

Article

Turli erituvchilarda tayyorlangan D18 va DEH-X seriyali asosidagi yarim shaffof organik quyosh elementlari

E.A. Zaxidov ¹ , V.O. Quvondiqov ^{1,2} , F.M. Ro'ziyev ¹, A.Y. Turg'unboyev ¹ , A.A. Saparbayev ^{*1,2}

- ¹ Kondensirlangan muhitlar optikasi laboratoriyasi, U.A. Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti, Toshkent, 100125, O'zbekiston
- ² Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, 100174, O'zbekiston
ezakhidov@hotmail.com (E.Z.), vahobjon87@gmail.com (V.Q.), roziyevf@iplt.uz (F.R) turgunovabr9606@gmail.com (A.T.), comsaparbaevaziz83@gmail.com (A.S.)
- * Correspondence: comsaparbaevaziz83@gmail.com; Tel.: +998 88 7801441 (A.S.)

Xulosa:

Ushbu tadqiqot yarim shaffof organik quyosh elementlarida (YSH-OQE) D18 va DEH-X seriyali donor polimerlarning optik va fotovoltaiik xususiyatlarini o'rganadi. D18, DEH-3, DEH-10, DEH-20 donor polimerlarini L8-Bo akseptor bilan 1:1 nisbatda aralashtirish orqali toluol va xloroform erituvchisida eritilib faol qatlamlar tayyorlab olindi. Yutilish spektrlari, tashqi kvant samaradorligi (TKS) va fotovoltaiik parametrlari, jumladan, qisqa tutashuv toki (J_{sc}), ochiq zanjir kuchlanishi (V_{oc}), energiya o'zgarish samaradorligi (EO'S) va o'rtacha ko'rinadigan o'tkazuvchanligi (AVT), tahlil qilindi. DEH-X seriyasi yorug'lik yutishini oshiradi va zaryad tashish jarayonini yaxshilaydi, bu esa qurilmaning samaradorligini oshiradi.

Kalit so'zlar: YSH-OQE, EO'S, D18, AVT, TKS, samaradorlik, barqarorlik, toluol, xloroform.

Semi-transparent organic solar cells based on D18 and DEH-X series prepared in different solvents

Erkin A.Zakhidov ¹ , Vakhobjon O.Quvondiqov ^{1,2} , F.M. Roziyev ¹, Abror Y.Turgunboev ¹ , Aziz A.Saparbayev ^{*1,2}

- ¹ Laboratory of Optics of Condensed Media, Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies named after U.A. Arifov, Tashkent, 100125, Uzbekistan
- ² Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan, Tashkent, 100174, Uzbekistan
ezakhidov@hotmail.com (E.Z.), vahobjon87@gmail.com (V.Q.), roziyevf@iplt.uz (F.R) turgunovabr9606@gmail.com (A. T.), comsaparbaevaziz83@gmail.com (A.S.)

Iqtibos: E.A. Zaxidov, V.O. Quvondiqov, F.M. Ro'ziyev, A.Y. Turg'unboyev, A.A. Saparbayev. Turli erituvchilarda tayyorlangan D18 va DEH-X seriyali asosidagi yarim shaffof organik quyosh elementlari. **2024**, 1,2, 6. <https://doi.org/>

Olingan: 10.12.2024

Tuzatilgan: 18.12.2024

Qabul qilingan: 25.12.2024

Nashr qilingan: 30.12.2024

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted to for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract:

This study investigates the optical and photovoltaic properties of D18 and DEH-X series donor polymers in semi-transparent organic solar cells (ST-OSCs). Active layers were prepared by mixing D18, DEH-3, DEH-10, DEH-20 donor polymers with L8-Bo acceptor in a 1:1 ratio by dissolving them in toluene and chloroform solvent. Absorption spectra, external quantum efficiency (EQE) and photovoltaic parameters, including short-circuit current (J_{sc}), open-circuit voltage (V_{oc}), energy conversion efficiency (PCE) and average visible transmittance (AVT), were analyzed. The DEH-X series increases light absorption and improves charge transport, which improves the efficiency of the device.

Keywords: ST-OSCs, PCE, D18, AVT, EQE, efficiency, stability, toluene, chloroform.

Kirish

YSH-OQE larni rivojlantirishda EO'S va AVT o'rtasida optimal muvozanatni ta'minlash asosiy muammolardan biri hisoblanadi. Polimer asosidagi donor materiallar OQE larning optik yutilish

va zaryd tashish xususiyatlarini belgilashda muhim rol o'ynaydi[1]. So'ngi yillarda D18polimeri ko'rinadigan sohadagi kuchli yutilish va yuqori zaryad tashish harakatchanligi tufayli samarali donor materiali sifatida ajralib chiqmoqda. Bundan tashqari, DEH-3, DEH-10, DEH-20 kabi modifikatsiyalangan donor polimerlari ishlab chiqarilib, qurilma samaradorligini yanada oshirishga xizmat qilmoqda. Ushbu donor polimerlar L8-Bo kabi fulleren bo'lmagan akseptorlar bilan birikkanida, YSH-OQE lar uchun istiqbolli xususiyatlarga ega bo'ladi.

Ushbu tadqiqotda biz D18 asosidagi donor polimerlar va DEH-X seriyasining L8-Bo akseptorlar bilan aralashtirilgan holatdagi optik va fotovoltaiik xususiyatlarini tahlil qildik. Faol qatlamlar eritma orqali tayyorlash usuli yordamida Toluol hamda Xloroform erituvchisida hosil qilindi. Optik xususiyatlar, yutilish spektrlari va AVT o'lchab chiqilib, plyonkalarining shaffofligi va yorug'lik yutilish qobiliyati baholandi. Shuningdek, hosil bo'lgan OQElarni fotovoltaiik samaradorligi J-V xarakteristikasi, TKS va boshqa muhim parametrlari ya'ni J_{sc} , V_{oc} va to'ldirish faktori (FF) bo'yicha baholandi hamda tahlil qilindi.

YSH-OQE larni optimallashtirishda muhim jihatlardan biri plyonka morfologiyasidir, chunki u bevosita zaryad tashish va rekombinatsiya dinamikasiga ta'sir qiladi. YSH-OIQE lar uchun yana bir muhim omil samaradorlik va shaffoflik o'rtasidagi muvozanatdir. Oynaviy fotovoltaiika kabi ilovalarda yuqori AVT talab etilgan bo'lsa-da haddan tashqari shaffoflik yorug'lik yutilishini pasaytirib, EO'S ni kamaytirishi mumkin. Ushbu muammoni hal qilish uchun biz turli plyonka qalinliklari va erituvchi qo'shimchalarini o'rganib, AVT va qurilma samaradorligi o'rtasidagi muvozanatni aniqlashga harakat qildik. Material tarkibi, ishlab chiqarish sharoitlari va qurilma samaradorligi o'rtasidagi bog'liqlikni tizimli tahlil qilish orqali ushbu tadqiqot yuqori samarali YSH-OQE larni ishlab chiqish bo'yicha qimmatli ma'lumotlarni taqdim etadi[2]. Tadqiqot natijalari kelajak avlod energiya ilovalari uchun samarali va vizual jihatdan jozibador organik fotovoltaiik qurilmalarni loyihalash bo'yicha davom etayotgan say-harakatlarga o'z hissasini qo'shadi.

Materiallar va usullar

D18 hamda D18 asosida yangi sintez qilib olingan DEH-3, DEH-10 va DEH-20 polimerlarini L8-Bo akseptor bilan aralashtirgan holda OQElar uchun faol qatlamlar tayyorlab olindi. Faol qatlamlar tayyorlash uchun D18, DEH-3, DEH-10 va DEH-20 hamda L8-Bo polimerlari har biri 10 mg miqdorida olinib, donor va akseptor massa ulushi 1:1 nisbatda olinib, erituvchi sifatida birinchi tadqiqotimizda 0,5 ml toluol ikkinchi tadqiqotimizda esa 0,5 ml xloroform yordamida eritilib aralashma tayyorlab olindi. Aralashma xona temperaturasida magnitli aralashtirgich yordamida eritma to'liq tayyor bo'lguniga qadar 8 soat davomida qizdirmasdan xona haroratida aralashtirildi. Tayyor bo'lgan aralashmani "spin coating" usulida shisha/ITO ustiga yotqiziladi. Buning uchun shisha/ITO tagliklari ketma-ket uch bosqichda tozalab olinadi sababi OQElarda shisha/ITO (Indiy-qalay oksidi) elektrodining tozaligi juda muhim hisoblanadi, chunki bu qatlamning sirt holati va notozalik darajasi qurilmaning samaradorligi va takrorlanuvchanligiga bevosita salbiy ta'sir ko'rsatadi[3]. Dastlab ultratovushli vanna yordamida deionizatsiyalangan suvda, atseton hamda izopropil spirtida 10-15 minut vaqt davomida tozalab olinadi. Ultratovushli vannada tozalab olingandan so'ng tagliklar yuzasini azot gazi yordamida purkash usuli bilan shisha/ITOning har ikkila tomoni to'liq qurigunga qadar quritiladi. Tozalangan shisha/ITO tagliklar ustiga PEDOT:PSSni "spin coating" usuli yordamida 4000 ayl/daq. tezlikda 20 sekund davomida aylantirib qalinligi 40 nm atrofida bo'lgan PEDOT:PSS qatlam hosil qilindi. PEDOT:PSS ning vazifasi anodga faqat kovaklarni o'tkazib elektronlarni qaytarish uchun xizmat qiladi[4]. Tayyor bo'lgan shisha/ITO/PEDOT:PSS tagliklar argon gazi bilan to'ldirilgan qo'lqopli maxsus qutiga joylashtiriladi va keyingi jarayon davom ettiriladi. Shisha/ITO/PEDOT:PSS ustiga D18:L8-Bo, DEH-3:L8-Bo, DEH-10:L8-Bo, DEH-20:L8-Bo yupqa qatlamlar 6000 ayl/daq. tezlikda 20 sekund davomida aylantirib yotqizildi va tayyor bo'lgan yupqa qatlamlarning optik xossalari tadqiq qilindi. Tayyor bo'lgan shisha/ITO/PEDOT:PSS/faol qatlam ustiga PDINO qalinligi taxminan 40 nm 20 soniya davomida 6000 aylanish tezlikda aylantirilib qoplandi. PDINO - elektron tashish qatlami sifatida ishlatiladi, ya'ni u quyosh elementidagi elektronlarni anod va katodga samarali ravishda yo'naltirish uchun yordam beradi. PDINO yotqizilib tayyor bo'lgach oxirgi bosqich yani, yupqa metall elektrod alyuminiy (Al) kontakti 2×10^{-4} Pa vakuumli kamerada bug'lantirish yordamida yotqizish orqali tayyorlandi.

Natijalar

Olingan natijalarni asosanib 1-rasmda D18, DEH-3, DEH-10 va DEH-20 donor polimerlarining yutilish spektr grafigi keltirilgan bo'lib, yutilish spektri 400-800 nm diapazonda keng yutilish polasasini ko'rsatdi, bu yutilish spektrlari YSH-OQElarida samaradorlikka ta'sir qiluvchi xususiyatlarni ifodalaydi[5].

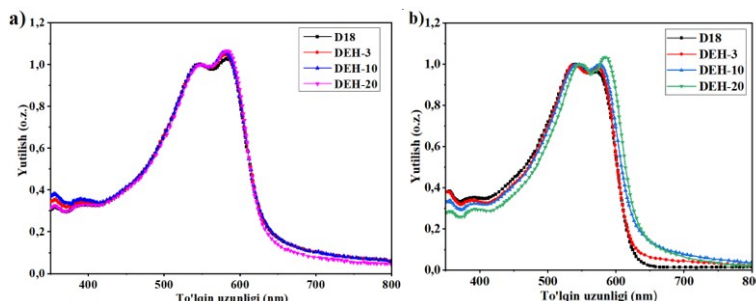


Figure 1. a) Absorption spectra of D18, DEH-3, DEH-10, and DEH-20 donor polymers prepared using a toluene solution. b) Absorption spectra of D18, DEH-3, DEH-10, and DEH-20 donor polymers prepared using a chloroform solution.

Rasm 1. a) Toluol eritmasi yordamida eritilib tayyorlangan D18, DEH-3, DEH-10 va DEH-20 donor polimerlarining yutilish spektrlari. b) Xloroform eritmasi yordamida eritilib tayyorlangan D18, DEH-3, DEH-10 va DEH-20 donor polimerlarining yutilish spektrlari.

Asosiy yutilish piki 400-600 nm to'liq uzunligiga to'g'ri keladi. D18 polimerining yutilish polasasining piki esa ~ 590 nm atrofida kuzatilganini bu esa o'z o'rnida ushbu polimerning yorug'likni yutish xususiyati yaxshi ekanini bildiradi. DEH-3, DEH-10, va DEH-20 polimerining yutilish spektrlarida sezilarli o'zgarishlar kuzatilmaganini ham ko'rishimiz mumkin.

Toluol yordamida tayyorlangan D18, DEH-3, DEH-10 va DEH-20 polimer eritmalarining 700 nm dan keyin yutilishining sezilarli darajada kamayishini ko'rsatadi, bu ularning keng to'liq uzunliklarida (qizil spektr sohasida) yutilish chegarasiga ega ekanligini bildiradi. Yutilish spektri natijalari, D18 polimer va turli modifikatsiyadagi D18 polimeri asosida yangi sintez qilib olingan DEH-3, DEH-10, DEH-20 donor polimerlarning yutilish spektrlari D18 polimerning asosiy yutilish xususiyatlariga o'xshashligini ko'rsatadi[6]. Ushbu natijalar D18 polimer asosidagi DEH-X seriyali modifikatsiyalangan donor polimerlarning struktura o'zgarishi ularning optik xususiyatlari sezilarli darajada ta'sir qilmagani bilan tushuntirish mumkin.

1b-rasmda Xloroform eritmasi yordamida eritilib tayyorlangan D18, DEH-3, DEH-10 va DEH-20 donor polimerlarining yutilish spektrlari keltirilgan bo'lib, yutilish spektri 350-700 nm diapazon to'liq uzunligida keng yutilish polasasini ko'rsatdi, bu yutilish spektrlari OQElarida samaradorlikka ta'sir qiluvchi xususiyatlarni ko'rsatadi. Asosiy yutilish piki 560-600 nm to'liq uzunligiga to'g'ri kelganligini ko'rishimiz mumkin. Ushbu polimerning yorug'likni yutish xususiyati samarali ekanligini bildiradi. DEH qo'shilishi bilan yutilish intensivligi pasaygan va biroz qisqa to'liq uzunligiga spektral siljish kuzatilganini ko'rishimiz mumkin. D18 va D18 asosida yangi sintez qilib olingan DEH-3 bu namuna D18 bilan solishtirganda biroz past yutilish ko'rsatgan bo'lsada umumiy spektral shakl saqlanib qolganligini ko'rishimiz mumkin. Demak, DEH-3 qo'shilishi polimerning optik xususiyatlariga kichik bo'lsa ham samarali ta'sir qilganini ko'rishimiz mumkin. DEH-10 yutilish intensivligi D18 va DEH-3 bilan solishtirilganda esa biroz kamaygan. Bu DEH-10 miqdorining ortishi bilan D18 donor polimerining optik o'zaro ta'sirga tushishi natijasida bo'ladi. DEH-20 eng past yutilish intensivligi kuzatilgan. Bu DEH ning ko'proq miqdorda qo'shilishi natijasida D18 polimerining yutilish qobiliyati pasayganini ko'rsatgan. DEH-20 tarkibida ko'proq DEH mavjud bo'lganligi sababli, D18 strukturasi bilan yetarlicha aralashmasligi sababli, yutilish kamayishiga olib kelgan. Konjugatsiya uzunligining qisqarishi DEH ning qo'shilishi natijasida polimerning π elektron tizimini o'zgarishiga va yutilish intensivligining kamayishiga olib keladi[7]. DEHning D18 tarkibida mavjudligi D18 ning yorug'lik yutilishi va energiya uzatish jarayonlariga ta'sir qilib, umumiy yutilish spektrini o'zgartiradi.

Xloroform yordamida eritilib tayyorlangan D18, DEH-3, DEH-10 va DEH-20 polimer eritmalarining 700 nm dan keyin yutilishining sezilarli darajada kamayganini ko'rsatadi, bu ularning uzun to'lqin uzunliklarida yutilish chegarasi yaxshi ekanligini bildiradi.

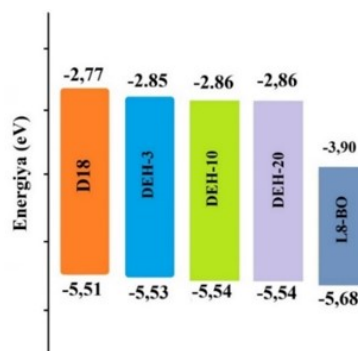


Figure 2. Energy level diagram for donor and acceptor polymers prepared in toluene.

Rasm 2. Toluolda tayyorlangan donor va akseptor polimerlar uchun energiya darajasi diagrammasi.

2-rasmda Diagrammada D18 va D18 donor polimeridan yangi sintez qilib olingan donorlarning energetik sathlariga bo'lgan ta'siri keltirilgan bo'lib, diagrammada L8-Bo materiali bilan solishtirma natijalar ham keltirilganligini ko'rishimiz mumkin. Diagrammaning vertikal o'qi energetik sathlarni (eV) ifodalaydi, yuqori qiymatlar LUMO (pastki bo'sh molekulyar orbital) sathiga, pastki qiymatlar esa HOMO (yuqori to'lgan molekulyar orbital) sathiga mos keladi. HOMO va LUMO qiymatlar orasidagi farq asosan energetik bo'shliqni bildirgan bo'lsa D18 materiali uchun esa LUMO qiymati -2.77 eV va HOMO qiymati -5.51 eV ga teng ekanligini ko'rishimiz mumkin. DEH tarkibli donorlarining qo'shilishi quyidagicha tahlil qilishimiz mumkin: DEH-3%, DEH-10%, va DEH-20% konsentratsiyalari qo'shilganda, LUMO qiymatlari biroz pasaygan (-2.85 va -2.86 eV oralig'ida), bu esa elektron akseptor material sifatida LUMO darajasida kichik o'zgarishlarni ko'rsatadi[8].

HOMO qiymatlarida esa sezilarli o'zgarish kuzatilmagan, ular deyarli bir xil (-5.53 va -5.54 eV). L8-Bo bilan solishtirganimizda quyidagicha fikr aytaolishimiz mumkin: L8-Bo materialining LUMO qiymati ancha past (-3.90 eV), bu esa uning elektron akseptor sifatida yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatadi. HOMO darajasi ham D18 va DEH materiallariga nisbatan pastroq (-5.68 eV) ekanligini ko'rishimiz mumkin.

Xulosa sifatida aytishimiz mumkinki, D18 va D18 polimeridan yangi sintez qilib olingan DEH-X polimerlari LUMO va HOMO darajalariga biroz ta'sir ko'rsatadi, lekin sezilarli o'zgarish kuzatilmaydi[9]. L8-Bo esa nisbatan chuqurroq energetik sathlar ko'rsatadi, bu uni samarali akseptor sifatida ajratib turadi. Ushbu natijalar quyosh elementlaridagi samaradorlikni oshirish maqsadida turli donor va akseptor materiallar o'rtasidagi energetik moslikni o'rganish uchun muhim ma'lumot bo'lib qoladi.

Table 1. Measured HUMO/LUMO level values of polymers prepared in chloroform.

Jadval 1. Xloroformda tayyorlangan HUMO/LUMO darajasi o'lchovidan o'lchangan qiymatlar.

Polimerlar	HUMO (eV)	LUMO (eV)
L8-Bo	-5.71	-4.30
D18	-5.01	-3.04
DEH-3	-5.03	-3.06
DEH-10	-5.10	-3.13
DEH-20	-5.15	-3.19

1-jadvalda D18 va D18 donor polimeridan yangi sintez qilib olingan donorlarning energetik sathlariga bo'lgan ta'siri keltirilgan bo'lib, L8-Bo polimer akseptorning ham natijalari keltirilgan. HOMO va LUMO qiymatlar orasidagi farq asosan energetik bo'shliqni bildirgan bo'lsa D18 materiali uchun esa LUMO qiymati -3.04 eV va HOMO qiymati -5.01 eV ga teng ekanligini ko'rishimiz mumkin. DEH tarkibli donorlarining qo'shilishi quyidagicha natijani namoyish etdi: DEH-3%,

DEH-10%, va DEH-20% konsentratsiyalari qo'shilganda, LUMO qiymatlari biroz pasaygan (-3.06, -3.13 va -3.19 eV oralig'ida), bu esa elektron akseptor material sifatida LUMO darajasida kichik o'zgarishlarni ko'rsatadi[10]. HOMO qiymatlarida esa sezilarli o'zgarish kuzatilmagan, ular deyarli bir xil (-5.03, -5.10, -5.15 eV). L8-Bo bilan solishtirganimizda esa L8-Bo materialining LUMO qiymati ancha past (-4.30 eV), bu esa uning elektron akseptor sifatida yuqori samaradorlikka ega ekan. HOMO darajasi ham D18 va DEH materiallariga nisbatan pastroq (-5.71 eV) ekanligini ko'rishimiz mumkin.

Xulosa o'rnida D18 va D18 polimeridan yangi sintez qilib olingan DEH-X polimerlari LUMO va HOMO darajalariga biroz ta'sir ko'rsatadi. L8-Bo esa nisbatan chuqurroq energetik sathlar ko'rsatganini ko'rishimiz mumkin, bu uni samarali akseptor sifatida ajratib turadi. Ushbu natijalar quyosh elementlaridagi samaradorlikni yanada oshirish maqsadida turli donor va akseptor materiallar o'rtasidagi energetik sath mosliklarini o'rganish uchun muhim hisoblanadi.

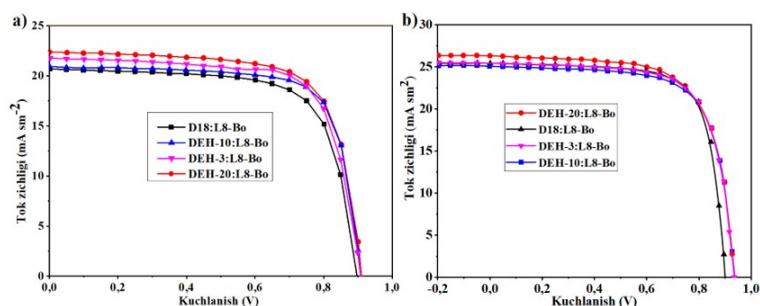


Figure 3. Voltage-current (I-V) characteristic curves of OSCs prepared in (a) toluene and (b) chloroform.

Rasm 3. Toluolda(a) va xloroformda (b) tayyorlangan YSH-OQElarning volt-amper xarakteristika grafiklari

3a-rasmda Turli D18 va DEH modifikatsiyalari (D18:L8-Bo, DEH-3:L8-Bo, DEH-10:L8-Bo, DEH-20:L8-Bo) volt-amper xarakteristika grafiklari solishtirilgan. Barcha DEH-X seriyali OQElar D18:L8-Bo (0,90 V) bilan solishtirganda 0,94 V ga samarali V_{oc} o'sishiga ega ekanligini ko'rsatdi. Bu grafik quyosh elementlarining samaradorlik va optoelektrik xususiyatlarini baholash uchun muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rish mumkin. Volt-amper xarakteristika grafiklari tahlil qilgan holda tok zichligi (mA/sm) o'rnatilgan kuchlanishga bog'liq ravishda dastlab yuqori bo'lib, keyin noldan maksimal kuchlanishgacha sekin-asta kamayganini ko'rishimiz mumkin. Nol kuchlanishda (qisqa tutashuv toki, J_{sc} maksimal tok zichligi kuzatiladi. Bu fototok hosil bo'lish samaradorligini ko'rsatadi. Ochiq zanjir kuchlanishi V_{oc} hududida tok zichligi nolga tenglashadi. DEH-20:L8-Bo donor polimeri eng yuqori qisqa tutashuv tokini (taxminan 24 mA/sm) ko'rsatmoqda[11]. Bu DEH-20 qo'shilgan struktura yorug'likni yaxshiroq yutishini va fototok hosil qilishda samaraliroq ekanligini bildiradi. DEH-10:L8-Bo va DEH-3:L8-Bo materiallari ham yuqori J_{sc} qiymatlarini ko'rsatgan bo'lsa-da, D18:L8-Bo materialidan sezilarli yaxshilanish kuzatilmoqda. Barcha modifikatsiyalar uchun V_{oc} qiymati taxminan 0.94 V ga teng. Bu LUMO va HOMO darajalari o'rtasidagi farqdan kelib chiqadi va materiallar o'rtasida deyarli bir xil ekanligini ko'rsatadi. To'ldirish faktoriga keladigan bo'lsak (FF), J-V egri chiziqlari ostidagi maydonni baholash orqali to'ldirish faktori o'lchanadi. DEH-20 qo'shilgan strukturada eng yaxshi FF kuzatilgan, bu esa yuqori samaradorlikni ta'minlaydi. DEH-3 va DEH-10 materiallari FF bo'yicha ham yaqin ko'rsatkichlarni taqdim etadi. D18 hamda D18 donor polimeridan yangi sintez qilib olingan DEH-3, DEH-10 va DEH-20 polimerlari D18:L8-Bo strukturasiga nisbatan samaradorlikni yaxshilaydi, bu esa yangi sintez qilib olingan polimerlarining yorug'lik yutilishini va fototok hosil bo'lish jarayonini yaxshilashda yordam berishini anglatadi[12]. Alohida ta'kidlash joizki, DEH-20 eng samarali modifikatsiya ekanligi kuzatishimiz mumkin.

Volt-amper xarakteristika grafiklaridan umumiy xulosa qilsak, D18 hamda D18 donor polimeridan yangi sintez qilib olingan DEH-3, DEH-10 va DEH-20 donor polimerlari YSH-OQElarining optoelektrik xususiyatlarini yaxshilanishiga olib kelar ekan. DEH-20:L8-Bo strukturasiga yuqori J_{sc} va samaradorlikka ega bo'lib, yorug'likni samarali yutadi va fototok hosil qilinishiga olib kelar ekan. Ushbu natijalar DEH-X seriyasi donor modifikatsiyalari va materiallarning xususiyatlariga ta'sirini tushunishga yordam beradi. Bu OQElarini yanada samarali qilishda muhim qadam hisoblanadi.

3b-rasmda turli polimerlar D18 va uning DEH-3, DEH-10, DEH-20 modifikatsiyalari hamda L8-Bo akseptor asosida ishlab chiqilgan OQElarning volt-amper xarakteristikalari keltirilgan bo'lib, har bir materialning ishchi sohasidagi tok zichligi va maksimal kuchlanishdagi tokning o'zgarishi solishtirilgan. D18 va DEH polimerlarning J_{sc} qiymatlari bir biriga yaqin bo'lib, bu materiallar fotoaktiv qatlamda yorug'likni samarali yutishini ko'rsatadi. Eng yuqori J_{sc} qiymati esa D18:L8-Bo da kuzatilganligini ko'rishimiz mumkin. Materiallar o'rtasidagi farqlarni ko'radigan bo'lsak, barcha materiallar uchun V_{oc} taxminan 0.9 V ga yaqin bo'lib, bu DEH-3, DEH-10, DEH-20 va D18 asosidagi fotoaktiv qatlamlarning elektr kimyoviy xossalarini ko'rsatadi. D18 asosidagi donor material boshqa modifikatsiyalarga ya'ni DEH-3, DEH-10, DEH-20 nisbatan biroz yuqori samaradorlikni ko'rsatmoqda. DEH-20 esa boshqa DEH modifikatsiyalariga nisbatan biroz pastroq samaradorlik namoyish etdi. Xulosa qilib aytadigan bo'lsak, grafikdan ko'rinib turibdiki, barcha materiallar bir xil ishchi kuchlanish sohasida o'xshash natijalar ko'rsatmoqda, lekin D18 polimeri yuqori samaradorlikka ega. Bu D18 va L8-Bo materiallari o'rtasidagi optimal energiya darajalari moslashuvi bilan bog'liq[13]. DEH modifikatsiya esa o'z kimyoviy strukturasidagi kichik farqlar tufayli bir oz kamroq samaradorlik ko'rsatmoqda.

Ushbu natijalar DEH-X seriyasi donor modifikatsiyalari va materiallarning xususiyatlariga ta'sirini nomoyon qiladi. Bu OQElarini yanada samarali qilishda ilg'or qadam hisoblanadi.

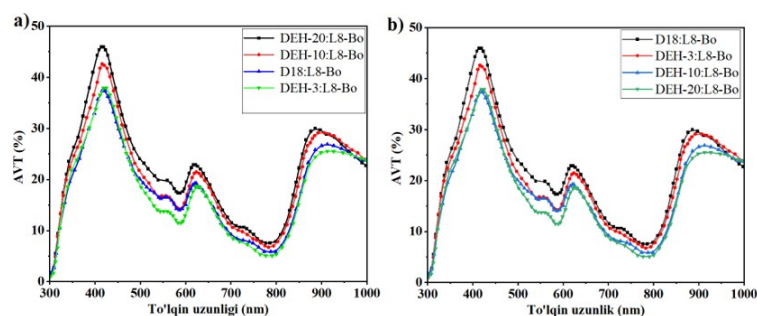


Figure 4. AVT indicators of semitransparent active layers prepared in (a) toluene and (b) chloroform.

Rasm 4. Toluolda (a) va xloroformda (b) tayyorlangan yarimshaffof faol qatlamlarning AVT ko'rsatgichlari.

4a-rasmda YSH-OQE larning AVT ko'rsatgichi keltirilgan. Asosiy yorug'lik yutilish piklarga e'tibor beradigan bo'lsak, 415 nm da maksimum pikga ega ekanligini va 619 nm hamda 886 nm to'lqin uzunliklarda piklar hosil bo'lganligini ko'rishimiz mumkin. Bunga sabab shu maksimum pik nuqtalarda ko'rsatilgan to'lqin uzunliklarda yorug'likni yaxshi o'tkazayotganligini bildiradi. Yuqori o'tkazuvchanlik shuni ko'rsatadiki, materiallar nisbatan yaxshi optik xususiyatlarga ham ega. Ushbu 3 ta pikning turli materiallar ya'ni (DEH-20:L8-Bo, DEH-10:L8-Bo, D18:L8-Bo, va DEH-3:L8-Bo) uchun farq qilishi materiallarning turli xil optik va strukturaviy xususiyatlari bilan izohlanadi. Bu farqlar materiallarning tarkibi, qalinligi yoki tarkibidagi qo'shimcha komponentlarga bog'liq bo'lishi mumkin[14]. Aytishimiz mumkinki, 300-500 nm oralig'ida yorug'likni yaxshi o'tkazar ekan.

4b-rasmda Turli D18 va DEH modifikatsiyalari asosidagi faol qatlamlarning AVT ko'rsatgichlari keltirilgan bo'lib, barcha polimerlar D18 va DEH-3, DEH-10, DEH-20 asosida ishlangan donor polimerlarning AVT qiymati 300-100 nm to'lqin uzunligi oralig'ida keltirilgan. Ko'rinib turibdiki, AVT qiymatlari ko'rinadigan yorug'lik diapazonida 400-700 nm yuqoriroq va infraqizil diapazonga o'tgan sari pasayib borganini kuzatishimiz mumkin. Bu shaffoflikni yorug'lik energiyasi spektrida qanday taqsimlanishini ko'rsatadi[15]. Asosiy yorug'lik yutilish piklarga e'tibor qaratadigan bo'lsak, 410 nm da maksimum pikga ega ekanligini va 620 nm hamda 900 nm to'lqin uzunliklarda piklar hosil bo'lganligini ko'rishimiz mumkin. Bunga sabab shu maksimum pik nuqtalarda ko'rsatilgan to'lqin uzunliklarda yorug'likni yaxshi o'tkazayotganligini bildiradi. Yuqori o'tkazuvchanlik shuni ko'rsatadiki, materiallar nisbatan yaxshi optik xususiyatlarga ham ega. Ushbu hosil bo'lgan 3 ta pikning turli materiallar ya'ni (DEH-20:L8-Bo, DEH-10:L8-Bo, D18:L8-Bo, va DEH-3:L8-Bo) uchun farq qilishi materiallarning turli xil optik va strukturaviy xususiyatlari bilan izohlanadi. Bu farqlar materiallarning tarkibi, qalinligi yoki tarkibidagi qo'shimcha komponentlarga bog'liq[16]. Xulosa o'rnida D18:L8-Bo materiali yarim shaffoflik va ko'rinadigan yorug'likni o'tkazish jihatidan

eng yuqori samaradorlikka ega. DEH modifikatsiyalari bir biriga yaqin bo'lib, infraqizil yutilishi bilan samarali ishlashini ko'rsatadi.

Table 2. Photovoltaic parameters of OSCs prepared in toluene.

Jadval 2. Toluolda tayyorlangan YSH-OQElarning fotovoltaiik parametrlari.

Faol qatlam	J_{sc} (mA/sm ²)	V_{oc} (V)	FF (%)	EO'S (%)	AVT (%)
D18:L8-Bo	20,6	0,90	70,7	13,1	18
DEH-3:L8-Bo	21,1	0,91	74,6	14,3	18
DEH-10:L8-Bo	21,9	0,91	72,5	14,4	20
DEH-20:L8-Bo	22,5	0,91	71,5	14,6	22

2-Jadval. YSH-OQE larning fotovoltaiik parametrlari keltirilgan bo'lib, faol qatlam D18:L8-Bo va DEH-3:L8-Bo, DEH-10:L8-Bo, DEH-20:L8-Bo polimer materiallarning quyosh elementlar ishlatilganligi keltirilgan. D18:L8-Bo polimer uchun qisqa tutashuv toki zichligi J_{sc} 20,6 mA/sm bo'lib, J_{sc} quyosh elementlarining yorug'likni elektr energiyasiga aylantirish qobiliyatining muhim ko'rsatkichidir. D18:L8-Bo uchun esa 20,6 mA/sm² dan boshlab, DEH-20:L8-Bo uchun 22,5 mA/sm gacha oshganligini ko'rishimiz mumkin. Bu o'sish materiallar tarkibidagi o'zgarishlar tufayli yorug'likni yaxshi yutish va ko'proq fotogenerator hosil qilish bilan bog'liq. Ochik zanjir kuchlanishi V_{oc} qiymatlari 0,90 V dan 0,91 V gacha o'zgaradi. Bu qiymatlar pastdan o'rtacha diapazongacha bo'lib, shaffof materiallar uchun tipik hisoblanadi. V_{oc} ning barqarorligi, materiallar orasidagi energetik moslik yaxshi ekanligini ko'rsatdi. To'ldirish faktori FF esa maksimal quvvat nuqtasining samaradorligini aks ettiradi. U D18:L8-Bo uchun 70,7% bo'lsa, DEH-3:L8-Bo uchun 71,5% ga ko'tarilganini ko'rishimiz mumkin. Biroq, keyingi materiallarda bu biroz ko'tarilganini ham ko'rishimiz mumkin ya'ni (74,6% va 72,5%). Bu materiallarda elektr yurituvchi kuch va zanjir ichidagi qarshilik o'zgarishlaridan dalolat beradi[17]. Samaradorlik D18:L8-Bo uchun 13,1% bo'lgan bo'lsa, DEH-20:L8-Bo uchun 14,6 % ga yetdi. Yorug'likni o'rtacha o'tkazuvchanlik koeffisienti (AVT) qurilmaning shaffoflik darajasini bildiradi va uning shaffof displaylar yoki oynalar uchun mosligini baholaydi. DEH-20:L8-Bo eng yuqori AVT o'tkazuvchanlikka ega (22%), bu esa yorug'likning o'tish darajasi yuqori ekanligini ko'rsatadi. Shu bilan birga, yuqori EO'S va J_{sc} bilan bu materiallar shaffoflik va samaradorlikni muvozanatda ushlab turadi. Shuningdek, shaffoflik saqlanib qolgan, bu esa ushbu materiallarning ekologik shaffof quyosh batareyalari uchun potensial mosligini ko'rsatadi. D18 va D18 donor polimeri asosida yangi sintez qilib olingan DEH donor polimerlarini D18 asosida ishlangan materialning yorug'lik yutishini va samaradorligini yaxshilashda muhim rol o'ynaydi. DEH-20:L8-Bo eng yaxshi natijani ko'rsatib, yuqori J_{sc} , EO'S va AVT qiymatlariga ega va shaffof fotovoltaiik qurilmalarda istiqbolli material ekanligini tasdiqlaydi. DEH-3:L8-Bo FF bo'yicha eng yaxshi natijaga ega, bu uning elektr xarakteristikalarida yuqori sifatga ega ekanligini anglatadi[18]. Olingan ma'lumotlar OQElari dizaynida faol qatlamlarni tanlash va ularning optik va elektr xususiyatlarini yaxshilashda foydali ekanligini ko'rsatdi. Bu natijalar YSH-OQElari uchun yangi polimer materiallarni sintez qilib olishning amaliy ahamiyatini ko'rsatadi.

Table 3. Photovoltaic parameters of OSCs prepared using chloroform.

Jadval 3. Xloroform yordamida tayyorlangan YSH-OQElarning fotovoltaiik parametrlari.

Faol qatlam	J_{sc} (mA/sm ²)	V_{oc} (V)	FF (%)	EO'S (%)
D18:L8-Bo	25.50	0.90	74.2	17.1
DEH-3:L8-Bo	25.34	0.94	71.1	16.9
DEH-10:L8-Bo	25.11	0.94	71.0	16.7
DEH-20:L8-Bo	26.32	0.94	69.6	17.1

3-Jadvalda D18 va DEH polimerlari (DEH-3, DEH-10, DEH-20) asosidagi OQEning asosiy fotovoltaiik parametrlari keltirilgan bo'lib, D18:L8-Bo polimer uchun qisqa tutashuv toki zichligi J_{sc}

25.50 mA/sm² tashkil etdi, J_{sc} quyosh elementlarining yorug'likni elektr energiyasiga aylantirish qobiliyatining muhim ko'rsatkichidir hamda J_{sc} asosan yorug'lik yutilishi va tashuvchi zaryadlarni (elektron va kovak) samarali ajratish va qabul qilish jarayoniga aks ettiradi. D18:L8-Bo uchun esa 25.50 mA/sm² dan boshlab, DEH-20:L8-Bo uchun 26.32 mA/sm² gacha oshganligini ko'rishimiz mumkin. Bu o'sish materiallar tarkibidagi o'zgarishlar tufayli yorug'likni yaxshi yutish va ko'proq fotogenerator hosil qilish bilan bog'liq. Ochik zanjir kuchlanishi Voc qiymatlari 0,90 V dan 0,94 V gacha o'zgaradi. Bu qiymatlar pastdan o'rtacha diapazongacha bo'lib, shaffof materiallar uchun tipik hisoblanadi. Voc ning barqarorligi, materiallar orasidagi energetik moslik yaxshi ekanligini ko'rsatdi. To'ldirish faktori FF esa maksimal quvvat nuqtasining samaradorligini aks ettiradi[19]. U D18:L8-Bo uchun 74.2% bo'lsa, DEH-3:L8-Bo uchun 71.1.6 % ga ko'tarilganini biroq, keyingi materiallarda bu biroz pasayganini ham ko'rishimiz mumkin ya'ni (71.1% va 69.6%). Bu materiallarda elektr yurituvchi kuch va zanjir ichidagi qarshilik o'zgarishlaridan dalolat beradi[20]. Samaradorlik D18:L8-Bo uchun 17.1% bo'lgan bo'lsa, DEH-20:L8-Bo uchun 14.6 % ga yetdi. Yorug'likni o'rtacha o'tkazuvchanlik koeffisienti (AVT) qurilmaning shaffoflik darajasini bildiradi va uning shaffof displaylar yoki oynalar uchun mosligini baholaydi. Shu bilan birga, yuqori EO'S va J_{sc} bilan bu materiallar shaffoflik va samaradorlikni muvozanatda ushlab turadi. D18 va D18 donor polimeri asosida yangi sintez qilib olingan DEH donor polimerlarini D18 asosida ishlangan materialning yorug'lik yutishini va samaradorligini yaxshilashda muhim rol o'ynaydi. DEH-20:L8-Bo eng yaxshi natijani ko'rsatib, yuqori J_{sc} , EO'S va AVT qiymatlariga ega bo'lib, shaffof fotovoltaiik qurilmalarda istiqbolli material ekanligini tasdiqlaydi. DEH-3:L8-Bo FF bo'yicha eng yaxshi natijaga ega, bu uning elektr xarakteristikalarida yuqori sifatga ega ekanligini anglatadi. Olingan ma'lumotlar OQElari dizaynida faol qatlamlarni tanlash va ularning optik va elektr xususiyatlarini yaxshilashda foydali ekanligini ko'rsatdi. Bu natijalar YSH-OQElari uchun yangi polimer materiallarni sintez qilib olishning amaliy ahamiyatini ifodalaydi.

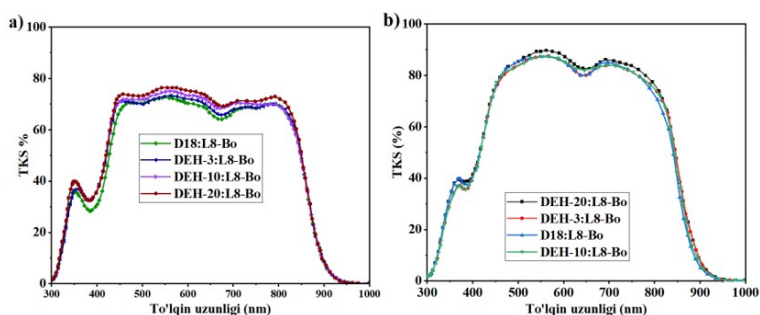


Figure 5. EQE spectra of OSCs based on D18 and DEH modifications prepared in (a) toluene and (b) chloroform.

Rasm 5. Toluolda (a) va xloroformda (b) tayyorlangan D18 va DEH modifikatsiyalari asosidagi YSH-OQE larning TKS spektrlari.

5a-rasmda YSH-OQElari uchun TKS ning to'liq uzunligiga bog'liq ravishda ko'rsatilgan. Asosan to'liq uzunligi diapazoni (300–1000 nm) gacha ekanligini ko'rinib turibdi. Grafikda ultrabinafsha, ko'rinadigan yorug'lik va yaqin infragizil diapazonlar qamrab olingan. Bu diapazon YSH-OQE qurilmalarining yorug'likni qanday uzatishini va yutishini baholash uchun muhim hisoblanadi. Tashqi kvant samaradorligiga keladigan bo'lsak, ko'rsatkichlari quyidagicha: D18:L8-Bo materialida (yashil chiziq) 400–700 nm diapazonda TKS ko'rsatkichlari boshqa materiallar bilan solishtirganda pastroq. Bu uning ko'proq ya'ni keng diapazonda yorug'likni yutayotganini ko'rsatib turibdi. DEH-3, DEH-10, DEH-20 modifikatsiyalari bilan tayyorlangan materiallar yuqori o'tkazuvchanlikga ega. Bu D18 hamda D18 donor polimeri asosida yangi sinsez qilib olingan DEH-X seriyasini materialning optik shaffofligini oshirganini ko'rsatadi. Ko'rinadigan yorug'lik diapazoni esa 400–700 nmgacha namoyish etgan bo'lsa, DEH-20:L8-Bo eng yuqori TKS qiymatlarini ko'rsatdi, bu esa uning ko'rinadigan yorug'likni nisbatan ko'proq uzatishini bildiradi. Infragizil diapazon esa 700–1000 nm gacha ekanligini ko'rishimiz mumkin, ya'ni barcha materiallar yuqori TKS ko'rsatkichlarini saqlab qoladi, bu esa infragizil diapazonda yorug'likning yaxshi uzatilishini bildiradi. Bu issiqlikning qurilmalar orqali yaxshi o'tishiga ta'sir qiladi, bu esa quyosh elementlarining

issiqlik boshqaruviga ijobiy hissa qo'shadi deyishimiz mumkin, Spektral taqsimotdagi farqlar: DEH-3, DEH-10 va DEH-20 modifikatsiyalari materialning yorug'lik uzatish xususiyatlarini yaxshilab, ayniqsa 400–700 nm diapazonida yuqori o'tkazuvchanlikni ko'rsatadi. DEH-20 modifikatsiyasi eng samarali deb ko'rinadi, chunki u optik shaffoflikni oshirishga yordam beradi, ayniqsa shaffoflik talab etiladigan qurilmalar uchun muhim hisoblanadi. YSH-OQE uchun optik xususiyatlar qurilmalar samaradorligiga va amaliy qo'llanilishiga to'g'ridan-to'g'ri ta'sir ko'rsatadi. Masalan: Yuqori TKS yorug'likning yuqori foizi o'tadi, bu shaffof qurilmalar uchun yaxshi hisoblanadi[21]. Past TKS esa yorug'likni yutiladi, bu esa fotoelektrik konversiya samaradorligini yanada oshirilishiga olib keladi.

Xulosa o'rnida D18 hamda D18 donor polimeridan yangi sintez qilib olingan DEH-3, DEH-10 va DEH-20 modifikatsiyalari bilan ishlangan donor polimerlari optik shaffoflikni oshirishda samarali ko'rindi ayniqsa DEH-20:L8-Bo eng yuqori TKS ko'rsatkichlarini taqdim etdi. Bu qurilmalar nafaqat quyosh energiyasini samarali o'zlashtirishi, balki shaffoflikni talab qiladigan binolar yoki shisha panellarga qo'llanilishi mumkinligini ko'rsatadi. DEH-20 modifikatsiyasi eng istiqbolli bo'lib, yuqori optik shaffoflik va samaradorlikni ta'minlaydi. Bu uni ekologik toza va estetik jihatdan optimal variant bo'lishiga katta hissani qo'shadi.

5b-rasmda Turli D18 va DEH modifikatsiyalari asosidagi YSH-OQE larning TKS spektrlari keltirilgan bo'lib, TKS to'lqin uzunligiga bog'liq ravishda o'zgaradi va bu natija orqali turli modifikatsiyalar uchun TKS qiymatlarining spektral taqsimoti ko'rsatilgan. Asosan 400-900 nm oralig'ida barcha materiallar yuqori TKS ko'rsatkichlariga ega bo'lib, maksimal qiymatlar taxmiman 500-700 nm to'lqin uzunligida kuzatilgan. Bu ushbu to'lqin uzunliklarda yorug'likni yaxshi yutishini anglatadi. Ayniqsa DEH-20:L8-Bo materialida yuqori yutilish va TKS qiymatlari boshqa modifikatsiyalarga nisbatan sezilarli va barqaror ko'rsatkichga ega, bu uning yorug'likni yutish qobiliyati yaxshi ekanligini ko'rsatadi. DEH-3:L8-Bo, DEH-20:L8-Bo va D18:L8-Bo modifikatsiyalarining TKS spektrlari bir biriga juda yaqin, lekin DEH-20:L8-Bo bilan solishtirganda biroz past ko'rsatkichni namoyish qildi. Barcha modifikatsiyalar uchun TKS qiymatlari 700 nm dan yuqori to'lqin uzunliklarida asta sekinlik bilan pasayadi, bu esa ushbu diapazonda o'z-o'zdan yorug'likni kamroq yutishini ko'rsatib turibdi. Ushbu grafikdan ko'rinib turibdiki, DEH-20:L8-Bo polimeri ko'rinadigan yorug'lik dipazonida nisbatan yuqori TKS ligini ko'rsatdi va boshqa polimerlardan yuqori natija namoyish etdi. Bu modifikatsiya yorug'lik yutilishini va fotonlarni samarali konvertatsiya qilish uchun optimal tanlov hisoblanadi. DEH-20 modifikatsiyasi eng istiqbolli bo'lib, yuqori optik shaffoflik va samaradorlikni ta'minlaydi. Bu esa uni ekologik toza va estetik jihatdan optimal variant bo'lishiga katta hissani qo'shadi.

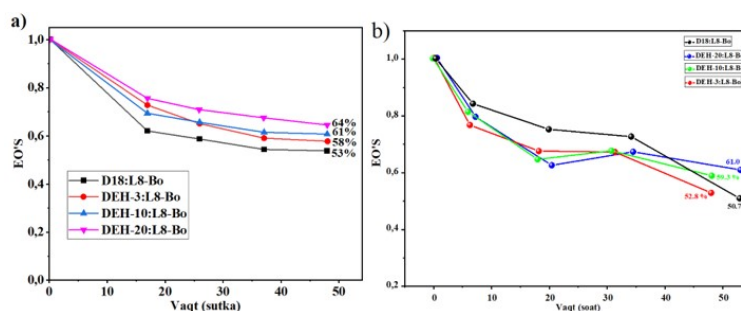


Figure 6. Thermal stability indicators of OSCs prepared in (a) toluene and (b) chloroform.

Rasm 6. Toluolda (a) va xloroformda (b) tayyorlangan YSH-OQE larning termik barqarorlik ko'rsatkichi.

6a-rasmda YSH-OQE qurilmalarining termik barqarorligi ko'rsatilgan. Bunda vaqt o'tishi bilan energiya o'zgartirish samaradorligi (EO'S) qanday darajada o'zgarishi tasvirlangan. Grafikdan kelib chiqib tahlil qiladigan bo'lsak, dastlab boshlang'ich EO'S qiymati barcha qurilmalar boshlang'ich EO'S qiymatini 100% deb boshlab, dastlabki ish sharoitida maksimal samaradorlikka ega. Bu qurilmalar boshida optimal fotovoltaiik ishlashga ega ekanligini ko'rsatadi. Termik barqarorlikka ta'sir esa 50 sutka davomida barcha materiallar EO'S qiymatining pasayishini ko'rsatadi, bu materiallarning termik barqarorlik vaqt o'tishi bilan pasayishini bildiradi. EO'S pasayish sura'ti quyidagini namoyish etdi: D18:L8-Bo: Samaradorlik 53% gacha pasayganini hamda DEH-3:L8-Bo: Samaradorlik 58%

darajasida saqlanganini ko'rishimiz mumkin. DEH-10:L8-Bo: EO'S qiymati 61% gacha pasaygan. DEH-20:L8-Bo: Eng yaxshi natija, samaradorlik 64% darajasida saqlangan.

D18 polimer va modifikatsiya qilingan D18 polimer asosida yangi sintez qilib olingan DEH-X seriyasi polimerlari qurilmalar (ayniqsa, DEH-20:L8-Bo) yuqori termik barqarorlikni ta'minlaydi. Bu D18 donor polimeridan sintez qilib olingan polimerlarining material strukturasi mustahkamlangani va yuqori harorat sharoitida yorug'likka chidamliligini oshirganini ko'rsatgan bo'lsa pasayish bosqichlari quyidagicha: grafikning dastlabki 10 sutkasida EO'S keskin pasayadi (taxminan 20–30%), bu dastlabki degradatsiya jarayonining tezligini ko'rsatadi. Bu odatda kislorod, namlik yoki issiqlikning materialga ta'siridan kelib chiqadi. 10–50 sutka oralig'ida pasayish sekinlashadi, bu uzoq muddatli barqarorlikka bog'liqligini bildiradi. DEH-20:L8-Bo nafaqat boshlang'ich EO'S qiymatida yuqori ko'rsatkichlarga ega, balki 50 sutka davomida eng yuqori ya'ni 64% EO'S saqlanib qoldi. Bu uni termik barqarorlik bo'yicha eng istiqbolli material ekanligini ko'rsatadi.

Xulosa o'rnida D18 donor polimeri asosida yangi sintez qilib olingan DEH-3, DEH-10 va DEH-20 polimerlari, ayniqsa DEH-20, YSH-OQE qurilmalarining termik barqarorligini sezilarli darajada oshiradi va D18:L8-Bo agrovoltaik esa boshqa DEH-X seriyasi modifikatsiyalarga nisbatan eng past barqarorlikka ega hamda bu grafik DEH modifikatsiyalarining fotovoltaik materiallar barqarorligini oshirishdagi ahamiyatini ko'rsatib, uzoq muddatli foydalanishga mos keladigan samarador qurilmalarni loyihalashda yordam beradi. Bundan kelib chiqib, DEH-20 donor polimeri yanada takomillashtirish istiqbolli hisoblanadi deyishimiz mumkin ekan. 6b-rasmda YSH-OQE qurilmalarining termik barqarorligi ko'rsatilgan. Bunda vaqt o'tishi bilan energiya o'zgartirish samaradorligi (EO'S) qanday darajada o'zgarishi tasvirlangan. Grafikdan kelib chiqib tahlil qiladigan bo'lsak, dastlab boshlang'ich EO'S qiymati barcha qurilmalar boshlang'ich EO'S qiymatini 100% deb boshlab, dastlabki ish sharoitida maksimal samaradorlikka ega. Bu qurilmalar boshida optimal fotovoltaik ishlashga ega ekanligini ko'rsatadi. Termik barqarorlikka ta'sir esa 50 sutka davomida barcha materiallar EO'S qiymatining pasayishini ko'rsatadi, bu materiallarning termik barqarorlik vaqt o'tishi bilan pasayishini bildiradi[22]. EO'S pasayish sur'ati quyidagini namoyish etdi: D18:L8-Bo samaradorlik 50,7% gacha pasayganini hamda DEH-3:L8-Bo samaradorlik 52,8% darajasida saqlanganini ko'rishimiz mumkin. DEH-10:L8-Bo EO'S qiymati 61% gacha pasaygan. DEH-20:L8-Bo: Eng yaxshi natija, samaradorlik 59,3% darajasida saqlangan.

D18 polimer va modifikatsiya qilingan D18 polimer asosida yangi sintez qilib olingan DEH-X seriyasi polimerlari qurilmalar (ayniqsa, DEH-20:L8-Bo) yuqori termik barqarorlikni (ya'ni 61%) ta'minlaydi. Bu D18 donor polimeridan sintez qilib olingan polimerlarining material strukturasi mustahkamlangani va yuqori harorat sharoitida yorug'likka chidamliligini oshirganini ko'rsatgan bo'lsa pasayish bosqichlari quyidagicha, grafikning dastlabki 10 sutkasida EO'S keskin pasayadi (taxminan 20–30%), bu dastlabki degradatsiya jarayonining tezligini ko'rsatadi. Bu odatda kislorod, namlik yoki issiqlikning materialga ta'siridan kelib chiqadi. 10–50 sutka oralig'ida pasayish sekinlashadi, bu uzoq muddatli barqarorlikka bog'liqligini bildiradi. DEH-20:L8-Bo nafaqat boshlang'ich EO'S qiymatida yuqori ko'rsatkichlarga ega, balki 50 sutka davomida eng yuqori ya'ni 61% EO'S saqlanib qoldi. Bu uni termik barqarorlik bo'yicha eng istiqbolli material ekanligini ko'rsatadi.

Xulosa

Ushbu tadqiqot natijalari shuni ko'rsatadiki, faol qatlamni tayyorlashda ishlatiladigan erituvchi turi OQE ning optik va fotovoltaik xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Toluolda tayyorlangan OQE lar D18 va DEH-X seriyali donor polimerlarining optik va fotovoltaik parametrlarga minimal ta'sir qilishini ko'rsatadi, bu esa ularning yutilish spektrida sezilarli o'zgarishlar kuzatilmasligidan dalolat beradi. Ayniqsa, DEH-20:L8-Bo tarkibli qurilmalar yuqori Jsc va samaradorlik nomoyon etib, yorug'likni samarali yutilishi bilan boshqalaridan farq qildi. Shu bilan birga, xloroform erituvchisida tayyorlangan faol qatlamlar infraqizil diapazonda kengroq yutilish chegarasiga ega bo'lib, ko'rinadigan diapazonda yuqori shaffoflikni namoyish etdi. Xususan, D18:L8-Bo tarkibli qurilmalar eng yuqori AVT qiymatiga ega bo'lib, shaffoflik va samaradorlik o'rtasidagi optimal muvozanatni oshirishga qo'shgan hissasi polimerining termal barqarorlik va optik samaradorlikni oshirishga qo'shgan hissasi kelajakda ushbu materialning yanada takomillashtirilishi istiqbolli ekanligini ko'rsatadi..

Mualliflarning hissalari

Original matnni yozish, E. Z, V.Q.; optik parametrlarini o'lchash, F. R.; fotovoltaik parametrlarni o'lchash, A. T.; ma'lumotlarga kuratorlik qilish, A. S.

Authors' contribution

Writing the original text: E. Z, V.Q.; Measuring optical parameters: F. R.; Measuring photovoltaic parameters: A. T.; Data curation: A. S.

Moliyalashtirish

Ushbu maqoladagi olingan natijalar O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi U. Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti bazaviy moliyalashtirish mablag'lari ko'magida va Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi tomonidan moliyalashtirilgan AL8724053065-raqamli "Kam ulgerodli aqilli qishloq xo'jaligi uchun yuqori samarali yarimshaffof organik fotovoltaik elementlar" mavzusi bo'yicha loyiha doirasida bajarilgan.

Funding source

The results presented in this article were obtained with the support of the basic funding of the Ion-Plasma and Laser Technologies Institute named after U. Arifov of the Uzbekistan Academy of Sciences, and within the framework of the project No. AL8724053065, titled "Highly efficient semitransparent organic photovoltaic elements for low-carbon smart agriculture," funded by the Ministry of Higher Education, Science and Innovation.

Etika tamoyillariga muvofiqlik

Ushbu tadqiqotda inson yoki hayvonlar ishtiroki bo'lmagan, asosan laboratoriya sharoitida olib borilgan fizik-kimyoviy tajribalar asosida optik va fotovoltaik qurilmalar tayyorlandi va baholandi. Tadqiqot hech qanday bioetik ko'rib chiqishni talab qilmaydi. Shu sababli, ushbu tadqiqot uchun etik ko'rib chiqish va tasdiqlash talabi mavjud emas edi. Tadqiqot xalqaro ilmiy-texnik standartlar va laboratoriya xavfsizlik qoidalariga qat'iy amal qilingan holda amalga oshirilgan.

Ethics approval

In this study, optical and photovoltaic devices were prepared and evaluated based on physicochemical experiments carried out mainly in laboratory conditions, with no human or animal participation. The study does not require any bioethical review. For this reason, there was no requirement for ethical review and approval for this study. The study was carried out strictly following international scientific and technical standards and laboratory safety rules.

Nashrga xabardor qilingan rozilik

Barcha tadqiqot ishtirokchilaridan xabardor qilingan, rozilik olindi.

Consent for publication

All research participants were informed, and consent was obtained.

Ma'lumotlar mavjudligi to'g'risidagi bayonot

Ushbu maqolada taqdim etilgan barcha eksperimental natijalar, jumladan yutilish spektrlari, fotovoltaik parametrlar (J_{sc} , V_{oc} , FF, EO'S), AVT va TKS ko'rsatkichlari mualliflar tomonidan Kondensirlangan muhitlar optikasi laboratoriyasida olib borilgan amaliy o'lchovlar va tahlillarga asoslangan. Tadqiqot davomida olingan ma'lumotlar, grafiklar va jadval ko'rinishidagi qiymatlar maqola ichida to'liq keltirilgan.

Data Availability Statement

All the experimental results presented in this article, including absorption spectra, photovoltaic parameters (J_{sc} , V_{oc} , FF, EO's), AVT and TKS indicators, are based on practical measurements and analyzes carried out by the authors in the laboratory of condensed media optics. The data obtained during the study, graphs and values in the form of a table are presented in full within the article.

Rahmatnomalar

Bizning barcha modellashtrishlar O'zbekiston Fanlar akademiyasi Ion-plazma va lazer texnologiyalari institutining superkompyuter klasteri yordamida amalga oshirilgani uchun institut ma'muriyatiga chuqur minnatdorchilik bildiramiz.

Acknowledgments

We express our deep gratitude to the administration of the Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies of the Academy of Sciences of Uzbekistan for enabling all our simulations to be carried out using their supercomputer cluster.

Manfaatlar to'qnashuvi

Mualliflar manfaatlar to'qnashuvi mavjud emas.

Conflict of interest

The authors argue that there is no conflict of interest.

Qisqartmalar

OQE	Organik quyosh elementlari
EO'S	Energiya o'zgartirish samaradorligi
V_{OC}	Ochiq zanjir kuchlanishi
J_{SC}	Tok zichligi
YSH-OQE	Yarim shaffof organik quyosh elementlari
TKS	Tashqi kvant samaradorligi
EO'S	Energiya o'zgarish samaradorligi
FF	To'ldiruvchi faktor

Adabiyot

- [1] Garg S., Goel N. Optoelectronic applications of conjugated organic polymers: influence of donor/acceptor groups through density functional studies //The Journal of Physical Chemistry C. – 2022. – . 126. – №. 22. – . 9313-9323.
- [2] Le T. Quantitative structure–property relationship modeling of diverse materials properties //Chemical reviews. – 2012. – . 112. – №. 5. – . 2889-2919.
- [3] Jonda C. Surface roughness effects and their influence on the degradation of organic light emitting devices //Journal of Materials Science. – 2000. – . 35. – . 5645-5651.
- [4] Snaith H.J. Morphological and electronic consequences of modifications to the polymer anode 'PEDOT: PSS' //Polymer. – 2005. – . 46. – №. 8. – . 2573-2578.
- [5] Wang Z. Progress on extending the light absorption spectra of photocatalysts //Physical Chemistry Chemical Physics. – 2014. – . 16. – №. 7. – . 2758-2774.
- [6] Zhong X. et al. Facile Synthesis of Key Building Blocks of D18 Series Conjugated Polymers for High-Performance Polymer Solar Cells //ACS Applied Polymer Materials. – 2023. – . 5. – №. 3. – . 1937-1944.
- [7] Moliton A., Hiorns R. C. Review of electronic and optical properties of semiconducting -conjugated polymers: applications in optoelectronics //Polymer International. – 2004. – . 53. – №. 10. – . 1397-1412.
- [8] Li Y. Molecular design of photovoltaic materials for polymer solar cells: toward suitable electronic energy levels and broad absorption //Accounts of chemical research. – 2012. – . 45. – №. 5. – . 723-733.
- [9] Luo Y. et al. High-Efficiency Semi-Transparent Organic Solar Cells Using Pentacyclic Aromatic Lactam-Containing Terpolymer Strategy for Eco-Friendly Greenhouse Application //Solar RRL. – 2022. – . 6. – №. 12. – . 2200679.
- [10] Li Y. Molecular design of photovoltaic materials for polymer solar cells: toward suitable electronic energy levels and broad absorption //Accounts of chemical research. – 2012. – . 45. – №. 5. – . 723-733.
- [11] KHOUSSA K., BOUBCHIR L., LEVEQUE P. Artificial Intelligence in Organic Photovoltaics: Predicting Power Conversion Efficiency from the Molecular Chemical Structure of (Donor/Acceptor) Pairs //Available at SSRN 4997197. – 2024.
- [12] Wang Z. Enhanced visible-light absorption and photocurrent generation of three-dimensional metal–dielectric hybrid-structured films //ACS Applied Energy Materials. – 2021. – . 4. – №. 10. – . 10542-10552.
- [13] Wei C. Morphology optimization via pre-aggregation and miscibility matching in PM6: L8-BO ternary organic solar cells //Physical Chemistry Chemical Physics. – 2024. – . 26. – №. 45. – . 28573-28585.
- [14] Sammelselg V. Composition and thickness determination of thin oxide films: comparison of different programs and methods //Journal of Analytical Atomic Spectrometry. – 1999. – . 14. – №. 3. – . 523-527.
- [15] Traverse C.J. Emergence of highly transparent photovoltaics for distributed applications //Nature Energy. – 2017. – . 2. – №. 11. – . 849-860.

- [16] Sammelseg V. Composition and thickness determination of thin oxide films: comparison of different programs and methods //Journal of Analytical Atomic Spectrometry. – 1999. – . 14. – №. 3. – . 523-527.
- [17] Hai P.N. Electromotive force and huge magnetoresistance in magnetic tunnel junctions //Nature. – 2009. – . 458. – №. 7237. – . 489-492.
- [18] Wei C. Morphology optimization via pre-aggregation and miscibility matching in PM6: L8-BO ternary organic solar cells //Physical Chemistry Chemical Physics. – 2024. – . 26. – №. 45. – . 28573-28585.
- [19] Araujo G.L., Sanchez E. Analytical expressions for the determination of the maximum power point and the fill factor of a solar cell //Solar Cells. – 1982. – . 5. – №. 4. – . 377-386.
- [20] Hai P. N. Electromotive force and huge magnetoresistance in magnetic tunnel junctions //Nature. – 2009. – . 458. – №. 7237. – . 489-492.
- [21] Liu H. Transparent conducting oxides for electrode applications in light emitting and absorbing devices //Superlattices and Microstructures. – 2010. – . 48. – №. 5. – . 458-484.
- [22] Andrievski R.A. Review of thermal stability of nanomaterials //Journal of materials science. – 2014. – . 49. – . 1449-1460.

Nashriyot javobgar emas/ eslatmasi:

Barcha nashrlarda keltirilgan bayonotlar, fikrlar va ma'lumotlar faqat mualliflar va ishtirokchilarga tegishlidir, na Jurnal va na muharrirlar. Jurnal va muharrirlar, mazkur kontentda keltirilgan har qanday g'oyalar, usullar, ko'rsatmalar yoki mahsulotlar natijasida insonlar yoki mulkka yetkazilgan har qanday zarar uchun javobgar emas.

Disclaimer of liability/Publisher's Note: The statements, opinions and data contained in all publications belong exclusively to individuals. The authors and participants, and the Journal and the editors. The journal and the editors are not responsible for any damage caused to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products mentioned in the content.