



UDK: 544.526.5

Erkin ZAXIDOV,

O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti
Kondensirlangan muhitlar optikasi laboratoriyasi professori, f-m.f.d., (DSc),
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. (Ph.D.),
E-mail: saparbaevaziz83@gmail.com

Farid RO'ZIYEV,

O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti.
Kondensirlangan muhitlar optikasi laboratoriyasi kichik ilmiy xodimi
E-mail: roziyevf@list.ru

Abror TURGUNBOEV,

O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti.
Kondensirlangan muhitlar optikasi laboratoriyasi kichik ilmiy xodimi
E-mail: turgunovabror9606@gmail.com

Sanobar REYMBAYEVA,

O'zbekiston Milliy Universiteti o'qituvchisi
E-mail: reymbaeva71@mail.ru

Sevara ABDULLAYEVA,

O'zbekiston Milliy Universiteti magistranti
E-mail: sevarakhonabdullayeva@gmail.com

O'z MU Fizika fakulteti dekani, m.-f.f.n. (Ph.D.), dotsent, G'.Eshonqulov taqrizi asosida

PBB-TSD:IT-4F ASOSIDAGI ORGANIK QUYOSH ELEMENTLARINING PARAMETRLARINI TADQIQ QILISH

Annotatsiya

Maqolada TSD:IT-4F asosidagi organik quyosh elementlarining optik va fotoelektrik parametrlari tahlil qilindi. PBB-TSD va IT-4F polimerlarining yutilish spektrlari, shuningdek, ularning aralashmalari va 1,8-Diodooktan (DIO) qo'shimcha qo'shish orqali strukturasi yaxshilangan TSD:IT-4F faol qatlam xossalari o'rganildi va solishtirildi. TSD:IT-4F aralashmalarni tayyorlashda donor va akseptor materiallar turli xil nisbatda olinib, bu aralashmalarning optik va fotovoltaiik parametrlari o'rganildi.

Kalit so'zlar: PBB-TSD:IT-4F; organik quyosh elementi; DIO, fotovoltaiik parametrlar.

STUDY OF THE PARAMETERS OF ORGANIC SOLAR CELLS BASED ON PBB-TSD:IT-4F

Abstract

In this work, analyzed the optical and photoelectric parameters of organic solar cells based on TSD:IT-4F. The absorption spectra of pure polymers PBB-TSD and IT-4F, as well as their mixtures and modifications using 1,8-Diodooctane (DIO), have been studied and compared. The dependence of the influence of the qualitative composition of such mixtures on the efficiency and the active layer is established, and the corresponding optimal composition is determined.

Keywords: PBB-TSD:IT-4F; organic solar cell; 1,8-diooctan; photovoltaic parameters.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ PBB-TSD:IT-4F

Аннотация

В работе проанализированы оптические и фотоэлектрические параметры органических солнечных элементов на основе TSD:IT-4F. Изучено и проведено сравнение спектров поглощения чистых полимеров PBB-TSD и IT-4F, а также их смесей и модификаций при помощи 1,8-Диодоктан (DIO). Установлена зависимость влияния качественного состава таких смесей на КПД и активный слой, и определен соответствующий оптимальный состав.

Ключевые слова: TSD:IT-4F; органический солнечный элемент; DIO; фотоэлектрические параметры.

Kirish. Bugungi kunga kelib organik quyosh element (OQE) lari sohasida bir qancha samarali natijalarga erishildi. OQE arzon ishlab chiqarish texnologiyasi bilan boshqa turdagi quyosh elementlaridan ajarlib turadi. Ekologik toza, egiluvchan, keng maydonlarni ishlab chiqarishda qulaylik va ancha tejamkor bo'lish xususiyatlari tufayli OQE istiqbolli energiya manbalari hisoblanadi [1]. OQEarning taqdim etilayotgan texnologiyasi istiqbolli texnologiya bo'lib, u orqali tejamkor energiya ishlab chiqarishga erishish mumkin. Tijoratlashtirish uchun talab qilinadigan yuqori energiya o'zgartirish

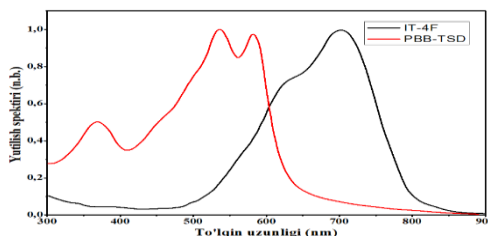
samaradorligi (EO'S) hozirda bitta faol qatlam strukturaga ega, faol qatlam tarkibida uchta yoki undan ko'p polimer mavjud bo'lgan va tandem (ko'p qavatli faol qatlam ega) asosli OQElarning EO'S ko'rsatkichi 18% dan ortadi, bu esa o'z o'rnida ijobiy ko'rsatkich hisoblanadi [2]. Yangi konjugatsiyalangan polimer asosli OQElarni yasash nuqtai nazaridan eng muvaffaqiyatli strategiya donor-akseptor (D-A) aralashmasini qo'llashdir. D-A aralashmali konjugatsiyalangan polimerlar katta afzalliklarga ega bo'lib, masalan:

- a) quyosh fotonlarini ko'proq yig'ish uchun yuqori yutilish koeffitsienti bilan birga keng yutilish spektriga ega;
- b) optimal va osongina sozlanishi mumkin bo'lgan molekulyar energetik sathga egaligi, natijada akseptorlar (yoki donorlar)ga mos keladigan ko'proq donor yoki akseptor polimerlarni olishni ta'minlaydi;
- c) zaryadni ajratish va tashishni osonlashtiradigan yaxshilangan zaryad harakatchanligiga ega [3].

Hajmiy geterostruktura tuzilishiga ega bo'lgan OQElarning D-A materiallarini to'g'ri tanlash hamda ularning optik parametrlari muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu ishda hajmiy geterostrukturali PBB-TSD:IT-4F asosidagi OQElarning optik va fotovoltaiik parametrlarini tahlil qilindi. Buning uchun dastlab PBB-TSD:IT-4F asosidagi OQE yasab olindi [4].

OQElarni yasash quyidagi ITO/PEDOT:PSS/PBB-TSD:IT-4F/PFN/Al struktura orqali amalga oshirildi, buning uchun eng avvalo qatlam qarshiligi 15 Om/sm^2 bo'lgan ITO (indiy qalay oksidi) qoplangan shisha tagliklar ultratovush vannada ultra toza suv, atseton 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.) ITO ustiga yotqiziladi. Keyin PEDOT:PSS tarkibidagi suv molekularini bug'latish uchun 20 daqiqa davomida 160°C haroratli pechkada quritildi. PBB-TSD va IT-4F 10 mg/ml polimer donor konsentratsiyasi bilan bog'liq proporsiyada xlorobenzolda eritildi [5]. Eritma bir necha soat davomida xona haroratida aralashtirildi va PBB-TSD:IT-4F aralashmasi PEDOT:PSS qatlam ustiga "spin coating" usuli bilan qoplanadi. Faol qatlamning qalinligi $\sim 110 \text{ nm}$ 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 ($2,0 \text{ mg/ml}$) yupqa qatlami 30 soniya davomida 2000 ayl/daq tezlikda faol qatlam ustiga "spin coting" usulida qoplanadi. So'ngra, qalinligi 100 nm bo'lgan Al qatlami katod sifatida termik bug'lantirish usulida faol qatlamga $4 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}$ bosim ostida bug'lantirilib katod yotqiziladi [6].

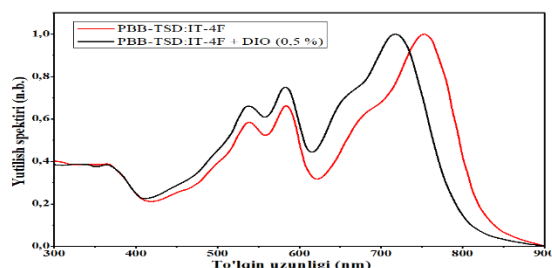
Yuqorida aytib o'tilganidek OQElarning konjugatsiyalangan D-A materiallarni to'g'ri tanlash muhim hisoblanadi. Xususan fulleren tarkibiga ega bo'lmagan akseptorlar energiya darajalarining oson o'zgartirilishi, kuchli optik assimilyatsiya va yaxshi barqarorlik kabi ta'sirchan xususiyatlariga ega ekanligi fulleren tarkibli hosilalari bilan solishtirganda yuqori samaradorlikni namoyish etadi [7]. Bu fullerensiz turli xil samarali past diapazonli donor-akseptor birikmalarini hosil qilinishiga hamda energiya o'zgartirish samaradorligi (EO'S) yaxshilanishiga olib keldi. Shu nuqtai nazardan, yorug'likni maksimal darajada yig'ish uchun D-A sifatida keng tarmoqli bo'shliqlari bo'lgan qo'shimcha konjugatsiyalangan (tarmoqlangan) polimerlar tanlanishi kerak [8]. Shuning uchun ham ushbu ishda fulleren tarkibiga ega bo'lmagan D-A polimer materiallari tanlandi. Dastlab PBB-TSD va IT-4F D-A materiallarini ITO/PEDOT:PSS ustiga alohida yotqizilib ularning yutilish spektrlari $300\text{nm}-900\text{nm}$ to'lqin uzunligi kengligida olindi. 1-rasmda PBB-TSD va IT-4F qatlamlarining yutilish spektrlari ko'rsatilgan.



1-rasm. PBB-TSD va IT-4F qatlamlarining yutilish spektri.

Olingan natijalarga e'tibor beradigan bo'lsak PBB-TSD qatlami yutilish spektri (qizil chiziq) 375nm , 530nm , 680nm to'lqin uzunliklarida maksimum piklar hosil bo'ldi. Demak PBB-TSD qatlami mana shu maksimum piklarni hosil qiluvchi to'lqin uzunliklarda yorug'likni yaxshi yutadi. IT-4F qatlami yutilish spektri maksimum piklari 625 nm 700 nm to'lqin uzunligiga mos keladi. Rasmdan ko'rinib turibdiki, PBB-TSD qatlamining yutilish spektri IT-4F qatlami yutilish spektriga nisbatan qisqa to'lqin uzunligida hosil bo'ldi. Olingan natijalardan ko'rish mumkinki, ko'zga ko'rinuvchi to'lqin uzunligi sohasi ($400\text{nm} \div 800 \text{ nm}$) da IT-4F qatlami yutilish spektri 500 nm va 800 nm to'lqin uzunligi orasida ancha yaxshi ekan. PBB-TSD uchun 368 nm da joylashgan intensiv yutilish cho'qqisi konjugatsiyalangan magistralning $\pi-\pi^*$ o'tishlari uchun xarakterlidir. PBB-TSD uchun 538 va 578 nm da joylashgan bimodal assimilyatsiya cho'qqilari donor va akseptor o'rtasida kuchli molekulyar zaryad o'tkazuvchanligi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Olingan yutilish spektrlaridan shuni aytishimiz mumkinki PBB-TSD va IT-4F qatlamlarining yutilish spektrlari OQElari uchun optimal natija ekanligi ma'lum bo'ldi [9].

Shundan so'ng PBB-TSD va IT-4F polimer materiallari D-A konsentratsiyasi bilan bog'liq turli-xil nisbatlarda xlorobenzolda eritildi va ITO/PEDOT:PSS ustiga faol qatlam sifatida qoplandi. Bundan tashqari PBB-TSD va IT-4F D-A materiallariga yaxshi aralashishi maqsadida qo'shimcha erituvchi 1,8-diodoktan (DIO) moddasi hajm bo'yicha 0.5% kichik konsentratsiyada kiritilib faol qatlam hosil qilindi. 2-rasmda DIO qo'shmasdan hamda DIO qo'shimcha sifatida kiritilgan faol qatlamlarning yutilish spektrlari ko'rsatilgan.



2-rasm. PBB-TSD:IT-4F va PBB-TSD:IT-4F+DIO faol qatlamlarining yutilish spektri.

2-rasmda shuni ko'rishimiz mumkinki, PBB-TSD:IT-4F ning yutilish spektri qizil chiziqli bilan ko'rsatilgan DIO kiritilgan PBB-TSD:IT-4F ning yutilishi qizil chiziqli bilan ko'rsatilgan. Olingan bu ikkala yutilish spektri OQElari uchun optimal natija bo'ldi [10]. Bu ikkala olingan natijadan shuni ko'rishimiz mumkinki DIO ni qo'shimcha sifatida kiritganimizda PBB-TSD:IT-4F maksimum piklari qisqa to'lqin uzunligi tomon siljiganini ko'rishimiz mumkin. Bunda maksimum piklar qisqa to'lqin uzunligi tomon 35 nmga siljidi. Ya'ni DIOsiz PBB-TSD:IT-4F faol qatlamining optimal yutilish spektri 750 nm to'lqin uzunligida DIO kiritilgan PBB-TSD:IT-4F maksimal yutilish spektri esa 715 nm to'lqin uzunligida hosil bo'lishini ko'rishimiz mumkin. Yutilish spektrining bunday qisqa to'lqin uzunligi tomon siljishi spektroskopiyada - "Gipsoxrom" deb ataladi. Gipsoxrom deb - yutilish spektrining yuqori energiyaga yoki qisqaroq to'lqin uzunligiga siljishi aytiladi. Bu albatta konjugatsiyalangan polimer materiallarining $\pi-\pi^*$ o'tishlari hamda bog'lanish darajalari bilan bog'liq. OQElari sohasidagi maqolalarda DIO ni faol qatlamga qo'shimcha sifatida kiritish alohida kristallitliklarning o'rtacha hajmiga ta'sir qilmaydi, balki ularning sonini oshiradi [11]. Bundan tashqari, DIO o'ziga xos o'lchamini saqlab, amorf domenlarda D-A larni o'zaro aralashishini yaxshilaydi. DIO qo'shimchasini kerakli miqdorda faol qatlam eritmasi tarkibiga qo'shish orqali uning sirt morfologiyasini tartiblanishiga va buning natijasida eksitonlar dissotsiatsiya oshishiga olib keladi. Demak DIO ni qo'shimcha sifatida kiritish PBB-TSD:IT-4F faol qatlamining yutilish spektrini yaxshilanishiga erishildi. OQE lari uchun mos D-A materiallarini tanlash, ularni massa ulushi, faol qatlamining yaxshi yutilish koeffitsienti hamda fotovoltaiik parametrlari muhim hisoblanadi. Demak bu ikkala IT-4F:PBB-TSD donor-akseptor yarimo'tkazgich polimer materiallari o'zaro birikib bir birini to'ldirib bir-biri bilan yaxshi D-A struktura hosil qilgan deya xulosa qilishimiz mumkin [12].

OQElarning faol qatlami yutilish spektri optik xossalarni bo'yicha olgan xulosalarimizni tekshirish uchun uning fotovoltaiik parametrlari turli sharoit (D-A materiallarni turli konsentratsiyada) larda o'lchandi. 1-jadvalda PBB-TSD:IT-4F asosidagi OQElarni turli sharoitlarda tayyorlab, ularning ochiq zanjir kuchlanishi (V_{oc}), qisqa tutashuv tok oqim zichligi (J_{sc}), to'ldiruvchi faktor (FF), energiya o'zgartirish samaradorligi EO'S kabi fotovoltaiik parametrlari ko'rsatilgan.

1-jadval. Turli ishlov berish sharoitlarida olingan PBB-TSD:IT-4F asosidagi OQElarning fotovoltaiik parametrlari.

PBB-TSD:IT-4F (massa bo'yicha)	Qo'shimcha	V_{oc} [V]	J_{sc} [mA cm ⁻²]	FF [%]	EO'S [%]
1:1	-	0.91	20.0	69.2	12.6
1:1.2	-	0.93	20.6	70.7	13.6
1:1.4	---	0.92	19.4	68.4	12.8
1:1.5	---	0.91	20.0	69.2	12.6
1:1.2 ^a	0.5% DIO	0.89	21.9	74.5	14.6

1- jadvalda PBB-TSD:IT-4F asosli OQE larning D-A materiallari eritmasini massa ulushi bo'yicha turli nisbat (1:1, 1:1.2 va 1:1.4 1:1.5 1:1.2^a)da olib, hamda DIO ni qo'shimcha sifatida kiritib "spin coating" usuli bilan hosil qilingan OQE larining fotovoltaiik parametrlari ko'rsatilgan. Jadvaldan ko'rinib turibdiki, PBB-TSD:IT-4F asosidagi OQElarning D-A materiallari uchun optimal bo'lgan massa ulushi nisbati 1:1.2 ekan. Bunda ochiq zanjir kuchlanishi 0.93 V, qisqa tutashuv tok zichligi 20.6 mA sm⁻², to'ldirish faktori 70.7% va EO'S esa 13.6 % tashkil qildi. Faol qatlam D-A tarkibi uchun optimal bo'lgan 1:1.2 nisbatni olib unga qo'shimcha sifatida 0.5 % hajmda DIO moddasini kiritildi. Natijada PBB-TSD:IT-4F asosidagi OQElarning fotovoltaiik parametrlari yanada yaxshilanishiga erishildi. Jadvaldan ko'rishimiz mumkinki, DIO qo'shimcha kiritilganda ochiq zanjir kuchlanishi 0.89 V, qisqa tutashuv tok zichligi 21.9 mA sm⁻², to'ldirish faktori 74.5 % va EO'S esa 14.6 % tashkil qildi. Demak PBB-TSD:IT-4F asosidagi OQE ga DIO moddasini 0.5 % hajmda qo'shimcha sifatida kiritganimizda uning EO'S 13.6 % dan 14.6 % o'sishini jadvaldan ko'rishimiz mumkin [13].

Xulosa. Fullerenisiz PBB-TSD:IT-4F polimer asosli OQElarini fotovoltaiik parametrlari faol qatlam tarkibidagi D-A materiallarni alohida yutilish spektrlarining parametrlariga, hamda ularning hajmiy geterostruktura usulida olingan faol qatlami yutilish spektriga bog'liq ekan. DIO moddasini hajm bo'yicha 0.5 % konsentratsiyada qo'shimcha sifatida kiritish orqali PBB-TSD:IT-4F OQE larning optik hamda fotovoltaiik parametrlarini yaxshilanishiga erishish mumkin ekan. PBB-TSD:IT-4F polimer asosli OQElari faol qatlam tarkibidagi D-A materiallarni massa ulushi bo'yicha 1:1.2 nisbatda olinganda optimal fotovoltaiik parametrlarga erishildi. Bu natijadan xulosa shuki, OQElarning optik va fotovoltaiik parametrlari D-A materiallari massa ulushiga ham bog'liq ekan. DIO ga o'xshash qo'shimcha erutuvchilarning D-A eritmasida ishtiroki donor va akseptorlarning tartibli bog'lanishi, zaryadlarning harakatchanligini va D-A faol qatlamlarning morfologiyasini yaxshilashda alohida ahamiyatga ega ekan.

ADABIYOTLAR

1. Liu, X.; Ma, R.; Wang, Y.; Du, S.; Tong, J.; Shi, X.; Li, J.; Bao, X.; Xia, Y.; Liu, T.; Yan, H. Significantly Boosting Efficiency of Polymer Solar Cells by Employing A Nontoxic Halogen-Free Additive. ACS Appl. Mater. Interfaces 2021, 13, 11117–11124.

2. Han, J.; Wang, X.; Huang, D.; Yang, C.; Yang, R.; Bao, X. Employing Asymmetrical Thieno[3, 4-d]pyridazin-1(2H)-one Block Enables Efficient Ternary Polymer Solar Cells with Improved Light-Harvesting and Morphological Properties. *Macromolecules* 2020, 53, 6619–6629.
3. Xu, Y.; Cui, Y.; Yao, H.; Zhang, T.; Zhang, J.; Ma, L.; Wang, J.; Wei, Z.; Hou, J. A New Conjugated Polymer that Enables the Integration of Photovoltaic and Light-Emitting Functions in One Device. *Adv. Mater.* 2021, 33, 2101090.
4. Fan, B.; Li, M.; Zhang, D.; Zhong, W.; Ying, L.; Zeng, Z.; An, K.; Huang, Z.; Shi, L.; Bazan, G. C.; Huang, F.; Cao, Y. Tailoring Regioisomeric Structures of pi-Conjugated Polymers Containing Monofluorinated pi-Bridges for Highly Efficient Polymer Solar Cells. *ACS Energy Lett.* 2020, 5, 2087–2094.
5. Wang, J.; Yu, H.; Hou, C.; Zhang, J. Solution-processable PEDOT: PSS: In₂Se₃ with Enhanced Conductivity as a Hole Transport Layer for High-Performance Polymer Solar Cells. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2020, 12, 26543–26554.
6. Hu, L.; Song, J.; Yin, X.; Su, Z.; Li, Z. Research Progress on Polymer Solar Cells Based on PEDOT:PSS Electrodes. *Polym. Rev.* 2020, 12, 145.
7. Li, W.; Liu, Q.; Jin, K.; Cheng, M.; Hao, F.; Wu, W.-Q.; Liu, S.; Xiao, Z.; Yang, S.; Shi, S.; Ding, L. Fused-Ring Phenazine Building Blocks for Efficient Copolymer Donors. *Mater. Chem. Front.* 2020, 4, 1454–1458.
8. Chen, C.; Zhang, C.; Peng, Y.; Wang, N.; Liu, X.; Du, S.; Tong, J.; Li, J.; Xia, Y. An Alcohol-Soluble Small Molecule as Efficient Cathode Interfacial Layer Materials for Polymer Solar Cells. *Opt. Mater.* 2021, 113, 110909.
9. Liu, G.; Jia, T.; Zhang, K.; Jia, J.; Yin, Q.; Zhong, W.; Jia, X. e.; Zheng, N.; Ying, L.; Huang, F.; Cao, Y. Chlorinated Fused Nonacyclic Non-Fullerene Acceptor Enables Efficient Large-Area Polymer Solar Cells with High Scalability. *Chem. Mater.* 2020, 32, 1022–1030.
10. Sun, C.; Pan, F.; Chen, S.; Wang, R.; Sun, R.; Shang, Z.; Qiu, B.; Min, J.; Lv, M.; Meng, L.; Zhang, C.; Xiao, M.; Yang, C.; Li, Y. Achieving Fast Charge Separation and Low Nonradiative Recombination Loss by Rational Fluorination for High-Efficiency Polymer Solar Cells. *Adv. Mater.* 2019, 31, 1905480.
11. Xia, D.; Wu, Y.; Wang, Q.; Zhang, A.; Li, C.; Lin, Y.; Colberts, F. J. M.; van Franeker, J. J.; Janssen, R. A. J.; Zhan, X.; Hu, W.; Tang, Z.; Ma, W.; Li, W. Effect of Alkyl Side Chains of Conjugated Polymer Donors on the Device Performance of Non-Fullerene Solar Cells. *Macromolecules* 2016, 49, 6445–6454.
12. Wen, S.; Li, Y.; Rath, T.; Li, Y.; Wu, Y.; Bao, X.; Han, L.; Ehmman, H.; Trimmel, G.; Zhang, Y.; Yang, R. A Benzobis(thiazole)-Based Copolymer for Highly Efficient Non-Fullerene Polymer Solar Cells. *Chem. Mater.* 2019, 31, 919–926.
13. Wen, S.; Li, Y.; Zheng, N.; Raji, I. O.; Yang, C.; Bao, X. High-Efficiency Organic Solar Cells Enabled by Halogenation of Polymers Based on 2D Conjugated Benzobis(thiazole). *J. Mater. Chem. A* 2020, 8, 13671–13678.