

МЕТОДИКИ УЛУЧШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ПЕРОВСКИТНЫХ СТРУКТУР

Азизов А.Р. (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), Муратова Е.Н. (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Муратова Е.Н.
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

Введение. Перовскитные солнечные элементы (PSCs) представляют собой передовую технологию в области фотовольтаики, обещающую высокую эффективность преобразования солнечной энергии при сравнительно низких затратах на производство. С момента их первого появления эффективность PSCs росла быстрыми темпами, достигая значений, сопоставимых с традиционными кремниевыми солнечными элементами. Однако проблемы стабильности и долговечности все еще остаются ключевыми препятствиями на пути коммерциализации PSCs. В последние годы внимание исследователей сосредоточилось на поиске новых материалов и методов модификации перовскитных пленок, чтобы улучшить их фотовольтаические характеристики и стабильность. Это включает в себя введение барьерных слоев, разработку новых добавок, улучшающих морфологию и кристаллическую структуру пленок, а также технологии постобработки, позволяющие пассивировать поверхностные дефекты и улучшать электронные свойства перовскитов. [1].

Основная часть. В работе [2] предлагаются два способа повышения стабильности солнечных элементов на основе перовскитных структур MAPbI_3 . С присущей для них нестабильностью по отношению к влаге и кислороду можно бороться путем введения в структуру устройства функциональных барьерных слоев, которые обеспечивают эффективный отвод заряда и минимизируют попадание агентов деградации. Было показано, что в краткосрочной перспективе это в определенной степени повышает стабильность устройства. Вторая стратегия заключается в стабилизации самого перовскитного элемента путем замещения входящих в его состав ионов. Очень многообещающие результаты показывают смешанные катионные и смешанные галоидные составы, а также низкоразмерные структуры. По сути слабым местом перовскита MAPbI_3 является катион А – метиламмоний, замена которого на формамидиний и цезий, придает перовскиту гораздо лучшую стабильность.

Результаты работы [3] показали, что использование $[\text{C}_4\text{H}_{10}\text{NO}]^+[\text{BF}_4]^-$ (MOT - Morpholinium tetrafluoroborate) для постобработки перовскитных пленок $\text{Cs}_{0.05}(\text{FA}_{0.83}\text{MA}_{0.17})_{0.95}\text{Pb}(\text{I}_{0.83}\text{Br}_{0.17})_3$ повышает их качество за счет синергетического действия морфолина и ионов тетрафторбората, пассивирующего дефекты на поверхности и в объеме перовскитов. Эти улучшения включают увеличение гидрофобности, повышение эффективности преобразования энергии до 23.83% и сохранение 92% исходной эффективности после 2000 часов непрерывного освещения.

В работе же [4] улучшение термостойкости, влагостойкости и эффективности преобразования энергии солнечных элементов на основе $\text{Cs}_{0.05}(\text{FA}_{0.83}\text{MA}_{0.17})_{0.95}\text{Pb}(\text{I}_{0.83}\text{Br}_{0.17})_3$ было достигнуто за счет использования ароматических соединений с различной гидрофобностью, но уже путем введения добавки в исходные растворы перовскитов перед нанесением пленок. Было рассмотрено две модификации перовскитов на основе $\text{Cs}_{0.05}(\text{FA}_{0.83}\text{MA}_{0.17})_{0.95}\text{Pb}(\text{I}_{0.83}\text{Br}_{0.17})_3$: с добавлением кумарин метакрилата (CMA) и с добавлением кумарин гидроксиэтила (CHE). Устройства с добавками продемонстрировали увеличение максимальной эффективности преобразования энергии (PCE) с 19.15% для контрольного образца до 21.14% и 21.28% для устройств с CHE и CMA соответственно. В свою очередь также была улучшена стабильность устройств, особенно с добавлением CMA, у которого время, необходимое для снижения эффективности до 80% от начального значения, составило 98 дней, в отличие от 38 дней для CHE и 14 дней для немодифицированного образца.

В работах [5] и [6] был сделан акцент на оптимизации морфологии перовскитных пленок, благодаря чему можно получить более стабильные солнечные элементы. В первом

случае улучшение морфологии было достигнуто за счет введения 2D материалов butane-1,4-diammonium iodide (BDAI₂) и 2,2-dimethylpropane-1,3-diammonium iodide (DMPDAI₂) в состав перовскитов (Cs_{0.05}MA_{0.16}FA_{0.79})Pb(I_{0.84}Br_{0.16})₃, что привело к формированию квази-2D слоев, обеспечивающих образование более плотных пленок с меньшим размером зерен. Во втором же случае исследователям удалось получить перовскитные пленки с равномерной зернистой структурой кристаллов и высокой однородностью за счет оптимизации процесса кристаллизации гибридных галогенидных перовскитов состава CH₃NH₃PbI₃. Результаты работы [5] было показано, что перовскитные солнечные элементы с улучшенной морфологией обладают повышенной стабильностью. Так, устройства с добавлением BDAI₂ и DMPDAI₂ сохранили 90% и 75% своей исходной эффективности соответственно по сравнению с 44% у контрольного немодифицированного образца после недельного тестирования без герметизации в условиях с относительной влажностью 60% и температурой 20°C.

Вывод. Проведен анализ современных методик улучшения стабильности перовскитных структур.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда № 23–42–10029 от 20.12.2022, <https://rscf.ru/project/23-42-10029/>

Список использованных источников:

1. Mohammad A., Mahjabeen F. Promises and Challenges of Perovskite Solar Cells: A Comprehensive Review // *Bullet: Jurnal Multidisiplin Ilmu*, vol. 2, no. 5, pp. 1147–1157, Oct. 2023. Available: <https://www.journal.mediapublikasi.id/index.php/bullet/article/view/3685>
2. Habisreutinger S. N., McMeekin D. P., Snaith H. J., Nicholas R. J. Research Update: Strategies for improving the stability of perovskite solar cells // *APL Mater.*, vol. 4, no. 9, Art. no. 091503, Sep. 2016. Available: <https://doi.org/10.1063/1.4961210>
3. Bian J., Sun Y., Guo J., Liu X., Liu Y. Enhancing the Performance and Stability of Perovskite Solar Cells via Morpholinium Tetrafluoroborate Additive Engineering: Insights and Implications // *Coatings*, vol. 13, no. 9, Art. no. 1528, 2023. Available: <https://doi.org/10.3390/coatings13091528>
4. Wang R. et al. Improving the efficiency and stability of perovskite solar cells using π -conjugated aromatic additives with differing hydrophobicities // *Energy Environ. Sci.*, vol. 16, no. 6, pp. 2646–2657, 2023. Available: <https://doi.org/10.1039/D3EE00247K>
5. Chang H. W., Li C. C., Haung T. Y., Li H. C., Tan C. S. Enhancing perovskite solar cell efficiency and stability through the incorporation of BDAI₂ and DMPDAI₂ // *Energy Adv.*, 2024. Available: <http://dx.doi.org/10.1039/D3YA00496A>
6. Муратова, Е.Н., Мошников В.А., Алешин А.Н., Врублевский И.А., Лушпа Н.В., Тучковский А.К. Исследование и оптимизация процессов кристаллизации растворов гибридных галогенидных перовскитов состава CH₃NH₃PbI₃ // *Физика и химия стекла*. 2023, том 49, № 6, с. 662–671. DOI: 10.31857/S013266512360022X