

---

## Формирование протонной проводимости в фазах $\text{LaZn}_{0,5}\text{Me}_{0,5}\text{O}_{2,75}$ ( $\text{Me} = \text{Al}^{3+}, \text{Sc}^{3+}, \text{In}^{3+}$ )

А. В. Егорова<sup>1,2</sup>, К. Г. Белова<sup>1,2</sup>, И. Е. Анимица<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Уральский федеральный университет

им. первого Президента России Б. Н. Ельцина

<sup>2</sup>Институт высокотемпературной электрохимии

Уральского отделения Российской академии наук

---

Поиск материалов с целью использования их в различных электрохимических устройствах в области водородной энергетики не теряет своей актуальности. Среди таких материалов можно отметить лантансодержащие перовскиты  $\text{LaMeO}_3$  ( $\text{Me} = \text{Al}, \text{Ga}, \text{Sc}, \text{In}, \text{Yb}, \text{Y}$ ) [1–5]. Известно, что материалы на основе алюминатов и галлатов проявляют доминирующий кислород-ионный перенос [1; 2], остальные — смешанный транспорт, в котором вклад протонной проводимости постепенно возрастает с увеличением ионного радиуса металла В-подрешетки. В увлажненных атмосферах при температурах ниже 500 °С общая проводимость допированных  $\text{LaScO}_3$ ,  $\text{LaInO}_3$ ,  $\text{LaYbO}_3$  и  $\text{LaYO}_3$  определяется преобладающим протонным переносом [2–5].

В настоящей работе при замещении половины позиций в В-подрешетке перовскитов  $\text{LaMeO}_3$  ( $\text{Me} = \text{Al}, \text{Sc}, \text{In}$ ) были синтезированы новые кислород-дефицитные фазы состава  $\text{LaZn}_{0,5}\text{Me}_{0,5}\text{O}_{2,75}$  ( $\text{Me} = \text{Al}^{3+}, \text{Sc}^{3+}, \text{In}^{3+}$ ). Для полученных соединений было проведено комплексное исследование структуры, состава, морфологии поверхности, а также термических и электрических характеристик. Кроме того, в работе предложена концепция формирования протонных дефектов и протонной проводимости в этих соединениях.

Твердофазный синтез образцов был осуществлен в температурном режиме 700–1400 °С. По РФА установлено, что симметрия исследуемых фаз отличается. Образцы  $\text{LaZn}_{0,5}\text{Sc}_{0,5}\text{O}_{2,75}$  (*LSZ*) и  $\text{LaZn}_{0,5}\text{In}_{0,5}\text{O}_{2,75}$  (*LIZ*) обладают ромбической структурой, в то время как образец  $\text{LaZn}_{0,5}\text{Al}_{0,5}\text{O}_{2,75}$  (*LAZ*) кристаллизуется в кубической сингонии. Рассчитанные значения приведенного объема решетки  $\tilde{V}_{\text{яч}}$

и псевдокубического параметра ячейки  $\tilde{a}$  закономерно увеличиваются при увеличении размера В-катиона от алюминия ( $R = 0,535 \text{ \AA}$ ) к индию ( $R = 0,8 \text{ \AA}$ ).

Особенности структуры каждого из исследуемых образцов оказывают влияние на функциональные характеристики, а именно, на процессы гидратации и формирование протонных дефектов. Так как концентрации кислородных вакансий для исследуемых фаз  $\text{LaZn}_{0,5}\text{Me}_{0,5}\text{O}_{2,75}$  ( $\text{Me} = \text{Al}^{3+}, \text{Sc}^{3+}, \text{In}^{3+}$ ) номинально одинаковы, то возможно было ожидать близкие степени гидратации. Однако методом термогравиметрии было установлено, что образец  $\text{LaZn}_{0,5}\text{Al}_{0,5}\text{O}_{2,75}$  не способен к диссоциативному водопоглощению. В то время как образцы *LSZ* и *LIZ* проявляют близкие степени гидратации  $\sim 0,35$  моль  $\text{H}_2\text{O}$ . Методом инфракрасной (ИК) спектроскопии было подтверждено наличие протонсодержащих групп в гидратированных исследуемых составах, а также была идентифицирована их природа.

Изучена электропроводность образцов  $\text{LaZn}_{0,5}\text{Me}_{0,5}\text{O}_{2,75}$  ( $\text{Me} = \text{Al}^{3+}, \text{Sc}^{3+}, \text{In}^{3+}$ ) как функция температуры ( $200\text{--}900 \text{ }^\circ\text{C}$ ), парциального давления кислорода и влажности воздуха. Установлено, что атмосфере сухого воздуха сложные оксиды обладают смешанным типом проводимости, электронный вклад ( $p$ -тип проводимости) увеличивается с увеличением температуры. При температурах ниже  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  фазы проявляют доминирующий кислород-ионный транспорт.

При повышении влажности в измерительной ячейке у образцов *LSZ* и *LIZ* наблюдается появление протонного переноса, как следствие диссоциативного растворения воды из газовой фазы и формирования протонных дефектов. Установлено, что значения протонной проводимости у  $\text{Sc}^{3+}$ - и  $\text{In}^{3+}$ -образцов довольно близкие, что объясняется близкими концентрациями протонов. В образце *LAZ* значимый протонный перенос не реализуется. Закономерности формирования протонного транспорта соотношены со структурными характеристиками фаз, с использованием рассчитанных значений радиуса вакансии кислорода  $r_v$ .

### Список источников

1. *Filonova E., Medvedev D.* Recent progress in the design, characterisation and application of  $\text{LaAlO}_3$ - and  $\text{LaGaO}_3$ -based solid oxide fuel cell electrolytes // *Nanomaterials*. 2022. Vol. 12. P. 1991.
2. Bright blue emissions on UV-excitation of  $\text{LaBO}_3$  ( $B = \text{In, Ga, Al}$ ) perovskite structured phosphors for commercial solid-state lighting applications / *B.V.N. Kumar et al.* // *Chimica Techno Acta*. 2022. Vol. 9. P. 3–9.
3. Transport properties of  $\text{LaYbO}_3$ -based electrolytes doped with alkaline earth elements / *A. V. Kasyanova et al.* // *Electrochim Acta*. 2023. Vol. 439. P. 141702.
4. Melt growth and physical properties of bulk  $\text{LaInO}_3$  single crystals / *Z. Galazka et al.* // *Phys Status Solidi*. 2021. Vol. 218. P. 2100016.
5. Densification and proton conductivity of  $\text{La}_{1-x}\text{Ba}_x\text{ScO}_{3-\delta}$ ; electrolyte membranes / *A. Lesnichyova et al.* // *Membranes*. 2022. Vol. 12. P. 1084.

---

## Экологический эффект от размещения плавучих АЭС в населенных пунктах Арктической зоны на примере города Дудинка (Красноярский край)

**В. И. Еникеева**

*Российский государственный университет нефти и газа  
им. И. М. Губкина*

---

Развитие арктических территорий в Российской Федерации является важной государственной задачей. По информации АЦ при Правительстве РФ на изолированных территориях располагаются более 1 ГВт установленной мощности электростанций, основным топливом для которых выступает дорогое (из-за сложной логистики) и низкоэкологичное дизельное топливо. Анализ береговой линии вдоль Северного морского пути (СМП, от Мурманска до Владивостока) показывает, что на протяжении трассы СМП расположено достаточно много крупных портов и объектов нефтегазовой отрасли, в качестве источников энергоснабжения, для которых целесообразно рассматривать и мобильные плавучие атомные электростанции.