



UO*K: 535.215;535.34;620.9

Gulruxsor SHAROPOVA,

E-mail: sharopovagulruxsor18@gmail.com

Adolat SAIDQULOVA,

Tayanch doktorant, U.A. Arifov nomidagi Ion plazma va Lazer texnologiyalari instituti, Toshkent, O'zbekiston

E-mail: adolatsaidqulova08@gmail.com

Sanabar REYMBAYEVA,

Katta o'qituvchi, O'zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, O'zbekiston

E-mail: reymbaeva71@mail.ru

Aziz SAPARBAYEV,

Yetakchi ilmiy xodim, O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti, Toshkent, O'zbekiston

E-mail: saparbaevaziz83@gmail.com

PhD, dotsent, G' Eshonqulov taqrizi asosida

OPTICAL PROPERTIES OF D18 DONOR POLYMER AND Y6 NON-FULLERENE ACCEPTOR SOLUTIONS IN A HALOGEN-FREE SOLVENT

Annotation

In this study, the effects of concentration and temperature on the optical properties of solution-processed D18 donor polymer and Y6 non-fullerene acceptor prepared in a halogen-free solvent were investigated. Absorption spectra of the samples were measured, and the concentration- and temperature-dependent variations of spectral parameters were analyzed. The results show that an increase in concentration leads to higher absorption intensity, while at higher concentrations molecular aggregation becomes more pronounced. An increase in temperature, on the other hand, results in a decrease in absorption intensity; however, the nearly unchanged absorption maxima indicate that the materials possess thermally stable optical properties. The obtained results are important for the development of high-efficiency polymer solar cells based on environmentally friendly solvents.

Keywords: D18, Y6, polymer solar cell, absorption spectrum, dimethylbenzene.

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ D18 ДОНОРНОГО ПОЛИМЕРА И Y6 БЕСФУЛЛЕРЕНОВОГО АКЦЕПТОРА В БЕЗГАЛОГЕНОВОМ РАСТВОРИТЕЛЕ

Аннотация

В данной работе исследовано влияние концентрации и температуры на оптические свойства донорного полимера D18 и безфуллеренового акцептора Y6, полученных в растворе с использованием безгалогенового растворителя. Были измерены спектры поглощения образцов и проанализированы закономерности изменения спектральных параметров в зависимости от концентрации и температуры. Результаты показали, что увеличение концентрации приводит к росту интенсивности поглощения, а при высоких концентрациях усиливаются процессы молекулярной агрегации. Повышение температуры, в свою очередь, вызывает снижение интенсивности поглощения, однако практически неизменное положение максимумов поглощения свидетельствует о термической стабильности оптических свойств материалов. Полученные результаты имеют важное значение для создания высокоэффективных полимерных солнечных элементов на основе экологически безопасных растворителей.

Ключевые слова: D18, Y6, полимерный солнечный элемент, спектр поглощения, диметилбензол.

GALOGENSIZ ERITUVCHIDA TAYYORLANGAN D18 DONOR POLIMERI VA Y6 FULLERENSIZ AKSEPTOR ERITIMALARINING OPTIK XOSSALARI

Annotatsiya

Ushbu ishda galogensiz erituvchida tayyorlangan D18 donor polimeri va Y6 fullerensiz akseptorining eritma holatidagi optik xossalari konsentratsiya hamda haroratning ta'siri tadqiq qilindi. Namunalar uchun yutilish spektrlari o'lganib, spektral parametrlarning konsentratsiya va haroratga bog'liq o'zgarish qonuniyatlari tahlil qilindi. Tadqiqot natijalari konsentratsiya ortishi bilan yutilish intensivligi oshishini, yuqori konsentratsiyalarda esa molekulyar agregatsiya jarayonlari kuchayishini ko'rsatdi. Haroratning ortishi esa yutilish intensivligining kamayishiga olib kelgan bo'lsa-da, yutilish maksimumlarining deyarli o'zgarmasligi materiallarning optik xossalari termik jihatdan barqaror ekanligini tasdiqladi. Olingan natijalar ekologik xavfsiz erituvchilar asosida yuqori samarali polimer quyosh elementlarini yaratish uchun muhim ahamiyatga ega.

Kalit so'zlar: D18, Y6, yutilish spektri, dimetilbenzol, polimer quyosh elementi.

Kirish. Polimer quyosh elementlari (PQElar) qayta tiklanuvchi energiya manbalari sohasida yengilligi, mexanik moslashuvchanligi, yarimshaffoligi hamda past haroratli texnologik jarayonlar asosida ishlab chiqarish imkoniyati bilan an'anaviy kremniy asosidagi quyosh elementlariga istiqbolli muqobil sifatida katta e'tibor qozonmoqda. Eritma asosidagi texnologiyalar orqali katta maydonlarda arzon ishlab chiqarish imkoniyati esa ularning amaliy qo'llanilish salohiyatini yanada oshiradi. So'nggi yillardagi eng muhim yutuq – bu D18 kabi yuqori samarali donor polimerlar hamda Y6 va uning hosilalari kabi fullerensiz akseptorlarning yaratilishi bo'ldi. Mazkur materiallar keng spektral diapazonda kuchli yutilish, qulay energetik darajalar va

samarali zaryad tashilishi xususiyatlariga ega bo'lib, ularning kombinatsiyasi laboratoriya sharoitida 20% dan yuqori energiya o'zgartirish samaradorligiga (EO'S) erishish imkonini berdi. Bu yutuqlar PQElarning amaliy qo'llanilish istiqbollarini sezilarli darajada kengaytirdi. Biroq, yuqori samaradorlikka erishilgan PQElarning aksariyati xlorbenzol, xloroform kabi galogenlangan erituvchilar yordamida tayyorlanadi. Bunday erituvchilar donor va akseptor materiallarni yaxshi eritib, sifatli faol qatlam hosil qilsa-da, ularning yuqori toksikligi, uchuvchanligi va atrof-muhitga salbiy ta'siri sanoat miqyosida qo'llashni cheklaydi. Shu bois so'nggi yillarda anizol, tetrahidrofur, 2-metiltetrahidrofur va siklopentil metil efir kabi galogensiz erituvchilarga bo'lgan qiziqish ortib bormoqda. Ushbu ekologik xavfsiz erituvchilar PQElarni barqaror ishlab chiqarish yo'lidagi muhim qadam sifatida baholanmoqda. Shunga qaramay, galogensiz erituvchilarning D18 va Y6 kabi yuqori samarali materiallarning optik xossalari, molekulyar agregatsiyasi va molekulararo o'zaro ta'sirlariga ko'rsatadigan ta'siri hali yetarlicha o'rganilmagan. Holbuki, eritma holatidagi molekulararo o'zaro ta'sirlar keyinchalik hosil bo'ladigan faol qatlam morfologiyasi, zaryad tashilishi va eksiton dinamikasini belgilovchi asosiy omillardan biridir. Shu sababli, eritma bosqichida optik xususiyatlarni tahlil qilish faol qatlamni maqsadli ravishda optimallashtirish uchun muhim ahamiyatga ega.

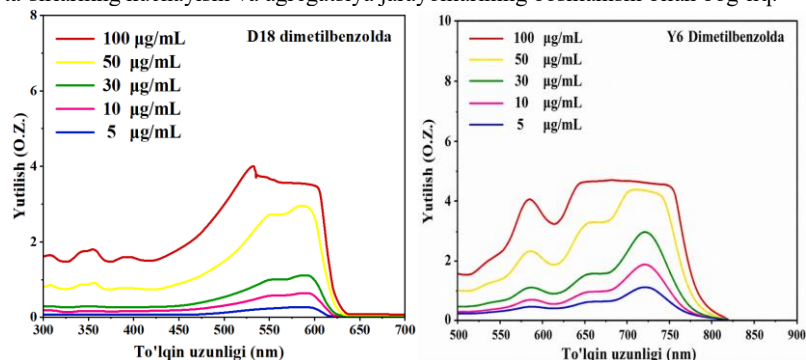
Mazkur tadqiqot ishida D18 donor polimeri va Y6 fullerensiz akseptorining eritma holatidagi optik xossalari konsentratsiya hamda haroratning ta'sirini yutilish xossalari yordamida o'rganildi. Spektral parametrlarning o'zgarish qonuniyatlari asosida konsentratsiya va haroratning molekulyar agregatsiya jarayonlari hamda molekulararo o'zaro ta'sirlarga ta'siri tahlil qilindi. Olingan natijalar galogensiz erituvchilarda ushbu materiallarning optik xususiyatlarini tushunishga va yuqori samarali, ekologik xavfsiz PQElar yaratishga ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Tadqiqot usuli

D18 donor polimeri va Y6 fullerensiz akseptorining har xil konsentratsiyalarda dimetilbenzoldagi eritmaları tayyorlandi. Eritmalarning optik xossalari haroratning ta'sirini tadqiq etish maqsadida namunalar 30-100 °C harorat oralig'ida mos ravishda 5 daqiqadan qizdirildi va har bir harorat qiymatida yutilish spektrlari qayd etildi. Tadqiqot namunalarining yutilish spektrlari Shimadzu UV-1280 skanerlovchi spektrofotometr yordamida o'lchandi. Olingan spektral natijalar molekulararo o'zaro ta'sirlar, agregatsiya darajasi va strukturaviy tartiblanish jarayonlarining optik xossalarga ta'siri asosida tahlil qilindi.

Natijalar va muhokama

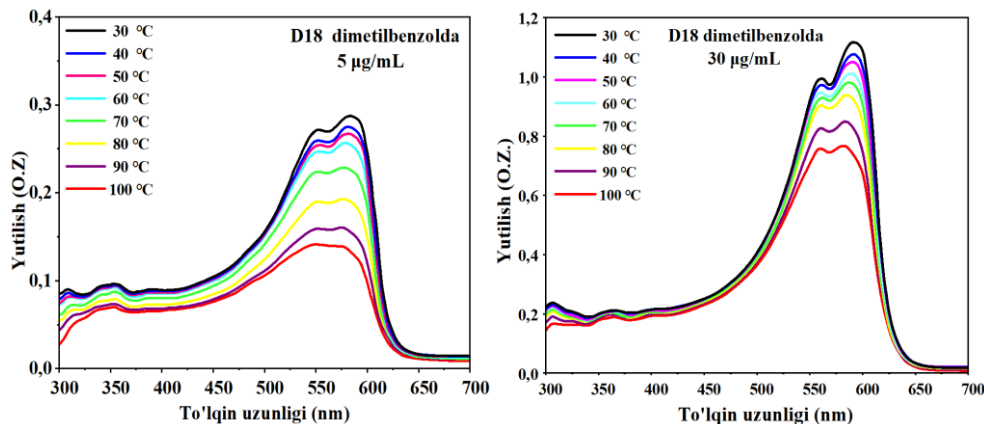
1-rasmda dimetilbenzolda eritilib, turli konsentratsiyalarda tayyorlangan D18 polimer va Y6 akseptor eritmalarining yutilish spektrlari keltirilgan. Eritma holatidagi D18 polimerining turli konsentratsiyalardagi yutilish spektrlaridan ko'rishimiz mumkinki, barcha konsentratsiyalarda asosiy yutilish sohasi 450-620 nm oralig'ida kuzatilgan va maksimum yutilish taxminan 540-600 nm diapazonda joylashgan. Konsentratsiyaning 5 µg/mL dan 100 µg/mL gacha ortishi bilan yutilish intensivligi muntazam ravishda oshgan, bu eritmadagi yorug'lik bilan o'zaro ta'sirlashuvchi molekular sonining ko'payishi bilan bog'liq. Past konsentratsiyalarda (5-30 µg/mL) spektr shakli deyarli saqlanib qolgan va yutilish intensivligining o'zgarishi asosan Beer-Lambert qonuniga mos ravishda kuzatilgan. Konsentratsiya 50 µg/mL ga yetganda yutilish spektrining strukturaviy xususiyatlari yaqqolroq namoyon bo'lib, molekulararo o'zaro ta'sirlarning kuchayganligini ko'rsatadi. 100 µg/mL konsentratsiyada esa yutilish intensivligi keskin ortib, spektrning uzun to'liqinli qismida kengayish va maksimum sohasining yassilanishi kuzatilgan. Bu holat molekulararo o'zaro ta'sirlarning kuchayishi va agregatsiya jarayonlarining boshlanishi bilan bog'liq.



1-rasm. Dimetilbenzolda turli konsentratsiyalarda tayyorlangan D18 donor va Y6 akseptor eritmalarining yutilish spektrlari

Y6 fullerensiz akseptorining yutilish spektrlari 500-800 nm to'liqin uzunligi oralig'ida joylashgan bo'lib, asosiy yutilish maksimumlari 580 nm va 700-730 nm atrofida kuzatilgan. Konsentratsiya ortishi bilan yutilish intensivligi butun spektr bo'ylab oshgan, biroq past konsentratsiyalarda (5-30 µg/mL) spektr shakli deyarli o'zgarmagan. 50 va 100 µg/mL konsentratsiyalarda esa 650-750 nm oralig'idagi yutilish sohasi sezilarli darajada kuchayib, spektrning kengayishi kuzatilgan. Bu holat Y6 molekularlari orasidagi π - π^* o'zaro ta'sirlarining va molekulyar agregatsiyaning kuchayishi bilan bog'liq. Bundan tashqari, yutilish maksimumlarining deyarli o'zgarishsizligi molekulararo o'zaro ta'sirlar kuchaygan bo'lsa ham, agregatsiya darajasining yuqori emasligini ko'rsatadi. Demak grafiklardan ko'rinadiki, D18 va Y6 eritmalarida konsentratsiya ortishi bilan yutilish intensivligi muntazam ravishda oshgan. Biroq 50 µg/mL va 100 µg/mL konsentratsiyalarda spektral cho'qqilarning kengayishi hamda maksimumlar shaklining o'zgarishi kuzatilgan. Bu holat eritmadagi molekular konsentratsiyasining ortishi natijasida molekulararo π - π^* o'zaro ta'sirlarning kuchayishi va agregatsiya jarayonlarining boshlanishi natijasidir. Bundan tashqari, yuqori optik zichlik qiymatlarida yorug'likning sochilishi va Beer-Lambert qonunidan chetlashish ham spektr shaklining o'zgarishiga sabab bo'lishi mumkin. Shunga qaramay, yutilish maksimumlarining sezilarli siljishi kuzatilmaganligi agregatsiya darajasi hali yuqori emasligini ko'rsatadi. Shu sababli olingan natijalar asosida keyingi tadqiqotlar uchun spektr shaklining deformatsiyalanishi va agregatsiya ta'siri sezilarli darajada namoyon bo'lmaydigan 5 µg/mL va 30 µg/mL konsentratsiyali eritmalar tanlab olindi. 5 µg/mL konsentratsiyada molekular agregatlanmagan holatda mavjud bo'lib, molekulararo o'zaro ta'sirlar juda sust bo'ladi, 30 µg/mL konsentratsiyada esa yutilish intensivligi yetarlicha yuqori bo'lishiga qaramay, spektr shakli deyarli saqlanib qoladi va agregatsiya ta'siri sezilarli darajada kuzatilmaydi.

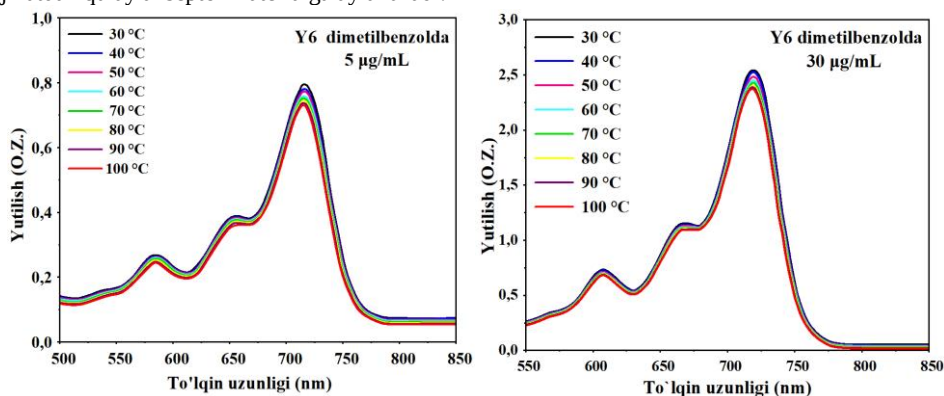
Yuqorida D18 polimer eritmalarining konsentratsiyaga bog'liq optik xossalari tahlil qilinganidan so'ng, tanlab olingan 5 $\mu\text{g/mL}$ va 30 $\mu\text{g/mL}$ konsentratsiyali eritmalarining haroratga bog'liq yutilish spektrlari o'rganildi (2-rasm). Olingan natijalar D18 polimerining optik xossalari harorat ta'sirida ma'lum darajada o'zgarishini ko'rsatdi. 5 $\mu\text{g/mL}$ konsentratsiyali D18 polimer eritmasining 30-100 $^{\circ}\text{C}$ harorat oralig'ida qayd etilgan yutilish spektrlari 300-620 nm diapazonida joylashgan bo'lib, asosiy yutilish sohasi 500-620 nm to'lqin uzunligi oralig'ida kuzatildi. 30 $^{\circ}\text{C}$ haroratda yutilish intensivligi eng yuqori qiymatga ega bo'lib, maksimum taxminan 580-590 nm atrofida joylashgan. Harorat oshishi bilan yutilish intensivligi muntazam ravishda kamaydi va 100 $^{\circ}\text{C}$ da eng kichik qiymatga erishdi. Kuzatilgan bunday o'zgarish harorat ortishi natijasida polimer zanjirlari orasidagi elektron o'zaro ta'sirlarning zaiflashishi hamda molekulyar tartiblanish darajasining kamayishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Shu bilan birga, yutilish maksimumining joylashuvi deyarli o'zgarmasligi D18 polimerining optik xossalari harorat ta'sirida barqaror saqlanganligini ko'rsatadi. 30 $\mu\text{g/mL}$ konsentratsiyali eritma uchun olingan spektrlarda ham harorat ortishi bilan yutilish intensivligining pasayishi kuzatildi.



2-rasm. Dimetilbenzolda tayyorlangan turli konsentratsiyali D18 polimer eritmalarining haroratga bog'liq yutilish spektrlari

Biroq ushbu konsentratsiyada spektral xususiyatlar aniqroq namoyon bo'lib, 560-600 nm oralig'ida asosiy yutilish sohasi yaqqol shakllangan. Spekrda kuzatiladigan qo'shimcha spektral maksimum konsentratsiyaning ortishi natijasida D18 polimer zanjirlari orasidagi o'zaro ta'sirlarning kuchayganligini hamda molekulyar tartiblanish darajasining ortganligini ko'rsatadi. Harorat oshishi bilan ushbu sohada yutilish intensivligi muntazam ravishda kamaydi, bu esa polimer zanjirlari orasidagi o'zaro ta'sirlarning susayishidan dalolat beradi. Ikkala konsentratsiya uchun olingan natijalarni taqqoslab ko'radigan bo'lsak, 30 $\mu\text{g/mL}$ konsentratsiyali eritmada yutilish intensivligi 5 $\mu\text{g/mL}$ eritmaga nisbatan sezilarli darajada yuqori. Bu holat eritmadagi yutuvchi markazlar sonining ortishi bilan bog'liq. Bundan tashqari, yuqori konsentratsiyada spektral cho'qqilarning aniqroq ifodalanishi molekulararo o'zaro ta'sirlarning kuchayganligini ko'rsatadi. Harorat oshishi natijasida har ikkala eritmada ham yutilish intensivligi kamaygan bo'lsa-da, maksimumlarning joylashuvi deyarli o'zgarmagan. Bu esa D18 polimerining optik xossalari termik ta'sirga nisbatan barqaror ekanligini ko'rsatadi.

3-rasmda esa Y6 akseptorning 5 $\mu\text{g/mL}$ va 30 $\mu\text{g/mL}$ konsentratsiyali eritmalarining 30-100 $^{\circ}\text{C}$ harorat oralig'idagi yutilish spektrlari keltirilgan. Grafikdan ko'rishimiz mumkinki, asosiy yutilish maksimumi taxminan 710-720 nm to'lqin uzunligi oralig'ida kuzatilgan bo'lib, D18 donor polimeriga nisbatan Y6 akseptorning yutilish sohasi uzun to'lqinlar sohasi tomonga siljigan va bu holat uning optik taqiqlangan zonasi nisbatan torroq ekanligini va natijada yaqin infraqizil sohada samaraliroq yutilish xususiyatiga ega ekanligini ko'rsatadi. Natijada Y6 akseptor past energiyali fotonlarni ham samarali yuta oladi, bu esa uni PQElar uchun spektral jihatdan qulay akseptor materialga aylantiradi.



3-rasm. Dimetilbenzolda eritilgan Y6 ning: 30 $\mu\text{g/mL}$ va 5 $\mu\text{g/mL}$ konsentratsiyalarda yutilish spektrlari

Y6 akseptorning spektrlarida asosiy yutilish maksimumidan tashqari 650-670 nm hamda 580-600 nm to'lqin uzunligi oralig'ida nisbatan past intensivlikka ega qo'shimcha yutilish sohalar ham kuzatilgan. Ushbu spektral xususiyatlar molekuladagi elektron o'tishlar va ular bilan bog'liq tebranish holatlarining o'zaro ta'siri natijasida yuzaga keladi. Bunday spektral xususiyatlar Y6 molekulasida elektronlarning molekula bo'ylab samarali taqsimlanganligini hamda eritmada molekularning ma'lum darajada tartibli joylashishini ko'rsatadi. Y6 akseptorining yutilish spektridagi maksimumlarning D18 polimeriga nisbatan aniqroq va keskinroq namoyon bo'lishi uning kichik molekulari, strukturaviy jihatdan barqaror hamda tartiblangan tuzilishga ega ekanligi

bilan izohlanadi. Past konsentratsiyali (5 $\mu\text{g/mL}$) Y6 akseptor eritmasida yutilish intensivligi nisbatan past bo'lib, asosiy maksimum saqlansada yutilish spektri aniq ko'rinmaydi. Bu holat eritmadagi Y6 molekularining nisbatan tarqoq taqsimlanganligini hamda molekulararo o'zaro ta'sirlarning kuchsiz ekanligini ko'rsatadi. Suyultirilgan muhitda molekular orasidagi o'rtacha masofa ortadi, natijada molekulararo o'zaro ta'sirlar susayadi va yutilish intensivligi kamayadi. Shu sababli past konsentratsiyada kuzatiladigan yutilish spektri asosan yakka molekula darajasidagi Y6 molekularining optik xossalarini aks ettiradi. Konsentratsiya 30 $\mu\text{g/mL}$ gacha oshirilganda Y6 eritmasining yutilish intensivligi sezilarli ortib, yutilish maksimumlari yanada ravshanroq kuzatildi. Bu holat Y6 molekulari orasidagi o'rtacha masofa kamayishi va molekulararo o'zaro ta'sirlarning kuchayishi bilan bog'liq. Haroratning oshishi Y6 eritmalarining yutilish spektrlariga D18 donor polimeriga nisbatan sezilarli, biroq barqaror ta'sir ko'rsatgan. Harorat 30 °C dan 100 °C gacha oshirilganda, har ikkala konsentratsiyada ham yutilish intensivligining muntazam ravishda kamayishi kuzatilgan. Bu holat harorat ortishi bilan molekularning issiqlik harakati kuchayishi, natijada molekulararo o'zaro ta'sirlarning zaiflashishi hamda agregatsiya darajasining pasayishi natijasidir. D18 polimeridan farqli ravishda, Y6 akseptorining yutilish spektrlarida asosiy maksimumning joylashuvi harorat oshishi bilan deyarli o'zgarmaydi. Bu holat Y6 molekulasining elektron tuzilishi va konjugatsiyalangan tizimi yuqori termik hamda strukturaviy barqarorlikka ega ekanligini ko'rsatadi. Natijada haroratning ta'siri asosan yutilish intensivligining kamayishi bilan namoyon bo'lib, asosiy elektron o'tish energiyasiga sezilarli ta'sir ko'rsatmaydi.

Xulosa. Tadqiqotda D18 donor polimeri va Y6 akseptorining optik xossalari konsentratsiya va haroratga bog'liq holda o'rganildi. Konsentratsiyaning 5 $\mu\text{g/mL}$ dan 100 $\mu\text{g/mL}$ gacha ortishi yutilish intensivligini muntazam oshirdi, yuqori konsentratsiyalarda esa agregatsiya hisobiga spektral kengayish kuzatildi. Shuning uchun 5 $\mu\text{g/mL}$ va 30 $\mu\text{g/mL}$ konsentratsiyali eritmalar tanlandi. 30-100 °C oralig'ida harorat oshishi yutilish intensivligini pasaytirdi, biroq maksimumlar o'zgarmay qoldi, bu energetik sathlarning barqarorligini ko'rsatadi. Y6 yutilish spektri D18 ga nisbatan uzoq to'liqlik sohaga siljigan bo'lib, bu uning yaqin infraqizil fotonlarni samarali yutish imkoniyatini va kichik energetik farqini aks ettiradi. Xulosa qilib aytganda, D18 va Y6 PQElar uchun istiqbolli materiallar bo'lib, ularning samaradorligi konsentratsiya va termik ishlov sharoitlarini optimal tanlashga bog'liq.

Minnatdorchilik

Ushbu maqoladagi olingan natijalar Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi tomonidan moliyalashtirilgan FL-9024093524 sonli loyiha doirasida bajarilgan.

ADABIYOTLAR

1. Yengel, Emre. Fabrication and Characterization of Organic Solar Cells. Diss. UC Riverside, 2010.
2. Treat, Neil D., et al. *Annual review of physical chemistry* 65.1 (2014): 59-81.
3. Pastuszak, Justyna, and Paweł Węgierek. *Materials* 15(16) (2022): 5542.
4. Wang, Chaochen. University of California, Los Angeles, 2018.
5. Luo, Dou, Woongsik Jang, et al. *Journal of Materials Chemistry A* 10, no. 7 (2022): 3255-3295.
6. Xia, Zihao, Ting Cai, et al. *Catalysts* 13, no. 1 (2023): 156.
7. Li, Gang, Rui Zhu, et al. Polymer solar cells. *Nature photonics* 6, no. 3 (2012).
8. Jin, Jianghao, Qiao Wang, et al. *Advanced Functional Materials* 33, no. 14 (2023): 2213324.
9. Kartikay, Purnendu, et al. *Journal of Physics: Energy* 3.3 (2021): 034018.
10. Li, Youzhan, He Liu, et al. *ACS Applied Materials & Interfaces* 13, no. 8 (2021): 10239-10248.
11. Zhong, Sijing, Boon Kar Yap, et al. *Crystals* 12, no. 2 (2022): 168.
12. Karki, Akchheta, et al. *Advanced Energy Materials* 11.15 (2021): 2003441.
13. Liu, Chunyu, et al. *Applied Physics Letters* 105.7 (2014).
14. Mahdy, Shatha, et al. *Journal of Materials Science* 58, no. 46 (2023).
15. Artegiani Elisa. *Energies* 18, no. 5 (2025): 1024.
16. Jiang, B. H., Chen, et al. *Dyes and Pigments* (2020), 181, 108613.
17. Liu Zhiyong. *Organic Electronics* 93 (2021): 106153.
18. Xu, Xiang, et al. *Fundamental Research* 3.4 (2023): 611-617.
19. Xu, Chunyu, et al. *Solar RRL* 5.8 (2021): 2100175.
20. Liu, Xi, et al. *Journal of Materials Chemistry A* 6.2 (2018): 395-403.