султонов, and О. Т. Холмирзаев. "РАСЧЕТ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СОСТОЯНИЙ В ВАЛЕНТНОЙ ЗОНЕ ИЗ СПЕКТРА МЕЖЗОННОГО ПОГЛОЩЕНИЯ АМОРФНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ." *EDITOR COORDINATOR* (2021): 384.

16. Икрамов, Рустамжон, et al. "СПЕКТРЫ КОЭФФИЦИЕНТА ДЕФЕКТНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ АМОРФНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ." *Scientific Collection «InterConf»* 107 (2022): 409-420.

17. Mahmudovich, To'xliyev Mansur. "PAST POTENSIALLI QUYOSH QURITGICHLARNI SAMARADORLIGINI OSHIRISH." *Educational Research in Universal Sciences* 1.6 (2022): 79-86.

18. Yusupov, Elmurod Kuchkarboyevich. "STUDYING PROPERTIES OF ROTATIONAL STATES 156Gd."

19. Байматов, П. Ж., et al. "ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА НА ТЕПЛОЕМКОСТЬ КВАЗИДВУМЕРНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА." «Узбекский физический журнал» 20.6 (2018).

20. Ravshanjon o'g, G'aybullayev Dostonbek. "QUYOSH ENERGIYASI VA UN DAN FOYDALANISH." *O'ZBEKISTONDA FANLARARO INNOVATSIYALAR VA ILMIY TADQIQOTLAR JURNALI* 2.19 (2023): 1574-1576.

21. Ikramov, Rustamjon G., et al. "Calculation of the Density of the Distribution of Electronic States in the Conduction Band from the Fundamental Absorption Spectra of Amorphous Semiconductors." *East European Journal of Physics* 4 (2023): 153-158.

22. Ikramov, Rustamjon G., et al. "Dangerous Bonds Individual of Hydrogenated Amorphous Silicon and Defect Absorption Spectra." *East European Journal of Physics* 4 (2023): 244-250.

23. Ikramov, R. G., et al. "Kubo-greenwood Formula For The Exponential Absorption Region Of Amorphous Semiconductors And Distribution Of The Density Of Electronic States In The Tail Of The Conduction Band." *Journal of Applied Science and Engineering* 26.8 (2022): 1167-1171.

24. Ikramov, Rustamzhon Gulomzhonovich, Mashkhura Anvarbekovna Nuriddinova, and Xurshid Adhamjon Muminov. "A new method for determining the density distribution of electronic states on the tail of the valence band of amorphous semiconductors $Se_x S_{1-x}$." *Optics and spectroscopy* 129.11 (2021): 1382-1386.
25. Икрамов, Р. Г., М. А. Нуриддинова, and X. А. Муминов. "Вычисление плотности электронных состояний в валентной зоне из экспериментального спектра межзонного поглощения аморфных полупроводников." *Журнал прикладной спектроскопии* 88.3 (2021): 378-382.
26. Икрамов, Рустамжон Гуломжонович, Машхура Анварбековна Нуриддинова, and Хуршид Адхамжон угли Муминов. "Новый метод определения распределения плотности электронных состояний в хвосте валентной зоны аморфных твердых растворов $Se_x S_{1-x}$." *Оптика и спектроскопия* 129.11 (2021): 1382-1386.
27. Ikramov, Rustam, et al. "Temperature Dependence of Urbach Energy in Non-Crystalline Semiconductors." *Optics and Photonics Journal* 10.9 (2020): 211-218.
28. Абдулазизов, Б. Т., et al. "Расчет распределения плотности электронных состояний в хвосте зоны проводимости аморфных полупроводников." *«Узбекский физический журнал»* 22.6 (2020): 344-349.
29. IKRAMOV, RUSTAM GULOMJONOVICH, MASHXURA ANVARBEKOVNA NURIDDINOVA, and KHURSHID ADHAMJON UGLI MUMINOV. "Parameters defining the interzonal absorption coefficient in amorphous semiconductors." *Journal of Applied Physical Science International* 12.1 (2021): 36-40.
30. Ikramov, R. G., M. A. Nuriddinova, and R. M. Jalalov. "Density of defect states and spectra of defect absorption in a-Si: H." *Ukrainian journal of physics* 64.4 (2019): 315-315.
31. Ikramov, R. G., M. A. Nuriddinova, and A. Muminov Kh. "Spectra of the coefficient of defect absorption and the energy position of defects in amorphous hydrogenated silicon." *International Journal of Multidisciplinary Trends* 1.1 (2019): 12.
32. Zaynobidinov, S., et al. "Infra-red absorption spectra of amorphous semiconductors." *Uzbekiston Fizika Zhurnali* 21.2 (2019): 88-92.
33. Ikramov, R. G., M. A. Nuriddinova, and A. Muminov Kh. "Spectra of the coefficient of defect absorption and the energy position of defects in amorphous hydrogenated silicon." *International Journal of Multidisciplinary Trends* 1.1 (2019): 12.
34. ZAYNOBIDINOV, S., et al. "Spectra of interband absorption and optical gap of amorphous semiconductors; Spektry mezhzonnogo pogloshcheniya i opticheskaya shchel'amorfnykh poluprovodnikov." *Uzbekiston Fizika Zhurnali* 15 (2013).

35. Zainobidinov, S., et al. "Distribution of electron density of states in allowed bands and interband absorption in amorphous semiconductors." *Optics and spectroscopy* 110 (2011): 762-766.
36. Zajnobidinov, S., et al. "Dependence of the Urbach energy on the Fermi level in A-Si: H films; Zavisimost'ehnergii Urbakha ot urovnya Fermi v plenkakh a-Si: H." *Ukrayins' kij Fyizichnij Zhurnal (Kyiv)* 53 (2008).
37. Zajnovidinov, S., et al. "Temperature effect in absorption spectra of amorphous semiconductors; Temperaturnyj ehffekt v spektrakh pogloshcheniya amorfnykh poluprovodnikov." *Ukrayins' kij Fyizichnij Zhurnal (Kyiv)* 53 (2008).
38. Qo'chqarov, B. X., A. Nishonov, and X. O. Qochqarov. "Scientific bulletin of Namangan State University,“." *The effect of tunneling gurrent on the speedd surface generation of charge garries* 1.7 (2020): 3-6.
39. Qo'chqarov, Bekzod Xoshimjonovich, Azizbek Nishonov, and Xoshimjon Ortiqovich Qo'chqarov. "The effect of tunneling current on the speed surface generation of charge carriers." *Scientific Bulletin of Namangan State University* 2019y 1.7 (2009): 3-6.
40. Usmanov, P. N., A. I. Vdovin, and A. N. Nishonov. "Investigating the Energies and Electrical Characteristics of the Negative Parity States of the 156Gd Nucleus." *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics* 86.8 (2022): 918-923.
41. Усманов, П. Н., et al. "Энергия и структура октупольных состояний ядра 238U." *«Узбекский физический журнал»* 24.2 (2022): 90-95.
42. Arof, A. K., et al. "Investigation on morphology of composite poly (ethylene oxide)-cellulose nanofibers." *Materials Today: Proceedings* 17 (2019): 388-393.
43. Abdukarimov, Abdullaziz, et al. "Characteristics of dye-sensitized solar cells (DSSCs) using liquid and gel polymer electrolytes with tetrapropylammonium salt." *Optical and Quantum Electronics* 52 (2020): 1-15.
44. Abdukarimov, Abdullaziz, et al. "Influence of charge carrier density, mobility and diffusivity on conductivity–temperature dependence in polyethylene oxide–based gel polymer electrolytes." *High Performance Polymers* 34.2 (2022): 232-241.
45. Kuchkarov, B. H., et al. "Influence of all-round compression on formation of the mobile charge in lead-borosilicate glass structure." *American Institute of Physics Conference Series*. Vol. 2432. No. 1. 2022.
46. Uktamaliyev, B. I., et al. "Determination of transport properties for polymer electrolytes containing LiTf and MgTf₂ salts." *Molecular Crystals and Liquid Crystals* 763.1 (2023): 17-27.

47. Mamatkarimov, O. O., R. Khamidov, and A. Abdugarimov. "The relative current change, concentration, and carrier mobility in silicon samples doped nickel and at pulse hydrostatic pressure." *Materials Today: Proceedings* 17 (2019): 442-445.
48. Uktamaliyev, B. I., et al. "Determination of transport properties for polymer electrolytes containing LiTf and MgTf₂ salts." *Molecular Crystals and Liquid Crystals* 763.1 (2023): 17-27.
49. Abdugarimov, A. A., et al. "Dependence of the characteristics of dye-sensitized solar cells on amount tetrapropylammonium iodide." *«Узбекский физический журнал»* 22.4 (2020): 250-253.
50. Sultanov, A. M., A. A. Abdugarimov, and M. Z. Kufian. "Development of technology for creating high-voltage p₀–n₀ junctions based on GaAs." *Bulletin of the Karaganda University" Physics Series"* 112.4 (2023): 50-56
51. Abdugarimov, A. A., et al. "Characteristics of natural dye sensitized solar cells." *Molecular Crystals and Liquid Crystals* 767.1 (2023): 98-105.
52. Mamatkarimov, O., B. Uktamaliyev, and A. Abdugarimov. "Temperature dependence of active and reactive impedances of PMMA-EC-LITF₂ solid polymer electrolytes." *НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НОВОГО УРОВНЯ И СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ* (2022): 366.
53. Manjuladevi, R., et al. "Preparation and characterization of blend polymer electrolyte film based on poly (vinyl alcohol)-poly (acrylonitrile)/MgCl₂ for energy storage devices." *Ionics* 24 (2018): 1083-1095.
54. Mamatkarimov, O., A. Abdugarimov, and B. Uktamaliyev. "ABOUT THE CHARACTERISTICS OF MULTILAYER THIN-FILM STRUCTURES WITH DYES BASED ON TITANIUM DIOXIDE." *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering* 3.40 (2021): 26-29.
55. Yakubbaev, A. A., A. Abdugarimov, and S. H. Nazarov. "Application of pincts of spinal leaf (chlorophylle) as a natural die for paint sensitive sun element (DSSC)." *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal* 11.8 (2021): 185-188.
56. Odiljon, Mamatkarimov, Uktamaliyev Bekzod, and Abdullaziz Abdugarimov. "Determination of ionic conductivity of polymer electrolytes in li-ion batteries using electrochemical impedance spectroscopy." *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal* 11.7 (2021): 141-146.
57. Mamatkarimov, O., and A. Abdugarimov. "ABOUT THE CHARACTERISTICS OF MULTILAYER THIN-FILM STRUCTURES WITH DYES BASED ON TITANIUM DIOXIDE." *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering* 2.3 (2020): 28.

58. Abdukarimov, A. A. "UDK: 621.315. 592 MAIN ELECTROPHYSICAL CHARACTERISTICS OF DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS (DSSCS)." *атты V Халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция.*
59. Корольков, В. И., and Александр Владимирович Рожков. "Исследование стабильности переключения высоковольтных субнаносекундных фотонно-инжекционных коммутаторов." *Письма в Журнал технической физики* 18.10 (1992): 26-31.
60. Sultanov, A. M., E. K. Yusupov, and R. G. Rakhimov. "Investigation of the Influence of Technological Factors on High-Voltage p₀-n₀ Junctions Based on GaAs." (2024).
61. Avrutin, E. A., Korol'Kov, V. I., ORLOV, B., Rozhkov, A. V., & Sultanov, A. M. (1992). Dynamic characteristics of high-power pulses generated in GaAs/AlGaAs superluminescent diodes. *Soviet physics. Semiconductors*, 26(4), 403-406.
62. Sultanov, A. M., & Mirzarayimov, J. Z. (2024). MAIN TECHNOLOGICAL FACTORS AFFECTING THE PROPERTIES OF LOW-DOPED LAYERS AND TRANSISTOR n⁺-p₀-n₀ STRUCTURES. *European Journal of Emerging Technology and Discoveries*, 2(3), 41-47.
63. Султанов, А. М., and Ж. З. Мирзарайимов. "ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТОННО-ИНЖЕКЦИОННЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ТИРИСТОРОВ ДЛЯ МОДУЛЯЦИИ УСИЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ГЕТЕРО ЛАЗЕРОВ." *Multidisciplinary Journal of Science and Technology* 4.3 (2024): 577-583.
64. Рожков, А. В., А. М. Султанов, and Х. Бозоров. "ГЕТЕРОПЕРЕХОДЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ." И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ *FUNDAMENTAL AND APPLIED PROBLEMS OF MODERN PHYSICS* (2023): 115.