

Взаимодействие оксидов лантана и иттербия при температуре 1500 °С

О. В. Чудинович¹, Е. Р. Андриевская^{1, 2}, Ж. Д. Богатырева³,
Л. Н. Спасенова²

¹Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины,
Киев, e-mail: era@ipms.kiev.ua

²Национальный технический университет Украины "Киевский
политехнический институт"

³Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

Впервые исследованы фазовые равновесия в двойной системе La_2O_3 — Yb_2O_3 при температуре 1500 °С во всем интервале концентраций. Образцы различных составов готовили из растворов азотнокислых солей выпариванием, сушкой и термообработкой при температурах 1100 и 1500 °С. Использованы рентгенофазовый и микроструктурный анализы. Установлено, что в системе образуются твердые растворы на основе различных кристаллических модификаций исходных компонентов и упорядоченной фазы $LaYbO_3$. Определены границы растворимости и концентрационные зависимости периодов кристаллических решеток образующихся фаз.

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

Оксиды редкоземельных элементов (РЗЭ) представляют значительный интерес как с научной, так и с практической точек зрения благодаря их уникальным функциональным и конструкционным свойствам (огнеупорности, стойкости к воздействию агрессивных сред, высоким термомеханическим и электрическим характеристикам) [1—3]. Материалы на основе твердых растворов оксидов РЗЭ используют в радио- и оптоэлектронике, приборостроении, атомной и лазерной технике, машиностроении, химической промышленности, в металлургии, медицине и т. д. [4, 5]. Соединения РЗЭ применяют для создания лазерных и других оптически активных элементов в оптоэлектронике [6].

Оксид лантана входит в состав высокотехнологичных стекол специального назначения, пропускающих инфракрасные и поглощающих ультрафиолетовые лучи [7—9]. Оксид иттербия обладает скнтилляционными свойствами (флюоресценция) и находит применение в технологии оптических волокон, а также таких материалов, как солнечные панели, лазеры, источники радиации для портативных рентгеновских источников [10—12].

Для сложных оксидных фаз $LnLn'O_3$ ($Ln, Ln' = \text{РЗЭ}$) со структурой типа перовскита характерны разнообразные электрические (высокое значение константы диэлектрической проницаемости), магнитные и оптические свойства (анизотропная оптика) [7, 8]. Системы с оксидами лантана и иттербия являются весьма перспективными в качестве альтернативных

материалов для разработки ионных проводников и оптически прозрачной керамики [7, 8, 13].

Твердые растворы замещения и промежуточные фазы на основе оксидов РЗЭ изучены недостаточно полно и сведения о строении диаграмм состояния двойных и тройных систем ограничены. Фазовые равновесия в изученных двойных системах $\text{Ln}_2\text{O}_3\text{—Ln}'_2\text{O}_3$ характеризуются образованием ограниченных твердых растворов замещения на основе различных полиморфных модификаций исходных компонентов. Для полупрозрачных оксидов редкоземельных элементов (Ln_2O_3) известно от двух до пяти полиморфных модификаций: низкотемпературная гексагональная (А, пространственная группа $P63/mmm$), моноклинная (В, пространственная группа $C2/m$), низкотемпературная кубическая (С, пространственная группа $Ia3$), высокотемпературные гексагональная (Н) и кубическая (Х) [14, 15]. Низкотемпературные кристаллические модификации оксидов РЗЭ стабилизируются в зависимости от размера ионного радиуса Ln^{3+} в интервале температур 1000—1800 °С. Для оксидов РЗЭ цериевой подгруппы характерны А- и В-формы, тогда как оксиды РЗЭ иттриевой подгруппы кристаллизуются в С-форме. Полиморфные переходы в указанных оксидных фазах могут быть как обратимые ($C \rightleftharpoons H$), так и необратимые ($C \rightarrow A$, $C \rightarrow B$) в оксидах La, ..., Gd, которые подробно изучены В. Б. Глушковой [16, 17].

Таким образом, строение диаграмм состояния систем на основе оксидов РЗЭ осложнено полиморфизмом. Число фазовых превращений в системе может изменяться от семи ($\text{Ln} = \text{Er}, \dots, \text{Lu}$) до десяти ($\text{Ln} = \text{Sm}, \dots, \text{Gd}$). То, что многие полиморфные формы существуют лишь при высоких температурах, обуславливает методические особенности исследования данных систем. Полиморфизм исходных компонентов определяет также устойчивость промежуточных фаз в рассматриваемых системах.

Следующая особенность фазовых равновесий в двойных системах на основе оксидов РЗЭ состоит в том, что взаимная растворимость (полная или частичная) наблюдается между всеми компонентами. Взаимная растворимость компонентов, или образование промежуточных фаз, зависит от соотношения ионных радиусов и соответствия типов кристаллической решетки при одной и той же температуре. Диаграммы состояния систем можно объединить в три группы, в которых проявляется сходство их строения, как в силу положения элементов в периодической системе, так и по причине вытекающей отсюда разницы ионных радиусов Ln^{3+} [17—19].

Фазовые соотношения и структура образующихся фаз в системе $\text{La}_2\text{O}_3\text{—Yb}_2\text{O}_3$ изучены в работах [20—25]. С помощью рентгеновских исследований образцов в интервале температур 1650—2000 °С обнаружено, что в системе образуется упорядоченная фаза типа перовскита LaYbO_3 (R) с областью гомогенности, протяженность которой при температуре 1650 °С составляет 38—55% (мол.) Yb_2O_3 [21]. Периоды кристаллической решетки упорядоченной фазы LaYbO_3 равны (нм): $a = 0,601$, $b = 0,581$, $c = 0,839$, $Z = 4$ [22]. Согласно данным [23], LaYbO_3 кристаллизуется в двух полиморфных модификациях: ромбической и гексагональной, температура перехода между которыми — 1850 °С. Однако полиморфизм этой упорядоченной фазы не подтвержден [24, 25].

Согласно данным [24], область гомогенности R-фазы составляет 47—62% (мол.) Yb_2O_3 при 1400 °С и 45—63% (мол.) Yb_2O_3 при 1800 °С. Предполагается, что фаза типа перовскита имеет узкую область гомогенности [20]. Максимальная температура существования фазы LaYbO_3 — 2040 °С. Выше указанной температуры образуются твердые растворы на основе кубической модификации $\text{X-Yb}_2\text{O}_3$ [24]. Область гомогенности твердых растворов на основе $\text{X-Yb}_2\text{O}_3$ существует в концентрационном интервале 0—92% (мол.) Yb_2O_3 . Эти твердые растворы характеризуются тремя фазовыми переходами: перитектическим и двумя эвтектоидными вблизи составов, содержащих 28% (мол.) Yb_2O_3 при 1820 °С и 72% (мол.) Yb_2O_3 при 1930 °С.

В системе существуют твердые растворы на основе С- Yb_2O_3 , низкотемпературной А- и высокотемпературной Н-модификаций La_2O_3 . Фазовый переход А \rightleftharpoons Н установлен с помощью термического анализа в области составов с высоким содержанием La_2O_3 (наличие экзотермического эффекта на кривых охлаждения), однако границы на диаграмме состояния двойной системы не определены. Ликвидус системы La_2O_3 — Yb_2O_3 характеризуется наличием минимума вблизи состава, содержащего 50% (мол.) Yb_2O_3 , и перитектическим превращением.

Таким образом, фазовые соотношения в системе La_2O_3 — Yb_2O_3 наиболее достоверно представлены от температур плавления до ~1850 °С. В то же время сведения о характере фазовых равновесий противоречивы, координаты инвариантных точек, границы фазовых полей однозначно не определены. Твердофазные взаимодействия при более низких температурах в системе не изучены и на диаграмме состояния системы, представленной в работе [20], показаны гипотетически. Следовательно, изучение фазовых равновесий в двойной системе La_2O_3 — Yb_2O_3 является актуальным и требует дополнительных исследований.

В настоящей работе впервые изучено взаимодействие оксида лантана с оксидом иттербия при температуре 1500 °С во всем интервале концентраций.

В качестве исходных веществ использовали La_2O_3 , Yb_2O_3 с содержанием основного компонента 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 800 °С в течение 2 ч. Порошки прессовали в таблетки диаметром 5 и высотой 4 мм под давлением 10 МПа. Образцы подвергали двухступенчатой термообработке: в печи с нагревателями Н23У5Т (фехраль) при 1100 °С (120 ч) и в печи с нагревателями из дисилицида молибдена (MoSi_2) при 1500 °С (50 ч) на воздухе. Скорость подъема температуры составляла 3,5 град/мин. Фазовый состав образцов исследовали методами рентгеновского анализа и петрографии.

Рентгенофазовый анализ образцов выполняли методом порошка на установке ДРОН-3 при комнатной температуре (CuK_α -излучение). Шаг сканирования составлял 0,05—0,1 град в диапазоне углов $2\theta = 15$ —90°. Периоды кристаллических решеток рассчитывали методом наименьших квадратов, используя программу LATTEC, с погрешностью не ниже 0,0002 нм для кубической фазы. Для определения фазового состава использовали

базу 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 отожженных образцах. Кристаллооптические характеристики фаз определяли на поляризационном микроскопе МИН-8 с помощью высокопреломляющих иммерсионных жидкостей.

Исследования твердофазного взаимодействия La_2O_3 (гексагональная модификация А) и Yb_2O_3 (кубическая модификация оксидов редкоземельных элементов С, структура типа Tl_2O_3) при температуре 1500 °С показали, что в системе $\text{La}_2\text{O}_3\text{—Yb}_2\text{O}_3$ образуются три типа твердых растворов: на основе гексагональной модификации А- La_2O_3 , кубической модификации С- Yb_2O_3 и упорядоченной фазы LaYbO_3 (R), кристаллизующейся в структуре типа перовскита с ромбическими искажениями, которые разделены двухфазными полями (А + R) и (С + R) (рис. 1).

Исходные химический и фазовый составы образцов, обожженных при 1500 °С, периоды кристаллических решеток фаз, находящихся в равновесии при заданной температуре, приведены в таблице. Концентрационная зависимость периодов кристаллической решетки твердого раствора на основе С- Yb_2O_3 представлена на рис. 2. Границы областей гомогенности твердых растворов на основе А- La_2O_3 , R-фазы (LaYbO_3) и С- Yb_2O_3 определены составами, содержащими 5—10, 45—50, 55—60 и 97—98% (мол.) Yb_2O_3 (таблица).

Из полученных данных следует, что растворимость La_2O_3 в С-модификации Yb_2O_3 составляет ~2% (мол.) при 1500 °С (50 ч). Период кристаллической решетки *a* увеличивается от 1,0432 нм для чистого Yb_2O_3 до 1,0439 нм для предельного состава твердого раствора.

Растворимость Yb_2O_3 в гексагональной А-модификации La_2O_3 составляет ~9% (мол.) Yb_2O_3 (1500 °С). Согласно данным РФА, в образцах, содержащих 100—55% (мол.) La_2O_3 (1500 °С), вместо гексагональной фазы А- La_2O_3 образуется гексагональная модификация гидроксида

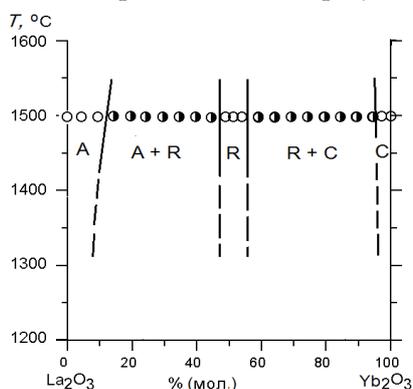


Рис. 1. Фазовые равновесия в системе $\text{La}_2\text{O}_3\text{—Yb}_2\text{O}_3$ при 1500 °С: ○ — однофазные; □ — двухфазные образцы.

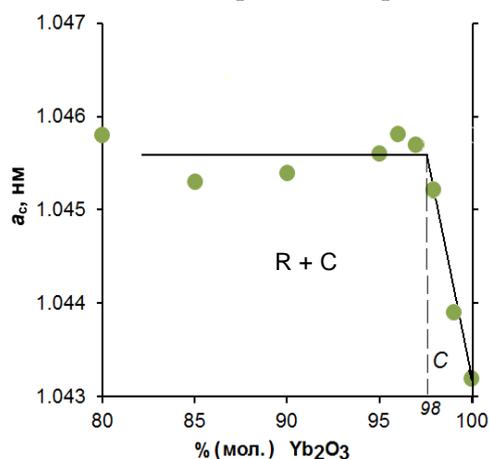


Рис. 2. Концентрационные зависимости периодов кристаллической решетки твердых растворов на основе С- Yb_2O_3 (●) в системе $\text{La}_2\text{O}_3\text{—Yb}_2\text{O}_3$ после отжига образцов при 1500 °С.

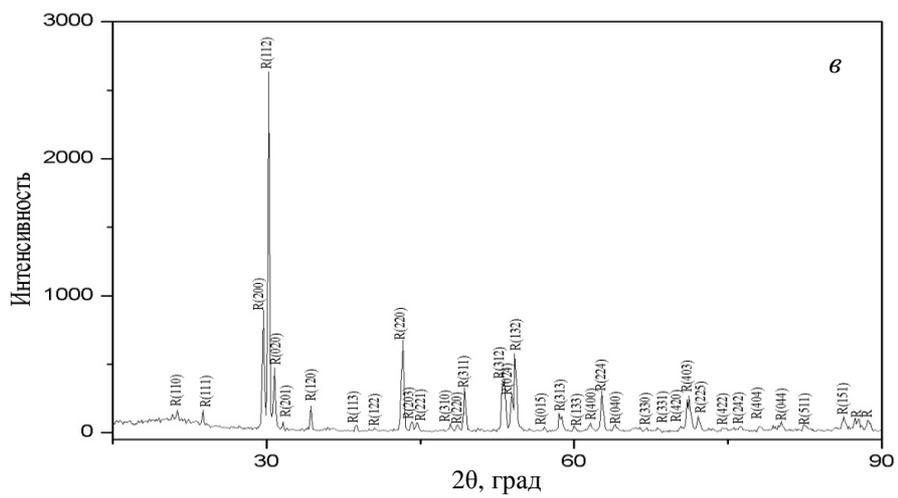
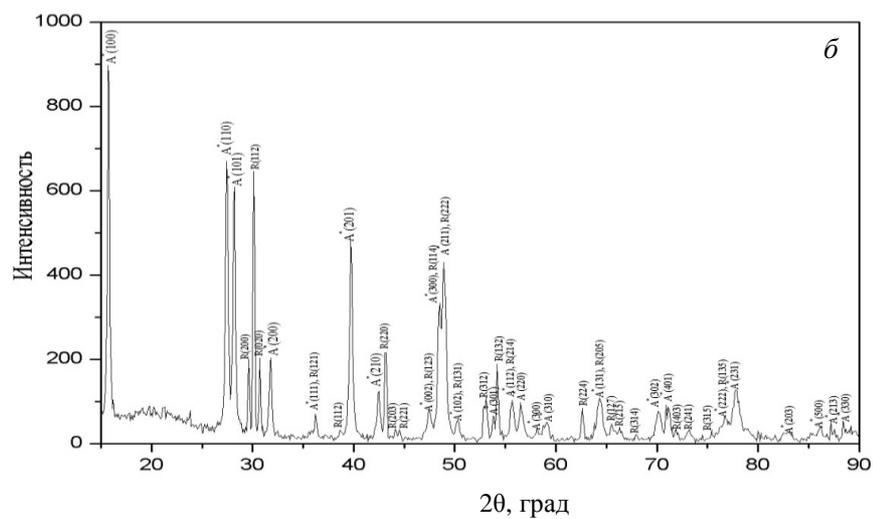
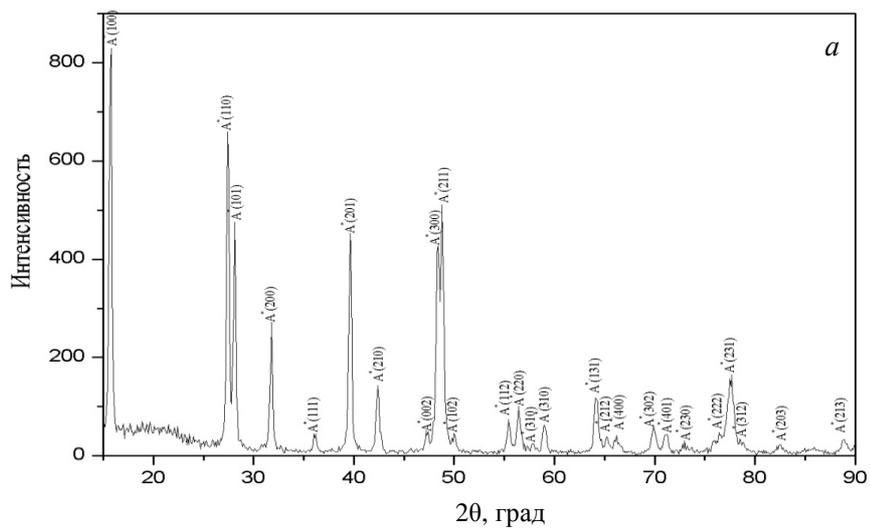


Рис. 3, а—в.

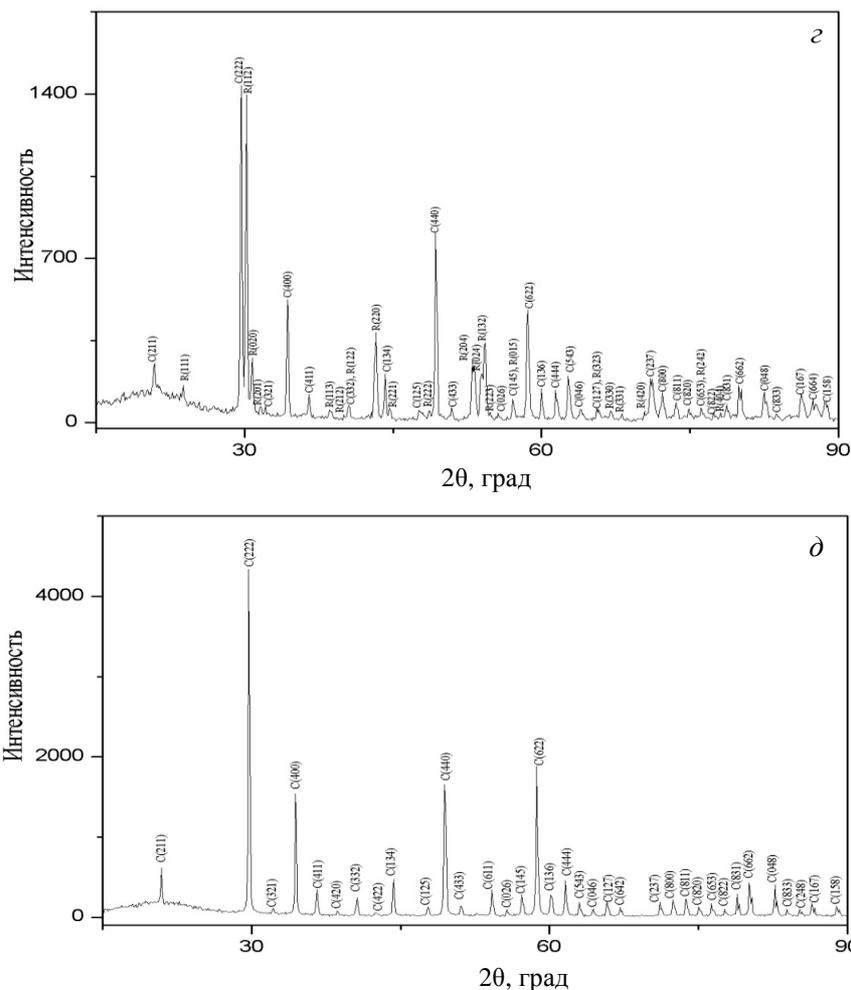


Рис. 3. Дифрактограммы образцов системы $\text{La}_2\text{O}_3\text{—Yb}_2\text{O}_3$ после обжига образцов при $1500\text{ }^\circ\text{C}$: *a* — 100% (мол.) La_2O_3 , ($\text{A}^*\text{-La(OH)}_3$); *b* — 85% (мол.) $\text{La}_2\text{O}_3\text{—}15\%$ (мол.) Yb_2O_3 , ($\text{A}^*\text{-La(OH)}_3 + \text{R}$); *c* — 49% (мол.) $\text{La}_2\text{O}_3\text{—}51\%$ (мол.) Yb_2O_3 , (R, LaYbO_3); *z* — 30% (мол.) $\text{La}_2\text{O}_3\text{—}70\%$ (мол.) Yb_2O_3 , ($\text{R} + \text{C}$); *d* — 1% (мол.) $\text{La}_2\text{O}_3\text{—}99\%$ (мол.) Yb_2O_3 , (C).

лантана A-La(OH)_3 , поскольку оксид лантана на воздухе гидратирует. Периоды кристаллической решетки изменяются от $a = 0,6523\text{ нм}$, $c = 0,3855\text{ нм}$ для чистого La(OH)_3 до $a = 0,6557\text{ нм}$, $c = 0,3864\text{ нм}$ для двухфазного образца ($\text{A} + \text{R}$), содержащего 55% (мол.) $\text{La}_2\text{O}_3\text{—}45\%$ (мол.) Yb_2O_3 ($1500\text{ }^\circ\text{C}$).

Периоды кристаллической решетки R-фазы изменяются от $a = 0,6015$, $b = 0,5805$, $c = 0,8438\text{ нм}$ для однофазного образца, содержащего 50% (мол.) La_2O_3 до $a = 0,6033$, $b = 0,5846$, $c = 0,8395\text{ нм}$ для двухфазного образца ($\text{R} + \text{C}$), содержащего 40% (мол.) La_2O_3 . Данные рентгенофазового анализа и концентрационные зависимости периодов кристаллической решетки позволили установить, что упорядоченная фаза LaYbO_3 (R) при температуре $1500\text{ }^\circ\text{C}$ существует в интервале концентраций 48—56% (мол.) Yb_2O_3 .

Исходные химический (% (мол.)) и фазовый составы, периоды кристаллических решеток фаз после обжига образцов системы La₂O₃—Yb₂O₃ при 1500 °С, 50 ч (по данным РФА и петрографии)

Химический состав, % (мол.)		Фазовый состав	Периоды кристаллических решеток фаз, нм ($a \pm 0,0004$)					
La ₂ O ₃	Yb ₂ O ₃		<A>*		<C>	R		
			<i>a</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
100	0	<A>*	0,6523	0,3855	—			
95	5	<A>*осн.	0,6511	0,3829	—			
90	10	<A>* осн. + R	0,6505	0,3840	—	0,5875	0,5958	0,8509
85	15	<A>* + R↑	0,6551	0,3831	—	0,5875	0,6069	0,8481
80	20	<A>* + R↑	0,6573	0,3850	—	0,5848	0,5982	0,8455
75	25	<A>*↓ + R↑	0,6532	0,3827	—	0,5853	0,6045	0,8330
70	30	<A>*↓ + R↑	0,6555	0,3849	—	0,5878	0,6062	0,8641
65	35	<A>*↓ + R↑	0,6565	0,3859	—	0,5994	0,5824	0,8435
60	40	<A>*↓↓ + R↑↑	0,6553	0,3861	—	0,6022	0,5800	0,8440
55	45	<A>*↓↓ + R↑↑	0,6557	0,3864	—	0,6028	0,5802	0,8441
50	50	R	—	—	—	0,6015	0,5805	0,8438
49	51	R	—	—	—	0,6012	0,5803	0,8430
48	52	R	—	—	—	0,6026	0,5817	0,8418
47	53	R	—	—	—	0,6021	0,5817	0,8411
46	54	R	—	—	—	0,6024	0,5813	0,8402
45	55	R осн.	—	—	—	0,6016	0,5814	0,8404
40	60	<C> + R	—	—	1,0461	0,6033	0,5846	0,8395
35	65	<C> + R	—	—	1,0452	0,6025	0,5846	0,8380
30	70	<C> + R	—	—	1,0455	0,6026	0,5822	0,8372
25	75	<C>↑ + R↓	—	—	1,0461	0,6042	0,5806	0,8492
20	80	<C>↑ + R↓	—	—	1,0458	0,6021	0,5822	0,8390
15	85	<C>↑↑ + R↓↓	—	—	1,0453	0,6020	0,5822	0,8402
10	90	<C>↑↑ + R↓↓	—	—	1,0454	0,5996	0,5823	0,8411
5	95	<C> + R сл.	—	—	1,0456	—	—	—
4	96	<C> + R↓	—	—	1,0458	—	—	—
3	97	<C> + R↓↓	—	—	1,0457	—	—	—
2	98	<C>	—	—	1,0453	—	—	—
1	99	<C>	—	—	1,0439	—	—	—
0	100	<C>	—	—	1,0432	—	—	—

*При заданных условиях ($T = 1500$ °С, 50 ч, на воздухе) гексагональная модификация A-La₂O₃ в указанных составах не закаливается, вместо нее наблюдали образование гексагональной модификации A-La(OH)₃. Обозначения фаз: <A> — твердые растворы на основе гексагональной модификации La₂O₃; <C> — твердые растворы на основе кубической модификации Yb₂O₃; R — упорядоченная фаза LaYbO₃ типа перовскита; осн. — фаза, составляющая основу; сл. — следы фазы; ↑, ↓ — содержание фазы, соответственно, увеличивается и уменьшается.

Дифрактограммы образцов, характеризующие фазовые области твердых растворов в системе La₂O₃—Yb₂O₃ при 1500 °С, представлены на рис. 3. Для определения положения границ фазовых полей наряду с рентгеновскими

данными о фазовом составе образцов использовали петрографические исследования. Подтверждены данные РФА для двухфазного (С + R) образца, содержащего 10% (мол.) La_2O_3 —90% (мол.) Yb_2O_3 . В этом образце четко проявляются две структурные составляющие в виде полупрозрачной изотропной фазы С- Yb_2O_3 , являющейся основой, и анизотропной с яркими цветами интерференции фазы LaYbO_3 , которая находится в заметно меньшем количестве. Установлено, что в концентрационном интервале 3—5% (мол.) La_2O_3 в образцах наряду с изотропной фазой С- Yb_2O_3 явно присутствует анизотропная R-фаза. Содержание анизотропной фазы LaYbO_3 заметно снижается с увеличением концентрации Yb_2O_3 . Для образца состава 2% (мол.) La_2O_3 —98% (мол.) Yb_2O_3 обнаружена только одна изотропная фаза — С- Yb_2O_3 .

Таким образом, изучены фазовые соотношения в системе La_2O_3 — Yb_2O_3 при температуре 1500 °С. Установлено, что для исследованной системы характерно образование ограниченных твердых растворов трех типов: С- Yb_2O_3 , А- La_2O_3 и LaYbO_3 (R), которые разделяют широкие гетерогенные области (А + R) и (С + R).

Работа выполнена при поддержке УНТЦ (грант AFOSR-STCU, Р 513, 2012-2014).

1. Wang S. F. Transparent ceramics: Processing, materials and applications / [S. F. Wang, J. Zhang, D. W. Luo et al.] // Progress in Solid State Chem. — 2013. — **41**. — P. 20—54.
2. Sanghera Jas. Transparent ceramics for high-energy laser systems / [Jas Sanghera, Shyam Bayya, Guillermo Villalobos et al.] // Optical Mater. — 2011. — **33**. — P. 511—518.
3. Boniecki Marek. Fracture toughness, strength and creep of transparent ceramics at high temperature / [Marek Boniecki, Zdzisław Librant, Anna Wajler et al.] // Ceram. Internat. — 2012. — **38**. — P. 4517—4524.
4. Выдрик Г. А. Прозрачная керамика / Г. А. Выдрик, Т. В. Соловьева, Ф. Я. Харитонов. — М. : Энергия, 1980. — 96 с.
5. Narasimha S. Prasad. Development of ceramic solid-state laser host materials / [Narasimha S. Prasad, Sudhir Trivedi, Susan Kutcher et al.] // Narasimha.s.prasad@nasa.gov
6. By Shi Chen. New opportunities for transparent ceramics / By Shi Chen and Yiquan Wu // Amer. Ceram. Soc. Bull. — 2013. — No. 2. — P. 32—37.
7. Chen Y. Spectroscopic properties of Yb^{3+} ions in $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ crystal / [Y. Chen, X. Lin, Y. Lin, Z. Luo] // Solid State Comm. — 2004. — **132**. — P. 533—538.
8. Gong X. Crystal growth and spectral properties of Pr^{3+} : $\text{La}_2(\text{WO}_4)_3$ / X. Gong, F. Xiong, Y. Lin // Mater. Res. Bull. — 2007. — **42**. — P. 413—419.
9. Lakshminarasimhan N. Luminescent host lattices, LaInO_3 and LaGaO_3 —A reinvestigation of luminescence of d10 metal ions / N. Lakshminarasimhan, U. V. Varadaraju // Ibid. — 2006. — **41**. — P. 724—731.
10. McNaught S. J. 100 kW coherently combined slab MOPAs / [S. J. McNaught, H. Komine, S. B. Weiss et al.] // Proc. conf. on Lasers and Electro-Optics and Quantum Electronics and Laser Science conf. (CLEO/QELS 2009) (IEEE, 2009) paper CThA1.
11. Akiyama Jun. Laser ceramics with rare-earth-doped anisotropic materials / Jun Akiyama, Yoichi Sato, and Takunori Taira // Optics Lett. — 2010. — **35**, No. 21. — P. 3598—3600.
12. Taira T. Domain-controlled laser ceramics toward Giant Micro-photonics // Optical Mater. Express. — 2011. — **1**, is. 5. — P. 1040—1050.
13. Wei-tao Su. Optical properties and thermal stability of LaYbO_3 ternary oxide for high-k / Su Wei-tao, Li Yang, Li Bin // Appl. Surface Sci. — 2011. — **257**. — P. 2526—2530.
14. Арсеньев П. А. Соединения редкоземельных элементов. Системы с оксидами элементов I—III групп / [П. А. Арсеньев, Л. М. Ковба, Х. С. Багдасаров и др.]. — М. : Наука, 1983. — 280 с.
15. Masahiro Yoshimura. Various solid solutions in the systems Y_2O_3 — R_2O_3 (R — La, Nd, and Sm) at high temperature / Masahiro Yoshimura, Xiao-Zheng Rong // J. of Mater. Sci. Lett. — 1997. — **16**. — P. 1961—1963.

16. Глушкова В. Б. Полиморфизм окислов редкоземельных элементов. — Л. : Наука, 1967. — 134 с.
17. Андриевская Е. Р. Фазовые равновесия в системах оксидов гафния, циркония и иттрия с оксидами редкоземельных элементов: Монография. — К. : Наук. думка, 2010. — 470 с.
18. Ahrens L. H. Use of ionization potentials I ionic radii of the elements // Geochim. et Cosmochim. Acta. — 1952. — No. 2. — P. 155—158.
19. Andrievskaya E. R. Phase equilibria in the refractory oxide systems of zirconia, hafnia and yttria with rare-earth oxides // J. of the European Ceram. Soc. — 2008. — **28**, No. 12. — P. 2363—2388.
20. Coutures J. Etude a haute temperature des systems formes par le sesquioxyde de lanthane et les sesquioxides de lanthanides. I. Diagrammes de phases ($1400\text{ }^{\circ}\text{C} < T < T_{\text{Liquide}}$) / [J. Coutures, A. Rouanet, R. Verges, M. Foex] // J. Solid State Chem. — 1976. — **17**, No. 1—2. — P. 172—182.
21. Hk. Muller-Buschbaum. Zur kenntnis der kristallstruktur von LaYbO_3 / Hk. Muller-Buschbaum, Chr. L. Teske // Z. Anorg. Allg. Chem. — 1969. — Bd. 369. — P. 255—264.
22. Hk. Muller-Buschbaum. Untersuchung am system $\text{La}_2\text{O}_3\text{—Yb}_2\text{O}_3$ // Ibid. — 1969. — Bd. 369. — P. 249—254.
23. Traverser J. P. Etude du Polymorphisme des Sesquioxides de Terres Rares: These. — Grenoble, 1971. — 150 с.
24. Торопов С. А. Диаграммы состояния систем тугоплавких оксидов. — Л. : Наука, 1987.
25. Coutures J. Etude a haute temperature des systemes formes par les sesquioxides de lanthane avec les sesquioxides de lanthanides. II. Influence de la trempe sur la nature des phases obtenues a la temperature ambiante / J. Coutures, F. Sibieude, M. Foex // J. Solid State Chem. — 1976. — **17**, is. 4. — P. 377—384.

Взаємодія оксидів лантану та ітербію при температурі 1500 °С

О. В. Чудінович, О. Р. Андрієвська, Ж. Д. Богатирьова, Л. М. Спасьонова

Вперше досліджено фазові рівноваги в подвійній системі $\text{La}_2\text{O}_3\text{—Yb}_2\text{O}_3$ при температурі 1500 °С у всьому інтервалі концентрацій. Зразки різних складів отримані з розчинів азотнокислих солей випарюванням, сушкою і термообробкою при температурах 1100 та 1500 °С. Використано рентгенофазовий та мікроструктурний аналізи. Встановлено, що в системі утворюються тверді розчини на основі різних кристалічних модифікацій вихідних компонентів та упорядкованої фази LaYbO_3 . Визначено границі розчинності та концентраційні залежності періодів кристалічних ґраток фаз, що утворюються в системі.

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

Interaction of the lanthana with ytterbia at temperature 1500 °C

O. V. Chudinovych, E. R. Andrievskaya, J. D. Bogatyryova, L. N. Spasyonova

Phase equilibria in the binary $\text{La}_2\text{O}_3\text{—Yb}_2\text{O}_3$ system at 1500 °C were studied by X-ray diffraction and petrography in the overall concentration range. The samples of different compositions have been prepared from nitrate acid solutions by evaporation, drying, and calcinations at 1100 and 1500 °C. The solid solutions based on various polymorphous forms of constituent phases and ordered phase of LaYbO_3 were revealed in the system. The boundaries of mutual solubility and concentration dependences the lattice parameters for all phases have been determined.

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