

Фазовые соотношения в системе $\text{CeO}_2\text{—Dy}_2\text{O}_3$ при температуре 1100 °С

О. А. Корниенко

Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН
Украины, Киев, e-mail: era@ipms.kiev.ua

Впервые исследованы фазовые равновесия в двойной системе $\text{CeO}_2\text{—Dy}_2\text{O}_3$ при температуре 1100 °С во всем интервале концентраций. Образцы различных составов готовили из растворов азотнокислых солей выпариванием, сушкой и термообработкой при температуре 1100 °С. С помощью методов рентгенофазового анализа и петрографии установлено, что в системе образуются твердые растворы на основе различных кристаллических модификаций исходных компонентов. Определены границы растворимости и концентрационные зависимости периодов кристаллических решеток образующихся фаз.

Ключевые слова: фазовые равновесия, диаграмма состояния, твердые растворы, периоды кристаллических решеток, функциональная керамика.

Материалы на основе оксида церия, легированного оксидами редкоземельных элементов (РЗЭ), перспективны с точки зрения экологии, поскольку могут использоваться в процессах нейтрализации различных промышленных отходов, окисления органических примесей сточных вод, а также в качестве катализаторов для удаления сажи из газов дизельных двигателей, которые характеризуются высокой селективной и термической стойкостью. В настоящее время особое внимание уделяется гетерогенным катализаторам на основе оксида церия, легированного оксидами РЗЭ. Кроме того, твердые растворы на основе CeO_2 имеют высокую ионную проводимость при температурах ниже 800 °С, что в 4—5 раз выше, чем у ZrO_2 , стабилизированного Y_2O_3 . В связи с этим использование электролитов и анодов на основе CeO_2 перспективно в твердооксидных элементах. Понижение температуры до 600—800 °С значительно увеличивает срок службы электрохимических устройств. Основными недостатками твердых растворов на основе CeO_2 являются не очень широкая электролитическая область и низкая механическая прочность. Данных недостатков можно избежать. Легирование CeO_2 оксидами редкоземельных элементов позволяет расширить электролитическую область твердых растворов на основе оксида церия и повысить механическую прочность [1—13].

Получение новых материалов на основе CeO_2 , легированного Dy_2O_3 , требует изучения фазовых равновесий и свойств образующихся фаз в указанной системе в широком интервале температур и концентраций.

Фазовые равновесия в системах на основе CeO_2 с оксидами РЗЭ (La_2O_3 , Sm_2O_3 , Gd_2O_3 , Er_2O_3 , Yb_2O_3 , Dy_2O_3) исследованы ранее [12—24]. Фазовые взаимодействия в двойной системе $\text{CeO}_2\text{—Dy}_2\text{O}_3$ изучены в работах [13, 14, 23]. Определено, что в данной системе образуются области твердых растворов на основе кубических модификаций F- CeO_2 и C- Dy_2O_3 . При

1400 °C установлены области существования твердых растворов типа флюорита (F-CeO₂) от чистого CeO₂ до состава Ce_{0,70}Dy_{0,30}O_{1,85} и кубических твердых растворов (C-Dy₂O₃) от состава Ce_{0,60}Dy_{0,40}O_{1,80} до DyO_{1,5}. Параметр *a* элементарных ячеек твердых растворов изменяются от 0,5411 нм для чистого CeO₂ до 0,5416 нм для состава Ce_{0,70}Dy_{0,30}O_{1,85} и от 1,0829 нм для состава Ce_{0,60}Dy_{0,40}O_{1,80} до 1,066 нм для чистого DyO_{1,5}. Двухфазная область в указанной системе при 1400 °C не обнаружена [13, 14]. Наиболее достоверные данные о взаимодействии фаз и фрагмент диаграммы состояния системы CeO₂—Dy₂O₃ при температуре 1500 °C представлены в работе [23]. Определены границы областей гомогенности твердых растворов на основе F-CeO₂ и C-Dy₂O₃ (1500 °C) составами, содержащими 0—20, 90—100% (мол.) Dy₂O₃, которые разделены двухфазным полем (F + C). Сведения о фазовых равновесиях в системе CeO₂—Dy₂O₃ при температурах ниже 1400 °C в литературе отсутствуют.

Некоторые физические характеристики образующихся фаз в системе CeO₂—Dy₂O₃ установлены в работах [24—29]. Коэффициент термического расширения $\alpha_{av} \cdot 10^{-6}$ (°C⁻¹) твердого раствора Ce_{0,80}Dy_{0,20}O_{2,5} в интервалах температур 100—527 и 25—527 °C составляет 10,5 и 10,9 соответственно [25]. Согласно данным работы [25], энергия активации ионной проводимости *E_a* для твердых растворов Ce_{0,85}Dy_{0,15}O_{2,5} и Ce_{0,80}Dy_{0,20}O_{2,5} в интервале температур 600—900 °C составляет 1,00 и 0,91 эВ соответственно и 0,97 эВ — в интервале температур 500—600 °C, суммарная ионная проводимость σ при температуре 900 °C — 0,085 и 0,081 См/см соответственно.

В настоящей работе впервые изучено взаимодействие оксида церия с оксидом диспрозия при температуре 1100 °C во всем интервале концентраций.

В качестве исходных веществ использовали азотнокислую соль церия Ce(NO₃)₃·6H₂O марки Ч, Dy₂O₃ с содержанием основного компонента не менее 99,99% и азотную кислоту марки ЧДА. Образцы готовили с концентрационным шагом 1—5% (мол.) из растворов нитратов выпариванием с последующим разложением нитратов на оксиды путем прокаливании при 1200 °C в течение 2 ч. Порошки прессовали в таблетки диаметром 5 и высотой 4 мм под давлением 10 МПа. Термообработку образцов проводили в печи с нагревателями Н23У5Т (фехраль) при 1100 °C (16 554 ч) на воздухе. Скорость подъема и снижения температуры составляла 3,5 град/мин. Фазовый состав образцов исследовали методами рентгеновского анализа и петрографии.

Рентгенофазовый анализ образцов выполнен методом порошка на установке ДРОН-3 при комнатной температуре (CuK_α-излучение). Шаг сканирования составлял 0,05—0,1 град в диапазоне углов 2θ = 15—90°. Периоды кристаллических решеток рассчитаны методом наименьших квадратов с использованием программы LATPIC с погрешностью не ниже 0,0002 нм для кубической фазы. Фазовый состав определяли с применением базы данных Международного комитета порошковых стандартов (JSPDS International Center for Diffraction Data 1985). Состав образцов контролировали с помощью спектрального и химического анализов выборочно.

Петрографические исследования проведены в проходящем свете на обожженных образцах. Кристаллооптические характеристики фаз определяли на поляризационном микроскопе МИН-8.

Рентгеновскую плотность рассчитывали по формуле

$$\gamma = \frac{1,6604MZ}{V_{\text{ек}}}, \quad (1)$$

где M — молекулярная масса сложного оксида, г; Z — число формульных единиц в элементарной ячейке; $V_{\text{ек}}$ — объем элементарной ячейки, нм.

Объем элементарной ячейки твердых растворов определяли с использованием данных расчета параметров элементарной ячейки, полученных рентгеновским методом для кубической сингонии:

$$V_{\text{ек}} = a^3. \quad (2)$$

Исследования твердофазного взаимодействия CeO_2 (тип флюорита (F)), пространственная группа $Fm\bar{3}m$) и Dy_2O_3 (кубическая модификация оксидов редкоземельных элементов (C), пространственная группа $Ia\bar{3}$) при температуре 1100 °С показали, что в системе CeO_2 — Dy_2O_3 образуются два типа твердых растворов, имеющих кубическую структуру: на основе F- CeO_2 и C- Dy_2O_3 , которые разделены двухфазным полем (F + C) (рис. 1).

Исходный химический и фазовый составы образцов, обожженных при 1100 °С, периоды кристаллических решеток фаз, находящихся в равновесии при заданной температуре, приведены в табл. 1.

Границы областей гомогенности твердых растворов на основе F- CeO_2 и C- Dy_2O_3 определены составами, содержащими 0—20, 95—100% (мол.) Dy_2O_3 при 1100 °С (табл. 1). Растворимость Dy_2O_3 в F-модификации CeO_2 составляет 20% (мол.) при 1100 °С (16 554 ч). Период a кристаллической решетки уменьшается от 0,5409 нм для чистого CeO_2 до 0,5399 нм для образца, содержащего 20% (мол.) Dy_2O_3 .

Дифрактограммы образцов, характеризующие фазовые области твердых растворов в системе CeO_2 — Dy_2O_3 при 1100 °С, представлены на рис. 2. Установлено, что для образца состава 15% (мол.) CeO_2 —85% (мол.) Dy_2O_3 , (рис. 2, б) наряду с C-фазой, составляющей основу, проявляются четко выраженные пики на углах $2\theta = 29$ и 34° , характерные для кубической фазы типа флюорита (F- CeO_2). Поскольку фазы, образующиеся в данной системе, имеют подобную кристаллическую структуру, с увеличением содержания CeO_2 наблюдается наложение дифракционных пиков двух фаз: F- CeO_2 и C- Dy_2O_3 (рис. 2, б).

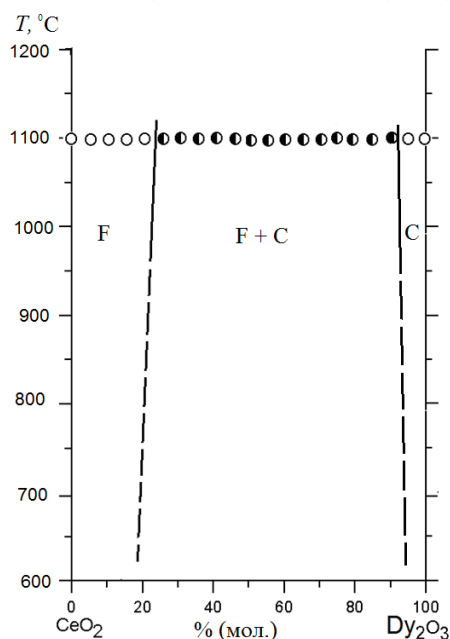


Рис. 1. Фазовые равновесия в системе CeO_2 — Dy_2O_3 при 1100 °С:

○ — однофазные; ● — двухфазные образцы.

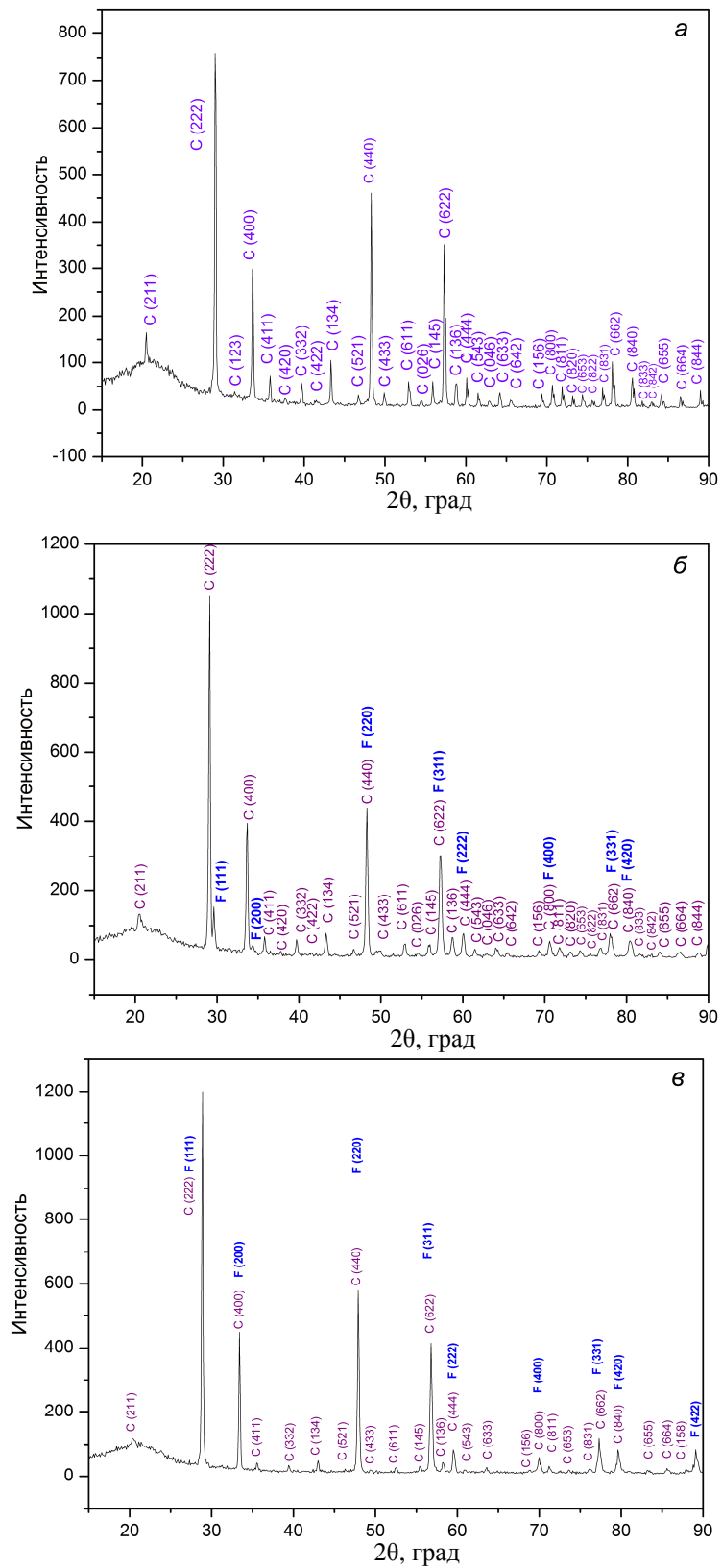


Рис. 2, а—в.

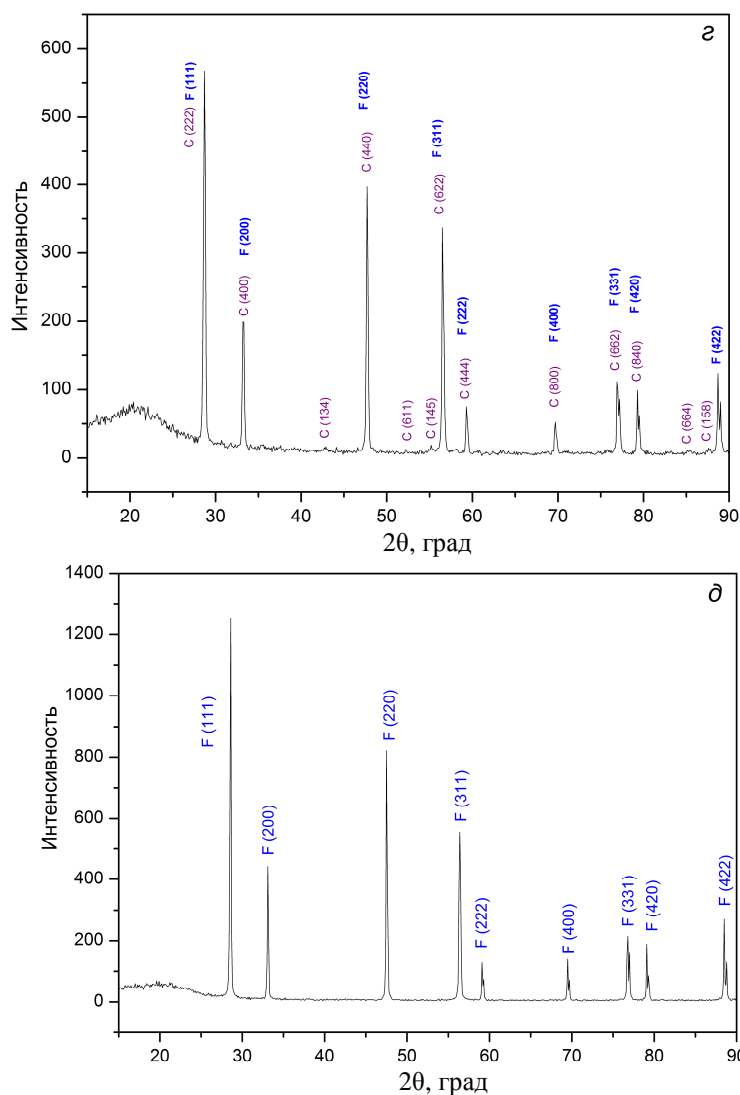


Рис. 2. Дифрактограммы образцов системы $\text{CeO}_2\text{—Dy}_2\text{O}_3$ после обжига при $1100\text{ }^\circ\text{C}$: *a* — 100% (мол.) Dy_2O_3 , (C); *б* — 15% (мол.) $\text{CeO}_2\text{—}85\%$ (мол.) Dy_2O_3 , (C + F); *в* — 60% (мол.) $\text{CeO}_2\text{—}40\%$ (мол.) Dy_2O_3 , (C + F); *г* — 75% (мол.) $\text{CeO}_2\text{—}25\%$ (мол.) Dy_2O_3 , (C + F); *д* — 90% (мол.) $\text{CeO}_2\text{—}10\%$ (мол.) Dy_2O_3 , (F).

С повышением концентрации CeO_2 до 80% (мол.) сверхструктурные пики кубической C-фазы не обнаружены. Для определения положения границ фазовых полей наряду с рентгеновскими данными о фазовом составе образцов использовали петрографические исследования. Образец 75% (мол.) $\text{CeO}_2\text{—}25\%$ (мол.) Dy_2O_3 характеризуется наличием изотропных фаз: F- CeO_2 , составляющей основу, и единичными мелкозернистыми включениями C- Dy_2O_3 .

Растворимость F- CeO_2 в C-модификации оксида диспрозия составляет 10% (мол.) CeO_2 ($1100\text{ }^\circ\text{C}$). Период *a* кристаллической решетки C-фазы изменяется от 1,065 нм для чистого Dy_2O_3 до 1,066 нм для состава, содержащего 10% (мол.) CeO_2 . С помощью петрографических исследований

Т а б л и ц а 1. Фазовый состав и периоды кристаллических решеток фаз образцов системы $\text{CeO}_2\text{—Dy}_2\text{O}_3$ после обжига при 1100 °С, 16 554 ч (по данным РФА и петрографии)

Химический состав, % (мол.)		Фазовый состав*	Период a кристаллических решеток фаз, $\pm 0,0002$ нм	
CeO_2	Dy_2O_3		$\langle F \rangle$	$\langle C \rangle$
0	100	$\langle C \rangle$	—	1,0655
5	95	$\langle C \rangle$	—	1,0653
10	90	$\langle C \rangle + \langle F \rangle$ сл.	—	1,0665
15	85	$\langle C \rangle + \langle F \rangle$ сл.	0,5334	1,0669
20	80	$\langle C \rangle + \langle F \rangle$	0,5340	1,0674
25	75	$\langle C \rangle + \langle F \rangle$	0,5348	1,0688
30	70	$\langle C \rangle + \langle F \rangle$	0,5352	1,0679
35	65	$\langle C \rangle + \langle F \rangle$	0,5361	1,0715
40	60	$\langle C \rangle + \langle F \rangle$	0,5361	1,0719
45	55	$\langle C \rangle + \langle F \rangle$	0,5370	1,0732
50	50	$\langle C \rangle + \langle F \rangle$	0,5365	1,0730
55	45	$\langle C \rangle + \langle F \rangle$	0,5377	1,0748
60	40	$\langle C \rangle + \langle F \rangle$	0,5380	1,0746
65	35	$\langle C \rangle + \langle F \rangle$	0,5390	1,0771
70	30	$\langle C \rangle + \langle F \rangle$	0,5392	1,0780
75	25	$\langle C \rangle$ сл. + $\langle F \rangle$ осн.	0,5396	—
80	20	$\langle F \rangle$	0,5399	—
85	15	$\langle F \rangle$	0,5402	—
90	10	$\langle F \rangle$	0,5405	—
100	0	$\langle F \rangle$	0,5409	—

*Обозначения фаз: $\langle C \rangle$ и $\langle F \rangle$ — твердые растворы на основе кубической модификации оксидов редкоземельных элементов и кубической модификации структуры типа флюорита CeO_2 соответственно; осн. — фаза, составляющая основу; сл. — следы фазы; \uparrow , \downarrow — содержание фазы, соответственно, увеличивается и уменьшается.

установлено, что фаза F- CeO_2 проявляется в виде мелкозернистых светлых включений, количество которых с уменьшением концентрации оксида диспрозия увеличивается и характеризуется большим показателем преломления.

Некоторые свойства кубических твердых растворов на основе F- CeO_2 и C- Dy_2O_3 , которые установлены в данном исследовании, представлены в табл. 2.

Таким образом, изучены фазовые равновесия в системе $\text{CeO}_2\text{—Dy}_2\text{O}_3$ при температуре 1100 °С. Установлено, что для исследованной системы характерно образование ограниченных твердых растворов с кубической структурой двух типов: F- CeO_2 и C- Dy_2O_3 , которые разделяет широкая

Т а б л и ц а 2. Свойства твердых растворов на основе F-CeO₂ и C-Dy₂O₃ в системе CeO₂—Dy₂O₃ после обжига при температуре 1100 °С

Состав твердого раствора	Объем элементарной ячейки, нм ³	Теоретическая плотность $\gamma_{\text{теор}}$ (по данным РФА)
Dy ₂ O ₃	1,2076	9,24
Ce _{0,1} Dy _{0,95} O _{1,525}	1,2130	4,22
Ce _{0,8} Dy _{0,2} O _{1,9}	0,15738	7,384
Ce _{0,85} Dy _{0,15} O _{1,925}	0,15764	7,342
Ce _{0,9} Dy _{0,1} O _{1,95}	0,15790	7,300

гетерогенная область (С + F). Определены параметры элементарных ячеек фаз, находящихся в равновесии при заданной температуре. Полученные данные могут быть использованы для выбора оптимальных составов и разработки новых функциональных материалов с улучшенными свойствами.

1. Chavan S. V. Phase relations and lattice thermal expansion studies in the Ce_{0.50}RE_{0.50}O_{1.75} (RE = rare-earths) / S. V. Chavan, A. K. Tyagi // Mater. Sci. and Engineering: A. — 2005. — **404**. — P. 57—63.
2. Park K. Electrical conductivity of Ce_{0.8}Gd_{0.2-x}Dy_xO_{2-δ} (0 ≤ x ≤ 0.2) co-doped with Gd³⁺ and Dy³⁺ for intermediate-temperature solid oxide fuel cells / K. Park, H. K. Hwang // J. Power Sources. — 2011. — **196**. — P. 4996—4999.
3. He B. Electro-catalytic activity of Dy₂O₃ as a solid oxide fuel cell anode material / [B. He, L. Zhao, W. Wang et al.] // Electrochem. Comm. — 2011. — **13**. — P. 194—196.
4. Beibei He. Electro-catalytic activity of Dy₂O₃ as a solid oxide fuel cell anode material // [He Beibei, Zhao Ling, Wendong Wang et al.] / Ibid. — 2011. — **13**. — P. 194—196.
5. John A. Kilner and monica burriel materials for intermediate-temperature solid-oxide fuel cells // Annual Rev. of Mater. Res. — 2014. — **44**. — P. 366—393.
6. Ramesh S. Preparation and characterization of Ce_{1-x}Dy_{x-y}SrO_{2-δ} system / S. Ramesh, K. C. James Raju, C. Vishnuvardhan Reddy // Trans. Nonferrous Met. Soc. China. — 2014. — **24**. — P. 393—400.
7. Prado-Gomgala J. Increased ionic conductivity in microwave hydrothermally synthesized rare-earth doped ceria Ce_{1-x}RE_xO_{2-(x/2)} / [J. Prado-Gomgala, R. Schmidts, J. Espindola-Canutoa et al.] // J. Power Sources. — 2012. — **209** (1). — P. 163—171.
8. Lee D. H. Electrical conductivity of solid solution _xCeO_{2+(1-x)}Dy₂O₃; 0.01 ≤ x ≤ 0.10 / [D. H. Lee, S. K. Cho, C. H. Yo et al.] // Mater. Chem. and Phys. — 1994. — **37**. — P. 17—22.
9. Kuharuangrong Sutin. Ionic conductivity of Sm, Gd, Dy and Er-doped ceria // J. of Power Sources. — 2007. — **171**. — P. 506—510.
10. Abrantes J. C. C. Electrical conductivity in the system CeO₂—Dy₂O₃—ZrO₂ / [J. C. C. Abrantes, J. A. Labrincha, F. M. B. Marques and J. R. Frade] // Ceramics Today-Tomorrow's Ceramics, Part C. — Amsterdam : Elsevier Science, 1991. — P. 2265—2274.
11. Wang Y. Synthesis characterization and electrical conduction of 10 mol % Dy₂O₃ doped ceria ceramics / [Y. Wang, T. Mori, J. Li, J. Drennan] // J. of the European Ceram. Soc. — 2005. — **25**. — P. 949—956.

12. *Horlait D.* Stability and structural evolution of $\text{Ce}^{\text{IV}}_{1-x}\text{Ln}^{\text{III}}_x\text{O}_{2-x/2}$ solid solutions: A coupled μ -raman/XRD approach / [D. Horlait, L. Clapar, N. Clavier et al.] // *Inorganic Chemistry*. — 2011. — **50**. — P. 7150—7161
13. *Grover V.* Inter matrix fuels: materials for futuristic nuclear reactors / V. Grover and A. K. Tyagi // *Founder's Day. Special Issue*. — 2008. — No. 297, October. — P. 160—164.
14. *Grover V.* Ternary phase relations in $\text{CeO}_2\text{—DyO}_{1.5}\text{—ZrO}_2$ system / V. Grover, A. K. Tyagi // *Ceramics Internat.* — 2013. — **39**. — P. 7563—7569.
15. *Andrievskaya E. R.* Phase relation studies in the $\text{CeO}_2\text{—La}_2\text{O}_3$ system at 1100—1500 °C / [E. R. Andrievskaya, O. A. Kornienko, A. V. Sameljuk, Ali Sayir] // *J. of the European Ceram. Soc.* — 2011. — **31**, No. 7 (June). — P. 1277—1283.
16. *Андрієвська Е. Р.* Фазові співвідношення в системі $\text{CeO}_2\text{—Sm}_2\text{O}_3$ при температурі 1500 °C / [Е. Р. Андрієвська, О. А. Корнієнко, В. С. Городов и др.] // *Современные проблемы физического материаловедения*. — К. : Ин-т пробл. материаловедения НАН Украины. — 2008. — Вып. 17. — С. 25—29.
17. *Корнієнко О. А.* Взаємодія і властивості фаз в системі $\text{CeO}_2\text{—Gd}_2\text{O}_3$ при 1500 °C // *Вестник НТУ "ХПИ"*. — 2009. — № 45. — С. 86—90.
18. *Корнієнко О. А.* Взаємодія і властивості фаз в системі $\text{CeO}_2\text{—Gd}_2\text{O}_3$ при 1100 °C // Там же. — 2010. — № 66. — С. 14—18.
19. *Андрієвська Е. Р.* Взаємодія оксидів церія і ербія при температурі 1500 °C / [Е. Р. Андрієвська, В. В. Гусаров, О. А. Корнієнко, А. В. Самелюк] // *Сб. науч. трудов ОАО УкрНИИ огнеупоров имени А. С. Бережного*. — Харьков, 2012. — № 112. — С. 133—140.
20. *Mandal B. P.* X-Ray diffraction and raman spectroscopic Investigation on the phase relation in Yb_2O_3 - and Tm_2O_3 -substituted CeO_2 / [B. P. Mandal, V. Grover, M. Roy, A. K. Tayagi] // *J. of Amer. Soc.* — 2007. — **90**, is. 9. — P. 2961—2965.
21. *Parvulescu V. I.* Termal behavior of CO_2 laser-irradiated CeO_2 doped with Yb_2O_3 / V. I. Parvulescu, F. Vasiliu, E. Segal // *J. of Thermal Analysis*. — 1995. — **45**. — P. 1313—1322.
22. *Андрієвська Е. Р.* Фазові співвідношення в системі $\text{CeO}_2\text{—Yb}_2\text{O}_3$ при температурі 1500 °C / [Е. Р. Андрієвська, О. А. Корнієнко, А. А. Макудера, І. С. Субота] // *Современные проблемы физического материаловедения*. — К. : Ин-т пробл. материаловедения НАН Украины. — 2013. — Вып. 21. — С. 3—7.
23. *Корнієнко О. А.* Фазові співвідношення в системі $\text{CeO}_2\text{—Dy}_2\text{O}_3$ при температурі 1500 °C // Там же. — 2014. — Вып. 23. — С. 3—9.
24. *Андрієвська Е. Р.* Фазові співвідношення в системі $\text{CeO}_2\text{—Eu}_2\text{O}_3$ при температурі 1500 °C / [Е. Р. Андрієвська, О. А. Корнієнко, А. А. Макудера, І. С. Субота] // Там же. — 2014. — Вып. 23. — С. 19—26.
25. *Pikalova E. Yu.* CeO_2 based materials doped with lanthanides for applications in intermedete temperature electrochemical devices / [E. Yu. Pikalova, A. A. Murashkina, V. I. Maragou et al.] // *Internat. J. of Hydrogen Energy*. — 2011. — **36**. — P. 6175—6183.
26. *Yarong Wang.* Synthesis, characterization, and electrical conduction of 10% (mol.) Dy_2O_3 -doped CeO_2 ceramics / [Wang Yarong, Mori Toshiyuki, Li Ji-Guang, John Drennan] // *J. of the European Ceram. Soc.* — 2006. — **25**. — P. 949—956.
27. *Prabhakaran Sreekumari Anjana.* Microwave dielectric properties of $(1-x)\text{CeO}_{2-x}\text{RE}_2\text{O}_3$ (RE = La, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Tm, Yb, and Y) ($0 \leq x \leq 1$) ceramics / Prabhakaran Sreekumari Anjana, Tony Joseph, Mailadil Tomas Sebastian // *J. of Alloys and Comp.* — 2010. — **490**. — P. 208—213.
28. *Ashok Kumar Baral.* Ionic transport properties in nanocrystalline $\text{Ce}_{0.8}\text{A}_{0.2}\text{O}_{2-\delta}$ (with A = Eu, Gd, Dy, and Ho) materials / Ashok Kumar Baral, V. Sankaranarayanan // *Nanoscale Res. Lett.* — 2010. — **5**, is. 3. — P. 637—643.
29. *Kwanghoon Choi.* Effect of Dysprosia Additive on the Consolidation of CeO_2 by Spark Plasma Sintering / [Choi Kwanghoon, E. Richard, D. Reavis et al.] // *J. Amer. Ceram. Soc.* — 2012. — **25**. — P. 1—6.

Фазові співвідношення в системі $\text{CeO}_2\text{—Dy}_2\text{O}_3$ при температурі 1100 °С

О. А. Корнієнко

Вперше досліджено фазові рівноваги в подвійній системі $\text{CeO}_2\text{—Dy}_2\text{O}_3$ при температурі 1100 °С у всьому інтервалі концентрацій. Зразки різних складів отримані з розчинів азотнокислих солей випарюванням, сушкою і термообробкою при температурі 1100 °С. Використано методи рентгенофазового аналізу та петрографії. Встановлено, що в системі утворюються тверді розчини на основі різних кристалічних модифікацій вихідних компонентів. Визначено границі розчинності та концентраційні залежності періодів кристалічних ґраток фаз, що утворюються в системі.

Ключові слова: оксиди церію та диспрозію, фазові рівноваги, діаграма стану, тверді розчини, періоди кристалічних ґраток, функціональна кераміка.

Interaction of the Ceria with dysprosia at temperature 1100 °C

O. A. Kornienko

Phase equilibria in the binary $\text{CeO}_2\text{—Dy}_2\text{O}_3$ system at 1100 °C were studied by X-ray diffraction in the overall concentration range. The samples of different compositions have been prepared from nitrate acid solutions by evaporation, drying, and calcinations at 1100 °C. The solid solutions based on various polymorphous forms of constituent phases. The boundaries of mutual solubility and concentration dependences the lattice parameters for all phases have been determined.

Keywords: phase equilibria, phase diagram, solid solutions, lattice parameters of the unit cells, functional materials.