

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2023.02.076>

УДК 546.43'42'651'682

Ю.О. Тітов¹, <https://orcid.org/0000-0001-9900-3751>

М.С. Слободяник¹, <https://orcid.org/0000-0003-2684-9806>

В.В. Чумак², <https://orcid.org/0000-0001-5892-3703>

Н.Ю. Струтинська¹, <https://orcid.org/0000-0001-9738-9689>

¹ Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, Київ

² Житомирський державний університет ім. Івана Франка, Житомир

E-mail: titov1952@ukr.net

Формування двошарових індатів $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ термообробкою спільно закристалізованих нітратів

Представлено членом-кореспондентом НАН України М.С. Слободяником

Методами рентгенівської порошкової дифракції досліджено послідовність фазових перетворень під час синтезу індатів $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ ($x = 0$ та $0,2$) із двовимірною двошаровою перовськітоподібною структурою із шихти спільно закристалізованих нітратів. Встановлено, що формування шаруватої структури $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ включає стадію утворення проміжного тривимірного дефектного перовськіту загально-го складу $(Nd_kBa_pSr_m)InO_{3-\delta}$ із статистичним розподілом атомів Ba, Sr, Nd та оксигенових вакансій. Термообробка термічно нестабільного дефектного перовськіту $(Nd_kBa_pSr_m)InO_{3-\delta}$ призводить до утворення за температури понад 1570 К двошарових $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ шляхом впорядкування положень атомів Ba, Sr, Nd і O з роз'єднанням структури дефектного перовськіту на розділені шарами NdO_9 двовимірні двошарові перовськітоподібні блоки. Визначено умови одержання однофазних $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ з ШПС. Встановлені структурно хімічні відмінності механізму формування шаруватої перовськітоподібної структури $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ від механізмів більшості решти двошарових сполук типу $A^{II}Ln_2B_2O_{3n+1}$, які зумовлені граничним положенням $BaNd_2In_2O_7$ у ряду двошарових індатів $BaLn_2In_2O_7$.

Ключові слова: сполуки типу $A_{n+1}B_nO_{3n+1}$, механізми синтезу, шарувата перовськітоподібна структура.

Сполуки і фази типу $A_{n+1}B_nO_{3n+1}$ із шаруватою перовськітоподібною структурою (ШПС) мають комплекс практично важливих електрофізичних, каталітичних та оптичних властивостей [1–5]. Їх наявність значною мірою обумовлена особливостями будови їх ШПС, яка складається з двовимірних перовськітоподібних блоків завтовшки в n шарів сполучених вершинами октаєдрів BO_6 , між якими розташований шар полієдрів AO_9 [3]. Підвищений

Цитування: Тітов Ю.О., Слободяник М.С., Чумак В.В., Струтинська Н.Ю. Формування двошарових індатів $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ термообробкою спільно закристалізованих нітратів. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2023. № 2. С. 76–82. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2023.02.076>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2023. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

інтерес до шаруватих індатів $A^{II}La_nIn_nO_{3n+1}$ пов'язаний з наявністю в них провідних властивостей та перспективою їх застосування як твердих електролітів [4–6].

Індат $BaNd_2In_2O_7$ та тверді розчини $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ ($0 < x \leq 0,2$) на його основі належать до числа одних із найперспективніших об'єктів у сімействі сполук типу $A_{n+1}B_nO_{3n+1}$, оскільки характеризуються значною деформованістю двошарової ШПС [6, 7], яка значною мірою обумовлює властивості оксидних функціональних матеріалів. Однак механізми утворення як $BaNd_2In_2O_7$, так і ізоморфно заміщених твердих розчинів $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ досі не досліджені, що істотно ускладнює розробку технологій одержання нових оксидних матеріалів на їх основі.

Мета даної роботи — дослідження послідовності фазових перетворень під час синтезу двошарових індатів $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ із систем спільно закристалізованих нітратів (СЗН) та зіставлення особливостей механізмів їх утворення з такими для інших сполук типу $A^{II}Ln_nB_n^{III}O_{3n+1}$ з ШПС.

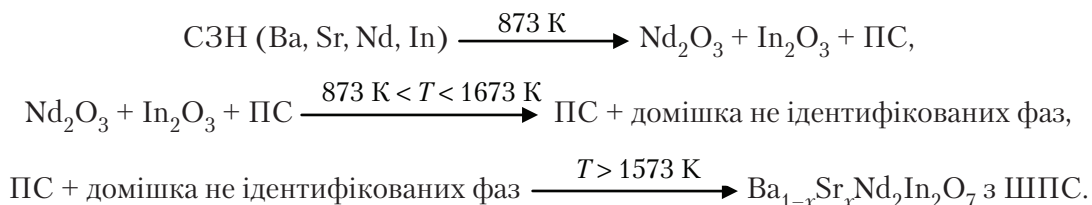
Послідовність фазових перетворень під час синтезу індатів $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ визначали шляхом спільної кристалізації (упарювання за інтенсивного перемішування) суміші водних розчинів нітратів Ba, Sr, Nd та In ($Ba : Sr : Nd : In = 1 - x : x : 2 : 2$) з подальшою термообробкою одержаної шихти СЗН на газовому пальнику для видалення основної маси оксидів нітрогену. Отримані таким чином продукти запресовували в диски і піддавали послідовному ізотермічному (крок 100 К, $\tau = 2$ год) прожарюванню з перетиранням та перепресуванням зразків після кожної стадії термообробки. За вихідні у роботі використані нітрати Ba, Sr, Nd та In марок “хч”. Дифрактограми полікристалічних зразків записано на дифрактометрі Shimadzu XRD-6000 у дискретному режимі (крок сканування $0,03^\circ$, експозиція в точці 4 с, інтервал кутів $2\theta = 18-82^\circ$) на мідному фільтрованому (дуговий графітовий монохроматор перед лічильником) CuK_α -випромінюванні. Первинне оброблення дифракційних спектрів і розрахунки виконано з використанням апаратно-програмного комплексу як описано в [8].

Результати рентгенографічного дослідження зразків шихти СЗН, які пройшли послідовну ізотермічну термообробку в інтервалі температур 870–1670 К, наведені в табл. 1, 2. Аналіз одержаних даних показав, що первинними (873 К) оксидними продуктами її прожарювання є фази зі структурою кубічних модифікацій Nd_2O_3 , In_2O_3 , а також незначна кількість фази зі структурою ромбічного перовськіту $NdInO_3$ (див. табл. 1). Подальше підвищення температури термообробки до 1173 К спричиняє поступове збільшення вмісту проміжної фази на основі $NdInO_3$ зі структурою ромбічного перовськіту (ПС), кількісний вміст якої в зразках, прожарених за температури 1173–1573 К, становить понад 95 мас. %.

Виходячи із співвідношення металів у вихідній шихті СЗН, якісного і кількісного складу одержуваних за температур 1173–1573 К зразків та особливостей заповнення кристалографічних позицій атомів у структурі перовськіту, загальний склад цієї проміжної фази можна виразити як $(Nd_kBa_pSr_m)InO_{3-\delta}$. Відсутність на її дифрактограмах надструктурних відбиттів свідчить про статистичний розподіл атомів Nd, Sr, Ba і оксигенових вакансій у дефектній перовськітній структурі $(Nd_kBa_pSr_m)InO_{3-\delta}$. Наявність досить значної кількості дефектів призводить до напруженості і термічної нестабільності дефектної перовськітної структури фази $(Nd_kBa_pSr_m)InO_{3-\delta}$. Внаслідок цього за температури вище 1573 К розпочинається впорядкування положень атомів Ba, Sr, Nd і оксигенових дефектів з роз'єднанням структури ПС на розділені шарами NdO_9 двовимірні двошарові перовськітоподібні блоки і утворенням $BaNd_2In_2O_7$ та $Ba_{0,8}Sr_{0,2}Nd_2In_2O_7$ з ШПС (див. табл. 1).

На підставі результатів якісного і кількісного рентгенофазового аналізу та зіставлення величин параметрів елементарних комірок синтезованих фаз і сполук (див. табл. 1, 2) процес утворення $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ з ШПС із шихти СЗН можна зобразити нижченаведеною схемою.

Схема. Послідовність утворення $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ із СЗН зі співвідношенням $Ba : Sr : Nd : In = 1 - x : x : 2 : 2$:



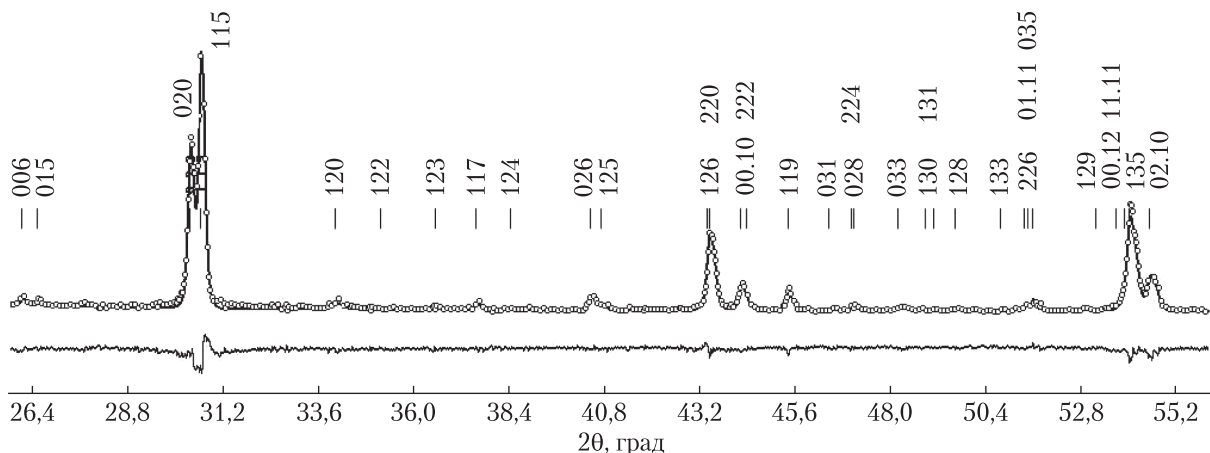
Таблиця 1. Фазовий склад продуктів послідовної (крок 100 К, $\tau = 2$ год) термообробки шихти СЗН зі співвідношеннями $Ba : Sr : Nd : In = 1 - x : x : 2 : 2$

T, К	$x = 0$	$x = 0,2$
873	C-Nd ₂ O ₃ + C-In ₂ O ₃ + домішка ПС	C-Nd ₂ O ₃ + C-In ₂ O ₃ + ПС
973	ПС + C-Nd ₂ O ₃ + C-In ₂ O ₃ + домішка X фаз	ПС + C-Nd ₂ O ₃ + C-In ₂ O ₃ + домішка X фаз
1073	ПС + домішки C-Nd ₂ O ₃ та C-In ₂ O ₃ + домішка X фаз	ПС + домішки C-Nd ₂ O ₃ та C-In ₂ O ₃ + домішка X фаз
1173	ПС + домішка X фаз	ПС + домішка X фаз
1273	ПС + домішки X фаз	ПС + домішки X фаз
1373	ПС + домішка X фаз	ПС + домішка X фаз
1473	ПС + домішка X фаз	ПС + домішка X фаз
1573	ПС + сліди X фази	ПС + сліди X фази
1673	ПС + BaNd ₂ In ₂ O ₇ з ШПС	ПС + Ba _{0,8} Sr _{0,2} Nd ₂ In ₂ O ₇ з ШПС

Примітка. Фази наведені в порядку зменшення їх кількісного вмісту; X фаза – не ідентифікована(і) фаза(и); домішка – фаза з вмістом < 5 мас. %; C-Ln₂O₃, C-In₂O₃ – кубічні модифікації оксидів.

Таблиця 2. Параметри (нм) елементарних комірок продуктів послідовної термообробки шихти СЗН зі співвідношеннями $Ba : Sr : Nd : In = 1 - x : x : 2 : 2$

T, К	$x = 0$	$x = 0,2$
1473	ПС ($a = 0,5631(4)$, $b = 0,5888(2)$, $c = 0,8127(6)$) + домішка X фаз	ПС ($a = 0,56360(9)$, $b = 0,59075(9)$, $c = 0,8144(2)$) + домішка X фаз
1573	ПС ($a = 0,5631(2)$, $b = 0,5904(1)$, $c = 0,8135(4)$) + сліди X фаз	ПС ($a = 0,56354(7)$, $b = 0,59064(7)$, $c = 0,8137(2)$) + сліди X фази
1673	ПС ($a = 0,5631(2)$, $b = 0,5901(2)$, $c = 0,8137(3)$) + BaNd ₂ In ₂ O ₇ з ШПС ($a = 0,5886(2)$, $c = 2,048(1)$) I_{100} ШПС/ I_{100} ПС = 0,22	ПС ($a = 0,5629(1)$, $b = 0,5900(1)$, $c = 0,8135(2)$) + Ba _{0,8} Sr _{0,2} Nd ₂ In ₂ O ₇ з ШПС ($a = 0,5873(9)$, $c = 2,046(4)$) I_{100} ШПС/ I_{100} ПС = 0,14



Фрагмент експериментальної (кружечки), розрахованої (суцільна лінія) та різницевої (нижня лінія) дифрактограми одержаного “ударною” термообробкою шихти СЗН за температури 1570 К $BaNd_2In_2O_7$ (SuK_{α} -випромінювання)

Утворення проміжної фази не із ШПС, а з простішою структурою перовськіту під час синтезу двошарових $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ зумовлено, вочевидь, труднощами прямого формування при $T \leq 1570$ К складної високоупорядкованої двошарової ШПС із вихідної шихти СЗН зі статистичним розподілом атомів Ba, Sr, Nd.

Повне завершення такої перебудови тривимірної структури дефектного ПС $(Nd_kBa_pSr_m)InO_{3-\delta}$ у двошарову ШПС $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ вимагає значної рухливості елементів кристалічної ґратки перовськіту, яка може бути досягнута за температур понад 1670 К (див. табл. 1, 2).

Для прискорення структурної перебудови ПС \rightarrow ШПС та одержання однофазних двошарових $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ був запропонований метод “ударного” нагріву шихти СЗН, коли з неї спочатку видаляють зв’язаний нітроген тривалою (5 год) термообробкою за температури 870 К, а потім вносять запресовані диски шихти безпосередньо в піч, нагріту до 1573 К. За такого режиму термообробки відбувається одночасний перебіг процесів як утворення, так і трансформації дефектної перовськітної фази $(Nd_kBa_pSr_m)InO_{3-\delta}$, що дає змогу синтезувати однофазні $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ ($x = 0$ та 0,2) з ШПС двоступінчатою (2 год + 2 год) термообробкою з одним проміжним перешихтуванням вже за температури 1573 К (табл. 3, рисунок).

Спільною рисою механізму утворення двошарових $BaNd_2In_2O_7$ і $Ba_{0,8}Sr_{0,2}Nd_2In_2O_7$ та ряду інших сполук з двошаровою ШПС $BaLa_2In_2O_7$ [9], $SrLa_2Sc_2O_7$ [10], $SrEu_2Sc_2O_7$

Таблиця 3. Склад і кристалографічні параметри продуктів “ударної” термообробки шихти СЗН зі співвідношеннями Ba : Sr : Nd : In = 1 – x : x : 2 : 2

Склад	Просторова група	a, нм	c, нм	V, нм ³
$BaNd_2In_2O_7$ з ШПС	$P4_2/mmm$	0,58969(8)	2,0491(3)	0,7125(3)
$Ba_{0,8}Sr_{0,2}Nd_2In_2O_7$ з ШПС	$P4_2/mmm$	0,58864(4)	2,0434(2)	0,7080(3)

і $\text{SrNd}_2\text{Sc}_2\text{O}_7$ [10] є утворення проміжного дефектного перовськіту загального складу $(\text{Ln}_x\text{A}_y^{\text{II}})\text{B}^{\text{III}}\text{O}_{3-\delta}$. Проте зіставлення встановлених послідовностей утворення із шихти СЗН двошарових індату $\text{BaNd}_2\text{In}_2\text{O}_7$ (який є кінцевим членом ряду індатів $\text{BaLn}_2\text{In}_2\text{O}_7$ ($\text{Ln} = \text{La} - \text{Nd}$) з ШПС) та $\text{Ba}_{0,8}\text{Sr}_{0,2}\text{Nd}_2\text{In}_2\text{O}_7$ з такою послідовністю для двошарового $\text{BaLa}_2\text{In}_2\text{O}_7$ [9] показало, що температури початку утворення двошарової ШПС для $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Nd}_2\text{In}_2\text{O}_7$ істотно (на ~ 400 К) вищі, ніж для $\text{BaLa}_2\text{In}_2\text{O}_7$.

Враховуючи граничне положення $\text{BaNd}_2\text{In}_2\text{O}_7$ в ряду індатів $\text{BaLn}_2\text{In}_2\text{O}_7$ можна припустити, що значне підвищення температури початку утворення ШПС $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Nd}_2\text{In}_2\text{O}_7$ зумовлене, вочевидь, зростаючими труднощами формування двошарової ШПС з наближенням до межі морфотропного переходу.

Крім того, аналіз механізмів утворення ШПС $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Nd}_2\text{In}_2\text{O}_7$ та $\text{BaLa}_2\text{In}_2\text{O}_7$ [9], $\text{SrLa}_2\text{Sc}_2\text{O}_7$ [10], $\text{SrEu}_2\text{Sc}_2\text{O}_7$ і $\text{SrNd}_2\text{Sc}_2\text{O}_7$ [11] показав деяку відмінність структурно-хімічних особливостей їх формування. Зокрема, якщо утворення ШПС $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Nd}_2\text{In}_2\text{O}_7$ відбувається шляхом структурної трансформації дефектного перовськіту $(\text{Nd}_k\text{Ba}_p\text{Sr}_m)\text{InO}_{3-\delta}$, то у випадку решти вищезазначених двошарових сполук $\text{A}^{\text{II}}\text{Ln}_2\text{B}_2^{\text{III}}\text{O}_{3n+1}$ безпосереднє утворення їх ШПС здійснюється в результаті твердофазної взаємодії Ln_2O_3 з аніондефіцитним перовськітом $(\text{Ln}_x\text{A}_y^{\text{II}})\text{B}^{\text{III}}\text{O}_{3-\delta}$ шляхом входження Ln_2O_3 між кожними двома шарами октаєдрів BO_6 у структурі перовськіту та його подальшої локалізації між новоутвореними перовськітоподібними блоками у вигляді полієдрів LnO_9 [9–11].

Таким чином, на підставі аналізу одержаних даних встановлено послідовність фазових перетворень під час синтезу двошарових індатів $\text{Ba}_{1-x}\text{Sr}_x\text{Nd}_2\text{In}_2\text{O}_7$ ($x = 0$ та $0,2$) із систем СЗН, які включають стадію утворення та структурної трансформації проміжного кристалічного продукту зі структурою дефектного перовськіту, і визначено оптимальні умови їх синтезу. Виявлено, що умови та характер фазових перетворень вихідної шихти СЗН під час синтезу індатів $\text{BaLn}_2\text{In}_2\text{O}_7$ не є однотипними і залежать від близькості індату $\text{BaLn}_2\text{In}_2\text{O}_7$ до межі морфотропного переходу ШПС.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Ding P., Li W., Zhao H., Wu C., Zhao L., Dong B., Wang S. Review on Ruddlesden–Popper perovskites as cathode for solid oxide fuel cells. *J. Phys. Mater.* 2021. **4**, № 2. 022002.
2. Xiao H., Liu P., Wang W., Ran R., Zhou W., Shao Z. Ruddlesden–Popper perovskite oxides for photocatalysis-based water splitting and wastewater treatment. *Energy Fuels.* 2020. **34**, № 8. P. 9208–9221. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c02301>
3. Schaak R.E., Mallouk T.E. Perovskites by design: a toolbox of solid-state reactions. *Chem. Mater.* 2002. **14**, № 4. P. 1455–1471. <https://doi.org/10.1021/cm010689m>
4. Kato S., Ogasawara M., Sugai M., Nakata S. Synthesis and oxide ion conductivity of new layered perovskite $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_{1+x}\text{InO}_{4-d}$. *Solid State Ionics.* 2002. **149**, № 1–2. P. 53–57. [https://doi.org/10.1016/S0167-2738\(02\)00138-8](https://doi.org/10.1016/S0167-2738(02)00138-8)
5. Zhen Y.S., Goodenough J.B. Oxygen-ion conductivity in $\text{Ba}_8\text{In}_6\text{O}_{17}$. *Mat. Res. Bull.* 1990. **25**, № 6. P. 785–790. [https://doi.org/10.1016/0025-5408\(90\)90207-1](https://doi.org/10.1016/0025-5408(90)90207-1)
6. Titov Y.A., Belyavina N.N., Slobodyanik M.S., Nakonechna O.I., Strutynska N.Yu., Kuzmin R.N. Sr substitution impact on the crystal structure and electrophysical properties of the phases on the base of $\text{BaNd}_2\text{In}_2\text{O}_7$. *Chem. Pap.* 2022. **76**, № 11. P. 6931–6939. <https://doi.org/10.1007/s11696-022-02380-0>
7. Тітов Ю.О., Білявіна Н.М., Марків В.Я., Слободяник М.С., Краєвська Я.А., Ящук В.П. Синтез і кристалічна структура $\text{BaLn}_2\text{In}_2\text{O}_7$. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2010. № 1. С. 148–154.

8. Dashevskiy M., Boshko O., Nakonechna O., Belyavina N. Phase transformations in equiatomic Y–Cu powder mixture at mechanical milling. *Металлофиз. новейшие технол.* 2017. **39**, № 4. P. 541–552. <https://doi.org/10.15407/mfint.39.04.0541>
9. Тітов Ю.О., Слободяник М.С., Краєвська Я.А. Особливості механізмів утворення шаруватих індатів $A^{II}La_nIn_nO_{3n+1}$ ($A^{II} = Sr, Ba$) із систем спільнозакристалізованих нітратів. *Укр. хим. журн.* 2011. **77**, № 6. С. 73–76.
10. Тітов Ю.О., Слободяник М.С., Краєвська Я.А., Чумак В.В. Особливості утворення шаруватих скандатів $(SrO)(LaScO_3)_n$ із систем сумісноосаджених гідроксиоксалатів та закристалізованих нітратів. *Укр. хим. журн.* 2008. **74**, № 9. С. 34–39.
11. Тітов Ю.О., Слободяник М.С., Краєвська Я.А., Чумак В.В. Особливості механізмів утворення шаруватих скандатів $SrLn_nSc_nO_{3n+1}$ із систем суміснозакристалізованих нітратів. *Укр. хим. журн.* 2010. **76**, № 5. С. 1–16.

Надійшло до редакції 11.11.2022

REFERENCES

1. Ding, P., Li, W., Zhao, H., Wu, C., Zhao, L., Dong, B. & Wang, S. (2021). Review on Ruddlesden–Popper perovskites as cathode for solid oxide fuel cells. *J. Phys. Mater.*, 4, No. 2, 022002.
2. Xiao, H., Liu, P., Wang, W., Ran, R., Zhou, W. & Shao, Z. (2020). Ruddlesden–Popper perovskite oxides for photocatalysis-based water splitting and wastewater treatment. *Energy Fuels*, 34, No. 8, pp. 9208-9221. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c02301>
3. Schaak, R. E. & Mallouk, T. E. (2002). Perovskites by design: a toolbox of solid-state reactions. *Chem. Mater.*, 14, No. 4, pp. 1455-1471. <https://doi.org/10.1021/cm010689m>
4. Kato, S., Ogasawara, M., Sugai, M. & Nakata, S. (2002). Synthesis and oxide ion conductivity of new layered perovskite $La_{1-x}Sr_{1+x}InO_{4-d}$. *Solid State Ionics*, 149, No. 1-2, pp. 53-57. [https://doi.org/10.1016/S0167-2738\(02\)00138-8](https://doi.org/10.1016/S0167-2738(02)00138-8)
5. Zhen, Y. S. & Goodenough, J. B. (1990). Oxygen-ion conductivity in $Ba_8In_6O_{17}$. *Mat. Res. Bull.*, 25, No. 6, pp. 785-790. [https://doi.org/10.1016/0025-5408\(90\)90207-1](https://doi.org/10.1016/0025-5408(90)90207-1)
6. Titov, Y. A., Belyavina, N. N., Slobodyanik, M. S., Nakonechna, O. I., Strutynska, N. Yu. & Kuzmin, R. N. (2022). Sr substitution impact on the crystal structure and electrophysical properties of the phases on the base of $BaNd_2In_2O_7$. *Chem. Pap.*, 76, No. 11, pp. 6931-6939. <https://doi.org/10.1007/s11696-022-02380-0>
7. Titov, Y. O., Belyavina, N. M., Markiv, V. Ya., Slobodyanik, M. S., Krayevska, Ya. A. & Yaschuk, V. P. (2010). Synthesis and crystal structure of $BaLn_2In_2O_7$. *Dopov. Nac. akad. nauk Ukr.*, No. 1, pp. 148-154 (in Ukrainian).
8. Dashevskiy M., Boshko O., Nakonechna O. & Belyavina, N. (2017). Phase transformations in equiatomic Y–Cu powder mixture at mechanical milling. *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 39, No. 4, pp. 541-552. <https://doi.org/10.15407/mfint.39.04.0541>
9. Titov, Y. O., Slobodyanik, M. S. & Krayevska, Ya. A. (2011). Peculiarities of mechanisms formation of slab indates $A^{II}La_nIn_nO_{3n+1}$ ($A^{II} = Sr, Ba$) from the systems of co-crystallized nitrates. *Ukr. Khim. Zhurn.*, 77, No. 6, pp. 73-76 (in Ukrainian).
10. Titov, Y. O., Slobodyanik, M. S., Krayevska, Ya. A. & Chumak, V. V. (2008). Peculiarities of formation of slab scandates $(SrO)(LaScO_3)_n$ from the systems of co-precipitated hydroxy-oxalates and crystallized nitrates. *Ukr. Khim. Zhurn.*, 74, No. 9, pp. 34-39 (in Ukrainian).
11. Titov, Y. O., Slobodyanik, M. S., Krayevska, Ya. A. & Chumak, V. V. (2010). Peculiarities of mechanisms formation of slab scandates $SrLn_nSc_nO_{3n+1}$ from the systems of co-crystallized nitrates. *Ukr. Khim. Zhurn.*, 76, No. 5, pp. 11-16 (in Ukrainian).

Received 11.11.2022

Y.A. Titov¹, <https://orcid.org/0000-0001-9900-3751>

M.S. Slobodyanik¹, <https://orcid.org/0000-0003-2684-9806>

V.V. Chumak², <https://orcid.org/0000-0001-5892-3703>

N.Yu. Strutyńska¹, <https://orcid.org/0000-0001-9738-9689>

¹ Taras Shevchenko National University of Kyiv

² Zhytomyr Ivan Franko State University

E-mail: titov1952@ukr.net

FORMATION OF TWO-SLAB $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ INDATES BY THERMAL TREATMENT OF CO-CRYSTALLIZED NITRATES

The sequence of phase transformations in the synthesis of $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ ($x = 0, 0.2$) indates with a two-dimensional two-slab perovskite-like structure from a charge of co-crystallized nitrates was studied by X-ray powder diffraction methods. It was found that the formation of the slab structure of $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ includes the stage of formation intermediate three-dimensional defective perovskite of general composition $(Nd_kBa_pSr_m)InO_{3-\delta}$ with the statistical distribution of Ba, Sr, Nd atoms and oxygen vacancies. Heat treatment of thermally unstable defective perovskite $(Nd_kBa_pSr_m)InO_{3-\delta}$ leads to the formation of a two-slab $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ at $T > 1570$ K by ordering the positions of Ba, Sr, Nd and O atoms with segregation of defective perovskite structure into two-dimensional two-slab perovskite-like blocks, which separated by NdO_9 slabs. The conditions for obtaining single-phases $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ with a two-slab perovskite-like structure are established. Structural chemical differences between the mechanism of formation of the slab perovskite-like structure of $Ba_{1-x}Sr_xNd_2In_2O_7$ from mechanisms of most other two-slab compounds of the $A^{II}Ln_2B_2^{III}O_{3n+1}$ type are due to the boundary position of $BaNd_2In_2O_7$ in the row of two-slab indates $BaLn_2In_2O_7$.

Keywords: compounds of $A_{n+1}B_nO_{3n+1}$ type, mechanism of formation, slab perovskite-like structure.