

## Литература

1. Plasma electrolysis for surface engineering / A. L. Yerokhin, X. Nie, A. Leyland [et al.] // Surface and Coating Technologies. – 1999. – Vol. 122. – P. 73–93.
2. Иванов, А. И. Влияние температуры электролита на толщину и твердость модифицированного слоя при электролитно-плазменном упрочнении титановых сплавов / А. И. Иванов, А. Ю. Королёв // Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки. Технология – Оборудование – Инструмент – Качество : тез. докл. 38-й Междунар. науч.-техн. конф. в рамках междунар. специализир. выставки «Металлообработка–2024», Минск, 11 апр. 2024 г. / редкол.: В. К. Шелег (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2024. – С. 37–38.

**ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИИ КАТИОНАМИ  
МОНОЭТАНОЛАММОНΙΑ И ЭТИЛЕНДИАММОНΙΑ  
НА СТРУКТУРУ И СВЕТОПОГЛОЩЕНИЕ  
МЕТАЛЛООРГАНИЧЕСКИХ ПЕРОВСКИТНЫХ ПЛЕНОК**

**В. С. Будник, А. К. Тучковский**

*Учреждение образования «Белорусский государственный  
университет информатики и радиоэлектроники», г. Минск*

Научный руководитель И. А. Врублевский

*Продemonстрированы результаты исследований металлоорганического галогенплюмбатного йодного перовскита до и после включения в его состав аминоксодержащих соединений (алкиламмониевых йодидов) с различным строением углеродного заместителя. Отмечено, что модификация добавками солей раствора перовскита приводит к поверхностным и оптическим изменениям при исследовании перовскитных образцов. В зависимости от конкретного соединения, которым был допирован исходный перовскит, выявляются изменения в структуре поверхности пленок, выраженные в наличии перовскитных микрокристаллов либо зерен разного размера, а также в характере промежутков между ними. Показано, что оптические изменения определяются изменением значений светопоглощения в зависимости от структуры аминного соединения, включенного в первоначальный перовскитный раствор.*

**Ключевые слова:** перовскит; допирование; алкиламмониевые йодиды; светопоглощение; видимый спектр.

Внимание ученых уже давно привлечено к разработке эффективных средств преобразования солнечной энергии в электроэнергию. Повышенный интерес к фотоэлектрическому методу обусловлен реальной возможностью создания относительно стабильных, недорогих и простых в изготовлении солнечных элементов с относительно высоким коэффициентом преобразования энергии. По этим причинам в фотовольтаике востребованы гибридные металлоорганические перовскитные элементы [1].

Кристаллическая структура гибридных галогенплюмбатных металлоорганических перовскитов вида  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  рассматривается как неорганический блок соединенных по вершинам октаэдрических соединений  $\text{PbI}_6$ , в кубооктаэдрических пустотах которого расположены метиламмониевые органические катионы  $\text{CH}_3\text{NH}_3^+$ , связанные с анионной подрешеткой за счет электростатического взаимодействия (рис. 1, а) [2].

Управляемая кристаллизация имеет практическое значение для получения высококачественных тонких пленок перовскита с уменьшенным количеством структурных дефектов. Такие доноры электронных пар, как азот, кислород и сера, в качестве посторонних добавок связывают катионы металлов в перовскитах и влияют на латеральный рост кристаллитов. Образцы, модифицированные N- и O-донорами,

показывают более компактную морфологию вместе с повышенной кристаллическостью и размером зерен. Остаточные молекулы пассивируют мелкие дефекты в границах зерен и приводят к подавлению рекомбинации носителей заряда. В некоторых исследованиях использовались амины с длинными углеводородными хвостами для морфологической регуляции тонких пленок перовскита, но данные соединения показали неудовлетворительные результаты [3].

Цель работы – изучение влияния модифицирования перовскитного металлорганического материала аминными соединениями, имеющими различные радикальные заместители, на морфологию и оптические свойства пленок.

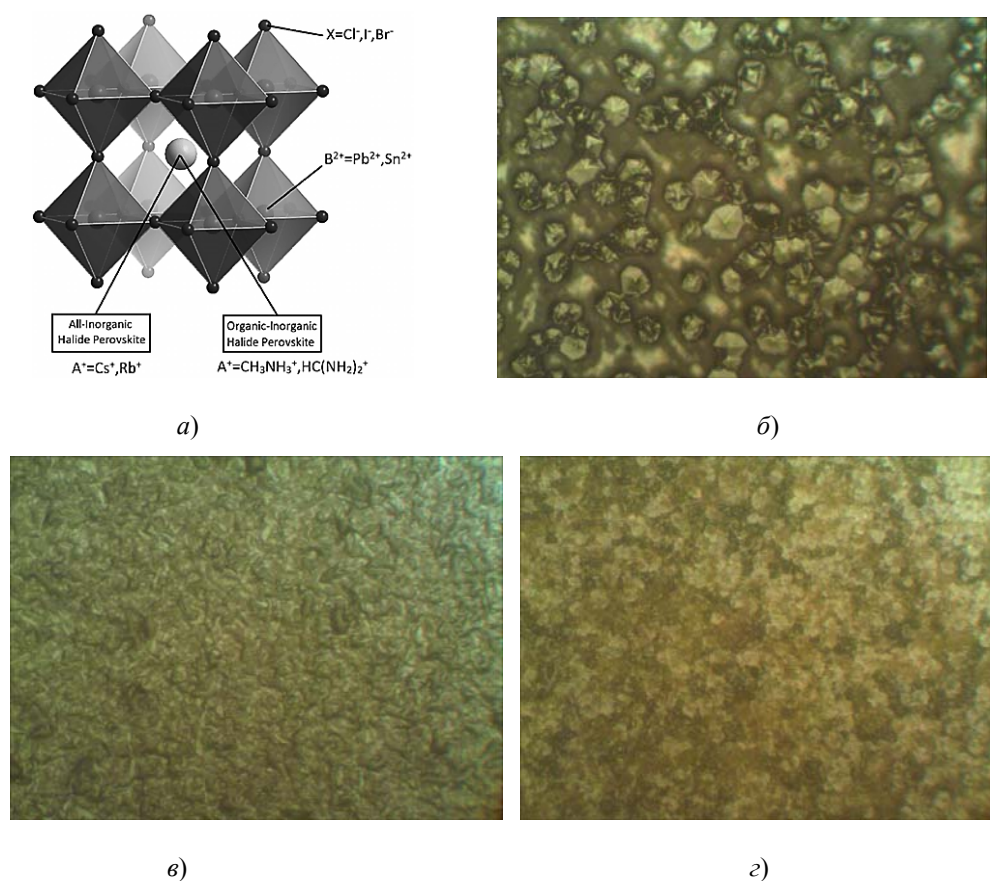


Рис. 1. Кристаллическая структура перовскита (а); морфология пленок исходного перовскита (б), модифицированного при помощи моноэтаноламмониевого (в) и этилендиаммониевого (з) соединений

В выполненном эксперименте использовались добавки на основе моноэтаноламина и этилендиамина, концентрации которых равны 40 г/л. Пленки толщиной 0,8 мкм были получены центрифугированием (500 об/мин) с последующим отжигом при  $T = 100^{\circ}C$  в течение 5 мин. Жидкофазный прекурсор перовскита  $CH_3NH_3PbI_3$  получали смешиванием иодида метиламмония  $CH_3NH_3I$  с иодидом двухвалентного свинца  $PbI_2$  в диметилформамиде (молярное соотношение компонентов 1 : 1), необходимые амины в виде иодидаммониевых солей добавляли при перемешивании небольшими порциями. Концентрация йодного перовскита в диметилформамиде составляла 120 г/л. Структура покрытий исследована на оптическом микроскопе

МКИ-2М при увеличении  $\times 500$ , светопоглощение ( $A$ , а. е.) – на спектрофотометре МС-122 в области длин волн ( $\lambda$ , нм) 380–1000 нм.

В исходном перовските пленка имеет черный цвет. Обнаруживаются отдельные крупные кристаллиты неправильной шестиугольной формы с вогнутым центром, размеры которых варьируются от 8,14 до 23,56 мкм (средний размер – 15,70 мкм) (рис. 1, б). При модификации перовскита при помощи моноэтаноламмониевой соли покрытие приобретает темно-красный цвет и кристаллическую структуру с большим количеством пустот. Образуются многочисленные вытянутые включения длиной 5,50–14,00 мкм со средней длиной 12,0 мкм (рис. 1, в). При добавлении этилендиаммониевой соли пленки становятся оранжевыми и сплошными. Образуются крупные зерна диаметром 0,84–2,40 мкм, различимы отдельные округлые скопления зерен 6,30–6,50 мкм (рис. 1, г).

При исследовании показателей светопоглощения исходного перовскита в начале исследуемого диапазона длин волн наблюдается падение показателей от  $A = 0,93$  а. е. ( $\lambda = 380$  нм) до перегиба в значении  $A = 0,91$  а. е. при  $\lambda = 472$  нм (фиолетовая и синяя области видимого спектра), которое сменяется резким повышением в остальной области видимого спектра до значения  $A = 0,95$  а. е. при  $\lambda = 758$  нм (второй перегиб). В инфракрасной области показатель поглощения после второго перегиба понижается до  $A = 0,90$  а. е. (рис. 2, кривая 1). При содержании в перовските моноэтаноламмония иодида поглощение значительно падает из-за увеличения количества пустот в пленке (рис. 2, кривая 2). Показатель поглощения падает от  $A = 0,70$  а. е. при  $\lambda = 380$  нм до перегиба при  $A = 0,61$  и  $\lambda = 506$  нм (голубая область видимого спектра), затем проходит через второй перегиб при  $A = 0,54$  и  $\lambda = 600$  нм (оранжевый диапазон) и остается практически неизменным на дальнейшей области видимого спектра. Максимальные значения  $A$  от 3,40 до 3,84 а. е. для перовскита, модифицированного катионом этилендиаммония, наблюдаются при диапазоне  $\lambda$  380–434 нм, что соответствует фиолетовой области спектра. Затем происходит резкое падение до  $A = 1,90$  а. е. при  $\lambda = 564$  нм (зеленая область) с дальнейшим плавным понижением ( $A = 1,57$  а. е.,  $\lambda = 1000$  нм) (рис. 2, кривая 3). Вышеуказанные спектральные изменения объясняются устранением пустот в модифицированной пленке и внедрением этилендиаммониевого катиона в кристаллическую решетку перовскита за счет реакции замещения.

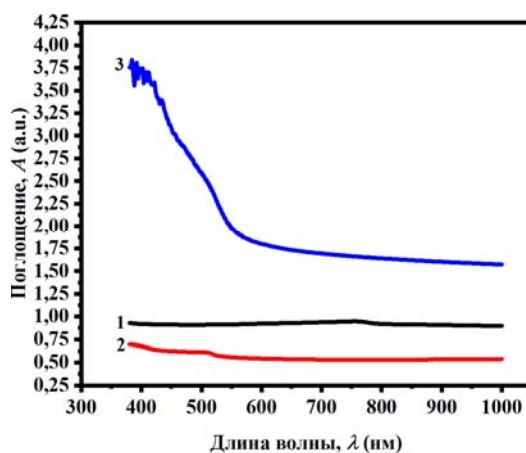


Рис. 2. Спектры поглощения исходного перовскита (1), модифицированного при помощи моноэтаноламмониевого (2) и этилендиаммониевого (3) соединений

Таким образом, модификация металлорганического перовскита при помощи катиона этилендиаммония приводит к повышению качества покрытий.

#### Литература

1. McNelis, B. The Photovoltaic Business: Manufactures and Markets. / B. McNelis // Series on Photoconversion of Solar Energy. – 2001. – N 1. – P. 713.
2. El-Mellouhi, F. Hydrogen Bonding and Stability of Hybrid Organic–Inorganic Perovskites / F. El-Mellouhi [et al.] // Chem. Sus. Chem. – 2016. – Vol. 9, N 18. – P. 2648–2655.
3. Амины с длинными «хвостами» повысили стабильность перовскитных солнечных элементов. – URL: [https://elementy.ru/novosti\\_nauki/433621/Aminy\\_s\\_dlinnymi\\_khvostami\\_povysili\\_stabilnost\\_perovskitnykh\\_solnechnykh\\_elementov](https://elementy.ru/novosti_nauki/433621/Aminy_s_dlinnymi_khvostami_povysili_stabilnost_perovskitnykh_solnechnykh_elementov) (дата обращения: 08.02.2025).

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОН МИКРОСТРУКТУРЫ БУНТОВОГО ПРОКАТА ИЗ ПОДШИПНИКОВОЙ СТАЛИ

С. А. Савченко

*Открытое акционерное общество «Белорусский металлургический завод» – управляющая компания холдинга «Белорусская металлургическая компания», г. Жлобин*

Д. С. Чубарев

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. В. Астапенко

*Представлены результаты исследования влияния диаметра бунтового проката из подшипниковой стали ШХ15 на формирование микроструктуры при двухстадийном охлаждении в линии Стелмор. Определена исходная микроструктура для профилей. Ø 5,5–18,5 мм и представлен результат ее трансформации после проведения сфероидизирующего отжига.*

**Ключевые слова:** подшипниковая сталь, сфероидизирующий отжиг, исходная структура, пластинчатый перлит, маятниковый (циклический) отжиг, цементитные пластины и глобули.

Цель работы – провести анализ изменения микроструктуры раската из непрерывнолитой заготовки шарикоподшипниковой стали ШХ-15 для определения влияния степени обжата на структурные изменения.

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- изучение и анализ исходной микроструктуры катанки;
- изучение и анализ исходной микроструктуры катанки после сфероидизирующего отжига;
- анализ результатов и формулирование выводов.

Методика исследования включает:

- 1) отбор проб и анализ первичной микроструктуры катанки Ø 5,5–18,5 мм после поточного охлаждения на линии Стелмор;
- 2) отбор проб и анализ микроструктуры катанки Ø 5,5–18,5 мм после сфероидизирующего отжига;
- 3) сравнительный анализ микроструктуры.

Объектом исследования в работе является технологический процесс бунтовой прокатки шарикоподшипниковых (ШХ) сталей.