

УДК 548.736.442.6

В. С. БУДНИК, В. А. ЛАБУНОВ

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕОСАЖДЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ДИМЕТИЛФОРМАМИДА НА СТРУКТУРУ И СВЕТОПРОПУСКАНИЕ МЕТАЛЛОРГАНИЧЕСКИХ ПЕРОВСКИТОВ

Представлены результаты исследований металлоорганических монохлорид замещенных перовскитов до и после переосаждения на стеклянной подложке. Перекристаллизация с использованием диметилформамида приводит к трансформациям в морфологической структуре и светопропускании после добавления растворителя.

Внимание учёных и специалистов уже давно привлечено к разработке эффективных способов преобразования солнечной энергии в электроэнергию. Повышенный интерес к фотоэлектрическому методу обусловлен реальной возможностью создания относительно стабильных в эксплуатации, недорогих и простых в изготовлении солнечных элементов с относительно высоким коэффициентом преобразования энергии. Именно по этим причинам в фотовольтаике востребованы гибридные металлоорганические перовскитные солнечные элементы (ПСЭ). Главными характеристиками, требующими внимательного исследования, являются морфологические и оптические свойства, влияющие на эффективность работы перовскитных элементов [1].

Управляемая кристаллизация имеет практическое значение для получения высококачественных тонких плёнок перовскита с уменьшенным количеством структурных дефектов. Доноры электронных пар, такие как азот, кислород и сера, в качестве посторонних добавок координируются с катионами свинца в перовскитах и значительно влияют на латеральный рост кристаллитов. В некоторых исследованиях для морфологической регуляции тонких плёнок перовскита использовались амины с многоатомными углеводородными хвостами, однако данные соединения показали неудовлетворительные результаты [2].

Перовскитные образцы, модифицированные N- и O-донорами, демонстрируют более упорядоченную морфологию вместе с повышенной кристалличностью и размером зёрен. Остаточные молекулы пассивируют мелкие дефекты в границах зёрен и приводят к подавлению рекомбинации носителей заряда [3; 4].

В данной работе изучалось воздействие переосаждения металлоорганического галогенп्लомбатного перовскита при помощи диметилформамида (ДМФА) на светопропускание перовскитов. Плёнки толщиной 0,5–0,8 мкм были получены центрифугированием (500 об./мин.) с последующим отжигом при $T = 100\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 5 мин. Жидкофазный прекурсор получен смешиванием хлорида метиламмония $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{Cl}$ с иодидом свинца (II) PbI_2 (молярное соотношение 1:1) в ДМФА, этилендиаммонийдиодид $\text{INH}_3\text{C}_2\text{H}_4\text{NH}_3\text{I}$ (18,4 г/л) добавляли в готовый раствор при перемешивании небольшими порциями.

В исходном перовските, который образует плёнку чёрного цвета, структура зернистая, с размером частиц 0,92–1,37 мкм, объединяющихся в кольцеобразные агломераты диаметром 8,91–15,62 мкм. Размеры промежутков на поверхности покрытия составляют около 8,0 мкм (рисунок 1а). После переосаждения цвет поверхности не меняется, диаметр отдельных частиц, уже не объединяющихся в более крупные структуры, составляет 0,92–1,16 мкм, размеры промежутков – 5,0 мкм (рисунок 1б).

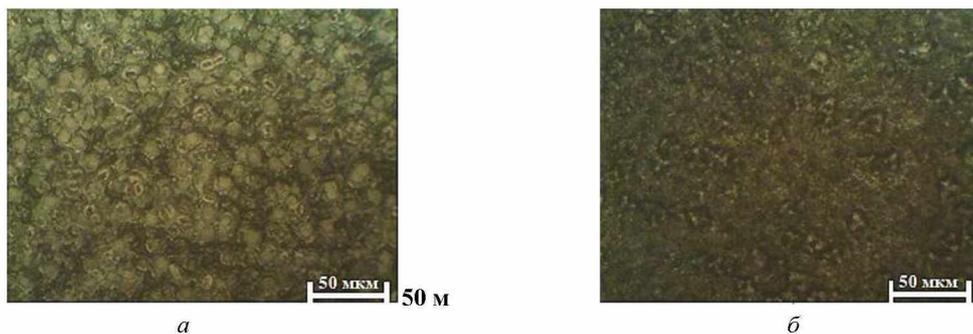


Рисунок 1 – Структура поверхности плёнок до (а) и после (б) переосаждения при помощи ДМФА

В первоначальном перовските пропускание света (T) после незначительного повышения в фиолетовой области падает от 7,98 % при $\lambda = 398\text{ нм}$ до 7,06 % при длинах волн 666–686 нм (красный и инфракрасный диапазоны) (рисунок 2, кривая 1). Отмечается заметный пик при $\lambda = 598\text{ нм}$, соответствующий 7,1 % пропускания. В инфракрасной области спектра светопропускание немонотонно возрастает вплоть до $T = 8,54\text{ }%$ при $\lambda = 1000\text{ нм}$.

После переосаждения, которое осуществлялось путём введения 0,05 мл ДМФА в образец с последующим испарением и отжигом, характер светопропускания меняется. Повышение процента пропускания от 5,08 % при $\lambda = 380\text{ нм}$ до 5,39 % в диапазоне длин волн 470–540 нм (синяя и зелёная области) сменяется падением до 5,26 % (пик при $\lambda = 598\text{ нм}$) с последующим незначительным перегибом ($\lambda = 604\text{–}608\text{ нм}$; $T = 5,31\text{ }%$) (рисунок 2, кри-

вая 2). Последующее понижение до 5,09 % при $\lambda = 696\text{--}732$ нм (красная область спектра) в дальнейшем трансформируется в неравномерное повышение светопропускания ($T = 5,85$ % при $\lambda = 1000$ нм) (рисунок 2, кривая 2).

Вышеуказанные спектральные изменения – главным образом, резкое падение процента пропускания света после переосаждения – объясняются значительным уменьшением количества и размера пустот в покрытиях.

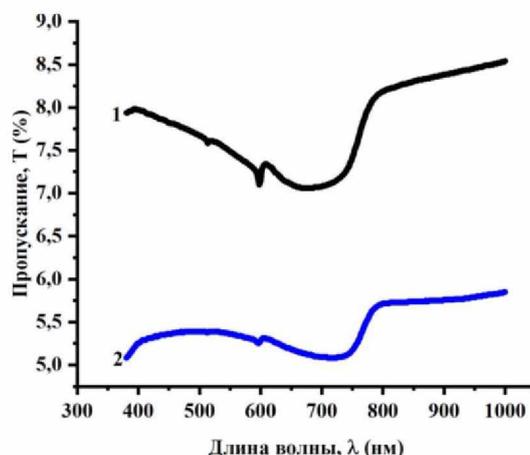


Рисунок 2 – Спектры пропускания перовскитов до (1) и после (2) переосаждения

Таким образом, особенности оптических свойств металлорганических перовскитов после переосаждения заключаются в значительном понижении показателей пропускания, что свидетельствует о повышении качества покрытий. Рекомендуется дальнейшее использование таких покрытий в перовскитных солнечных панелях.

Список литературы

1. McNelis, B. The Photovoltaic Business: Manufactures and Markets / B. McNelis // Series on Photoconversion of Solar Energy. – 2001. – № 1. – P. 713.
2. Barboni, D. The Thermodynamics and Kinetics of Iodine Vacancies in the Hybrid Perovskite Methylammonium Lead Iodide / D. Barboni, R. A. De Souza // Energy Environ. Sci. – 2018. – Vol. 11. – P. 3266–3274.
3. Ching-Ho, T. Methylammonium halide salt interfacial modification of perovskite quantum dots/triple – cation perovskites enable efficient solar cells / T. Ching-Ho, L. Hong-Ye, L. Chen // Nature. – 2023. – Vol. 13, № 5387. – P. 13–20.
4. Eperon, G. The role of dimethylammonium in bandgap modulation for stable halide perovskites / G. Eperon // ACS Energy Lett. – 2020. – Vol. 5, № 6. – P. 1856–1864.

This article presents the results of studies of organometallic monochloride – substituted perovskites before and after reprecipitation on a glass substrate. Recrystallization using dimethylformamide leads to transformations in the morphological structure and light transmission after the addition of solvent.

Будник Валерия Сергеевна, факультет радиотехники и электроники Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь, valeria.budnik@mail.ru.

Научный руководитель – *Лабунов Владимир Архитович*, доктор технических наук, профессор, академик Национальной академии наук Беларуси; сотрудник НИЛ 4.6 «Интегрированные микро- и наносистемы» НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь, labunov@bsuir.by.