



UDK: 544.526.5

Erkin ZAXIDOV,

Ўз РФА У.Арифов номидаги Ион-плазма ва лазер технологиялари институти,
Конденсирланган мухитлар оптикиси лабораторияси профессори, ф.-м.ф.д.
e-mail: ezakhidov@hotmail.com

Aziz SAPARBAYEV,

O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti,
Kondensirlangan muhitlar optikasi laboratoriyasi, katta ilmiy xodimi ф.-м.ф.
e-mail: saparbaevaziz83@gmail.com

Ilhom TAJIBAYEV,

Ўз РФА У.Арифов номидаги Ион-плазма ва лазер технологиялари институти,
Конденсирланган мухитлар оптикиси лабораторияси, етакчи илмий ходими ф.-м.ф.
e-mail: ilhom.tajiboyev@gmail.com

Abror TURGUNBOEV,

O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti,
Kondensirlangan muhitlar optikasi laboratoriyasi, stajyor-tadqiqotchisi
e-mail: turgunovabror9606@gmail.com

Sevara ABDULLAYEVA,

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy magistr talabasi
e-mail: sevarakhonabdullayeva@gmail.com

Ilhom BOYNAZAROV,

O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti,
Kondensirlangan muhitlar optikasi laboratoriyasi, kichik ilmiy xodimi
e-mail: ilhomboynazarov0821@gmail.com

ЎзМУ доценти, м.-ф.ф.н, Ф.Б.Эшонкулов тақризи асосида

PHOTOVOLTAIC PARAMETERS OF POLYMER SOLAR CELLS BASED ON PTBFTPD:PC71BM ACTIVE LAYER

Abstract

In recent years, much attention has been paid to renewable energy sources. In this work, the photovoltaic parameters of solar cells based on the PTBFTPD:PC71BM polymer are studied under various conditions. Active layers of polymer solar cells based on the donor-acceptor material (PTBFTPD:PC71BM) were obtained in different mass ratios and the photovoltaic parameters of the solar cell were improved due to 1,8-diodocant as an additive to the solution, then the active layers were coated by the spin-coating method at different speeds.

Key words: PTBFTPD:PC71BM, "spin coating", polymer solar cell, 1,8-diiodooctan, photovoltaic parameters

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЛИМЕРНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ АКТИВНОГО СЛОЯ PTBFTPD:PC71BM

Аннотация

В последние годы большое внимание уделяется возобновляемым источникам энергии. В данной работе исследованы фотовольтаические параметры солнечных элементов на основе полимера PTBFTPD:PC71BM в различных условиях. Полимерные солнечные элементы на основе донорно-акцепторного материала (PTBFTPD:PC71BM) были получены в различных массовых соотношениях и улучшены фотоэлектрические параметры солнечного элемента за счет добавления в раствор 1,8-диодоканта, затем активные слои были покрыты методом "spin coating" на разных скоростях.

Ключевые слова: PTBFTPD:PC71BM, "spin coating", полимерные солнечные элемент, 1,8-дидиодоктан, фотоэлектрические параметр.

PTBFTPD:PC71BM ASOSIDAGI POLIMER QUYOSH ELEMENTLARINING FOTVOLTAIK PARAMETRLARI

Annotatsiya

So'nggi yillarda qayta tiklanuvchi energiya manbalariga katta e'tibor qaratilmoqda. Ushbu maqolada PTBFTPD:PC71BM polimer asosidagi quyosh elementlarining turli xil sharoitlardagi fovoltaik parametrlari tadqiq qilindi. Xususan PTBFTPD:PC71BM asosidagi polimer quyosh elementlarining faol qatlami turli tezliklarda "spin coating" usulida qoplandi, PTBFTPD va PC71BM donor-akseptor materiallari massa bo'yicha har-xil nisbatda olinib uning tarkibiga qo'shimcha sifatida 1,8-diodoktan kiritish orqali quyosh elementining fovoltaik parametrlari yaxshilanishiga erishildi.

Kalit so'zlar: PTBFTPD:PC71BM, "spin coating", polimer quyosh elementi, 1,8-diodoktan, fovoltaik parametrlar.

So'nggi yillarda hajmiy geterostrukturaga ega polimer quyosh elementlari (PQE) arzon narxlarda ishlab chiqarish imkoniyati, yengil vazni, egiluvchanligi va oson ishlab chiqarishning asosiy afzalliklari bilan katta e'tiborni tortdi [1]. Hajmiy geterostrukturaga ega PQElarda faol qatlam har doim konjugatsiyalangan polimerlarni va fulleren hosilasini (masalan, [6,6]-fenil C61-butirik kislota metil esteri (PC61BM) yoki [6,6]-fenil C71-butirik kislota metil esteri, (PC71BM)) o'z ichiga oladi. Fulleren hosilalarini aomillashtirish bilan birga kelajakda tijorat maqsadlarini amalga oshirish uchun yangi yuqori samarali

konjugatsiyalangan polimerlar ham doimiy ravishda ishlab chiqilishi kerak [2]. Konjugatsiyalangan polimerlar bu organik makromolekulalar bo'lib, ular o'zgaruvchan ikki yoki bitta bog'larning tarmoqlangan magistral zanjiri bilan tavsiflanadi. Ularning bir-biriga o'xshash *p*- orbitallari delokalizatsiyalangan *p* -elektronlar tizimini yaratadi, bu esa samarali optik va fotovoltaiik xususiyatlarni keltirib chiqarishga imkon beradi. Yangi konjugatsiyalangan polimerlarga asoslangan PQElarni yasash nuqtai nazaridan eng muvaffaqiyatli strategiya donor-akseptor (D-A) aralashmasini qo'llashdir. D-A aralashmali konjugatsiyalangan polimerlar katta afzalliklarga ega, masalan: 1) quyosh fotonlarini ko'proq yig'ish uchun yuqori yutilish koeffitsienti bilan birga keng yutilish spektriga ega; 2) optimal va osongina sozlanishi mumkin bo'lgan molekulyar energiya sathga egaligi, natijada akseptorlarga mos keladigan ko'proq donor polimerlarni olishni ta'minlaydi; 3) va eng asosiysi zaryadni ajratish va tashishni osonlashtiradigan yaxshilangan zaryad harakatchanligiga ega [3].

Hozirgi kunda PQE lar sohasida EO'S bo'yicha 18 % li natijaga erishildi[4]. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari orasida PQElar qiziqarli xossalarga ega, masalan, ular xona haroratida eritmani qayta ishlash orqali ishlab chiqarilish mumkin bo'lgan, yupqa va mexanik moslashuvchan, yengil quyosh elementlari bo'lishi tufayli olimlar tomonidan katta qiziqish uyg'otgan. Shu sababli, dunyo olimlari xona haroratida eritma bilan donor-akseptorni aralashtirib faol qatlamni sintez qilish orqali hajmiy geterostrukturali PQE larni ishlab chiqish, optimal donar-akseptor materiallarni sintez qilish, ularning degeradatsiyasi, barqarorligi va samaradorligini oshirish borasida tadqiqot ishlarini olib borilmoqda [5].

Bu ishda PTBFTPD (tieno {2,3-f} benzofuran (TBF) va tienopirrolidion (TPD) birikmalariga ega) asosidagi PQElarning fotovoltaiik xususiyatlari hamda uning tarkibiga qo'shimcha kiritish orqali samaradorligini oshirish bo'yicha tadqiqot olib bordik. Buning uchun eng avvalo PTBFTPD:PC71BM asosidagi PQEni yasash usuli bilan qisqacha tanishib chiqamiz.

PQElarni yasash quyidagi ITO/PEDOT:PSS/PTBFTPD:PC71BM/PFN/Al struktura orqali amalga oshirildi, buning uchun qatlam qarshiligi 15 Om/sm² bo'lgan ITO (indi y qalay oksidi) qoplangan shisha tagliklar ultratovush vannada ultra toza suv, aseton va izopropil spirti bilan tozalanadi, keyin 6 daqiqa kislorod plazmasi bilan ishlov berilgach, PEDOT:PSS(poli(3,4-etilendioksitiofen) polistirol sulfonat) "spin coating" usulida (4000 ayl/daq., 20 sek.) yupqa qatlamni ITO ustiga yotqiziladi. Keyin 20 daqiqa davomida 160 °C haroratli pechkada quritildi. PTBFTPD va PC71BM 10 mg/ml polimer donor konsentratsiyasi bilan bog'liq proporsiyada xlorobenzolda eritildi. Eritma bir necha soat davomida xona haroratida aralashtirildi va PEDOT:PSS qatlam ustiga "spin coating" usuli bilan qoplanadi [6]. Faol qatlamning qalinligi ~ 110 nm bo'ladi. Keyin PFN poly[(9,9-bis(3'-(N,N-dimethylamion)propyl)-2,7-fluorene)-alt-2,7-(9,9-dioctyl)-fluorene]ning metanol eritmasidan (2,0 mg/ml) yupqa qatlamni 30 soniya davomida 2000 ayl/daq tezlikda faol qatlamga "spin coting" orqali qoplanadi. Nihoyat, qalinligi 100 nm bo'lgan Al qatlamni katod sifatida termik bug'lantirish usulida faol qatlamga $4 \cdot 10^{-4}$ Pa bosim ostida qoplanadi.

PTBFTPD:PC71BM asosidagi PQElarni turli sharoitlarda tayyorlab, ularning ochiq zanjir kuchlanishi (Voc), qisqa tutashuv tok oqim zichligi (Jsc), to'ldiruvchi faktor (FF), energiya o'zgartirish samaradorligi EO'S kabi fotovoltaiik parametrlarini tadqiq qilamiz. 1-2 va 3-jadvallarda donor-akseptor materiallari eritmasi massa ulushi bo'yicha turli nisbat (1:1, 1:1.5 va 1:2)da olingan va 30 sekund davomida turli xil aylanish tezliklarda "spin coating" usuli bilan qoplangan PTBFTPD:PC71BM asosli PQE larning fotovoltaiik parametrlari ko'rsatilgan.

1-jadval-Massa ulushi bo'yicha 1:1 nisbatda olingan PTBFTPD:PC71BM asosidagi PQE larning fotoelektrik xarakteristiklari.

Aylanish tezligi (ayl/daq)	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/sm ²)	FF, (%)	EO'S, (%)
1200	0,99	3.52	38,98	1.13
1500	1,01	2.81	40,06	1.39
1700	0,98	1.62	40,64	1.12
2000	0,99	1.8	40,90	0.73

2-jadval-Massa ulushi bo'yicha 1:1.5 nisbatda olingan PTBFTPD:PC₇₁BM asosidagi PQE larning fotoelektrik xarakteristiklari.

Aylanish tezligi (ayl/daq)	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/sm ²)	FF, (%)	EO'S, (%)
1200	1,01	3.91	41,95	1.7
1500	1,02	4.1	42,73	1.8
1700	0,95	3.11	43,64	1.3
2000	0,96	2.95	43,68	1.24

3-jadval-Massa ulushi bo'yicha 1:2 nisbatda olingan PTBFTPD:PC₇₁BM asosidagi PQE larning fotoelektrik xarakteristiklari.

Aylanish tezligi (ayl/daq)	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/sm ²)	FF, (%)	EO'S, (%)
1200	0.97	3.45	44,57	1.51
1500	1.01	3.7	45,69	1.73
1700	0,98	3.73	44,80	1.65
2000	0,98	3.23	44,28	1.4

Bunda faol qatlamni hosil qiluvchi "Spin-coating" usulida qurilmaning aylanish tezligi 1200 ayl/daq dan 2000 ayl/daq gacha olindi. Faol qatlam qalinligi qurilmaning aylanish tezligi bilan bog'liq bo'lib aylanish tezligi ortishi bilan faol qatlam qalinligi kamaya boradi [7]. 1-jadvalda faol qatlam tarkibidagi PTBFTPD:PC₇₁BM D-A materiallari eritmada massa ulushi bo'yicha 1:1 nisbatda, 2-jadvalda 1:1.5 va 3-jadvalda 1:2 nisbatda olindi. Jadvallardagi fotovoltaiik parametrlari bo'yicha olingan natijalarni tahlil qiladigan bo'lsak, faol qatlamni hosil qiluvchi qurilmaning aylanish tezligini oshirib borgan sayin PQE ning

EO'S qiymati dastlab oshib ma'lum qiymatga erishgandan so'ng kamayishini ko'rishimiz mumkin. PTBFTPD:PC71BM asosli PQE uchun olingan natijalardan optimal bo'lgan EO'S qiymati 1.8 % bo'lib u donor-akseptorlarni 1:1.5 nisbati hamda faol qatlamni hosil qiluvchi qurilmaning aylanish tezligi 1500 ayl/min ga to'g'ri keldi (2-jadval). Ochiq zanjir kuchlanishi qiymati taqriban 1 V ga teng bo'lib deyarli o'zgarmadi. Qisqa tutashuv tok zichligi qiymati ham faol qatlamni hosil qiluvchi qurilmaning aylanish tezligi ortishi bilan oshib ma'lum bir qiymatga erishgandan so'ng kamaydi va natijada maksimum qisqa tutashuv tok zichligi qiymati $J_{sc}=4.1 \text{ mA/sm}^2$ bo'ldi. Maksimum qisqa tutashuv tok zichligiga ham faol qatlamni hosil qiluvchi qurilmaning 1500 ayl/min aylanish tezligida hamda PTBFTPD:PC71BM DA ning massa ulushi 1:1.5 nisbatda bo'lganda erishildi. Olingan natijalardan xulosa qilsak PTBFTPD:PC71BM asosli PQE lari uchun eng yaxshi fotovoltaiik parametrlar faol qatlamni hosil qiluvchi qurilmaning aylanish tezligiga bog'liq ekan. Biz o'rganayotgan PQE da optimal bo'lgan aylanish tezligi 1500 ayl/min ga teng bo'ldi. PQE larda faol qatlam qalinligi muhim parametrlardan biri hisoblanadi. Eng birinchi bog'liqlik bu faol qatlamga tushayotgan yorug'likning yutilish koeffitsientining miqdori faol qatlam qalinligiga bog'liq. Biroq PQE ning EO'S faol qatlam qalinligi oshishi bilan chiziqli ravishda oshmaydi va undan ham yomon, faol qatlam qalinligi ma'lum bir qalinlikdan oshib ketganda PQE ning fototoki kamaya boshlaydi [4,7]. Shu sababli faol qatlam qalinligi uchun optimal qalinlikni, bir vaqtda EO'S va qisqa tutashuv tok zichligini optimallashtirish muhim hisoblanadi [4,5]. Demak biz o'rganayotgan PQE uchun optimal bo'lgan qalinlik 1500 ayl/min aylanish tezligida hosil qilindi (~200 nm). Bundan tashqari jadvallardagi natijalardan ko'rishimiz mumkinki, faol qatlam eritmasidagi donor-akseptor materiallarini massa ulushi bo'yicha 1:1.5 nisbatda olinganda fotovoltaiik parametrlar optimal bo'lishiga erishildi. Faol qatlamdagi donor va akseptor nisbati, D-A aralash faol qatlamlarning morfologiyasi va optoelektronik xususiyatlarini nazorat qilishda katta rol o'ynaydi va qurilmaning ishlashiga ham keskin ta'sir qiladi. Hajmiy geterostrukturaga aralashmasi morfologiyasi D-A nisbatini o'zgartirish orqali ham yaxshilanishi mumkin, bunday optimal D-A nisbat donor moddasining yupqa faol qatlamlarda akseptor material bilan optimal faol qatlam hosil bo'lishini taminlaydi [7]. PQE elementlarda optimal D-A nisbatini tanlash orqali tashqi kvant samaradorlik hamda yorug'likni yutilish diapazon kengligi yaxshilanishiga olib keladi [8]. Biz o'rganayotgan PTBFTPD:PC₇₁BM asosli PQElarda D-A ning massa ulushi bo'yicha 1:1.5 nisbatda olingan natijalar D-Aning yaxshi aralashuviga hamda faol qatlam morfologiyasi yaxshilanishiga erishish mumkinligini ko'rsatdi.

Olingan bu natijalarni qiymatini yanada yaxshilash uchun o'rganayotgan D-A aralashma tarkibiga qo'shimcha sifatida 1,8-diodoktan (DIO)ni kiritildi. PTBFTPD:PC71BM asosli aralashma tarkibiga DIO ni qo'shimcha sifatida turli kichik konsentratsiyalarda kiritib ularning fotovoltaiik parametrlarini tahlil qildik. Bunda olingan natijalar 4-jadvalda keltirilgan. Qo'shimchani ulushi D-A aralashmaning hajmi bo'yicha 2 %, 3 %, 4 %, va 5 % ni tashkil etadi. 4-jadvalda olingan natijalarni 2-jadvaldagi xuddi shu massa ulushi bo'yicha (1:1.5) olingan, lekin DIO qo'shimcha kiritilmagan PQE lar uchun olingan natijalar bilan solishtirsak, DIO qo'shimcha kiritilgandan so'ng ochiq zanjir kuchlanishi biroz kamaygan.

4-jadval. DIO ni qo'shimcha qo'shilgan PTBFTPD:PC71BM asosli PQE larning fotovoltaiik parametrlari

DIO qo'shimcha hajmiy ulushi (%)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/sm ²)	FF, (%)	EO'S, (%)
2	0,92	5,79	41,26	2,25
3	0,95	6,44	45,58	2,75
4	0,85	4,7	46,64	1,88
5	0,84	5,35	41,60	1,88

Leikin DIO qo'shimcha kiritilgach PQE larda qisqa tutashuv tok zichligi va EO'S qiymati oshganligini ko'rishimiz mumkin (4-jadval). PTBFTPD:PC71BM asosli PQE larga DIO ni qo'shimcha sifatida kiritganimizda eng yaxshi fotovoltaiik parametrlar 3 % ulushli konsentratsiyada hosil bo'ldi. Bunda ochiq zanjir kuchlanishi 0.95 V, qisqa tutashuv tok zichligi 6,44 mA/cm², to'ldirish faktori 45,58 % va EO'S esa 2,75 % ni tashkil qildi. DIO qo'shimchasini ko'p miqdorda qo'shilishi D-A faol qatlamning morfologiyasini yomonlashishga olib keladi, buni isbotini DIO qo'shimchani hajm bo'yicha 3% dan yuqori 4 va 5 % ulushda kiritilgan fotovoltaiik parametrlari qiymati kamayib ketishi bilan ko'rishimiz mumkin. Ammo, massa ulushi bo'yicha 1:1.5 nisbatda olingan PTBFTPD:PC71BM asosli aralashma eritmasiga 3 % ulushli DIO qo'shimchasini kiritganimizda EO'S qiymati 1.5 baravar oshdi va bu miqdordagi DIO qo'shimchasi optimal miqdor ekanini natijalar tasdiqlamoqda. Buni shunday tushuntirish mumkin, PQElarga qo'shimcha sifatida 1,8-diodoktan (DIO) dan foydalanish alohida kristallitlarning o'rta hajmiga ta'sir qilmaydi, balki ularning sonini oshiradi [9]. Bundan tashqari, DIO o'ziga xos o'lchamini saqlab, amorf domenlarda D-A larni o'zaro aralashishini yaxshilaydi [10]. DIO qo'shimchasini kerkali miqdorda faol qatlam eritmasi tarkibiga qo'shish orqali uning sirt morfologiyasini tartiblanishiga va buning natijasida eksitonlar dissotsiatsiya oshishiga olib keladi. Bu esa o'z navbatida eksitonlar rekombinatsiyasi kamayishi hamda qisqa tutashuv toki J_{sc} ni qiymatini oshiradi. DIO qo'shimchasini qo'shish orqali yuqori zaryad harakatchanligiga hamda EO'Sning kam miqdorda o'sishiga erishish mumkin [11]. So'ngi yillarda polimer asosli quyosh elementlari bo'yicha nashr etilgan maqolalarda faol qatlamni qizdirish bilan quyosh elementlarining bir qancha fizik xususiyatlarini yaxshilash mumkinligi haqida aytilgan [13]. Bu D-A faol qatlamni qizdirish metodi hajmiy geterostrukturaga ega bo'lgan PQE uchun morfologiyasi va struktura tartiblanishi kabi xususiyatlar uchun muhim hisoblanadi. Bu qizdirish usuli qo'llash uchun PTBFTPD:PC71BM (1:1.5) asosli PQE lari tarkibiga 3 % DIO qo'shimcha qo'shilgan eritmani 1500 ayl/min aylanish tezligida ITO/PEDOT:PSS ustiga qoplandi. Keyin faol qatlam plita ustida 100 OC haroratda 10 daqiqa davomida qizdirildi. Xuddi shu usulda bir qancha PTBFTPD:PC71BM asosli PQE lari hosil qilinib ularning fotovoltaiik parametrlari turli-xil sharoitlarda olindi. Olingan natijalar 5-jadvalda keltirilgan. Jadvalda olingan natijalarni yuqoridagi jadvaldagi qiymatlar bilan solishtiradigan bo'lsak faol qatlamni qizdirish PQE ning barcha fotovoltaiik parametrlari qiymati oshganligini ko'rishimiz mumkin.

5-jadval. Faol qatlamni 100 OC haroratda qizdirilgan PTBFTPD:PC71BM asosli PQE lari fotoelektrik xarakteristikalarini.

Aylanish tezligi ayl/daq	V_{oc} (V)	J_{sc} mA/sm ²	FF, (%)	EO'S, (%)
1200	1,03	7,16	57,49	4,28
1500	1,02	7,69	57,86	4,58
1500	1,03	9,39	55,71	5,41

Faol qatlam 10 daqiqa 100 °C haroratda qizdirilgan quyosh elementining EO'S qiymati deyarli 2 baravar oshib 5,41 % qiymatga erishildi. 4-jadvaldagi natijalardan ko'rish mumkinki qizdirilmagan faol qatlamga asoslangan PQElarning 3 % miqdorda DIO kiritganimizda eng optimal EO'S qiymati 2,75% ga teng bo'lgan edi.

Xususan organik va polimer asosli quyosh elementlarini yasashda faol qatlam eritmasini "Spin-coating" usulida qoplagandan so'ng ma'lum vaqt davomida turli temperaturada qizdirish orqali biz quyosh elementlarining fotovoltaiik parametrlarini yanada yaxshilanishiga erishishimiz mumkin. PQE ni faol qatlam qoplagandan so'ng uni pechda qizdirish orqali faol qatlam sirt morfologiyasi hamda strukturasini yaxshilanadi. Chunki PQE faol qatlami qizdirganda ma'lum temperatura va vaqtdan so'ng faol qatlamda klasterlar hosil bo'ladi [12]. Qizdirish vaqti oshgani sayin klasterlar soni oshib ularning hajmi ham kattalashadi.

Olingan natijalar bo'yicha xulosa qilsak, PTBFTPD:PC71BM asosli konjugatsiyalangan PQElarning fotovoltaiik parametrlari faol qatlamni hosil qiluvchi "Spin Coating" usulida qurilmaning aylanish tezliklariga ham bog'liq. PTBFTPD:PC71BM asosidagi PQE larning faol qatlamni hosil qiluvchi "Spin Coating" usulida qurilmning 1500 ayl/daq aylanish tezligi orqali optimal fotovoltaiik parametrlarga erishildi. Ya'ni PQE larni yasashda faol qatlam qalinliklari aylanish tezligi bog'liq bo'lib, o'z navbatida faol qatlam qalinligining optimal qiymati samaraliroq PQE yasashga imkon yaratadi. PTBFTPD:PC71BM (1:1.5) asosli PQE larining faol qatlam donar-akseptor eritmasi tarkibiga qo'shimcha sifatida DIO moddasini kichik konsentratsiyada kiritilib uning fotovoltaiik parametrlari yaxshilanishiga erishildi. Tarkibiga qo'shimcha 3 % DIO kiritganimizda biz o'rganayotgan PQE ning fotovoltaiik parametrlari qiymati eng optimali natija bo'ldi. DIO ning ishtiroki plyonkalarining tartibli bog'lanishi va zaryadlarning harakatchanligini va kristallanish morfologiyasini yaxshilashi tasdiqlandi. PTBFTPD:PC71BM faol qatlamga asoslangan PQE larni qizdirish orqali fotovoltaiik parametrlarini yanada yaxshilash mumkinligi va faol qatlamni qizdirish orqali EO'S deyarli 2 baravar oshib 2,75 % dan 5.41 % gacha bo'lgan natijaga erishildi.

ADABIYOTLAR

1. Wantz G. et al. Stabilizing polymer-based bulk heterojunction solar cells via crosslinking //Polymer international. – 2014. – T. 63. – №. 8. – C. 1346-1361.
2. Saranya, K., Md Rameez, and A. Subramania. "Developments in conducting polymer based counter electrodes for dye-sensitized solar cells—An overview." *European Polymer Journal* 66 (2015): 207-227.
3. Tore, Nesrin, et al. "Improvement in photovoltaic performance of anthracene-containing PPE-PPV polymer-based bulk heterojunction solar cells with silver nanoparticles." *Journal of nanoparticle research* 16.3 (2014): 1-8.
4. Xunchang Wang, Cong Xiao, Xiaokang Sun, Aziz Saparbaev, Shiyun Lei, Mingrui Zhang, Tian Zhong, Zhiya Li, Jiayi Zhang, Manxue Zhang, Yun Yu, Biao Xiao, Chunming Yang, Renqiang Yang, Hammer throw-like hybrid cyclic and alkyl chains: A new side chain engineering for over 18 % efficiency organic solar cells, *Nano Energy*, Volume 101, 2022, 107538.
5. G. Li, V. Shrotriya, Y. Yao and Y. Yang, "Investigation of annealing effects and film thickness dependence of polymer solar cells based on poly(3-hexylthiophene)," *J. Appl. Phys.*, vol. 98, pp. 043704, 2005.
6. Bekir Sami Yilbas, Abdullah Al-Sharafi, Haider Ali, Chapter 3 - Surfaces for Self-Cleaning, Editor(s): Bekir Sami Yilbas, Abdullah Al-Sharafi, Haider Ali, Self-Cleaning of Surfaces and Water Droplet Mobility, Elsevier, 2019, Pages 45-98,
7. Lee D, Kim J, Noh S, Lee C. The thickness of active layer dependence of polymer solar cells. In 10th IEEE International Conference on Nanotechnology 2010 Aug 17 (pp. 1175-1178). IEEE.
8. C. J. Brabec, S. Gowrisanker, J. J. M. Halls, D. Laird, S. Jia, S. P. Williams, *Adv. Mater.* 2010, 22, 3839 – 3856.
9. X. Guo, M. Zhang, J. Tan, S. Zhang, L. Huo, V. Xu, Y. Li and J. Xou, *Adv. Mater.*, 2012, 24, 6536-6541.
10. Hammond, M. R. et al. Molecular Order in High-Efficiency Polymer/Fullerene Bulk Heterojunction Solar Cells. *ACS Nano* 5, 8248–8257 (2011).
11. Hedley, G. J. et al. Determining the Optimum Morphology in High-Performance Polymer-Fullerene Organic Photovoltaic Cells. *Nat. Commun.* 4, – (2013).
12. Collins, B. A. et al. Absolute Measurement of Domain Composition and Nanoscale Size Distribution Explains Performance in PTB7:PC71BM Solar Cells. *Adv. Energy Mater.* 3, 65–74 (2013).
13. O. Backe, C. Lindqvist, A. Diaz de Zermeja, S. Gustafsson, E. Wang, M. R. Andersson, C. Muller and E. Olsson, *Nanoscale*, 2015, 7, 8451–8456.