



UDK:544.526.5

Aziz SAPARBAYEV,

O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti katta ilmiy xodimi ϕ .-m. ϕ . (Ph.D.),

E-mail: saparbaevaziz83@gmail.com

Boburbek XIDIROV,

O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti stajyor-tadqiqotchisi

E-mail: boburbekhidirov94@gmail.com

Abror TURGUNBOEV,

O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti kichik ilmiy xodimi

E-mail: turgunovabror9606@gmail.com

Asfiyabonu TURSUNOVA,

Mirzo Ulug'bek nomidagi O'zbekiston Milliy Universiteti Fizika fakulteti magistr talabasi

E-mail: asfiyabonushaxobiddinova@gmail.com

Ilhom BOYNAZAROV,

O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti doktorant

E-mail: ilhomboynazarov0821@gmail.com

Farid RO'ZIYEV,

O'z RFA U.Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti kichik ilmiy xodimi

E-mail: roziyevf@list.ru

O'z MU Fizika fakulteti dekani m.-f.f.n. (Ph.D.), dotsent, G'.B.Eshonqulov taqrizi asosida

IMPROVEMENT OF PHOTOVOLTAIC PARAMETERS OF SOLAR CELLS BASED ON MAPbI₃ AND MAPbICl₂ PEROVSKITE BY TEMPERATURE CONTROL

Annotation

In perovskite solar cells (PSCs), thermal heating and precursor composition play an important role in crystallinity control and morphology formation of perovskite active layers for achieving higher photovoltaic performances. In this work, the effect of heating temperature on the crystallization of perovskite active layers prepared from (CH₃NH₃PbI₃) MAPbI₃ and MAPbICl₂ precursors was studied. Higher annealing temperature leads to agglomeration of perovskite crystals. This, in turn, leads to a decrease in the photovoltaic performance of PSCs. MAPbICl₂ perovskite solar cells based on, a significant change in the formation of crystallization size in the active layer was observed with the increase of annealing temperature. However, the morphology and crystal size of MAPbI₃ perovskite-based solar cells increased their photovoltaic performance compared to MAPbICl₂ perovskite solar cells with an increase in heating temperature, which was also confirmed by the absorption spectrum and power conversion efficiency (PCE).

Key words: Perovskite solar cells, temperature control, crystallinity and morphology.

УЛУЧШЕНИЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПУТЕМ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПЕРОВСКИТА MAPbI₃ И MAPbICl₂

Аннотация

В перовскитных солнечных элементах (ПСЭ) тепловой нагрев и состав прекурсора играют важную роль в контроле кристалличности и формировании морфологии перовскитных активных слоев для достижения более высоких фотоэлектрических параметров характеристик. В настоящей работе изучалось влияние температуры нагрева на кристаллизацию перовскитных активных слоев, полученных из прекурсоров (CH₃NH₃PbI₃) MAPbI₃ и MAPbICl₂. Более высокая температура отжига приводит к агрегации кристаллов перовскита. Это, в свою очередь, приводит к снижению фотоэлектрических характеристик ПСЭ. Солнечные элементы на основе перовскита MAPbICl₂, с увеличением температуры отжига наблюдали существенное изменение в формировании размера кристаллизации в активном слое. Однако морфология и размер кристаллов солнечных элементов на основе перовскита MAPbI₃ повышали их фотоэлектрические характеристики по сравнению с солнечными элементами на основе перовскита MAPbICl₂ при повышении температуры нагрева, что также подтверждалось спектром поглощения и эффективностью преобразования энергии (ЭПЭ).

Ключевые слова: Перовскитные солнечные элементы, контроль температуры, кристалличность и морфология.

MAPbI₃ VA MAPbICl₂ ASOSIDAGI PEROVSKIT QUYOSH ELEMENTLARNING HARORATNI NAZORAT QILISH ORQALI FOTOVOLTAIK PARAMETRLARINI YAXSHILASH

Annotatsiya

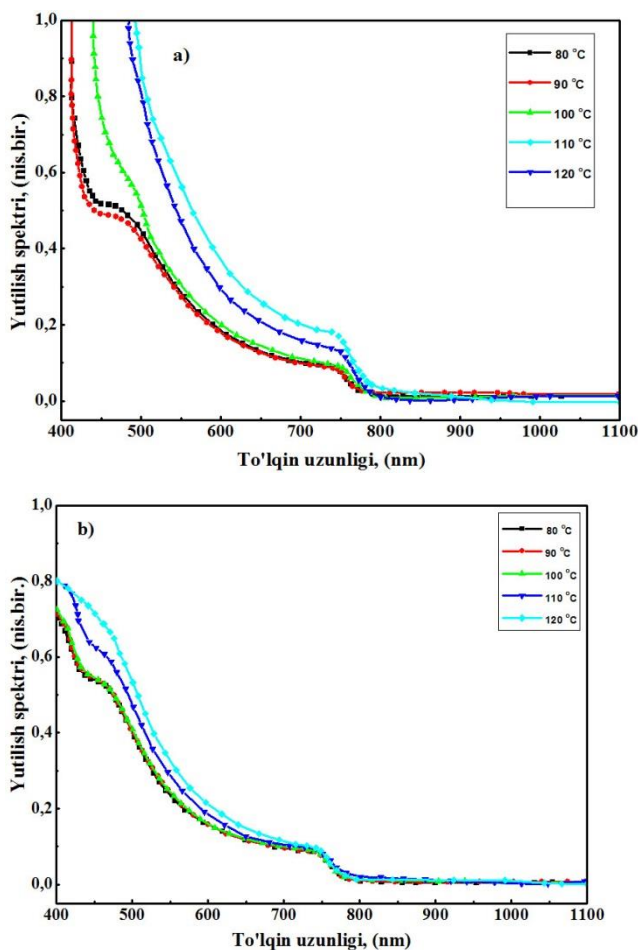
Perovskit quyosh element (PQE) larida termik qizdirish usuli va prekursorning tarkibi fotovoltaiik parametrlarining yuqori natijalarga erishish uchun, kristallanish jarayonini nazorat qilish hamda, perovskit faol qatlamlarning morfologiyasini shakllantirishda muhim ro'l o'ynaydi. Ushbu ishda ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) MAPbI_3 va MAPbICl_2 prekursorlaridan tayyorlangan perovskit faol qatlamlarning qizdirish haroratining kristallanishiga ta'siri o'rganildi. Bunda, yuqori qizdirish harorati perovskit kristall strukturasi aglomeratsiya (tugunchalar) hosil bo'lishiga olib keldi. Bu o'z navbatida PQE larining fotovoltaiik parametrlar pasayishiga olib keladi. MAPbICl_2 PQE larida qizdirish haroratining oshishi bilan faol qatlamda kristallanish hajmi shakllanishining sezilarli darajada o'zgarishi kuzatildi. Ammo, MAPbI_3 perovskit asosidagi quyosh elementlari morfologiyasi va kristallanish hajmi qizdirish haroratining oshishi bilan MAPbICl_2 perovskit quyosh elementlariga qaraganda fotovoltaiik ko'rsatkichlari oshdi, bu yutilish spektri va energiya o'zgartirish samaradorligi (EO'S) bilan ham tasdiqlangan.

Kalit so'zlar: PQElari, haroratni nazorat qilish, kristallanish va morfologiya.

Kirish. So'nggi paytlarda perovskit quyosh elementlari (PQE) yorug'likni yaxshi yutishi, yuqori samaradorligi va barqarorligi kabi xususiyatlari tufayli olimlar e'tiborini tortdi. Dastlabki ma'lumotlarga qaraganda birinchi marta 2009-yilda PQE larning energiya o'zgartirish samaradorligi (EO'S) 3,8 % ni tashkil qilgan [1]. Hozirgi vaqtga kelib PQE larning eng yuqori energiya o'zgartirish samaradorligi (EO'S) 25,5% ga yetdi [2]. Shu bilan bir qatorda, so'nggi yillarda PQE larning namlik, yorug'lik va issiqlikka qarshi uzoq muddatli barqarorligi yaxshilandi. PQElari birinchi marta yuqori ishlov berish haroratini ($>400^\circ\text{C}$) talab qiladigan mezopor tuzilishga ega bo'lgan [3]. Biroq, odatda yuqori samarali va barqaror PQE lar spin qoplama usuli bilan tayyorlangan kichik yuzali qurilmalardir. Ushbu usul tijoratlashtirishda katta yuzali qurilmalarni tayyorlash uchun mos emas. Lekin, egiluvchan tagliklardan foydalanilganda, past haroratlarda ishlov berish talab qilinadi, bu esa rulonli materiallarni tayyorlash imkonini beradi [4]. Perovskit strukturadagi kristallanishni hosil qilishda haroratni nazorat qilish juda muhim jarayon, chunki u kristallanish shakllanishini va yo'nalishini, hamda faol qatlam morfologiyasini belgilaydi [6]. Metilammoniy qo'rg'oshin triiodidi ($\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$) samarali quyosh elementlarini tayyorlashda ishlatiladigan keng tarqalgan perovskitlardan biridir. MAPbI_3 perovskit turli afzalliklarga ega, ya'ni yutilish sohasining kengligi (350-1100 nm), yuqori elektron va teshik harakatchanligi va yuqori zaryad tashuvchi diffuziya uzunligi (100nm - 1mkm) [9]. Ammo, metilammoniy qo'rg'oshin yodid xlorid (MAPbICl_2) PQE lari ham yuqori elektron harakatchanligi va uzoqroq diffuziya uzunligi (1000-1500nm) kabi bir qancha afzalliklarga egaligi bilan e'tiborni tortdi [10]. MAPbI_3 perovskit prekursorlariga xlor qo'shilishi natijasida katta hajmdagi kristallanish domenlarning ($>200\text{nm}$) shakllanishiga olib keldi, natijada ular kamroq zaryad rekombinatsiyasi bilan zaryad o'tkazuvchanligi oshishiga olib keladi [5]. Ushbu ishda MAPbI_3 va MAPbICl_2 perovskit prekursorlari bilan tayyorlangan alohida ikkita perovskit faol qatlamlarini har hil haroratlarda termal qizdirish orqali tayyorlangan faol qatlamlarning morfologiyasi va ularning kristallanish shakllanishi o'rganildi. Quyosh elementlarining xarakteristikasiga qizdirish haroratini ta'siri bo'yicha bir qator tajribalar o'tkazildi. Bunda, MAPbI_3 perovskit prekursor eritmasidan tayyorlangan PQE larning fotovoltaiik va optik parametrlari MAPbICl_2 perovskit prekursor eritmasidan tayyorlangan PQE lariga qaraganda yuqori natija ko'rsatdi.

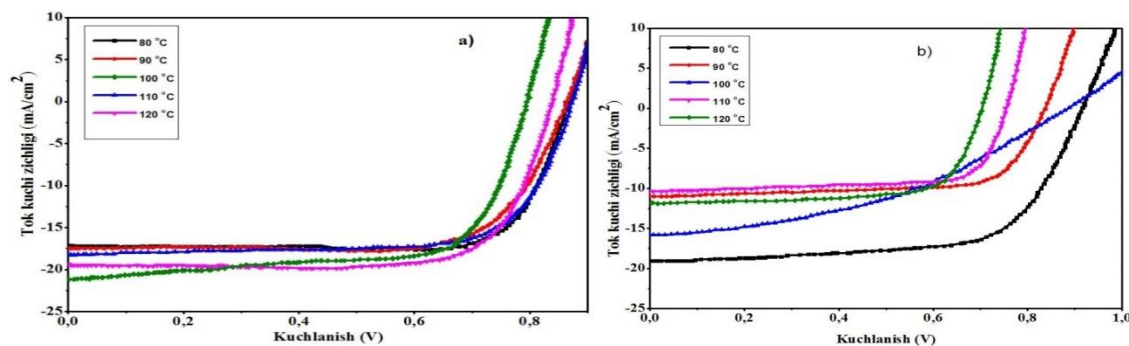
Eksperimental metod. MAPbI_3 perovskit eritmasini tayyorlash uchun MAI va PbI_2 ni DMSO eritmasida 1:1M nisbatda (0.5M) sintez qilinib, xona haroratida 12 soat davomida aralashtirildi, shu bilan parallel ravishda MAPbICl_2 perovskit eritmasini tayyorlash usuli ham MAPbI_3 perovskit eritmasini tayyorlash jarayoni bilan bir xil. Bu ikki turdagi perovskit prekursor eritmalari quyosh elementlarining faol qatlami sifatida foydalaniladi. Quyosh elementlarini yasash texnologiyasi bir-nechta bosqichdan iborat. Dastlab indiy qalay oksidi (ITO) shisha tagliklari ultratovushli vannada asetonda, deionizatsiya qilingan (DI) suvda va izopropil spirtida (IPA) har biri 10 daqiqa davomida tozalanib, so'ngra esa toza azot gazi yordamida quritildi. Shundan so'ng, shisha/ITO sirt tayyor bo'lgach, spin qoplama usuli yordamida PEDOT:PSS ni 4500 ayl./min. (ayl./min.-bir daqiqadagi aylanishlar soni) tezlik bilan 20 sekund davomida aylantirilib 50 nm qalinlik atrofida yotqiziladi va tayyor PEDOT:PSS qatlamlaridagi suv molekulalarini yo'qotish uchun pechkada atmosfera sharoitida 10 daqiqa davomida 150°C haroratda qizdiriladi. PEDOT:PSS qatlami tayyor bo'lgach MAPbI_3 perovskit eritmasini 30 sekund davomida 4000 ayl./min. tezlikda spin qoplama usuli bilan qoplanadi. Tayyor bo'lgan perovskit faol qatlamlari atmosfera sharoitida turli xil harorat (80°C , 90°C , 100°C , 110°C va 120°C)larda 10 daqiqa davomida termik qizdiriladi. Shundan so'ng, MAPbI_3 faol qatlamlari termik qizdirilib tayyor bo'lgach, 12mg/mL miqdorda dioxorobenzoldagi PC_{61}BM eritmasini 2000 ayl./min. tezlikda 30 sekund davomida spin qoplama usuli orqali 50 nm qalinlikda perovskit faol qatlami ustiga qoplanadi. Nihoyat, barcha struktura tayyor bo'lgach, 100 nm qalinlikda alyuminiy (Al) katod sifatida vakuum sharoitida 5×10^{-4} Pa bosim ostida termal bug'lantirish usuli yordamida qurilmaga yotqiziladi. Natijada, ITO/PEDOT:PSS/perovskit/ PC_{61}BM /Al strukturaga ega bo'lgan PQE tayyor bo'ladi.

Natijalar va muhokamalar. PQE larning tuzilishi shisha/ITO/PEDOT:PSS/perovskit/ PC_{61}BM /Al shaklda tayyorlangan. 1-rasmda har xil haroratlarda qizdirilgan (a) MAPbI_3 va (b) MAPbICl_2 perovskit faol qatlamlarning yutilish spektrlari ko'rsatilgan. PEDOT:PSS dagi barcha perovskit faol qatlamlar turli 80°C , 90°C , 100°C , 110°C va 120°C haroratlarda keng yutilishni ko'rsatadi. To'liq uzunligi 400-750 nm oralig'idagi MAPbICl_2 perovskit faol qatlamlarning yutilish spektri qizdirish haroratining oshishi bilan ortdi. Ammo, MAPbI_3 perovskit faol qatlamlarning yutilish spektrlari to'liq uzunligi 400-750nm oralig'ida MAPbICl_2 perovskit faol qatlamlarning yutilish spektrlariga nisbatan yaxshi natija ko'rsatdi. PQE lari yorug'lik nurining 400-800 nm to'liq uzunligi diapazonida yaxshi ishlashini e'tiborga olsak (a) MAPbI_3 va (b) MAPbICl_2 perovskit faol qatlamlarning yutilish spektrlari optimal strukturaga mos keladi.



1-rasm. Har xil haroratlarda qizdirilgan (a) MAPbI₃ va (b) MAPbICl₂ perovskit faol qatlamlarning yutilish spektrlari.

Samarali PQE larini yasashda Volt-Amper xarakteristikalari muhim hisoblanadi. Chunki Volt-Amper xarakteristikasi orqali quyosh elementlarining ishlashini baholaymiz. 2-rasmda har-xil haroratlarda qizdirilgan (a) MAPbI₃ va (b) MAPbICl₂ PQE larning Volt-Amper xarakteristikalari aks ettirilgan. Olingan natijadan ko'rinib turibdiki, eksperimental sharoitda turli xil haroratlarda qizdirilgan MAPbI₃ perovskit prekursor eritmasidan tayyorlangan PQE lari MAPbICl₂ perovskit prekursor eritmasidan tayyorlangan PQE lariga nisbatan yuqori fotovoltaik ko'rsatkichlarni ko'rsatdi.



2-rasm. Har- xil haroratlarda qizdirilgan (a) MAPbI₃ va (b) MAPbICl₂ PQE larning Volt-Amper xarakteristikalari.

Bundan tashqari turli-xil haroratlarda qizdirib hosil qilingan MAPbI₃ va MAPbICl₂ asosli PQE larining tok zichligi (J_{sc}), ochiq zanjir kuchlanishi (V_{oc}), to'ldirish faktori (FF) va EO'S kabi fotovoltaik parametrlari qiymatlari olindi. Olingan

natijalar 1-jadvalda keltirilgan. Har-xil haroratlarda, MAPbI₃ asosli PQE ning barcha fotovoltaiik parametrlari qiymatlari samarali va deyarli biroz o'zgargan. MAPbI₃ asosli PQE uchun eng optimal harorat 120 °C bo'lib bunda EO'S qiymati 12.33 % ga teng. Xuddi shuningdek MAPbICl₂ asosli PQE uchun eng optimal harorat 80 °C va bunda EO'S qiymati 9.09 % ga teng. Demak EO'S bo'yicha MAPbI₃ optimalroq lekin, bu yuqori harorat talab qiladi. MAPbICl₂ asosli PQE lar EO'S qiymat 10 % dan kam bo'lsa ham past haroratda olindi.

Jadval 1. Turli xil haroratlarda qizdirilgan MAPbI₃ va MAPbICl₂ PQE larning fotovoltaiik parametrlari.

Perovskit	Qizdirish harorati (°C)	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	EO'S (%)
MAPbI ₃	80	0.91	17.66	0.76	11.86
	90	0.81	17.72	0.62	11.18
	100	0.83	21.18	0.67	11.42
	110	0.92	18.76	0.70	11.39
	120	0.85	19.87	0.73	12.33
MAPbICl ₂	80	0.98	15.58	0.61	9.09
	90	0.91	11.04	0.70	6.63
	100	0.93	16.09	0.40	5.87
	110	0.81	10.72	0.71	5.88
	120	0.79	12.1	0.69	6.06

Xulosa. Biz MAPbI₃ va MAPbICl₂ perovskit prekursorlari yordamida perovskit faol qatlamlarning kristallanishi va morfologiyasining shakllanishiga qizdirish haroratining ta'sirini o'rgandik. MAPbI₃ dan tayyorlangan PQE larida perovskit faol qatlamini tayyorlashda haroratining oshishi bilan morfologik o'zgarishlar va qurilma xarakteristikasi orasidag farqlar kuzatilmaydi. PQE larining ushbu turini qizdirish harorati 80 °C dan 120 °C gacha bo'lgan oraliqda keng diapazonda tayyorlash mumkin. Bunda, MAPbI₃ PQE lari past qizdirish haroratida kichik samaradorligini ko'rsatdi, yuqori qizdirish harorati esa qurilma samaradorligi ko'tarildi va harorat oshishi kristall zarracha hajmining morfologik o'sishiga olib keldi. Bizning natijalarimiz yutilish spektrlari bilan tasdiqlangan, bu MAPbI₃ PQElari uchun perovskit strukturasi to'liq shakllanishini ko'rsatdi. Demak umumiy xulosa qiladigan bo'lsak MAPbI₃ asosli PQE larida optimal bo'lgan samaradorlikka erishish uchun yuqori harorat (120 °C) talab qilinadi. Lekin MAPbICl₂ asosli PQE lari optimal samaradorlikka past harorat (80 °C) erisha oladi.

ADABIYOTLAR

1. Kojima, Akihiro, et al. "Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells." Journal of the american chemical s^ciety 131.17 (2009): 6050-6051.
2. Min, Hanul, et al. "Perovskite solar cells with atomically coherent interlayers on SnO₂ electrodes." Nature 598.7881 (2021): 444-450.
3. Kim, Hui-Seon, et al. "High efficiency solid-state sensitized solar cell-based on submicrometer rutile TiO₂ nanorod and CH₃NH₃PbI₃ perovskite sensitizer." Nano letters 13.6 (2013): 2412-2417.
4. Ball, James M., et al. "Low-temperature pr^ocessed meso-superstructured to thin-film perovskite solar cells." Energy & Environmental Science 6.6 (2013): 1739-1743.
5. Lee, Michael M., et al. "Efficient hybrid solar cells based on meso-superstructured organometal halide perovskites." Science 338.6107 (2012): 643-647.
6. Laban, Waleed Abu, and Lioz Etgar. "Depleted hole conductor-free lead halide iodide heterojunction solar cells." Energy & Environmental Science 6.11 (2013): 3249-3253.
7. Mei, Anyi, et al. "A hole-conductor-free, fully printable mesoscopic perovskite solar cell with high stability." science 345.6194 (2014): 295-298.
8. Wang, Jacob Tse-Wei, et al. "Low-temperature pr^ocessed electron collection layers of graphene/TiO₂ nan^oComposites in thin film perovskite solar cells." Nano letters 14.2 (2014): 724-730.
9. Grätzel, Michael. "The light and shade of perovskite solar cells." Nature materials 13.9 (2014): 838-842.
10. Stranks, Samuel D., et al. "Electron-hole diffusion lengths exceeding 1 micrometer in an organometal trihalide perovskite absorber." Science 342.6156 (2013): 341-344.
11. Edri, Eran, et al. "Chloride inclusion and hole transport material doping to improve methyl ammonium lead bromide perovskite-based high open-circuit voltage solar cells." The journal of physical chemistry letters 5.3 (2014): 429-433.
12. Colella, Silvia, et al. "MAPbI₃-xCl x mixed halide perovskite for hybrid solar cells: the role of chloride as dopant on the transport and structural properties." Chemistry of Materials 25.22 (2013): 4613-4618.
13. Suarez, Belen, et al. "Recombination study of combined halides (Cl, Br, I) perovskite solar cells." The journal of physical chemistry letters 5.10 (2014): 1628-1635.
14. Kitazawa, Nobuaki Y. Watanabe, and Nakamura Y. "Optical properties of CH₃NH₃PbX₃ (X= halogen) and their mixed-halide crystals." Journal of materials science 37.17 (2002): 3585-3587.