ATMOSFERA MUHITIDA ORGANIK QUYOSH ELEMENTLARINING FOTOELEKTRIK PARAMETRLARI O‘ZGARISHI

Kamoliddinov Jamshidbek Baxriddin o‘g‘li
Namangan davlat universiteti Fizika yo‘nalishi magistranti

Nurmamatov Bunyodbek Mirzoxid o‘g‘li
Namangan davlat universiteti Fizika yo‘nalishi magistranti
e-mail: kamoliddinovjamshidbek777@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.20064782

Annotatsiya.
Mazkur ishda P3HT:PCBM va P3HT:ITIC fotofaol qatlamlariga asoslangan organik quyosh elementlarining (OQE) ikki xil muhit-inert azotli atmosfera va oddiy havoda fotoelektrik xarakteristikalarining vaqt o‘tishi bilan o‘zgarishi tajribada o‘rganildi. Ochiq zanjir kuchlanishi, qisqa tutashuv tok zichligi hamda foydali ish koeffitsiyenti (FIK) qiymatlarining 30 kunlik (azot muhitida) va bir necha soatlik (havoda) dinamikasi ko‘rib chiqildi. Tajriba natijalari shuni ko‘rsatdiki, akseptor molekulasini PCBM dan ITIC ga almashtirish nafaqat boshlang‘ich samaradorlikka, balki qurilmaning chidamliligiga ham hal qiluvchi ta’sir ko‘rsatadi.
Kalit so‘zlar: organik quyosh elementi, P3HT:PCBM, P3HT:ITIC, degradatsiya, fotoelektrik parametrlar, atmosfera muhiti, foydali ish koeffitsiyenti.

Abstract. In this work, the time-dependent evolution of the photoelectric characteristics of organic solar cells (OSCs) based on P3HT:PCBM and P3HT:ITIC photoactive layers was experimentally investigated under two different environments - an inert nitrogen atmosphere and ambient air. The dynamics of the open-circuit voltage (V_{oc}), short-circuit current density (I_{sc}), and power conversion efficiency (PCE) were examined over a period of 30 days (in nitrogen atmosphere) and over several hours (in air). The experimental results demonstrated that replacing the acceptor molecule from PCBM with ITIC has a decisive influence not only on the initial efficiency but also on the operational stability of the device.
Keywords: organic solar cell, P3HT:PCBM, P3HT:ITIC, degradation, photoelectric parameters, atmospheric environment, power conversion efficiency.

Аннотация. В настоящей работе экспериментально исследовано изменение во времени фотоэлектрических характеристик органических солнечных элементов (ОСЭ) на основе фотоактивных слоёв P3HT:PCBM и P3HT:ITIC в двух различных средах - в инертной азотной атмосфере и на открытом воздухе. Рассмотрена динамика значений напряжения холостого хода (V_{XX}), плотности тока короткого замыкания ($I_{кз}$), а также коэффициента полезного действия (КПД) на протяжении 30 суток (в азотной среде) и в течение нескольких часов (на воздухе). Результаты эксперимента показали, что замена акцепторной молекулы с PCBM на ITIC оказывает решающее влияние не только на исходную эффективность, но и на эксплуатационную устойчивость (стабильность) устройства.

Ключевые слова: органический солнечный элемент, P3HT:PCBM, P3HT:ITIC, деградация, фотоэлектрические параметры, атмосферная среда, коэффициент полезного действия.

Kirish

Quyosh energiyasidan foydalanishning muqobil yo‘llari orasida organik quyosh elementlari alohida o‘rin egallaydi. Ularning yengilligi, egiluvchanligi hamda ishlab chiqarish texnologiyasining nisbatan arzonligi bunday qurilmalarni an’anaviy kremniy asosidagi fotoelementlarga jiddiy raqib sifatida ko‘rsatmoqda. Biroq amaliy qo‘llanish nuqtai nazaridan ushbu sohada eng murakkab masala bo‘lib qurilmalarning uzoq muddatli barqarorligi qolmoqda.

Ma’lumki, kremniy asosidagi quyosh elementlariga qo‘yiladigan asosiy texnik talablar haroratga, mexanik ta’sirlarga, kimyoviy reagentlarga va nurlanishga chidamlilik bilan chegaralanadi. Organik analoglar uchun esa bu ro‘yxatga atmosfera havosi sharoitida barqaror ishlash talabi ham qo‘shiladi. Tijoratga chiqarilgan har qanday qurilma o‘zining real ish muhitida-kislorod, suv bug‘lari va o‘zgaruvchan harorat ta’sirida xizmat qilishini hisobga olsak, ushbu omilning ahamiyati yanada oydinlashadi.

Mavjud adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatadiki, organik fotofaol qatlamlardagi parchalanish jarayonlari ko‘p bosqichli xarakterga ega. Asosiy sabablar qatoriga kislorodning fotofaol qatlamga diffuziyasi, suv molekulalarining adsorbsiyasi, metall elektrod oksidlanishi hamda yorug‘lik ta’siridagi fotokimyoviy reaksiyalar kiritiladi. Shu sababli, muqobil muhitlarda-masalan, vakuumda yoki inert gazli atmosferada-qurilmalarning xulqi qiyosiy o‘rganilganda har bir omilning hissasini alohida baholash imkoniyati paydo bo‘ladi.

Hozirgi tadqiqotda P3HT donor polimeri va ikki turdagi akseptor molekulalari-klassik PCBM hamda yangi avlodga mansub ITIC asosida tayyorlangan yupqa qatlamli OQElarning fotoelektrik xarakteristikalari atmosfera havosi va inert N_2 muhitida vaqt bo‘yicha qiyosiy o‘rganildi. Tadqiqot maqsadi-akseptor molekulasi tabiatining qurilma ish muddatiga ta’sirini aniqlash va kislorodsiz muhitda ham ro‘y beradigan ichki tarkibiy o‘zgarishlar mexanizmini ochib berishdir.

Materiallar va metodlar

Tadqiqot uchun shisha tagligiga ITO/PEDOT:PSS/fotofaol qatlam/Al ko‘p qatlamli tuzilishdagi ikki turdagi yupqa qatlamli OQE namunalari tayyorlandi. Birinchi turdagi qurilmalarda fotofaol qatlam P3HT polimeri va PCBM molekulasidan, ikkinchi turdagilarda esa o‘sha P3HT polimeri ITIC akseptori bilan aralashtirilgan holda spin-coating usulida hosil qilindi. Yuqori metall elektrod sifatida vakuum ostida bug‘lantirilgan alyuminiy qatlam ishlatildi. Tayyor namunalar termik ishlovga olindi, bu jarayonda fotofaol qatlamning ichki morfologiyasi shakllantiriladi.

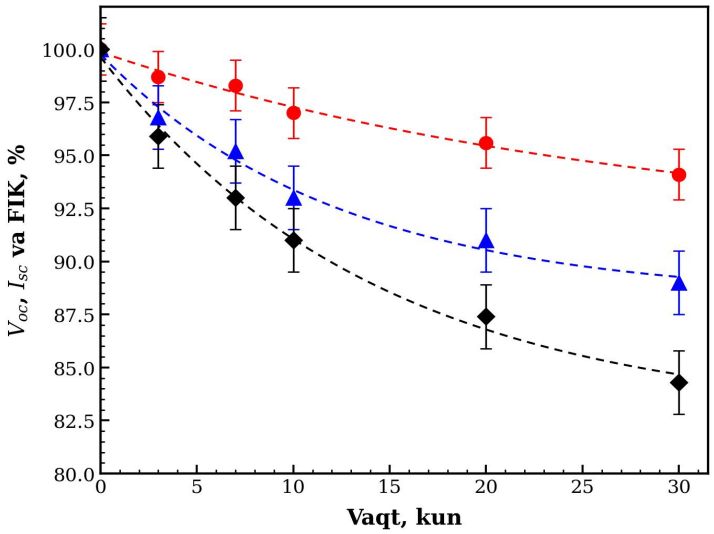
Kuzatuvlar ikki parallel guruhda olib borildi. Birinchi guruh inert azotli muhitli quruq quticha (glove-box) ichida, kislorod va suv darajasi 1 ppm dan past sharoitda saqlandi. Ikkinchi guruh esa atmosfera havosida, xona haroratida (taxminan 22–25°C) va o‘rtacha namlikda (40–60%) saqlandi. Har bir o‘lchov standart AM 1.5G yoritish sharoitida bajarildi. Volt-amper xarakteristikasidan ochiq zanjir kuchlanishi (V_{oc}), qisqa tutashuv tok zichligi (I_{sc}) hamda fotoelementning foydali ish koeffitsiyenti (FIK) hisoblab chiqildi.

Olingan barcha qiymatlar dastlabki o‘lchovga (t = 0) nisbatan normallashtirildi. Azotli muhitda kuzatuv 30 kun davom etib, o‘lchovlar 0, 3, 7, 10, 20 va 30-kunlarda olindi. Atmosfera muhitidagi tezroq parchalanishni qayd etish maqsadida P3HT:PCBM uchun jami 8 soat, P3HT:ITIC uchun esa 1 soatlik vaqt oraliqlarida tez-tez o‘lchovlar bajarildi. Tajribaning ishonchliligini ta’minlash uchun har bir tur uchta parallel namunada takrorlandi va o‘rtacha qiymatlar bilan ularning standart og‘ishlari hisoblandi.

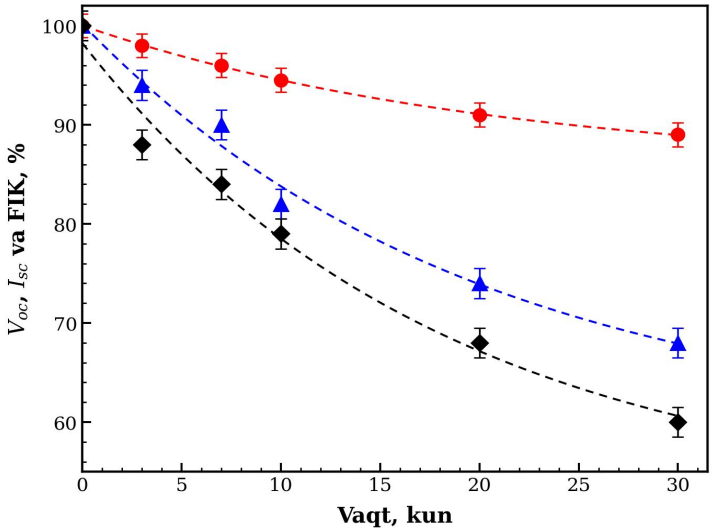
Natijalar

Azotli muhitdagi kuzatishlar

1- va 2-rasmlarda azotli muhitda saqlangan ikki turdagi OQElarning normallashtirilgan V_{oc} ,I_{sc} va FIK qiymatlarining 30 kunlik vaqt oraliqdagi pasayish dinamikasi keltirilgan. Avvalo, e'tiborga loyiq jihat shundaki, kislorod va suv molekulalari amalda mavjud bo'lmagan inert muhitda ham fotoelektrik parametrlarning sezilarli kamayishi qayd etildi.



1-rasm. Azotli muhitda saqlangan P3HT:PCBM asosidagi OQEda V_{oc} (doira), I_{sc} (uchburchak) va FIK (rombus) qiymatlarining vaqt bo'yicha o'zgarish egri chiziqlari



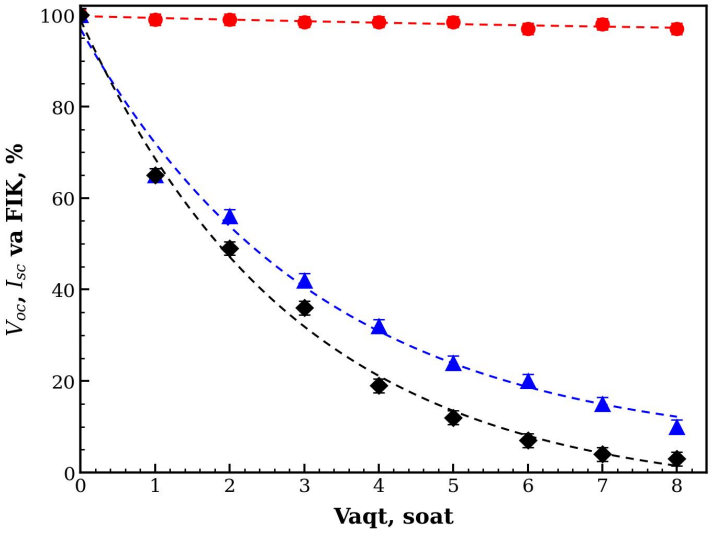
2-rasm. Azotli muhitda saqlangan P3HT:ITIC asosidagi OQEda V_{oc} (doira), I_{SC} (uchburchak) va FIK (rombus) qiymatlarining vaqt bo'yicha o'zgarish egri chiziqlari

30 kunlik kuzatuv yakunida P3HT:PCBM tizimida qisqa tutashuv tok zichligi I_{SC} boshlang'ich qiymatdan 11% ga, FIK esa 16% ga pasaydi. Ochiq zanjir kuchlanishi V_{oc} eng kam o'zgarib, taxminan 6% ga kamaydi. P3HT:ITIC tizimida esa o'zgarishlar ancha keskin bo'ldi: I_{SC} 32%, FIK 40%, V_{oc} esa 11% ga pasaydi. Bu farqlar fotofaol qatlam tarkibi va ichki tuzilishidagi farqlar bilan bog'liq bo'lishi mumkin.

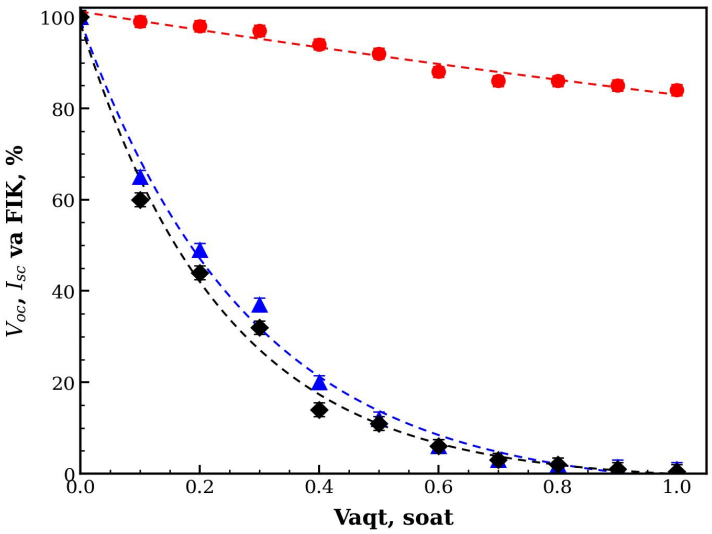
Atmosfera muhitidagi kuzatishlar

Atmosfera havosida saqlangan namunalarda jarayon butunlay boshqacha vaqt miqyosida kechdi. 3- va 4-rasmlarda mos ravishda P3HT:PCBM va P3HT:ITIC asosidagi OQElarning fotoelektrik parametrlari tasvirlangan. Kuzatuv vaqti azotli muhitga nisbatan ancha qisqa

tanlandi, chunki bu yerda fotoelektrik xarakteristikalar bir necha soat ichida deyarli nolga yaqinlashadi.



3-rasm. Atmosfera muhitida saqlangan P3HT:PCBM asosidagi OQEda V_{oc} (doira), I_{sc} (uchburchak) va FIK (rombus) qiymatlarining vaqt bo‘yicha o‘zgarish egri chiziqlari



4-rasm. Atmosfera muhitida saqlangan P3HT:ITIC asosidagi OQEda V_{oc} (doira), I_{SC} (uchburchak) va FIK (rombus) qiymatlarining vaqt bo‘yicha o‘zgarish egri chiziqlari

Egri chiziqlardan ko‘rinib turibdiki, P3HT:PCBM tizimida FIK ning xarakteristik pasayish davri taxminan 8 soatni tashkil etadi-bu boshqa adabiyotlardagi natijalarga mos keladi. P3HT:ITIC asosidagi qurilmalarda esa vaziyat butunlay boshqacha bo‘ldi: bir soatdan kam vaqtda samaradorlik ko‘rsatkichlari deyarli to‘liq yo‘qoldi. Ochiq zanjir kuchlanishi har ikkala holatda ham nisbatan barqarorroq bo‘lib chiqdi, bu degradatsiyaning asosan tok zichligi va FIK orqali namoyon bo‘lishini ko‘rsatadi.

Muhokama

Atmosfera muhitidagi tez parchalanishning asosiy sababi yuqori alyuminiy elektrodning oksidlanishi va Al_2O_3 zarralarining fotofaol qatlamga diffuziyasi bilan tushuntiriladi. Oksid qatlamining hosil bo‘lishi elektronlarni yig‘ib olish samaradorligini pasaytiradi, qatlam ichiga kirib borgan oksid esa rekombinatsiya markazlari sifatida ish ko‘radi. Bu mexanizm P3HT:PCBM tizimi uchun yaxshi o‘rganilgan va ushbu tadqiqotda olingan natijalar mavjud bilimlarga ziddiyatga uchramaydi.

P3HT:ITIC tizimida kuzatilgan g‘oyat tez parchalanish ancha qiziqarli holat bo‘lib, faqat metall elektrod oksidlanishi bilan izohlanmaydi. Bizning fikrimizcha, asosiy omil fotofaol qatlam morfologiyasidagi tub farqdadir. Termik ishlovdan keyin P3HT:PCBM tizimi yuqori darajadagi tartiblangan tuzilishga ega bo‘ladi: PCBM molekulalari muvozanatli domenlar hosil qiladi, P3HT polimer zanjirlari esa kristall sohalarga muntazam joylashadi. P3HT:ITIC qatlami esa, aksincha, amorfga yaqin tuzilishni saqlab qoladi va bu uni termodinamik beqaror qiladi.

Aynan shu sababli ITIC asosidagi qatlamda donor va akseptor fazalarining diffuzion ajralishi tezroq kechadi, agregatlar hosil bo‘lishi va qatlam morfologiyasining qayta tashkillanishi qisqa vaqt ichida yuz beradi. Adabiyotlarda P3HT:ITIC tizimining uzoq muddatli barqarorligi maxsus tahlil etilgan ishlar deyarli uchramaydi-bu ehtimol ushbu tizimda boshlang‘ich FIK qiymatining nisbatan past bo‘lganligi va shu sababli amaliy qiziqishning yetishmasligi bilan bog‘liq.

Azotli muhitda kuzatilgan sekin pasayish (P3HT:ITIC uchun ~720 soat) kislorod ta’siri yo‘q sharoitda ham fotofaol qatlam ichida tarkibiy o‘zgarishlar mavjudligini tasdiqlaydi. Bu jarayonlar kinetik sekin bo‘lib, ichki diffuziya, agregatlanish va morfologik qayta tashkillanish bilan bog‘liq. Donor matritsasi bir xil bo‘lganda ham (P3HT) faqat akseptor molekulasini almashtirish degradatsiyaning ham tezligini, ham xarakterini sezilarli darajada o‘zgartirishi olingan tajriba natijalarining muhim xulosasidir.

Amaliy nuqtai nazardan bu shuni anglatadiki, ITIC va shunga o‘xshash yangi avlod akseptorlariga asoslangan OQElar uchun barqarorlikni oshirish bo‘yicha jiddiy ishlar talab qilinadi. P3HT:PCBM tizimi uchun ishlab chiqilgan inkapsulyatsiya, bufer qatlamlar va morfologiyani barqarorlashtirish yondashuvlari bunday tizimga to‘g‘ridan-to‘g‘ri ko‘chirilishi mumkin emas-ular qatlam morfologiyasi va termodinamikasini hisobga olgan holda qayta moslashtirilishi kerak.

Xulosa

P3HT:PCBM va P3HT:ITIC fotofaol qatlamlariga asoslangan organik quyosh elementlarining atmosfera havosi va inert azotli muhitlardagi degradatsiyasini qiyosiy o‘rganish bir qator muhim xulosalarga olib keldi. Atmosfera muhitida har ikkala turdagi qurilma ham qisqa vaqt ichida fotoelektrik xarakteristikalarini deyarli to‘liq yo‘qotadi: P3HT:PCBM uchun bu davr taxminan 8 soatni, P3HT:ITIC uchun esa bir soatdan kam vaqtni tashkil etadi.

Kislorod va namlik bo‘lmagan inert azotli muhitda ham 30 kunlik kuzatuv davomida samaradorlik ko‘rsatkichlari sezilarli pasaydi: P3HT:PCBM tizimida FIK 16% ga, P3HT:ITIC tizimida esa 40% ga kamaydi. Bu fotofaol qatlamning ichki morfologiyasidagi sekin tarkibiy o‘zgarishlar mavjudligidan dalolat beradi va degradatsiya jarayonlarining ko‘p omilli xarakterga ega ekanligini ko‘rsatadi.

Donor matritsasi (P3HT) bir xil bo‘lgan ikki tizimdagi xulq-atvorlarning aniq farqi shuni ko‘rsatadiki, akseptor molekulasi tanlovi qurilmaning ish muddatiga hal qiluvchi ta’sir ko‘rsatadi. Bu natija yangi avlod organik quyosh elementlarining barqarorligini oshirish bo‘yicha keyingi tadqiqotlar uchun amaliy ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Brabec C.J., Sariciftci N.S., Hummelen J.C. Plastic solar cells // Advanced Functional Materials. - 2001. - Vol. 11, No. 1. - P. 15–26.
2. Krebs F.C. Stability and degradation of organic and polymer solar cells. - Chichester: Wiley, 2012. - 360 p.
3. Jorgensen M., Norrman K., Krebs F.C. Stability/degradation of polymer solar cells // Solar Energy Materials and Solar Cells. - 2008. - Vol. 92, No. 7. - P. 686–714.

4. Reese M.O., Gevorgyan S.A., Jorgensen M. et al. Consensus stability testing protocols for organic photovoltaic materials and devices // Solar Energy Materials and Solar Cells. - 2011. - Vol. 95, No. 5. - P. 1253–1267.
5. Lin Y., Wang J., Zhang Z.-G. et al. An electron acceptor challenging fullerenes for efficient polymer solar cells // Advanced Materials. - 2015. - Vol. 27, No. 7. - P. 1170–1174.
6. Manceau M., Bundgaard E., Carle J.E. et al. Photochemical stability of π-conjugated polymers for polymer solar cells // Journal of Materials Chemistry. - 2011. - Vol. 21. - P. 4132–4141.