I-EDU GROUP

Article

Ikki xil eritma yordamida tayyorlangan $CsPbI_3$ PQE larning optik, morfologik va fotovoltaik xossalari

L.R. Nurumbetova [1], N.F. Otaqulova [1], B.G'. Xidirov [1], A.Y. Turg'unboyev [1], A.A. Saparbayev *[1,2]

[1] Kondensirlangan muhitlar optikasi laboratoriyasi, U.A. Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnalogiyalari instituti, Toshkent, 100125, O'zbekiston
[2] M. Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, 100174, O'zbekiston
lobar.nurumbetova@gmail.com (L.N.), otaqulovanilufar78@gmail.com (N.O.), boburbekkhidirov94@gmail.com (B.X.), turgunovabror9606@gmail.com (A.T.), saparbaevaziz83@gmail.com (A.S.)
* Correspondence: saparbaevaziz83@gmail.com; Tel.: +998 88 7801441 (A.S.)

Xulosa: Perovskit quyosh elementlari (PQE) da faol qatlam sifatida ishlatiladigan noorganik $CsPbI_3$ faol qatlamlarni qizdirish harorati va erituvchilarni o'zgartirish orqali tadqiq qilindi. DMF va MAAc erituvchilarda tayyorlanayotgan $CsPbI_3$ asosidagi PQElarning optik, morfoligik va fotovoltaik xossalari tadqiq qilindi $CsPbI_3$ faol qatlamlarini qizdirish haroratini 80 dan 120 °C gacha o'zgartirib turildi va optik xossalari bilan birgalikda fotovoltaik parametrlar nazorat qilindi. $CsPbI_3$ perovskit faol qatlamini qizdirish uchun optimal temperatura aniqlandi va $CsPbI_3$ ning qora fazasi hosil bo'ldi. Optimal temperaturada qizdirilganda DMF va MAAc eritmada tayyorlangan $CsPbI_3$ asosidagi PQElarning energiya o'zgaratirish samaradorliklari (EO'S) mos ravishda 8,8% va 9,9% ni tashkil etdi.

Kalit so'zlar: perovskit, MAAc, DMF, faol qatlam, $CsPbI_3$, perovskit quyosh element.

Optical, morphological and photovoltaic properties of $CsPbI_3$ PSCs prepared using two different solutions

Lobar R.Nurumbetova [1], Nilufar F.Otakulova [1], Boburbek G.Khidirov [1]*, Abror Y.Turgunboev [1], Aziz A.Saparbaev *[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
lobar.nurumbetova@gmail.com (L.N.), otaqulovanilufar78@gmail.com (N.O.), boburbekkhidirov94@gmail.com (B.X.), turgunovabror9606@gmail.com (A.T.), saparbaevaziz83@gmail.com (A.S.)

Abstract:
The inorganic $CsPbI_3$ active layers used as the active layer in perovskite solar cells (PSC) were investigated by varying the heating temperature and solvents. The optical, morphological, and photovoltaic properties of $CsPbI_3$-based PSCs prepared in DMF and MAAc solvents were studied. The heating temperature of the $CsPbI_3$ active layers was varied from 80 to 120°C, and the photovoltaic parameters were monitored along with their optical properties. The optimal temperature for heating the $CsPbI_3$ perovskite active layer was determined, leading to the formation of the black phase of $CsPbI_3$. At the optimal heating temperature, the power conversion efficiencies (PCE) of $CsPbI_3$-based PSCs prepared in DMF and MAAc solvents were found to be 8.8% and 9.9%, respectively.

Keywords: perovskite, MAAc, DMF, active layer, $CsPbI_3$, perovskite solar cell.

Iqtibos: L.R. Nurumbetova, N.F. Otaqulova, B.G'. Xidirov, A.Y. Turg'unboyev, A.A. Saparbayev. Ikki xil eritma yordamida tayyorlangan $CsPbI_3$ PQE larning optik, morfologik va fotovoltaik xossalari. **2025**, 2,1, 1. https://doi.org/

Olingan: 10.01.2025
Tuzatilgan: 18.01.2025
Qabul qilingan: 25.01.2025
Nashr qilingan: 30.01.2025

Copyright: © 2025 by the authors. Submitted to for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attri- bution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Kirish

Noorganik qo'rg'oshin halidi (PQE) perovskit quyosh elementlari yuqori elektron harakatchanligi, yuqori yorug'lik yutish koeffitsienti, tashuvchining diffuziya uzunligi kabi turli afzalliklarga ega bo'lganligi sababli quyosh elementlari uchun istiqbolli materiallar ekanligi isbotlandi[1,6]. Noorganik qo'rg'oshin galogenid materiallari orasida metilamonium (MA) qo'rg'oshin halidi keng qo'llanilgan va PQElarda 25% eng yuqori samaradorlikni erishildi [7,8]. Biroq, MA kationining gigroskopikligi tufayli namlikka nisbatan zaifdir. Ushbu muammolarni bartaraf etish uchun sezyum galid asosidagi materiallar PQElarning faol qatlamlari sifatida ishlatilgan va ular MA kationiga nisbatan pastroq gigroskopiklik va Cs perovskitning yuqori termal barqarorligi tufayli ajoyib barqarorlikni ko'rsatdi [9]. $CsPbI_3$ va $CsPbBr_3$ning taqiqlangan soxasining kengligi mos ravishda 1,73 va 2,25 eV ga teng [9]. Shuning uchun, $CsPbI_3$ yorug'likni yutish nuqtai nazaridan $CsPbBr_3$bilan solishtirganda PQE faol qatlami uchun ko'proq mos keladi. Biroq, $CsPbBr_3$quyosh elementlarida $CsPbI_3$ ga qaraganda ko'proq faol qatlam sifatida ishlatiladi [10]. Buning sababi shundaki, $CsPbI_3$ ning sariq fazadan yutilishini yaxshilash uchun qora fazaga o'tkazishda yuqori haroratli jarayon (>330 °C) talab qilinadi, bu tijoratlashtirish uchun mos kelmaydi [11]. Gidroyodit kislota (HI) past haroratlarda $CsPbI_3$ fazasini qora fazaga aylantirish va bir tekis hamda silliq plyonka hosil qilish uchun qo'shiladi. HI kichikroq donalarning shakllanishini ta'minlash bilan birga qora fazani past haroratlarda barqarorlashtiradi, chunki nanokristallarning o'lchamlari qanchalik kichik bo'lsa, ular qora fazada shunchalik barqaror bo'ladi [12,15]. Shuning uchun, HI qo'shilgan $CsPbI_3$ faol qatlam hosil bo'lishi jarayon haroratini pasaytiradi va $CsPbI_3$ faol qatlamga asoslangan PQElar yaxshilangan EO'Sni namoyish etishi kuzatildi.

Bu usul bilan ham PQElarning EO'S va barqarorligi oshgan bo'lsa ham, bu usulning o'ziga yarasha kamchiliklari ko'p. Jumladan, sintez jarayoni va $CsPbI_3$ tayyorlash jarayoni juda ham toksik zararli bo'lib DMF va HI kislotasini to'liq bug'lantirish orqali atrof muhitga juda katta zarar yetkaziladi va bug'lanish jarayoni ham uzoq vaqt davom etadi. HI kislotasini perovskit eritmasiga qo'shish usuli bilan juda yaxshi natijalarga erishildi, ammo HI kislotasi bilan perovskit eritmasini tayyorlash jarayonida bazi muammolar mavjud. Birinchisi, HI kislota kiritilgan $CsPbI_3$ perovskit prekursor eritmasi havodagi kislorod bilan osongina reaksiyaga kirishishi mumkin, shu sababli PQElari barqarorligi tijoratlashtirish darajasigacha bo'lgan talabga javob berolmaydi. HI kislota bilan ikkinchi muammo bu HI kislotaning xossalari bilan bog'liq bo'lib, yani HI kislota atmosfera sharoitida hatto xona haroratida kislorod bilan oson reaksiyaga kirishadi. Shu sababli HI kislotani doim muzlatkichda saqlash talab etiladi [16,17]. Bundan tashqari $CsPbI_3$ perovskitlarni sintez qilish va quyosh elementlarini yasash uchun struktura fazalarini past haroratlarda o'zgartirishda, perovskit qatlamning sifatli kristallanish jarayonida ko'plab muammolar mavjud. Perovskit materiallarning (masalan PbI_2 va CsI) eritmalarda eruvchanligi cheklanganligi tufayli perovskit qatlamning qalinligi va sifati bo'yicha optimal darajadagi barqaror va ishlash muddati uzoq bo'lgan PQElarini ishlab chiqish qoniqarsiz bo'lib qolmoqda.

Shu sababli keying tadqiqotlarda $CsPbI_3$ perovskit eritmasini tayyorlashda CsI va PbI_2 perovskit materiallarini eritish uchun erituvma sifatida ekologik erituvchi metilamoniy asetat (MAAc) dan foydalanishmoqda [18]. MAAc ning zaxarlilik tasiri yo'qligi CsI va PbI_2 perovskit materiallarini yaxshi erishini taminlashi kabi yutuqlari bo'lsa xona xaroratidan yuqori temperaturada yani 60°C da eritma tayyorlanishi bu ishning kamchiligi hisoblanadi [19,23]. MAAc rangsiz, shaffof, yopishqoq ionli suyuqlikdir. MAAc 164 °C maksimal bug'lanishga erishadi. MAAc suyuq xolatda saqlanganda juda yaxshi barqarorlikni ko'rsatdi. Bir xil shakl va hajmdagi kristal donalari va zich plyonka xosil bo'lishi uchun eritmadagi kristal yadrolarining tartib bilan tarqalishiga bog'liq ekan. Kristal yadrolari prekursor eritmasida bir xilda tarqalgan bo'lsa, ular plyonka hosil bo'lish jarayonida bir xil o'sish qobilyatiga ega bo'lib, o'xshash o'lchamdagi bir xil kristal donalar shakllanishiga olib keladi. Aksincha, prekursorda kristal yadrolari turlicha tartibda bo'lsa, plyonkada turli hajm va o'lchamdagi kristal donalari hosil bo'ladi, bu esa o'z navbatida sirtda notekisliklar bo'lishiga olib keladi [24, 25]. Biz MAAc va DMF erituvchilarda perovskit prekursor eritmasini tadqiq qilib, perovskitning turli erituvchilardagi eritmalari asosidagi faol qatlam tayyyorlab, ularning optik xususiyatlarini, morfologoyasini va fotovoltaik parametrlarini taxlil qildik.

Materiallar va usullar

Tadqiqot uchun noorganik seziy qo‘rg‘oshin triyodid $CsPbI_3$ perovskit materiallari sintez qilindi va yuqori sifatli perovskit faol qatlamlarini spin coating usulida yotqizilib atmosfera sharoitida tayyorlandi.

Tadqiqotimizning birinchi qismida $CsPbI_3$ perovskit eritmasini tayyorlash uchun CsI va PbI_2 DMFda 1:1 M nisbatda (0.5 M) sintez qilinib, xona haroratida 24 soat davomida aralashtirildi, so‘ngra 66 µl HI kislotasi perovskit faol qatlamlarini tayyorlashdan 2 soat oldin 1 ml perovskit eritmasiga qo‘shiladi. ITO bilan qoplangan shisha tagliklar ultratovushli vannada asetonda, deionizatsiya qilingan (DI) suvda va izopropil spirtida (IPA) har biri 13 daqiqa davomida tozalanib, so‘ngra esa yuqori toza azot gazi yordamida quritildi. Keyin, shisha/ITO tagliklar 6 daqiqa davomida kislorod plazma tozalagichida ishlov berilib tozalandi. Shundan so‘ng, shisha/ITO sirt tayyor bo‘lgach, spin qoplama usuli yordamida PEDOT:PSS ni 4000 ayl./min. (ayl./min.-bir daqiqadagi aylanishlar soni) tezlik bilan 20 sekund davomida aylantirilib 40 nm qalinlik atrofida yotqiziladi va tayyor PEDOT:PSS qatlamlarini pechda atmosfera sharoitida 20 daqiqa davomida 160 °C da qizdiriladi. PEDOT:PSS qatlami tayyor bo‘lgach $CsPbI_3$ perovskit eritmasini 15 soniya davomida 4000 ayl./min. tezlikda spin-qoplama usuli bilan tayyorlandi. Va nihoyat, tayyor bo‘lgan perovskit faol qatlam taglik ustida pechkada 100°C haroratda 10 daqiqa davomida atmosfera sharoitida termik qizdiriladi. Bunday holda, perovskit faol qatlamlarning rangi biroz och sariqdan to‘q jigarranggacha o‘zgardi. $CsPbI_3$ faol qatlam termik qizdirilib tayyor bo‘lgach, 20 mg/ml konsentratsiyali dixlorobenzoldagi PCBM eritmasini 1200 ayl./min. tezlikda 30 sekund davomida aylantirish orqali perovskit faol qatlami ustiga qoplangan. Barcha struktura tayyor bo‘lgach qalinligi taxminan 100 nm bo’lgan Al katod vakuum sharoitida 5×10^4 Pa bosim ostida Al ni termal bug‘ cho‘ktirish usuli yordamida yotqizilgan.

Tadqiqotimizning ikkinchi qismida $CsPbI_3$ perovskit eritmasini tayyorlashda CsI va PbI_2 1:1 M (0,3 M) nisbatda olinib 1,5 ml MAAc eritmasida ochiq havoda 60°C da 6 soat davomida aralashtirildi. Shisha/ITO tagliklari har biri 13 daqiqa davomida atseton, deionizatsiyalangan suv va izopropil spirtida ultratovushli vannada tozalandi. Keyinchalik, tagliklar sof azot gazi bilan quritilgan va 6 daqiqa davomida kislorod plazmasi bilan ishlov berildi. Keyin, PEDOT:PSSni shisha/ITO tagliklarga yotqizildi (4000 ayl/daq, 20 s, 40 nm) va havo sharoitida 20 daqiqa davomida 160°C da pechda qizdirildi. shisha/ITO/PEDOT:PSS tayyor bo‘lgach, $CsPbI_3$ perovskit eritmasini shisha/ITO/PEDOT:PSS ustiga “spin coating” usuli (4000 ayl/daq, 10 sekund) bilan qoplangan. Faol qatlam tayyor bo‘lgach $PC_{71}BM$ ni (20 mg/ml, dixlorbenzol.) $CsPbI_3$ faol qatlamning ustiga spin koating usuli (1200 ayl/daq, 30 sekund) bilan yotqiziladi. Alyumin katod (100 nm) termal bug‘lantirish yordamida 5×10^4 Pa vakuum bosim sharoitida qoplangan.

Perovskit faol qatlamini qoplash uchun biz RW-4A tipidagi spin koater qurilmasidan foydalangan holda “sping coating” usulidan foydalandik, ITO shishasidagi perovskit faol qatlamlarning yutilish spektrlari “Shimadzhu UV-1280” spektrofotometrida, fotolyuminessensiya spektrlari “Shimadzhu RF-6000” spektrofluorimetri yordamida olingan. Bruker D8 ADVANCE rentgen nurlari diffraktsiyasi (XRD) perovskit faol qatlamlarining struktura fazalarini analiz qilish uchun ishlatildi. Perovskit faol qatlam yuzasi morfologiyasi Hitachi S-4800 skanerlovchi elektron mikroskopi (SEM) yordamida tasvirlangan. Fotovoltaik parametrlari Nyuport quyosh simulyatoridan standart yoritgichi 100 mVt/sm^2 (AM 1,5 G) bo‘lgan “Keithley 2420” manba yordamida o‘lchangan.

Natijalar

1. $CsPbI_3$ perovskit faol qatlamlarning optik parametrlari

Perovskit materiallarning ya’ni CsI va PbI_2 larning DMF va MAAc suyuqligida tayyorlangan faol qatlamlarning yorug’lik yutilish spektrlari tadqiq qilindi. 1-rasmda ikki xil erituvchida tayyorlanib $CsPbI_3$ perovskit faol qatlamlar olingan va qizdirilmagan holdagi xona haroratida ularning yorug’lik yutilish spektri natijalari berilgan. Yutilish spektri grafigidan ko’rish mumkinki DMF erituvchisida tayyorlangan perovskit faol qatlamning yutilish spektri intensivligi 450 nm dan 800 nm gacha nolga teng. Eng asosiy yutilish spektr piki esa 415 nm ga to’g’ri kelmoqda.

Bu yutilish pikining hosil bo’lishini DMF da tayyorlangan perovskit eritmasining tarkibida PbI_2 materialining eruvchanligi cheklanganligi tufayli PbI_2 materiali DMFda molekulyar darajada erimagan va shu sabab PbI_2 materialining yutilish piki 415 nm to’lqin uzunligida hosil bo’lmoqda. Bundan xulosa qilish mumkinki DMFda perovskit matreriallarning yaxshi erimasligi tufayli $CsPbI_3$

perovskit faol qatlamlar asosidagi PQElarning EO'S qiymatlari nazariy hisoblangan qiymatlaridan juda past qiymatlarda bo'lmoqda.

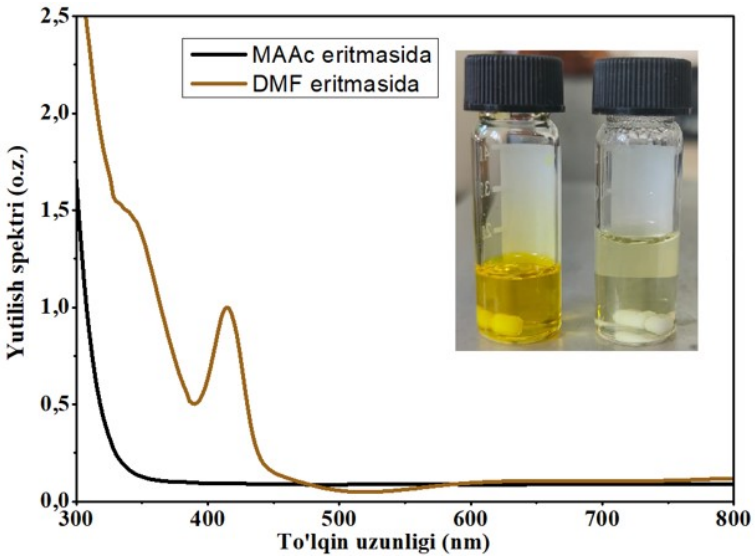


Figure 1. Absorption spectra of $CsPbI_3$ perovskite active layers prepared in DMF and MAAc solvents before heating.

Rasm 1. Qizdirilishdan oldin DMF va MAAc erituvchilarida tayyorlangan $CsPbI_3$ perovskit faol qatlamlarining yutilish spektrlari.

1-rasmdagi MAAc erituvchisida tayyorlangan perovskit eritmasidan asosidagi faol qatlamning yutilish spektrini tahlil qiladigan bo'lsak, bu faol qatlamning yutilish spektri intensivligi 350 nm va 800 nm to'lqin uzunligi oralig'ida deyarli nolga teng. DMF va MAAc suyuqligida tayyorlangan faol qatlamlarning yutilish spektri grafiklarini 400 nm va 800 nm oralig'ida solishtiradigan bo'lsak DMF suyuqligida tayyorlangan faol qatlamning yutilish spektri grafigidan farqli ravishda MAAc suyuqligida tayyorlangan faol qatlamda 400-800 nm oralig'ida hech qanday yutilish piki mavjud emas. Buning sababini MAAc erituvchisi CsI va PbI_2 perovskit materiallarini DMFga nisbatan juda yaxshi erita olganligini, ayniqsa PbI_2 materialini molekulyar darajada erib perovskit eritmasi DMF suyuqligida tayyorlangan eritmadan farqli ravishda sariq rangda emas shaffof ekanini 3. 1-rasmda qo'yilgan eritmalarning rasmidan ham ko'rish mumkin.

Yangi tayyorlangan qizdirilmagan perovskit faol qatlamlarning yutilish spektrlarini tadqiq qilgandan keyin, bu ikki xil suyuqlikda tayyorlangan perovskit eritmasi asosida perovskit faol qatlamlarni har xil haroratda 10 daqiqa qizdirgandan keyin ularning yutilish spektrlari tadqiq qilindi. 2-rasmda DMF suyuqligida tayyorlangan perovskit eritmasi orqali tayyorlangan perovskit faol qatlamlarni 80°C, 90°C, 100°C, 110°C va 120°C haroratlarda termik qizdirilgandan keyin yutilish spektrlarining grafiklari berilgan. Yutilish spektri grafiklaridan ko'rish mumkinki, perovskit faol qatlamlarni 80°C haroratda qizdirganimizda perovskit faol qatlam strukturasida hech qanday o'zgarish kuzatilmagan, ya'ni bu harorat perovskit faol qatlam strukturasini o'zgartira olmagan. Chunki 80°C haroratda qizdirilgan perovskit faol qatlam bilan qizdirilmagan perovskit faol qatlamining yutilish spektrlarining shakli va yutilish intensivligi yuzasi bir xil natijani ko'rsatmoqda. Keyingi bosqichda termik qizdirish haroratini 90°C ga oshirganimizda esa yutilish spektri intensivligi bir oz oshganligini ko'rishimiz mumkin. Bu natijani perovskit faol qatlami 90°C haroratda qizdirish tufayli struktura tuzilishi oz miqdorda qora faza strukuturaga o'tganligi bilan izohlash mumkin. Ammo 90°C haroratda perovskit faol qatlamni qizdirish PQElarni sariq fazadan qora fazaga o'tishi uchun yetarli bo'lmadi.

Shuning uchun haroratni 100 °C ga oshirdik. DMF suyuqligi orqali tayyorlangan faol qatlam 100 °C haroratda qizidirilgandan keyin uning yutilish spektri o'lchanganda yutilish spektri sohasining yuzasi ancha kengaydi va 90 °C haroratda qizdirilgan faol qatlamlarning yutilish spektri bilan solishtirganimizda deyarli 2,5 marta farq qildi. Xuddi shu suyuqlikda ya'ni DMF suyuqligida tayyorlangan perovskit faol qatlamini 110 °C va 120 °C haroratlarda qizdirganimizda

esa 100 °C haroratda qizdirganimizga nisbatan yutilish spektri pasayishni boshladi. Bu yutilish spektrlarimizdan qisqacha xulosa qiladigan bo'lsak perovskit faol qatlamini tayyorlashda 100°C haroratda qizdirganimizda faol qatlamlardagi defektlar kamayib, kristallanish yaxshilanadi, natijada

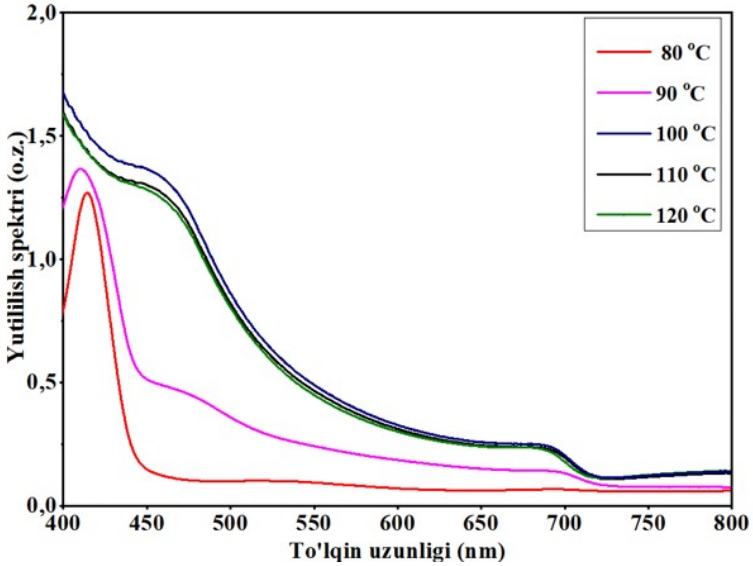


Figure 2. Absorption spectra of perovskite active layers prepared from a perovskite solution in DMF solvent after thermal heating at different temperatures.

Rasm 2. DMF erituvchisida tayyorlangan perovskit eritmasidan olingan perovskit faol qatlamlarning turli haroratlarda termik qizdirilgandan keyingi yutilish spektrlari.

fotovoltaik parametrlari 80°C, 90°C, 110°C va 120°C haroratlarda qizdirilgan faol qatlamlarga qaraganda ancha yaxshi natija ko'rsatdi.

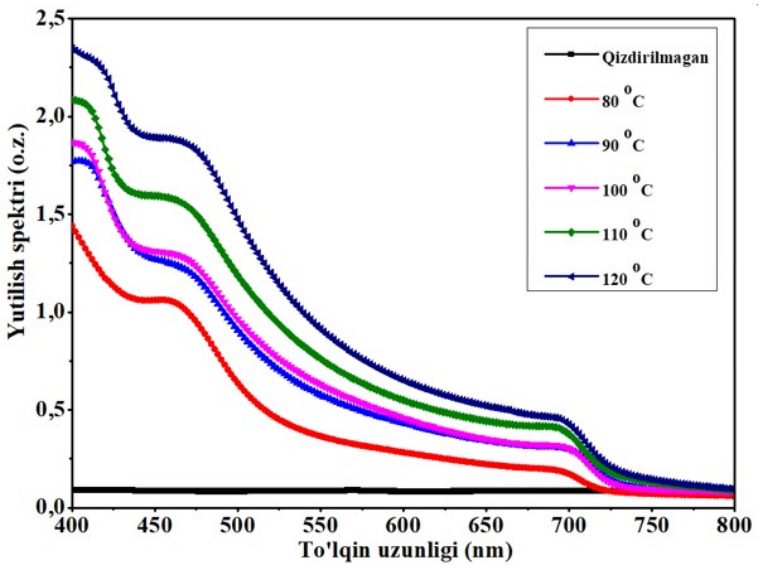


Figure 3. Absorption spectra of $CsPbI_3$ perovskite active layers prepared using MAAc solvent and thermally heated at different temperatures.

Rasm 3. MAAc suyuqligi yordamida va turli haroratlarda termik qizdirilgan holatda tayyorlangan $CsPbI_3$ perovskit faol qatlamlarning yutilish spektrlari

3- rasmda MAAc suyuqligida eritilgan $CsPbI_3$ perovskit faol qatlamlarning qizdirishdan oldin olingan va har xil haroratlarda 10 daqiqa davomida qizdirilgandan keyin olingan yutilish spektri natijalari keltirilgan. Yutilish spektri shakllaridan yoki yutilish maydonini yuzasining o'lchamlaridan hulosa qilish mumkinki, qizdirishdan oldin olingan yutilish spektri grafigi perovskit strukturaning

sariq faza ekanligini va termal qizdirishdan keyin qora fazaga aylanishini ko'rsatadi. Ma'lumotlarga asosan $CsPbI_3$ perovskitning sariq faza tuzilishining ta'qiqlangan soha kengligi 2,81 eV bo'lib, perovskit qatlamning yutilish spektri intensivligi piki ultrabinafsha to'lqin uzunligiga mos keladi. Perovskit faol qatlamlarni 80 °C, 90 °C, 100 °C, 110 °C va 120 °C haroratlarda qizdirgandan so'ng, yutilish spektri intensivliklari qizdirish harorati oshishi bilan ortib bordi va ta'qiqlangan soha kengligi 1,72 eV gacha kamaydi. Bu olingan natijalar boshqa usullarda olingan perovskit faol qatlamlarning optik xossalari bilan mos keladi. MAAc eritmasi asosida tayyorlangan perovskit faol qatlamlarni qizidirishlardan keyin olingan yutilish spektrlari natijalari perovskit faol qatlamlar strukturasining sariq fazadan qora fazaga o'tish jarayoni harorat o'zgarishiga juda sezgirligini ko'rsatdi. Shu bilan birga, turli xil past haroratlarda qizdirishdan qatiy nazar, yutilish spektri chegarasining boshlanishi 723 nm da doimiydir. Grafikdan ko'rishimiz mumkinki, 110°C va 120°C haroratda qizdirib tayyorlangan faol qatlamlarning yutilish spektri sohasi 80°C, 90°C va 100°C da qizdirilgan faol qatlamlarning yutilish spektri sohasidan biroz kattaroqdir. Biroq, harorat (120°C) perovskit kristallanish haroratidan yuqori bo'lsa, kristall o'sishi nazoratdan chiqib ketadi. Ushbu yutilish spektrlari natijalaridan umumiy hulosa qiladigan bo'lsak, qo'shimchalarsiz MAAc eritmasiga asoslangan $CsPbI_3$ perovskit faol qatlamlarni past haroratlarda qizdirish orqali sariq fazadan qora fazaga qiyinchiliksiz oson o'zgartirish mumkin va bu faol qatlamlar PQElar uchun yaroqli degan hulosaga kela olamiz.

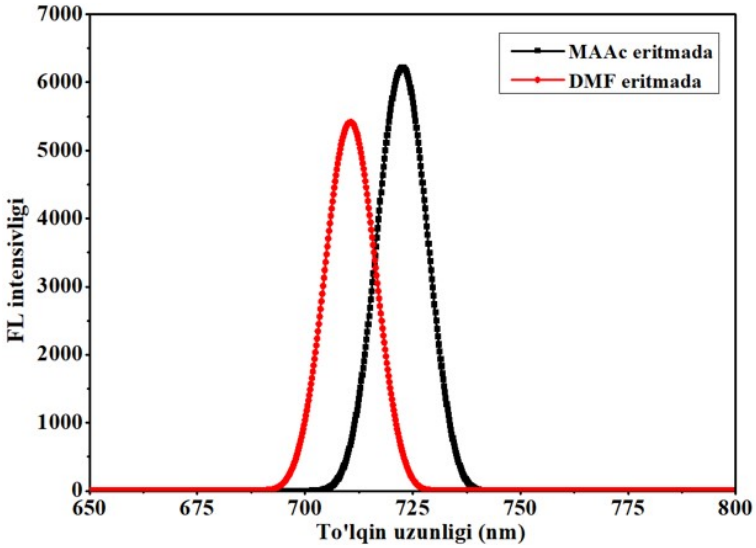


Figure 4. PL spectra of perovskite active layers prepared in MAAc and DMF solvents.
Rasm 4. MAAc va DMF erituvchilarida tayyorlangan perovskit faol qatlamlarning FL spektrlari

4-rasmda ikki xil erituvchi orqali tayyorlangan $CsPbI_3$ perovskit faol qatlamlarning FL spektrlari keltirilgan. Grafiklarni solishtiradigan bo'lsak, MAAc eritmasida tayyorlangan faol qatlamlarning FL intensivligi DMF eritmasi orqali tayyorlangan faol qatlamlarning FL intensivligidan yuqoriroq chiqqan. DMF eritmasi yordamida tayyorlangan faol qatlamlarning FL intensivligi 6000 birlikni ko'rsatdi va 710 nm to'lqin uzunligida pik hosil qildi, ikkinchi holda esa, ya'ni MAAc eritmasida eritib tayyorlangan perovskit faol qatlamlarning FL intensivligi 6500 ga oshganligini va 725 nm to'lqin uzunligida pik hosil bo'lganini ko'rishimiz mumkin. Faol qatlamlarni tayyorlashda MAAc eritmasidan foydalanish perovskit faol qatlamlaridagi nanoteshiklar va nuqsonlarni samarali tarzda bartaraf etish mumkin va bu eksitonlarning paydo bo'lishiga, elektron va kovaklar ajralib fototok hosil bo'lish jarayoning yaxshilanishiga, FL intensivligining yuqoriroq chiqishiga sabab bo'ladi. Umuman olganda, 1, 2 va 3-rasmlardagi yutilish va 4-rasmdagi FL spektrlaridan xulosa qiladigan bo'lsak perovskit faol qatlamlarning sariq fazadan qora fazaga o'tish jarayoni qizdirish haroratiga juda sezgir va eritma tayyorlashda ishlatiladigan erituvchi ham muhim ahamiyatga ega.

2. Noorganik $CsPbI_3$ faol qatlamlarining SEM tasvirlari

Noorganik $CsPbI_3$ faol qatlamlarining SEM tasviri 5-rasmda ko'rsatilganidek, haroratni oshirish natijasida perovskit faol qatlami morfologiyasi yaxshilanishini kuzatish va sifatini o'rganish uchun amalga oshirildi. Bunda faol qatlamlar DMF erituvchisi yordamida va 80°C, 90°C, 100°C, 110°C

va 120°C haroratda qizdirilgan holatda tayyorlandi. 80°C haroratda qizdirilgan va DMF eritmasi asosida sintez qilinib olingan $CsPbI_3$ perovskit faol qatlamlarning SEM tasvirlariga qaraydigan bo'lsak, zarralar shakllanish jarayoni hali to'liq yakunlanmagan va kristallanish darajasi juda past bo'lgan. Qisqa qilib aytadigan bo'lsak, 80°C qizdirish harorati qora fazali $CsPbI_3$ hosil bo'lishi uchun yetarli emas. 90°C va 100°C haroratlarda qizdirilganda esa $CsPbI_3$ faol qatlamlarning kristall donalari orasidagi zichligini saqlab, asta-sekin kattalashdi va oq dog'larning aksariyati yo'qoldi. Bundan tashqari, qizdirish harorati 110°C ga oshirilganda perovskit faol qatlamlar yuzasidagi sariq faza strukturasini bildiruvchi oq dog'lar keskin kamaydi va nanoteshiklarning to'liq yo'q qilinishi bilan sirt morfologiyasi ancha yaxshilanib kristall o'lchamlari ham oshdi. Qizdirish harorati 120°C ga yetkazilganda esa kristallanish jarayonida juda ko'p nuqsonli teshikchalar va oq dog'lar paydo bo'ldi va o'rtacha kristall o'lchamlari 110°C haroratda qizdirib tayyorlangan perovskit faol qatlamlarning SEM tasvirlaridan keskin farq qilishini ko'rishimiz mumkin.

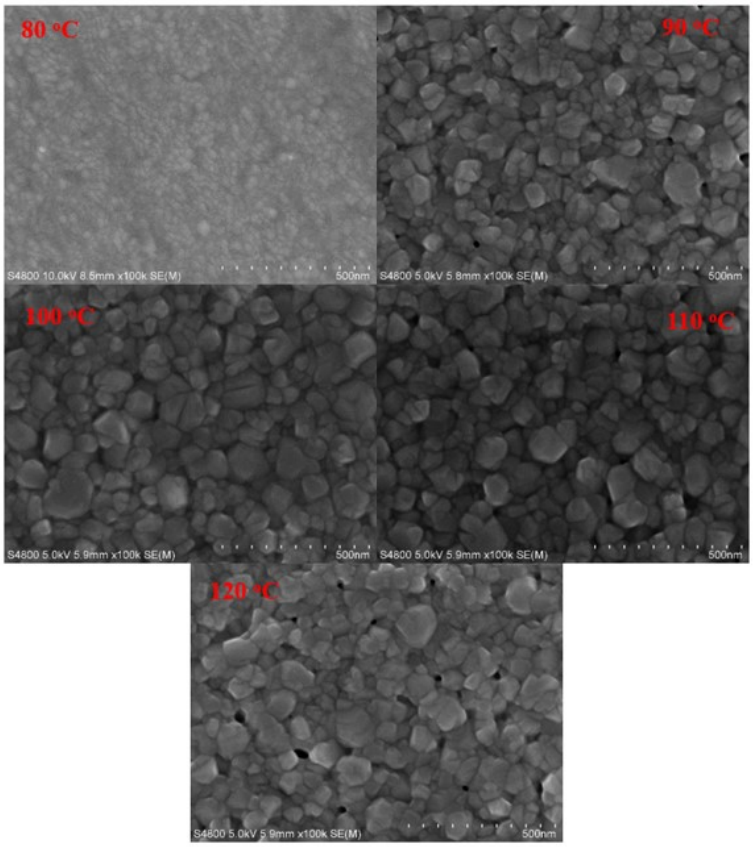


Figure 5. SEM images of perovskite active layers prepared in DMF solvent and heated at different temperatures.
Rasm 5. DMF suyuqligida tayyorlangan va har xil haroratda qizdirilgan perovskit faol qatlamlarning SEM tasvirlari.

$CsPbI_3$ faol qatlamlarning sirt morfologiyasi va kristallanish darajasini taxlil qilish uchun MAAc suyuqligida tayyorlangan va har xil haroratda qizdirilgan perovskit faol qatlamlarning SEM tasvirlari olindi. 6-rasmdagi 80°C haroratda qizdirish orqali tayyorlangan perovskit faol qatlamning SEM tasviridan ko'rish mumkinki, faol qatlam yuzasida oq dog'lar mavjud bo'lib bu dog'lar faol qatlamda hali ham sariq faza strukturasi mavjudligini ya'ni qora faza strukturasiga optimal darajada o'tmaganligini anglatadi. Bir so'z bilan aytganda SEM tasvirlaridagi oq dog'lar sariq faza strukturasidagi molekula tasvirlaridir. Qizdirish haroratini 90°C va 100°C ga oshirish orqali faol qatlamlarning kristall donalari orasidagi zichligini saqlab, asta-sekin kattalashdi va dog'larning aksariyati yo'qoldi. $CsPbI_3$ perovskit faol qatlamlarini 100°C da qizdirgandan so'ng, dog'larning aksariyati yo'qoldi, bu 100°C da qizdirish $CsPbI_3$ perovskit faol qatlamning sariq fazadan qora fazaga o'tishi uchun boshlang'ich harorat ekanligini ko'rsatadi. Ammo 90°C da qizdirish ham yaxshi kristallanish jarayonini hosil qilmasligini va PQElar uchun optimal harorat emasligini

SEM tasvirlardan ko'rish mumkin. Bundan tashqari, faol qatlamlar 110°C haroratda qizdirilganda perovskit faol qatlamlar yuzasidagi sariq faza strukturasini bildiruvchi oq dog'lar keskin kamaydi va nanoteshiklarning to'liq yo'q qilinishi bilan sirt morfologiyasi ancha yaxshilanib kristall o'lchamlari ham oshdi. Harorat 120°C ga oshirilganda esa kristallanish jarayonida juda ko'p nuqsonli

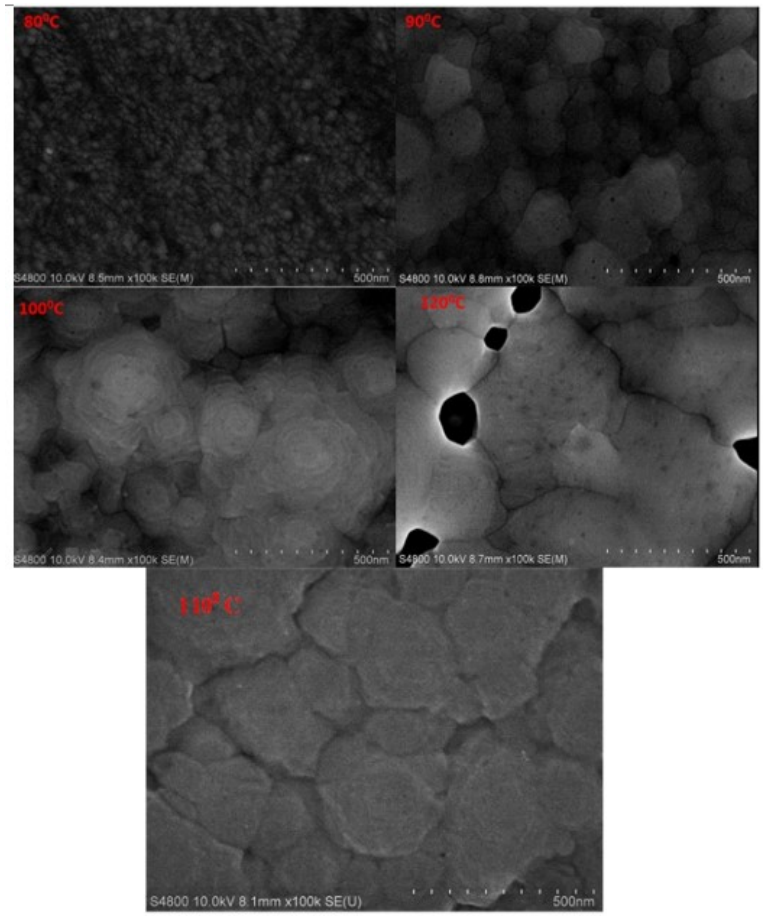


Figure 6. SEM images of perovskite active layers prepared in MAAc solvent and heated at different temperatures.

Rasm 6. MAAc suyuqligida tayyorlangan va har xil haroratda qizdirilgan perovskit faol qatlamlarning SEM tasvirlari.

teshikchalar, yoriqlar va oq dog'lar paydo bo'ldi va o'rtacha kristall o'lchamlari 110°C haroratda qizdirib tayyorlab olingan faol qatlamlarning SEM tasvirlaridan keskin farq qilishini ko'rishimiz mumkin. Ushbu natijalar qo'shimchalarsiz MAAc eritmasiga asoslangan $CsPbI_3$ yupqa faol qatlami past haroratda qizdirishdan keyin yuqori kristallanishga erishishi mumkinligini ko'rsatadi.

3. $CsPbI_3$ PQElarning fotovoltaik parametrlari

Yuqoridagi optik va morfologik tadqiqot natijalarimizning hulosalarini tasdiqlash uchun har xil qizdirish haroratida va DMF suyuqligi yordamida eritib tayyorlangan $CsPbI_3$ PQElarning fotovoltaik parametrlari ham o'lchandi. 7-rasmda DMF suyuqligi yordamida va turli haroratlarda qizdirib tayyorlangan $CsPbI_3$ PQElarning volt-amper xarakteristikasining grafigi keltirilgan.

Bu grafiklardan ko'rish mumkinki, to'ldirish faktori yuzasi eng katta holat 100°C haroratda qizdirilgan va DMF suyuqligi yordamida tayyorlangan PQElarga tegishli. FF parametri asosan faol qatlamning sifatini belgilab beradi, faol qatlam qanchalik kub fazaga yaqin bo'lsa va iloji boricha nuqsonlarsiz optimal qalinlikka ega bo'lsa FF parametrlar ham yuqori qiymatga erishadi.

1-jadvalda turli haroratlarda qizdirilgan va DMF erituvchisi yordamida tayyorlangan $CsPbI_3$ PQElarning fotovoltaik parametrlari keltirilgan. Jadvalni tahlil qiladigan bo'lsak, qisqa tutashuv tok zichligi (J_{SC}) qiymatlari 90°C, 100°C, 110°C va 120°C qizdirilgan PQElar uchun mos ravishda 9,88

mA/cm^2, 13,12 mA/cm^2, 11,92 mA/cm^2 va 11,27 mA/cm^2 qiymatga ega bo'lib, EO'S qiymatlari esa mos ravishda 5,34 %, 8,8 %, 6,95 % va 6,22 % natijalar ko'rsatdi.

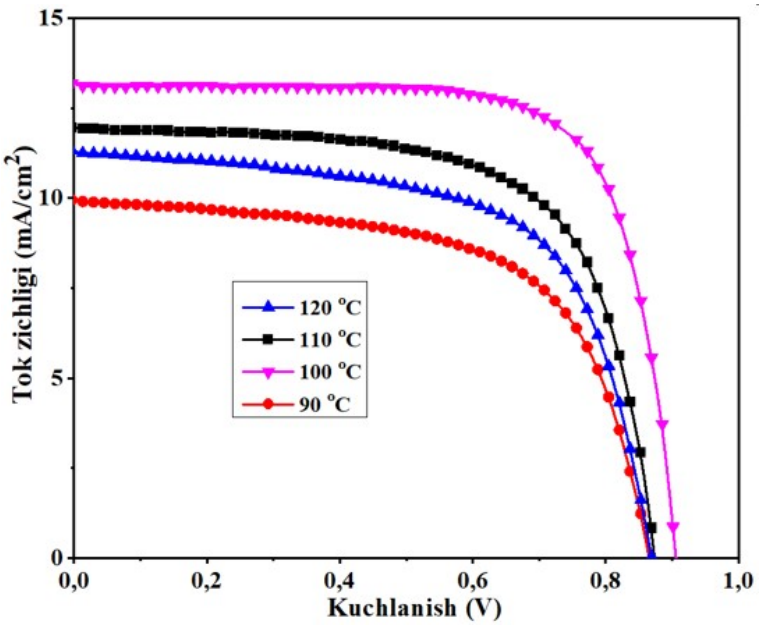


Figure 7. Current-voltage characteristic graph of $CsPbI_3$ PSCs prepared in DMF solvent at different heating temperatures.

Rasm 7. Har xil qizdirish haroratida DMF suyuqligida tayyorlangan $CsPbI_3$ PQElarning volt-amper xarakteristikasi grafigi.

Table 1. Photovoltaic parameters of $CsPbI_3$ PSCs prepared in DMF solvent and heated at different temperatures.

Jadval 1. Turli haroratlarda qizdirilgan va DMF suyuqligida tayyorlangan $CsPbI_3$ PQElarning fotovoltaik parametrlari.

Qizdirish harorati (°C)	Voc (V)	J_{SC} (mA/cm)	FF (%)	EO'S (%)
90	0,87	9,88	62,17	5,34
100	0,91	13,12	73,95	8,8
110	0,87	11.92	66,62	6,95
120	0,87	11,27	63,40	6,22

Jadvaldan ko'rish mumkinki, PQElarning ochiq zanjir kuchlanishi (VOC) qiymatlari 90°C, 100°C va 120°C haroratda qizdirishdan qat'iy nazar, 0,83-0,97 V atrofida bo'ldi. 80°C qizdirish harorati $CsPbI_3$ perovskit faol qatlamini sariq fazadan qora fazaga o'tkazish uchun yetarli emasligi tufayli uning fotovoltaik parametrlari o'lchanmadi. 110°C haroratda qizdirish orqali olingan PQElarning VOC qiymati esa eng yuqori (0,99 V) qiymatga erishgan. Bu fotovoltaik natijalardan xulosa qilish mumkinki, fotovoltaik natijalar ham optik tadqiqotlar natijalarini tasdiqlagan holda $CsPbI_3$ perovskit faol qatlamlarni qizdirish harorati PQElarning samaradorligini oshirish uchun muhim ahamiyatga ega ekan.

8-rasmda turli haroratlarda va MAAc erituvchisi yordamida tayyorlangan $CsPbI_3$ PQE larning volt-amper xarakteristikasi grafiklari berilgan. Berilgan grafiklardan ko'rish mumkinki, FF yuzasi eng katta holat 110°C haroratda qizdirib tayyorlangan $CsPbI_3$ PQElarga tegishli, bunda FF qiymati 74,5 % ga teng.

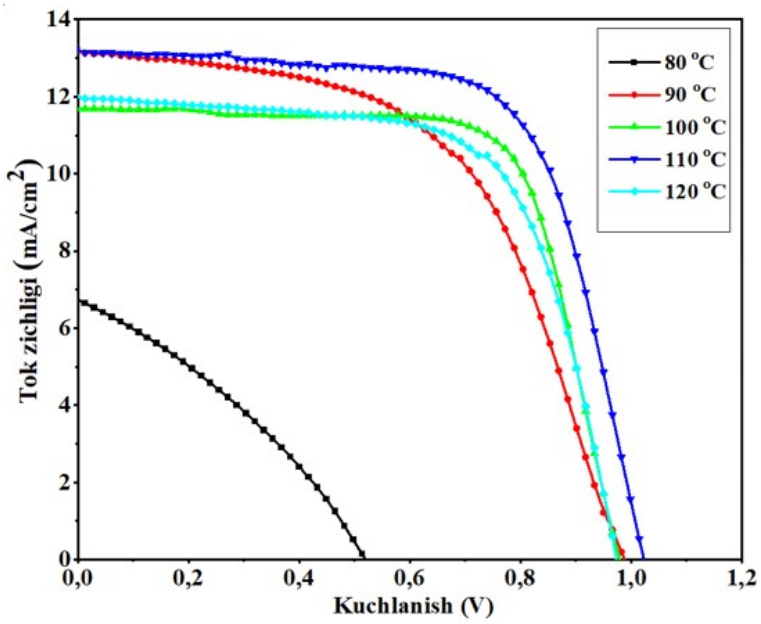


Figure 8. Current-voltage characteristic graph of $CsPbI_3$ PSCs prepared in MAAc solvent at different heating temperatures.

Rasm 8. Har xil qizdirish haroratida MAAc suyuqligida tayyorlangan $CsPbI_3$ PQElarning volt-amper xarakteristikasi grafigi.

2-jadvalda turli haroratlarda qizdirilgan va MAAc suyquligida tayyorlangan $CsPbI_3$ PQElarning fotovoltaik parametrlari keltirilgan. Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, haroratni o‘zgartirish natijasida $CsPbI_3$ PQE larning EO‘S ko‘rsatkichlari o’zgargan. Masalan 80 °C haroratda EO‘S 1,2 % bo‘lib, bu nisbatan past ko’rsatkichdir. Harorat 90 °C ga oshirilganda EO’S ko’rsatkichi 7,1 % ga ko’tarildi, shu bilan birga VOC J_{SC} va FF ham sezilarli ravishda oshdi. 100 °C haroratda qizdirib tayyorlangan PQE larda esa EO’S ko’rsatkichi 8,2 % ga ko’tarildi, shu bilan birga J_{SC} va FF ham sezilarli ravishda oshdi, lekin VOC ning qiymati o’zgarmadi. Eng yuqori natijalar 110 °C haroratda qizdirib tayyorlangan PQElarda kuzatildi. Bu holda VOC 1,02 V, J_{SC} 13,74 mA/cm^2, FF 70,73 % va EO’S esa 9,9 % natijani ko’rsatdi. Harorat 120 °C oshirilganda fotovoltaik parametrlarning qiymati pasayganligi kuzatildi. Bu holda VOC 0,93 V, J_{SC} 12,00 mA/cm^2, FF 58,21 % va EO’S esa 6,5 % natijani ko’rsatdi, bu 110 °C dagi EO’S dan (9,9%) pastroqdir. Bundan xulosa qilsak bo’ladiki, 120 °C haroratda qizdirish $CsPbI_3$ PQE lar uchun optimal emas.

Table 2. Photovoltaic parameters of $CsPbI_3$ PSCs prepared in MAAc solvent and heated at different temperatures.
Jadval 2. Turli haroratlarda qizdirilgan MAAc suyquligida tayyorlangan $CsPbI_3$ PQElarning fotovoltaik parametrlari

Qizdirish harorati (°C)	Voc (V)	J_{SC} (mA/cm)	FF (%)	EO’S (%)
90	0,87	9,88	62,17	5,34
100	0,91	13,12	73,95	8,8
110	0,87	11.92	66,62	6,95
120	0,87	11,27	63,40	6,22

Ikki xil erituvchida tayyorlangan perovskit eritmalari yordamida tayyorlangan perovskit faol qatlamlarning optik va fotovoltaik natijlarini tahlil qiladigan bo’lsak, PQElarning samaradorligi perovskit materiallarning erituvchilarda eruvchanlik darajasiga bo’g’liqligini ko’rishimiz mumkin. Bugungi kunda keng miqiyosda olib borilayotgan perovskit materialalrning eruvchanligi cheklanganligining muammolarini hal qilish tadqiqotlarida tadqiqot natijalarimiz fundamental yechim topish istiqboliga hissa qo’shishi mumkin.

Xulosa

Ushbu ishda $CsPbI_3$ perovskit eritmasini atmosfera sharoitida tayyorlash uchun eritma sifatida ikki xil suyuqlikdan DMF va MAAc erituvchilardan foydalanildi. Natijada MAAc erituvchi DMF erituvchiga nisbatan perovskit materillarni yaxshiroq eritib $CsPbI_3$ eritmasini hosil qilishi aniqlandi. Ikki xil erituvchida tayyorlangan perovskit faol qatlamining fotolyuminessensiya xossalarini va PQEning fotovoltaik parametrlarini qiyosiy o'rganish shuni ko'rsatdiki, PQElarning samaradorligini oshirishda erituvchilarning ham ahamiyati katta ekan. Perovskit faol qatlamlarning yorug'lik yutish intensivligi va PQElarning EO'S qiymati termik qizdirish harorati optimal haroratga yetguncha mutanosib ravishda ortadi. Perovskit faol qatlamning termik qizdirish haroratining optimal qiymatdan oshishi bilan yorug'lik yutish intensivligi oshadi, EO'S qiymati esa pasayishi aniqlandi. Faol qatlamlarni tayyorlashda MAAc eritmasidan foydalanish perovskit faol qatlamlaridagi nanoteshiklar va nuqsonlarni samarali tarzda bartaraf etish mumkin va bu eksitonlarning paydo bo'lishiga, elektron va kovaklar ajralib fototok hosil bo'lish jarayoning yaxshilanishiga, FL intensivligining yuqoriroq chiqishiga sabab bo'ladi. MAAc suyuqligida tayyorlangan $CsPbI_3$ perovskit faol qatlamlarda zaryad tashuvchilarning harakati DMF suyuqligida tayyorlangan $CsPbI_3$ perovskit faol qatlamlarnikidan yaxshiroq ekanligi aniqlandi, ushbu xulosamizni fotolyuminissensiya intensivligining oshishi va fotolyuminissensiya spektrining piki qizil to'lqin uzunligi tomon siljishi ham tasdiqlaydi.

Mualliflarning hissalari

Konseptualizatsiya, L.R. Nurumbetova va A.A. Saparbayev; Metodologiya, N.F. Otaqulova; Dasturiy ta'minot, B.G'. Xidirov; Tasdiqlash, L.R. Nurumbetova, A.Y. Turg'unboyev va A.A. Saparbayev; Rasmiy tahlil, B.G'. Xidirov; Tadqiqot, A.Y. Turg'unboyev; Resurslar, N.F. Otaqulova; Ma'lumotlarni kuratorlik qilish, B.G'. Xidirov; Original matnni yozish, L.R. Nurumbetova; Yozish va tahrirlash, A.Y. Turg'unboyev; Vizualizatsiya, B.G'. Xidirov; Rahbarlik, A.A. Saparbayev; Loyiha boshqaruvi, A.A. Saparbayev; Moliya jalb qilish, A.A. Saparbayev. Barcha mualliflar nashr qilingan qo'lyozma versiyasi bilan tanish va u bilan rozi.

Authors' contribution

Conceptualization, L.R. Nurumbetova and A.A. Saparbayev; Methodology, N.F. Otakulova; software, B.G'. Khidirov; Confirmation, L.R. Nurumbetova, A.Y. Turgunboyev and A.A. Saparbayev; official analysis, B.G'. Khidirov; Research, A.Y. Turgunbayev; Resources, N.F. Otakulova; curating information, B.G'. Khidirov; writing the Original text, L.R. Nurumbetova; writing and editing, A.Y. Turgunboyev; Visualization, B.G'. Khidirov; Leadership, A.A. Saparbayev; Project Management, A.A. Saparbayev; attracting finance, A.A. Saparbayev. All authors are familiar with and agree with the published manuscript version.

Moliyalashtirish

Mualliflar ushbu tadqiqotni amalga oshirishda hech qanday tashqi moliyaviy yordam olmaganini ma'lum qiladilar. Tadqiqot, qo'lyozma tayyorlash va nashr jarayonlarida moliyaviy homiylarning ishtiroki bo'lmagan.

Funding source

The authors report that they did not receive any external financial assistance in carrying out this study. There was no participation of financial sponsors in the research, manuscript preparation and publication processes.

Etika tamoyillariga muvofiqlik

Ushbu tadqiqotda inson yoki hayvon subyektlari ishtirok etmaganligi sababli, etik ko'rib chiqish va tasdiqlash talab etilmaydi. Shu bois, tadqiqotga nisbatan etik tasdiqlash qo'llanilmaydi.

Ethics approval

Since this study does not involve human or animal subjects, ethical review and approval is not required. Therefore, ethical approval does not apply to research.

Nashrga xabardor qilingan rozilik

Ushbu tadqiqotda inson ishtirokchilari jalb qilinmagan. Shu sababli, xabardor qilingan rozilik talab etilmaydi.

Consent for publication

Human participants were not involved in this study. For this reason, informed consent is not required.

Ma'lumotlar mavjudligi to'g'risidagi bayonot

Ushbu maqolada keltirilgan natijalarni tasdiqlovchi barcha eksperimental ma'lumotlar mualliflar tomonidan saqlanmoqda va asosiy matn hamda rasm/jadval shaklida maqola ichida taqdim etilgan. Qo'shimcha ma'lumotlar asosli so'rov asosida muallif(lar)dan olinishi mumkin.

Data Availability Statement

All experimental data confirming the results presented in this article are held by the authors and presented within the article in the form of the main text and image/table. Additional information can be obtained from the author(s)based on a reasoned query.

Rahmatnomalar

Mualliflar ushbu tadqiqotni amalga oshirishda texnik yordam ko'rsatgan va laboratoriya sharoitlarini ta'minlagan Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti hamda O'zbekiston Milliy universiteti jamoasiga minnatdorchilik bildiradilar.

Acknowledgments

The authors thank the team of the Institute of Ion-plasma and laser technologies and the National University of Uzbekistan, which provided technical assistance in the implementation of this research and provided laboratory conditions.

Manfaatlar to'qnashuvi

Mualliflar ushbu tadqiqot bo'yicha hech qanday manfaatlar to'qnashuvi yo'qligini e'lon qiladilar. Tadqiqot natijalarini taqdim etish yoki talqin qilishga ta'sir qiluvchi har qanday shaxsiy, moliyaviy yoki boshqa manfaatlar mavjud emas.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest in this study. There are no personal, financial or other interests that affect the presentation or interpretation of research results.

Qisqartmalar

PQE	Perovskit quyosh elementi
$CsPbI_3$	Seziy qo'rg'oshin triyodid
DMF	Dimetilformamid
MAAc	Metilamoniy asetat
EO'S	Energiya o'zgarish samaradorligi
FL	Fotolyuminessensiya
SEM	Skanerlovchi elektron mikroskopi
XRD	Rentgen diffraksiyasi
ITO	Indiy qalay oksidi
V_{OC}	Ochiq zanjir kuchlanishi
J_{SC}	Qisqa tutashuv tok zichligi
FF	To'ldirish faktori

Adabiyot

[1] M. Nur-E-Alam, M.S. Islam, T. Abedin, M.A. Islam, B.K. Yap, T.S. Kiong, N. Das, M.R. Rahman, M.U. Khandaker, 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) 283-286.
[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] U. Khan, Y. Zhinong, A.A. Khan, A. Zulfiqar, Solar Energy, 189 (2019) 421-425.
[8] W. Xu, L. Liu, L. Yang, P. Shen, B. Sun, J.A. McLeod, Nano Letters, 16 (2016) 4720-4725.
[9] A.D. Jodlowski, C. Roldán-Carmona, G. Grancini, M. Salado, M. Ralaiarisoa, S. Ahmad, N. Koch, L. Camacho, G. De Miguel, M.K. Nazeeruddin, Nature Energy, 2 (2017) 972-979.
[10] A. Burgos-Caminal, J.M. Moreno-Naranjo, A.R. Willauer, A.A. Paraecattil, A. Ajdarzadeh, J.-E. Moser, The Journal of Physical Chemistry C, 125 (2020) 98-106.
[11] Z. Yao, W. Zhao, S.F. Liu, Journal of Materials Chemistry A, 9 (2021) 11124-11144.
[12] Z. Li, Z. Jin, Journal of Semiconductors, 41 (2020) 051202.
[13] F. Haque, M. Wright, M.A. Mahmud, H. Yi, D. Wang, L. Duan, C. Xu, M.B. Upama, A. Uddin, ACS omega, 3 (2018) 11937-11944.
[14] B.-B. Zhang, B. Xiao, S. Dong, Y. Xu, Journal of Crystal Growth, 498 (2018) 1-4.
[15] D.Y. Heo, S.M. Han, N.S. Woo, Y.J. Kim, T.-Y. Kim, Z. Luo, S.Y. Kim, The Journal of Physical Chemistry C, 122 (2018) 15903-15910.
[16] P. Luo, W. Xia, S. Zhou, L. Sun, J. Cheng, C. Xu, Y. Lu, The journal of physical chemistry letters, 7 (2016) 3603-3608.
[17] Y. Wang, Y. Chen, T. Zhang, X. Wang, Y. Zhao, Advanced Materials, 32 (2020) 2001025.
[18] Y. Lv, Y. Li, Y. Zhou, J. Liu, J. Wang, Y. Lin, J. Hu, T. Pan, Y. Li, K. Wang, ACS Applied Materials Interfaces, 15 (2023) 29236-29243.
[19] L. Shi, H. Yuan, X. Sun, X. Li, W. Zhu, J. Wang, L. Duan, Q. Li, Z. Zhou, Z. Huang, ACS Applied Energy Materials, 4 (2021) 10584-10592.
[20] Z. Iqbal, R. Félix, A. Musiienko, J. Thiesbrummel, H. Kobler, E. Gutierrez-Partida, T.W. Gries, E. Husam, A. Saleh, R.G. Wilks, Journal of the American Chemical Society, 146 (2024) 4642-4651.
[21] Y. Duan, J. Wang, D. Xu, P. Ji, H. Zhou, Y. Li, S. Yang, Z. Xie, X. Hai, X. Lei, Advanced Functional Materials, 34 (2024) 2312638.
[22] S. Ullah, F. Khan, A. AlZahrani, Coordination Chemistry Reviews, 516 (2024) 215957.
[23] J. Qiu, X. Mei, M. Zhang, G. Wang, S. Zou, L. Wen, J. Huang, Y. Hua, X. Zhang, Angewandte Chemie International Edition, 63 (2024) e202401751.
[24] S. Fu, X. Li, J. Wan, W. Zhang, W. Song, J. Fang, Advanced Functional Materials, 32 (2022) 2111116.
[25] D. Li, Y. Cui, S. Tan, Q. Meng, in: 2024 IEEE 52nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), IEEE, 2024, pp. 1208-1210.

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.