

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҚОШИДАГИ
ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ ВА МИКРОЭЛЕКТРОНИКА
ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ ХУЗУРИДАГИ ФАЛСАФА
ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ DSc. 03/30.12.2019
ФМ/Т.01.12 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

НАМАНГАН МУҲАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ

АБДУКАРИМОВ АБДУЛЛАЗИЗ АБДУБАННОЕВИЧ

**ТИТАН ДИОКСИДИ АСОСИДАГИ БЎЁҚЛИ КЎП ҚАТЛАМЛИ
СТРУКТУРАЛАРНИНГ ЭЛЕКТРОФИЗИК ХУСУСИЯТЛАРИ**

01.04.10 – яримўтказгичлар физикаси

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2021

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии
(PhD) по физико-математическим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on
physical-mathematical sciences**

Абдукаримов Абдуллазиз Абдубанноевич Титан диоксиди асосидаги бўёқли кўп қатламли структураларнинг электрофизик хусусиятлари	3
Абдукаримов Абдуллазиз Абдубанноевич Электрофизические свойства многослойных структур с красителем на основе диоксида титана.....	25
Abdukarimov Abdullaziz Abdubannoyevich Electrophysical properties of multilayer structures with a dye based on titanium dioxide.....	45
Эълон қилинган ишлар рўйхати Список опубликованных работ List of published works.....	46

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҚОШИДАГИ
ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ФИЗИКАСИ ВА МИКРОЭЛЕКТРОНИКА
ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ DSc. 03/30.12.2019 FM/T.01.12 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

НАМАНГАН МУҲАНДИСЛИК-ТЕХНОЛОГИЯ ИНСТИТУТИ

АБДУКАРИМОВ АБДУЛЛАЗИЗ АБДУБАННОЕВИЧ

**ТИТАН ДИОКСИДИ АСОСИДАГИ БЎЁҚЛИ КЎП ҚАТЛАМЛИ
СТРУКТУРАЛАРНИНГ ЭЛЕКТРОФИЗИК ХУСУСИЯТЛАРИ**

01.04.10 – яримўтказгичлар физикаси

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2021

**Физика-математика фанлари бўйича Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси
мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий
аттестация комиссиясида В2021.1.PhD/FM372 рақам билан рўйхатга олинган.**

Докторлик диссертацияси Наманган Мухандислик-технология институтида
бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (ispm.uz) ва «ZiyoNet» ахборот-таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: **Маматкаримов Одилжон Охундадаевич,**
физика-математика фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: **Зайнобидинов Сирожидин Зайнобидинович,**
физика-математика фанлари доктори, академик

Аноркулов Каримберди Эгамбердиевич,
физика-математика фанлари доктори, профессор

Ётакчи ташкилот: **Нукус Давлат педагогика институти**

Диссертация химояси Ўзбекистон Миллий университети қошидаги Яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника илмий-тадқиқот институти ҳузуридаги фалсафа доктори илмий даражасини берувчи DSc. 03/30.12.2019 FM/T.01.12 рақамли илмий кенгашнинг 2021 йил «22» ОС соат 12⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100057, Ўзбекистон, Тошкент шаҳри, Янги Олмазор кўчаси, 20-уй. Тел.: (+99871) 248-79-94; факс: (+99871) 248-79-92; e-mail: info@ispm.uz), ЎЗМУ қошидаги ЯФМ ИТИ мажлислар зали).

Диссертация билан Ахборот технологияларини жорий этиш бўлимида танишиш мумкин.

(23 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 100057, Ўзбекистон, Тошкент шаҳри, Янги Олмазор кўчаси, 20-уй. Тел.: (+99871) 248-79-59; e-mail: info@ispm.uz).

Диссертация автореферати 2021 йил « 10 » 05 да таркатилди.
(2021 йил « 10 » 05 даги 23 рақамли реестр баённомаси)



Ш.Б. Утамурадова
Илмий даражалар
берувчи
Илмий кенгаш раиси, ф-м.ф.д.,
профессор

Ж.Ж. Хамдамов
Илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш котиби

 **З. Т. Азаматов**
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш
кошидаги илмий семинар раиси,
ф.-м.ф. д., профессор

Кириш (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда истеъмол қилинадиган энергия асосан қазилма ёқилғилардан (газ, кўмир, нефт ва уран) фойдаланган ҳолда олиниб, улар иссиқлик энергияси ва ядро энергиясидан ташкил топади. Лекин бундай ёқилғиларнинг миқдори чекланганлиги, экологик жиҳатдан тоза эмаслиги ва сейсмик жиҳатидан барқарор эмаслиги сабабли, энергия таъминоти масаласида экологик жиҳатдан тоза бўлган қайта тикланувчи энергия манбалари (шамол ва қуёш энергияси), айниқса фотоэнергетика алоҳида ўринга эга. Бу борада самарали қуёш батареяларини, хусусан яримўтказгич ҳоссага эга TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларининг яратиш муҳим аҳамият касб этади.

Дунёнинг етакчи лабораторияларида охириги ўн йилликда юпқа қатламли яримўтказгичли полимер электролитлар, тузлар ва рангловчи молекуляр пардалар (бўёқлар)дан иборат тузилмалар асосида яримўтказгич асосли юқори сезгир бўёқли қуёш элементлари (Dye-sensitized solar cell- DSSC)ни яратиш бўйича илмий изланишлар олиб борилмоқда. Одатдаги қуёш элементларида заряд ташувчиларни ажратишда p-n ўтишдаги электр майдон ўрнида бевосита бўёқ қатлами билан қопланган электроддан фойдаланиш билан боғлиқ бўлиб, бу борада қатламлар параметрларини оптималлаштириш ва тайёрлаш технологиясини такомиллаштириш орқали самарадор қуёш батареяларини яратишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Республикамизда Малайзиянинг “MALAYA” Университети билан ҳамкорликда биринчилардан бўлиб маҳаллий ашёлар асосида содда, арзон, юзанинг катталиги ва айниқса Ўрта Осиё иқлими шароитида узоқ муддат деградациясиз ишлай олдиган қуёш элементларини яратиш технологияси ва фотоэлектрик характеристикаларини асослаш борасида муайян натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси¹да илмий тадқиқот ва инновацион фаолиятни рағбатлантириш масалалари, ишлаб чиқаришга энергия тежамкор технологияларни жорий қилиш, қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланишни кенгайтириш вазифалари белгилаб берилган. Бу борада арзон яримўтказгич материаллари асосидаги эффектив қуёш элементларини ишлаб чиқиш, электролит асосли юқори сезгир бўёқли қуёш элементларининг электрофизик характеристикаларини ва уларни электролит таркибига боғланишини асослаш муҳим илмий аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги «2017–2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ПФ–4947-сон Фармони ҳамда 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сон “Фанлар Академиясининг фаолияти ва илмий-тадқиқот ишларини такомиллаштириш-ни ташкил қилиш, бошқариш ва молиялаштириш бўйича чора-тадбирлари

¹Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ПФ–4947-сон Фармони.

тўғрисида”ги, 2018 йил 14 июлдаги ПФ-3855-сон “Илмий ва илмий-техникавий фаолият натижаларини тижоратлаштириш самарадорлигини ошириш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”ги қарорлари ва мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга мазкур диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикасида фан ва технологияни ривожланишнинг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг III ва IV: «Энергия, энергия ресурсларини тежаш, транспорт, машинасозлик ва асбобсозлик; замонавий электроника, микроэлектроника, фотоника, электрон асбобсозликни ривожлантириш» ва «Қайта тикланадиган энергия манбаларидан фойдаланиш усуллари ишлаб чиқиш, нанотехнология, фотоника ва бошқа замонавий технологиялар асосида янги технологиялар ва қурилмалар ишлаб чиқиш» устувор йўналишлари мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Яримўтказгич ҳоссасига эга TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларининг оптик хусусиятлари биринчи бўлиб Швеция Федерал Технология институтининг профессори Майкл Грацел ва унинг жамоадoshлари томонидан ўрганилган. Улар томонидан яратилган бундай турдаги қуёш элементларининг максимал фойдали иш коэффициенти 14.3%, яроқлилик муддати эса 10 йилдан ортиқ эканлиги кўрсатилган. TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларида заряд ташувчиларнинг асосий параметрларини органик яримўтказгичли электролит тузининг концентрациясига боғлиқлигини Малайзиянинг “MALAYA” Университети профессори А.К. Ароф ва унинг жамоадoshлари, юқори сезгир бўёқли қуёш элементлари электролитларининг ўтказувчанлигини аниқлашган. Шунингдек, Швециянинг “Chalmers” технология университети профессорлари Т.М.Бандара, W.J.Dissanayake ва М.Фурлани электролитларнинг ўтказувчанлигини ўлчашган. Яримўтказгич хусусиятига эга юқори сезгирли бўёқли қуёш элементларидаги физик ва кимёвий жараёнлар кечишини япон олимлари К.Какіаге ҳамда Ҳ.Аоуамалар аниқлашган. Россиялик олимлар Н.И. Никитин, А.В.Рыженков ва Т.Н.Патрушевлар томонидан бу турдаги қуёш элементларининг электрофизик параметрлари ўрганилган ҳамда Қозғоғистон республикаси Караганда университети олими Н.Х.Ибраев томонидан янги турдаги қуёш элементларининг оптик хоссаларини ўрганиш бўйича илмий изланишлар олиб борилмоқда.

Ўзбекистонлик машҳур академиклар: М.С.Саидов, Р.А.Муминов, М.К. Баҳадирханов ва С.З.Зайнобиддинов илмий мактабларида ҳамда профессорлар: М.Турсунов, Р.Алиев ва Р.Икрамовлар томонидан монокристалл, поликристалл ва аморф яримўтказгич асосли ҚЭларининг самарадорлигини ошириш борасида кўплаб илмий изланишлар амалга оширилган. Бироқ ҳозирги кунга қадар Ўзбекистон Республикасида яримўтказгич ҳоссасига эга TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли

структуралардан ташкил топган қуёш элементларининг электрофизик хусусиятлари, ишлаш принципи ва тайёрлаш технологияси бўйича илмий изланишлар олиб борилмаган.

Диссертация тадқиқотнинг диссертация бажарилган олий таълим ёки илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Наманган муҳандислик технология институти ва Малайзиянинг “MALAYA” университети ўртасидаги ҳамкорлик шартномасига асосан Малайзиянинг “MALAYA” университети “Физика” факультети Ион маркази илмий-тадқиқот режасининг (No. FG029-17AFR) ва (FRGS 054-2014A) рақамли “Бўёқ сезгир қуёш хужайрасини тайёрлаш усули ва уларнинг фотоволтаик хусусиятлари” мавзусидаги илмий-тадқиқот лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади яримўтказгич хоссасига эга TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларини ишлаб чиқариш технологиясини яратиш, уларнинг электрофизик, фотоэлектрик ва фотогальваник характеристикаларини ҳамда электролитдаги заряд ташувчиларнинг электрофизик параметрларини температурага боғлиқлигини аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларининг янги, оптимал таркибий тузилмаларини яратиш ва тадқиқ қилиш;

TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларининг электролитларидаги заряд ташувчиларнинг электрофизик параметрларини ҳароратга боғланишини тадқиқ қилиш;

электролит асосли юқори сезгир бўёқли қуёш элементларининг электрофизик, фотоэлектрик характеристикаларини ва уларни электролит таркибига боғланишини тадқиқ қилиш;

TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларининг оптимал иш режимини аниқлаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида Яримўтказгич асосли юқори сезгир бўёқли қуёш элементлари; органик яримўтказгичли суюқ ва гел- полимер электролитлар; Полиэтиленоксид (PEO), этилен карбонат (EC), пропилен карбонат (PC), тетропропиламмонийодид (TPAI), йод (I_2), ва диметилформомид (DMF) олинган.

Тадқиқотнинг предмети TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларининг электрофизик ва фотоэлектрик характеристикалари, уларни тайёрлаш технологиялари, ҳамда оптималлаштириш усулларида иборат.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертацияда DSSC қуёш элементи электролитларидаги заряд ташувчиларни электрофизик параметрларини аниқлашда импеданс спектроскопия усулидан, модуляцияланган фототок интенсивлиги спектроскопиясидан (IMPS- Intensity modulated photocurrent spectroscopy) ҳамда модуляцияланган фотокучланиш интенсивлиги спектроскопияси (IMVS- Intensity modulated photovoltage spectroscopy)

усулларидан ҳамда қуёш элементига тушувчи фотонларнинг фототокка айланиш самарадорлигини (IPCE- Incident photon to current conversion efficiency) ўлчаш каби усуллардан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

илк бор яримўтказгич хоссасига эга TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган ва таркибида ТРАІ тузи ҳамда I_2 (йод) бўлган қуёш элементларининг янги турларини тайёрлаш технологияси ишлаб чиқилган;

TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларининг фотогальваник характеристикалари – фотовольт-ампер характеристикасининг тўлдириш коэффициенти (ff), кучланиш (U_{max}), ток зичлиги (I_{max}), қувватнинг (P_{max}) эффектив қийматлари ва қуёш элементларининг фойдали иш коэффициенти (η) аниқланган;

суяқ электролит асосли ҚЭ лари фойдали иш коэффициенти η нинг энг юқори қиймати 6,74%, гел-полимер электролит асосли ҚЭ ларининг фойдали иш коэффициенти эса 5,5% эканлиги аниқланган;

илк бор TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларидан Ўзбекистон иқлим шароитида фойдаланиш мақсадида, ҳароратнинг $-30 \div 100^\circ\text{C}$ интервалида ҚЭ ларининг турғун ҳолатда ишлаши аниқланган;

илк бор юқори сезгир бўёқли қуёш элементларида ТРАІ тузи миқдори ортиши билан электролитдаги эркин ионлар концентрацияси, диффузия коэффициенти ҳамда ион ўтказувчанлигининг ортиши ва бунинг натижасида ҚЭ нинг самарадорлиги деярли 2 марта ортиб, 3,29 дан 6,74 гача етиши аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

яримўтказгич хоссасига эга TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларини фотогальваник характеристикалари аниқланган;

юқори сезгир бўёқли қуёш элементларини тайёрлаш усули ўрганилган ва яратилган, шунингдек янги авлод қуёш элементлари Ўзбекистон иқлимига мослаштирилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги олиб борилган тажрибаларнинг услубий жиҳатдан синалган, математик статистика усулларидан фойдаланилгани ва тажрибалар давомида ҳалқаро тан олинган методлардан фойдаланилганлиги ҳамда тажрибада аниқланган параметрларни назарий ҳисобланган ва адабиётларда мавжуд натижаларга мос тушиши билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти яримўтказгич хоссасига эга TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларини электрофизик ва оптик хусусиятларини тадқиқ этиш ҳамда фотогальваник характеристикаларини модда концентрациясига боғлиқлигини ўрганиш қуёш элементлари самарадорлигини оширишнинг назарий асосларини ривожлантириш имконларини кўрсатишдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти таннархи арзон ва ишлаб чиқариш технологияси қулай бўлган яримўтказгич хоссасига эга TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларини тайёрлаш технологиясини амалиётга тадбиқ этиш ҳамда Ўзбекистон иқлим шароитига мослаштириш, маҳаллийлаштириш мумкинлигини кўрсатишдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.

Яримўтказгич хоссасига эга TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларини фотогальваник характеристикаларини ва уларни тайёрлаш усулини тадқиқ қилишда олинган илмий натижалар асосида:

электрохимий импеданс спектроскопия усулидан суюқ электролитлар, конденсатланган тузлар, ионўтказувчи полимерлар ва шишаларнинг ион ўтказувчанлигини аниқлашда ва улардаги заряд ташувчилар концентрацияси, ҳаракатчанлиги ҳамда диффузия коэффицентини ҳисоблаш «Фотон» акциядорлик жамиятида қуёш элементларининг намуналари ишлаб чиқишда фойдаланилган («Ўзэлтехсаноат» акциядорлик компаниясининг 2020 йил 19 октябрдаги 04-1/1922 сон маълумотномаси). Илмий натижалардан фойдаланиш яримўтказгичли электрон қурилмалар ишлаб чиқариш имконини берган;

ҚЭ электролити таркибида TPAI тузи бўлган яримўтказгич хоссасига эга TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларининг аниқланган электрофизик ва оптик параметрларини TPAI тузи концентрациясига ва температурага боғлиқлиги борасидаги тадқиқот натижаларидан Малайзиянинг “MALAYA” университети “Ион маркази” илмий лабораториясида DSSCларнинг характеристикаларини тадқиқ этишда ҳамда Малайзия халқаро Ислом Университетида FRGS–039–0647 рақамли илмий грантларда фойдаланилган (“MALAYA” университетининг 17.08.2020 йилдаги ва Малайзия халқаро Ислом Университетининг 30.08.2020 йилдаги 0820-KOE-52 рақамли маълумотномалари). Илмий натижалардан фойдаланиш DSSC ларининг самарадорлигини электролит таркибидаги туз микдорига боғлиқлигини аниқлаш, улардан янги турдаги ҚЭ ни яратиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация ишини бажаришдан олинган илмий натижалар 4 та халқаро ва 2 та республика илмий-амалий анжуманларида маруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 15 та илмий иш, шулардан 9 та мақола Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда, чоп этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, 115 номдаги фойдаланилган адабиётлар рўйхати, 11 та жадвал, 38 та расмдан иборат бўлиб, ҳажми 116 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, мавзу бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи ва муаммонинг ўрганилганлик даражаси келтирилган. Тадқиқот мақсади, вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар берилган.

Диссертациянинг «**Янги авлод кўп қатламли структуралар**» деб номланган биринчи бобида адабиётларда келтирилган натижалар таҳлил қилинган. Ушбу бобда яримўтказгич асосли юқори сезгир бўёқли қуёш элементлари (DSSC- Dye sensitized solar cell)ни анъанавий яримўтказгичли қуёш элементларидан фарқли жихатлари ва шу турдаги қуёш элементларини тузилиши, тайёрлаш технологиялари ҳамда фотогальваник характеристикаларини тадқиқ қилишдан келиб чиқадиган натижалар ўрганилган. Яримўтказгич асосли DSSC ларда эркин заряд ташувчиларнинг ҳосил бўлиш жараёни ва дунё олимлари томонидан ўрганилган электрофизик параметрлари билан бир қаторда қуёш элементининг айрим физик параметрлари таҳлили келтирилган. Булардан келиб чиққан ҳолда диссертация ишининг мақсад ва вазифалари белгиланган.

Диссертациянинг “**TiO₂ асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларининг ишлаш принципи ва тайёрлаш технологиялари**” деб номланган иккинчи бобида кўп қатламли тузилмалардан иборат юқори сезгир бўёқли ҚЭ ларининг ишлаш принципи келтирилган 1-расм. Суюқ ва гел полимер электролитли яримўтказгич асосли DSSC қуёш элементларида қўлланиладиган электролитларни тайёрлаш технологияси яратилган. Суюқ ва гел-полимер электролитларнинг заряд ташувчиларини диффузия коэффиценти, ҳаракатчанлиги ҳамда концентрациясини аниқлаш учун электрохимий импеданс усулидан фойдаланиш мумкин эканлиги ҳамда тажриба натижаларини электрохимий импеданс спектроскопияси графигидан фойдаланиб назарий ҳисоб-китоблар билан солиштириш мумкинлиги кўрсатилган. Электролитнинг электрохимий импеданс спектроскопияси усулида олинган натижалар графиги 2-расмда тасвирланган.

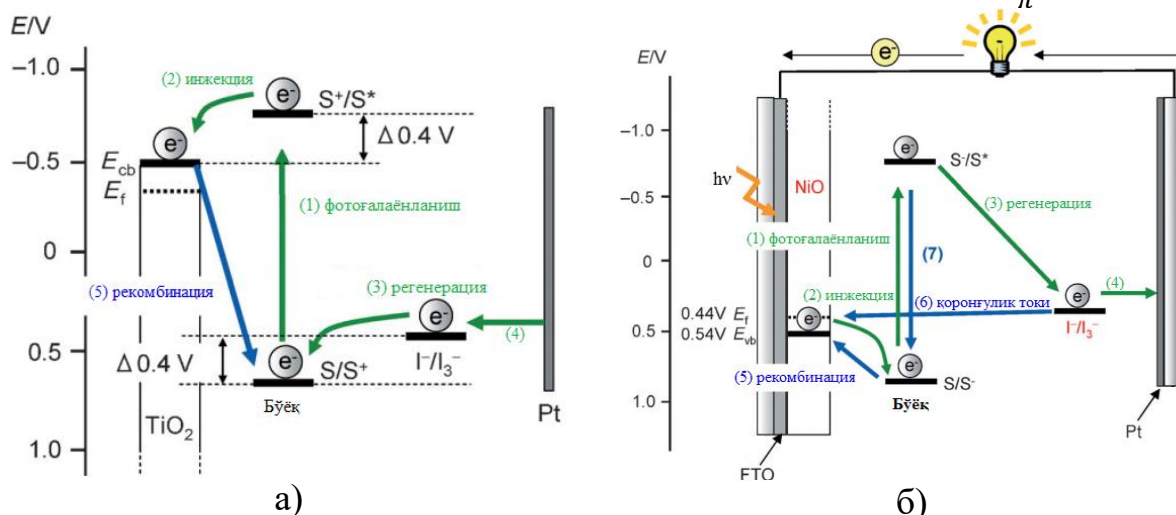
Маълумки, электролитнинг қаршилиги импедансининг ҳақиқий ва мавҳум қисмлари қуйидаги формулалар орқали ифодаланади:

$$Z_r = \frac{\cos\left(\frac{\pi p}{2}\right)}{k^{-1}\omega^p} \quad (1)$$

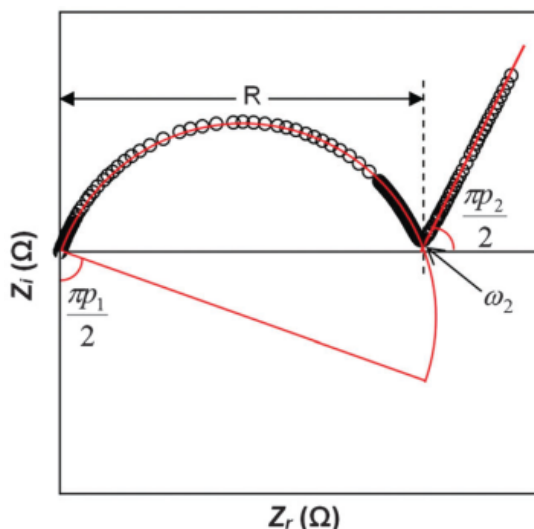
ва

$$Z_i = \frac{\sin\left(\frac{\pi p}{2}\right)}{k^{-1}\omega^p} \quad (2)$$

бу ерда Z_r ва Z_i мос равишда импедансинг ҳақиқий ва мавҳум қисмлари, ω частота, бу ифодалардаги p 2-расмдан аниқланади яъни $p = \frac{2tg\alpha}{\pi}$.



1-расм. а) n –тип ва б) p -тип яримўтказгичли юқори сезгир бўёқли қуёш элементларининг ишлаш принципи ва уларда кечадиган физик жараёнлар.



2-расм. Электродитнинг электрокимёвий импеданс спектроскопияси графиги.

Импедансни ҳақиқий қисми актив қаршиликка тенг бўлади, яъни $Z_r = R$, бу катталикини электродитнинг электрокимёвий импеданс спектроскопияси графигидан фойдаланиб аниқланади. k -эса электродитнинг электр сифимиға тескари катталик бўлиб, у

$$C = k^{-1} = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 S}{d} \quad (3)$$

формуладан аниқланади. Бу формуладаги ϵ_r электродитнинг нисбий диэлектрик сингдирувчанлиги, ϵ_0 электр доимийси, S электродит ва контакт чегараларини юзаси, d электродит қатламини қалинлиги. Намунанинг ионўтказувчанлиги σ қуйидаги формула ёрдамида ҳисобланди:

$$\sigma = \frac{l}{RS} \quad (4)$$

бу ерда l -электродит қалинлиги, R - электродитнинг актив қаршилиги, S -электродит юзаси.

Электролитдаги эркин ионларнинг диффузия коэффиценти D , ҳаракатчанлиги μ , ҳамда концентрация n қуйидаги формулалар ёрдамида аниқланади:

$$D = \frac{d^2}{\tau} \quad (5)$$

Бу ерда $\tau = \frac{1}{\omega}$; ω - частота бўлиб, у Z_i нинг энг кичик қийматига мос келади. (3) формуладан

$$d = k\varepsilon_r\varepsilon_0 S \quad (6)$$

эканлигини билган ҳолда (5) ва (6) дан фойдаланиб диффузия коэффиценти ифодасини келтириб чиқариш мумкин:

$$D = \frac{(k\varepsilon_r\varepsilon_0 S)^2}{\tau} \quad (7)$$

заряд ташувчиларнинг ҳаракатчанлиги μ Нернст-Эйнштейн формуласига асосан қуйидагича ифодаланади:

$$\mu = \frac{eD}{k_b T} \quad (8)$$

бу ерда k_b - Больцман доимийси, T -абсолют температура, e -электрон заряди.

(7) ва (8) ифодалардан заряд ташувчиларнинг ҳаракатчанлигини ҳисоблаш учун қуйидагини ҳосил қилишимиз мумкин:

$$\mu = \frac{e(k\varepsilon_r\varepsilon_0 S)^2}{k_b T \tau} \quad (9)$$

электролитнинг ион ўтказувчанлиги

$$\sigma = n\mu e \quad (10)$$

формула ёрдамида аниқланади. Заряд ташувчиларнинг концентрацияси n ни юқоридаги (9) ва (10) формулалардан фойдаланиб қуйидагича ифодалашимиз мумкин:

$$n = \frac{\sigma k_b T \tau}{(ek\varepsilon_r\varepsilon_0 S)^2} \quad (11)$$

Юқоридаги (7), (9) ва (11) ифодалардан фойдаланиб электролитнинг заряд ташувчиларини диффузия коэффиценти, ҳаракатчанлиги, ҳамда концентрациясини аниқланади.

Маълумки, қуёш элементларининг V_{oc} -салт ишлаш кучланиши (Open circuit voltage), J_{sc} -қисқа туташуш токи зичлиги (short circuit current), максимал ток кучи (I_{max}), максимал кучланиш (V_{max}), тўлдириш коэффиценти (FF) ва самарадорлиги яъни, фойдали иш коэффиценти (η) асосий фотоэлектрик параметрларидир.

Яримўтказгич асосли DSSC ларнинг тўлдириш коэффиценти қуйидаги формула орқали ифодаланди:

$$FF = \frac{J_{max} * V_{max}}{J_{sc} * V_{oc}} \quad (12)$$

бу ерда J_{max} ва V_{max} мос равишда максимал ток зичлиги ва максимал кучланиш, J_{sc} қисқа туташув токи зичлиги, V_{oc} салт ишлаш кучланиши. DSSC нинг энергия самарадорлигини яъни, фойдали иш коэффицентини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\eta(\%) = \frac{V_{oc} \times J_{sc} \times FF}{P_{in}} \times 100\% \quad (13)$$

бу ерда P_{in} – қуёш элементининг ишчи юзасига тушаётган ёруғлик қувватининг зичлиги.

Яримўтказгич асосли DSSC қуёш элементларида электронларни транспорт вақти ва ўртача яшаш вақтини аниқлаш учун модуляцияланган фототок интенсивлиги спектроскопияси (IMPS) ва модуляцияланган фотокучланиш интенсивлиги спектроскопияси (IMVS) усулидан фойдаланилди.

IMPS тажрибаси бизга электронларни транспорт вақтини аниқлашга имкон беради ва у қуйидагича аниқланади:

$$\tau_{tr} = \frac{1}{2\pi f_{IMPS}} \quad (14)$$

Бу ерда f_{IMPS} DSSC учун IMPS нинг максимал частотаси.

Бундан ташқари IMVS тажрибасидан фойдаланиб электроннинг ўртача яшаш вақти аниқланди.

$$\tau_{rec} = \frac{1}{2\pi f_{IMVS}} \quad (15)$$

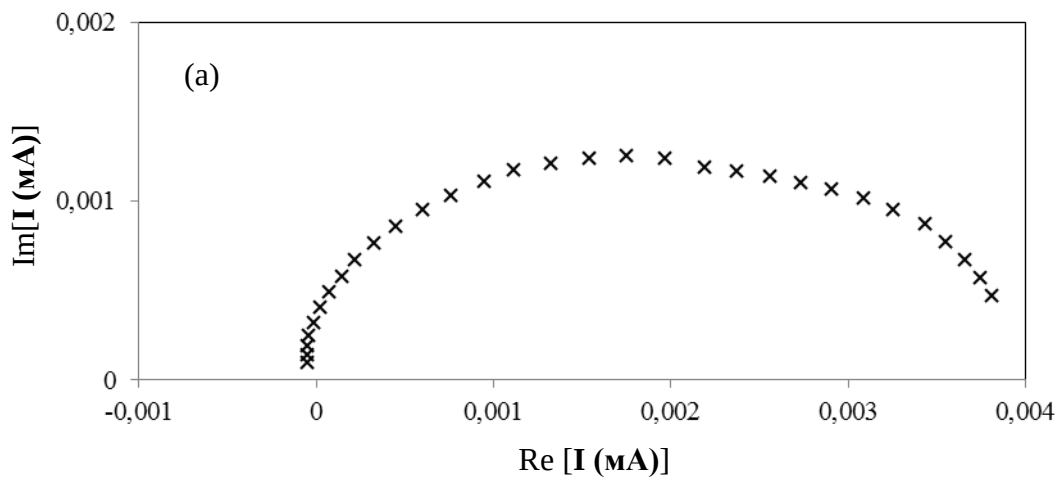
бу ерда f_{IMVS} DSSC учун IMVS нинг максимал частотаси. Ўтказилган тажрибалар натижасида олинган IMPS ва IMVS графиклари 3-расмда тасвирланган.

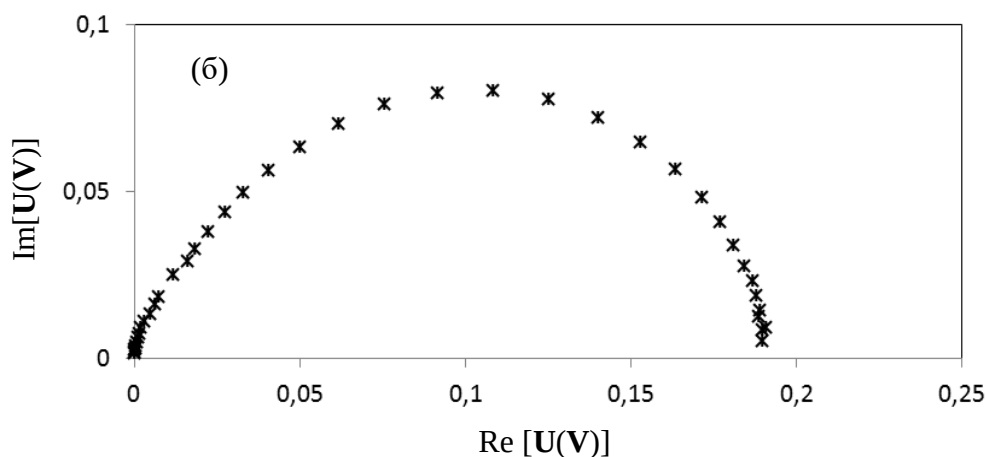
Электроннинг транспорт вақти ва яшаш вақтини билган ҳолда қуёш элементлари учун муҳим бўлган бошқа параметрлар – заряд тўплаш самарадорлиги (η_{coll}), электронларни диффузия коэффиценти (D) ва электроннинг эркин югуриш узоклиги (L_n) ни қуйидаги формулалар ёрдамида аниқлаш мумкин:

$$\eta_{coll} = 1 - \frac{\tau_{tr}}{\tau_{rec}} \quad (16)$$

$$D = \frac{d^2}{2.35\tau_{tr}} \quad (17)$$

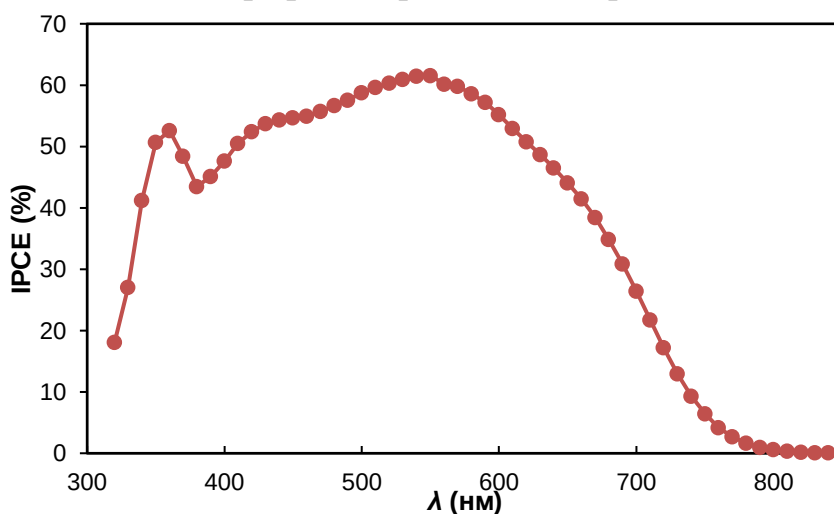
$$L_n = \sqrt{D\tau_{rec}} \quad (18)$$





3-расм. а) IMPS ва б) IMVS графикларини кўриниши.

Яримўтказгич асосли DSSC қуёш элементларида фотонларнинг фототокка айланиш самарадорлиги IPCE (Incident photon to current conversion efficiency) усули билан 300 нм дан 900 нмгача бўлган тўлқин узунлиги оралиғида аниқланди. IPCE графиги 4-расмда келтирилган.

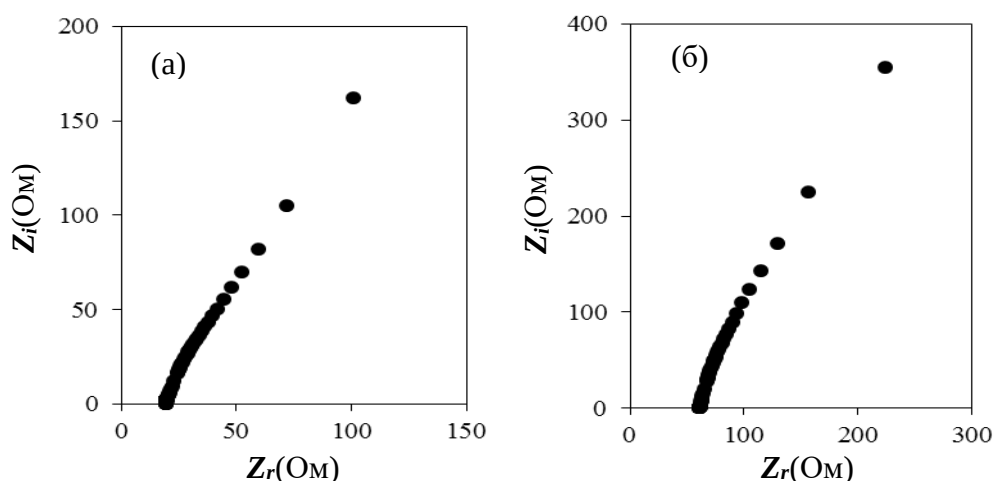


4-расм. Яримўтказгич ҳоссаига эга TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементига тушувчи фотонларнинг фототокка айланиш самарадорлиги (IPCE) графиги.

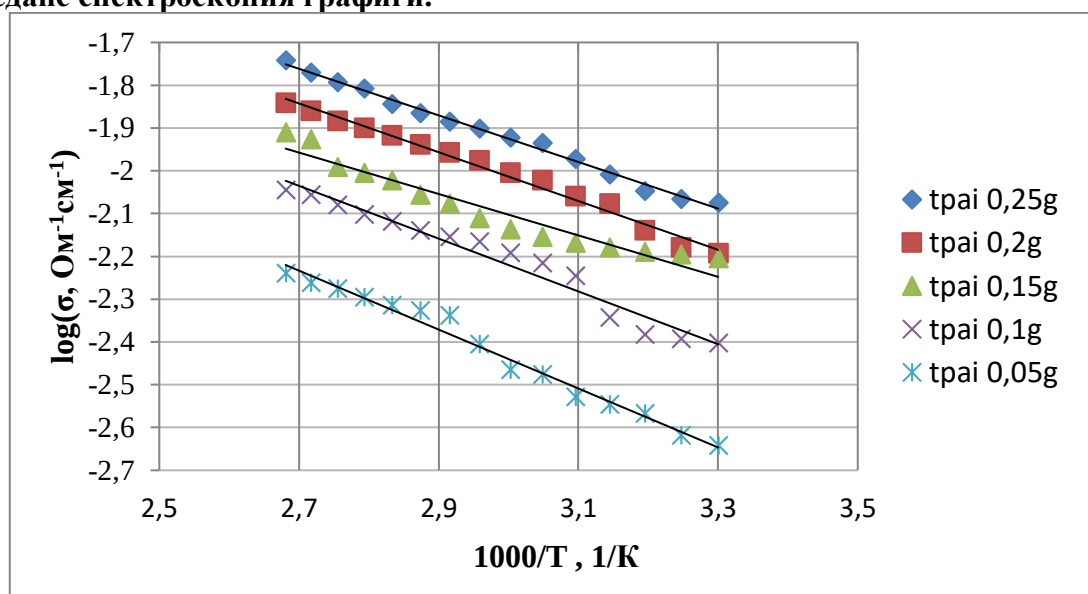
Диссертациянинг “Органик яримўтказгичли электролитларда заряд ташувчиларнинг транспорти” деб номланган учинчи бобида Гел-полимер электролитга қараганда суяқ полимер электролит юқори ион ўтказувчанликка эга бўлиши кўрсатилган (5-расм). Турли миқдордаги ТРАІ тузига эга бўлган суяқ ва гел-полимер электролитларда туз миқдори ошиши билан қаршилик камайиб, электр ўтказувчанлик эса ортиб бориши келтирилган (6-расм).

Расмдан кўринадики электролитнинг ион ўтказувчанлиги температура ортиши билан экспоненциал равишда ортиб бормоқда, бу эса электролитнинг яримўтказгичли ҳоссага эга эканлигини билдиради.

Температура ўзгариши билан электролитнинг ўтказувчанлиги, ионлар концентрацияси, ҳаракатчанлиги ва электролитларнинг диффузия коэффициенти ҳам ўзгариб бориши 1,2-жадвалларда келтирилган.



5-расм. Органик яримўтказгичли а) суюқ ва б) гел полимер электролитнинг импеданс спектроскопия графиги.



6-расм. ТРАІ тузининг миқдори турлича бўлган органик яримўтказгичли гел-полимер электролитларнинг ион ўтказувчанлигининг температурага боғлиқлиги.

Жадвалдан кўриниб турибдики, температура ортиши билан электролитнинг ўтказувчанлиги $5,92 \cdot 10^{-4} \text{ С см}^{-1}$ дан $4,33 \cdot 10^{-3} \text{ С см}^{-1}$ гача, ионлар концентрацияси $1,23 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ дан $2,89 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ гача, ионлар ҳаракатчанлиги $1,66 \cdot 10^{-5}$ дан $9,35 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-2}$ гача, диффузия коэффиценти эса $3,47 \cdot 10^{-7}$ дан $2,24 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$ гача ортиб борар экан.

1- жадвал.

Таркибида 0.25 гр ТРАІ бўлган органик яримўтказгичли гел полимер электролитларнинг асосий параметрлари.

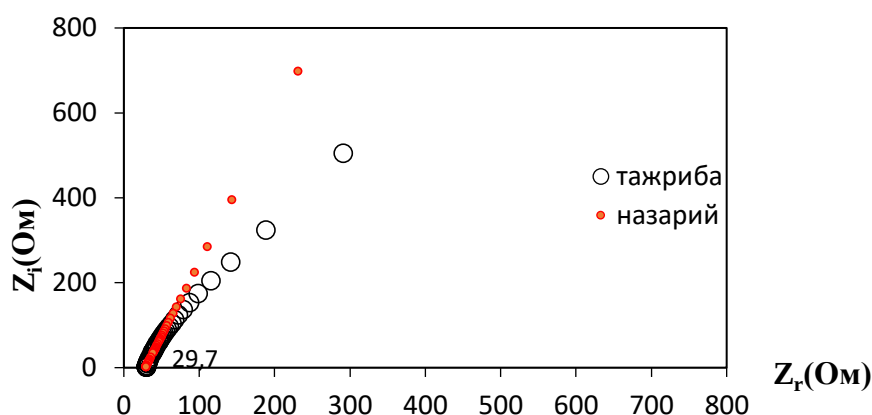
t (°C)	n ($\times 10^{20} \text{ см}^{-3}$)	μ ($\times 10^{-5} \text{ см}^2 \text{ В}^{-1} \text{ с}^{-2}$)	D ($\times 10^{-6} \text{ см}^2 \text{ с}^{-1}$)	σ (мС см $^{-1}$)
5	2,89±0,34	9,35±1,3	2,24±0,122	4,33
0	2,5±0,08	9,00±1,11	2,12±0,126	3,69
-5	2,39±0,12	8,86±0,29	2,05±0,166	3,39
-10	2,13±0,16	7,67±0,34	1,74±0,179	2,62
-15	1,92±0,21	7,05±0,49	1,57±0,186	1,79

-20	1,69±0,51	2,99±0,51	0,651±0,0208	1,26
-25	1,46±0,43	2,26±0,48	0,484±0,0245	0,866
-30	1,23±0,29	1,66±0,45	0,347±0,0333	0,592

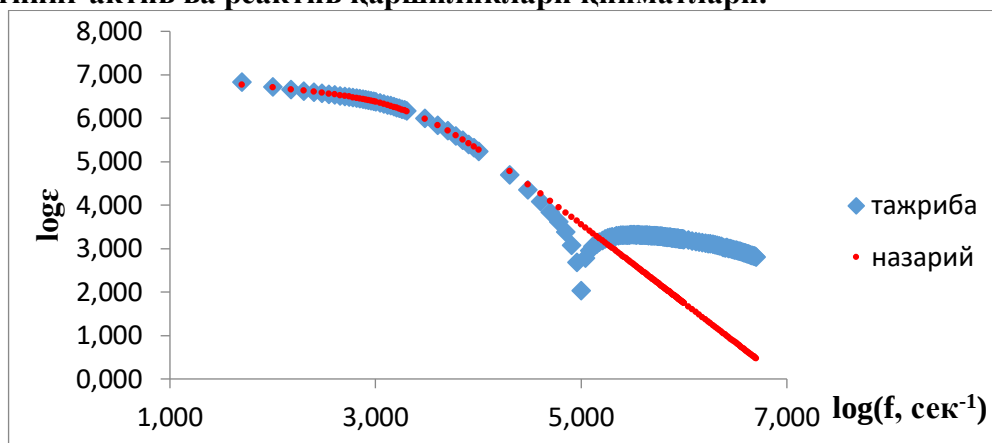
2- жадвал.

Таркибида 0.25 гр ТРАІ бўлган органик яримўтказгичли гел полимер электролитларнинг асосий параметрлари.

t (°C)	$n(\times 10^{20} \text{см}^{-3})$	$\mu (\times 10^{-5} \text{см}^2 \text{В}^{-1} \text{с}^{-2})$	$D (\times 10^{-6} \text{см}^2 \text{с}^{-1})$	$\sigma (\text{мС см}^{-1})$
30	6,45±0,14	9,14±1,1	23,87±1,22	9,44
40	7,53±0,08	8,9±1,11	24,00±1,26	10,73
50	8,8±0,12	8,65±0,29	24,08±1,36	12,19
60	10,01±0,16	8,41±0,21	24,15±1,47	13,50
70	11,12±0,21	8,23±0,25	24,34±1,51	14,67
80	12,43±0,21	8,05±0,31	24,49±2,08	16,03
90	13,79±0,3	7,86±0,34	24,6±2,15	17,34
100	15,38±0,2	7,67±0,35	24,66±2,13	18,03



7-расм. Таркибида 0.25 гр ТРАІ бўлган органик яримўтказгичли гел- полимер электролитнинг актив ва реактив қаршиликлари қийматлари.



8-расм. Таркибида 0.25 гр ТРАІ бўлган органик яримўтказгичли гел- полимер электролитнинг диэлектрик сингдирувчанлиги қийматлари.

Тажриба ва назарий ҳисоблаш натижаларидан олинган диэлектрик сингдирувчанликнинг ўртача хатолиги 2.28% ни ташкил этиши аниқланди.

Тажрибалардан аниқланган электрохимий импедас спектрларини, электролитларни диэлектрик сингдирувчанлигини ҳамда электролитларни актив ва реактив қаршиликлари назарий усулда ҳисобланган натижалар билан мос келиши кўрсатилган (7-8-расм).

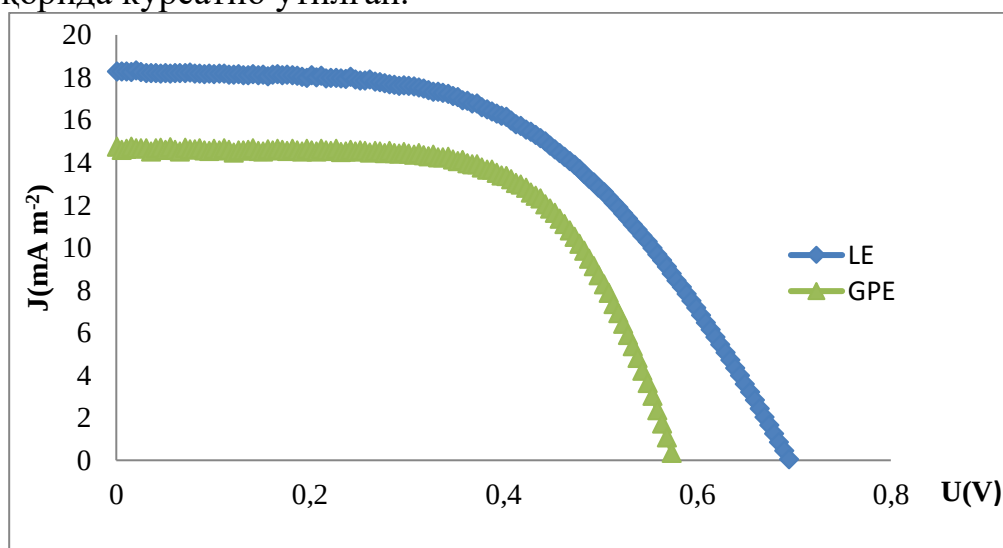
Диссертациянинг “**TiO₂ асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган қуёш элементларининг фотоэлектрик характеристикалари**” деб номланган тўртинчи бобида суюқ ва гел-полимер электролитли DSSC ларининг фото ВАХ ларидан фойдаланиб уларнинг фотоэлектрик ҳамда фотогальваник характеристикалари ўрганилган (9-расм). Суюқ электролит асосли DSSC қуёш элементларини фотогальваник параметрлари гел полимер электролит асосли DSSC қуёш элементларига қараганда каттароқ бўлиши аниқланди 3-жадвал.

3-жадвал.

**Органик яримўтказгичли суюқ ва гел полимер электролитли DSSC
Қуёш элементларининг фотоэлектрик характеристикалари**

Электролит тури	$U_{oc}(V)$	$I_{sc}(mA)$	$I_{max}(mA)$	U_{max}	FF	$\eta \%$
суюқ	0.695	18.286	14.99	0.45	0.53	6.74
гел полимер	0.57	14.76	12.8	0.42	0.64	5.47

Тажрибадан суюқ электролитнинг жадвалда келтирилган параметрлари гел полимер электролитникига қараганда каттароқ бўлиши аниқланди. Бу параметрларнинг қиймати электролитдаги заряд ташувчиларнинг ҳаракатчанлиги, концентрацияси ва диффузия коэффициентига боғлиқ бўлиши юқорида кўрсатиб ўтилган.



9-расм. Таркибида 0.25 гр TPAI бўлган органик яримўтказгичли суюқ ва гел полимер электролит асосли ҚЭларининг ёритилгандаги вольт-ампер характеристикалари (ФотоВАХ).

Суюқ ва гел полимер электролит асосли яримўтказгичли DSSC ларини электролит таркибидаги TPAI миқдорини 0.05 гр дан 0.25 гр гача ортиши

билан қуёш элементларининг фойдали иш коэффициентлари ортиши аниқланди. Тажрибалар асосида яримўтказгичли DSSC ларининг фотоэлектрик характеристикалари аниқланди ва олинган натижалар 4-5-жадвалларда келтирилган. Тажриба натижалари ТРАІнинг массаси 0.25 гр бўлган электролит асосли қуёш элементининг параметрлари сезиларли даражада катта бўлишини кўрсатди. Электролит таркибидаги ТРАІ миқдорини 0.05 гр дан 0.25 гр гача ортиши билан суяқ электролит асосли DSSC нинг иш самарадорлиги икки баробарга ортиб, 3,29 дан 6,74% га етиши аниқланди.

4-жадвал.

Суяқ электролитли, TiO_2 асосидаги бўёқли кўп қатламли структуралардан ташкил топган ҚЭ ларининг фотоэлектрик характеристикаларини ТРАІ миқдorigа боғлиқлиги

ТРАІ миқдори (гр)	J_{sc} (mA cm ⁻²)	$U(V)$	FF	η %
0.05	11.78	0.65	0.43	3.29
0.10	17.28	0.66	0.53	6.04
0.15	15.76	0.67	0.60	6.33
0.20	18.12	0.70	0.52	6.60
0.25	18.286	0.695	0.53	6.74

Электролитдаги ТРАІ тузининг миқдори турлича бўлган гел полимер электролит асосли яримўтказгичли DSSC қуёш элементларининг фотоэлектрик характеристикаларини тажрибалардан олинган натижалари 5-жадвалда келтирилган.

5-жадвал.

Электролитдаги ТРАІ тузининг миқдори турлича бўлган гел-полимер электролит асосли қуёш элементларининг фотоэлектрик характеристикалари.

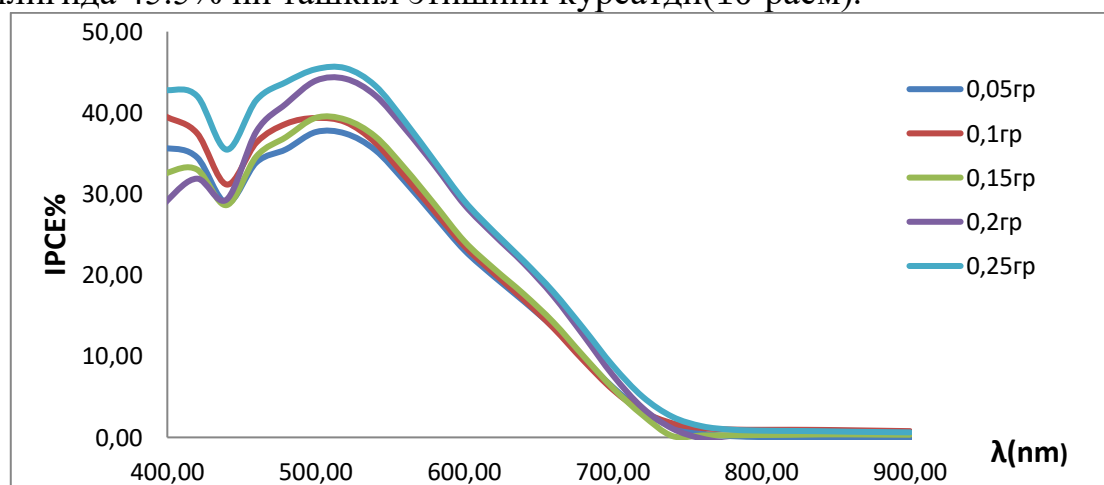
ТРАІ миқдори (гр)	J_{sc} (mA cm ⁻²)	$U(V)$	FF	η %
0.05	7.15	0.79	0.54	3.05
0.10	17.37	0.66	0.48	5.50
0.15	17.36	0.65	0.47	5.41
0.20	16.85	0.62	0.52	5.43
0.25	14.76	0.57	0.65	5.47

Таркибида турли миқдордаги ТРАІ тузига эга бўлган суяқ электролит асосли DSSC қуёш элементлари учун электронларни транспорт вақти ва ўртача яшаш вақти аниқланди. Юқоридаги параметрларни билган ҳолда биз заряд тўплаш самарадорлиги (η_{coll}), электронларни диффузия коэффициентлари (D) ва электронларнинг эркин югуриш узоклиги (L_n) ни аниқладик. Олинган натижалар 6-жадвалда келтирилган.

Таркибида 0.20 гр TPAI ва PEO бўлган гел-полимер электролит асосли ва турли миқдордаги TPAI га эга бўлган суюқ электролитли яримўтказгич асосли DSSC қуёш элементларининг τ_{tr} , τ_{rec} , D , L_n ва η_{coll} параметрлари.

Электролитлар	τ_{tr} (мс)	τ_{rec} (мс)	D (нм ² с ⁻¹)	L_n (µм)	η_{coll}
0.20g (PEO+TPAI)	6.3	50.3	11.42	23.97	0.87
0.05 g TPAI	6.3	79.8	11.42	30.19	0.92
0.10 g TPAI	5.0	100.5	14.38	38.02	0.95
0.15 g TPAI	6.3	40.0	11.42	21.37	0.84
0.20 g TPAI	5.0	40.0	14.38	23.98	0.88
0.25 g TPAI	8.0	50.4	8.99	21.29	0.84

DSSC қуёш элементига тушувчи фотонларнинг эркин заряд ташувчиларни ҳосил қилиш самарадорлиги (IPCE) аниқланди. Тажрибаларнинг кўрсатишича энг юқори самарадорликка таркибида 0.25 гр TPAI бўлган суюқ электролитли қуёш elementi эга ва у 520 нм тўлқин узунлигида 45.5% ни ташкил этишини кўрсатди(10-расм).



10-расм. Суюқ (LE) электролитли яримўтказгич асосли DSSC учун тушувчи фотонларнинг фототокка айланиш самарадорлиги (IPCE) ни тушаётган ёруғликни тўлқин узунлигига боғланиш графиги.

ХУЛОСАЛАР

1. Берилган хусусиятларга эга бўлган яримўтказгич хоссасига эга TiO₂ асосидаги бўёкли кўп қатламли структуралардан ташкил топган ҚЭларини тайёрлаш учун зарур яримўтказгич ва бўёқларни оптимал параметрлари, таркиблари ҳамда қуёш элементини тайёрлаш технологияси аниқланган.

2. Биринчи марта яримўтказгич хоссасига эга TiO₂ асосидаги бўёкли кўп қатламли структуралардан ташкил топган ҚЭларини таркибидаги TPAI тузи ва I₂ нинг турли миқдорларда бўлиши электролитлар фаоллашув энергиясига, улардаги заряд ташувчиларнинг концентрацияси, ҳаракатчанлиги, диффузия коэффиценти, электр ўтказувчанлиги ва диэлектрик сингдирувчанлигига боғлиқлик қонуниятлари аниқланди Тадқиқотлар TPAI тузи миқдори ортиши

билан бу параметрлар ортишини, натижада суюқ электролит асосли ҚЭ нинг самарадорлиги икки баробарга ортиб, 3,29 дан 6,74% га етиши аниқланган.

3. Биринчи марта ҳарорат -30°C дан 5°C гача ўзгарганда, температура ортиши билан органик яримўтказгичли электролитнинг ўтказувчанлиги 7,3 марта (0,59 дан 4,33 мОм/см гача), ионлар концентрацияси 2,35 марта ($1,23$ дан $2,89 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ гача), ионлар ҳаракатчанлиги 5,6 марта (1,66 дан $9,35 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ гача) ва ионлар диффузия коэффиценти 6,5 марта (0,347 дан $2,24 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$ гача) ошиб бориши кўрсатилган. Хона температурасидан 100°C гача бўлган ораликда ўтказилган тажрибаларда эса температура ортиши билан электролитнинг ўтказувчанлиги 1,9 марта (9,44 дан 18,03 мОм/см гача), ионлар концентрацияси 2,4 марта (6,45 дан $15,38 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ гача) ошиб бориши, ва ионлар диффузия коэффиценти деярли ўзгармаганлиги, ионлар ҳаракатчанлиги эса 1,2 марта (9,14 дан $7,67 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$ гача) камайиши кўрсатилган.

4. Органик яримўтказгичли электролитларда импеданс спектроскопиясининг назарий асослари таҳлил этилиб, уларни суюқ ва гел ҳолатидаги полимер электролитларнинг тажрибалардан аниқланаган диэлектрик сингдирувчанлиги ҳамда актив ва реактив қаршиликлари электрокимёвий импедас спектрлари билан мос келиши кўрсатилган.

5. Суюқ электролитли яримўтказгич хоссасига эга TiO_2 асосидаги бўёкли кўп қатламли структуралардан ташкил топган ҚЭларини фотогальваник параметрлари гел полимер электролит асосли яримўтказгичли DSSC ларига қараганда каттароқ бўлиши ҳамда уларнинг таркибидаги ТРАІ миқдорини 0.05 гр дан 0.25 гр гача ортиши билан қуёш элементларининг фойдали иш коэффиценти икки баробарга ортиши аниқланган.

6. Биринчи марта таркибида турли миқдордаги ТРАІ тузига эга бўлган суюқ электролитли яримўтказгич хоссасига эга TiO_2 асосидаги бўёкли кўп қатламли структуралардан ташкил топган DSSC лари учун зарядларни тўплаш самарадорлиги, электронларни диффузия коэффиценти ва электронларнинг эркин югуриш узоклиги аниқланди. Тадқиқот натижалари ТРАІ тузи миқдори 0,1 гр бўлганда ҚЭ ларининг зарядларни тўплаш самарадорлиги энг юқори қийматга эришиб, 95% га етишини кўрсатган.

7. Яримўтказгич хоссасига эга TiO_2 асосидаги бўёкли кўп қатламли структуралардан ташкил топган ҚЭ ларининг фото ВАХ ларини ва уларни ҳароратга боғлиқликларини алоҳида хусусиятларини назарий асослари таҳлил қилиниб, тажрибадан олинган натижаларни уларга мос келиши кўрсатилган.

8. Яримўтказгич хоссасига эга TiO_2 асосидаги бўёкли кўп қатламли структуралардан ташкил топган ҚЭга тушувчи фотонларнинг эркин заряд ташувчиларни ҳосил қилиш самарадорлиги (IPCE) таркибида 0.25 гр ТРАІ бўлган электролитли қуёш элементида кузатилиши аниқланди ва у ёруғликни 520 нмли тўлқин узунлигида 45.5% ни ташкил этиши кўрсатилган.

9. Яратилган DSSC ларни электрон асбоблар ишлаб чиқаришда “Фотон” АЖга ва уларни таркибидаги ТРАІ тузларининг миқдорини ўзгариши билан электрофизик параметрларини ўзгариши натижаларидан Малайзиянинг “MALAYA” университети “Ион маркази” илмий лабораториясида қўлланишлари учун тавсиялар яратилган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc. 03/30.12.2019 FM/T.01.12 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ИНСТИТУТЕ ФИЗИКИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВ И МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ
ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

**НАМАНГАНСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ**

АБДУКАРИМОВ АБДУЛЛАЗИЗ АБДУБАННОВЕВИЧ

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР С
КРАСИТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ ДИОКСИДА ТИТАНА**

01.04.10 – Физика полупроводников

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент–2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за № В2021.1.PhD/FM372.

Диссертация выполнена в Наманганском инженерно-технологическом институте

Автореферат диссертации размещен на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) на веб-странице Научного совета (ispm.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net.uz).

Научный руководитель: Маматкаримов Одилжон Охундадаевич,
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: Зайнобидинов Сирожидин Зайнобидинович,
доктор физико-математических наук, академик

Аноркулов Каримберди Эгамбердиевич,
доктор физико-математических наук, профессор

Ведущая организация: Нукусский государственный педагогический институт

Защита диссертации состоится «22» 05 2021 года в 12⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc. 03/30.12.2019 FM/T.01.12 при Научно-исследовательском институте физики полупроводников и микроэлектроники Национального университета. (Адрес: 100057, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Янги Алмазар, дом 20. Тел: (+99871) 248-79-94, факс (+99871) 248-79-92, e-mail: info@ispm.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Отделе внедрения информационных технологий института (зарегистрирована за № 23). Адрес: 100057, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Янги Алмазар, дом 20. Тел: (+99871) 248-79-59.

Автореферат диссертации разослан «10» 05 2021 года
(реестр протокола рассылки № 23 от 10 05 2021 г.).



Ш.Б. Утамурадова,
председатель Научного совета по
присуждению ученых степеней, д.ф-м.н.,
профессор

Ж.Ж.Хамдамов,
член секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней, PhD

З. Т. Азаматов
Председатель научного семинара
при Научном совете по присуждению
ученых степеней, д.ф-м.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. Энергия, потребляемая в мире, получается, в основном, с использованием ископаемых видов топлива (газа, угля, нефти и урана), которые состоят из тепловой энергии и ядерной энергии. Однако из-за ограниченного количества таких видов топлива, отсутствия у них экологической чистоты и сейсмической устойчивости экологически чистые возобновляемые источники энергии (ветровая и солнечная энергия), особенно фотоэлектрические, занимают особое место в вопросе энергоснабжения. В связи с этим большое значение имеет создание эффективных солнечных элементов, в частности солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами.

В последнее десятилетие ведущие лаборатории мира проводят исследования по созданию высокочувствительных цветных солнечных элементов (Dye-sensitized solar cell- DSSC) на основе полупроводниковых структур, состоящих из тонкослойных полупроводниковых полимерных электролитов, солей и окрашивающих молекулярных мембран (красителей). Это связано с использованием электрода, покрытого непосредственно слоем красителя, вместо электрического поля в p-n-переходе при разделении носителей заряда в обычных солнечных элементах, в связи с чем уделяется особое внимание на создание эффективных солнечных элементов за счет оптимизации параметров слоя и улучшения технологии приготовления.

В сотрудничестве с Университетом Малайзии «MALAYA» одним из первых в нашей стране на основе местных сырьевых минералов, достигаются определенные результаты в создании технологий и изучении фотоэлектрических характеристик этого типа солнечных элементов. В Стратегии¹ действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан определены цели стимулирования научно-исследовательской и инновационной деятельности, внедрения энергосберегающих технологий в производство и использования возобновляемых источников энергии. В связи с этим создание эффективных солнечных элементов на основе недорогих полупроводниковых материалов, обоснование электрофизических характеристик высокочувствительных солнечных элементов на основе электролита и их связь с составом электролита имеют большое научное значение.

Данное диссертационное исследование соответствует задачам, обозначенным в Указе Президента Республики Узбекистан № УК-4947 «О Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан на 2017–2021 годы» от 7 февраля 2017 года и в Постановлениях № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования

¹Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № Р-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года, № ПП-3855 «О дополнительных мерах по повышению эффективности коммерциализации результатов научной и научно-технической деятельности» от 14 июля 2018 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и техники III и IV «Энергия, энергосбережение, транспорт, машиностроение и приборостроение; развитие современной электроники, микроэлектроники, фотоники, электронного приборостроения» и «Развитие возобновляемых источников энергии, разработка новых технологий и устройств на основе нанотехнологий, фотоники и других современных технологий».

Степень изученности проблемы. Учёными из Швеции Майклом Грацелем с коллегами впервые изучены оптические свойства солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами. Максимальный КПД этого типа солнечных элементов, созданных ими, составляет 14,3%, а срок годности - более 10 лет. Малайский ученый А.К. Ароф и его коллеги обнаружили, что основные параметры носителей заряда в солнечных элементах, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 , зависят от концентрации соли органического полупроводникового электролита (университет «Malaya»). А также ученые Бандара, Диссанаяке и Фурлани из Швеции измеряли проводимость электролитов (Чалмерский технологический университет). Японскими учеными выявлены физико-химические процессы в солнечных элементах, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами. Российские ученые Никитин, Рыженков и Патрушевы изучены электрофизические параметры солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 , а также ведутся исследования оптических свойств солнечных элементов нового типа ученым из Казахстана Ибраевым.

В научных школах известных академиков Узбекистана: М.С. Саидова, Р.А. Муминова, М.К. Бахадирханова и С.З.Зайнобиддинова и профессорами: М. Турсунова, Р. Алиева и Р. Икрамова выполнены много исследований по повышению эффективности СЭ на основе кристаллических, поликристаллических и аморфных полупроводников. Однако до настоящего времени в республике Узбекистан научные исследования по электрофизическим свойствам, технологии изготовления и принципа работы солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами не проводились.

Связь диссертационной работы с тематическими планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в рамках договора о сотрудничестве между Наманганским инженерно-технологическим институтом и университета «MALAYA» (Малайзия) по

плану исследований ионного центра (№ FG029-17AFR) и научных проектов (FRGS 054-2014A) по теме “Способ получения сенсibilизированных красителем солнечных элементов и их фотоэлектрические характеристики” физического факультета Университета Малайзии.

Целью исследования является разработка технологии производства солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами, определение их электрофизических, фотоэлектрических и фотовольтаических характеристик и температурной зависимости электрофизических параметров носителей заряда в электролите.

Задачи исследования:

создание и исследование новых, оптимальных структурных систем солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 ;

исследование температурной зависимости электрофизических параметров носителей заряда в электролите солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 ;

исследование электрофизических и фотоэлектрических характеристик солнечных элементов с высокочувствительными красителями, основанных на электролитах, и изучение их связи с концентрацией соли;

определение оптимального режима работы солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 .

Объектом исследования являются солнечные элементы с высокочувствительными красителями на основе полупроводников; органические полупроводниковые жидкие и гель полимерные электролиты; полиэтиленоксид (PEO), этилен карбонат (EC), пропилен карбонат (PC), тетрапропиламмоний йодид (TPAI), йод (I_2), диметилформомид (DMF).

Предметом исследования является анализ электрофизических и фотоэлектрических характеристик солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 , технологии их изготовления, а также методы оптимизации.

Методы исследований. Для определения электрофизических параметров носителей заряда в электролитах солнечного элемента DSSC использованы метод импеданс спектроскопии, спектроскопия интенсивности модулированного фототока (IMPS-Intensity modulated photocurrent spectroscopy) и спектроскопия модулированной фотоэлектрической интенсивности (IMVS-Intensity modulated photovoltage spectroscopy), а также метод превращения фотонов на фототок, падающих на солнечный элемент (IPCE- Incident photon to current conversion efficiency).

Научная новизна исследования заключается в следующем:

впервые разработана технология производства солнечных элементов нового типа, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами, содержащих соль TPAI и I_2 (йод).

определены фотогальванические характеристики – коэффициент заполнения (ff) фото вольт-амперной характеристики, эффективные значения

напряжения (U_{max}), плотность тока (I_{max}), мощности (P_{max}) и КПД (η) солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 .

выявлено, что максимальное значение КПД солнечных элементов на основе жидкого электролита составляло 6,67%, а для солнечных элементов на основе геля полимерного электролита - 5,5%;

впервые для использования в климатических условиях Узбекистана солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 , выявлено стабильная работа СЭ в интервале температуры $-30 \div 100^\circ C$;

впервые установлено, что с увеличением содержания соли ТРАІ в солнечных элементах с высокочувствительными красителями увеличиваются концентрация свободных ионов в электролите, коэффициент диффузии и ионная проницаемость, что приводит к почти двукратному увеличению эффективности солнечного элемента, с 3,29 до 6,74.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

определены фотогальванические характеристики солнечных элементов, состоящих из многослойных структур на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами;

изучен и разработан метод приготовления высокочувствительных цветных солнечных элементов, а также адаптировано новое поколение солнечных элементов к климату Узбекистана.

Надежность результатов исследования. обосновывается на том факте, что в проведенных экспериментах использовались методологически проверенные, математические статистические методы и всемирно признанные методы во время экспериментов, а параметры, определенные в эксперименте, были теоретически рассчитаны, и согласуются с результатами, доступными в литературе.

Научная и практическая значимость результатов исследований. Научная значимость результатов исследования заключается в изучении электрофизических и оптических свойств солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами, и показать возможности разработки теоретических основ повышения эффективности солнечных элементов путем изучения зависимости фотогальванических характеристик от концентрации вещества.

Практическая значимость результатов исследования заключается в возможности внедрения в Узбекистане технологии производства дешевых солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами, простыми технологиями производства, а также адаптации к климатическим условиям Узбекистана.

Внедрение результатов исследований. На основе исследования фотогальванических характеристик солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами, и их метода приготовления:

на основе результатов исследований, полученных методом спектроскопии электрохимического импеданса, для определения ионной проводимости жидких электролитов, конденсированных солей, ионопроводящих полимеров и стекла, а также для расчета концентрации, подвижности и коэффициента диффузии носителей заряда в них разработаны образцы солнечных элементов в акционерном обществе «Фотон» (справка от акционерного общества «Узэлтехсаноат» № 04-1/1922 19 октября 2020 года). Использование научных результатов позволило производить полупроводниковые электронные устройства;

определенные электрофизические и оптические параметры солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами, от температуры и концентрации соли ТРАИ в электролитах, было использовано в исследовательской лаборатории «Ионного центра» Университета МАЛАЙЯ при изучении характеристики DSSC, и в Международного исламского университета Малайзии при фундаментальном проекте FRGS-039-0647 (справки Университета МАЛАЙЯ от 17.08.2020 и Международного исламского университета Малайзии от 30.08.2020 под номером 0820-КОЕ-52). Использование результатов исследования позволило определить зависимость КПД DSSC солнечных элементов от количества соли в электролите.

Апробация результатов исследования. Научные результаты диссертации были представлены и обсуждены на 4 международных и 2 республиканских научных конференциях.

Публикация результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 15 научных работ, из них 9 статей в научных изданиях, рекомендованных к публикации основных научных результатов докторских диссертаций Высшей аттестационной комиссии Республики Узбекистан.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы по 115 названиям, 11 таблиц, 38 рисунков и объемом 116 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и необходимость темы диссертационной работы, показаны согласованность с приоритетными направлениями исследования науки и технологий республики, приведены обзор зарубежных исследований и степени изученности проблемы по теме. Сформулированы цели и задачи, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения о внедрении результатов исследования, информация о структуре диссертации и опубликованные работы.

В первой главе диссертационной работы **«Новое поколение многослойных структур»** приведен обзор литературных данных по состоянию проблемы.

В этой главе рассматриваются различия между солнечными элементами

с высокочувствительными красителями (DSSC- Dye-sensitized solar cell) на основе полупроводников и традиционными полупроводниковыми солнечными элементами, а также результаты исследования структуры, технологии изготовления и фотоэлектрических характеристик таких солнечных элементов.

В DSSC на основе полупроводников представлен процесс образования свободных носителей заряда и анализ некоторых физических параметров солнечного элемента, а также электрофизических параметров, изучаемых мировыми учеными.

Исходя из этого, определены цели и задачи диссертации.

Во второй главе «Принцип работы и технология изготовления солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 » описан принцип работы солнечных элементов с высокочувствительными красителями на основе полупроводников (рисунке 1). Технология приготовления электролитов, используемых в солнечных элементах DSSC на основе жидких и гель-полимерных электролитов. Показана возможность использования метода электрохимического импеданса для определения коэффициента диффузии, подвижности и концентрации носителей заряда жидких и гель-полимерных электролитов, а также сравнение экспериментальных результатов с теоретическими расчетами с использованием графика спектроскопии электрохимического импеданса. График результата, полученного методом электрохимической импедансной спектроскопии электролита, представлен на рисунке 2.

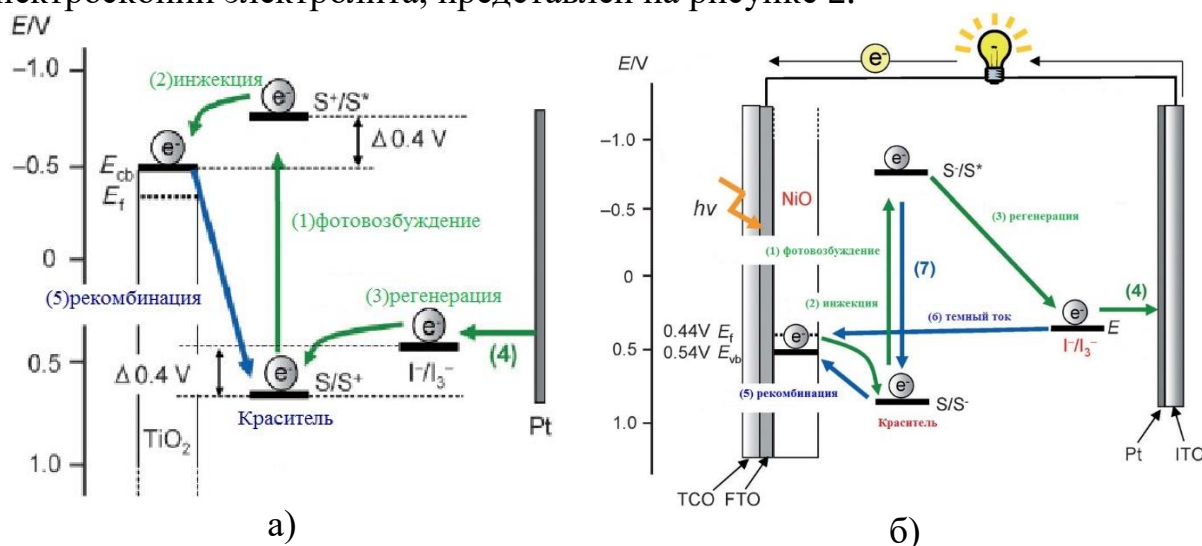


Рис. 1. Принцип работы а) n –типа и б) p –типа солнечных элементов с высокочувствительными красителями на основе полупроводников и физические процессы, которые в них происходят.

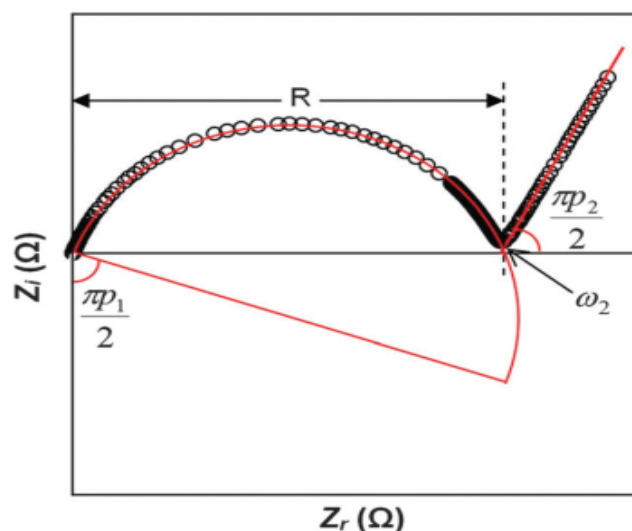


Рис. 2. График электрохимической импедансной спектроскопии электролита.

Известно, что реальная и мнимая части импеданса сопротивления электролита представлены следующими формулами:

$$Z_r = \frac{\cos\left(\frac{\pi p}{2}\right)}{k^{-1}\omega^p} \quad (1)$$

и

$$Z_i = \frac{\sin\left(\frac{\pi p}{2}\right)}{k^{-1}\omega^p} \quad (2)$$

Здесь Z_r и Z_i соответственно, реальная и мнимая части импеданса, ω частота, p определяется из рис. 2 с использованием формулы $\operatorname{tg} \alpha = \frac{\pi p}{2}$. Реальная часть импеданса равна активному сопротивлению, то есть $Z_r = R$, эта величина определяется с помощью графика спектроскопии электрохимического импеданса электролита. k - величина, обратная емкости электролита, и определяется по формуле (3).

$$C = k^{-1} = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 S}{d} \quad (3)$$

ε_r относительная диэлектрическая проницаемость электролита, ε_0 электрическая постоянная, S электролит / контактная поверхность, d толщина слоя электролита. Ионная проводимость образца рассчитана по следующей формуле:

$$\sigma = \frac{l}{RS} \quad (4)$$

где l - толщина электролита, R - активное сопротивление электролита, а S - поверхность электролита.

Коэффициент диффузии D , подвижность μ и концентрация электролита n определяются по следующим формулам

$$D = \frac{d^2}{\tau} \quad (5)$$

Здесь $\tau = \frac{1}{\omega}$ - частота, соответствующая наименьшему значению Z'' . Из формулы (3)

$$d = k\varepsilon_r\varepsilon_0S \quad (6)$$

Зная, что (5) и (6), можно получить выражение для коэффициента диффузии:

$$D = \frac{(k\varepsilon_r\varepsilon_0S)^2}{\tau} \quad (7)$$

подвижность носителей заряда μ выражается по формуле Нернста-Эйнштейна:

$$\mu = \frac{eD}{k_bT} \quad (8)$$

где k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура, e - заряд электрона.

Из выражений 7 и 8 для расчета подвижности носителей заряда можно вывести следующее:

$$\mu = \frac{e(k\varepsilon_r\varepsilon_0S)^2}{k_bT\tau} \quad (9)$$

ионная проводимость электролита определяется по формуле.

$$\sigma = n\mu e \quad (10)$$

Концентрация n носителей заряда может быть выражена с помощью выше приведенных формул (9) и (10) следующим образом:

$$n = \frac{\sigma k_bT\tau}{(ek\varepsilon_r\varepsilon_0S)^2} \quad (11)$$

С помощью выражений (7), (9) и (11) определяются коэффициент диффузии, подвижность и концентрация носителей заряда электролита.

Известно, что напряжение холостого хода солнечного элемента V_{oc} , плотность тока короткого замыкания J_{sc} , максимальный ток (I_{max}), максимальное напряжение (V_{max}), коэффициент заполнения (FF) и КПД (η), является основными фотоэлектрическими параметром.

Коэффициент заполнения DSSC выражается следующей формулой:

$$FF = \frac{J_{max} * V_{max}}{J_{sc} * V_{oc}} \quad (12)$$

где J_{max} и V_{max} - соответственно максимальная плотность тока и максимальное напряжение, J_{sc} - плотность тока короткого замыкания, а V_{oc} - напряжение холостого хода. КПД DSSC, то есть эффективность, может быть выражена следующим образом:

$$\eta(\%) = \frac{V_{oc} \times J_{sc} \times FF}{P_{in}} \times 100\% \quad (13)$$

где P_{in} - интенсивность световой энергии, падающей на рабочую поверхность солнечного элемента.

Спектроскопия модулированной интенсивности фототока (IMPS) и спектроскопия модулированной фотогальванической интенсивности (IMVS) использовались для определения времени переноса и среднего времени жизни электронов солнечного элемента DSSC.

IMPS эксперимент позволяет определить время переноса электронов, и оно определяется следующим образом:

$$\tau_{tr} = \frac{1}{2\pi f_{IMPS}} \quad (14)$$

Где f_{IMPS} - максимальная частота IMPS для DSSC.

Кроме того, среднее время жизни электрона было определено с помощью эксперимента IMVS.

$$\tau_{rec} = \frac{1}{2\pi f_{IMVS}} \quad (15)$$

где f_{IMVS} - максимальная частота IMVS для DSSC. Графики IMPS и IMVS, полученные в результате экспериментов, показаны на рисунке 3.

Зная время переноса и время пребывания электрона, с помощью следующих формул: можно определить другие важные параметры - эффективность накопления заряда (η_{coll}), коэффициент диффузии электронов (D) и расстояние свободного пробега электронов (L_n) для солнечных элементов,

$$\eta_{coll} = 1 - \frac{\tau_{tr}}{\tau_{rec}} \quad (16)$$

$$D = \frac{d^2}{2.35\tau_{tr}} \quad (17)$$

$$L_n = \sqrt{D\tau_{rec}} \quad (18)$$

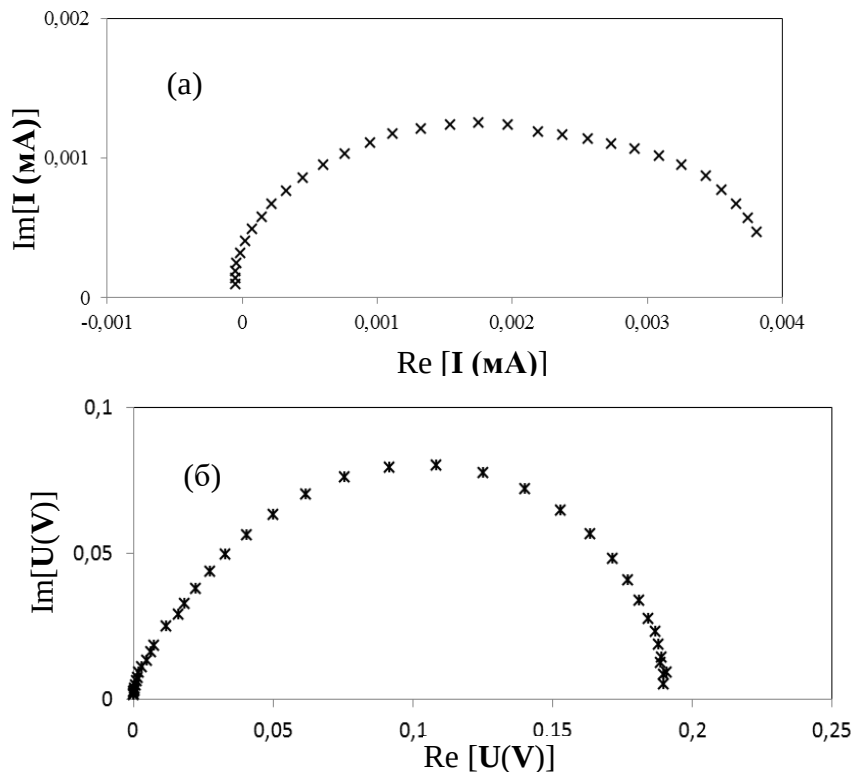


Рис.3. а) График IMPS и б) График IMVS.

Эффективность фототока фотонов в солнечных элементах DSSC на основе полупроводников определялась методом IPCE (Incident photon to current conversion efficiency) преобразования падающего фотона в ток в диапазоне длин волн от 300 до 900 нм. График IPCE показан на рисунке 4.

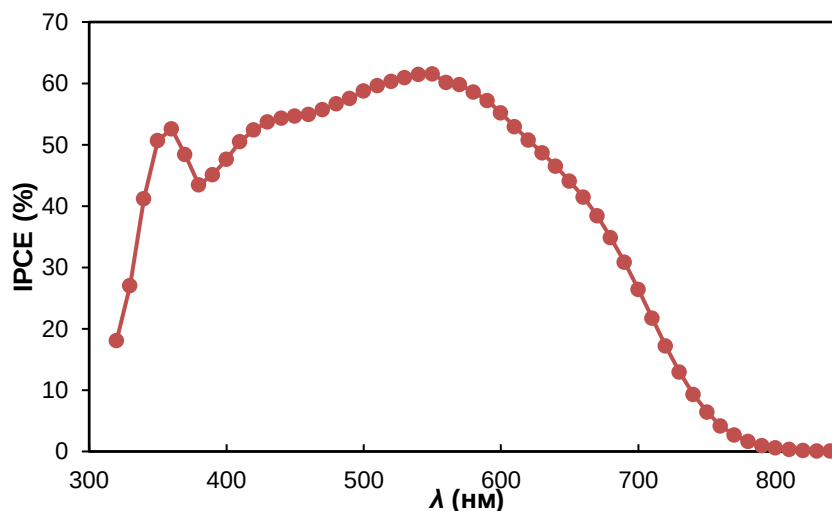


Рис. 4. График зависимости эффективности фототока (IPCE) падающих фотонов от длины волн падающего света для солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами.

В третьей главе диссертации «Транспорт носителей заряда в органических полупроводниковых электролитах» было показано, что жидкий полимерный электролит имеет более высокую ионную проводимость, чем гель-полимерный электролит (Рисунок 5). Показано, что в жидких и гель-полимерных электролитах с разным количеством солей ТРАІ сопротивление уменьшается с увеличением содержания соли, а электропроводность увеличивается (рис. 6).

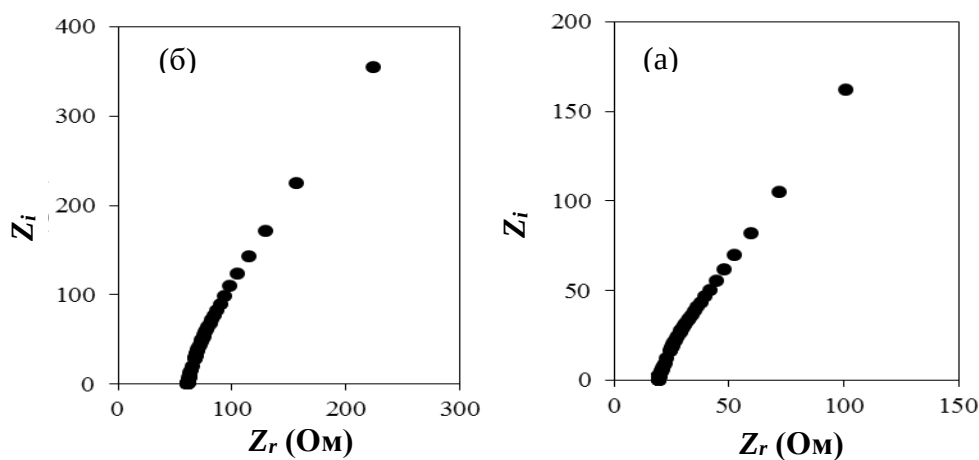


Рис. 5. а) График импедансной спектроскопии органического полупроводникового жидкого и б) гель полимерного электролита.

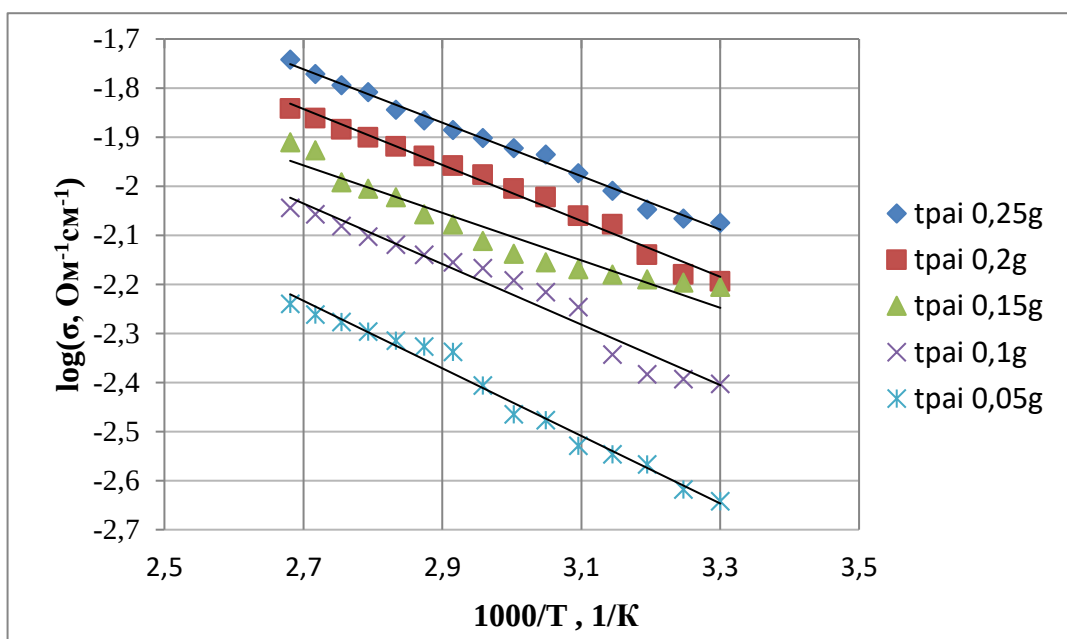


Рис. 6. Температурная зависимость ионной проводимости органического полупроводникового гель-полимерных электролитов с различным количеством соли ТРАІ.

Как видно из рисунка, ионная проводимость электролита экспоненциально возрастает с повышением температуры, что означает, что электролит обладает полупроводниковыми свойствами.

В таблице 1 и таблице 2 показано увеличение проводимости электролита, концентрация ионов, подвижность ионов и коэффициент диффузии электролита с увеличением температуры при изменении температуры.

Таблица 1.

Основные параметры органического полупроводникового гелевых полимерных электролитов, содержащих 0,25 г ТРАІ.

T (°C)	n ($\times 10^{20} \text{cm}^{-3}$)	μ ($\times 10^{-5} \text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-2}$)	D ($\times 10^{-6} \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$)	σ (мС cm^{-1})
5	2,89 $\pm$ 0,34	9,35 $\pm$ 1,3	2,24 $\pm$ 0,122	4,33
0	2,5 $\pm$ 0,08	9,00 $\pm$ 1,11	2,12 $\pm$ 0,126	3,69
-5	2,39 $\pm$ 0,12	8,86 $\pm$ 0,29	2,05 $\pm$ 0,166	3,39
-10	2,13 $\pm$ 0,16	7,67 $\pm$ 0,34	1,74 $\pm$ 0,179	2,62
-15	1,92 $\pm$ 0,21	7,05 $\pm$ 0,49	1,57 $\pm$ 0,186	1,79
-20	1,69 $\pm$ 0,51	2,99 $\pm$ 0,51	0,651 $\pm$ 0,0208	1,26
-25	1,46 $\pm$ 0,43	2,26 $\pm$ 0,48	0,484 $\pm$ 0,0245	0,866
-30	1,23 $\pm$ 0,29	1,66 $\pm$ 0,45	0,347 $\pm$ 0,0333	0,592

Как видно из таблицы, с повышением температуры проводимость электролита увеличивается от $5,92 \cdot 10^{-4} \text{С см}^{-1}$ до $4,33 \cdot 10^{-3} \text{С см}^{-1}$, концентрация ионов с $1,23 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ до $2,89 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$ подвижность ионов увеличивается с $1,66 \cdot 10^{-5}$ до $9,35 \cdot 10^{-5} \text{см}^2 \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$, а коэффициент диффузии увеличивается с $3,47 \cdot 10^{-7}$ до $2,24 \cdot 10^{-6} \text{см}^2 \cdot \text{с}^{-1}$.

Таблица 2.

Основные параметры органических полупроводниковых гелевых полимерных электролитов, содержащих 0,25 г ТРАІ.

t (°C)	n ($\times 10^{20} \text{см}^{-3}$)	μ ($\times 10^{-5} \text{см}^2 \text{В}^{-1} \text{с}^{-2}$)	D ($\times 10^{-6} \text{см}^2 \text{с}^{-1}$)	σ (мС см^{-1})
30	6,45 $\pm$ 0,14	9,14 $\pm$ 1,1	23,87 $\pm$ 1,22	9,44
40	7,53 $\pm$ 0,08	8,9 $\pm$ 1,11	24,00 $\pm$ 1,26	10,73
50	8,8 $\pm$ 0,12	8,65 $\pm$ 0,29	24,08 $\pm$ 1,36	12,19
60	10,01 $\pm$ 0,16	8,41 $\pm$ 0,21	24,15 $\pm$ 1,47	13,50
70	11,12 $\pm$ 0,21	8,23 $\pm$ 0,25	24,34 $\pm$ 1,51	14,67
80	12,43 $\pm$ 0,21	8,05 $\pm$ 0,31	24,49 $\pm$ 2,08	16,03
90	13,79 $\pm$ 0,3	7,86 $\pm$ 0,34	24,6 $\pm$ 2,15	17,34
100	15,38 $\pm$ 0,2	7,67 $\pm$ 0,35	24,66 $\pm$ 2,13	18,03

Эксперименты показали, что спектры электрохимического импеданса, диэлектрическая проницаемость электролита, а также активное и реактивное сопротивления электролитов согласуются с результатами, рассчитанными теоретически (рис. 7-8).

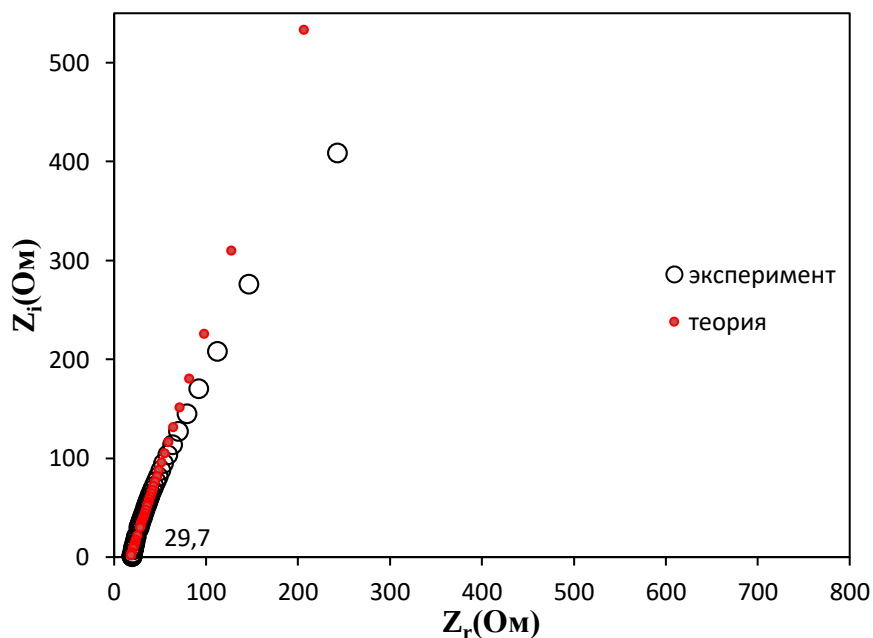


Рис. 7. Значения активного и реактивного импеданса органического полупроводникового гель-полимерного электролита, содержащего 0,25 г ТРАІ.

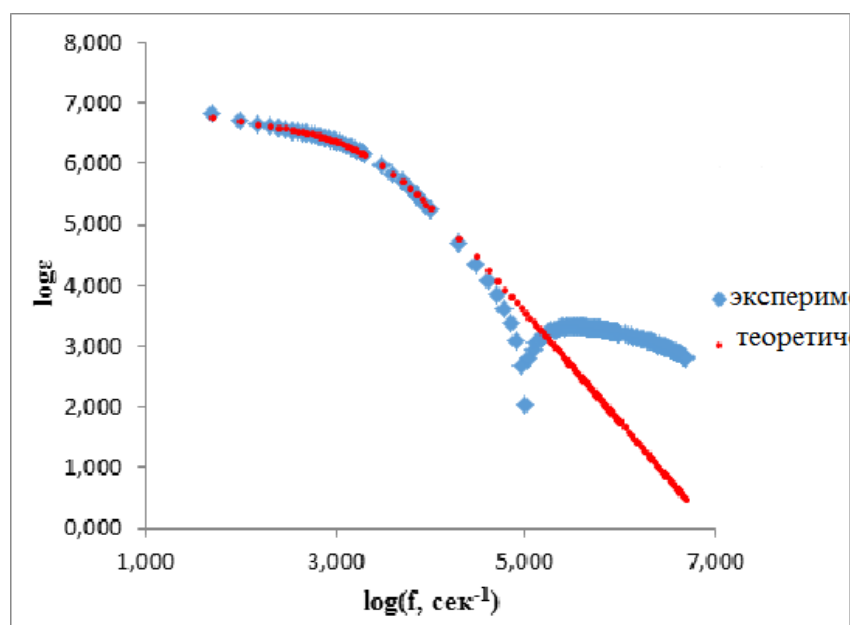


Рис. 8. Значения диэлектрической проницаемости органического полупроводникового гель-полимерного электролита, содержащего 0,25 г ТРАИ.

По результатам экспериментальных и теоретических расчетов было установлено, что средняя погрешность диэлектрической проницаемости составляет 2,28%.

В четвертой главе диссертации, озаглавленной «**Фотоэлектрические характеристики солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2** », изучались фотоэлектрические и фотогальванические характеристики солнечных элементов DSSC с жидкими и гель полимерными электролитами, использованием photoVAX (Рисунок 9). Было обнаружено, что фотоэлектрические параметры солнечных элементов DSSC на основе жидкого электролита выше, чем у солнечных элементов DSSC на основе гель-полимерного электролита Таблица 3.

Таблица 3.

Фотоэлектрические характеристики солнечных элементов DSSC с органическими полупроводниковыми жидкими (LE) и гель полимерными (GPE) электролитами

Тип электролита	U_{oc} (В)	I_{sc} (мА)	I_{max} (мА)	U_{max}	FF	η %
LE	0.695	18.286	14.99	0.45	0.53	6.74
GPE	0.66	17.37	12.8	0.42	0.48	5.50

Эксперименты показали, что параметры жидкого электролита, приведенные в таблице, больше, чем у гель полимерного электролита. Выше показано, что величина этих параметров зависит от подвижности, концентрации и коэффициента диффузии носителей заряда в электролите.

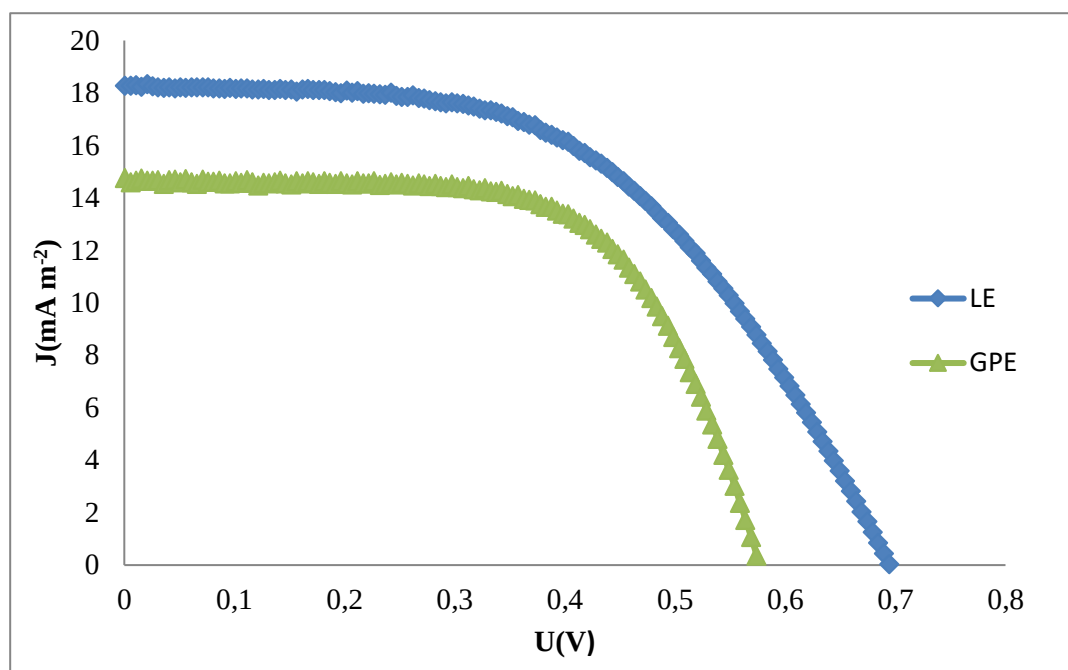


Рис. 9. Фотовольтамперные характеристики солнечных элементов на основе органических полупроводниковых жидких и гелевых полимерных электролитов, содержащих 0,25 г ТРАІ.

Установлено, что повышение эффективности солнечных элементов приводит к увеличению содержания ТРАІ в электролите солнечных элементов DSSC на основе жидких и гелевых полимерных электролитов с 0,05 г до 0,25 г. На основе экспериментов были определены фотоэлектрические характеристики солнечных элементов DSSC, результаты которых приведены в таблицах 4-5.

Результаты эксперимента показали, что параметры солнечного элемента на основе электролита с массой 0,25 г ТРАІ были значительно больше. Было установлено, что при увеличении количества ТРАІ в электролите с 0,05 г до 0,25 г эффективность DSSC на основе жидкого электролита увеличивается вдвое, с 3,29 до 6,74%.

Таблица 4.

Зависимость фотоэлектрических характеристик солнечных элементов, состоящих из жидкого электролита, многослойных структур с красителем на основе TiO₂, от количества ТРАІ.

Количество ТРАІ (гр)	J_{sc} (mA cm ⁻²)	U(v)	FF	η %
0.05	11.78	0.65	0.43	3.29
0.10	17.28	0.66	0.53	6.04
0.15	15.76	0.67	0.60	6.33
0.20	18.12	0.70	0.52	6.60
0.25	18.286	0.695	0.53	6.74

Экспериментальные результаты полученные для фотоэлектрических характеристик DSSC на основе гель-полимерного электролита с различным количеством соли TPAI в электролите, представлены в таблице 5.

Таблица 5.

Фотоэлектрические характеристики солнечных элементов на основе гель-полимерного электролита с различным количеством соли TPAI в электролите.

Количество TPAI (гр)	J_{sc} (mA cm ⁻²)	U (v)	FF	η %
0.05	7.15	0.79	0.54	3.05
0.10	17.37	0.66	0.48	5.50
0.15	17.36	0.65	0.47	5.41
0.20	16.85	0.62	0.52	5.43
0.25	14.76	0.57	0.65	5.47

Определены время переноса электронов и время жизни солнечных элементов DSSC на основе жидкого электролита, содержащего различные количества соли TPAI. Зная вышеуказанные параметры, мы определили эффективность накопления заряда (η_{coll}), коэффициент диффузии электронов (D) и расстояние свободного пробега электронов (L_n). Полученные результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6.

Параметры τ_{tr} , τ_{rec} , D , L_n и η_{coll} солнечных элементов DSSC на основе гель-полимерного электролита содержащего 0,20 г TPAI и PEO и жидкого электролита с различным количеством TPAI,

Электролиты	τ_{tr} (мс)	τ_{rec} (мс)	D (нм ² с ⁻¹)	L_n (μм)	η_{coll}
0.20g (PEO+TPAI)	6.3	50.3	11.42	23.97	0.87
0.05 g TPAI	6.3	79.8	11.42	30.19	0.92
0.10 g TPAI	5.0	100.5	14.38	38.02	0.95
0.15 g TPAI	6.3	40.0	11.42	21.37	0.84
0.20 g TPAI	5.0	40.0	14.38	23.98	0.88
0.25 g TPAI	8.0	50.4	8.99	21.29	0.84

Определена эффективность образования свободных носителей заряда фотонов, падающих на солнечную батарею DSSC. Эксперименты показали, что наибольшую эффективность имеет солнечный элемент с жидким электролитом, содержащий 0,25 г TPAI, что составляет 45,5% на длине волны 520 нм (рис. 10).

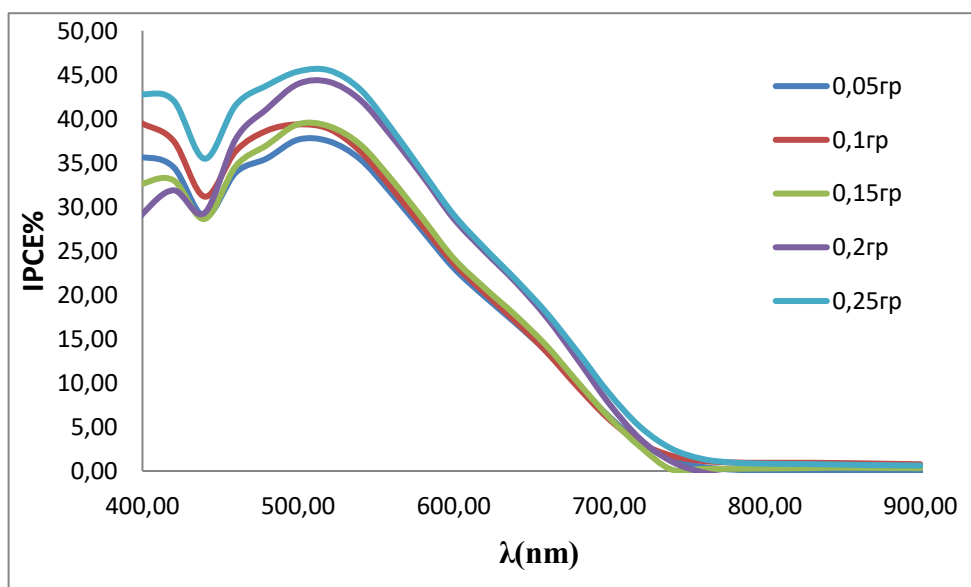


Рис. 10. График зависимости эффективности фототока (IPCE) падающих фотонов от длины волн падающего света для DSSC на основе жидкого (LE) электролита.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определены оптимальные параметры, состав полупроводников и красителей необходимых для производства солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами, а также технология изготовления солнечного элемента.

2. Впервые определены закономерности зависимости энергии активации электролитов, концентрации носителей заряда, подвижности, коэффициента диффузии, электропроводности и диэлектрическая проницаемость от наличия различных количеств соли TPAI и I_2 в солнечных элементах, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами. Исследования показали, что эти параметры увеличиваются с увеличением содержания соли TPAI , что приводит к удвоению эффективности солнечных элементов на основе жидкого электролита с 3,29 до 6,74%.

3. Впервые установлено, что при повышении температуры от -30°C до 5°C электропроводимость органического полупроводникового электролита увеличивается в 7,3 раза (с 0,59 до 4,33 мОм/см), а концентрация ионов увеличивается в 2,35 раза (с 1,23 до $2,89 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$), подвижность ионов в 5,6 раза (от 1,66 до $9,35 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$) и коэффициент диффузии ионов в 6,5 раза (от 0,347 до $2,24 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$). В экспериментах, проведенных при комнатной температуре до 100°C , с повышением температуры электропроводимость электролита увеличивалась в 1,9 раза (с 9,44 до 18,03 мОм/см), а концентрация ионов - в 2,4 раза (с 6,45 до $15,38 \cdot 10^{20} \text{ см}^{-3}$), а коэффициент диффузии ионов практически не изменился, а подвижность ионов уменьшилась в 1,2 раза (с 9,14 до $7,67 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$).

4. Проанализированы теоретические основы импедансной спектроскопии в органических полупроводниковых электролитах и показано, что они

соответствуют диэлектрической проницаемости, а также активному и реактивному сопротивлениям полимерных электролитов в жидком и гелевом состоянии, определенным экспериментально и по спектрам электрохимического импеданса.

5. Было установлено, что фотоэлектрические параметры солнечных элементов состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами на основе жидкого электролита выше, чем у полупроводниковых солнечных элементов на основе гелевых полимерных электролитов, а эффективность солнечных элементов удваивается с увеличением ТРАІ с 0,05 г до 0,25 г.

6. Впервые были определены эффективность накопления заряда, коэффициент диффузии электронов и расстояние свободного пробега электронов для солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами на основе жидкого электролита, содержащих различные количества солей ТРАІ. Результаты исследования показали, что при содержании соли ТРАІ 0,1 г эффективность накопления заряда солнечных элементов достигает максимального значения и достигает 95%.

7. Были проанализированы теоретические основы фото ВАХ солнечных элементов, состоящих из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами и их специфические свойства в зависимости от температуры, показано, что результаты, полученные в ходе эксперимента соответствуют им.

8. Определено, что эффективность образования свободных носителей заряда фотонов (IPCE), падающих на солнечные элементы, состоящие из многослойных структур с красителем на основе TiO_2 с полупроводниковыми свойствами, наблюдается в электролитическом солнечном элементе, содержащем 0,25 г ТРАІ и показано, что она составляет 45,5% при длине волны 520 нм.

9. Были даны рекомендации по использованию DSSC при производстве электронных устройств в ОАО «Фотон» и в научную лабораторию «Ионный центр» Малайзийского университета «MALAYA» в результате изменения электрофизических параметров с изменением количества солей ТРАІ в них.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING ACADEMIC OF THE DEGREES
No. DSc.03/30.12.2019.FM/T.01.12 ON AT THE SCIENTIFIC RESEARCH
INSTITUTE OF SEMICONDUCTOR PHYSICS AND
MICROELECTRONICS UNDER
THE NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

NAMANGAN INSTITUTE OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY

ABDUKARIMOV ABDULLAZIZ ABDUBANNAYEVICH

**ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF MULTILAYER
STRUCTURES WITH A DYE BASED ON TITANIUM DIOXIDE**

01.04.10 – Physics of semiconductors

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

Tashkent – 2021

The theme of the doctoral (PhD) dissertation was registered by the Supreme Attestation Commission of the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No. B2021.1.PhD/FM372.

The doctoral (PhD) dissertation was carried out at Namangan institute of engineering and technology.

The abstract of the dissertation was posted in three (Uzbek, Russian, English (resume)) languages on the website of the Scientific Council at www.ispm.uz and on the website of "ZiyoNet" Information and Educational Portal at www.ziynet.uz.

Scientific supervisor:

Mamatkarimov Odiljon Oxundadayevich
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor

Official opponents:

Zaynobidinov Sirojiddin Zaynobidinovich
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
academician

Anorkulov Karimberdi Egamberdiyevich
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor

Leading organization:

Nukus State Pedagogical Institute

The defense of the doctoral dissertation will be held on "22" 05 2021, at 12⁰⁰ at the meeting of the Scientific Council No. DSc. 03/30.12.2019 FM/T.01.12 at the Scientific Research Institute of Physics of Semiconductors and Microelectronics under the National University of Uzbekistan (Address: 20 Yangi Olmazor str., 100057 Tashkent city, Uzbekistan. Tel. (+99871) 248-79-94, fax: (+99871) 248-79-92, e-mail: info@ispm.uz, Conference Hall of the SRIPSM under the NUU).

The doctoral dissertation can be looked through in the ICT Implementation Unit (registered under No. 22). Address: 20 Yangi Olmazor str., 100057 Tashkent city, Uzbekistan. Tel.: (+99871) 248-79-59, e-mail: info@ispm.uz.

The abstract of the dissertation was distributed on "10" 05 2021.
(Registry record No. 23 dated "10" 05 2021)


Sh.B. Utamuradova
Chairman of the Scientific Council
on Award of Scientific Degrees,
Doctor of Physical and
Mathematical Sciences, Professor

J.J. Xamdamiyev
Scientific Secretary of the
Scientific Council on Award of
Scientific Degrees, PhD

Z. T. Azamatov,
Chairman of the Scientific Seminar
at the Scientific Council for the Awarding
of Academic Degrees, Doctor of Physics
and Mathematics

INTRODUCTION (abstract of the PhD dissertation)

The aim of the research work is to explore the manufacturing technology, electrophysic, photoelectric and photovoltaic characteristics of solar cells consisting of multilayer structures with a dye based TiO_2 , as well as the temperature dependence of the electrophysical parameters of charge carriers in the electrolyte.

The object of investigation is solar cells with highly sensitive dyes based on semiconductors; organic semiconductor liquid and gel polymer electrolytes; polyethylene oxide (PEO), ethylene carbonate (EC), propylene carbonate (PC), tetropropylammonium iodide (TPAI), iodine (I_2), dimethylformamide (DMF).

The scientific novelty of the research consists of the following:

for the first time, a new type of solar cells was developed, consisting of multilayer structures with a TiO_2 -based dye-containing TPAI and I_2 salts;

photovoltaic characteristics were determined - the fill factor (ff) of the photovoltage-ampere characteristic, the effective values of the voltage (U_{max}), current density (I_{max}), power (P_{max}), and efficiency (η) of solar cells consisting of multilayer structures with a TiO_2 -based dye.

it was revealed that the maximum efficiency of solar cells based on liquid electrolyte was 6.67%, and solar cells based on polymer gel electrolyte - 5.5%;

for the first time, the compatibility of the results of theoretical analysis and experiments on the photoelectric characteristics of the electrolyte layer of solar cells consisting of multilayer structures with a dye based TiO_2 is shown;

for the first time, to adapt the operation of solar cells, consisting of multilayer structures with a dye based on TiO_2 , to the conditions of Uzbekistan, the electrophysical parameters of solar cells were studied in the temperature range from -30°C to 100°C and their stable operation at these temperatures was shown;

for the first time, a connection was established between the photovoltaic and photoelectric characteristics of dye-sensitized solar cells on the amount of TPAI and I_2 salts in the electrolyte. With an increase in the amount of TPAI salt, an increase in the concentration of free ions in the electrolyte, diffusion coefficient, and ionic conductivity was found. As a result, the efficiency of the solar cell almost doubled, from 3.29 to 6.74%.

Implementation of research results. Based on the study of the photovoltaic characteristics of solar cells consisting of multilayer structures with a TiO_2 -based dye with semiconductor properties, and their preparation method:

based on the results of studies obtained by electrochemical impedance spectroscopy, samples of solar cells were developed in the joint-stock company "Photon" to determine the ionic conductivity of liquid electrolytes, condensed salts, ion-conducting polymers and glass, as well as to calculate the concentration, mobility and diffusion coefficient of charge carriers in them (reference from the joint-stock company "Uzeltehsanoat" No. 04-1/1922 October 19, 2020). The use of scientific results made it possible to produce semiconductor electronic devices;

certain electrophysical and optical parameters of solar cells consisting of multilayer structures with a TiO_2 -based dye with semiconductor properties, from the temperature and concentration of the TPAI salt in the electrolytes, were used in the

research laboratory of the "Ion Center" of the University of MALAYA to study the characteristics of DSSC, and in the International Islamic University of Malaysia for the fundamental project FRGS-039-0647 (references of the University of MALAYA dated 17.08.2020 and the International Islamic University of Malaysia dated 30.08.2020 under the number 0820-KOE-52). Using the results of the study, it was possible to create the dependence of the efficiency of DSSC solar cells on the amount of salt in the electrolyte.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references by 115 titles, 11 tables, 38 figures, and a volume of 116 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (Часть I; Part I)

1. Маматкаримов О.О., Икрамов Р.Ғ., Қахаров С.С., Абдукаримов А.А. Юқори сезгир бўёқли қуёш элементлари (DSSC) ни тайёрлаш технологияси ва ишлаш принципи. // Бухоро Давлат Университети илмий ахбороти. 2019 №4 (76).с. 3-8. (01.00.00; № 3).

2. Arof A.K., Mat Nor N.A., Aziz N., Kufian M.Z., Abdulaziz A.A., Mamatkarimov O.O. Investigation on morphology of composite poly (ethylene oxide)-cellulose nanofibers. // Materials Today: Proceedings. 2019. V.17 P.388–393. (№3 Scopus, IF:0,576).

3. Абдукаримов А.А., Маматкаримов О.О., Икрамов Р.Г. Исследования характеристик тонкопленочных солнечных ячеек полученных по основе гелевых полимерных электролитов. // Доклады Академии Наук РУ. 2019. №6.С. 6-9. (01.00.00; №7).

4. A.A. Abdugarimov, Shahan Shah, L.P. Teo, M.H. Buraidah, Z.H.Z. Abidin, O.O. Mamatkarimov, A.K. Arof. Characteristics of dye-sensitized solar cells (DSSCs) using liquid and gel polymer electrolytes with tetrapropylammonium salt. // Optical and Quantum Electronics. 2020. 3. Vol. 52. P.1-15. (№3 Scopus, IF: :1,842)

5. Абдукаримов А.А. DSSC (Dye sensitized solar cell) қуёш элементлари ва уларнинг айрим физик хоссалари // Наманган Давлат Университети илмий ахборотномаси. 2020. № 2. С.17-22. (01.00.00; №11).

6. Abdugarimov A. A., Ikramov R. G., Mamatkarimov O.O., Arof A. K. Dependence of the characteristics of Dye-Sensitized solar cells on amount tetrapropylammonium iodide // Узбекский Физический Журнал. 2020. №4. Т.2 С.250-253. (01.00.00; №5).

7. Абдукаримов А.А., Ўктамалиев Б.И., Маматкаримов О.О. Исследования характеристик тонкопленочных солнечных ячеек полученных по основе гелевых полимерных электролитов // Тенденции развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы”. Сборник материалов международной онлайн конференции. Ташкент-2020. С.273-278.

8. Абдукаримов А.А., Меланова Н.Р. Юқори сезгир бўёқли қуёш элементлари (DSSC) ни тайёрлаш технологияси // Тенденции развития современной физики полупроводников: проблемы, достижения и перспективы”. Сборник материалов международной онлайн конференции. Ташкент-2020. С.111-117.

9. Mamatkarimov O.O., Abdugarimov A.A., Oktamaliyev B.I. About the characterization of multilayer thin-film structures with dyes based on titanium dioxide // Euroasian journal of semiconductors Science and Engineering. Tashkent-2020.3. Vol.2. P.46-49.

II бўлим (Часть II; Part II)

10. Abdulkarimov A.A., Arof A.K., Mat Nor N.A., Aziz N., Kufian M.Z., Mamatkarimov O.O. Characterization of poly (ethylene oxide) reinforced nanocellulose fibers produced via electrospinning technique // International conference prospect of an intensive approach to innovative development. Namangan. 2018.P.45-46.

11. Abdulkarimov A.A. Main electrophysical characteristics of dye-sensitized solar cells (DSSCS) // V Международной научно-практической конференции «Наука и образование в современном мире: вызовы XXI века» Нур-Султан–2019. С.469-470

12. Абдукаримов А.А., Маматкаримов О.О., Қахаров С. Юқори сезгир бўёқли куёш элементлари (DSSC) // Современные проблемы физики полупроводников. Республиканской конференции. Каракалпакстан 20 ноября, 2019.С.33-35.

13. Абдукаримов А.А., Якуббаев А.А., Боймирзаев А.С. Характеристики сенсibilизированных тонкопленочных солнечных ячеек нового поколения // Инновацион техника ва технологияларнинг қишлоқ хўжалиги- озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истикболлари. Ҳалқаро илмий амалий конференция. Тошкент-2020. 24-25 апрел.С. 653-654.

14. Абдукаримов А.А., Қахаров С., Ўктамалиев Б.И. Юқори сезгир бўёқли куёш элементларининг асосий фотогалъваник характеристикалари // Actual problems of modern science and innovation in the Central Asian region. Jizzakh, Uzbekistan 26 September, 2020.P.655-658.

15. Абдукаримов А.А., Маматкаримов О.О. Юқори сезгир бўёқли куёш элементларининг ишлаш принципи // Замонавий микроэлектрониканинг ривожланишида фан, таълим ва инновация интеграцияси. Андижон 24-25 декабр, 2020.С. 481-483.

Автореферат “Тил ва адабиёт таълими” журнали таҳририятида таҳрирдан
ўтказилди ва ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги
текширилди (10.05.2021 йил)

Бичим 60x841/16.Рақамли босма усули. Times гарнитураси.

Шартли босма табағи:3. Адади 60. Буюртма №17.

Гувоҳнома reestr № 10-4434

Яримўтказгичлар физикаси ва микроэлектроника илмий-тадқиқот институти
босмахонасида чоп этилган.

Босмахона манзили: 100057, Тошкент ш., Янги Олмазор кўчаси, 20-уй.

