strongly not only type of extract and used fuel, but also on the materials of the structural part of the cell as well as its design. Obtained results indicate the perspective of further research and practical application of a new type of bioelectrocatalyst.

This work was supported by the Grant of the President of the Russian Federation № SP-2619.2018. This study was carried out with the use of resources of Competence Center of National Technology Initiative in IPCP RAS.

#### REFERENCES

1. M. Dmitrieva, E. Zolotukhina, E. Gerasimova, A. Terent'ev, Yu. Dobrovol'skii, Dehydrogenase and electrochemical activity of *Escherichia coli* extracts, Applied Biochemistry and Microbiology. 53 (2017) 458-463.

УДК 544.228 + 537.9

Ю.А. Деева<sup>1,2</sup>, Т.И. Чупахина<sup>2</sup>, Н.В. Мельникова<sup>1</sup>, А.А. Мирзорахимов<sup>1</sup>, В.В. Горин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Уральский Федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

<sup>2</sup>Институт химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург

# СИНТЕЗ, КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ La<sub>1,8</sub>Ca<sub>0,2</sub>Ni<sub>1,8</sub>Co<sub>0,2</sub>O<sub>4</sub>

Сложные оксиды  $La_{2-x}A_xNiO_4$  типа  $K_2NiF_4$ , (A = Ca, Sr, Ba), имеющие тетрагональную структуру (пр. гр. I4/mmm ( $N_2$  139)) обладают комплексом функциональных свойств, обусловливающих их применение в различных областях науки и техники [1-3].

Настоящая работа посвящена синтезу твердых растворов La<sub>1,8</sub>Ca<sub>0,2</sub>Ni<sub>0,8</sub>Co<sub>0,2</sub>O<sub>4</sub> по прекурсорной методике и получению керамических образцов на их основе, а также определению их кристаллохимических параметров и исследованию их свойств методом импеданс-спектроскопии.

Исходными реагентами для синтеза  $La_{1,8}Ca_{0,2}Ni_{0,8}Co_{0,2}O_4$  служили чистые  $La(NO_3)_3$ ,  $Ca(CO)_3$ , NiO и CoO. Нитраты растворяли в воде, оксиды – в небольшом избытке концентрированной азотной кислоты, после чего растворы смешивали. В полученный раствор добавляли трехкратный избыток органической добавки – цитрат аммония 2-замещенный. Процесс пиролиза осуществляли при 200°С. Тонкодисперсный продукт, полученный после сгорания органической составляющей, выдерживали при 700 °C в течение 4 ч, затем при 950 °C в течение 6 ч, далее прессовали и прокаливали при 1200°С.

Процесс фазообразования завершается при температуре 950-1000°С в течение 4-6 час. Состав полученных образцов контролировали при помощи автодифрактометра марки Shimadzu XRD-7000 S с выдержкой 5 секунд в

точке. Экспериментальная, теоретическая и разностная дифрактограммы оксида La<sub>1,8</sub>Ca<sub>0,2</sub>Ni<sub>0,8</sub>Cu<sub>0,2</sub>O<sub>4</sub> приведены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Экспериментальная, теоретическая и разностная дифрактограммы La<sub>1,8</sub>Ca<sub>0,2</sub>Ni<sub>0,8</sub>Co<sub>0,2</sub>O<sub>4</sub>

На дифрактограмме порошка La<sub>1,8</sub>Ca<sub>0,2</sub>Ni<sub>0,8</sub>Co<sub>0,2</sub>O<sub>4</sub>, (рисунок 3) присутствуют только рефлексы основной фазы, примеси не обнаружены, что свидетельствует о завершении процесса фазообразования.

Кристаллохимические параметры сложного оксида La<sub>1,8</sub>Ca<sub>0,2</sub>Ni<sub>0,8</sub>Co<sub>0,2</sub>O<sub>4</sub> приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Кристаллохимические параметры твердого раствора La<sub>1.8</sub>Ca<sub>0.2</sub>Ni<sub>0.8</sub>Co<sub>0.2</sub>O<sub>4</sub>

<u>Образец</u>	$La_{1,8}Ca_{0,2}Ni_{1,8}Co_{0,2}O_4$
Параметры ячейки	
a = b, (Å)	3.82242
c, (A)	12.71501
$V, (A^3)$	185.777
Межатомные расстояния	
Ni/Co-O1(x4)	1.91121(8)
Ni/Co-O2(x2)	2.291(17)
La/Ca-O1(x4)	2.6021(17)
La/Ca - O2a(x4)	2.7534(32)
La/Ca -O2b(x1)	2.3004(167)
<u>T</u>	0.98
GII	0.3909

В работе [4] показано, что фазообразование твердых растворов на основе никелата лантана завершается при 1000°С. В температурном интервале 950-1100°С замещающий катион входит в структуру оксида, а спекание при 1200°С приводит к получению образца, в котором отсутствуют магистральные поры.

Рисунок 2 (I) представляет собой РЭМ-снимок поверхности таблетки образца La<sub>1,8</sub>Ca<sub>0,2</sub>Ni<sub>1,8</sub>Co<sub>0,2</sub>O<sub>4</sub>, отожженной при 950°С. Образец содержит магистральные поры. При 1200°С имеет место интенсивный процесс спекания. Диаметр таблетки резко уменьшается (с 20 мм до 15 мм), а РЭМ-снимок образца (II) свидетельствует об отсутствии магистральных пор.



## Рисунок 2 – Поверхность керамических образцов La<sub>1,8</sub>Ca<sub>0,2</sub>Ni<sub>1,8</sub>Co<sub>0,2</sub>O<sub>4</sub> I - Поверхность образца, полученного по прекурсорной технологии, обработанного при 950°C; II - Поверхность образца, полученного по прекурсорной технологии, обработанного при 1200°C

Образец, полученный при 1200°С (рисунок 2 (II)) является однофазным и не содержит магистральных пор. Поверхность таблетки равномерная, представляет собой спеченные агломераты плотноупакованных кристаллов. Размер зерна колеблется в пределах 5 до 20 мкм.

Проанализированы результаты влияния частоты электрического поля на диэлектрические свойства материалов (рисунок 3).



Рисунок 3 – Годограф импеданса ячейки с образцом La<sub>1,8</sub>Ca<sub>0,2</sub>Ni<sub>1,8</sub>Co<sub>0,2</sub>O<sub>4</sub>

Годограф импеданса ячейки с образцом представляет собой реальный диэлектрик с утечкой, т.е. емкость представляет емкость диэлектрика (геометрическую), а *R* - сопротивление «утечки».

На рисунке 4 приведены частотные зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь керамики La<sub>1,8</sub>Ca<sub>0,2</sub>Ni<sub>1,8</sub>Co<sub>0,2</sub>O<sub>4</sub>.



Рисунок 4 – Спектры диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь керамики La<sub>1.8</sub>Ca<sub>0.2</sub>Ni<sub>1.8</sub>Co<sub>0.2</sub>O<sub>4</sub>

La<sub>1.8</sub>Ca<sub>0.2</sub>Ni<sub>1.8</sub>Co<sub>0.2</sub>O<sub>4</sub> Керамика характеризуется значением вещественной части комплексной диэлектрической проницаемости Re є~140 и тангенса угла диэлектрических потерь tg  $\delta \sim 0-40$ , почти не зависящим от частоты электрического поля в интервале от 10<sup>3</sup> до 10<sup>7</sup> Гц.

Таким образом, можно сделать вывод, что был получен газоплотный образец, состава La<sub>1,8</sub>Ca<sub>0,2</sub>Ni<sub>1,8</sub>Co<sub>0,2</sub>O<sub>4</sub>, Данная керамика представляет собой реальный диэлектрик с утечкой. Значение диэлектрической проницаемости имеет довольно высокое значение порядка  $10^2$ .

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного плана ИХТТ УрО РАН (№ АААА-А16-116122810209-5).

#### ЛИТЕРАТУРА

Chen-Yang Shi Structural, magnetic and dielectric properties of 1.  $La_{2-x}Ca_xNiO_{4+\delta}$  (x = 0, 0.1, 0.2, 0.3) / Zhong-Bo Hu, Yong-Mei Hao. – Journal of Alloys and Compounds. - 2011. - V. 509. - P. 1333-1337.

Chupakhina T. I. New Ways to Synthesize Multifunctional Ceramics 2 La<sub>2 – x</sub>Sr<sub>x</sub>NiO<sub>4</sub> / Gyrdasova O. I., Vladimirova E. V., Samigullina R. F. – WHX. – 2015. – T. 60. – № 10. – C. 1299–1307.

3. Chupakhina T.I. Synthesis, structural characteristics and dielectric properties of a new K<sub>2</sub>NiF<sub>4</sub>-type phase Sr<sub>2</sub>Mn<sub>0.5</sub>Ti<sub>0.5</sub>O<sub>4</sub> / Melnikova N.V., Gyrdasova O.I. – J. Alloys Compd. – 2016. – V.670. – P. 105-112.

UDC 544.77.051; 553.9.15; 664.8.014/019

V.I. Vorobyova<sup>1</sup>, PhD, M.I. Skiba<sup>2</sup>, PhD

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kiev <sup>2</sup>Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro

### **"GREEN" SYNTHESIS OF SNO<sub>2</sub> NANOPARTICLES**

Recently one of important research field was nanoscience which contains emerging technologies with interdisciplinary fields like physics, chemistry,