



QR-kod
maqolaning DOI
sahifasini
ochadi

Zaxidova Mavluda Abdulkarimovna,
Nurumbetova Lobar Rimbayevna,
Otaqulova Nilufar Farhod qizi. CsPbI₃
asosidagi perovskit quyosh
elementlarining samaradorligini tadqiq
etish // «O'zbekiston olimi
ayollarining mamlakat taraqqiyotiga
qo'shayotgan hissasi» mavzusidagi
xalqaro ilmiy-amaliy konferensiya
materiallari (Nukus, 2026-yil 9–10-
oktyabr). – Nukus, 2026. – B. 34–39. –
DOI: [https://doi.org/10.66073/](https://doi.org/10.66073/ReFocus-Conf/0910002)
[ReFocus-Conf/0910002](https://doi.org/10.66073/ReFocus-Conf/0910002)



«O'zbekiston olimi ayollarining
mamlakat taraqqiyotiga
qo'shayotgan hissasi»

XALQARO ILMIY-AMALIY
KONFERENSIYA
NUKUS, 9–10-OKTYABR 2026

UDK: 535.215; 535.34; 620.9

CsPbI₃ ASOSIDAGI PEROVSKIT QUYOSH ELEMENTLARINING SAMARADORLIGINI TADQIQ ETISH

Zaxidova Mavluda Abdulkarimovna

f.-m.f.d. dotsent, Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston milliy universiteti

Nurumbetova Lobar Rimbayevna

f.-m.f. PhD, Toshkent davlat transport universiteti

Otaqulova Nilufar Farhod qizi

*Doktorant, O'zR FA, U.A. Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer
texnologiyalari instituti*

Email: nilufarotaqulova98@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu ishda CsPbI₃ perovskit quyosh elementlarining fotovoltaiik parametrlari termik qizdirish harorati va qatlam qalinligini boshqarish orqali tadqiq qilindi. CsPbI₃ perovskit faol qatlamlari CsI va PbI₂ ning 1:1 molyar nisbatdagi, 0,3 M konsentratsiyali MAAC eritmasi asosida bir, ikki, uch va to'rt martalik spin coating usulida tayyorlandi. CsPbI₃ qatlamining termik qizdirish harorati 90–120 °C oralig'ida o'zgartirildi, qatlam qalinligi esa “spin coating” usulida perovskit faol qatlamni bir necha marta yotqizish orqali nazorat qilindi. Bunday yondashuv “spin coating” usulidagi yotqizilgan perovskit qatlam soni va termik ishlov berish haroratining CsPbI₃ perovskit quyosh elementlarining fotovoltaiik ko'rsatkichlariga ta'sirini tizimli ravishda baholash imkonini berdi.

Kalit so'zlar: CsPbI₃, PQE, EO'S, barqarorlik, perovskit, “spin coating” usuli.

Kirish

Bugungi kunda to'liq noorganik perovskit quyosh elementlari (PQE) alohida qiziqish uyg'otmoqda. Buning asosiy sabablaridan biri organik komponentlarning parchalanishi natijasida yuzaga keladigan muammolarni bartaraf etish imkoniyatidir[1]. Ularning yuqori yorug'lik yutish ko'effitsiyenti, zaryad tashuvchilarning yuqori harakatchanligi, uzun diffuziya uzunligi, qulay taqiqlangan soha kengligi, kichik eksiton bog'lanish energiyasi hamda past nuqson zichligi kabi xususiyatlari yupqa qatlamli fotovoltaiika sohasida keng ko'lamli tadqiqotlarning olib borilishiga sabab bo'lmoqda[2–4]. Ayniqsa, seziy qo'rg'oshin triyodid (CsPbI₃) asosidagi noorganik perovskit materiallari PQElarning yorug'lik yutuvchi faol qatlami sifatida foydalanish uchun tobora katta qiziqish uyg'otmoqda. Biroq, ushbu materiallarning amaliy qo'llanilishini cheklayotgan asosiy muammolardan biri — perovskit bo'lmagan fazadan yuqori harorat ta'sirida perovskit fazaga o'tish jarayonining yuqori termik talabga ega ekanligidir[5–8].

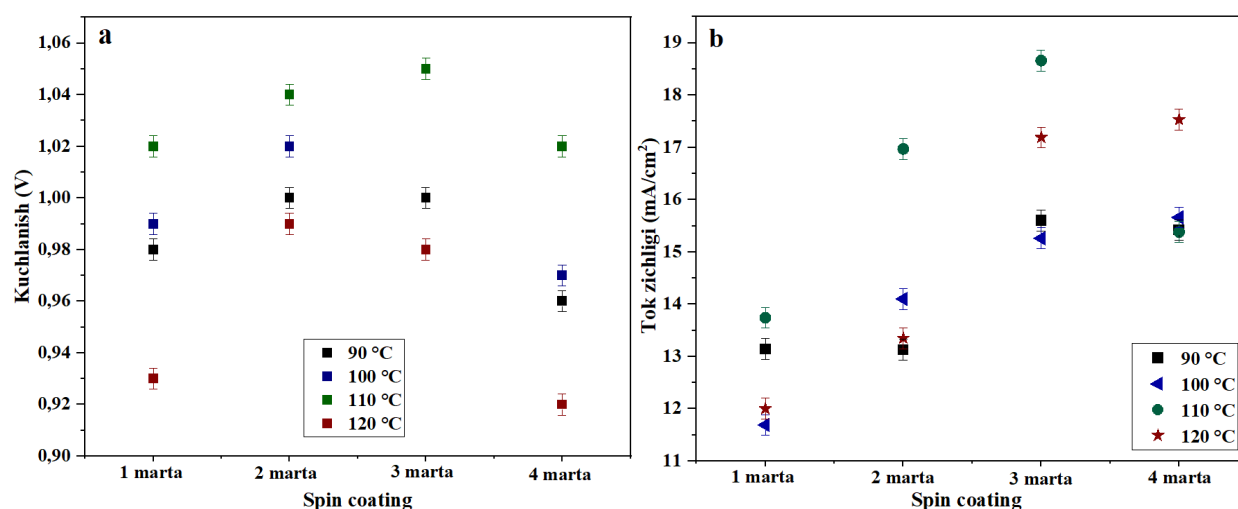
CsPbI₃ odatda ikki asosiy fazada, ya'ni ortorombik yoki sariq faza (δ -CsPbI₃) va kubik yoki qora faza (α -CsPbI₃) holatlarida mavjud bo'lishi mumkin. Quyosh elementlarida yorug'likni

yutuvchi faol qatlam sifatida foydalanish uchun aynan qora perovskit faza — α - CsPbI_3 maqsadga muvofiq hisoblanadi[9-12].

CsPbI_3 asosidagi PQElar bo'yicha dastlabki muhim natijalardan birini Eperon va hamkasblari taqdim etgan[13-15]. Ular 2015-yilda noorganik CsPbI_3 PQElarni birinchi marta namoyish etib, ehtiyotkorlik bilan boshqarilgan termik ishlov berish va past haroratli fazaviy o'tish jarayoni orqali qora perovskit fazasini xona haroratida saqlab qolish mumkinligini ko'rsatdilar. Ushbu ish CsPbI_3 ning fotoaktiv fazasini shakllantirish va barqarorlashtirish bo'yicha keyingi tadqiqotlar uchun muhim asos yaratdi.

Natijalar va muhokamalar

Ushbu ishda CsPbI_3 faol qatlamlarni yotqizishda bir, ikki, uch va to'rt martalik spin coating usulidan foydalanildi va faol qatlamlar 90, 100, 110 va 120 °C haroratlarda qizdirib tayyorlandi. Mazkur usul faol qatlamlarni yotqizish jarayonida kristallarning haddan tashqari ko'p va tartibsiz hosil bo'lishini cheklab, perovskit qatlamining bir jinsli morfologiyasini shakllantirish imkonini berdi. Bunda geterojen nukleatsiya, ya'ni kristallarning taglik sirtida hosil bo'lishi va gomogen nukleatsiya, ya'ni kristallarning eritma yoki hosil bo'layotgan qatlamning o'zida shakllanishi jarayonlari samarali nazorat qilindi. Natijada yirik va tartibsiz kristallitlar hosil bo'lishining oldi olinib, bir xil o'lchamdagi kristallitlarga ega perovskit qatlam hosil qilindi. Shu bilan birga, ko'p martalik spin coating usuli orqali perovskit qatlamining qalinligini nazorat qilish va faol qatlam hosil bo'lish jarayonida CsPbI_3 ga tegishli bo'lmagan ikkilamchi fazalarni kamaytirish imkoniyati yaratildi.



1-rasm. CsPbI_3 PQElarning a) V_{OC} qiymatlarining va b) J_{SC} qiymatlarining spin-coating soni va qizdirish haroratiga bog'liqligi

1a-rasmda CsPbI_3 perovskit quyosh elementlarining ochiq zanjir kuchlanishi (V_{OC}) qiymatlarining spin coating soni va termik qizdirish haroratiga bog'liqligi keltirilgan. Natijalardan ko'rinib turibdiki, V_{OC} qiymati nafaqat termik qizdirish haroratiga, balki perovskit faol qatlamining hosil qilinishida qo'llanilgan spin coating soniga ham sezilarli darajada bog'liq.

Grafikdan ko'rish mumkinki, bir, ikki, uch va to'rt martalik spin coating usuli orqali yotqizilgan 90 °C haroratda qizdirib tayyorlangan PQElarning V_{OC} qiymatlari

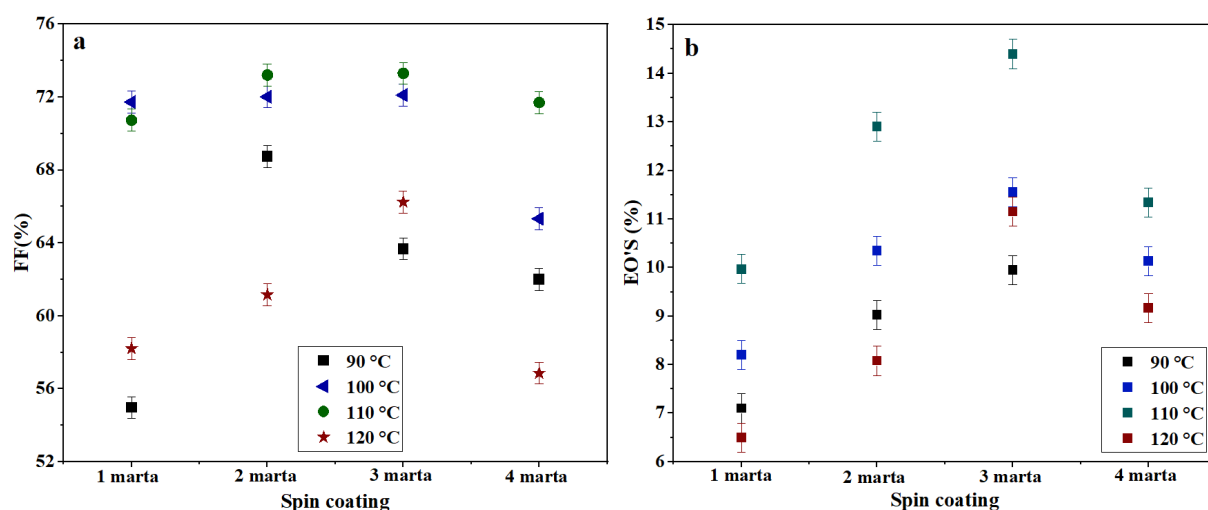
mos ravishda 0,98, 1,00, 1,00 va 0,96 V ni tashkil etdi. Haroratni 100 °C ga oshirganimizda esa ushbu qiymatlar 0,99; 1,02; 1,02 va 0,97 V ga teng bo'ldi. Eng yuqori qiymatlar 110 °C haroratda qizdirib tayyorlangan PQElarda kuzatilib, bir, ikki, uch va to'rt martalik spin coating jarayoni uchun mos ravishda 1,02; 1,04; 1,05 va 1,02 V qiymatlar qayd etildi. Biroq, harorat 120 °C ga oshirilganda V_{OC} qiymatlarining pasayishi kuzatildi va ular mos ravishda 0,93; 0,99; 0,98 va 0,92 V ni tashkil etdi. Ushbu natijalar asosida V_{OC} ning o'zgarishini perovskit qatlaminin kristallanish darajasi, nuqsonlar zichligi, zaryad tashuvchilarning rekombinatsiyasi va qatlam qalinligi bilan bog'lash mumkin. Spin coating sonining bir martadan ikki va uch martagacha oshirilishi natijasida perovskit qatlaminin qalinligi va morfologik bir jinsliliigi yaxshilandi. Bunday sharoitda sirt va hajmiy nuqsonlarning ta'siri kamayib, zaryad tashuvchilarning nurlanishsiz rekombinatsiyasi susayishi natijasida kvazi-Fermi sathlari ajralishi ortgan bo'lishi mumkin. Natijada PQElarning V_{OC} qiymatining oshishi kuzatildi. Bundan tashqari, spin coating sonini oshirish bilan bir qatorda termik qizdirish haroratini optimallashtirish ham PQElarning V_{OC} qiymatini yaxshilashda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko'rsatdi. Uch martalik spin coating usuli orqali yotqizilgan va 110 °C haroratda qizdirib tayyorlangan PQElarning V_{OC} qiymati maksimal 1,05 V ni tashkil etdi. Shu bilan birga, 120 °C haroratda V_{OC} qiymatining pasayishi yuqori haroratning perovskit qatlamiga salbiy ta'sirini ko'rsatadi. Harorat optimal qiymatdan oshib ketishi natijasida, kristall panjaradagi nuqsonlarning qayta tashkil topishi, ionlarning migratsiyasi, interfeysdagi rekombinatsiya markazlarining shakllanishi yoki perovskit qatlaminin qisman degradatsiyasi kabi jarayonlar kuchayishi mumkin. Natijada nurlanishsiz rekombinatsiya ortib, elektron va kovaklarning kvazi-Fermi sathlari orasidagi ajralish kamayadi va bu V_{OC} ning pasayishiga olib keladi.

Bundan tashqari, to'rt martalik spin coating usulida tayyorlangan PQElarning V_{OC} qiymati uch martalik spin coating usulida tayyorlanganiga nisbatan pasayishi faol qatlam qalinligining ortiqcha oshishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Qatlamning ma'lum optimal qalinlikkacha oshirilishi yorug'lik yutilishi va qatlamning uzluksizligini yaxshilasa-da, haddan tashqari qalin qatlam zaryad tashuvchilarning harakati va ekstraksiya jarayonlarini qiyinlashtirishi hamda rekombinatsion yo'qotishlarni oshirishi mumkin.

1b-rasmda turli haroratlarda qizdirib tayyorlangan PQElarning qisqa tutashuv tok zichligi (J_{SC}) qiymatlarining spin coating soniga bog'liq holda o'zgarishi keltirilgan. Natijalar J_{SC} qiymatining ham spin coating soniga, ham qizdirish haroratiga sezilarli darajada bog'liqligini ko'rsatadi. Eng yuqori J_{SC} qiymati 110 °C haroratda uch martalik spin coating usulida olingan bo'lib $18,7 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ ga teng bo'ldi. Spin coating jarayoni 4 marta oshirilganda J_{SC} qiymatining $15,4 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ gacha kamayishi faol qatlamning ortiqcha qalinlashishi, morfologik notekislik va rekombinatsiya markazlarining ortishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. 120 °C haroratda esa uch marta va to'rt marta spin coating qilingan PQElarning J_{SC} qiymati yuqori $17,2$ va $17,5 \text{ mA} \cdot \text{cm}^{-2}$ natijalarni qayd etdi. Umuman, olingan natijalar spin coating soni va qizdirish harorati perovskit qatlaminin optoelektronik xususiyatlarini belgilovchi muhim omillar ekanligini ko'rsatadi.

2a-rasmda CsPbI_3 PQElarning to'ldirish faktori (FF) qiymatlarining spin coating soni va termik qizdirish haroratiga bog'liqligi keltirilgan. Grafikdan ko'rinib turibdiki, FF qiymati ham spin coating soniga, ham qizdirish haroratiga sezilarli darajada bog'liq bo'lib, bu perovskit qatlamining hosil bo'lish sifati va zaryad tashuvchilarining ekstraksiya samaradorligi PQElarning elektr xususiyatlariga bevosita ta'sir qilishini ko'rsatadi.

90 °C da qizdirilgan va bir marta "spin coating" qilingan PQElarning FF qiymati 55.0 % ni tashkil etgan bo'lsa, spin-coating jarayonining ikki marta takrorlanishi natijasida FF qiymati 68.8% gacha sezilarli darajada oshgan. Biroq, spin coating jarayonining 3 marta va 4 martagacha oshirilishi natijasida FF qiymati mos ravishda 63,7 % va 62,0 % gacha kamayishi kuzatildi. Dastlabki FF qiymatining ortishi perovskit qatlamining bir tekis shakllanishi va morfologik uzluksizligining yaxshilanishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Keyingi kamayish esa qatlamning ortiqcha qalinlashishi, zaryad tashuvchilarining harakati yo'lidagi qarshilikning ortishi yoki rekombinatsiya yo'qotishlarining kuchayishi bilan izohlanishi mumkin.



2-rasm. CsPbI_3 PQElarning a) FF qiymatlarining va b) EO'S qiymatlarining spin-coating soni va qizdirish haroratiga bog'liqligi

100 °C da qizdirib tayyorlangan CsPbI_3 PQElarning FF qiymati nisbatan yuqoriroq bo'ldi. Bir marta spin coating qilingan PQElarning FF qiymati 71.8%, ikki marta va uch marta spin coating qilingan PQElarning FF qiymatlari mos ravishda 72.0 va 72.1% ga teng bo'ldi. Spin coating jarayonini 4 marta oshirganimizda esa FF qiymati 65.3% gacha kamaydi.

110 °C haroratda eng yuqori FF qiymatlari kuzatildi. Bir, ikki va uch martalik spin coating usuli orqali yotqizilgan tayyorlangan PQElarning FF qiymatlari mos ravishda 70.8 %, 73.2 % va 73.3 % ni tashkil etdi. To'rt marta spin coating qilingan PQElarning FF qiymati esa biroz kamayib, 71.7% ni tashkil etdi. Natijalardan xulosa qilsak, 110 °C va uch marta spin-coating qilingan PQElarda yuqori FF qiymatining olinishi perovskit qatlamining shakllanishi, kristallanishi va zaryad tashuvchilarining harakati uchun optimal sharoit yuzaga kelganligini ko'rsatadi.

120 °C haroratda esa FF qiymatlari nisbatan past bo'lib, bir, ikki va uch marta spin coating qilingan PQElarda mos ravishda 58.2%, 61.1% va 66.3% ni tashkil etdi. To'rt marta spin coating qilingan PQElarda esa FF keskin kamayib, 56.8 % ni tashkil

qildi. Bu holat yuqoriroq haroratda perovskit qatlamining morfologik va strukturaviy xususiyatlari spin coating sikllari soniga yanada sezgir bo'lishi mumkinligini ko'rsatadi. To'rt marta spin coating qilingan PQElarning FF qiymatining keskin pasayishi, qatlamning ortiqcha qalinlashishi, zaryad tashish jarayonidagi qarshilikning ortishi yoki rekombinatsiya yo'qotishlarining kuchayishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin.

2b-rasmda CsPbI_3 PQElarning energiya o'zgartirish samaradorligi (EO'S) qiymatlarining spin-coating soni va qizdirish haroratiga bog'liq holda o'zgarishi keltirilgan. 90 °C haroratda bir, ikki, uch va to'rt marta spin-coating qilingan PQElar uchun EO'S mos ravishda 7.1, 9.0, 9.9 va 9.2 % ni tashkil etdi. 100 °C haroratda qizdirib tayyorlangan PQElar uchun ushbu qiymatlar 8.2, 10.4, 11.6 va 10.1% gacha o'zgardi. Haroratni 110 °C gacha oshirganimizda esa EO'S qiymatlarining yanada yuqori bo'lishi kuzatilib, bir, ikki, uch va to'rt marta spin-coating uchun mos ravishda 9.9, 12.9, 14.4 va 11.3 % qiymatlar qayd etildi. 120 °C haroratda qizdirib tayyorlangan PQElarda esa EO'S mos ravishda 6.5, 8.0, 11.2 va 9.1% ni tashkil etdi.

Eng yuqori EO'S qiymati 14.4% bo'lib, u 110 °C haroratda uch marta spin-coating qilib tayyorlangan PQElarga tegishli. Bu holatda perovskit faol qatlamining shakllanishi, kristallanish darajasi va zaryad tashuvchilarning harakati hamda ekstraksiya jarayonlari o'rtasida maqbul muvozanat shakllangan bo'lishi mumkin. Spin-coating jarayonining to'rt marta gacha oshirilishi esa EO'S ning pasayishiga olib kelgan. Bu holat qatlam qalinligining ortishi natijasida zaryad tashuvchilarning harakat yo'li uzayishi, rekombinatsiya yo'qotishlarining kuchayishi yoki ketma-ket qarshilikning ortishi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Shuningdek, 120 °C da EO'S qiymatlarining pasayishi qizdirish haroratining haddan tashqari oshirilishi perovskit qatlamining optoelektronik xususiyatlariga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkinligini ko'rsatadi. Umuman olganda, olingan natijalar 110 °C harorat va uch marta spin-coating jarayoni mazkur PQElar uchun eng maqbul texnologik sharoit ekanligini ko'rsatadi.

Xulosa

Xulosa qilib aytganda, olingan natijalar CsPbI_3 perovskit qatlamining optimal morfologik va kristallanish xususiyatlarini shakllantirishda spin-coating soni va qizdirish haroratini birgalikda optimallashtirish muhimligini ko'rsatdi. Eng yuqori natijalar 110 °C haroratda uch marta spin-coating sharoitida kuzatilib, $V_{OC} = 105$ V, $J_{SC} = 18,7$ mA/cm² va $FF = 73,3$ %, $EO'S = 14.4$ % qiymatlariga erishildi. Mazkur parametrlarning yuqori qiymatlari CsPbI_3 qatlamining morfologik sifati, kristallanish darajasi va zaryad tashuvchilarni ajratish hamda yig'ish jarayonlari uchun ushbu sharoit qulay ekanligini ko'rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Kojima, A., Teshima, K., Shirai, Y., Miyasaka, T. Organometal Halide Perovskites as Visible-Light Sensitizers for Photovoltaic Cells. *Journal of the American Chemical Society*, 2009, 131, 6050–6051.
2. Green, M.A., Ho-Baillie, A., Snaith, H.J. The emergence of perovskite solar cells. *Nature Photonics*, 2014, 8, 506–514.

3. Eperon, G.E., Stranks, S.D., Menelaou, C., Johnston, M.B., Herz, L.M., Snaith, H.J. Formamidinium lead trihalide: a broadly tunable perovskite for efficient planar heterojunction solar cells. *Energy & Environmental Science*, 2014, 7, 982–988.
4. Swarnkar, A., Marshall, A.R., Sanhira, E.M., et al. Quantum dot-induced phase stabilization of α -CsPbI₃ perovskite for high-efficiency photovoltaics. *Science*, 2016, 354, 92–95.
5. Hu, Y., Bai, F., Liu, X., Ji, Q., Miao, X., Qiu, T., Zhang, S. Bismuth Incorporation Stabilized α -CsPbI₃ for Fully Inorganic Perovskite Solar Cells. *ACS Energy Letters*, 2017, 2, 2219–2227.
6. Liang, J., Zhao, P., Wang, C., Wang, Y., Hu, Y., Zhu, G., Ma, L., Liu, J., Jin, Z. CsPb_{0.9}Sn_{0.1}IBr₂ Based All-Inorganic Perovskite Solar Cells with Exceptional Efficiency and Stability. *Journal of the American Chemical Society*, 2017, 139, 14009–14012.
7. Lau, C.F.J., Zhang, M., Deng, X., Zheng, J., Bing, J., Ma, Q., Kim, J., Hu, L., Green, M.A., Huang, S., et al. Strontium-Doped Low-Temperature-Processed CsPbI₂Br Perovskite Solar Cells. *ACS Energy Letters*, 2017, 2, 2319–2325.
8. Xiang, W., Wang, Z., Kubicki, D.J., Tress, W., Luo, J., Prochowicz, D., Akin, S., Emsley, L., Zhou, J., Dietler, G., et al. Europium-Doped CsPbI₂Br for Stable and Highly Efficient Inorganic Perovskite Solar Cells. *Joule*, 2019, 3, 205–214.
9. Yao, H., Zhao, J., Li, Z., Ci, Z., Jin, Z. Research and progress of black metastable phase CsPbI₃ solar cells. *Materials Chemistry Frontiers*, 2021, 5, 1221–1235.
10. Liu, D., Shao, Z., Li, C., Pang, S., Yan, Y., Cui, G. Structural Properties and Stability of Inorganic CsPbI₃ Perovskites. *Small Structures*, 2021, 2, 2000089.
11. Yao, Z., Zhao, W., Liu, S.F. Stability of the CsPbI₃ perovskite: from fundamentals to improvements. *Journal of Materials Chemistry A*, 2021, 9, 11124–11144.
12. Li, Z., Zhou, F., Wang, Q., Ding, L., Jin, Z. Approaches for thermodynamically stabilized CsPbI₃ solar cells. *Nano Energy*, 2020, 71, 104634.
13. Eperon, Giles E., et al. "Inorganic caesium lead iodide perovskite solar cells." *Journal of Materials Chemistry A* 3.39 (2015): 19688-19695.
14. Sutton, Rebecca J., et al. "Cubic or orthorhombic? Revealing the crystal structure of metastable black-phase CsPbI₃ by theory and experiment." *ACS Energy Letters* 3.8 (2018): 1787-1794.
15. Swarnkar, Abhishek, et al. "Quantum dot-induced phase stabilization of α -CsPbI₃ perovskite for high-efficiency photovoltaics." *Science* 354.6308 (2016): 92-95.