

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

FARG'ONA DAVLAT UNIVERSITETI

**FarDU.
ILMIY
XABARLAR**

1995-yildan nashr etiladi
Yilda 6 marta chiqadi

5-2025
ANIQ FANLAR

**НАУЧНЫЙ
ВЕСТНИК.
ФерГУ**

Издаётся с 1995 года
Выходит 6 раз в год

С.М.Отажонов, Р.Н.Эргашев, Қ.А.Ботиров, У.Х.Маъруфова, Л.Э.Эргашева Исследование Влияния Глубоких Уровней На Фотоэлектрические Параметры Гетероструктур р-CdTe – n-CdS И р-CdTe – n-CdSe	4
М.А.Маматова, М.Ш.Юсупова Diodning volt–amper xarakteristikasi	10
А.А.Сапарбайев, В.Г'.Хидиров, Л.Р.Нурумбетова, З.А.Шодиева Har xil kovak tashuvchi qatlamlar yordamida perovskit quyosh elementlarning fotovoltaiik parametrlarini yaxshilash	15
С.А.Исмоилова, Ш.Ш.Шухратов Alohida ta'lim ehtiyojlariga ega o'quvchilar uchun interfaol pedagogik yondashuvlar	22
М.К.Юлдашев Kremniyning optik va elektr xossalari	27
А.А.Сапарбайев, Л.Р.Нурумбетова, М.Н.Акбаров Donor: Y6 faol qatlam asosidagi polimer quyosh elementlarning optik va fotovoltaiik parametrlarini tadqiq qilish	30



UO'K: 621.383.2

**DONOR:Y6 FAOL QATLAM ASOSIDAGI POLIMER QUYOSH ELEMENTLARINING
OPTIK VA FOTOVOLTAIK PARAMETRLARINI TADQIQ QILISH****ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И ФОТОГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ПОЛИМЕРНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ АКТИВНОГО СЛОЯ DONOR:Y6****INVESTIGATION OF OPTICAL AND PHOTOVOLTAIC PARAMETERS OF POLYMER
SOLAR CELLS BASED ON DONOR:Y6 ACTIVE LAYER****Saparbayev Aziz Adamovich¹** ¹Ion plazma va lazer texnologiyalari instituti, katta ilmiy xodim**Nurumbetova Lobar Rimbayevna²** ²Ion plazma va Lazer texnologiyalari instituti, katta ilmiy xodim**Akbarov Muhammadali Nomozali o'g'li³** ³O'zbekiston milliy universiteti, magistr talabasi**Annotasiya**

Ushbu maqolada polimer quyosh elementlarining (PQE) samaradorligini oshirishga qaratilgan tadqiqot natijalari taqdim etilgan. Tadqiqotda PM6 va D18 donor polimerlari hamda Y6 fullerensiz akseptorining optik va fotovoltaiik xususiyatlari o'rganildi. Donor va akseptor materiallarning yorug'lik yutish spektrlari, energetik sath darajalari va o'zaro ta'siri tahlil qilindi. Bundan tashqari Y6 fullerensiz akseptorining PM6 va D18 donor bilan faol qatlam holatidagi yutilish spektrlari tahlil qilindi. Eksperimental natijalar shuni ko'rsatdiki, Y6 fullerensiz akseptor polimerning yorug'likni yutish qobiliyati va fotovoltaiik samaradorligi yuqoriroq bo'lib, D18 donori bilan birgalikda faol qatlam hosil qilinganda 17,2 % energiya o'zgartirish samaradorligi (EO'S) ga erishdi.

Аннотация

В данной статье представлены результаты исследования, направленного на повышение эффективности полимерных солнечных элементов (ПЭС). В исследовании были изучены оптические и фотогальванические свойства донорных полимеров PM6 и D18, а также безфуллеренового акцептора Y6. Были проанализированы спектры поглощения света, энергетические уровни и взаимное влияние донорных и акцепторных материалов. Кроме того, исследованы спектры поглощения активного слоя, состоящего из безфуллеренового акцептора Y6 с донорами PM6 и D18. Экспериментальные результаты показали, что безфуллереновый акцептор Y6 обладает высокой способностью к поглощению света и высокой фотогальванической эффективностью. При формировании активного слоя с донором D18 была достигнута эффективность преобразования энергии (ЭПЭ) в 17,2 %.

Abstract

This article presents the results of a study aimed at improving the efficiency of polymer solar cells (PSCs). The optical and photovoltaic properties of the donor polymers PM6 and D18, as well as the non-fullerene acceptor Y6, were investigated. The light absorption spectra, energy level alignments, and interactions between donor and acceptor materials were analyzed. In addition, the absorption spectra of the active layers composed of the Y6 non-fullerene acceptor with PM6 and D18 donors were studied. Experimental results showed that the Y6 non-fullerene acceptor exhibits higher light absorption capability and photovoltaic performance. When combined with the D18 donor in the active layer, a power conversion efficiency (PCE) of 17.2% was achieved.

Kalit so'zlar: Polimer quyosh elementlar, Y6 fullerensiz akseptor, D18 donor polimer, PM6 donor polimer, yutilish spektri, volt-ampere xarakteristikasi, energiya o'zgartirish samaradorligi.

Ключевые слова: Полимерные солнечные элементы, Безфуллереновый акцептор Y6, Донорный полимер D18, Донорный полимер PM6, Спектр поглощения, Вольт-амперная характеристика, Эффективность преобразования энергии.

Key words: Polymer solar cells, Y6 non-fullerene acceptor, D18 donor polymer, PM6 donor polymer, Absorption spectrum, Current-voltage characteristics, Power conversion efficiency.

KIRISH

Hozirgi kunda butun dunyoda elektr energiyasiga bo'lgan talab kundan kunga oshib bormoqda va dunyodagi ko'p tadqiqotchilar bu muammo ustida bosh qotirishmoqdadir. Polimer quyosh element (PQE) lari quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantiruvchi eng istiqbolli texnologiyalardan biri bo'lib, uning arzonligi, yengilligi va ixchamligi bilan boshqalaridan ajralib turadi. Hozirda PQElarida energiya o'zgartirish samaradorligi (EO'S) qiymati 19,2 % natijaga erishilgan. Qayta tiklanuvchi energiya manbalari orasida PQElar qiziqarli xossalarga ega, masalan, ular xona haroratida eritmani qayta ishlash orqali ishlab chiqarilish mumkin bo'lgan, yupqa va mexanik moslashuvchan, yengil quyosh elementlari bo'lishi tufayli olimlar tomonidan katta qiziqish uyg'otgan. So'nggi yillarda PQElar sohasida Y6-seriyali fullerensiz akseptorlar keng qo'llanila boshlandi. Ularning yuqori EO'S sababli PQElar sohasida katta yutuqlarga erishilmoqda. Y6 akseptori asosan nur yutish va elektronlarni samarali uzatish xususiyatlariga ega bo'lgan yuqori samarali fullerensiz strukturaga ega. Y6 va uning turli hosilalarini molekulyar tuzilishini o'zgartirish orqali fotovoltaiik samaradorligini oshirish mumkin. Y6 akseptori o'zining keng spektrda nur yutish xususiyatiga ega bo'lgan molekular toifasiga kiradi. Y6 qizil va yaqin infraqizil diapazonda juda samarali nur yutadi, bu esa fotonlarni elektr energiyasiga aylantirish jarayonida katta foyda beradi. Fulleren bo'lmagan kichik molekula qabul qiluvchilarga mos keladigan yuqori samarali keng tarmoqli polimer donorga D18 ni misol qilishimiz mumkin bo'ladi. D18 ning juda ko'plab foydali xususiyatlari mavjuddir. D18:Y6 faol qatlam asosidagi polimer quyosh elementlari bilan yuqori natijalarga erishish mumkindir.

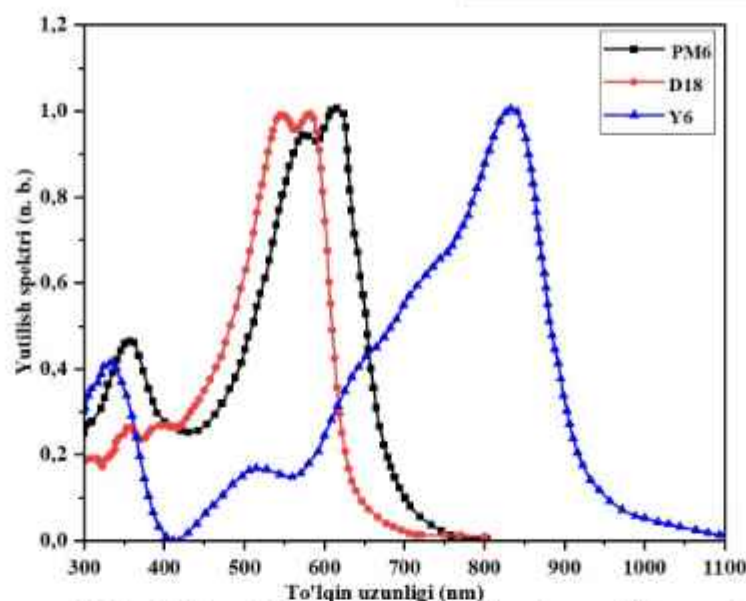
TADQIQOT USULLARI

PQElarni ITO/PEDOT:PSS/faol qatlam/PDINO/Al tuzilishi bilan ishlab chiqarilgan. Buning uchun ITO bilan qoplangan shisha tagliklar deionizatsiyalangan suv, aseton va izopropanol bilan ketma-ket ultratovushli vannada tozalandi va argon gaz oqimi bilan quritildi. Keyin, PEDOT:PSS qatlami ITO ustiga "spin coating" usulida 4000 ayl/daq. tezlikda 20 sekund davomida aylantirilib yotqiziladi va 160 °C haroratda 10 daqiqa davomida qizdiriladi. D18:Y6 va PM6:Y6 faol qatlam eritmaları "spin coating" qilishdan oldin xona haroratida aralashtiriladi. Hosil bo'lgan D18:Y6 va PM6:Y6 eritmaları yutilish spektrlarini o'lchash uchun kvars shisha ustiga "spin coating" usulida yotqiziladi. PQElarni ITO/PEDOT:PSS/faol qatlam/PDINO/Al tuzilishida yasash uchun D18:Y6 va PM6:Y6 eritmaları shisha/ITO/PEDOT:PSS ning ustiga "spin coating" usulida yotqiziladi. Tadqiqot namunalarining yutilish spektrlari UV-1280 spektrofotometrida o'lchandi.

PQElarning asosiy fotovoltaiik parametrlari ya'ni volt amper (J-V) xarakteristikalari, EO'S qiymati, ochiq zanjir kuchlanishi (V), to'ldiruvchi faktor (FF), tok kuchi zichligi oqimi (Jsc) Nyuport quyosh simulyatori tomonidan 100 mVt sm⁻² (AM 1,5 G) nurlanish intensivligi ostida "Keithley 2450" manba o'lchov qurilmasi bilan o'lchandi.

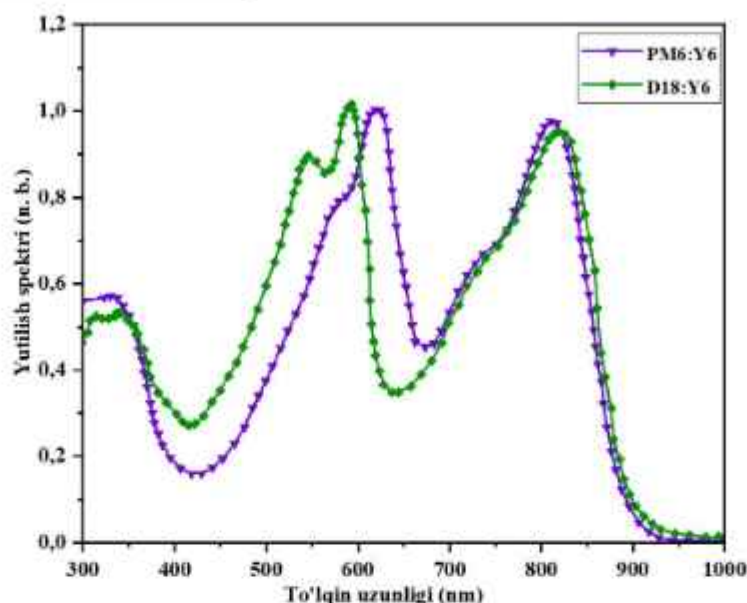
NATIJALAR VA MUHOKAMALAR

1-rasmda PM6, D18 donori va Y6 seriyali fullerensiz akseptorining polimer qatlamlarining yutilish spektri ko'rsatilgan. Rasmdan ko'rishimiz mumkinki, PM6 donor polimerining yutilish spektri 300 nm dan 750 nm gacha bo'lgan yaqin ultrabinafsha, ko'zga ko'rinuvchi nurlar va yaqin infraqizil sohalarni o'z ichiga oladi. Bu donor polimeri 360 nm da kichikroq pikka erishadi. Shu bilan birga 610 nm da eng baland va 580 nm da unga nisbatan ozroq kam bo'lgan piklarni ko'rishimiz mumkin.



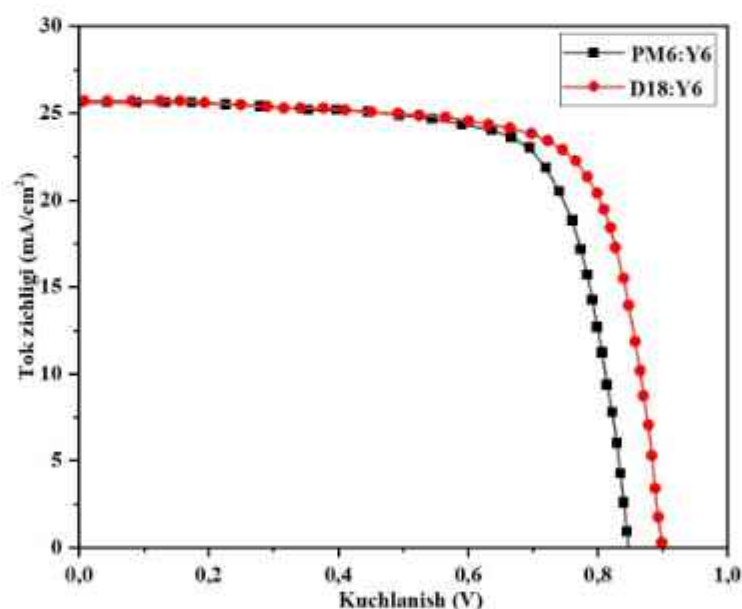
1-rasm. PM6, D18 va Y6 polimer qatlamlarning yutilish spektrlari

D18 donor polimerining yutilish diapazoni PM6 donor polimerinikiga nisbatan qisqaroqdir. D18 donor polimeri 300 nm dan 680 nm gacha bo'lgan yaqin ultrabinafsha va ko'zga ko'rinuvchi nurlar sohasini o'z ichiga oladi. 300 nm dan 410 nm da ya'ni yaqin ultrabinafsha sohasida D18 donor polimeri yutilish intensivligi yuqori bo'lmagan o'sib boruvchi kichik tebranishlarga ega. Lekin 430 nm dan 640 nm gacha bo'lgan sohada uning yutilish intensivligi juda yaxshi, shu bilan birga 540 nm da va 560 nm da o'zining bir biriga teng bo'lgan eng yuqori piklariga erishadi. Y6 fullerensiz akseptorining yutilish sohasi D18 va PM6 donor polimerinikidan sezilarli darajada keng, 300 nm dan 1100 nm gacha bo'lgan diapazonni o'z ichiga oladi. Bilamizki bu soha yaqin ultrafinafsha, ko'zga ko'rinadigan nurlar va yaqin infraqizil sohalarni o'z ichiga oladi va shu bilan birga quyoshdan kelayotgan nurlarning aksariyati ko'zga ko'rinuvchi va yaqin infraqizil sohalarga tegishlidir. Y6 fullerensiz akseptorining yutilish spektrida 330 nm da yutilish intensivligi juda yuqori bo'lmagan pikka erishadi va 410 nm da yutilish intensivligi deyarli 0 ga teng bo'ladi. Y6 molekulasida, odatda, NIR (yaqin infraqizil) va ko'k-yashil qismda kuchli yutilish ko'rsatadi, ammo 410 nm (bu binafsha-ko'k yorug'lik) sohasida elektron o'tishlar ($\pi-\pi^*$) deyarli sodir bo'lmaydi. Ya'ni bu diapazonda yorug'likni yutish uchun mos keladigan energetik o'tishga ega emas. Shuning uchun bu sohada yutilish spektri past (ya'ni, intensivligi ≈ 0). Shundan kelib chiqadiki, Y6 fullerensiz akseptorining yutilish sohasida 410 nm da deyarli 0 qiymatga ega bo'lishi uning elektron o'tish energiyasi va optik xossalari bog'liq. Keyin Y6 fullerensiz akseptorining nur yutish spektr intensivligi orta boshlaydi va 510 nm da kichikroq pikka chiqadi. Grafik yana ko'tarilishda davom etib 850 nm da o'zining eng yuqori pik natijasiga erishadi. D18 va PM6 donor va Y6 fullerensiz akseptor polimerining yutilish spektrini tahlil qilganimizdan keyin, D18:Y6 va PM6:Y6 aralashmaning yutilish spektrini analiz qildik. 2-rasmda PM6:Y6 va D18:Y6 asosga ega faol qatlamning yutilish spektri ko'rsatilgan. PM6 va D18 donor polimerlarining yutilish sohasi bir biriga yaqinligi va ikkala faol qatlam ham Y6 fullerensiz akseptor bilan faol qatlam hosil qilinganligi sababli ularning yutilish spektr grafiklari bir biriga o'xshashdir.



2-rasm. Donor:Y6 asosga ega faol qatlamlarning yutilish spektrlari

PM6:Y6 aralashmaning nur yutish diapazoni 300 nmdan 900 nmgacha bo'lgan sohani o'z ichiga oladi. Bu aralashmada 620 nmda PM6 donorning pikini va 850 nmda Y6 fullerensiz akseptorning pikini ko'rishimiz mumkin. Shuningdek PM6 ning 560 nmdagi kichik yelkali piki Y6 fullerensiz akseptor bilan aralashma holatiga keltirilganida agregatsiya hisobiga yo'qolishini ko'rishimiz mumkin. D18:Y6 aralashmaning nur yutish diapazoni ham PM6:Y6 aralashmaniki bilan deyarli bir xil. Unda ham 540 nmda va 580 nmda D18 komponentaning hamda 850 nmda Y6 ning yutilish piklarini ko'ramiz. 660 nmdan 900 nmgacha bo'lgan oraliqda ikkala grafikda ham PM6 va D18 donor polimerlari Y6 fullerensiz akseptor asosida tayyorlangaligi sababli bir xil natijalar va piklarni ko'ramiz.



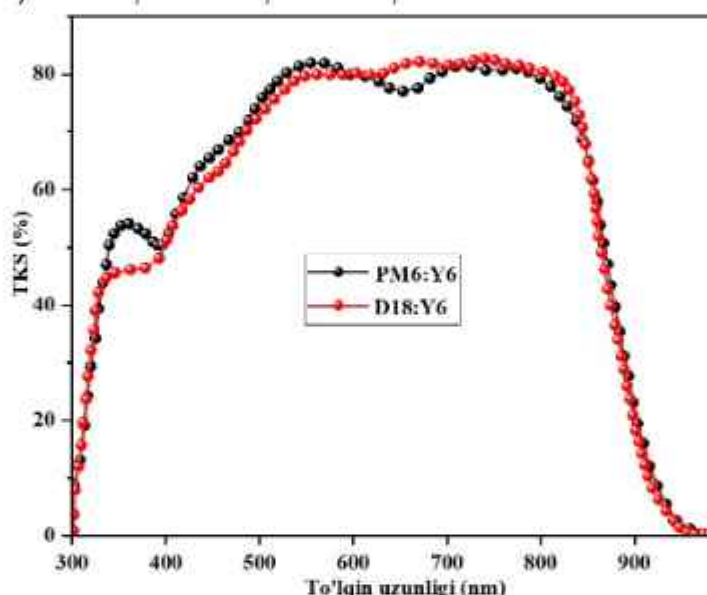
3-rasm. PM6:Y6 va D18:Y6 faol qatlamga ega PQElarning volt-ampere xarakteristika grafiklari

3-rasmda PM6:Y6 va D18:Y6 asosidagi PQElarning volt-ampere xarakteristikasi grafigi ko'rsatilgan. Grafikdan ko'rish mumkinki, FF yuzasi ikkala holda ham deyarli bir xil. Bunda FF qiymatlari mos ravishda 73,1% va 76,3% ga teng. FF parametri asosan faol qatlamning sifatini belgilab beradi. Faol qatlam iloji boricha nuqsonlarsiz optimal qalinlikka ega bo'lsa FF parametrlar ham yuqori qiymatga erishadi.

1-jadval. PM6:Y6 va D18:Y6 faol qatlamga ega PQElarning fotovoltaike parametrlari

Faol qatlam	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	EO'S (%)
PM6:Y6	0,84	26,4	73,1	16,8
D18:Y6	0,88	25,6	76,3	17,2

1-jadvalda PM6:Y6 va D18:Y6 asosidagi PQElarning asosiy fotovoltaiik parametrlari keltirilgan. Bu yerda D18 donor polimerining yorug'lik yutilishi PM6 nikiga qaraganda yaxshiroq xususiyatga ega, natijada unda ko'proq eksitonlar (elektronlar va kovaklar) hosil bo'lgan. Shuning hisobiga tok zichligi qiymatlari PM6:Y6 va D18:Y6 faol qatlamlar asosidagi PQElar uchun mos ravishda 26,4 mA/cm² va 25,6 mA/cm² qiymatga egadir. Ochiq zanjir kuchlanishi (V_{oc}) PM6:Y6 va D18:Y6 faol qatlamlar asosidagi PQElari uchun mos ravishda 0,84 V va 0,88 V qiymatga ega bo'lib deyarli bir biriga yaqin qiymatni ko'rsatdi. Bu kichik o'sish rekombinatsiya jarayonlarining kamayganligini hamda energiya sathlarining bir biriga mos kelishini anglatadi. Zaryad tashuvchilarning harakati yaxshilanishi va kontakt interfeyslaridagi yo'qotishlarning kamayganligi sababli to'ldirish faktori(FF) ham 73,1% va 76,3% bo'lib, bir oz oshdi.



4-rasm. Donor:Y6 faol qatlamga ega PQElarning tashqi kvant samaradorligi spektrlari

4-rasmda PM6:Y6 va D18:Y6 faol qatlam asosidagi PQElarning tashqi kvant samaradorligi (TKS) spektrlari keltirilgan. D18:Y6 faol qatlam asosidagi PQElarning TKS spektri PM6:Y6 faol qatlam asosidagi PQElarning TKS spektridan butun diapazon bo'ylab biroz yuqori qiymatga ega. PM6:Y6 faol qatlam asosidagi PQElarning TKS qiymati 350–600 nm oralig'ida yuqori, bunga sabab yorug'lik yutilish samaradorligi shu soxada oshgan, zaryad ajralishi va tashilishi yaxshilangan, rekombinatsiya esa kamaygan. Bu natijalar esa volt-ampere xarakteristikasi grafigi va yutilish spektri natijalari to'liq mos keladi.

XULOSA

D18 va PM6 donor polimerining yutilish diapazoni 300 nmdan 700nmgacha bo'lgan oraligni o'z ichiga olgani va Y6 fullurensiz akseptorning nur yutish sohasi 400 nmdan 1050 nmgachani o'z ichiga oladi. Bundan kelib chiqadiki, D18:Y6 va PM6:Y6 faol qatlam 300 nmdan 1050 nmgacha bolgan nurlarni yaxshi yutadi va bu soha qizil va yaqin infraqizil sohalarga to'g'ri keladi. Quyoshdan kelayotgan nurlarning aksariyat katta qismining to'lqin uzunligi shu sohaga tog'ri kelganligi sababli, D18:Y6 va PM6:Y6 faol qatlam asosidagi PQElarning EO'S qiymatlari mos ravishda 17,2% va 16,8% ni tashkil etdi. Bundan shunday xulosaga kelimizki, Y6 fullerensiz akseptori va donor polimerlarining asosida tayyorlanga faol qatlamli PQElar istiqbolli natijalarga erishsa bo'ladi.

MOLIYALASHTIRISH

Ushbu maqoladagi olingan natijalar O'zRFA U. Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti bazaviy moliyalashtirish mablag'lari ko'magida bajarilgan.

ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. M. Nur-E-Alam, M.S. Islam, T. Abedin, M.A. Islam, B.K. Yap, T.S. Kiong, *Current Opinion in Colloid Interface Science*, (2025) 101895.
2. P.V. Kamat, in, ACS Publications, 2025, pp. 896-897.
3. L.A. Castriotta, F. De Rossi, M. Bonomo, *ACS Energy Letters*, 10 (2025) 283.
4. H. Zhu, B. Shao, Z. Shen, S. You, J. Yin, N. Wehbe, L. Wang, X. Song, M. Abulikemu, A. Basaheeh, *Nature Photonics*, 19 (2025) 28-35.
5. G. G. Njema, J.K. Kibet, S.M. Ngari, *Next Energy*, 6 (2025) 100182.
6. J. Chen, X. Wang, T. Wang, J. Li, H.Y. Chia, H. Liang, S. Xi, S. Liu, X. Guo, R. Guo, *Nature Energy*, 10 (2025) 181-190.
7. X. Sun, X. Ding, F. Wang, et al., "Binary Organic Solar Cells With >19.6% Efficiency" *ACS Energy Letters* 9 (2024): 4209-4217.
8. Q. Fan, Q. Xiao, H. Zhang, et al., "Highly Efficient and Stable ITO-Free Bulk Heterojunction," *Advanced Materials* 36, no. 3 (2024): 2307920.
9. J. W. Lee, H. G. Lee, E. S. Oh, et al., "Rigid- and Soft-Block-Copolymerized Conjugated Polymers" *Joule* 8, no. 1 (2024): 204-223.
10. L. Tian, C. Liu, and F. Huang, "Recent Progress in Side Chain Engineering of Y-Series Non-Fullerene Molecule and Polymer Acceptors," 34, no. 31 (2022).
11. J. Yao, Q. Chen, C. Zhang, Z. Zhang, and Y. Li, "Perylene-Diimide-Based Cathode Interlayer Materials for High Performance Organic Solar Cells," *SusMat* 2, no. 3 (2022): 243-263.
12. S. Chu and A. Majumdar, "Opportunities and Challenges for a Sustainable Energy Future," *Nature* 488, no. 7411 (2012): 294-303.
13. Z. Chen, J. Zhu, D. Yang, et al., "Isomerization Strategy on a Non-Fullerene" *Energy & Environmental Science* 16, no. 7 (2023): 3119-3127.
14. Q. Zhu, J. Xue, H. Zhao, et al., "Highly Efficient Organic Solar Cells With Acceptor Content," *Journal of Materials Chemistry A* 10, no. 15 (2022): 8293-8302.
15. D. J. Lipomi, B. C. K. Tee, M. Vosgueritchian, and Z. Bao, "Stretchable Organic Solar Cells," *Advanced Materials* 15, no. 15 (2011): 1771-1775.
16. Z. Wang, D. Zhang, M. Xu, et al., "Intrinsically Stretchable Organic Solar Cells With Simultaneously" *Small* 18, no. 26 (2022): 2201589.
17. J. Qiu, Q. Zhou, M. Yu, et al., "Modulating CsPbI₃," *SusMat* 3, no. 6 (2023): 894.
18. Z. Peng, K. Xian, Y. Cui, et al., "Thermoplastic Elastomer Tunes Phase Structure" *Advanced Materials* 33, no. 49 (2021): 2106732.
19. J. Wang, C. Han, J. Han, et al., "Synergetic Strategy for Highly Efficient and Super Flexible Thick-Film Organic Solar Cells," *Advanced Energy Materials* 12, no. 31 (2022): 2201614.
20. S. Seo, J.W. Lee, D. J. Kim, et al., "Poly (dimethylsiloxane)-Block-PM6 Polymer Donors for High-Performance and Mechanically Robust Polymer Solar Cells," *Advanced Materials* 35, no. 24 (2023): 2300230.