

**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*

**Abror TURG'UNBOEV,**

*O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti.*

*Kondensirlangan muhitlar optikasi laboratoriyasi kichik ilmiy xodimi*

**Farid RO'ZIYEV,**

*O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti.*

*Kondensirlangan muhitlar optikasi laboratoriyasi kichik ilmiy xodimi*

**Muhibjon IMOMOV**

*Namangan davlat pedagogika instituti katta o'qituvchisi*

**Sanobar REYMBAYEVA,**

*O'zbekiston Milliy Universiteti o'qituvchisi*

**Hamida IBRAGIMOVA,**

*O'zbekiston Milliy Universiteti magistranti*

*M.-f.f.n. (PhD), dotsent, G'.B.Eshonqulov taqrizi asosida*

## OPTICAL AND PHOTOVOLTAIC PROPERTIES OF DONOR POLYMERS D18 AND D18-C6CH

Annotation

Organic solar cells (OSCs) are a type of alternative energy, and extensive research is underway in this field to address the global energy crisis. OSCs are considered superior to traditional silicon-based inorganic solar cells due to their lower cost, flexibility, lighter weight, and ability to be processed using solutions. In particular, OSCs based on non-fullerene polymers have shown promising results with good stability and efficient power conversion efficiency (PCE). This article investigates the optical and photovoltaic properties of non-fullerene D18:L8-Bo and D18-C6Ch:L8-Bo based OSCs.

**Key words:** D18:L8-Bo, D18-C6Ch:L8-Bo, organic solar cell, non-fullerene, absorption, photoluminescence, spin coating.

## ОПТИЧЕСКИЕ И ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДОНОРНЫХ ПОЛИМЕРОВ D18 И D18-C6CH

Аннотация

Органические солнечные элементы (ОСЭ) представляют собой тип альтернативной энергии, и в этой области проводятся обширные исследования для решения глобального энергетического кризиса. ОСЭ считаются превосходящими традиционные неорганические солнечные элементы на основе кремния из-за их более низкой стоимости, гибкости, меньшего веса и возможности обработки с использованием растворов. В частности, ОСЭ на основе нефуллереновых полимеров показали многообещающие результаты с хорошей стабильностью и эффективной эффективностью преобразования энергии (ЭПЭ). В данной статье исследуются оптические и фотоэлектрические свойства ОСЭ на основе нефуллеренов D18:L8-Bo и D18-C6Ch:L8-Bo.

**Ключевые слова:** D18:L8-Bo, D18-C6Ch:L8-Bo, органический солнечный элемент, нефуллерен, поглощения, фотолуминесценции, спиновое покрытие.

## D18 VA D18-C6CH DONOR POLIMERLARNING OPTIK VA FOTOVOLTAIK XUSUSIYATLARI

Annotatsiya

Organik quyosh elementlari (OQE) muqobil energiya turlaridan biri bo'lib, global energetika inqirozini bartaraf etish uchun ushbu sohada jadal tadqiqotlar o'tkazilmoqda. OQElar arzonligi, moslashuvchanligi, yengilligi va eritmani qayta ishlash imkonini mavjudligi bilan Si-asosidagi noorganik quyosh elementlaridan afzalroq deb qaralmoqda. Xususan fulleren bo'lmagan polimer asosli OQElar o'zining barqarorligi hamda samarali energiya o'zgartirish samaradorligi (EO'S) bilan yaxshi natijalar ko'rsatmoqda. Ushbu maqolada fulleren bo'lmagan D18:L8-Bo va D18-C6Ch:L8-Bo asosli OQElarining optik va fotovoltaiik parametrlari tadqiq qilindi.

**Kalit so'zlar:** D18:L8-Bo, D18-C6Ch:L8-Bo, organik quyosh elementi, fulleren bo'lmagan, yutilish, fotolyuminessensiya, "spin coating".

**Kirish.** So'nggi yillar davomida organik quyosh elementlari (OQE) sohasida global energetika inqirozini bartaraf etish uchun juda keng ko'lamli tadqiqotlar olib borilmoqda. OQElar arzonligi, moslashuvchanligi, yengilligi va eritmani qayta ishlash imkonini mavjudligi bilan Si-asosidagi noorganik quyosh elementlaridan afzalroq deb qaralmoqda [1]. Bunday, ijobiy xususiyatlar tadqiqotchi olimlarni tijoratlashtirish uchun zarur bo'lgan hamda sezilarli darajada yuqori energiya o'zgartirish samaradorligi (EO'S) ga erishish uchun qo'shimcha tadqiq qilish va tahlil qilishga undaydi. Xususan hozirda fulleren bo'lmagan yangi avlod OQElari jadal rivojlanmoqda. Fulleren bo'lmagan OQElar elektron qabul qiluvchi material sifatida fullerenlardan foydalanmaydigan organik quyosh elementi hisoblanadi [2]. Ma'lumki, fullerenlar uglerod molekularining sinfi bo'lib, ular elektronlarni osongina tortib olish va barqaror zaryad o'tkazish xususiyati bilan mashhur [3]. Biroq, fullerenlar nisbatan qimmat va materialni sintez qilish biroz murakkab hamda qiyinchilik bilan olinadi. O'z navbatida, fulleren bo'lmagan materiallar keng ko'lamli optik va elektron xususiyatlarga ega hamda an'anaviy fulleren asosidagi OQElariga nisbatan bir qator afzalliklarga ega:

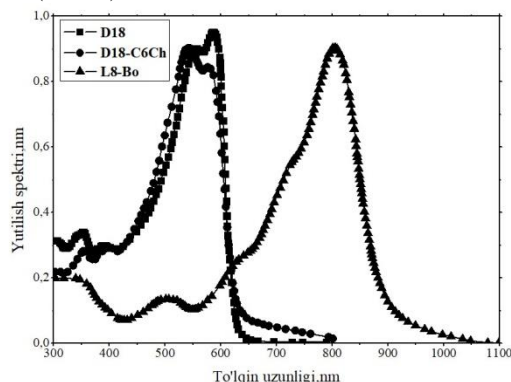
Energiya o'zgarishining yuqori samaradorligi: Fulleren bo'lmagan OQElar 19% dan ortiq EO'Sga erishdi, bu eng yaxshi fullerenga asoslangan OQElarning natijalaridan ancha yuqori [4];

Kengroq yutilish spektrlari: Fulleren bo'lmagan OQElar fulleren asosidagi OQElarga qaraganda kengroq to'lqin uzunlikdagi yorug'likni yutadi, bu ularni quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirishda samaraliroq qiladi [5];

Yaxshilangan barqarorlik: Fulleren bo'lmagan OQElar fulleren asosidagi OQElarga qaraganda degradatsiyaga nisbatan ancha barqaror, bu ularni uzoq muddatli foydalanish uchun ko'proq moslashtiradi (inkapsulyatsiyasiz 10 000 soatdan ortiq barqarorlik) [6];

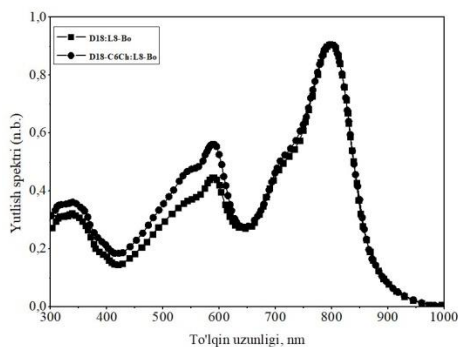
Kamroq xarajat: Fulleren bo'lmagan materiallarining arzonligi tufayli fulleren asosidagi OQElarga qaraganda arzonroq narxda ishlab chiqarilish imkonini mavjud [7].

Bu ishda donor material D18 va D18-C6Ch hamda fulleren bo'lmagan akseptor L8-Bo materiallardan foydalangan holda OQElarni yasab ularning optik va fotovoltaiik xususiyatlarini qiyosiy tadqiq qildik. Yangi polimer materiallarni sintez qilishda yon zanjirli muhandislik usuli odatda organik fotovoltaiik materiallarni loyihalash va EO'Sni oshirishda oddiy va samarali strategiya sifatida tan olingan [8]. Lekin hozirgi kunda yangi polimerlarni sintez qilishda an'anaviy yon zanjir muhandisligidan farqli o'laroq, qattiq siklik va moslashuvchan alkil zanjirini birlashtirgan holda yangi gibril yon zanjirlar guruhiga asoslangan dizayn va sintez usuli yaratilgan [9]. Yangi gibril yon zanjir muhandisligi yordamida polimer strukturasi siklopentan, siklogeksan va siklogeptan izomerlarini kiritish orqali hosil qilinadi. D18 polimerini yon zanjiri dumiga siklogeksan izomerini kiritish orqali D18-C6Ch yangi donor materiali hosil qilinadi [10]. OQElarni olishda spektroskopiya usulidan foydalanish samarali bo'lgan donor va akseptor polimer materiallarni tanlashda muhim ro'l o'ynaydi. Shuning uchun dastlab, D18, D18-C6Ch donorlari hamda L8-Bo akseptor materiallari dixlorbenzolda eritilib ularning eritma holatida yutilish spektrlari tahlil qilindi (1-rasm).



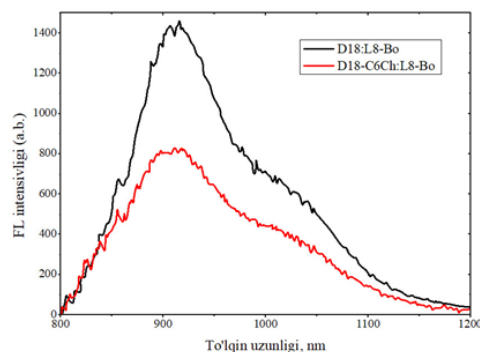
**1-rasm. D18, D18-C6Ch va L8-Bo polimer eritmalarining yutilish spektrlari**

1-rasmdagi D18, D18-C6Ch va L8-Bo ning yutilish spektrlaridan ko'rinadiki, OQElar uchun qulay material ekan, ya'ni ularni mos nisbatda qo'shish orqali samarali keng diapazondagi yutilish spektrini olishimiz mumkin. Ma'lumki, yutilish spektri OQElarining ishlashida hal qiluvchi rol o'ynaydi. Keng va yuqori darajadagi yutilish spektri yorug'likni maksimal miqdorda yig'ish, samarali zaryad ishlab chiqarish va energiya yo'qotishlarini minimallashtirish uchun zarurdir [11]. Tanlangan D18, D18-C6Ch va L8-Bo materiallarining massa ulushlari 1:1 nisbatda olinib xlorobenzolda eritildi. Eritmalarning yutilish spektrlari 2-rasmda keltirilgan. Yutilish spektrning diapazoni bu materiallarni OQElari uchun optimal natija sifatida foydalanish imkonini beradi. Bundan tashqari grafikdan aralashmalarning spektrlarni deyarli mos ekanini ko'rishimiz mumkin.



**2-rasm. D18:L8-Bo va D18-C6Ch:L8-Bo eritmalarining yutilish spektri**

Maksimum piklar ikkala spektrda ham 591 nm va 800 nm to'liq uzunligida qayd etildi. Albatta, OQElarida yutilish spektri haqida ma'lumotga ega bo'lish va ularni optimallashtirish yuqori samarali OQElarni tayyorlash uchun juda muhim hisoblanadi. Shu sababdan, tayyorlab olingan D18:L8-Bo va D18-C6Ch:L8-Bo eritmalarning FL spektrlari ham tahlil qilindi. Chunki faol qatlam FL spektri OQElarning optoelektronik xarakteristikalarini aniqlash va ularni optimallashtirishda muhim ahamiyatga ega. FL spektrini tahlil qilish orqali faol qatlam energiya darajalari, eksiton dissotsiatsiyalanish samaradorligi, zaryadning rekombinatsiya jarayonlari va faol qatlam morfologiyasi haqida umumiy ma'lumotlar olib yanada samarali OQElarni yasash mumkin [12].

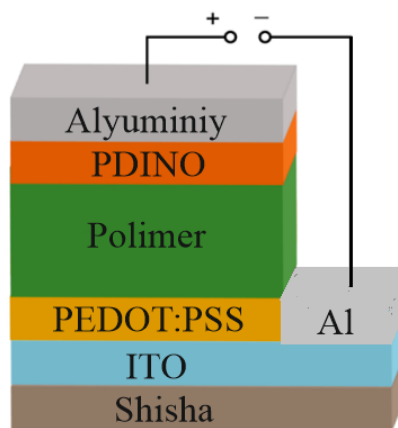


**3-rasm. D18:L8-Bo va D18-C6Ch:L8-Bo eritmalarining FL spektri.**

3-rasmda D18:L8-Bo va D18-C6Ch:L8-Bo eritmalarining FL spektrlari ko'rsatilgan. Grafikdan D18:L8-Bo va D18-C6Ch:L8-Bo FL spektrlari sezilarli darajada farq qilishini ko'rishimiz mumkin. D18:L8-Bo eritma FL spektri D18-C6Ch:L8-Bo eritmasining FL spektriga qaraganda kuchliroq FL spektriga ega. Ushbu spektrlar orasidagi keskin farq D18-C6Ch:L8-Bo eritmaning D18:L8-Bo eritmasiga nisbatan zaryadlarning yuqori qo'zg'atuvchi dissotsiatsiya samaradorligiga ega ekanligini ko'rsatadi. D18:L8-Bo eritmasi FL spektri 1100 nm atrofida maksimum pikga ega, D18-C6Ch:L8-Bo eritmasining FL spektri esa 1050 nm atrofida maksimum pik kuzatildi. Bu shuni ko'rsatadiki, D18-C6Ch:L8-Bo eritmasi D18:L8-Bo eritmasiga nisbatan keng ta'qiqlangan soha oraliqqa ega ekanligini ko'rsatadi.

Yuqorida olingan natijalardan birlamchi xulosa qilib, OQELar uchun yaxshi natija ekanligini inobatga olgan holda D18:L8-Bo va D18-C6Ch:L8-Bo asosli OQELarini tayyorlab olindi.

Bugungi kunda tayyor fotoelementlarni iste'mol bozoriga ommaviy tarzda sotuvga chiqarish uchun uzluksiz bosma usulidan foydalanish ideal hamda istiqbolli bo'lib turibdi. Lekin, dunyo olimlari tomonidan OQELar bo'yicha olib borilgan ilmiy izlanishlarida OQELarining samaradorligini oshirish va yaroqlik muddati kabi turli xil parametrlarini tadqiq qilish uchun laboratoriya sharoiti texnologik jarayonlarida "spin coating" usulidan keng foydalaniladi [13]. E'tiborlisi, "spin coating" usulida aralashma ko'p miqdorda sarf bo'lsada, eng yaxshi natijani (faol qatlamning kerakli qalinligini) aniqlash mumkin bo'ladi. Shu sababdan, birlamchi fotoelementlarni tayyorlash jarayonida "spin coating" usulidan foydalanildi. OQE yasash texnologiyasi quydagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi.



**4-rasm. OQE strukturasi.**

Dastlab ITO (indiy qalay oksidi) qoplangan shisha tagliklar, ultratovush vannada ultra toza suv, aseton va izopropil spiri bilan tozalanadi, 6 daqiqa kislorod plazmasi bilan ishlov berilgandan so'ng, "spin coating" usuli bilan PEDOT:PSS (poli(3,4-etilendioksitiofen) polistirol sulfonat) (~30 nm) yupqa qatlami ITO ustiga yotqiziladi va 20 daqiqa davomida 160 °C da qizdiriladi. D18, L8-Bo va D18-C6Ch polimer materiallarining massa ulushlari 1:1.4, 1:1.6 va 1:1.8 nisbatlarda 10 mg/ml konsentratsiyali xlorobenzolda eritiladi. Eritma bir necha soat davomida xona haroratida aralastiriladi va PEDOT:PSS qatlami ustiga "spin coating" usuli bilan qoplanadi. Faol qatlamning qalinligi ~110 nm bo'ladi. Keyin PDINO (amino N-oksidi bilan ishlaydigan perilendiimid)ning yupqa bir qatlami metanol eritmasida (1,0 mg/ml) 30 soniya davomida 4000 ayl/min tezlikda faol qatlam yuzasiga qoplanadi. Nihoyat, faol qatlam sirtida termik usulda bug'lantirish orqali  $4 \cdot 10^{-4}$  Pa bosim ostida qalinligi 100 nm bo'lgan Al qatlami yotqiziladi. Birlamchi tayyorlangan faol qatlamli OQE asosli fotoelement 4-rasmda keltirilgan. Yasab olingan D18:L8-Bo va D18-C6Ch:L8-Bo asosli OQELarini fotovoltaiik parametrlari turli xil sharoitlarda tadqiq qilindi. 1-jadvalda 25 °C va 80 °C haroratlarda va massa ulushi bo'yicha 1:1.4, 1:1.6 va 1:1.8 nisbatlarda tayyorlangan D18:L8-Bo asosli OQELarining fotovoltaiik parametrlari ko'rsatilgan. D18:L8-Bo uchun olingan natijalardan ko'rinadiki, eng optimal fotovoltaiik qiymatlar 25 °C da massa ulushi bo'yicha 1:1.6 nisbatda hosil bo'ldi. Bunda ochiq zanjir kuchlanishi qiymati  $V_{oc} = 0.9$  V, qisqa tutashuv toki  $J_{sc} = 23.61$  mA cm<sup>-2</sup>, to'ldirish faktori - 72.4 % ni hamda EO'S qiymati - 15.7 % ga teng ekan.

**1-jadval. D18:L8-Bo OQE ning turli xil sharoitlardagi fotovoltaiik parametrlari.**

D18:L8-Bo (massa bo'yicha)	Harorat (°C)	$V_{oc}$ (V)	$J_{sc}$ (mA cm <sup>-2</sup> )	FF (%)	EO'S (%)
1:1.4	25	0.91	23.99	68.9	14.8
1:1.6	25	0.92	23.61	72.4	15.7
1:1.8	25	0.92	23.30	70.3	14.9
1:1.6	80	0.90	24.10	71.3	15.6

D18-C6Ch:L8-Bo asosli OQE ham yuqoridagi usul hamda sharoitlarda yasab olindi va fotovoltaiik parametrlari tadqiq qilindi. Olingan natijalar 2-jadvalda ko'rsatilgan. Bu fotovoltaiik parametrlardan ham eng optimal natija 25 °C haroratda

1:1.6 nisbatda olinganini ko'rishimiz mumkin. Ochiq zanjir kuchlanishi  $V_{oc} = 0.93$  V, qisqa tutashuv toki  $J_{sc} = 24.2$  mA cm<sup>-2</sup>, to'ldirish faktori - 74.6 % va EO'S qiymati - 16.9 % ni tashkil etdi. Yuqoridagi olingan natijalarni o'zaro solishtiradigan bo'lsak, bir-xil sharoitda olingan D18:L8-Bo va D18-C6Ch:L8-Bo asosli OQElarini fotovoltaiik parametrlari uchun optimal bo'lgan variant D18-C6Ch:L8-Bo asosli OQE ekanini ko'rishimiz mumkin.

**2-jadval. D18-C6Ch:L8-Bo OQE ning turli xil sharoitlardagi fotovoltaiik parametrlari.**

D18-C6Ch:L8-Bo (massa bo'yicha)	Harorat (°C)	$V_{oc}$ (V)	$J_{sc}$ (mA cm <sup>-2</sup> )	FF (%)	PCE (%)
1:1.4	25	0.93	23.64	72.6	15.9
1:1.6	25	0.93	24.20	74.6	16.9
1:1.8	25	0.93	23.69	73.1	16.0
1:1.6	80	0.92	24.57	74.2	16.9

Olingan natijalarni tahlil qilish orqali bir nechta xulosalar kelib chiqadi. Xususan D18-C6Ch:L8-Bo OQening FL spektri intensivligi kamligi uning EO'S yuqori ekanini bilan bog'liq. Jadvallarda olingan natijalarga ko'ra, D18-C6Ch:L8-Bo ning EO'S haqiqatdan yuqori 16.9 % qiymatni oldi. D18-C6Ch:L8-Bo OQE tegishli haroratlardagi va massa ulushi nisbatlarida yuqori EO'S qiymatiga ega bo'ldi. D18-C6Ch:L8-Bo OQE tegishli haroratlardagi va massa ulushi nisbatlarida yuqori ochiq zanjir kuchlanishiga  $-V_{oc}$  ega bo'lib, zaryad tashuvchilarni ajratishda samaraliroq ekanligini ko'rsatadi. D18-C6Ch:L8-Bo tegishli haroratlardagi va massa ulushi nisbatlarida yuqori to'ldirish faktoriga-FF ega ekanligi, zaryad tashuvchilarni elektrodga tashishda samaraliroq bo'lishini ta'minlaydi.

Umumiy xulosa qilib aytadigan bo'lsak D18-C6Ch:L8-Bo asosli OQE o'zining 17 % ga yaqin EO'S hamda optimal bo'lgan fotovoltaiik parametrlari orqali samarali bo'lgan OQE ekanini ko'rsatdi. D18-C6Ch va L8-Bo fulleren bo'lmagan polimerlar sinfidan nisbatan yangi materiallar bo'lib, OQElarda ularning xarakteristikalarini va parametrlari hali ko'p o'rganilishi kerak. Biroq, dastlabki olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, D18-C6Ch va L8-Bo fulleren bo'lmagan yuqori samarali OQElarni ishlab chiqish uchun istiqbolli natijalar ko'rsatmoqda. Fulleren bo'lmagan D18-C6Ch va L8-Bo asosli OQElarning natijalari kelgusida yuqoridagi polimerlar sinfining tadqiq qilingadigan muammoli yo'nalishlarni ko'rsatib berishga zamin yaratadi.

#### ADABIYOTLAR

- Kim S., Van Quy H., Bark C. W. Photovoltaic technologies for flexible solar cells: beyond silicon //Materials Today Energy. – 2021. – T. 19. – C. 100583.
- Cheng P. et al. Next-generation organic photovoltaics based on non-fullerene acceptors //Nature Photonics. – 2018. – T. 12. – №. 3. – C. 131-142.
- Dresselhaus M. S., Dresselhaus G., Eklund P. C. Fullerenes //Journal of materials research. – 1993. – T. 8. – №. 8. – C. 2054-2097.
- Li D. et al. Fibrillation of Non-Fullerene Acceptors Enables 19% Efficiency Pseudo-Bulk Heterojunction Organic Solar Cells //Advanced Materials. – 2023. – T. 35. – №. 6. – C. 2208211.
- Yan C. et al. Non-fullerene acceptors for organic solar cells //Nature Reviews Materials. – 2018. – T. 3. – №. 3. – C. 1-19.
- Acquah, Steve FA, et al. "The beautiful molecule: 30 years of C60 and its derivatives." ECS Journal of Solid State Science and Technology 6.6 (2017): M3155.
- Hou J. et al. Organic solar cells based on non-fullerene acceptors //Nature materials. – 2018. – T. 17. – №. 2. – C. 119-128.
- Liu, Qishi, et al. "18% Efficiency organic solar cells." Science Bulletin 65.4 (2020): 272-275.
- Li Z. et al. Over 17% efficiency all-small-molecule organic solar cells based on an organic molecular donor employing a 2D side chain symmetry breaking strategy //Energy & Environmental Science. – 2022. – T. 15. – №. 10. – C. 4338-4348.
- Li Y. et al. A facile strategy for third-component selection in non-fullerene acceptor-based ternary organic solar cells //Energy & Environmental Science. – 2021. – T. 14. – №. 9. – C. 5009-5016.
- Fei Guo, Chuan, et al. "Metallic nanostructures for light trapping in energy- harvesting devices." Light: Science & Applications 3.4 (2014): e161-e161.
- Zhao, Fuwen, Chunru Wang, and Xiaowei Zhan. "Morphology control in organic solar cells." Advanced Energy Materials 8.28 (2018): 1703147.
- Cheng P. et al. Comparison of additive amount used in spin-coated and roll-coated organic solar cells //Journal of Materials Chemistry A. – 2014. – T. 2. – №. 45. – C. 19542-19549.