

- хвойных пород / Вестник КрасГАУ, – 2011. – № 6. – С. 155–160.
2. Зимон, А.Д., Лещенко, Н.Ф. Коллоидная химия. / А.Д. Зимон, Н.Ф. Лещенко. – М.: АГАР, 2001. – 320 с.

---

---

## КАТОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТВЕРДООКСИДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ СЛОИСТЫХ КИСЛОРОДДЕФИЦИТНЫХ ПЕРОВСКИТОВ

Я.Ю. Журавлева

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь

Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ) являются эффективными и достаточно экологичными устройствами, генерирующими электрическую энергию непосредственно из химической энергии топлива, что обуславливает высокий коэффициент их полезного действия, в несколько раз превышающий, например, КПД двигателей внутреннего сгорания. Топливные элементы (топливные ячейки) в настоящее время используются в космической технике, подводных лодках, автомобильном транспорте, в качестве резервных источников питания, в частности, для систем связи. В качестве одних из наиболее перспективных катодных материалов среднетемпературных ТОТЭ, обеспечивающих их улучшенную работу, в настоящее время рассматриваются слоистые перовскитоподобные оксиды ( $\text{PrBaCo}_{2/3}\text{Fe}_{2/3}\text{Mn}_{1/2}\text{O}_{5+\delta}$ ,  $\text{YBaCo}_2\text{O}_{5+\delta}$ ,  $\text{PrBaCoFeO}_{5+\delta}$  и др.) [1–4]. Разработанные к настоящему времени материалы на базе слоистых перовскитоподобных оксидов показывают довольно высокую эффективность при использовании их в качестве электродных материалов средне- и высокотемпературных ТОТЭ, однако, не лишены ряда недостатков, основными из которых являются недостаточно высокие электропроводность и термическая стабильность, слишком высокое значение коэффициента линейного термического расширения, что делает их несовместимыми с материалами твердых электролитов. В качестве основного пути решения поставленных задач рассматривают замещение, в том числе комплексное, катионов в подрешетках двойных перовскитов.

В данной работе изучено влияние замещения ионов бария ионами стронция на электрофизические свойства двойного перовскита  $\text{NdBaFeCo}_{0,5}\text{Cu}_{0,5}\text{O}_{5+\delta}$ .

Образцы составов  $\text{NdBa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeCo}_{0,5}\text{Cu}_{0,5}\text{O}_{5+\delta}$  ( $x = 0,02; 0,05; 0,10; 0,20$ ) были получены керамическим методом из  $\text{Nd}_2\text{O}_3$  (НО-Л),  $\text{BaCO}_3$  (ч.),  $\text{SrCO}_3$  (ч.),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (ос.ч.),  $\text{CuO}$  (ч.д.а.),  $\text{Co}_3\text{O}_4$  (ч.), которые смешивали в заданных стехиометрических соотношениях при помощи мельницы Pulverizette 6.0 фирмы Fritsch, прессовали в таблетки диаметром 19 мм и высотой 2–3 мм и отжигали на воздухе в течение 40 ч при 1173 К. Спеченные таблетки подвергались измельчению, повторному перетиранию и прессованию в формы параллелепипеда с размерами  $5 \times 5 \times 30$  мм, после чего их спекали на воздухе при температуре 1223 К ( $x = 0,02$  и  $0,05$ ), 1248 К ( $x = 0,1$ ) и 1273 К ( $x = 0,2$ ) в течение 9 часов. Поскольку полученные образцы после отжига оказались недостаточно плотными, всю керамику подвергли дополнительному спеканию при 1273 К в течение 9 часов.

Полученные образцы, в пределах погрешности рентгенофазового анализа, были однофазными, а их структура соответствовала структуре  $\text{NdBaFeCoO}_{5+\delta}$  [5].

Кажущаяся плотность образцов, определенная по массе и геометрическим размерам, варьировалась в пределах  $4,84\text{—}5,62 \text{ г/см}^3$ , несколько снижаясь с ростом содержания стронция в керамике.

Коэффициент термо-ЭДС полученной керамики во всем исследованном интервале температур был положительным, что свидетельствует о том, что основными носителями заряда в ней являются «дырки», т.е. исследованные твердые растворы являются проводниками  $p$ -типа. Удельная электропроводность исследованных образцов, как видно из рисунка, меняет характер с полупроводникового ( $\frac{\partial \sigma}{\partial T} > 0$ ) на металлический ( $\frac{\partial \sigma}{\partial T} < 0$ ), проходя через максимум при температуре 710–730 К. На температурной зависимости коэффициента термо-ЭДС вблизи 650–750 К наблюдается минимум. Наличие экстремумов на температурных зависимостях удельной электропроводности и коэффициента Зеебека, вероятно, обусловлено выделением из образцов слабосвязанного

кислорода [6]. Как видно из концентрационных зависимостей электротранспортных свойств, увеличение содержания стронция в структуре  $\text{NdBa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeCo}_{0,5}\text{Cu}_{0,5}\text{O}_{5+\delta}$  приводила к некоторому росту удельной электропроводности и снижению коэффициента Зеебека, что сильнее всего наблюдается вблизи экстремумов на температурных зависимостях электрофизических свойств.

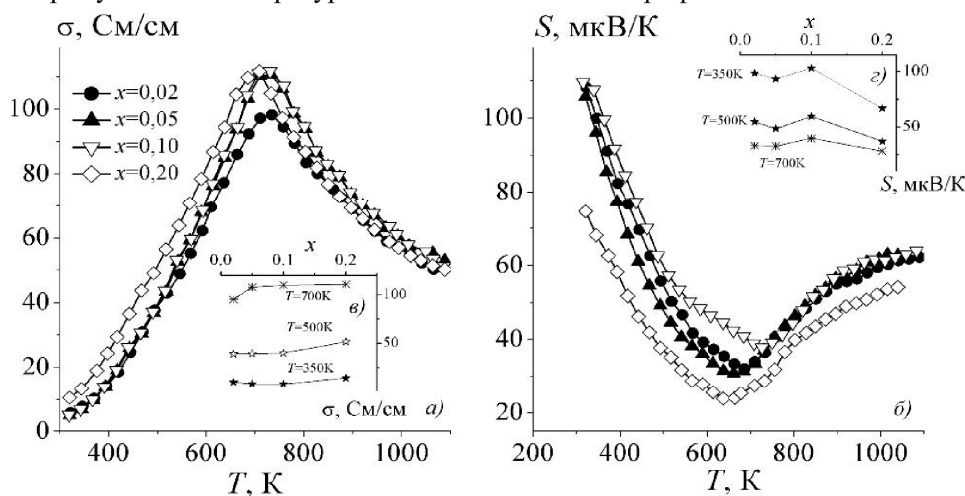


Рис. 1. Температурные (а, б) и концентрационные (в, г) зависимости удельной электропроводности (а, в) и коэффициента термо-ЭДС (б, г) керамики состава  $\text{NdBa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeCo}_{0,5}\text{Cu}_{0,5}\text{O}_{5+\delta}$

Таким образом, увеличение содержания стронция в структуре  $\text{NdBa}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeCo}_{0,5}\text{Cu}_{0,5}\text{O}_{5+\delta}$  приводит к некоторому ухудшению спекаемости и снижению коэффициента термо-ЭДС, однако при этом наблюдается рост удельной электропроводности образцов, что указывает на эффективность использованного в работе подхода для разработки новых катодных материалов с улучшенными характеристиками для среднетемпературных ТОТЭ.

1. Liu J, Jin F, Yang X, Niu B, Li Y, He T.  $\text{YBaCo}_2\text{O}_{5+\delta}$ -based double-perovskite cathodes for intermediate-temperature solid oxide fuel cells with simultaneously improved structural stability and thermal expansion properties // *Electrochim Acta*. – 2019, (297), 344–354.
2. Liu Y.  $\text{YBaCo}_2\text{O}_{5+\delta}$  as a new cathode material for zirconia-based solid oxide fuel cells // *J. Alloys Compd*. – 2009, (477), 860–862.
3. Evaluation of Fe and Mn co-doped layered perovskite  $\text{PrBaCo}_2/3\text{Fe}_2/3\text{Mn}_1/2\text{O}_{5+\delta}$  as a novel cathode for intermediate-temperature solid-oxide fuel cell / F. Jin [et al] // *Ceramics International*. – 2018 (44), 22489–22496.
4. Jin F., Xu H., Long W., Shen Y., He T. Characterization and evaluation of double perovskites  $\text{LnBaCoFeO}_{5+\delta}$  (Ln = Pr and Nd) as intermediate-temperature solid oxide fuel cell cathodes // *J. Power Sources*. – 2013, (243), 10–18.
5. Klyndyuk A.I., Chizhova E.A. Synthesis and Properties of  $\text{LnBaFeCoO}_{5+\delta}$  (Ln= Nd, Sm, Gd) // *Inorg. Mater*. – 2013, (49), no. 3, 319–324.
6. Klyndyuk A.I., Chizhova E.A. Crystal structure, thermal expansion, and electrical properties of layered oxides  $\text{LnBa}(\text{Fe},\text{Co},\text{Cu})_2\text{O}_{5+\delta}$  (Ln= Nd, Sm, Gd) // *Glass Physics and Chemistry*. – 2014, (40), 124–128.

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЭМУЛЬГАТОРА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ УСТОЙЧИВЫХ ВОДНЫХ АКРИЛОВЫХ ДИСПЕРСИЙ

А.В. Карпицкая, А.Ю. Гончарко, Е.О. Богдан, А.И. Глоба

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,  
A.I.Globa@yandex.by

Акриловые дисперсии получают путем радикальной эмульсионной сополимеризации различных эфиров акриловой кислоты в присутствии эмульгаторов и стабилизаторов.