

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ

ИМОМОВ МУҲИБЖОН ҲАБИБЖОНОВИЧ

ҚУЁШ ЭЛЕМЕНТЛАРИ УЧУН ИСТИҚБОЛЛИ ОРГАНИК
МОДДАЛАР НАНОСТРУКТУРАЛИ АРАЛАШМАСИНИНГ ОПТИК
СПЕКТРОСКОПИЯСИ

01.04.05 – Оптика

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**

Имомов Муҳибжон Ҳабибжонович

Қуёш элементлари учун истиқболли органик моддалар
наноструктурали аралашмасининг оптик
спектроскопияси.....3

Имомов Муҳибжон Ҳабибжонович

Оптическая спектроскопия наноструктурированной смеси
органических веществ, перспективных для солнечных
элементов.....22

Imomov Muhibjon Habibjonovich

Optical spectroscopy of a nanostructured mixture
of organic substances, promising for solar
cells.....40

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works.....44

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ
ЎЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

ИОН-ПЛАЗМА ВА ЛАЗЕР ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ ИНСТИТУТИ

ИМОМОВ МУҲИБЖОН ҲАБИБЖОНОВИЧ

ҚУЁШ ЭЛЕМЕНТЛАРИ УЧУН ИСТИҚБОЛЛИ ОРГАНИК
МОДДАЛАР НАНОСТРУКТУРАЛИ АРАЛАШМАСИНИНГ ОПТИК
СПЕКТРОСКОПИЯСИ

01.04.05 – Оптика

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

Тошкент – 2021

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузурдаги Олий аттестация комиссиясида В2021.1.PhD/FM538 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академияси Ион-плазма ва лазер технологиялари институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси (www.ipit.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталига (www.ziyo.net/uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:	Захидов Эркин Агзамович физика-математика фанлари доктори, профессор
Расмий оппонентлар:	Юсупов Джавдот Бакиджанович физика-математика фанлари доктори, профессор Каххаров Абдулмуталлиб Мамаджанович физика-математика фанлари доктори, катта илмий ходим
Ётакчи ташкилот:	Ўзбекистон Миллий университети

Диссертация ҳимояси Ион-плазма ва лазер технологиялари институти ҳузурдаги илмий даражалар берувчи DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 рақамли илмий кенгашнинг 2021 йил «2» сентябр соат 14³⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел./факс: (+99871) 262-32-54, email: info@ipit.uz, Ион-плазма ва лазер технологиялари институти мажлислар зали).

Диссертация билан Ион-плазма ва лазер технологиялари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (10 рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100125, Тошкент шаҳри, Дўрмон йўли кўчаси, 33-уй. Тел: (+99871) 262-31-69.

Диссертация автореферати 2021 йил «20» 10 кунни тарқатилди.

(2021 йил «2» 11 даги 10 рақамли реестр баённомаси).



Х.Б.Ашуров
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш раиси, техника фанлари доктори, профессор.

И.Д.Ядгаров
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш илмий котиби, физика-математика фанлари доктори, катта илмий ходим

Б.Е.Умирзаков
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, физика-математика фанлари доктори, профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Мавзунинг дозарблиги ва зарурати. Энергияга бўлган эҳтиёжнинг доимий равишда ортиб бориши бир қатор глобал миқёсдаги иқтисодий муаммоларни келтириб чиқармоқда. Хозирги вақтгача қазилма ёқилғилар бутун дунё бўйича ишлатиладиган энергиянинг асосий манбаи ҳисобланади. Бундай энергия манбаларининг қайта тикланмаслиги ва уларнинг “иссиқхона таъсири” ва атмосферани ифлосланиши каби планетамиз экологиясига зарарли таъсири катта муаммоларга сабаб бўлиб, энергиянинг бошқа, қайта тикланадиган манбаларидан кенг миқёсда фойдаланиш заруриятини кўрсатмоқда. Экологик муҳитга зарарли таъсир ўтказмайдиган, барқарор энергия манбалари ичида қуёш энергияси ўзининг бир қатор ижобий хусусиятларига кўра алоҳида ўрин эгаллайди. Ерга Қуёшдан етиб келадиган ёруғлик энергияси 1,5 суткада $1,7 \times 10^{22}$ Жоулни ташкил этади. Бир йилда Ердаги умумий энергия сарфи $4,6 \times 10^{20}$ Жоул эканлигини назарда тутиб, глобал энергия эҳтиёжини Қуёш нури энергияси ҳисобига бир соатда қанча энергия билан қоплаш мумкинлигини ҳисоблаш мумкин. Шу бугунги кунда, энергетик самарадорлиги жихатдан энг мақбул турдаги қуёш элементи сифатида ноорганик фотовольтаик қурилма тан олинган бўлиб, ундаги рекорд самарадорлик 47%ни ташкил этади; тижорий мақсадлар учун ишлаб чиқараётган бундай турдаги қурилманинг самарадорлиги эса 15-20%ни ташкил этади.

Қуёш элементларининг амалий жихатдан катта истиқболга эга бўлган яна бир тури – бу органик материаллар асосидаги Қуёш элементларидир. Юпқа полимер қопламага асосланган қуёш элементлари ишлов беришнинг қулайлиги, механик мослашувчанлиги ва кенг кўламда арзон ишлаб чиқариш имконияти билан характерланади. Бундан ташқари, уларни ишлаб чиқаришда фойдаланиладиган органик моддаларнинг кимёвий таркибини кичкина ўзгартириш ҳисобига қурилманинг физикавий хусусиятларини кераклигича ўзгартириш имкони бошқа турдаги қуёш элементларига қараганда анчагина юқори баҳоланади. Шунга қарамасдан, Органик Қуёш Элементларда (ОҚЭ) электр энергияси олиш самарадорлиги ҳали ҳам тижоратлаштириш талаблари даражасида эмас: лаборатория шароитида ушбу қурилмаларда қайд қилинган рекорд самарадорлик 14%дан ошмайди. Сўнгги ўн йилликда амалга оширилаётган фундаментал илмий ва амалий тадқиқотлар, инновация ишлари ОҚЭ самарадорлигини янада ошириш, эксплуатация даврини узайтириш ва ишлаб чиқариш харажатларини камайтиришга қаратилган бўлиб, иқтисодий асосланган фотовольтаик технологияларини яратишга қаратилган.

Мамлакатимизда ҳам қуёш энергиясини электр энергиясига ўзгартириш самарадорлигини ошириш борасида фаол изланишлар олиб борилмоқда. Хусусан, бир қатор амалга оширилаётган илмий тадқиқотлар юқори энергия ўзгартириш самарадорлигига (ЭЎС) эришиш, арзон ва содда технологиялар асосида ОҚЭларни яратишга қаратилган. Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналишидаги Ҳаракатлар стратегиясида

илмий-тадқиқот ва инновация фаолиятини қўллаб-қувватлаш ҳамда илмий-инновацион ишланмаларни амалга оширишнинг самарали механизмлари ишлаб чиқиш муҳим умуммиллий вазифа сифатида кўрсатиб ўтилган. Шунга кўра, бу борадаги энг муҳим илмий-техник вазифалардан бири - ноорганик қуёш элементларига рақобат қила оладиган арзон, қулай ва содда ишлаб чиқариш технологияларига асосланган ОҚЭларни яратишдир.

Ушбу диссертация иши, маълум даражада, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 22 августдаги ПҚ-4422 сонли “Иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳанинг энергия самарадорлигини ошириш, энергия тежовчи технологияларни жорий этиш ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг тезкор чора-тадбирлари тўғрисида”, 2017 йил 26 майдаги №ПҚ-3012 сонли “2017 - 2021 йилларда қайта тикланувчи энергетикани янада ривожлантириш, иқтисодиёт тармоқлари ва ижтимоий соҳада энергия самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари дастури тўғрисида” номли Қарорлари, 2019 йил 21 майда қабул қилинган Ўзбекистон Республикасининг “Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш тўғрисида”ги Қонуни ҳамда Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ПФ-4947-сон Фармонида, шунингдек, ушбу фаолият соҳасига тегишли бошқа меъёрий ҳужжатларда кўрсатилган вазифаларни бажаришга хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республикада фан ва технологияларни ривожланишининг: III - “Энергетика, энергоресурс тежамкорлиги, транспорт, машина ва электрон асбобсозлиги ривожланиши” ва II - “Физика, астрономия, энергетика ва машинасозлик” каби устувор йўналишларига мувофиқ равишда бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Қайта тикланадиган, “яшил” энергия манбаларига бўлган эҳтиёж тобора ошиб борар экан, иқтисодий жихатдан самарали фотовольтаик энергия манбалари, айниқса боғланган полимерлардан тайёрланган ОҚЭларга эътибор ошиб бормоқда. Юпқа полимер қопламага асосланган ОҚЭлар механик эгилувчанлиги, ишлов беришнинг қулайлиги ва катта юзали бундай қурилмалар учун арзон ишлаб чиқариш технологиялари мавжудлиги туфайли юксак жозибадорликка эга. Сўнгги йилларда бир қатор хорижий илмий марказларда, лабораторияларда ишлаб чиқариш технологияси қулай ва арзон, узоқ муддат самарали энергия ўзгартириш имконига эга ОҚЭларни яратиш ва шу билан бирга, улардаги энергия ўзгартириш самарадорлигини янада ошириш, оптик ва фотоэлектрик хусусиятлари ўрганишга қаратилган изланишлар олиб борилмоқда.

Ушбу соҳада чет эл олимлари Х.Ширакава, Дж.МакДиармид, Алан Дж. Хигер биринчилардан бўлиб органик фотовольтаика бўйича энг муҳим илмий натижаларга эришдилар ва 2000 йилда Нобел мукофотиغا сазовор бўлишди. МДХ давлатлари олимлари қаторида П.А.Трошин, В.А.Труханов,

В.В.Бруевич, Д.Й.Парашук, республикамизда эса С.Ш.Рашидова, Н.Ашуров ва бошқалар муҳим илмий-техникавий натижалар олишган.

Бугунги кунда ОҚЭлар соҳасида кўплаб тадқиқотлар, жумладан: уларнинг хизмат кўрсатиш даври ва ЭЎСини янада ошириш, атрофдаги физикавий муҳитнинг ушбу самарадорликка таъсирини ўрганиш, қуёш элементининг яроқсиз ҳолатга келиши (деградация) жараёнлари ва уларнинг механизмларини ўрганиш каби муҳим илмий-техникавий изланишлар олиб борилмоқда.

Шу билан бирга, ушбу диссертация иши бошланган давргача ОҚЭларнинг оптик ютилиш ва фотолюминесцент спектрлари ёрдамида улардаги структуравий ўзгаришлар ва ЭЎСни пасайишини назорат қилиш имкониятлари ҳақида тизимли маълумотлар йўқ эди. Бу эса ОҚЭларда, айниқса уларнинг фаол қатлами структураси ва бошқа физикавий хоссаларига боғлиқ равишда қурилма самарадорлидаги ўзгаришларни аниқлаш ва бунга сабаб бўлган физикавий омилларни ҳар томонлама ўрганиш имконини бермас эди. Диссертация мақсади ва вазифалари айнан шу ҳолатларни ҳисобга олиб танланган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасаси илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Фанлар Академияси Ион-плазма ва лазер технологиялари институтининг № ОТ-Ф2-05 «Сунъий фотосинтез тизимларида ёруғлик уйғонишлари ва зарядларнинг кўчиш жараёнлари» (2017–2020) давлат илмий-техникавий лойиҳаси доирасидаги илмий тадқиқотлар асосида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади донор ва акцептор хусусиятли органик полимер аралашмалари асосидаги наноструктурали юпқа фаол қатламли органик қуёш элементларда энергия ўзгартириш самарадорлиги билан уларнинг оптик хоссалари ўртасидаги ўзаро боғлиқликнинг физикавий асосларини аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

Юпқа қатламли органик материаллар асосидаги қуёш фотоэлементларини олиш услубини ҳамда РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС таркибли наноструктуравий юпқа фаол қатламга эга ОҚЭларни ишлаб чиқиш;

РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС аралашмалар асосидаги наноструктурали юпқа фаол қатламнинг абсорбцион, фотолюминесцент спектрларини аниқлаш, таҳлил қилиш ва уларга иссиқлик таъсирини баҳолаш;

ОҚЭларда ЭЎСнинг вақт ўтиши билан пасайиши (деградацияси)ни уларнинг оптик параметрлари орқали назорат қилиш усулларини ишлаб чиқиш;

РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС таркибли фаол қатламга эга ОҚЭларнинг фотовольтаик ва оптик параметрларини қиёсий ўрганиш орқали уларга атмосфера таъсирини аниқлаш.

Тадқиқот объекти сифатида РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС таркибли ОҚЭлар ва уларни ташкил этувчи материаллардан тайёрланган юпқа қатламлар танлаб олинган.

Тадқиқот предмети РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС таркибли ОҚЭлардаги фотоэлектрик жараёнлар, уларнинг ташқи физикавий таъсирлар (иссиқлик, молекулалар диффузияси, атмосфера) натижасида ёки вақт ўтиши билан структуравий ўзгаришлари (деградацияси).

Тадқиқот усуллари. Диссертацияда РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС таркибли ОҚЭларни яратиш методлари, уларнинг структураси ва таркибий материалларидаги ўзгаришларни абсорбцион-фотолюминесцент спектрлари орқали ўрганиш усуллари кенг қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС таркибли ОҚЭлари қиздирилганда оптик ютилиш интенсивлиги ва энергия ўзгартириш самарадорлигини ошишига фаол қатламнинг структуравий тартибланиш даражасининг ортиши ҳамда хажмий гетероструктурада зарядлар ҳаракатчанлигининг (мобиллиги) яхшиланганлиги сабаб бўлиши аниқланди;

вақт ўтиши билан РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС таркибли ОҚЭлари оптик ва фотоэлектрик параметрларининг ўзгаришлари орасидаги ўзаро боғлиқлик аниқланди ҳамда ушбу параметрлари ёрдамида уларнинг деградация даражасини бевосита назорат қилиш имконияти мавжудлиги кўрсатилди;

атмосфера шароитида РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС таркибли ОҚЭлари ЭҶС қийматларининг кескин камайишига сув ва кислород молекулаларининг фотоэлементларга ўзаро диффузияси ҳисобига алюминий моддасидан тайёрланган катоднинг оксидланиши асосий сабаб бўлиши аниқланди.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

РЗНТ:РСВМ ёки РЗНТ:ІТІС таркибли ОҚЭларни тайёрлаш экспериментал методлари ва ускунаси ишлаб чиқилган;

ОҚЭлар ва уларнинг турли таркибий материалларидан иборат қатламларнинг абсорбцион-фотолюминесцент характеристикаларини аниқлайдиган прецезион оптик қуролма яратилган;

турли таркибдаги наноструктурали ОҚЭларнинг фотоэлектрик ва оптик параметрларини параллел равишда аниқлаш ва шунингдек, ушбу параметрларнинг вақт ўтиши билан ўзгаришини (деградациясини) назорат қилиш бундай энергия алмаштирувчи қуролмалар самарадорлигини назорат қилиш имкониятини бериши кўрсатилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги юқори аниқлик ва ўта сезгирликка эга бўлган физикавий усуллардан фойдаланишга асосланади. Замонавий абсорбцион-люминесцент спектроскопияси асбобларини қўллаш, турли структуравий ўзгаришларини, шунингдек реал экспериментал шароитга мос равишда ўрганилаётган объектда кузатиладиган структуравий тартибланиш/тартибсизланишни электрон микроскопияси методлари ёрдамида аниқлаш ва таҳлил қилиш, фотовольтаик параметрларни кўплаб

намуналарда бир вақтда ўлчаб, уларга статистик баҳо бериш тадқиқот натижаларининг юксак ишончилигини таъминлади.

Экспериментал натижалар асосида қилинган хулосалар ва уларни таҳлил қилиш, ўрганилган объектларни назарий тадқиқ этишнинг асосий қоидаларига асосланади ва бошқа муаллифларнинг натижаларига мос келади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Ушбу диссертация ишидаги тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти янги авлод ОҚЭларини яратиш учун истиқболли деб қаралаётган органик қуёш элементларини РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС таркибли фаол қатламга асосланган фотовольтаик қурилмаларда фотоелектрик жараёнларга рақобатлашувчи ва ЭЎСни пасайтирадиган физикавий омиллар, уларнинг абсорбцион ва фотолюминесцент хоссаларидаги ўзгаришларга асосланган ҳолда ва шунингдек, бундай жараёнлар самарадорлигининг ташқи физикавий-кимёвий таъсирларга боғлиқлигини таҳлил қилишга асосланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундаки, тавсия этилган илмий ва техник ечимларни ОҚЭлар самарадорлигини фотолюминесцент кузатиш усуллари билан мониторинг қилиб боришда ишлатиш мумкин. Бунда, бутун қурилма учун умумий (интеграллашган) фотовольтаик параметрлардан фарқли равишда, оптик методлар билан мониторинг қилиш катта ўлчамли ОҚЭлар юзасининг турли қисмида (дифференциал равишда) ЭЎС ўзгаришини аниқлаш имконини беради.

Тадқиқот натижаларини амалий тадқиқи. Донор ва акцептор аралашмалари асосидаги наноструктурали юпқа фаол қатламли органик қуёш элементларининг оптик ва фотовольтаик параметрларини қиёсий таҳлиллари бўйича олинган тадқиқот натижалари асосида:

аралашма таркибида акцептор сифатида фойдаланилган фуллерен асосли РСВМ материалининг оптик ва фотовольтаик параметрларини тадқиқ қилиш орқали аниқланган натижалар ОТ-Ф2-51 рақамли “Фуллеренлар ва уларнинг ҳосилалари асосида оптоэлектроника ва қуёш энергетикаси учун янги функционал наноматериаллар синтез қилишнинг фундаментал асослари” фундаментал лойиҳасини бажаришда қўлланилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг 2.04.2021 йилдаги 2/1255-976-сонли Маълумотномаси). Олинган илмий натижалардан фойдаланиш фуллерен асосидаги қуёш энергетикаси учун янги функционал наноматериалларни бошқа донор материаллар билан гибрид ҳолда самарали қўллашга имкон берди, шунингдек структуравий комбинацияларни аниқлаш имконини берди;

юпқа қатламларнинг абсорбцион-фотолюминесцент характеристикаларини аниқлаш методикаси ва презецион оптик қурилмасидан фойдаланиш ЁФА-Фтех-2018-204 рақамли “Фотометрик шар асосида суст ютилиш чизиқларини қайд қилишнинг янги усулини ишлаб чиқиш” ёшлар фундаментал лойиҳасини бажаришда қўлланилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг 12.08.2021 йилдаги 2/1255-2236-сонли Маълумотномаси). Олинган илмий натижалардан фойдаланиш фотометрик шарларни ички сатҳларини қоплашга қўлланилган

турли органик ва ноорганик юпқа қатламларнинг абсорбцион-фотолбминесцент характеристикаларини аниқлаш ва уларни дегредацион параметрларини баҳолаш натижасида суст ютилиш чизиқларини қайд қилишда максимал сезгирликни таъминлайдиган қурилманинг оптимал конструкциясини ишлаб чиқиш имконини берди.

Тадқиқот натижаларини апробацияси. Диссертация ишининг натижалари 4 та халқаро ва 8 республика конференцияларида маъруза ва муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация натижалари 15 та илмий ишда, шу жумладан 4 та мақола диссертацияларнинг асосий илмий натижаларини нашр этиш учун Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестация Комиссияси томонидан тавсия этилган журналларда нашр этилган.

Диссертация тузулиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, адабиётлар рўйхати, 51 та расм ва 5 та жадвалдан иборат. Диссертация матни 142 бетни ташкил этади.

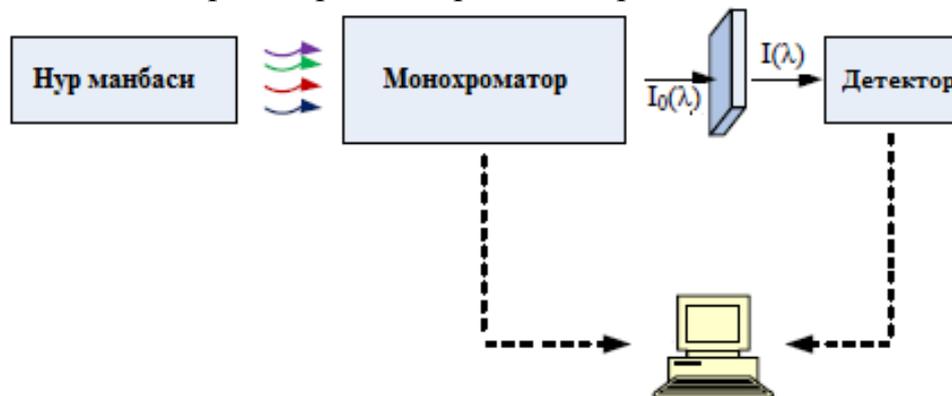
ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация иши мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари шакллантирилган, тадқиқот объекти, предмети ва усуллари аниқланган, тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялари ривожланишининг асосий устувор йўналишларига мослиги, илмий янгилиги кўрсатилган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, улардан амалда фойдаланилганлиги, чоп этилганлиги ва апробацияси ҳамда диссертациянинг тузулиши ва ҳажми бўйича маълумотлар келтирилган.

Биринчи боб “**Адабиётлар таҳлили**”га бағишланган. Унда муқобил энергия манбасидан фотовольтаик мақсадда қуёш энергиясини ўзлаштиришда органик фотоэлементлардан кенг фойдаланиб тадқиқ қилишининг замонавий ҳолати таҳлил қилинган. Органик қуёш элементининг тузулиши ва ишлаш принципи, шакллантириш усуллари, фаол қатлам материаллари ва уларнинг оптик хоссалари, наноструктурали фаол қатламининг физикавий хоссалари, ишлаш самарадорлигига боғлиқ бўлган пасайтирувчи ташқи ва ички омилларга оид тадқиқотлар кўриб чиқилган.

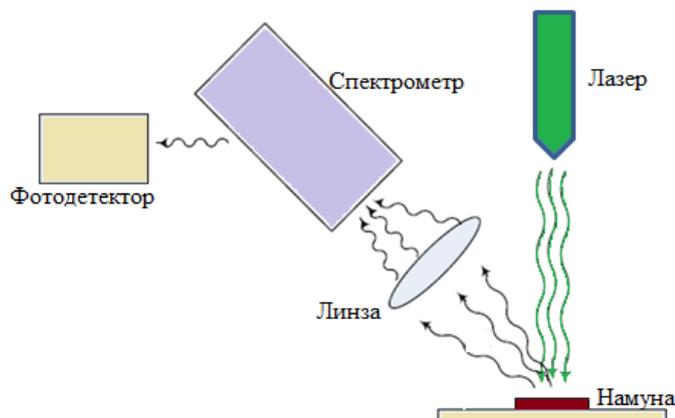
Иккинчи боб «**Органик моддалар наноструктурали аралашмаси асосидаги қуёш элементларини яратиш ва улардаги фотоэлектрик жараёнларни ўрганишнинг экспериментал методлари**» яратилган ва ишлатилган экспериментал қурилмаларнинг тавсифига, органик моддалар наноструктурали аралашмаси асосидаги қуёш элементларини тайёрлаш ва тадқиқ қилиш услубларига бағишланган. Тайёрланиш техника усулларида материалларнинг юпқа қатламлари уларнинг суяқ эритмаларидан фойдаланиб, спин коатинг усулида юпқа қатламлар тайёрланиш жараёнлари кетма кетлик босқичлари келтирилган. Ушбу бобда юпқа қатламларнинг ютилиш спектрларини олиш учун 190-1100 нм диапазон спектрига эга UV-

1280 (Shimadzu, Япония) спектрофотометри ишлатилган. Бу асосан ёруғлик манбаи ва детектор оптикасидан иборат бўлиб, UV-1280 спектрофотометрининг асосий компонентлари схематик тасвири ва қурилмани сошлаш жараёнлари келтирилган (1-расм).



1-расм. Оддий УВ-кўринадиган соҳа спектрометрининг асосий қисмлари схемаси

Шунингдек, наноструктура тузилмаларига эга юпқа қатламларни характерлаш учун фотолюминесценция (ФЛ) спектроскопиясидан ҳам фойдаланилган. Намуналарнинг ФЛ спектрларини тадқиқ қилиш учун намуна сиртига 532 нм тўлқин узунлигидаги 0,5 Вт қувватдаги лазер нурини йўналтириш орқали Renishaw 2000 (Буюк Британия) спектрометри ёрдамида ФЛ спектрлари олинган. 2-расмда ФЛ спектрини ўлчаш учун одатий экспериментал қурилма схемаси кўрсатилган.



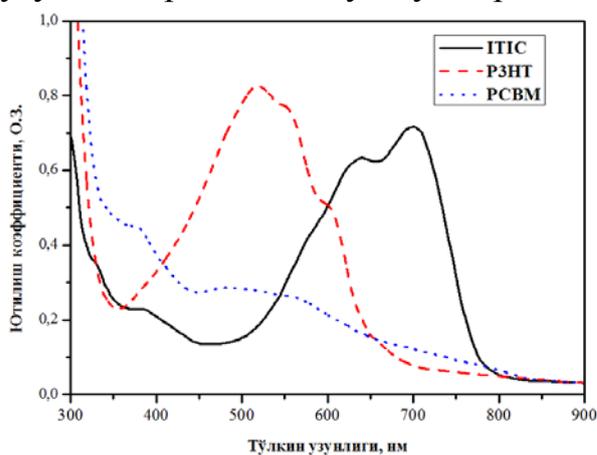
2-расм. ФЛ спектрини ўлчаш қурилма схемаси

ОҚЭ тайёрлангандан сўнг, ОҚЭ фотон энергиясини электр энергиясига қанчалик самарали ўзгартиришини ва оптик тадқиқотлар орқали олинган натижаларни бошқа методлар асосида тасдиқлаш мақсадида фотоэлектрик параметрлари ҳам тадқиқ қилинган. Тадқиқот ишида ушбу спектр кенгликдаги ёритиш ҳолатини ҳосил қилиш учун ксенонли чўғланма лампа ва АМ1.5 филтридан иборат қуёш симуляторидан фойдаланилиб яратилган сунъий қуёш спектри нурланишида қурилманинг $I-V$ характеристикалари модели Keithley 2420 (АҚШ) манба ўлчовчи ёрдамида ўлчанган.

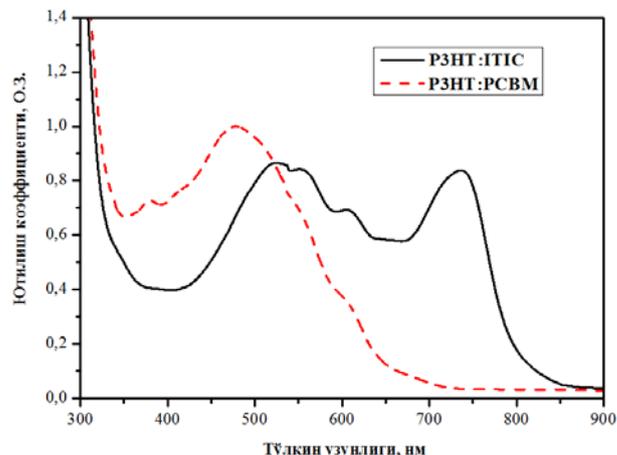
Учинчи боб «РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС таркибга эга бўлган наноструктурали аралашмалар асосидаги қуёш элементларининг оптик ва фотоэлектрик хоссалари» деб номланади. Боб РЗНТ:РСВМ ва

РЗНТ:ІТІС таркибли юпқа қатламларнинг абсорбцион (оптик ютилиш), флуоресцент хоссалари ва фотоэлектрик параметрлари таҳлил қилишга бағишланган.

ОҚЭнинг жуда юпқа қатламдан иборат фаол элементи унинг асосий устунликларидан бири бўлиб, экстинкция (ютилиш) коэффиценти улардан тайёрланган тахминан 100 нм қалинликдаги фаол қатламда ёруғликни деярли тўлиқ ютилишини таъминлайди. 3-расмда келтирилган РСВМнинг ютилиш спектрига асосан, 380 нмга қисқа тўлқинларда тор, лекин кучли ва 450 нм – 600 нмлар соҳасида кенг, лекин кучсиз ютилади. Ютилиш спектридаги бундай кескин фарқ, қатламда ушбу молекулаларнинг агрегацияланиши билан боғлиқ. Худди шу қалинликдаги РЗНТ қатламида ютилиш спектри максимумлари 510, 550 ва 600 нмда анча кучлироқ бўлиб, асосий электрон ўтиш ва унинг тебраниш обертонлари билан боғлиқ. Расмда ІТІС қатламининг ютилиш спектри максимумлари 650 нм ва 700 нмда жойлашган иккита пикдан иборат бўлиб, улар қуёш нури спектрининг катта тўлқин узунликлар соҳасида ушбу энергияни интенсив ютилишини таъминлайди.



3-расм. РСВМ (нүктәли чизик), РЗНТ (узук чизик) ва ІТІС (узлуксиз чизик) юпқа қопламаларининг ютилиш спектрлари.

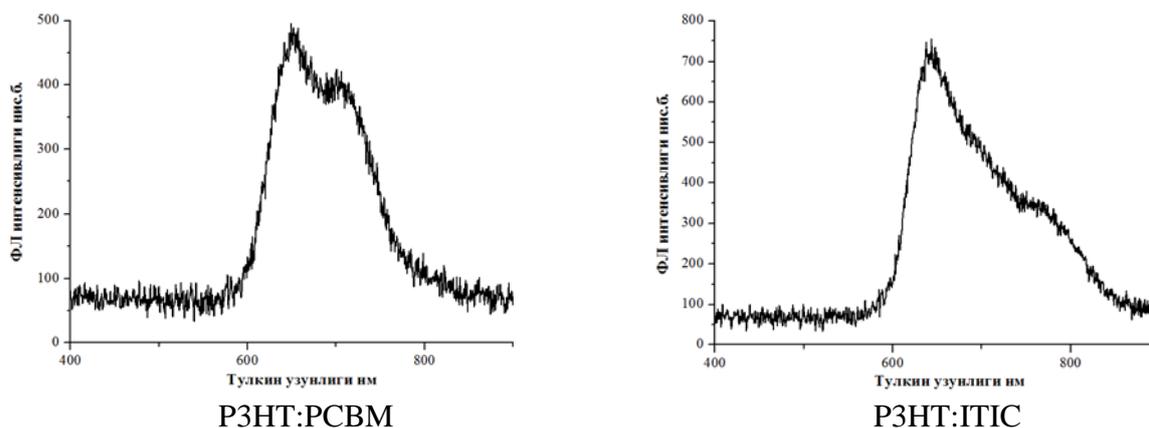


4-расм. РЗНТ:РСВМ (узук чизик) ва РЗНТ:ІТІС (узлуксиз чизик) қатламларининг ютилиш спектрлари.

ОҚЭларда электрон акцептори сифатида фуллеренларни бошқа акцептор молекулалар билан алмаштиришга асосий сабабларидан бири, фуллеренларнинг бундай қурилмаларда ютиладиган қуёш нури спектри ютилиш интенсивлиги ва узок эксплуатация давридаги барқарорлиги билан боғлиқ. Бу эса фуллерен акцепторли ОҚЭларни хизмат кўрсатиш вақтини кескин қисқартиради. Наноўлчамдаги кичик органик молекулалар акцептор материал сифатидаги ІТІС ҳақиқатдан ҳам полимер қуёш элементлари самарадорлигини пасайтирувчи учта юқорида кўрсатилган чекловчи омиллардан халос бўлиш ва ОҚЭ самарадорлигини яхшилашга йўл очади. Биринчидан, донор материал РЗНТнинг ютилиш спектри акцептор материаллари бўлган ІТІСнинг ютилиш спектри РСВМга нисбатан оптимал равишда бир-бирини ўзаро тўлдиради. Бу, айниқса, қуёш нури фотонлари оқими интенсив бўлган катта тўлқин узунликларида (> 650 нм) ўз ифодасини топади. 4-расмда келтирилган РЗНТ донор материалининг РСВМ ёки ІТІС

акцептор материаллари билан аралашмаларидан тайёрланган юпқа қатламларнинг ютилиш спектрларидан кўринадики, РЗНТ:ІТІС аралашмасидан тайёрланган юпқа қатлам қуёш нурларини 400-775 нм спектрал соҳада интенсив ютади, РЗНТ:РСВМ аралашмасидан тайёрланган юпқа қатламнинг ютилиш спектри эса 350-625 нм соҳа билан чекланади.

Ушбу икки турдаги донор-акцептор материаллари аралашмасидан тайёрланган ОҚЭда қуёш нурининг ютилиши самарадорлиги нуқтаи назаридан, фаол элемент сифатида РЗНТ:ІТІС қатламини ишлатилиши РЗНТ:РСВМ қатламини ишлатилишига қараганда қуёш нурини ютиш самарадорлиги уч барабар юқори бўлиши керак. Бироқ, бизнинг экспериментларимизда РЗНТ:ІТІС асосидаги ОҚЭда аниқланган ЭЎС РЗНТ:РСВМ асосидаги ОҚЭдагига нисбатан бир неча марта паст бўлиб чиқди. Бундай кутилмаган натижа, аввал баъзи тадқиқотларда кузатилган РЗНТ полимерининг РЗНТ:РСВМ қатламдан фарқли равишда, РЗНТ:ІТІС қатламида паст даражада кристалланиши ва донор ҳамда акцептор фазаларининг ўзаро ажралишининг паст даражаси билан боғлиқ экан.



5-расм. ОҚЭ юпқа қатламларининг 337 нм тўлқин узунлиқдаги лазер нури таъсиридаги фотолюминесценция спектри

Демак, органик полимер материаллар асосидаги донор-акцептор аралашмасидан тайёрланадиган юпқа қатламда структуравий тартибланиш даражасини ошириш, бундай материаллар асосидаги фаол қатламга эга ОҚЭларнинг самарадорлигини улардаги фотоэлектрик хусусиятларни яхшилаш ҳисобига ошириш имконини беради.

5-расмда РЗНТ:РСВМ ҳамда РЗНТ:ІТІС аралашмаларидан тайёрланган юпқа қатламларнинг 337 нм тўлқин узунлиқдаги лазер нури таъсирида кўзғатилиб, ФЛ спектрлари олинган. Қуёш нурининг ютилиши натижасида РЗНТ:РСВМ аралашмасининг юпқа қатламида ҳосил бўлган экситонларнинг электрон ва ковакларга ажралиш самарадорлигини микдорий жиҳатдан қуйидаги фотолюминесценция сўниши коэффициенти орқали аниқланди.

$$q = (I_{РЗНТ} - I_{РЗНТ/РСВМ}) / I_{РЗНТ}$$

РЗНТ:РСВМ аралашмасининг юпқа қатламидаги сўниш коэффициенти 0.91 ни, бизнинг экспериментларимизда эса РЗНТ:ІТІС аралашмасининг

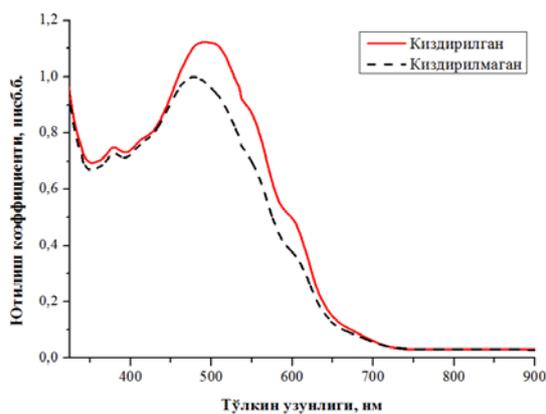
юпка қатламида сўниш коэффициентлари бир мунча пастроқ қийматли (ўртача 0.85) ташкил этди. Бу кўрсаткич донор полимер материаллар билан ІТІСнинг аралашмаси асосидаги ОҚЭлар қатта истиқболга эга эканини кўрсатади.

Фаол қатлам сифатида РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС аралашмасидан тайёрланган юпка қатламларни ташкил этувчи материаллар 1:1 нисбатда олинган бўлиб, кўплаб тадқиқотларнинг натижаларига кўра, айнан шундай миқдорий нисбатда ОҚЭда энг юқори ЭЎС қайд қилинади. Сабаби, ёруғлик ютилишида пайдо бўладиган экситонларни электрон ва ковакларга ажралиши ва ушбу зарядларнинг электроодларга ташилиши оптимал даражада бўлади.

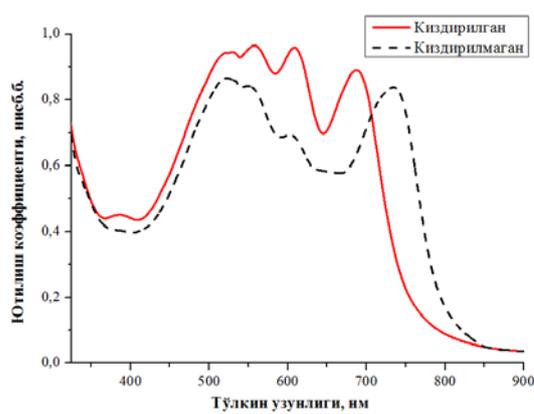
Фаол қатлам ва катод қатлами орасига юпка PFN қатлами ётқизилса, ЭЎСни кескин ортиши аниқланди. Бунга сабаб, PFN қатлами алюминий катод билан яхши интерфейсни шакллантиради ҳамда кетма-кет қаршилиқ (R_s)ни пасайишига олиб келади. PFN қатлами билан ўзгартирилган контактлар электронларнинг акцептор фазасидан метал катодга ўтишини кучайтириши ва фаол қатламдаги ковак-электрон рекомбинациясини камайтиради. PFN юпка қатлами мавжуд РСВМ акцепторли ОҚЭда ІТІС акцепторли ОҚЭдагидан ЭЎС деярли 4 мартага юқори чиқди. Донор сифатида кенг ишлатиладиган органик полимер – РЗНТнинг бошқа турдош полимерлардан асосий устуворликларидан бири унинг акцептор материал билан ҳажмий гетероструктурани шакллантириши ва бундай структурада юқори кристалланиш хусусиятидир. Лекин, афсуски, РЗНТнинг бундай хусусияти турли акцептор материаллар билан аралашганида турлича намоён бўлади. Экспериментал тадқиқотлар натижалари ва уларнинг таҳлилидан келиб чиқадики, РЗНТ:ІТІС таркибли юпка қатламни кристалланиши РЗНТ:РСВМ таркибли юпка қатламга нисбатан ёмон ва бунинг сабаби биринчисининг хусусиятлари кўпроқ аморфга яқинлиги билан тушунтирилади. Лекин, РЗНТ:ІТІС таркибли юпка қатламни юқорида баён этилган оптик хусусиятлари, яъни унинг қуёш нури спектрининг РЗНТ:РСВМга қараганда анча кенг қисмини ютиши каби шубҳасиз устуворлиги шу асосида ОҚЭнинг янги, юқори самарали турини ишлаб чиқиш ва бунинг учун юпка фаол қатламни полимер материалларини юқори кристалланиш даражасини таъминловчи технологиялар яратиш заруратини кўрсатади.

Тўртинчи бобда **«РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС таркибга эга бўлган наноструктурали аралашмалар асосидаги қуёш элементларининг ишлаш самарадорлигига ташқи омиллар таъсирини баҳолаш»** иссиқлик таъсирида, вақт ўтиши билан ҳамда турли муҳитларда ОҚЭлардаги оптик ва фотоэлектрик параметрларининг ўзгариши экспериментал тадқиқотлар натижалари келтирилган.

ЭЎСнинг максимал қиймати тартибланган, кристалл структурага эга бўлган фаол қатламни ОҚЭда наноўлчамли донор – акцептор доменларининг оптимал даражада ўзаро ажралиши учун 160⁰С температурада 20 дақиқа давомида қиздирилди.



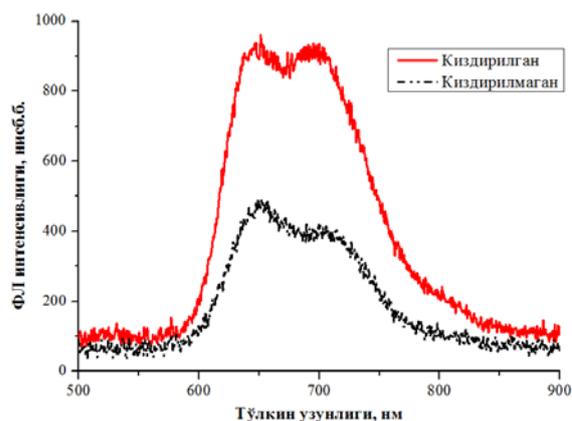
РЗНТ:PCBM



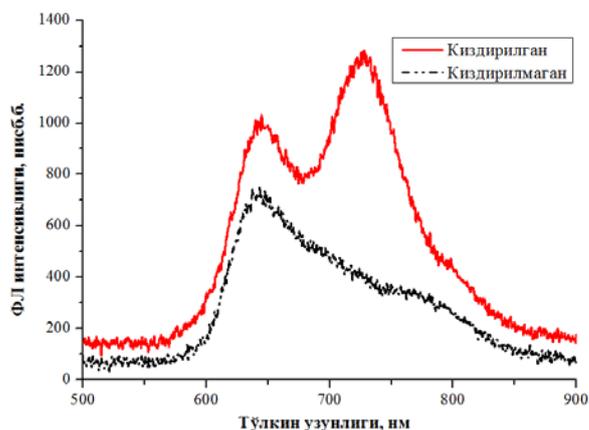
РЗНТ:ITIC

6-расм. ОҚЭ юпқа қатламининг қиздирилмаган (узлукли чизик) ва қиздирилган (узлуксиз чизик) ҳолатлардаги ютилиш спектрлари

6-расмда қиздирилганда спектрнинг қисқа тўлқинли қисмида РЗНТ:PCBM қатламидаги ютилишининг бироз ошиши соф PCBMда ҳам кузатилади экан. Бу, донор ва акцептор фазаларини ажралиши, уларнинг наноўлчамли доменларини шаклланиши, хусусан PCBM молекулаларининг агрегацияланиши (тўпланиши) унинг ютилиш спектрининг ортишига ва узун тўлқинлар томон силжишига олиб келади. РЗНТ:ITIC юпқа қатламини қиздиришда РЗНТ:PCBM юпқа қатламдаги сингари 550 нм ва 600 нмда РЗНТнинг ютилиш пикларида бир хил, характерли спектр ўзгаришлар аниқланди, лекин РЗНТ:PCBM юпқа қатламда ютилиш интенсивлиги анча юқори экан. Қиздиришдан олдин РЗНТ:ITIC юпқа қатламнинг янги тайёрланган намунаси деярли аморф тузилишга эга, аммо қиздирилгандан сўнг ундаги кристаллик даражаси бирмунча яхшиланади.



РЗНТ:PCBM



РЗНТ:ITIC

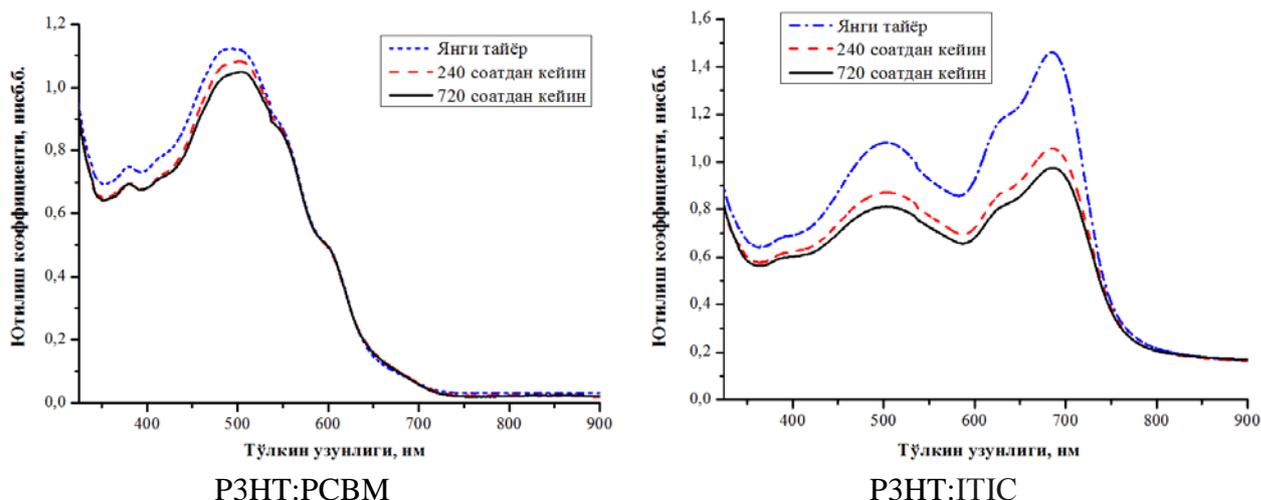
7-расм. ОҚЭ юпқа қатламининг қиздирилмаган (узлукли чизик) ва қиздирилган (узлуксиз чизик) ҳолдаги фотолюминесценция спектрлари

7-расмда РЗНТ:PCBM юпқа қатламини қиздирилганда фотолюминесценция интенсивлиги икки баравар ортиши кузатилди. Бундай ўзгариш донор ва акцептор фазаларининг ўзаро ажралишиб, уларнинг наноўлчамдаги доменларини шаклланишини яхшиланганлиги ҳисобига экситонларнинг самаралироқ электрон ва ковакларга ажралиши билан изоҳланади. Қиздирилган РЗНТ:ITIC юпқа қатламидаги максимуми 640

нмдаги фотолюминесценция интенсивлиги қиздирилмаганга нисбатан катта фарқ қилмаган ҳолда (1,3 баробар), унинг 730 нмдаги фотолюминесценция интенсивлиги қиздирилган ҳолдигидан уч баравар катталиги аниқланди. Қиздирилмаган РЗНТ:ІТІС юпқа қатламида РЗНТ полимерининг паст даражада тартибланганлиги, лекин қиздирилгандан кейин РЗНТ:РСВМ юпқа қатламига қараганда кўпроқ тартибланиши деб талқин қилиниши мумкин.

Шунингдек, ОҚЭларни қиздирилмаган ва қиздирилгандан кейин ўлчанган асосий фотоэлектрик параметрлари таҳлил қилинган бўлиб, қиздирилгандан кейин ОҚЭларнинг барча фотоэлектрик параметрлари кескин ортиши кузатилган.

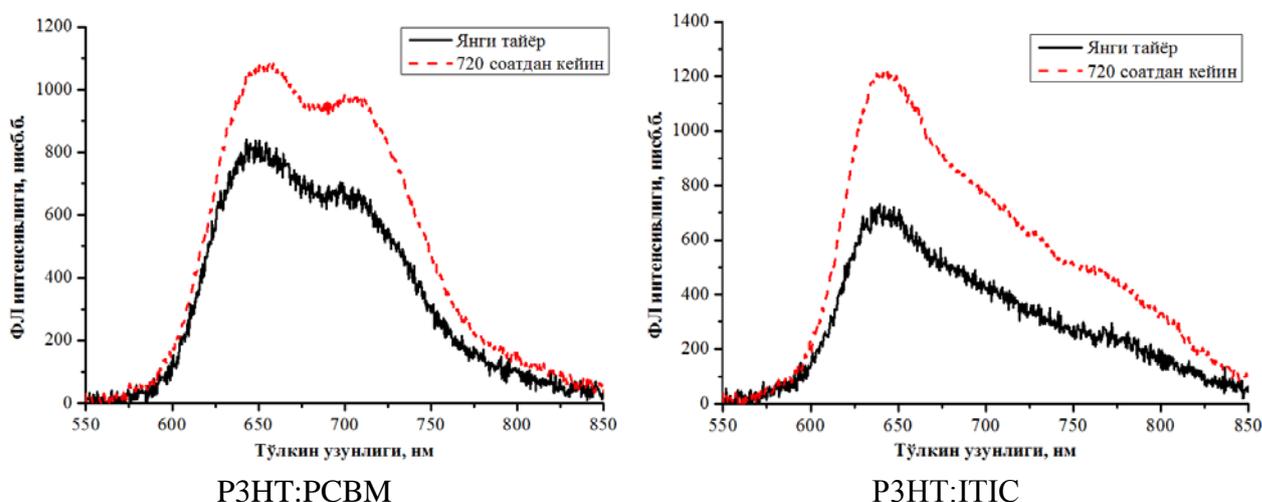
8-расмда ОҚЭларнинг вақт ўтиши билан пасайиши деградацияси тавсифланган. Бундай пасайишни маълум физикавий шароитларда ўрганиш, деградациянинг асосий сабаби бўлган ташқи ёки ички таъсир омилларни, бундай жараёнларнинг асосий механизмлари ва кўламини аниқлаш имкон беради. Бу, ўз навбатида, ОҚЭларнинг оптик характеристикалари – ютилиш ва фотолюминесценция спектрларида тегишли ўзгаришларга олиб келиши мумкин. ОҚЭларнинг оптик хоссалари ва фотовольтаик параметрларидаги бундай ўзгаришларни аниқлаб, қурилманинг деградация даражасини сон жиҳатдан баҳолаш мумкин.



8-расм. ОҚЭ юпқа қатламининг вақт ўтиши билан ютилиш спектрининг ўзгариши

8-расмда РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС юпқа қатламларининг янги тайёрланган вақтдаги ҳамда бу юпқа қатламларни атмосфера шароитида 240 ва 720 соат тургандан сўнг ўлчанган ютилиш спектрлари келтирилган. РЗНТ:РСВМ юпқа қатлам спектрида РСВМнинг ютилиш спектри 400 нм атрофида, РЗНТ эса 450-550 нм тўлқин узунлиги оралиғида ютилиш коэффициентининг аста-секин пасайиши кузатилган, шунингдек расмдаги РЗНТ:ІТІС юпқа қатлам спектрида ҳам РЗНТнинг спектри соҳаси РЗНТ:РСВМ юпқа қатлам спектридаги каби 450-550 нм ва ІТІС нинг ютилиш спектри 650-700 нм тўлқин узунлиги оралиғида ютилиш коэффициентининг аста-секин пасайишини кўришимиз мумкин.

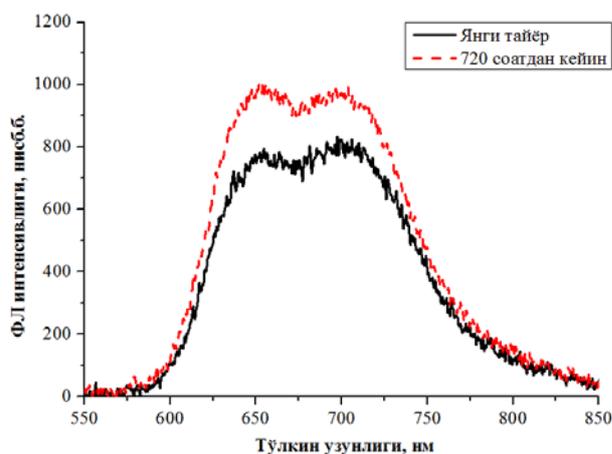
9-расмда РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС аралашмаларидан тайёрланган қатламларнинг янгдан тайёрланган ҳолатида ва 720 соат ўтгандан кейин 530 нмли тўлқин узунликдаги лазер нури таъсиридаги фотолюминесценция спектрлари келтирилган.



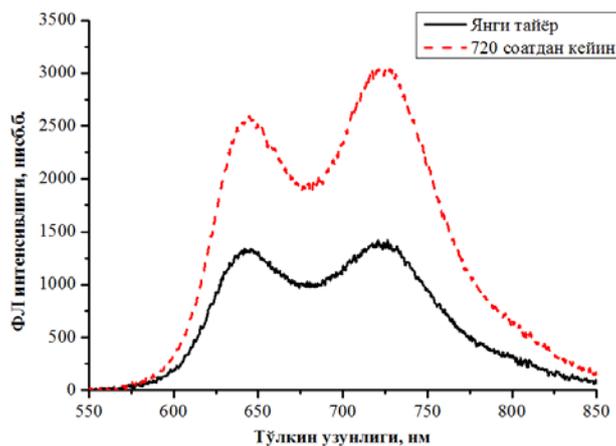
9-расм. ОҚЭларнинг қиздирилмаган ҳолатида юпқа қатламларининг янги тайёрланган вақтдаги ва 720 соатдан кейин ўлчанган фотолюминесценция спектрлари

Ушбу спектрлардан шуни кўриш мумкинки, фотолюминесценция, асосан, РЗНТ ҳисобига вужудга келади. Бунинг иккита сабаби бор: (I) РЗНТ лазер нурини бошқа таркибий материаллардан анча кучлироқ ютади, (II) иккала хил юпқа қатламда ҳам акцептор (РСВМ ва ІТІС) молекулаларининг фотолюминесценциялаш квант чиқиши (самарадорлиги) РЗНТга қараганда анчагина паст.

Иккала РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС юпқа қатламларнинг вақт ўтиши билан боғлиқ деградацияси фотолюминесценция интенсивлигини ортишига олиб келди. Фотолюминесценция спектрларининг вақт ўтиши билан ўзгариши РЗНТ:РСВМ юпқа қатламидаги фотолюминесценция интенсивлигини 35%га, РЗНТ:ІТІС юпқа қатламидаги фотолюминесценция интенсивлигини 63%га ошиши билан характерланади. Юпқа фаол қатламли ОҚЭларнинг вақт ўтиши тufайли деградацияси натижасида фотолюминесценция интенсивлигининг ортиши қиздирилмаган РЗНТ:РСВМ юпқа фаол қатламида 35%га (9-расм), қиздирилган шундай юпқа қатламда эса камроқ, 22%га (10-расм) тенг ўзгариш кузатилди. Юпқа РЗНТ:ІТІС қатламли ОҚЭда эса термик қиздириш тескари таъсирни келтириб чиқарганлиги ажабланарли – ундаги вақт ўтиши билан фотолюминесценция интенсивлиги ўзгариш кўлами қиздирилмаган юпқа РЗНТ:ІТІС қатламли ОҚЭга нисбатан 60% га (9-расм), қиздирилган РЗНТ:ІТІС юпқа қатламида эса 100%га (10-расм), яъни 2 марта ортганлигини кўришимиз мумкин.



РЗНТ:РСВМ



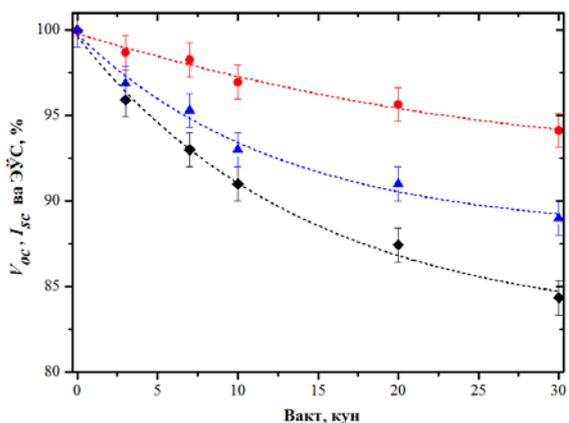
РЗНТ:ІТІС

10-расм. ОҚЭларнинг қиздирилган юпқа қатламларининг янги тайёрланган вақтдаги ва 720 соатдан кейин ўлчанган фотолюминесценция спектрлари

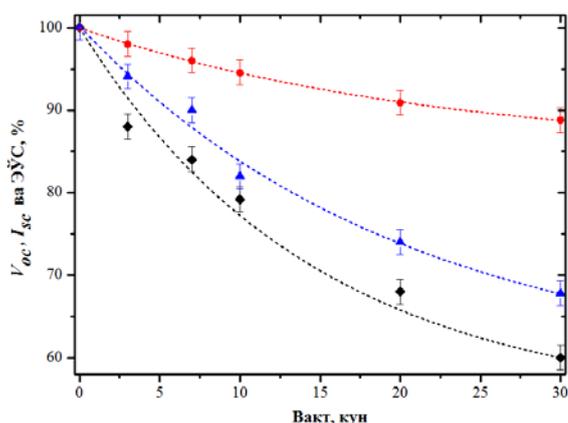
Ушбу ҳолатни, катта эҳтимоллик билан, икки жараённинг рақобати билан изоҳлаш мумкин: қиздирилганда ютилишнинг пасайиши мос равишда фотолюминесценциянинг пасайишига олиб келади, аммо донор ва акцептор фазалари доменлари ҳажмининг ўсиши ушбу фазалар чегарасида экситонни эркин зарядларга айланиш эҳтимоллигини пасайишига олиб келади. Шу сабабли РЗНТ:ІТІС аралашмасидан тайёрланган юпқа қатламини РЗНТ:РСВМ аралашмасидан тайёрланган юпқа қатлам билан таққослаганда структуравий тартиблилик даражасининг пастлиги сабабли, РЗНТ:ІТІС аралашмасидан тайёрланган юпқа қатлам термик қиздириш жараёни анча самарасизлигини тушуниш мумкин (10-расм). Шунинг учун, РЗНТ:ІТІС юпқа қатламида термик қиздиришдан кейин ҳам вақт ўтиши билан деградация жараёни давом этаверади деган хулосага келиш мумкин.

Қуёш фотоэлементларига қўйиладиган асосий вазифалардан температура, механик таъсирлар, кимёвий ҳамда нурланишлар таъсирларига чидамлилигидан ташқари атмосфера муҳитида барқарор ишлаш талаби ҳам қўйилади. Шу сабабдан тадқиқ этилаётган РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС асосида ОҚЭларини махсус азотли ҳамда атмосфера муҳитида самарадорлик ва барқарорлик кўрсаткичлари тадқиқ этилди.

Атмосфера ва азот муҳитида жойлашган РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС асосидаги ОҚЭдаги V_{OC} , I_{sc} ва ЭЎС нормаллашган қийматлар фотоэлектрик параметрларнинг вақт ўтиши билан ўзгариши 30 кун давомида кузатилиб, ОҚЭларининг кислород молекулаларидан холи бўлган азот муҳитида ўрганилди (11-расм). Эътиборли жиҳати шуки, кислород бўлмаган тақдирда ҳам азотли муҳитда V_{OC} , I_{sc} ва ЭЎС нормаллашган қийматлар пасайиши кузатилди.



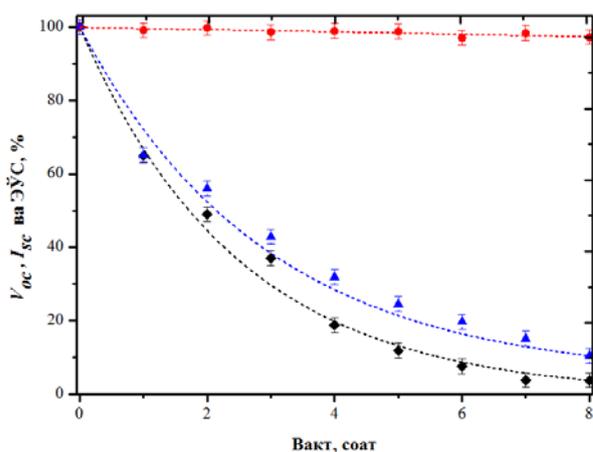
РЗНТ:РСВМ



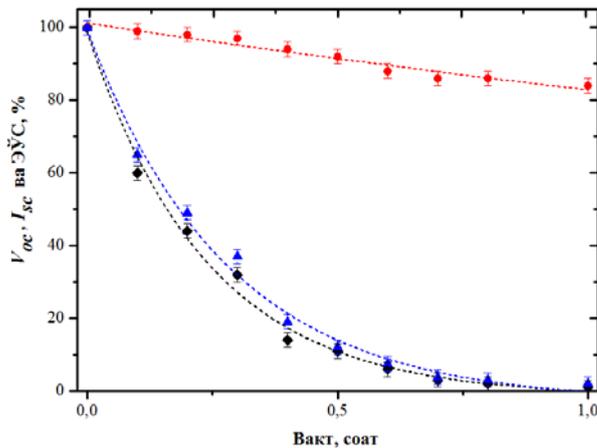
РЗНТ:ІТІС

11-расм. Азот муҳитида жойлашган ОҚЭларнинг V_{oc} (доира), I_{sc} (учбурчак) ва ЭЎС (ромб) қийматларининг ўзгариш эгри чизиклари.

Спектрал натижалардаги боғлиқликларда бўлгани каби, РЗНТ:ІТІС асосида ОҚЭларда ЭЎСнинг камайиши РЗНТ:РСВМ асосида ОҚЭларга қараганда тезроқ содир бўлар экан. Бундай вақт оралиғида V_{oc} нинг кескин бўлмаган ҳолдаги секин пасайиши, бошқа секинроқ кечадиган деградация механизмларининг мавжудлигини кўрсатади.



РЗНТ:РСВМ



РЗНТ:ІТІС

12-расм. Атмосфера муҳитида жойлашган ОҚЭларнинг V_{oc} (доира), I_{sc} (учбурчак) ва ЭЎС (ромб) қийматларининг ўзгариш эгри чизиклари.

12-расмдан кўринадикки, ҳар иккала ОҚЭларда ҳам ўзгармас V_{oc} , I_{sc} ва ЭЎС қийматлари қисқа вақт ичида атмосфера муҳитида деярли нолга тушади. Бундай ўзгаришлар ўрганилаётган ОҚЭлар турига хос бўлиб, уларнинг механизми асосан юқори катод қатлами Al нинг тез оксидланиши ва унинг юпка қатламга диффузион тарқалиши билан боғлиқ. РЗНТ:РСВМ асосидаги ОҚЭларнинг ЭЎС камайиш даври тахминан 8 соатни ташкил этади. Бироқ, РЗНТ:ІТІСга асосланган ОҚЭларда ЭЎСнинг пасайиш даври сезиларли даражада кичик бўлиб, бир соатдан кам вақтда деярли тўлиқ деградацияга учрар экан. Вақт ўтиши билан деградацияни ўрганиш шуни кўрсатадики, атмосферада ОҚЭлар тезда деградацияга учрайди. Бир хил донор матрицали полимерга эга бўлган, аммо ҳар хил акцептор молекулали иккита органик қуёш элементларининг деградация натижасида парчаланиш

тезлигидаги бундай фарқ уларнинг фотоактив қатламининг ўзига хос тузилиши билан боғлиқ. РЗНТ:РСВМ юпқа қатлами термик қиздиришдан сўнг юқори тизимли тартиб билан тавсифланса, аксинча РЗНТ:ІТІС юпқа қатлами эса аморф тузилишга яқин бўлади.

Бир хил ОҚЭ билан, лекин Al катод қатламисиз, РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС тузилмаларининг оптик характеристикаларини ўрганиш уларнинг парчаланиши кинетикасида фақат характеристика даври 720 соат бўлган секин компонент мавжудлигини кўрсатди. Бундай юпқа қатламларнинг ютилиш спектридаги ўзгаришлар РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС нинг бутун ютилиш спектри давомида кузатилади, бу эса юқоридаги аралашмалардаги композит материалларининг структуравий ўзгаришлари ва парчаланишини билдиради. Ўрганилаётган юпқа қатламларда ютилишнинг пасайиш вақти 720 соатни ташкил этган ҳолда ОҚЭларнинг фотолюминесценцияси ҳам атмосфера муҳитида 720 соатдан сўнг секин, аммо сезиларли даражада ўсишини кўрсатди, бу донор ва акцептор фазаларининг ажралиши билан боғлиқ. Бир хил донор РЗНТ полимерли, аммо турли хил РСВМ ва ІТІС акцептор молекулалари бўлган ОҚЭларнинг фотоволтаик ва оптик хусусиятларини қиёсий ўрганиш мисолида, бундай қурилмаларнинг ютилиш ва фотолюминесценция спектрлари маълумот берувчи восита сифатида кейинги илмий тадқиқот ишларида фойдаланиш мумкин, яъни ЭЎСнинг камайиши ва деградация даражасини, қуёш энергиясини ўзгартириш қурилмаларининг хизмат кўрсатишга яроқли эканлиги каби параметрларини баҳолаш мумкин.

ХУЛОСА

1. Юпқа қатламли органик материаллар асосидаги қуёш фотоэлементларини олиш услуги ишлаб чиқилди. Ишлаб чиқилган ушбу услуб ёрдамида донор материал сифатида муҳим энергетик ва структуравий хоссаларга эга бўлган органик полимер РЗНТ ва унга мос энергетик сатҳларга эга акцептор материаллар РСВМ, ІТІС моддалари танланиб улар билан РЗНТ:РСВМ ва РЗНТ:ІТІС таркибли структуравий органик қуёш элементлари олинди.

2. РЗНТ:ІТІС, РЗНТ:РСВМ аралашмалари ва уларнинг таркибий материаллари РЗНТ, ІТІС ва РСВМлардан тайёрланган юпқа қатламларнинг абсорбцион, фотолюминесцент хусусиятлари аниқланди. РЗНТ:ІТІС аралашмали ОҚЭ структурасининг РЗНТ:РСВМ таркибли ОҚЭ структурасига нисбатан қуёш нури тегишли спектридаги энергиясини ютиш самарадорлиги уч баробар юқорилиги аниқланди. Шунингдек, РЗНТ:ІТІС таркибли структуравий ОҚЭнинг РЗНТ:РСВМ аралашмалар асосидаги ОҚЭлардагига нисбатан ФЛ интенсивлигининг юқорилиги ҳамда ЭЎС қийматининг пастлиги билан фарқ қилади ва бу ҳолат РЗНТ:ІТІС аралашмаси юпқа қатламининг структуравий ва морфологик камчиликлари (паст кристалланиш даражаси, донор ва акцептор фазаларининг мукамал ажралмаганлиги) билан изоҳланди.

3. Термик ишлов берилган P3HT:PCBM ва P3HT:ITIC асосида OҚЭ композит материалларининг ютилиш, фотолюминесценция ва фотоэлектрик хусусиятларини қиёсий ўрганиш орқали OҚЭларнинг самарадорлигини чекловчи физик сабаблар аниқланди. Тадқиқ қилинган структуравий OҚЭлари қиздирилганда молекуляр тартибланиш даражаси яхшиланганлиги, ҳажмий гетероструктурада зарядлар ҳаракатчанлиги (мобиллиги) ошиши ҳисобига фотофизик параметрлар ортганлигини ва бу ўзгариш оптик характеристикалардаги ўзгаришлар билан мутаносиблиги аниқланди.

4. P3HT:ITIC, P3HT:PCBM таркибли OҚЭлар вақт ўтиши билан деградацияга учраши натижасида уларнинг ютилиш спектрларидаги интенсивликлари камайиб, ФЛ спектр интенсивлигининг ортиши кузатилди. Кузатилган ушбу ўзгаришлар тадқиқ қилинаётган OҚЭларнинг структуралардаги тартибсизланиш даражаси ошиши ҳисобига зарядлар ташилиш интенсивлигининг кескин камайиб кетиши билан бевосита боғлиқ бўлиб буни фотоэлектрик параметрларининг вақт ўтиши билан ўзгариши ҳам тасдиқлайди.

5. Тадқиқ қилинган OҚЭларининг ЭЎС қийматларига атмосфера таъсирини баҳолаш мақсадида азот муҳитида намуналарнинг деградация жараёнлари кузатилди. Фотоэлементларнинг алюминий моддасидан тайёрланган катод сув ва кислород молекулаларининг ўзаро диффузияси таъсирида оксидланиши ҳисобига P3HT:PCBM ва P3HT:ITIC таркибли OҚЭлар фаол қатлами ҳамда катод материали орасидаги энергетик сатҳлари ўзгариши натижасида намуналарининг ЭЎС кескин камайишига сабаб бўлиши аниқланди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 ПРИ ИНСТИТУТЕ
ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АН РУз**

ИНСТИТУТ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ И ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ИМОМОВ МУХИБЖОН ХАБИБЖОНОВИЧ

**ОПТИЧЕСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ
СМЕСИ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ, ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДЛЯ
СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

01.04.05 – Оптика

**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/FM538.

Диссертация выполнена в Институте ионно-плазменных и лазерных технологий.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещён на веб-странице Научного совета по адресу www.iplt.uz и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу www.ziyo.net.

Научный руководитель: Эркин Агзамович Захидов
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: Юсупов Джавдат Бакиджанович
доктор физико-математических наук, профессор

Каххаров Абдулмуталиб Мамаджанович
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Ведущая организация: Национальный Университет Узбекистана

Защита диссертации состоится «2» июня 2021 г. в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSс.02/30.12.2019.FM.65.01 при Институте ионно-плазменных и лазерных технологий по адресу: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 33. Тел./Факс: (+99871) 262-32-54, e-mail:info@iplt.uz.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ионно-плазменных и лазерных технологий (зарегистрирована за № 10). Адрес: 100125, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 33. Тел.: (+99871) 262-31-69.

Автореферат диссертации разослан «20» 10 2021 года.

(Реестр протокола рассылки 10 от «2» 11 2021 года).



Х.Б.Ашуров
председатель Научного совета по
присуждению учёных степеней, доктор
технических наук, профессор

И.Д.Ядгаров
учёный секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней, доктор
физико-математических наук, старший
научный сотрудник

Б.Е.Умирзаков
председатель Научного семинара при
Научном совете по присуждению ученых
степеней, доктор физико-математических
наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы. Постоянный рост спроса на энергию вызывает ряд глобальных экономических проблем. На сегодняшний день ископаемые топлива являются основным источником энергии, используемые во всем мире. Невозобновляемость таких источников энергии и их вредное воздействие на экологию планеты, такое как "парниковый эффект" и загрязнение атмосферы, вызывают серьезные проблемы, подчеркивая необходимость широкомасштабного использования других возобновляемых источников энергии. Среди устойчивых источников энергии, не оказывающих негативного воздействия на окружающую среду, солнечная энергия занимает особое место благодаря ряду своих положительных свойств. Энергия света, достигающего Земли от Солнца, составляет $1,7 \times 10^{22}$ Дж за 1,5 дня. Предполагая, что общее потребление энергии на Земле в год составляет $4,6 \times 10^{20}$ Дж, можно подсчитать, сколько энергии в час может быть покрыто глобальным спросом на энергию за счет солнечной энергии. Сегодня неорганические фотоэлектрические устройства признаны наиболее оптимальным типом солнечных элементов с точки зрения энергоэффективности с рекордной эффективностью 47%; а КПД этого типа устройств, выпускаемых для коммерческих целей, составляет 15-20%.

Другой тип солнечных элементов, обладающих большим практическим потенциалом, - это солнечный элемент, созданный на основе органических материалов. Солнечные элементы на основе тонкого полимерного покрытия отличаются простотой обработки, механической гибкостью и возможностью дешевого производства в больших масштабах. Кроме того, возможность изменения физических свойств устройства по мере необходимости за счет небольших изменений химического состава органических веществ, используемых при их производстве, намного выше, чем у других типов солнечных элементов. Однако эффективность получения электроэнергии в органических солнечных элементах (ОСЭ) все еще не находится на уровне требований коммерциализации: рекордная эффективность, зафиксированная в этих устройствах в лабораторных условиях, не превышает 14%. Фундаментальные научные и прикладные исследования и инновации, проведенные за последние десятилетия, направлены на дальнейшее повышение эффективности ОСЭ, продление срока службы и снижение производственных затрат, а также создание экономичных фотоэлектрических технологий.

В нашей стране ведутся активные исследования по повышению эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую. В частности, ряд текущих исследований направлен на достижение высокой эффективности преобразования энергии (ЭПЭ), создание ОСЭ на основе дешевых и простых технологий. Стратегия действий по пяти приоритетным направлениям развития Республики Узбекистан определяет поддержку научно-исследовательской и инновационной деятельности и разработку эффективных механизмов реализации научных и инновационных разработок

как важную общенациональную задачу. Соответственно, одной из важнейших научно-технических задач в этой связи является создание ОСЭ на основе дешевых, удобных и простых производственных технологий, способных конкурировать с неорганическими солнечными элементами.

Диссертация основана на Указе Президента Республики Узбекистан от 22 августа 2019 г. № ПП-4422 «Об оперативных мерах по повышению энергоэффективности в экономике и социальной сфере, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» №ПР-3012 «О программе мероприятий по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, энергоэффективности в экономике и социальной сфере на 2017-2021 годы», Постановление Республики Узбекистан «Об использовании возобновляемых источников энергии. источники энергии» принят 21 мая 2019 года Закон и Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № ПФ-4947 «О Стратегии дальнейшего развития Республики Узбекистан», а также другие нормативные правовые акты связанных с этой сферой деятельности.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики Узбекистан – III. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение, транспорт, машино- и приборостроение; развитие современной электроники, микроэлектроники, фотоники, электронного приборостроения».

Степень изученности проблемы. По мере роста потребности в возобновляемых, «зеленых» источниках энергии растет и акцент на рентабельных фотоэлектрических источниках энергии, особенно на ОСЭ, изготовленных из связанных полимеров. ОСЭ на основе тонкого полимерного покрытия имеют высокую привлекательность благодаря своей механической гибкости, простоте обработки и доступности недорогих производственных технологий для таких устройств с большой площадью поверхности. В последние годы ряд зарубежных исследовательских центров и лабораторий проводят исследования с целью создания оптических и недорогих, долговременных эффективных устройств преобразования энергии ОСЭ, а также для дальнейшего повышения их эффективности преобразования энергии, оптических и фотоэлектрических свойств.

В этой области зарубежные ученые Х. Ширакава, Dj.MakDiarmid, Alan Dj. Хайгер был одним из первых, кто достиг важнейших научных результатов в области органической фотовольтаики, и в 2000 году был удостоен Нобелевской премии. Среди ученых стран СНГ важные научно-технические результаты получили П.А. Трошин, В.А. Труханов, В.В. Бруевич, Д.Ю. Парашук, а в нашей республике С.Ш. Рашидова, Н.Ашуров и другие.

Сегодня в области ОСЭ проводится множество исследований, в том числе: дальнейшее увеличение их срока службы и ЕО, изучение влияния

физической среды на эту эффективность, изучение процессов деградации солнечных элементов и их механизмов.

Однако до начала работы над диссертацией не было систематических данных о способности ОКЭ контролировать структурные изменения и снижение ЭО с использованием спектров оптического поглощения и фотолюминесценции. Это сделало невозможным обнаружение изменений в эффективности устройств в ОСЭ, особенно в отношении их структуры активного слоя и других физических свойств, а также всестороннее изучение физических факторов, которые привели к этому. Цели и задачи диссертации выбраны с учетом этих обстоятельств.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Работа выполнена на основе научных исследований в рамках государственного научно-технического проекта Института ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз № ОТ-Ф2-05 «Пробуждение света и перенос заряда процессы в системах искусственного фотосинтеза»(2017-2020).

Целью исследования было определение физических основ взаимосвязи между эффективностью преобразования энергии и их оптическими свойствами в наноструктурированных тонких активных слоистых органических солнечных элементах на основе донорных и акцепторных органических полимерных смесей.

Задачи исследования:

разработка метода получения солнечных фотоэлементов на основе тонкослойных органических материалов, а также ОСЭ с наноструктурированным тонким активным слоем, содержащим РЗНТ:PCBM и РЗНТ:ITIC;

определение, анализ и оценка тепловые действия на абсорбционные и фотолюминесцентные спектры наноструктурированного тонкого активного слоя на основе соединений РЗНТ:PCBM и РЗНТ:ITIC;

разработка методов контроля уменьшения со временем (деградации) ЭЭП в ОСЭ через их оптические параметры;

определение атмосферных воздействий на ОСЭ, имеющие активного слоя содержащие РЗНТ:PCBM и РЗНТ:ITIC, путем сравнительного изучения фотовольтаических и оптических параметров.

Объектом исследования в качестве РЗНТ:PCBM и РЗНТ:ITIC-содержащие ОСЭ и тонкие слои из материалов, из которых они состоят, были выбраны.

Предметом исследования РЗНТ:PCBM и РЗНТ: фотозлектрические процессы в ОСЭ, содержащих ITIC, их структурные изменения (деградация) в результате внешних физических воздействий (тепло, молекулярная диффузия, атмосфера) или с течением времени.

Методы исследования: В диссертации широко используются методы создания РЗНТ:PCBM и РЗНТ:ITIC-содержащих ОСЭ, методы исследования

изменений их структуры и состава материалов по абсорбционно-фотолюминесцентным спектрам.

Научная новизна исследования состоит из:

структурные упорядочение активного слоя ОСЭ содержащих РЗНТ:РСВМ и РЗНТ:ІТІС при нагревания приводит к росту интенсивности оптических поглощений и растет эффективность преобразования энергии за счет роста подвижности (мобильности) зарядов в объемной гетероструктуре;

выявлена корреляция между изменениями оптических и фотоэлектрических параметров и используя эти параметры параметров ОСЭ содержащих РЗНТ:РСВМ и РЗНТ:ІТІС даёт возможность непосредственно контролировать изменение ЭЭП а также степень деградации;

обнаружено, что в атмосферных условиях резкое снижение значений ЭЭП ОСЭ содержащих РЗНТ:РСВМ и РЗНТ:ІТІС является основной причиной окисления катода из алюминия за счет взаимной диффузии молекул воды и кислорода в фотоэлементе.

Практические результаты исследования состоит из:

разработаны экспериментальные методы и оборудование для подготовки ОСЭ с содержанием РЗНТ:РСВМ или РЗНТ:ІТІС;

Прецизионное оптическое устройство было разработано для определения абсорбционно-фотолюминесцентных характеристик слоев, состоящих из ОСЭ и различных составляющих их материалов;

Было показано, что параллельное определение фотоэлектрических и оптических параметров наноструктурированных ОСЭ разного состава, а также контроль изменения (деградации) этих параметров с течением времени позволяют управлять эффективностью таких энергообменных устройств.

Достоверность результатов исследований основан на использовании физических методов с высокой точностью и повышенной чувствительностью. Применение современных приборов абсорбционно-флуоресцентной спектроскопии, обнаружение и анализ различных структурных изменений, а также структурного упорядочения / беспорядка, наблюдаемого в исследуемом объекте, в соответствии с реальными экспериментальными условиями с использованием методов электронной микроскопии, одновременное измерение фотоэлектрических параметров во многих образцах и их статистическая оценка.

Выводы, сделанные на основании экспериментальных результатов и их анализа, основаны на основных правилах теоретического исследования изучаемых объектов и согласуются с результатами других авторов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования в данной диссертации заключается в том, что физические факторы, которые конкурируют с фотоэлектрическими процессами и уменьшают ЭО в фотоэлектрических устройствах на основе активного слоя РЗНТ:РСВМ и РЗНТ:ІТІС, считаются перспективными для создания ОСЭ нового поколения основан на анализе зависимости эффективности таких процессов от внешних физико-химических воздействий.

Внедрение результатов исследования. По результатам исследований по сравнительному анализу оптических и фотовольтаических параметров наноструктурированных органических солнечных элементов с тонким активным слоем на основе донорно-акцепторных смесей:

Результаты, полученные при исследовании оптических и фотовольтаических параметров материала РСВМ на основе фуллерена, используемого в качестве акцептора в смеси, были использованы в фундаментальном проекте ОТ-Ф2-51 «Основы синтеза новых функциональных наноматериалов для оптоэлектроники и солнечной энергетики на основе фуллеренов» и их производные» (Справка АНРУз № 2/1255-976 от 2.04.2021 г). Использование полученных научных результатов позволило эффективно применить новые функциональные наноматериалы для солнечной энергетики на основе фуллеренов в гибридной форме с другими донорными материалами, а также выявить структурные комбинации;

Методы определения абсорбционно-фотолюминесцентных характеристик тонких пленок и использование презентационных оптических устройств ЁФА-Фтех-2018-204, использовано при выполнении молодежного фундаментального проекта «Разработка нового метода регистрации слабых линий поглощения на основе фотометрических шарах» (Справка АНРУз № 2/1255-2236 от 12.08.2021 г.). Использование полученных научных результатов позволило определить абсорбционно-фотометрические характеристики различных органических и неорганических тонких слоев, используемых для покрытия внутренних поверхностей фотометрических шаров, и дал возможность разработать оптимальную конструкцию прибора, обеспечивающего максимальную чувствительность при регистрации слабых линий поглощения в результате оценки параметров их деградации.

Апробация результатов исследования. Результаты диссертации были представлены и обсуждены на 15 международных и республиканских конференциях.

Публикация результатов исследования. По результатам диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе 4 статьи в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертационных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы. Текст диссертации изложен 142 страницах, включая 51 рисунков и 5 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении исходя из актуальности и необходимости диссертации сформированы цели и задачи исследования, определены объект, предмет и методы исследования, соответствие исследования основным приоритетам науки и техники республики, научная новизна, научная и практическая

значимость результатов, информация о публикации и апробации, а также структура и объем диссертации.

Первая глава посвящена «**Обзору литературы**». В нем анализируется текущее состояние исследований по широкому использованию органических фотоэлементов для поглощения солнечной энергии для фотоэлектрических целей из альтернативных источников энергии. Рассмотрены исследования структуры и принципа работы органического солнечного элемента, методов формирования, материалов активного слоя и их оптических свойств, физических свойств наноструктурированного активного слоя, уменьшения внешних и внутренних факторов, связанных с эффективностью работы.

Вторая глава «**Экспериментальные методы создания солнечных элементов на основе наноструктурированных смесей органических веществ и исследование в них фотоэлектрических процессов**» посвящена описанию разработанных и используемых экспериментальных устройств, методов изготовления и исследования солнечных элементов на основе наноструктурированных смесей органических веществ. В способах получения тонких слоев материалов с использованием их жидких растворов описан процесс получения тонких слоев методом центрифугирования. В этой главе для получения спектров поглощения тонких слоев использовался спектрофотометр UV-1280 (Shimadzu, Япония) со спектром 190–1100 нм. Он состоит в основном из источника света и оптики детектора, со схематическим изображением основных компонентов спектрофотометра UV-1280 и процессов настройки устройства (Рисунок 1).

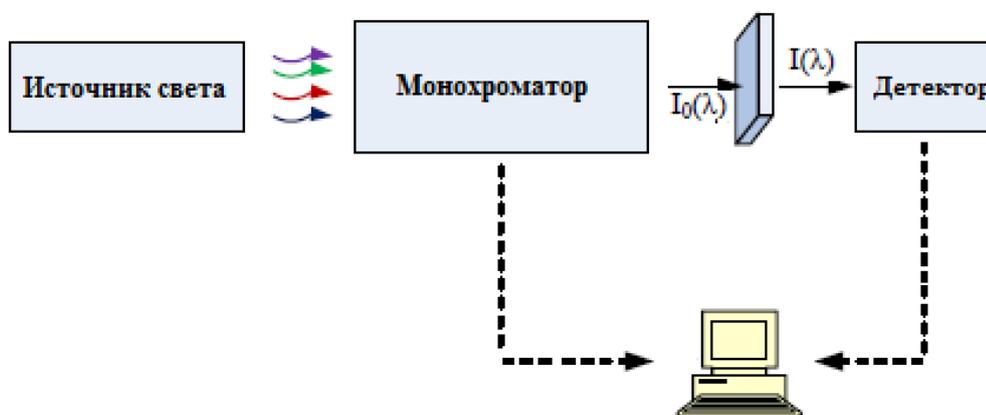


Рисунок 1. Схема основных частей простого спектрометра УФ-видимого диапазона.

Фотолюминесцентная (ФЛ) спектроскопия также использовалась для характеристики тонких слоев с наноструктурированными структурами. Для исследования спектров ФЛ образцов спектры ФЛ получали с использованием спектрометра Renishaw 2000 (Великобритания), направляя лазерный луч мощностью 0,5 Вт с длиной волны 532 нм на поверхность образца. На рисунок 2 представлена схема типичного экспериментального устройства для измерения спектра ФЛ.

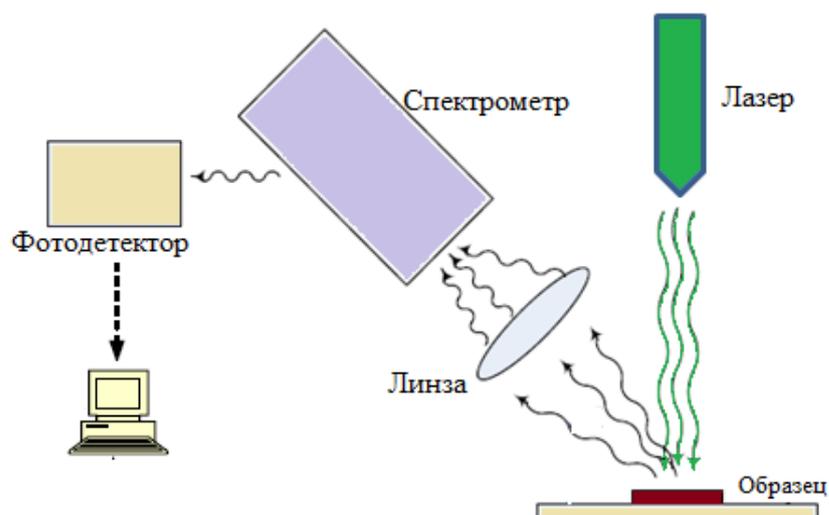


Рисунок 2. Схема прибора для измерения спектра ФЛ

После того, как ОСЭ был подготовлен, были также изучены фотоэлектрические параметры, чтобы подтвердить, насколько эффективно ОСЭ преобразует энергию фотонов в электрическую энергию, и подтвердить результаты, полученные оптическими исследованиями на основе других методов. В исследовании ВАХ модели устройства были измерены с использованием измерителя источника Keithley 2420 (США) в искусственном спектральном солнечном излучении, которое было создано с использованием ксеноновой лампы накаливания и имитатора солнечного излучения с фильтром AM1.5 для генерации этого спектрального излучения. ширина условия освещения.

Третья глава озаглавлена «**Оптические и фотоэлектрические свойства солнечных элементов на основе наноструктурированных соединений, содержащих РЗНТ: РСВМ и РЗНТ: ИТІС**». Раздел РЗНТ:РСВМ и РЗНТ:ИТІС посвящен анализу поглощения (оптического поглощения), флуоресцентных свойств и фотоэлектрических параметров тонких слоев.

Активный элемент ОСЭ, состоящий из очень тонкого слоя, является одним из его основных преимуществ, так как коэффициент экстинкции (поглощения) обеспечивает практически полное поглощение света в активном слое толщиной около 100 нм, приготовленном из них. Судя по спектру поглощения РСВМ, показанному на рисунке 3, он узкий, но сильный на коротких волнах 380 нм и широкий, но слабо поглощаемый в диапазоне 450–600 нм. Столь резкое различие в спектре поглощения связано с агрегацией этих молекул в слое. В слое РЗНТ такой же толщины пики спектров поглощения намного сильнее при 510, 550 и 600 нм соответственно из-за основного электронного перехода и его обертонов колебаний. На рисунке спектры поглощения слоя ИТІС состоят из двух пиков, расположенных на 650 нм и 700 нм, которые обеспечивают интенсивное поглощение этой энергии в большом диапазоне длин волн спектра солнечного света.

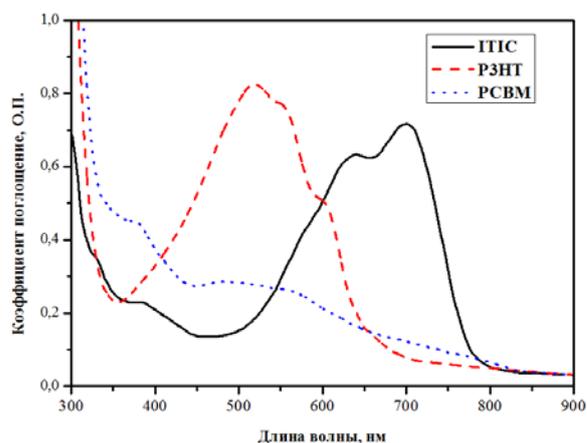


Рисунок 3. Спектры поглощения тонких покрытий из PCBM (точечная линия), P3HT (пунктирная линия) и ITIC (сплошная линия).

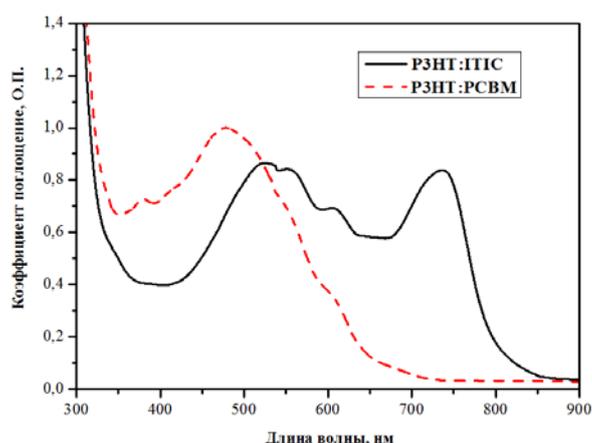


Рисунок 4. Спектры поглощения слоев P3HT:PCBM (пунктирная линия) и P3HT:ITIC (сплошная линия).

Одна из основных причин замены фуллеренов другими акцепторными молекулами в качестве электронных акцепторов в ОСЭ связана с интенсивностью поглощения и стабильностью фуллеренов, поглощаемых в таких устройствах, спектром солнечного света, поглощаемого в таких устройствах. Это резко сокращает срок службы ОСЭ акцептора фуллерена. ITIC как акцепторный материал для малых органических молекул в наномасштабе действительно может избавить от трех вышеупомянутых ограничивающих факторов, которые снижают эффективность полимерных солнечных элементов и повышают эффективность ОСЭ. Во-первых, спектры поглощения донорного материала P3HT оптимально дополняют друг друга по сравнению со спектром поглощения ITIC, акцепторных материалов. Это особенно очевидно на больших длинах волн (> 650 нм), где поток фотонов солнечного света интенсивен. Спектры поглощения тонких пленок, изготовленных из смеси донорного материала P3HT с материалами акцептора PCBM или ITIC, показанные на рисунке 4, показывают, что тонкий слой, сделанный из смеси P3HT:ITIC, интенсивно поглощает солнечный свет в спектральной области 400-775 нм, в то время как спектр поглощения тонкой пленки, изготовленной из смеси P3HT:PCBM, составляет 350-625 нм ограничено областью.

С точки зрения эффективности поглощения солнечной энергии в ОСЭ, изготовленном из смеси этих двух типов донорно-акцепторных материалов, использование слоя P3HT:ITIC в качестве активного элемента должно быть в три раза выше, чем использование слоя P3HT:PCBM. Однако в наших экспериментах ЭЭП, обнаруженное в ОСЭ на основе P3HT:ITIC, было в несколько раз ниже, чем в ОСЭ на основе P3HT:PCBM. Этот неожиданный результат обусловлен низкой степенью кристаллизации полимера P3HT в слое P3HT:ITIC и низкой степенью разделения донорной и акцепторной фаз, в отличие от слоя P3HT:PCBM, что наблюдалось в некоторых предыдущих исследованиях. Совместимость этих двух материалов, то есть упорядочение

донорной и акцепторной фаз и оптимальное разделение экситонов, будет одной из основных структурно-структурных характеристик устройства.

Таким образом, повышение степени структурной упорядоченности тонкого слоя донорно-акцепторной смеси на основе органических полимерных материалов позволяет повысить эффективность ОСЭ с активным слоем на основе таких материалов за счет улучшения их фотоэлектрических свойств.

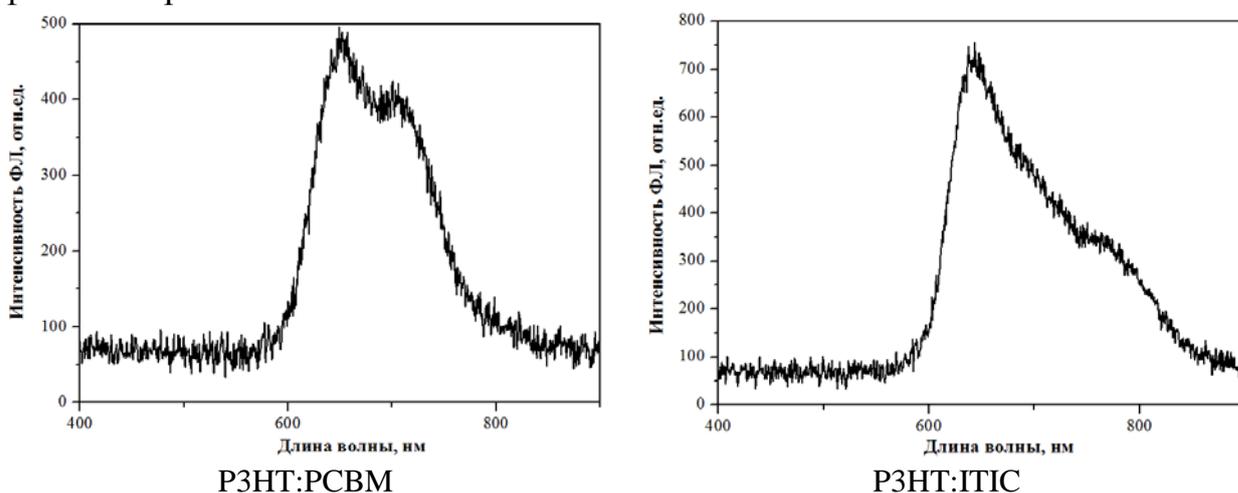


Рисунок 5. Спектр фотолюминесценции лазерного излучения с длиной волны 337 нм тонких слоев ОСЭ

На рисунке 5 спектры ФЛ были получены при воздействии лазерного света с длиной волны 337 нм на тонкие слои, приготовленные из смесей P3HT:PCBM и P3HT:ITIC. Эффективность разделения электронов и резонатора экситонов, образующихся в тонком покрытии смеси P3HT:PCBM в результате поглощения солнечного света, количественно оценивалась следующим коэффициентом экстинкции фотолюминесценции.

$$q = (I_{P3HT} - I_{P3HT/PCBM}) / I_{P3HT}.$$

Коэффициент экстинкции в тонком слое смеси P3HT:PCBM составлял 0,91, тогда как в наших экспериментах коэффициент экстинкции в тонком слое смеси P3HT:ITIC был несколько ниже (в среднем 0,85). Этот рисунок показывает, что ОСЭ на основе смеси донорных полимерных материалов и ITIC обладают большим потенциалом.

Что касается активного слоя, то тонкослойные материалы, изготовленные из смеси P3HT:PCBM и P3HT:ITIC, были получены в соотношении 1:1, и согласно результатам многих исследований, самые высокие ЭЭП регистрируются в ОСЭ точно так же. количественное соотношение. Причина в том, что возбуждение светопоглощающих экситонов в электроны и полости и транспортировка этих зарядов к электродам оптимальны.

Резкое увеличение ЭЭП было обнаружено при нанесении тонкого слоя PFN между активным слоем и катодным слоем. Это связано с тем, что слой PFN образует хорошую поверхность раздела с алюминиевым катодом и

приводит к снижению последовательного сопротивления (R_s). Модифицированные контакты со слоем PFN усиливают переход электронов из акцепторной фазы на металлический катод и уменьшают рекомбинацию полых электронов в активном слое. В акцепторном ОСЭ РСВМ с тонким слоем PFN ЭО было почти в 4 раза выше, чем в ОСЭ акцептора ITIC. Одним из основных преимуществ РЗНТ перед другими родственными полимерами является то, что он образует объемную гетероструктуру с акцепторным материалом и имеет высокие кристаллизационные свойства в такой структуре. Однако, к сожалению, это свойство РЗНТ по-разному проявляется при смешивании с разными акцепторными материалами. Результаты экспериментальных исследований и их анализ позволяют предположить, что кристаллизация тонкого слоя, содержащего РЗНТ:ITIC, хуже, чем кристаллизации тонкого слоя, содержащего РЗНТ:РСВМ, и это объясняется тем, что свойства первого более аморфны. Однако вышеупомянутые оптические свойства тонкого слоя РЗНТ:ITIC, то есть его поглощение гораздо более широкой части спектра солнечного света, чем РЗНТ:РСВМ, основаны на разработке нового, высокоэффективного типа ОСЭ и высокой кристаллизации тонкослойных полимерных материалов. показывает необходимость создания технологий, обеспечивающих уровень.

В четвертой главе «**Оценка влияния внешних факторов на характеристики солнечных элементов на основе наноструктурированных соединений, содержащих РЗНТ:РСВМ и РЗНТ:ITIC**» представлены результаты экспериментальных исследований изменения оптических и фотоэлектрических параметров в ОСЭ при нагревании. с течением времени и в различных средах.

Максимальное значение ЭЭП было упорядочено в активном слоистом ОСЭ с кристаллической структурой, нагретой в течение 20 мин при 160°C для оптимального сшивания наноразмерных донорно-акцепторных доменов.

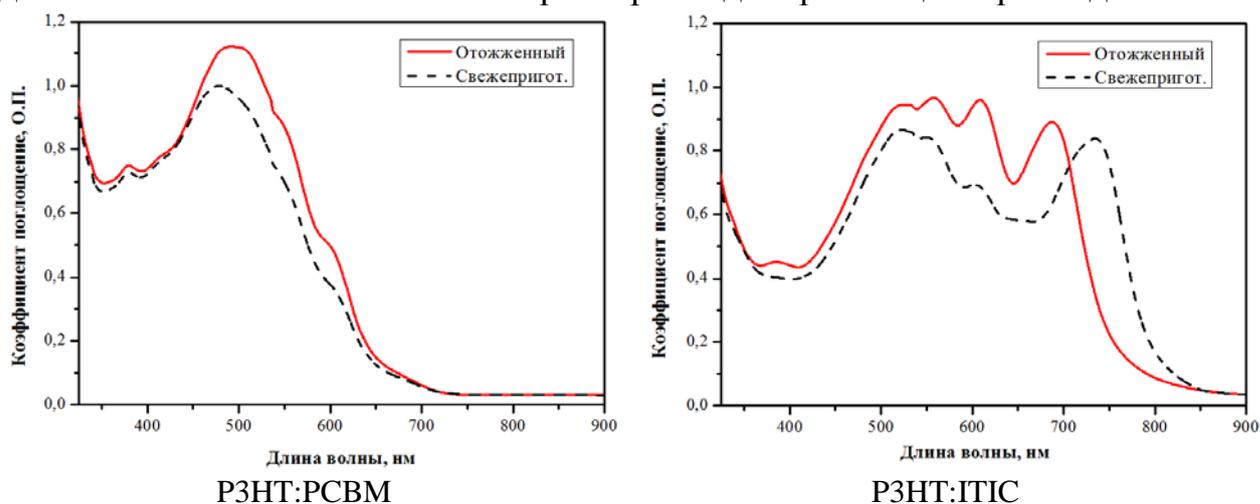


Рисунок 6. Спектры поглощения тонкого слоя ОСЭ свежеприготовленный (пунктирная линия) и отожженный (сплошная линия) состояниях

На рисунке 6 показано, что небольшое увеличение поглощения в слое РЗНТ:РСВМ в коротковолновой части спектра при нагревании наблюдается и в чистом РСВМ. Это приводит к разделению донорной и акцепторной фаз,

образованию их наноразмерных доменов, в частности к агрегации (накоплению) молекул РСВМ, увеличению его спектра поглощения и смещению в сторону более длинных волн. При нагревании тонкого слоя РЗНТ:ITIC были обнаружены такие же характерные спектральные изменения на пиках поглощения РЗНТ при 550 и 600 нм, как и в тонком слое РЗНТ:РСВМ, но интенсивность поглощения в тонком слое РЗНТ:РСВМ была намного выше. РЗНТ перед нагреванием: свежеприготовленный образец тонкого слоя ITIC имеет почти аморфную структуру, но степень кристалличности в нем немного улучшается после нагревания.

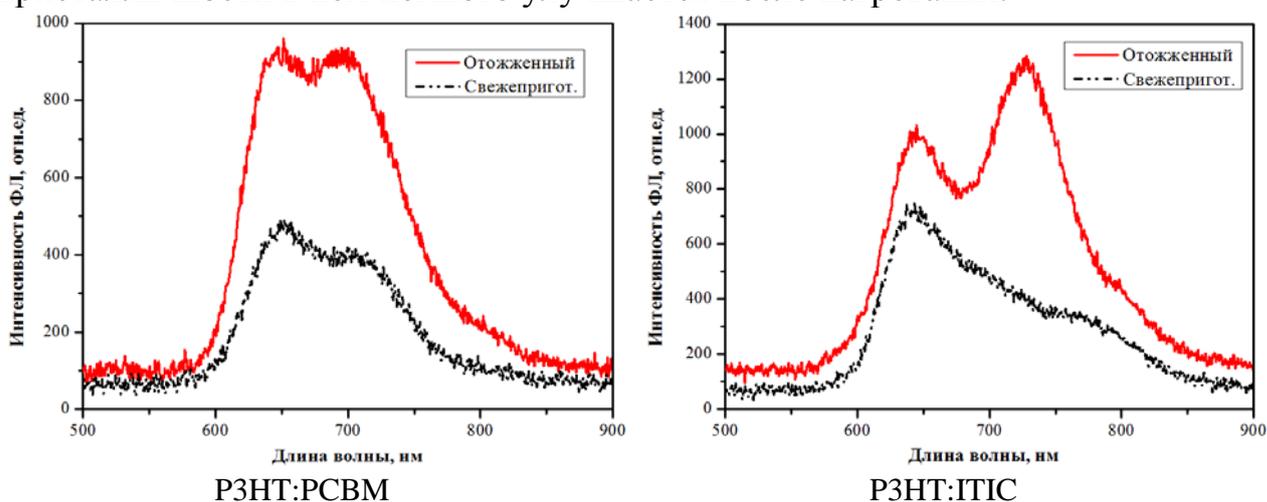


Рисунок 7. Спектры фотолюминесценции свежеприготовленный (точечная линия) и отожженный (сплошная линия) тонкого слоя ОСЭ

На рисунок 7 показано удвоение интенсивности фотолюминесценции при нагревании тонкого слоя РЗНТ:РСВМ. Это изменение объясняется эффективным разделением экситонов на электроны и полости за счет взаимного разделения донорной и акцепторной фаз и улучшенного формирования их наноразмерных доменов. Нагретый РЗНТ:ITIC в тонком слое максимальная интенсивность фотолюминесценции при 640 нм оказалась в три раза больше, чем в нагретом состоянии, без существенной разницы (в 1,3 раза) по сравнению с ненагретым. Свежеприготовленный РЗНТ:ITIC можно интерпретировать как низкую степень упорядоченности полимера РЗНТ в тонком слое, но более нагретого, чем в тонком слое РЗНТ:РСВМ после отжига.

Также были проанализированы основные фотоэлектрические параметры ОСЭ, не подвергавшиеся нагреву и измеренные после отжига, и наблюдалось резкое увеличение всех фотоэлектрических параметров ОСЭ после отжига.

Рисунок 8 описывает деградацию ОСЭ с течением времени. Изучение такого снижения при определенных физических условиях позволяет определить внешние или внутренние влияющие факторы, являющиеся основной причиной деградации, основные механизмы и масштабы таких процессов. Это, в свою очередь, может привести к соответствующим изменениям оптических характеристик ОСЭ - спектров поглощения и фотолюминесценции. Обнаруживая такие изменения в оптических свойствах

и фотоэлектрических параметрах ОСЭ, можно количественно оценить степень деградации устройства.

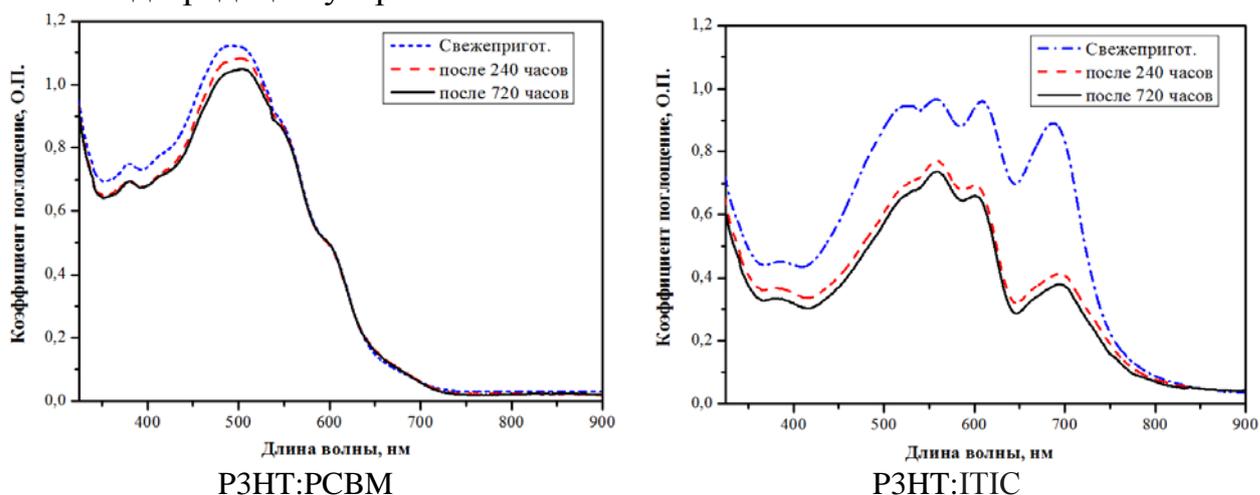


Рисунок 8. Изменение спектра поглощения тонкого слоя ОСЭ с течением времени

На рисунке 8 показаны спектры поглощения тонких слоев РЗНТ:РСВМ и РЗНТ:ИТИС, измеренные в свежеприготовленное время и после того, как эти тонкие слои подвергались атмосферным условиям в течение 240 и 720 часов. В спектре тонкого слоя РЗНТ:РСВМ спектр поглощения РСВМ составляет около 400 нм, в то время как РЗНТ имеет постепенное уменьшение коэффициента поглощения в диапазоне длин волн 450-550 нм, а в спектре тонкого слоя РЗНТ:ИТИС, Мы видим постепенное уменьшение коэффициента поглощения в диапазоне длин волн -550 нм и спектра поглощения ИТИС 650-700 нм.

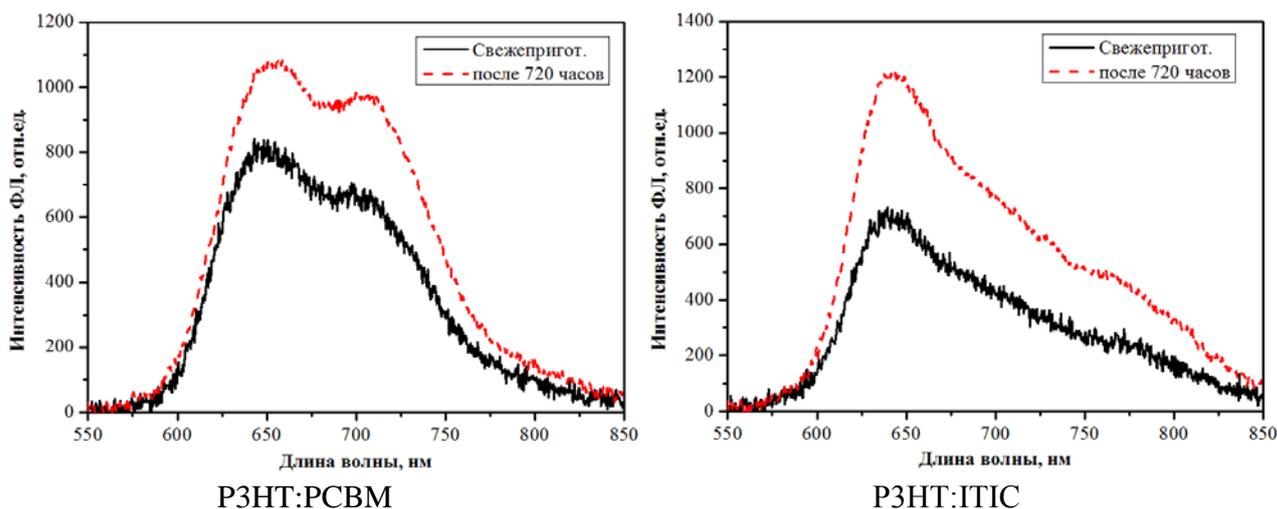


Рисунок 9. Спектры фотолуминесценции тонких слоев ОСЭ в ненагретом состоянии в свежеприготовленное время и через 720 часов

На рисунке 9 показаны спектры фотолуминесценции слоев, приготовленных из смесей РЗНТ:РСВМ и РЗНТ:ИТИС, под воздействием лазерного света с длиной волны 530 нм через 720 часов. Из этих спектров видно, что фотолуминесценция происходит в основном за счет РЗНТ. Для этого есть две причины: (I) РЗНТ поглощает лазерный свет сильнее, чем

другие составляющие материалы, (II) квантовый выход фотолюминесценции (эффективность) молекул акцепторных молекул (PCBM и ITIC) в обоих тонких слоях намного ниже, чем у P3HT.

Деградация тонких слоев P3HT:PCBM и P3HT:ITIC с течением времени привела к увеличению интенсивности фотолюминесценции. Изменение спектров фотолюминесценции во времени характеризуется увеличением интенсивности фотолюминесценции в тонком слое P3HT:PCBM на 35% и интенсивности фотолюминесценции в тонком слое P3HT:ITIC на 63%.

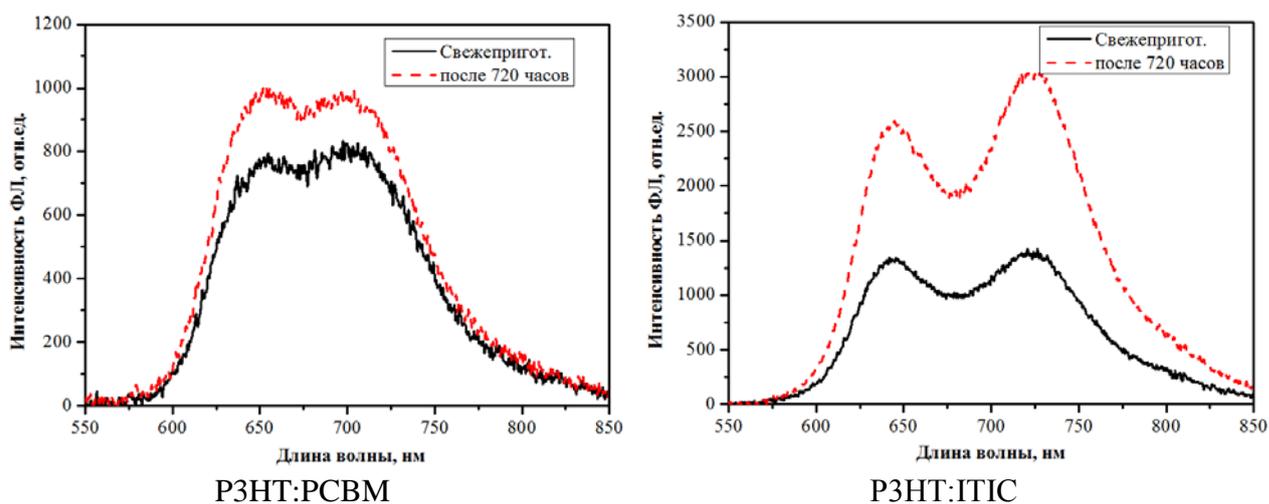


Рисунок 10. Спектры фотолюминесценции свеж нагретых тонких слоев ОСЭ, измеренные в свежеприготовленное время и через 720 ч

Увеличение интенсивности фотолюминесценции в результате деградации ОСЭ тонкого активного слоя с течением времени наблюдалось в свежеприготовленный тонком активном слое P3HT:PCBM на 35% (рис.9) и в отожженный тонком слое менее чем на 22% (рис. 10). Удивительно, что в тонком многослойном ОСЭ P3HT:ITIC термический отжиг имеет противоположный эффект - скорость изменения интенсивности фотолюминесценции с течением времени увеличивается на 60% по сравнению с тонким слоистым ОСЭ P3HT:ITIC без нагрева (рис.9) и при нагревании. P3HT:ITIC 100% тонкий слой. (Рис. 10), т.е. мы видим, что он увеличился в 2 раза. Скорее всего, эту ситуацию можно объяснить конкуренцией двух процессов: уменьшение поглощения при нагревании приводит к уменьшению фотолюминесценции соответственно, а увеличение размеров доменов донорной и акцепторной фаз приводит к уменьшению вероятности преобразование экситонов в свободные заряды. Следовательно, из-за низкого уровня структурной упорядоченности по сравнению с тонким слоем из смеси P3HT:ITIC и тонким слоем из смеси P3HT:PCBM, можно понять, что тонкий слой из смеси P3HT:ITIC более неэффективен в термической отжига (рис. 10). Таким образом, можно сделать вывод, что процесс деградации продолжается с течением времени даже после термического отжига в тонком слое P3HT:ITIC.

Помимо устойчивости к температуре, механическим воздействиям, химическим веществам и радиации, основными задачами солнечных

фотоэлектрических элементов являются требования для стабильной работы в атмосфере. По этой причине на основе РЗНТ:РСВМ и РЗНТ:ІТІС были изучены эффективность и стабильность ОСЭ в особой азотной и атмосферной среде.

Нормализованные значения V_{oc} , I_{sc} и ЭЭП в ОСЭ на основе РЗНТ:РСВМ и РЗНТ:ІТІС, расположенных в атмосфере и среде азота, наблюдались в течение 30 дней для изменения фотоэлектрических параметров с течением времени, а ОСЭ изучались в азотная среда, свободная от молекул кислорода (рис. 11). Примечательно, что уменьшение нормированных значений V_{oc} , I_{sc} и ЭЭП наблюдалось в азотной среде даже в отсутствие кислорода.

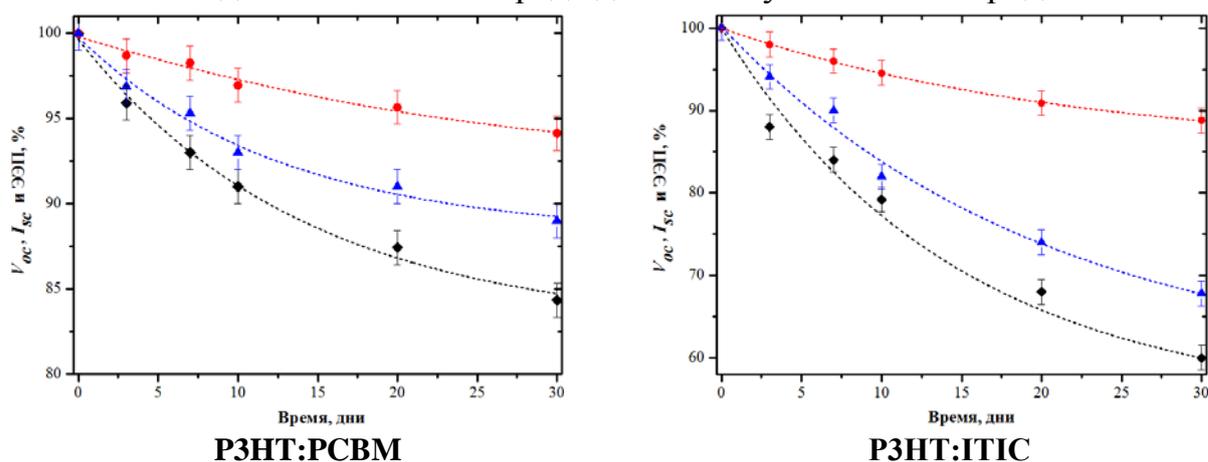


Рисунок 11. Изменения значений V_{oc} (кружок), I_{sc} (треугольник) и ЭЭП (ромб) ОСЭ в среде азота.

Как и в случае зависимостей от спектральных результатов, уменьшение ЭЭП в ОСЭ на основе РЗНТ:ІТІС происходит быстрее, чем в ОСЭ на основе РЗНТ:РСВМ. Медленное, не резкое уменьшение содержания V_{oc} в течение такого интервала времени указывает на наличие других более медленных механизмов разложения.

На рисунке 12 показано, что значения постоянных V_{oc} , I_{sc} и ЭЭП в обоих ОСЭ падают почти до нуля в атмосферной среде за короткое время. Такие изменения характерны для исследуемого типа ОСЭ, механизм которого в основном связан с быстрым окислением верхнего катодного слоя Al и его диффузионным распределением в тонкий слой. Период сокращения ЭЭП ОСЭ на основе РЗНТ:РСВМ составляет приблизительно 8 часов. Однако в ОСЭ на основе РЗНТ:ІТІС период снижения ЭЭП был значительно меньше, с почти полной деградацией менее чем за час. Исследования деградации с течением времени показывают, что ОСЭ в атмосфере быстро разрушаются. Такая разница в скорости разложения в результате деградации двух органических солнечных элементов с одним и тем же полимером донорной матрицы, но с разными молекулами акцептора обусловлена специфической структурой их фотоактивного слоя. тонкий слой РЗНТ:РСВМ характеризуется высоким структурным упорядочением после термического отжига, в то время как тонкий слой РЗНТ:ІТІС близок к аморфной структуре.

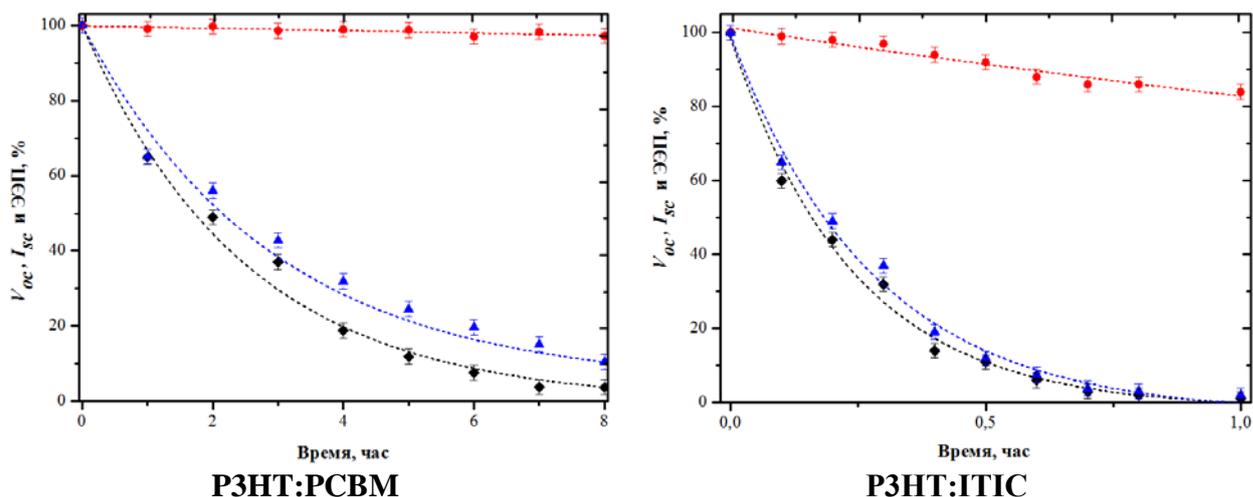


Рисунок 12. Кривые изменения значений V_{oc} (кружок), I_{sc} (треугольник) и ЭЭП (ромб) ОСЭ в атмосфере.

С тем же ОСЭ, но без катодного слоя Al, исследование оптических характеристик структур РЗНТ:РСВМ и РЗНТ:ІТІС показало, что в их кинетике распада присутствует медленный компонент с характерным периодом всего 720 часов. Изменения в спектре поглощения таких тонких слоев наблюдаются по всему спектру поглощения РЗНТ:РСВМ и РЗНТ:ІТІС, что означает структурные изменения и разложение композиционных материалов в вышеуказанных смесях. Фотолюминесценция ОСЭ также показала медленный, но значительный рост после 720 ч в атмосферной среде с уменьшением времени поглощения на 720 ч в исследованных тонких слоях, что связано с разделением донорной и акцепторной фаз. В примере сравнительного исследования фотовольтаических и оптических свойств ОСЭ с одним и тем же полимером-донором РЗНТ, но с разными молекулами акцептора РСВМ и ІТІС, спектры поглощения и фотолюминесценции таких устройств могут быть использованы в качестве данных в последующих исследованиях, т.е. оценить параметры заменяемых устройств, например, их исправность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследования, проведенного по теме «Оптическая спектроскопия наноструктурированной смеси органических веществ, перспективных для солнечных элементов», сделаны следующие выводы.

1. Разработан метод получения солнечных фотоэлементов на основе тонкослойных органических материалов. С помощью этого метода был выбран органический полимер РЗНТ со значительными энергетическими и структурными свойствами в качестве донорного материала и акцепторных материалов РСВМ, ІТІС с соответствующими уровнями энергии и получены структурные органические солнечные элементы, содержащие РЗНТ: РСВМ и РЗНТ: ІТІС.

2. Определены абсорбционные и фотолюминесцентные свойства тонких слоев изготовленных из примесей РЗНТ:ІТІС, РЗНТ:РСВМ и из

составляющих материалов РЗНТ, ITIC и PCBM. Определены эффективность поглощения энергии солнечных лучей соответствующего спектра у структур ОСЭ на основе примесей РЗНТ:ITIC три раза больше от структур ОСЭ на основе примесей РЗНТ:PCBM. Кроме того, структурное ОСЭ на основе РЗНТ: ITIC отличается от ОСЭ на основе РЗНТ: PCBM более высокой интенсивностью ФЛ и меньшим значением ЭПЭ, что это объясняется со структурными и морфологическими дефектами тонкого слоя смеси РЗНТ: ITIC (низкая степень кристаллизации, неидеальное разделение донорных и акцепторных фаз).

3. С изучением с помощью сопоставление поглощающие, фотолюминесцентные и фотоэлектрические свойства композитных материалов ОСЭ на основе термообработанных РЗНТ:PCBM и РЗНТ:ITIC, определены физических причины ограничивающие эффективность ОСЭ. В ходе исследование структурных ОСЭ определены то, что при термообработке наблюдаются улучшение степень молекулярной упорядоченности, в объемной гетероструктуре за счет роста подвижности (мобильности) зарядов повышается фотофизические параметры и эти изменение пропорциональны с изменением оптических параметров.

4. В ОСЭ содержащие РЗНТ:ITIC, РЗНТ:PCBM с течением времени происходит деградация, в результате которой наблюдаются уменьшения интенсивность поглощения в спектрах, а рост интенсивности спектрах ФЛ. Наблюдаемые эти изменения исследованных ОСЭ непосредственно связаны с ростом степени беспорядка в структурах, в котором приводит к резким уменьшению интенсивности перенос зарядов, что и это подтверждается с течением времени изменение фотоэлектрических параметров ОСЭ.

5. Чтобы оценить влияние атмосферы на значения ЭПЭ исследованных ОСЭ, наблюдали процессы деградация образцов в азотной среде. Определены причины резкого уменьшения ЭПЭ в образцах ОСЭ составом РЗНТ:PCBM и РЗНТ:ITIC то, что за счет окисления алюминиевого катода фотоэлемента при взаимной диффузии молекулами воды и кислорода в результате происходит энергетические изменение между активным слоем ОСЭ и материалом катода.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 ON AWARD OF
SCIENTIFIC DEGREES AT THE INSTITUTE OF ION-PLASMA
AND LASER TECHNOLOGIES**

INSTITUTE OF ION-PLASMA AND LASER TECHNOLOGIES

IMOMOV MUKHIBJON KHABIBJONOVICH

**OPTICAL SPECTROSCOPY OF A NANOSTRUCTURED MIXTURE OF
ORGANIC SUBSTANCES, PROMISING FOR SOLAR CELLS**

01.04.05 – Optics

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

TASHKENT – 2021

The subject of PhD dissertation is registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of Republic of Uzbekistan under number B2021.1.PhD/FM538.

Dissertation has been prepared at the Institute of Ion-plasma and laser technologies.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) has been posted on the website of the Scientific Council (www.iplt.uz) and on Information-educational portal «ZiyoNet» (www.ziynet.uz).

Scientific supervisor: **Zakhidov Erkin Agzamovich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor

Official opponents: **Yusupov Djavdat Bakidjanovich**
Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor

Kokhkharov Abdulmutallib Mamadjanovich
Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
senior researcher

Leading organization: **The National University of Uzbekistan**

The defense will take place on «2» Nov 2021 at 19³⁰ at the meeting of the Scientific Council number DSc.02/30.12.2019.FM.65.01 at Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (Address: 100125, Uzbekistan, Tashkent, 33 Durmon yuli street. Phone/fax: (+99871) 262-32-54, e-mail: info@iplt.uz).

The PhD dissertation is can be looked through in the Information-Resource Centre of the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies (is registered № 10) (Address: 100125, 33 Durmon yuli str., Tashkent, Uzbekistan. Phone: (+99871) 262-31-69).

The abstract of the dissertation is sent out on «20» 10 2021.
(Mailing report № 10 on «2» 11 2021).



Kh.B.Ashurov
Chairman of scientific council on award of scientific degrees, doctor of technical science, professor

I.D.Yadgarov
Scientific secretary of scientific council on award of scientific degrees, doctor physical and mathematical science, senior researcher

B.E.Umirzakov
Chairman of scientific seminar under scientific council on award of scientific degrees doctor of physical and mathematical science, professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

Aim of the research work. Today there are many research on the creation of much simpler and cheap non-traditional solar cells. Organic Solar Elements (OSE) based on a promising thin polymer coating are characterized by ease of processing, easy control of physical properties, mechanical flexibility and cheap in production, and also have many advantages over other types of solar cells.

One of the most important scientific and technical objectives is the creation of OSE based on cheap, convenient and simple production technologies capable of competing with inorganic sunny elements. As P3HT:PCBM and P3HT:ITIC containing OSE and thin layers of materials from which they consist were selected.

Objects of the research work: P3HT:PCBM and P3HT:ITIC photoelectric processes in OSE containing, their structural changes (degradation) as a result of external physical impacts (heat, molecular diffusion, ultraviolet light) or over time.

The scientific novelty of the research is as follows: The structural ordering of the active layer observed when heating OSE containing P3HT: PCBM and P3HT: ITIC leads to an increase in the intensity of optical absorption and increases the energy efficiency in the bulk heterostructure due to an increase in mobility (mobility) of the charge;

In the active layers of the bulk heterostructure of the OSE containing P3HT: PCBM and P3HT: ITIC, under the action of the mutual diffusion of water, oxygen, molecules of the cathode substance and ultraviolet radiation, structural disturbances occur, which leads to a sharp decrease in the PCE in the OSE;

Through the optical parameters of the OSE, containing P3HT: PCBM and P3HT: ITIC, it will be possible to control the PCE and the degree of degradation of the OSE.

Publication of the research results. The main results of the thesis were published in 15 research works, of these 4 scientific articles and 11 are conference proceedings.

The outline of the thesis. The dissertation work consists of introduction, four chapters, conclusion, list of published scientific works and a list of references. It presented on 142 pages of typewritten text, including 51 figures and 4 tables.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; Part I)

1. Захидов Э.А., Имомов М.Х., Кувондиков В.О., Нематов Ш.К., Сапарбаев А.А., Тажибаев И.И.. Определение структурных изменений в органических солнечных фотоэлементах на основе P3HT:PCBM и P3HT:ITIC с помощью спектров поглощения и фотолюминесценции. // Узбекский физический журнал, 2019, Vol.21, №3, с.184-195. (01.00.00, №5)
2. Zakhidov E.A., Imomov M.H., Quvondikov V.O., Nematov Sh.Q, Tadjibaev I.I., Saparbaev A.A., Ismail I., Shahid B., Yang R.. Comparative study of absorption and photoluminescent properties of organic solar cells based on P3HT:PCBM and P3HT:ITIC blends. // Journal of Applied Physics A, 2019, Vol. 125, №11, pp. 1-7. (Springer, IF = 1.8).
3. Zakhidov E. A., Zakhidova M. A., Imomov M. Kh., Kuvondikov V. O., Nematov Sh. K., Saparbaev A. A. and Tazhibaev I. I.. Correlation of degradation of P3HT:PCBM and P3HT:ITIC organic solar cells with changes of their optical spectra // Journal of Applied Spectroscopy, 2020, Vol. 87, №3, pp 464-470. (Springer, IF = 0.74).
4. Имомов М.Х., Бойназаров И.Р., Рўзиев Ф.М.. P3HT:PCBM наноструктурали плёнка асосидаги органик куёш элементлари фаол қатлам оптик хусусиятларини тадқиқ қилиш. // НамДУ Илмий ахборотномаси, 2020, №11, с. 41-46. (01.00.00, №14)

II бўлим (II часть; Part II)

5. Имомов М.Х., Захидов Э.А., Кувондиков В.О., Тажибаев И.И. Наноструктурированная смесь P3HT:PCBM - эффективный активный элемент солнечных батарей. // Межд. онлайн конф. НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз 2020. 28 мая Ташкент. С 188-192.
6. Захидов Э.А., Тажибаев И.И., Имомов М.Х., Кувондиков В.О. Исследование деградации органических солнечных фотоэлементов. // Межд. онлайн конф. НИИ физики полупроводников и микроэлектроники при НУУз 2020. 28 мая Ташкент. С 183-187.
7. Zakhidov E.A., Imomov M.H., Quvondikov V.O., Nematov Sh.Q, Tadjibaev I.I., Saparbaev A.A.. Diagnostics of long-term degradation of photovoltaic performance of organic solar cells using absorption and photo-luminescent spectroscopy // The 19th International Symposium on the Physics of Semiconductors and Applications (ISPSA 2018) July 1 - 5, 2018 – Jeju, Korea. P. 73.

8. Имомов М.Х., Кувондиқов В.О., Тажибаев И.И. Органический солнечный фотоэлемент. // Респ. онлайн конф. “Муқобил энергия манбаларидан фойдаланишнинг жорий ҳолати ва истиқболлари” НамҚМИ. 2020. 22-23 апрел. Наманган. С 277-279.
9. Имомов М.Х., Нурумбетова Л.Р.. Изготовление органических полупроводниковых плёнок методом spin coating // Республиканская научно и научно-практическая онлайн конференция. –2020. 24 апрел. – Ташкент. С. 17-18.
10. Кувондиқов В.О., Нематов Ш.К., Имомов М.Х., Бойназаров И.Р., Матчанова А.А.. Спектральных и фотовольтаических характеристик органических солнечных фотоэлемент на основе полимерных материалов РЗНТ:РСВМ // Республиканская научно и научно-практическая онлайн конференция. –2020. 24 апрел. –Ташкент. С. 33-34.
11. Захидов. Э.А., Кувондиқов В.О., Нематов Ш.К., Имомов М.Х., Норматов Э.П., Рашидов С., Турдиев У. Исследование сорбционных свойств в органических солнечных фотоэлементах на основе полимерных материалов РЗНТ:РСВМ и РЗНТ:ІТІС // Республика илмий-амалий конференцияси. -2020. 22-23 сентябрь. Қарши. С. 333-335.
12. Имомов М.Х., Кувондиқов В.О., Тожибоев И.И., Нематов Ш.К., Хўжамбердиева Ж.Н. Органик қуёш фотоэлементлари: истиқболлар, муаммолар ва ечим // Республика илмий-амалий конференцияси. -2020. 22-23 сентябрь. Қарши. С. 335-337.
13. Имомов М.Х., Кувондиқов В.О., Тожибоев И.И., Норматов Э.П., Бойназаров И.Р., Рузиев Ф.М.. Изучение фотофизических свойств органических солнечных фотоэлементов на основе полимерных материалов РЗНТ:РСВМ // V-Материалы международной конференции «Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниковых микро- и наноструктурах».–2020. 13-14 ноябрь. Фергана. С.307-309.
14. М.Х.Имомов, Э.А.Захидов, В.О.Кувондиқов, И.И.Тажибоев. Контроль структуры органических солнечных фотоэлементов на основе смеси РЗНТ:РСВМ по их спектрам поглощения // Республиканская конференция по физической электронике и фотонике. - 2019. 23 октябр Ташкент. С 137-138.
15. Захидов Э.А., Нематов Ш.К., Кувондиқов В.О., Имомов М.Х., Сапарбаев А.А.. Спектральные методы контроля деструкции и измерений физических свойств материалов органических солнечных элементов // Республиканская научно-практическая конференция. - 2018. 20-21 апрель. –Андижан. С. 163-164.

Автореферат «Тил ва адабиёт таълими» журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек ва рус тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди.

Босишга рухсат этилди: 20.10.2021 йил.
Бичими 60x84 ¹/₁₆, «Times New Roman»
гарнитурда рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табоғи: 2,5. Адади 20. Буюртма № 118.
Тел (99) 832 99 79; (97) 815 44 54.
Гувоҳнома reestr № 10-3279
“IMPRESS MEDIA” МЧЖ босмахонасида чоп этилган.
100031, Тошкент ш., Яккасарой тумани, Қушбеги кўчаси, 6-уй.