

UDK 621.315.592.3

Xidirov Boburbek G'ofurjonovich

Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti, kichik ilmiy xodim

tel: +998977280507, email: [boburbekkhidirov94@gmail.com](mailto:boburbekkhidirov94@gmail.com)

Maxmanov Urol Kudratovich

Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti, "Optika va spektroskopiya"

laboratoriyasi mudiri, fizika-matematika fanlari doktori

email: [urol\\_m@mail.ru](mailto:urol_m@mail.ru)

### **P3HT:C<sub>71</sub> FAOL QATLAMINING XUSUSIYATLARINI BOSHQARISH**

**Annotatsiya:** Ushbu tadqiqotda P3HT tarkibiga 20% miqdorda C<sub>71</sub> qo'shilganda P3HT va C<sub>71</sub> o'rtasidagi o'zaro ta'sirni kamaytirishga yordam berib, bu esa kristalli P3HT va C<sub>71</sub> domenlaridan iborat morfologiyaning o'rtacha faza ajratilishini ta'minlashi aniqlandi. C<sub>71</sub> fulleren P3HT domenining o'z-o'zini tashkil etuvchi nanostrukturasini shakllantiradi. Natijada, P3HT:C<sub>71</sub> faol qatlaminining energiya o'zgartirish samaradorligi 2,56% bo'lishiga erishildi.

**Kalit so'zlar:** P3HT:C<sub>71</sub> quyosh elementi; Fulleren C<sub>71</sub>; Atom kuchli mikroskopiya

Boburbek Khidirov Gofurjonovich

Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, junior researcher

Phone: +998977280507, email: [boburbekkhidirov94@gmail.com](mailto:boburbekkhidirov94@gmail.com)

Urol Makhmanov Kudratovich

Head of the Laboratory "Optics and Spectroscopy" of the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Doctor of Physical and Mathematical Sciences

email: [urol\\_m@mail.ru](mailto:urol_m@mail.ru)

### **CONTROLLING THE PROPERTIES OF THE P3HT:C<sub>71</sub> ACTIVE LAYER**

**Abstract:** In this study, it was found that adding 20% C<sub>71</sub> to P3HT helps to reduce the interaction between P3HT and C<sub>71</sub>, which provides a moderate phase separation of the morphology consisting of crystalline domains of P3HT and C<sub>71</sub>. The C<sub>71</sub> fullerene forms a self-assembled nanostructure of the P3HT domain. As a result, the energy conversion efficiency of the P3HT:C<sub>71</sub> active layer was 2.56%.

**Key words:** P3HT:C<sub>71</sub> solar cell; Fullerene C<sub>71</sub>; Atomic Force Microscopy

Хидиров Бобурбек Гофуржонович

Института ионно-плазменных и лазерных технологий,  
Младший научный сотрудник  
тел: +998977280507, email: [boburbekkhidirov94@gmail.com](mailto:boburbekkhidirov94@gmail.com)

Махманов Урол Кудратович  
Заведующий лабораторией «Оптика и спектроскопия» Института ионно-  
плазменных и лазерных технологий, доктор физико-математических наук  
email: [urol\\_m@mail.ru](mailto:urol_m@mail.ru)

## **УПРАВЛЕНИЕ СВОЙСТВАМИ АКТИВНОГО СЛОЯ РЗНТ:С<sub>71</sub>**

**Аннотация:** В данном исследовании было обнаружено, что добавление 20% С<sub>71</sub> к РЗНТ способствует уменьшению взаимодействия между РЗНТ и С<sub>71</sub>, что обеспечивает умеренное фазовое разделение морфологии, состоящей из кристаллических доменов РЗНТ и С<sub>71</sub>. Фуллерен С<sub>71</sub> образует самоорганизующуюся наноструктуру домена РЗНТ. В результате эффективность преобразования энергии активного слоя РЗНТ:С<sub>71</sub> составила 2,56%.

**Ключевые слова:** РЗНТ:С<sub>71</sub> солнечный элемент; Фуллерен С<sub>71</sub>; Атомно-силовая микроскопия

### **Kirish.**

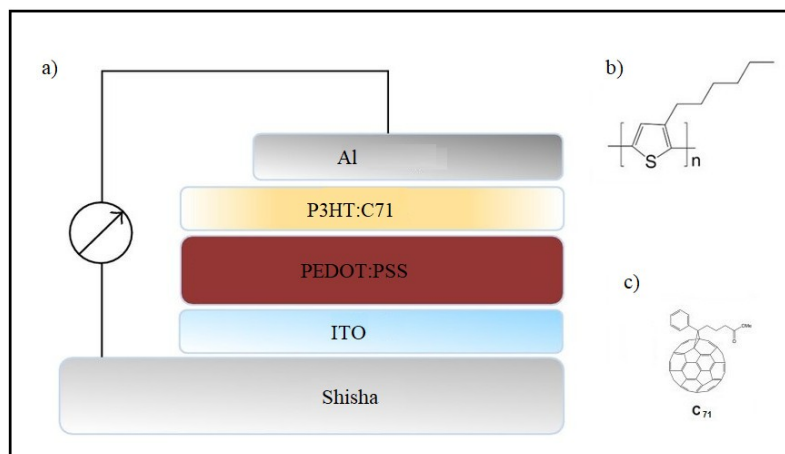
Hozirgi kunda hajmiy geterostrukturali (HGS) quyosh elementlarining narxi arzon va ish samaradorligi yuqori bo'lganligi sababli ko'pchilik ilmiy tadqiqotchilarning e'tiborini tortmoqda [1]. Bu turdagi quyosh elementlari an'anaviy kremniy asosidagi quyosh elementlariga qaraganda bir qator afzaliklarga ega, jumladan ishlab chiqarish jarayoni oson va kam energiya talab qiladi. Bundan tashqari, bu elementlar moslashuvchan, yengil va ekologik jihatdan xavfsiz hisoblanadi. Qurilmaning ishlashini yanada yaxshilashning muhim omillaridan biri aralash donor va akseptor molekulalarining aniq belgilangan morfologiyasi bo'lib, ularda eksiton dissotsiatsiyasi uchun mos interfeyslarni ta'minlaydi. Faol qatlam morfologiyasini nazorat qilish va HGS quyosh elementlarining ish samaradorligini yaxshilash uchun bir qator usullar mavjud [2]. Ularga, birinchidan, erituvchilar va qayta ishlash qo'shimchalari aralashmasining tarkibini optimallashtirish kiradi [3]. Ikkinchidan, qayta ishlash qo'shimchalarining tanlovi va faol materiallarning

kimyoviy tuzilishini o'zgartirish usullari ham samarali yechimlar sifatida ko'rilmogda. Bu usullar eksperimental tarzda tasdiqlangan bo'lib, ular elementlarning ish samaradorligini yaxshilashga yordam beradi [4]. Ushbu jarayon aralash faol qatlamlarning fazaviy harakatlarini belgilaydigan o'zaro bog'liq omillarga ta'sir ko'rsatadi. Masalan, faol qatlam morfologiyasini nazorat qilishda Flori-Huggins parametri muhim ahamiyatga ega, chunki u donor va akseptor materiallarning eruvchanligi bilan bog'liqdir. Bundan tashqari, erituvchining bug'lanish tezligi, issiqlik bilan ishlov berish shartlari va kristallanish jarayonlaridagi kinetik omillar ham faol qatlamlarning strukturasini shakllantirishda muhim rol o'ynaydi. Bu omillarning o'zaro ta'siri HGS quyosh elementlarining samaradorligini yaxshilash uchun optimal morfologiyani yaratishda asosiy ahamiyatga ega. To'g'ridan-to'g'ri quyosh elementlarini tayyorlash uchun aralashmalarda faol qatlam hosil bo'lish jarayonida aniq belgilangan nano o'lchovli morfologiyalarni o'z-o'zidan shakllantirishi kerak. Ushbu yondashuv qo'shimcha ishlov berish bosqichlarini bekor qiladi va qurilmaning degradatsiyasini kamaytiradi. O'z-o'zidan to'plangan morfologiyalar orqali yuqori sifatli va uzoq muddat xizmat qiluvchi HGS quyosh elementlarini tayyorlash mumkin. P3HT tarkibidagi tarmoqlangan  $C_{71}$  polimerlarning o'z-o'zini yig'ish harakati bo'yicha bir qator maqolalar mavjud [5]. Tajima va boshqalar quasi-living polimerlanish usuli orqali to'liq tarmoqlangan  $C_{71}$  polimerlarining sintezi va ularning morfologiyasini o'rgandilar [6]. Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, bu polimerlar o'zlarining morfologiyasida qisman tekislangan tuzilishga ega bo'ladi, bu esa materialning yuqori samaradorlikka ega bo'lishi uchun muhim ahamiyatga ega. Bundan tashqari,  $C_{71}$  ilgari aralashmaydigan materiallar aralashmalarida moslashtiruvchi sifatida muvaffaqiyatli ishlatilgan [7]. Ushbu tizimlarda  $C_{71}$  ning domen o'lchamlari va morfologiyasi o'zgartirilgan, va natijada domen interfeyslarida yaxshi strukturalangan tizimlar hosil bo'lgan. P3HT va perilen tetrakarboksidiimid (PDI) aralashmalarida  $C_{71}$  ni moslashtiruvchi sifatida ishlatish orqali keng ko'lamli fazalar ajratildi va morfologik nazorat ta'minlandi, bu Fréchet va boshqalar tomonidan tasdiqlangan [8]. Shunday bo'lsada, hozirgi

kunda bu usulni takomillashtirish zarurat saqlanib qolmoqda. Bu esa yuqori samarali elektron qurilmalari uchun materiallar dizaynini yaratishda muhim ahamiyat kasb etadi.

Ushbu ishning maqsadi qizdirish usuli orqali P3HT:C<sub>71</sub> organik quyosh elementlarini olish va ularning energiya o'zgartirish samaradorligini tadqiq qilishdan iborat.

**Eksperimental usul.** Dastlab P3HT:C<sub>71</sub> eritmasini tayyorlash uchun P3HT va C<sub>71</sub> materiallari DMS eritmasida 1:1 M nisbatda (0.5M) sintez qilinib, xona haroratida 24 soat davomida aralashtirildi, so'ngra P3HT:C<sub>71</sub> faol qatlamlarini tayyorlashdan 1 soat oldin har xil miqdorda (100:20 va 100:0) nisbatlarda eritma tayyorlanadi.



**1-rasm.** (a) P3HT:C<sub>71</sub> organik fotovoltaik qurilmasining sxematik tuzilishi (b) P3HT va (c) C<sub>71</sub> ning kimyoviy strukturasi.

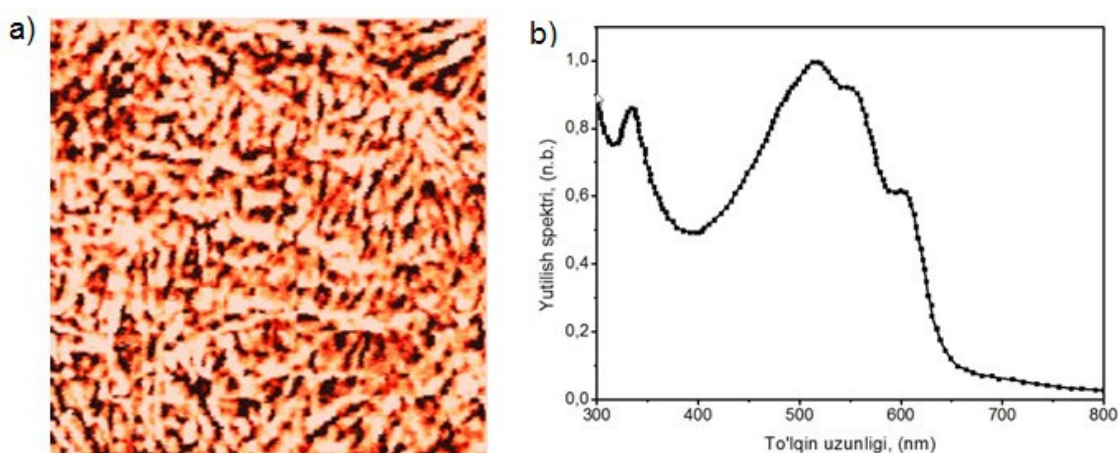
Quyosh elementlarini yasash jarayoni bir-nechta bosqichdan iborat. Birinchi, indiy qalay oksidi (ITO) shisha tagliklari ultratovushli vannada asetonda, deionizatsiya qilingan (DI) suvda va izopropil spirtida (IPA) har biri 5 daqiqa davomida tozalanib, so'ngra esa kislorod plazmasi yordamida tozalaniladi. Shundan so'ng, shisha/ITO sirt tayyor bo'lgach, spin qoplama usuli yordamida PEDOT:PSS ni 4500 ayl./min. (ayl./min.-bir daqiqadagi aylanishlar soni) tezlik bilan 20 sekund davomida aylantirilib 30 nm qalinlik atrofida yotqiziladi va tayyor PEDOT:PSS faol qatlamlaridagi suv molekulalarini yo'qotish uchun pechkada atmosfera sharoitida 5 daqiqa davomida 120 °C haroratda qizdiriladi. So'ngra, tayyor bo'lgan PEDOT:PSS faol qatlamining ustiga P3HT:C<sub>71</sub> eritmasini 30 soniya davomida

3000 ayl/min tezlikda spin qoplama usuli orqali qoplanadi. Tayyor bo'lgan turli xil tarkibdagi P3HT:C<sub>71</sub> faol qatlamlari atmosfera sharoitida 20 daqiqa davomida pechkada termik qizdiriladi. Shundan so'ng, P3HT:C<sub>71</sub> faol qatlamlari termik qizdirilib tayyor bo'lgach, 30 mg/ml miqdordagi dixlorobenzoldagi P3HT:C<sub>71</sub> eritmasini 3000 ayl/min tezlikda 30 sekund davomida spin qoplama usuli orqali 30 nm qalinlikda faol qatlami ustiga qoplanadi. Nihoyat, barcha struktura tayyor bo'lgach, 3000 ayl/min tezlikda taxminan 80 nm qalinlikda alyuminiy (Al) katod sifatida vakuum sharoitida  $5 \times 10^{-4}$  Pa bosim ostida termal bug'lantirish usuli yordamida qurilmaga qoplash bilan yakunlandi.

### **Natijalar va ularning muhokamasi.**

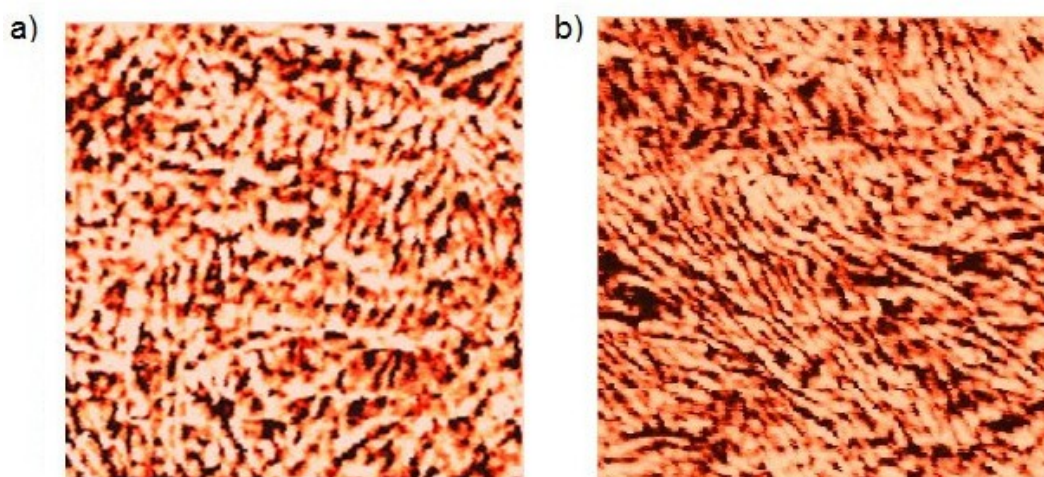
Ushbu natijalar P3HT:C<sub>71</sub> va P3HTning Quasi-living GRIM polimerlanishi usuli orqali sintez qilindi. Barcha integral tepalik maydoni nisbatlari polimerlarning molekulyar tuzilishiga mos keladi. Bundan tashqari, xloroform eritmasidagi P3HTning UV spektri 330 nm da yutilish bilan 413 nm da markazlashgan dominantni ko'rsatadi. Yuqori energiya diapazoni P3HT faol qatlamining yutilish spektrini aks ettiradi va past energiyali diapazon ham P3HT faol qatlamining yutilish spektri segmentiga tegishli bo'ladi. Ikkala kuzatish ham P3HTning polimerga kovalent biriktirilishini ko'rsatadi. P3HT faol qatlamlarining xususiyatlari Atom kuchi mikroskopiyasi (AKM) qurilmasi yordamida o'rganilgan. 1a-rasmda ko'rsatilganidek, tolaga o'xshash strukturalar P3HT faol qatlamidagi AKM tasvirlarida kuzatildi. P3HT materialining o'z-o'zidan yig'ilish xususiyati,  $\pi$ - $\pi$  o'tish ( $\pi$ - $\pi$  qatlamlanish) orqali struktura hosil qilish qobiliyati, ushbu materialning yuqori darajada tartibli nanostrukturalar yaratish imkonini beradi. O'z-o'zidan yig'ilish jarayonida P3HT molekulalari nisbatan tartibli struktura hosil qiladi. Ushbu struktura, elektron va teshiklarni samarali tashish uchun qulay. Nanostrukturalangan P3HT, yuqori kristallanish va optik o'zgarishlarga ega bo'lib, yorug'likni yaxshi yutishi va elektr o'tkazuvchanlikni yaxshilashga yordam beradi. 1b-rasmda ko'rsatilganidek, P3HT faol qatlam uchun 330, 515, 550 va 610 nm da joylashgan to'rtta yutilish spektri piki kuzatiladi. Bunda, 330 nmdagi pik P3HT ning asosiy  $\pi$ - $\pi^*$  o'tishi bilan bog'liq bo'lib,

polimerning yadro tuzilishidagi  $\pi$ -elektronlar orasidagi asosiy o'tishni bildiradi. P3HT ning  $\pi$ - $\pi$  o'tishlari va vibronik bo'linishi nanostrukturalar shakllanishi bilan bog'liq bo'lib, polimerning yuqori tartibli tuzilishini bildiradi. 515 va 550 nm piklari  $\pi$ - $\pi^*$  o'tishining vibronik bo'linishini ko'rsatadi. Vibronik bo'linish P3HT ning o'z-o'zidan yig'iladigan nanostrukturalar shakllanishiga asoslangan bo'lib, yuqori tartiblangan va yaxshi yo'naltirilgan zanjirlar hosil bo'lishi bilan bog'liq. 610 nm pik P3HT zanjirlari o'rtasida yuz beradigan  $\pi$ - $\pi$  o'tish jarayoni bilan bog'liq. Bu pik P3HT faol qatlamida yuqori darajadagi tartib va zanjirlararo kuchli  $\pi$ - $\pi$  o'zaro ta'sirlarning mavjudligini ko'rsatadi.



**1-rasm.** (a) AKM fazali tasviri, (b) Optik yutilish spektri

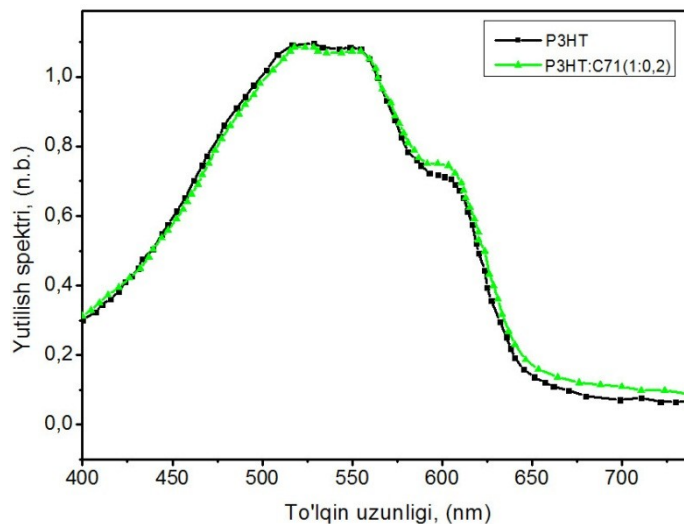
Fulleren  $C_{71}$  yuqori iqtisodiy afzalliklarga ega bo'lsada, fulleren  $C_{71}$  dan foydalanishdagi cheklov ham yaxshi ma'lum, oddiy erituvchilarda yomon eruvchanligi va kristallanishga moyilligi xususiyatlar tufayli,  $C_{71}$  aralashmalarining morfologiyalarini olish odatda qiyin [9], shuning uchun yuqori samarali P3HT: $C_{71}$  asosidagi qurilmalarni yaratish ko'pincha murakkab jarayonlarda ishlov berishni talab qiladi [10], bu jarayon odatda uzoq vaqt ishlov berish, masalan termik qizdirish usuli [11] yoki erituvchida qizdirish usullari qo'llaniladi [9]. Quyosh elementini tayyorlash uchun P3HT dan donor va  $C_{71}$  dan HGS tizimidagi  $C_{71}$  ta'sirini ko'rsatish uchun akseptor sifatida foydalandik.



**2-rasm.** (a) P3HT va (b) P3HT:C<sub>71</sub> faol qatlamlarining AKM tahlili tasvirlari

To'g'ridan-to'g'ri taqqoslash uchun biz faol qatlamlarni AKM tahlili rejimida bir xil sharoitlarda hech qanday qo'shimcha ishlov berishsiz tayyorladik. Polimer faol qatlamlarining morfologiyasi atrof-muhit haroratida dinamik kuch rejimida AKM yordamida tahlil qilindi. Barcha hajmiy getero-strukturali (HGS) fotovoltaik elementlar bir xil tayyorlash jarayonlar va qurilmani ishlab chiqarish jarayonidan foydalangan holda tayyorlangan. 2-rasmda P3HT:C<sub>71</sub> aralashmali faol qatlamlarining turli nisbatlarga ega ya'ni P3HTga C<sub>71</sub> qo'shilmagan (a) va 20 % miqdorda C<sub>71</sub> qo'shilgan (b) AKM tasvirlari ko'rsatilgan. 2a-rasmda sof P3HT faol qatlamining morfologiyasidagi nuqsonlar ko'pligini ko'rishimiz mumkin, buni C<sub>71</sub> domenlariga bog'laymiz, chunki u tarmoqlangan polimerga qaraganda yuqori elektron tarqalish zichligiga ega [8]. P3HT ning yomon morfologiyasi asosan uning mikrofazali ajratilishi bilan bog'liq. Qisqaroq qo'zg'alish diffuziya uzunligida (<20 nm) erkin tashuvchilar katta C<sub>70</sub> klasterlari (>500 nm) bilan chegaralanadi va shuning uchun qurilmaning EO'Sning pasayishiga olib keladi (2a-rasm). C<sub>71</sub> faol qatlamlarida bu xatti-harakat katta darajada bostiriladi va kichikroq domenlar kuzatiladi. Bu natija shuni ko'rsatadiki, EO'S ning yaxshilanishi asosan Donor/Akseptor domenlarining fazaviy taqsimlanishi bilan bog'liq. 2b-rasmda esa, P3HT tarkibiga 20 % miqdorda C<sub>71</sub> qo'shganimizda P3HT:C<sub>71</sub> faol qatlamining morfologiyasidagi nuqsonlar soni kamayganligini ko'rishimiz mumkin. Kuchli zanjirlararo qatlamlar o'zaro ta'siri yoki P3HT ning yaxshiroq qadoqlanishi tufayli C<sub>71</sub> qo'shilishi bilan P3HT morfologiyasining asta-

sekin yarim kristallikdan kristallanishgacha o'zgarishini ko'rsatadi. Bundan ko'rinib turibdiki, P3HT ga C<sub>71</sub> qo'shilishi natijasida yuzaga kelgan mo'tadil fazalarni ajratish morfologiyasi element ichidagi tashuvchilarni tashishni yaxshilaydi.



**3-rasm.** P3HT va P3HT:C<sub>71</sub> faol qatlamlarining optik yutilish spektrlari

3-rasmda P3HT va P3HT:C<sub>71</sub> faol qatlamlarining optik yutilish spektri grafigi berilgan bo'lib, yutilish spektri 400 nm dan 800 nm to'lqin uzunligi sohasida yorug'lik nurini yutishini ko'rishimiz mumkin. Bu rasmdagi yutilish grafigida P3HT faol qatlamning asosiy yutilish piki 510-575 nm oraliqdagi to'lqin uzunligida, P3HT:C<sub>71</sub> faol qatlamning yutilish piki ham xuddi shu 510-575 nm oraliqda P3HT faol qatlamining yutilish piki bilan deyarli bir xil to'lqin uzunligida kuzatildi. Shu bilan birga 600 nmdan 800 nmgacha bo'lgan oraliqdagi to'lqin uzunliklarida ham kichikroq yutilish piklari mavjud. Grafikdan ko'rishimiz mumkinki, P3HT:C<sub>71</sub> faol qatlami P3HT faol qatlamlariga nisbatan kengroq yutilish spektriga va biroz katta optik ta'qiqlangan soha kengliklariga ega. Bu farq sterik to'siq ta'siri natijasida molekula ichidagi va molekulalararo o'zaro ta'sirlarning o'zgarishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Shu bilan birga yupqa qatlamlarda molekulalar ko'pincha bir-biriga yaqinroq joylashadi, bu agregatsiyaga olib kelishi mumkin. Bu agregatsiya molekulalararo o'zaro ta'sirlarni, masalan, konjugatsiyalangan tizimlarda  $\pi$ - $\pi^*$  ta'sirni keltirib chiqaradi, bu esa molekulalarning energiya darajasini o'zgartiradi va yutilish to'lqin uzunligini o'zgartiradi (agar u kattaroq to'lqin uzunliklariga o'tsa, ko'pincha qizil

siljish deb ataladi). Undan tashqari yupqa qatlamni o'rab turgan muhit eritma bilan solishtirganda boshqacha sindirish ko'rsatgichiga ega, va bu to'lqin uzunligining oshishiga yutilish sohasining kengayishiga olib keladi. Bu omillar birlashib, yupqa qatlamning va eritmaning yutilish to'lqin uzunliklari UV spektrida har xil bo'lishiga olib keladi. Yupqa qatlamning yutilish spektrida yutilish boshlanishi qizil to'lqin uzunligi tomonga siljigan, bu siljish yupqa qatlamning eritmaga nisbatan kuchliroq kristallanish va agregatsiyalanish xususiyatiga ega ekanligini bildiradi.

1-Jadval. P3HT:C<sub>71</sub> va P3HT faol qatlamlarining volt-amper xarakteristikalari

| Faol qatlam                | J <sub>sc</sub> (mA/sm <sup>2</sup> ) | V <sub>oc</sub> (V) | FF   | EO'S (%) |
|----------------------------|---------------------------------------|---------------------|------|----------|
| P3HT                       | 1.86                                  | 0.49                | 0.52 | 0.47     |
| P3HT:C <sub>71</sub> (20%) | 8.7                                   | 0.48                | 0.59 | 2.56     |

Yuqoridagi jadvalda P3HT:C<sub>71</sub> va P3HT faol qatlamlarining volt-amper xarakteristikalari keltirilgan. Biz optimal kompozitsiyani aniqlash uchun P3HT va C<sub>71</sub> materiallarini 1:1 nisbati bilan qurilmaning ishlashini kuzatdik. 1-jadval va 3-rasmda C<sub>71</sub> optimal nisbatlarining massa bo'yicha ulushi 20% bo'lganda yaxshi natijaga erishganligi aniqlangan. Fulleren C<sub>71</sub> tarkibini yanada oshirgandan so'ng, J<sub>sc</sub> ham, elementning FF ham kamaydi. Bizning eng yaxshi ishlaydigan qurilmamiz 20 mg/ml konsentratsiyali (P3HT:C<sub>71</sub>=1:0,5) aralash eritmani 30 soniya davomida 450 aylanish tezligida, P3HT va 20% C<sub>71</sub> bilan aralashtirish orqali tayyorlangan. Ushbu P3HT:C<sub>71</sub> faol qatlamni AM1.5 Girradiatsiya (100 mVt/sm<sup>2</sup>) qurilmasi yordamida o'lchaganimizda 2,56% energiya o'zgartirish samaradorlikni (EO'S) ko'rsatdi, natijada volt-amper xarakteristikalarining parametrlari bo'lgan J<sub>sc</sub>, V<sub>oc</sub> va FF mos ravishda 8,7 mA/sm<sup>2</sup>, 0,48 V va 0,59 ni tashkil etdi. Bu natija P3HT faol qatlamining volt-amper xarakteristikalarining parametrlari bilan solishtirganda, fototok taxminan 450% ga sezilarli darajada oshdi. Ma'lumki, faol qatlamning teshik harakatchanligi samarali tashuvchini tashish uchun yuqori bo'lishi kerak va qurilmaning ishlashiga bevosita ta'sir qiladi. Har ikkala tizimdagi aralashma faol qatlamlarining teshik harakatchanligini olish va solishtirish uchun faqat teshikli qurilma tuzilishi tanlangan. Kutilganidek,

P3HT:C<sub>71</sub> faol qatlamidan olingan qurilmaning teshik harakatchanligi faqat P3HT faol qatlami qurilmasidan deyarli 4 baravar yuqori ekanligini ko'rsatadi, bu faol qatlam ichida tashuvchini yaxshiroq tashish imkonini beradi va shuning uchun yuqoriroq Jsc ga erishish mumkin. Zaryadning yaxshilangan harakatchanligi AKM va UV spektri ma'lumotlaridan taklif qilinganidek, P3HT:C<sub>71</sub>ning yanada tartibli va kristalliligini ko'rsatadi. Tashuvchining harakatchanligini oshirish teshik elektron juftlarining rekombinatsiya jarayonini qisqartirishni amalga oshiradi, shuning uchun qisqa tutashuv tokining (Jsc) oshishiga olib keladi. Simulyatsiya modeli, shuningdek, yuqori Jsc ga olib keladigan katta o'rtacha tashuvchilar orasidagi masofaga erishish uchun tashuvchilarning harakatchanligi katta bo'lishi kerakligini ko'rsatadi.

**Xulosa.** Xulosa qilib aytganda, barcha tarmoqlangan C<sub>71</sub> yaxshi boshqariladigan usulda Quasi-living GRIM polimerlanishi orqali sintez qilindi. 20 % miqdorda C<sub>71</sub> ni faol qatlarga qo'shish orqali, elektr va optik xossalarni yaxshilab, quyosh elementining samaradorligini oshirishi mumkin. 20 % C<sub>71</sub> ning qo'shilishi P3HT ning barqaror o'tkazuvchanligini va samaradorligini saqlashga yordam beradi, bu esa materialning ishlash vaqtini oshirishda ham muhim rol o'ynaydi. P3HT:C<sub>71</sub> faol qatlamlarining ishlash samaradorligini yaxshilash uchun C<sub>71</sub> miqdorini optimallashtirish mumkinligini ko'rsatadi. Ushbu tadqiqotda P3HT faol qatlamning EO'S (0.47%) ning qiymatiga qaraganda P3HT:C<sub>71</sub> faol qatlamning EO'S (2.56%) ning qiymati ancha yaxshi natija ko'rsatdi. Ushbu ishda qurilmaning ishlash parametrlarining qiymatlari bir nechta oldingi ishlarga mos keladi.

Ushbu ish O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligining FL-8323102108 "Uglerod asosidagi funksional nanomateriallarni sintezi va modifikatsiyasi, ularning atom zarralari bilan o'zaro ta'sirini tadqiq etish" loyihasi tomonidan qo'llab-quvvatlandi.

#### **Foydalanilgan adabiyotlar**

[1]. Helgesen, Martin, Roar Søndergaard, and Frederik C. Krebs. "Advanced materials and processes for polymer solar cell devices." *Journal of Materials Chemistry* 20.1 (2010): 36-60.

- [2]. Li, Gang, et al. "High-efficiency solution processable polymer photovoltaic cells by self-organization of polymer blends." *Nature materials* 4.11 (2005): 864-868.
- [3]. Ma, Wanli, et al. "Thermally stable, efficient polymer solar cells with nanoscale control of the interpenetrating network morphology." *Advanced functional materials* 15.10 (2005): 1617-1622.
- [4]. Makhmanov, Urol Kudratovich, et al. "Self-organization of C60 fullerene molecules in xylene/ethanol mixtures." *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures* 32.12 (2024): 1115-1120.
- [5]. Yao, Yan, et al. "Effects of solvent mixtures on the nanoscale phase separation in polymer solar cells." *Advanced Functional Materials* 18.12 (2008): 1783-1789.
- [6]. Rajaram, Sridhar, et al. "Effect of addition of a diblock copolymer on blend morphology and performance of poly (3-hexylthiophene): perylene diimide solar cells." *Chemistry of materials* 21.9 (2009): 1775-1777.
- [7]. Reid, Obadiah G., Keiko Munechika, and David S. Ginger. "Space charge limited current measurements on conjugated polymer films using conductive atomic force microscopy." *Nano letters* 8.6 (2008): 1602-1609.
- [8]. Makhmanov, U. K., et al. "Features of C60 fullerene in the toluene-hexane solvent system." *«Узбекский физический журнал»* 25.2 (2023).
- [9]. Makhmanov, U. K., et al. "SYNTHESIS OF FILAMENTOUS NANOWHISKERS OF C70 FULLERENE." *Scientific committee*: 103.
- [10]. Liu, Weili, et al. "Tailoring nanowire network morphology and charge carrier mobility of poly (3-hexylthiophene)/C60 films." *The Journal of Physical Chemistry C* 113.26 (2009): 11385-11389.
- [11]. Chan, Shu-Hua, et al. "Morphology evolution of spin-coated films of poly (thiophene– phenylene– thiophene) and [6, 6]-phenyl-C71-butyric acid methyl ester by solvent effect." *Macromolecules* 43.7 (2010): 3399-3405.