

3. Криштопова, Е.А. Спектрально-поляризационные свойства углерода, шунгита и таурита / Е.А. Криштопова, Л.М. Лыньков, Т.В. Борботько // Доклады БГУИР. – 2009. – № 2. – С. 3–8.

Characteristics of light scattering in the optical wavelength range from 400... 900 nm for shungite annealed in an oxidized environment, environment supplemented with ammonium chloride and vacuum environment at 900°C for two hours.

*Белуцова Елена Сергеевна*, аспирант кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, elena1belousova@gmail.com.

*Мохаммед Шакир Махмуд*, аспирант кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь, mahmood@tut.by.

Научный руководитель – *Лыньков Леонид Михайлович*, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой защиты информации, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь.

УДК 537.32+536.413+666.654

Т. С. БУСЕЛЬ, Н. С. КРАСУЦКАЯ

### ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ $(\text{Na}, \text{M})_{0,55} \text{CoO}_2$ ( $\text{M} = \text{Li}, \text{K}, \text{Cs}$ )

Твердофазным методом синтезирована керамика  $(\text{Na}, \text{M})_{0,55} \text{CoO}_2$  ( $\text{M} = \text{Li}, \text{K}, \text{Cs}$ ) изучены ее фазовый состав, электропроводность и термо-ЭДС. Установлено, что фактор мощности керамики  $\text{Na}_{0,28}\text{K}_{0,27}\text{CoO}_2$  на 85 % больше, чем для незамещенного кобальтита  $\text{Na}_{0,55}\text{CoO}_2$ .

Слоистый кобальтит натрия  $\text{Na}_x\text{CoO}_2$  характеризуется высокими значениями электропроводности и термо-ЭДС и низкой теплопроводностью, что позволяет рассматривать его как перспективную основу для разработки новых эффективных термоэлектрических материалов [1]. Термоэлектрические характеристики керамики  $\text{Na}_x\text{CoO}_2$  можно улучшить за счет увеличения содержания в ней натрия [2], а также при частичном замещении натрия щелочными металлами [3].

В данной работе изучено влияние замещения катионов натрия катионами других щелочных металлов на кристаллическую структуру и термоэлектрические свойства керамики  $(\text{Na}, \text{M})_{0,55} \text{CoO}_2$  ( $\text{M} = \text{Li}, \text{K}, \text{Cs}$ ).

Керамические образцы номинального состава  $\text{Na}_{0,6-x}\text{M}_x\text{CoO}_2$  ( $\text{M} = \text{Li}, \text{K}, \text{Cs}$ ;  $x = 0, 2; 0, 3; 0, 4; 0, 5$ ) получали из  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  («ч. д. а.»),  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  («ч.»),  $\text{K}_2\text{CO}_3$  («ч.»),  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$  («ч.ч.») и  $\text{Co}_2\text{CO}_4$  («ч. д. а.») на воздухе в интервале температур 1133–1203 К по методике, описанной в [4]. Согласно [2], в процессе термообработки оксидов  $\text{Na}_x\text{CoO}_2 \approx 20\%$  оксида натрия сублимирует в окружающую среду, таким образом, керамика  $(\text{Na}, \text{M})_{0,6} \text{CoO}_2$  после завершения синтеза имела состав  $\text{Na}_{0,55-x}\text{M}_x\text{CoO}_2$  ( $x = 0, 18; 0, 28; 0, 37; 0, 46$ ).

Идентификацию образцов проводили при помощи рентгенофазового анализа (РФА) (рентгеновский дифрактометр Bruker D8 XRD Advance,  $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$ -излучение). Кажущуюся плотность ( $\rho$ ) образцов определяли по их массе и геометрическим размерам. Электропроводность ( $\sigma$ ) и термо-ЭДС ( $S$ ) спеченной керамики исследовали на воздухе в интервале температур 300–1100 К по методикам, описанным в [2]. Значения фактора мощности ( $P$ ) рассчитывали по формуле  $P = S^2\sigma$ .

Полученная керамика была неоднородной: на дифрактограммах порошков  $(\text{Na}, \text{M})_{0,55} \text{CoO}_2$  кроме рефлексов кобальтита натрия ( $\gamma\text{-Na}_x\text{CoO}_2$ ) наблюдали рефлексы других фаз, которые были идентифицированы как  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{KCoO}_2$ ,  $\text{Cs}_2\text{CoO}_3$  для  $\text{M} = \text{Li}, \text{K}, \text{Cs}$  соответственно [5]. Положения рефлексов всех фаз на дифрактограммах порошков  $(\text{Na}, \text{M})_{0,55} \text{CoO}_2$  практически не изменялись при изменении соотношения  $\text{Na} : \text{M}$ , на основании чего можно предположить, что входящие в состав



гетерогенной керамики  $(\text{Na}, \text{M})_{0,55} \text{CoO}_2$  кобальтиты щелочных металлов представляют собой индивидуальные соединения.

Кажущаяся плотность синтезированной керамики  $(\text{Na}, \text{M})_{0,55} \text{CoO}_2$  изменялась в пределах 2,74–3,78 г/см<sup>3</sup> и, в целом, была меньше, чем для базовой фазы  $\text{Na}_{0,55} \text{CoO}_2$  (3,64 г/см<sup>3</sup>), при этом наименьшее значение плотности имела керамика состава  $(\text{Na}, \text{K})_{0,55} \text{CoO}_2$  (2,74–2,86 г/см<sup>3</sup>).

Проводимость  $(\text{Na}, \text{Li})_{0,55} \text{CoO}_2$  носила полупроводниковый ( $\partial\sigma/\partial T > 0$ ), а  $(\text{Na}, \text{K})_{0,55} \text{CoO}_2$  и  $(\text{Na}, \text{Cs})_{0,55} \text{CoO}_2$  – металлический характер ( $\partial\sigma/\partial T < 0$ ), при этом, в целом, величина электропроводности керамики  $(\text{Na}, \text{M})_{0,55} \text{CoO}_2$  ( $M = \text{Li}, \text{Cs}$ ) была выше, а  $(\text{Na}, \text{K})_{0,55} \text{CoO}_2$  ниже, чем для кобальтита натрия  $\text{Na}_{0,55} \text{CoO}_2$ .

Величина термо-ЭДС образцов во всем интервале температур была положительна, из чего можно заключить, что образцы  $(\text{Na}, \text{M})_{0,55} \text{CoO}_2$ , как и фаза  $\text{Na}_{0,55} \text{CoO}_2$ , являются полупроводниками *p*-типа. Термо-ЭДС керамики  $(\text{Na}, \text{M})_{0,55} \text{CoO}_2$  была, в целом, выше, чем для кобальтита  $\text{Na}_{0,55} \text{CoO}_2$  (за исключением состава  $\text{Na}_{0,37} \text{K}_{0,18} \text{CoO}_2$  и образцов  $(\text{Na}, \text{Cs})_{0,55} \text{CoO}_2$  при температурах ниже 580 К), что обусловлено неоднородностью образцов.

Значения фактора мощности керамики  $(\text{Na}, \text{M})_{0,55} \text{CoO}_2$  возрастали при увеличении температуры и были выше, чем для базовой фазы  $\text{Na}_{0,55} \text{CoO}_2$ . При этом наибольшие значения фактора мощности при высоких температурах демонстрировала керамика состава  $\text{Na}_{0,09} \text{Li}_{0,46} \text{CoO}_2$  и  $\text{Na}_{0,27} \text{K}_{0,28} \text{CoO}_2$  – соответственно 268 и 361 мкВт·м<sup>-1</sup>·К<sup>-2</sup> при 1100 К, что обусловлено высокими значениями термо-ЭДС этих образцов. Таким образом, введение оксидов щелочных металлов ( $\text{Li}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}$ ) в керамику на основе слоистого кобальтита натрия  $\text{Na}_{0,55} \text{CoO}_2$  улучшает ее термоэлектрические свойства, что позволит использовать данные материалы на практике при разработке новых оксидных термоэлектриков с улучшенными функциональными характеристиками.

#### Список литературы

1. Koumoto, K. Oxide Thermoelectrics. Research Signpost / ed. by K. Koumoto, I. Terasaki, N. Murayama. – Trivandrum (India), 2002. – 255 p.
2. Красуцкая, Н.С. Влияние содержания натрия на свойства кобальтита  $\text{Na}_x \text{CoO}_2$  ( $0,53 \leq x \leq 0,97$ ) / Н.С. Красуцкая [и др.] // Весці НАНБ. Сер. хім. навук. – 2012. – № 1. – С. 11–15.
3. Ren, Z. Enhanced Thermopower in an Intergrowth Cobalt Oxide  $\text{Li}_{0,48} \text{Na}_{0,35} \text{CoO}_2$  / Z. Ren [et al.] // J. of Phys.: Condens. Matter. – 2006. – V. 18. – P. 379–384.
4. Клындюк, А.И. Термоэлектрические свойства слоистого кобальтита натрия  $\text{Na}_x \text{CoO}_2$  / А.И. Клындюк, Н.С. Красуцкая // Свиридовские чтения: сб. ст. – 2011. – Вып. 7. – С. 57–62.
5. The International Center for Diffraction Data. Joint Committee of Powder Diffraction Standards. Files No. 00-027-0109, 00-029-0996, 00-030-182, 00-043-1003, 00-044-0145.

By means of solid-state reactions method the  $(\text{Na}, \text{M})_{0,55} \text{CoO}_2$  ( $M = \text{Li}, \text{K}, \text{Cs}$ ) ceramics was prepared and its phase composition, electrical conductivity and thermo-EMF were studied. It was found, that power factor of  $\text{Na}_{0,28} \text{K}_{0,27} \text{CoO}_2$  ceramics is 85% higher, than for unsubstituted  $\text{Na}_{0,55} \text{CoO}_2$  cobaltite.

*Бусель Татьяна Сергеевна*, студентка 5-го курса Белорусского государственного технологического университета, Минск, Беларусь.

*Красуцкая Наталья Сергеевна*, младший научный сотрудник кафедры физической и коллоидной химии Белорусского государственного технологического университета, Минск, Беларусь, kns121@rambler.ru.

Научный руководитель – *Клындюк Андрей Иванович*, кандидат химических наук, доцент, Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь, kai\_17@rambler.ru.