

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НА ФОРМИРОВАНИЕ
КОМПОЗИТА $Y_{3-x}La_xFe_{5-y}O_{12+\delta}/La_{1-x}Y_xFe_{1-y}O_3$**

О.И. Гырдасова¹, А.Е. Степанов², С.В. Наумов³, С.Н. Шкерин⁴

¹ФГБУН «Институт химии твердого тела Уральского отделения

Российской академии наук»

620990, Россия, Екатеринбург, ул. Первомайская, 91

²ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19

³ФГБУН «Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения

Российской академии наук»

620108, Россия, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18

⁴ФГБУН «Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения

Российской академии наук»

620990, Россия, Екатеринбург, ул. Академическая, 20

gyrdasova@ihim.uran.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2022.14.583

Аннотация: Выращиванием из гомогенного расплава методом бестигельной зонной плавки получены стеклообразные композитные материалы, имеющие высокие значения кислородной проводимости. Отмечена сложная архитектура композита: основной фазой является высокодефектный по катионной и анионной подрешеткам $Y_{3-x}La_xFe_{5-y}O_{12+\delta}$ со структурой граната, внутри которого наблюдается прораствание нитевидных кристаллов $La_{1-x}Y_xFe_{1-y}O_3$ со структурой перовскита. Исследовано влияние метода синтеза поликристаллических прекурсоров, использованных в качестве сырья для получения расплава, на формирование структуры композитов $La_{1-x}Y_xFe_{1-y}O_3/Y_{3-x}La_xFe_{5-y}O_{12+\delta}$. Композит, полученный из прекурсора сформированного формиатным методом содержит ~87 мол.% основной фазы. Композит полученный из прекурсора сформированного методом СВС ~76 мол.% фазы граната. Полученные композиты имеют выделенное направление роста основной фазы $Y_{3-x}La_xFe_{5-y}O_{12+\delta} <100>$.

Ключевые слова: феррит иттрия, структуры граната, синтез, прекурсоры, морфология, композиты, кислородная проводимость.

1. Введение

Материалы со структурой граната $A_3B_2C_3O_{12}$ характеризуются наличием трех катионных позиций, отличающихся симметрией первой координационной сферы: для катионов A координационное число равно восьми, B – шести, C – четырем. Среди всех гранатов выделяются ферриты редкоземельных металлов, в которых позиции B и C заполнены катионами железа, характеризующиеся общим составом $M_3Fe_2Fe_3O_{12}$. Кристаллическая структура $Y_3Fe_5O_{12}$ (YIG) установлена в 1956 г. [1]. Низкие диэлектрические потери и высокое удельное сопротивление сделали его широко используемым соединением в устройствах СВЧ [2, 3]. Известно, что удельное сопротивление YIG понижается легированием в широком

диапазоне [4, 5]. Данные материалы имеют ряд уникальных свойств, таких как термохромизм [6] и аномалии магнитных свойств [7, 8]. Рядом исследователей отмечается высокая чувствительность YIG к возникающим при допировании дефектам структуры, особенно кислородной нестехиометрии, и связанная с этим невоспроизводимость важных физических свойств [7]. Исследование кислород-ионной проводимости оксидных соединений является наиболее доступным способом оценки концентрации кислородных вакансий. Материалы с высокими значениями кислородной проводимости при низких температурах традиционно являются перспективными материалами для твердооксидного топливного элемента (ТОТЭ) [3, 5]. В нелегированных гранатах $Y_3Fe_5O_{12}$ кислород-ионная проводимость имеет невысокие значения даже при высокой температуре ($\sim 10^{-4} \text{ S cm}^{-1}$ при $\sim 1000^\circ\text{C}$) в первую очередь из-за недоступности адекватных путей миграции ионов кислорода [9]. Формально кислородную проводимость в YIG обеспечивают железокислородные полиэдры, в то время как искаженные додекаэдры $Y-O_8$ в ней не участвуют. Умеренное замещение катиона иттрия лантаном (III) благодаря разнице в ионных радиусах способствует увеличению дефектности в кислородной решетке и создает предпосылки для возникновения непрерывных путей миграции кислорода. Несколько лет назад появилось сообщение о существенном повышении кислородной проводимости YIG при допировании его лантаном [10, 11]. Известно, что метод синтеза YIG кардинально влияет на формирование дефектной структуры и связанные с ней магнитные и электрические характеристики материала [12]. Описанные в литературе способы синтеза позволяют получить $Y_{3-x}La_xFe_5O_{12}$ в поликристаллическом состоянии. В этом случае вклады зерен, пор и их границ в общую проводимость существенны. Поиск новых методов получения газоплотной керамики $Y_{3-x}La_xFe_5O_{12}$ со структурой граната в связи с перспективностью использования ее в качестве материалов кислород-проводящих мембран и электродов высокотемпературных топливных элементов на сегодняшний день является актуальной исследовательской задачей. По способам выращивания монокристаллов выделяют следующие методы: выращивание монокристаллов из расплава, из раствора, из газовой среды и из поликристаллического образца. Выбор метода выращивания определяется областью устойчивости вещества, типом и температурой фазовых переходов, химическими свойствами, давлением насыщенного пара.

Цель представленной работы заключалась в получении и комплексном исследовании газоплотного $(Y_{0,82}La_{0,18})_3Fe_5O_{12}$. Доля

допирующей добавки соответствует области составов, где наблюдались аномально высокие значения кислород-ионной проводимости [10]. Исследование направлено на решение задач препаративной нанохимии в создании новых функциональных материалов с комплексом полезных свойств.

2. Экспериментальная часть

Получение $(Y_{0,82}La_{0,18})_3Fe_5O_{12}$ осуществлялось в два основных этапа: I – синтез прекурсоров (*a*: СВС-метод с использованием $(NH_4)_3C_6H_5O_7$ и *б*: термолиз сложного формиата $(Y_{0,82}La_{0,18})_3Fe_5[HCOO]_{24} \cdot nH_2O$); II – выращивание стеклообразных образцов керамики (композитов) методом бестигельной зонной плавки (БЗП).

Синтез феррита $(Y_{0,82}La_{0,18})_3Fe_5O_{12}$:

a – в методе СВС в растворе 0,1 М HNO_3 растворяли прокаленные при $400^\circ C$ оксиды иттрия Y_2O_3 , лантана La_2O_3 (ч.д.а.) и нитрат железа $Fe(NO_3)_2 \cdot 9H_2O$ (ч.д.а.), взятые в стехиометрических отношениях. В гомогенный раствор нитратов в качестве горючего вводили цитрат аммония $(NH_4)_3C_6H_5O_7$ и упаривали раствор до инициирования СВС процесса. Продукт отжигали 6 часов при постепенном повышении температуры с 350 до $600^\circ C$.

б – в формиатном методе смешанный формиат $(Y_{0,82}La_{0,18})_3Fe_5[HCOO]_{24} \cdot nH_2O$, полученный прямым воздействием концентрированной муравьиной кислоты на стехиометрические смеси нитратов иттрия, лантана и железа по описанной ранее технологии [13], был отожден при $600^\circ C$.

Для формирования заготовок для роста композитов порошки, полученные двумя методами, были спрессованы в виде столбиков $5 \times 5 \times 50$ мм, которые затем отжигались при температуре $1300^\circ C$ в течение 12 часов. Рост композитов иттрий-замещенного граната $(Y_{0,82}La_{0,18})_3Fe_5O_{12}$ проводился в установке зонной плавки УРН-2-ЗП (МЭИ, Москва) в атмосфере кислорода при давлении 7 атм.

Фазовый анализ прекурсоров и композитов проводили в автоматическом режиме на дифрактометре STADI-P (STOE, Germany) в $CrK_{\alpha 1}$ излучении. Для идентификации использовали данные картотеки PDF-2 (ICDD Release 2016). В качестве стандарта использован поликристаллический кремний ($a = 5,43075(5) \text{ \AA}$).

Морфологические особенности частиц прекурсоров и продуктов зонной плавки исследованы методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на микроскопе JEOL JSM 6390LA (коэффициент

увеличения от $\times 5$ до $\times 300000$, разрешающая способность 3,0 нм при 30 кВ). Соответствие состава выделенных зон композитов установлено энергодисперсионным рентгеновским анализом (ЭДРА) с использованием анализатора EX-23010BU (количественная ошибка анализатора составляет 1% при напряжении на катоде 20 кВ и размере фокального пятна 60 нм).

3. Обсуждение результатов

Согласно данным СЭМ прекурсоры для синтеза $(Y_{0,82}La_{0,18})_3Fe_5O_{12}$ не зависимо от метода представляют собой неструктурированные поликристаллы с сопоставимыми размерами агрегатов (~ 80 нм) (см. рис. 1).

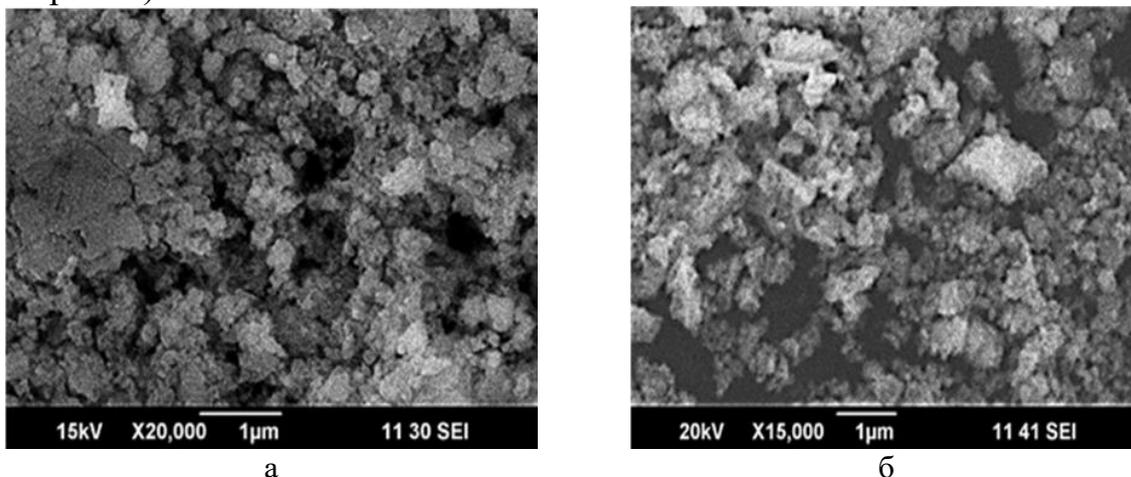


Рис. 1. СЭМ изображения прекурсоров, полученных по СВС-технологии (а) и термолизом формиатов (б).

Результаты РФА прекурсоров, отожжённых на воздухе при 600°C , при 1300°C и выращенных из них композитов $(Y_{0,82}La_{0,18})_3Fe_5O_{12}$ представлены на рис. 2 и в Таблице 1.

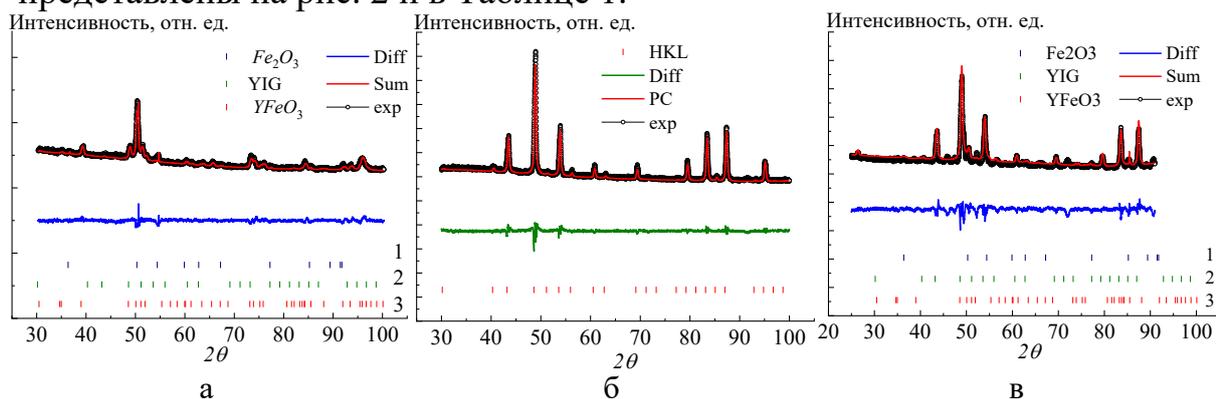


Рис. 2. Дифрактограммы $(Y_{0,82}La_{0,18})_3Fe_5O_{12}$: а – продукт термолиза СВС-прекурсора, б – заготовка, после спекания продукта термолиза СВС-прекурсора при 1300°C , в – перетертый композит. Положение Брегговских пиков показано штрихами: 1 – Fe_2O_3 , 2 – $La(Y)FeO_3$, 3 – $(YLa)_3Fe_5O_{12}$. Обозначения: diff – разностная, sum/PC – теоретическая/расчетная, exp – экспериментальные дифракционные линии.

Независимо от метода синтеза во всех поликристаллических прекурсорах присутствуют 3 фазы: основной является фаза предположительного состава $La(Y)FeO_3$ со структурой перовскита, второй по содержанию – Fe_2O_3 , железо-иттриевый гранат ($Y_3Fe_5O_{12}$) присутствует в виде незначительной примеси до 6 мол.%. Кристаллы, выращенные из расплава БЗП методом с использованием прекурсоров обоих типов, имеют дифракционный профиль однофазного $(Y_{0,82}La_{0,18})_3Fe_5O_{12}$ (см. рис. 2 б). При перетирании фазовый состав кристаллического образца обнаруживает структурную неоднородность (см. Таблицу 1).

Таблица 1. Фазовый состав образцов $(Y_{0,82}La_{0,18})_3Fe_5O_{12}$.

Метод синтеза прекурсоров	Тип образца	Фазовый состав, мол.%			Параметр элементарной ячейки $(YLa)_3Fe_5O_{12}$, Å
		Fe_2O_3	$La(Y)FeO_3$	$(YLa)_3Fe_5O_{12}$	
СВС	прекурсор	15,4	81,0	3,6	–
	заготовка	–	–	100	12,434(7)
	перетёртый композит	18,8	5,7	75,5	12,431(5)
Формиатный	прекурсор	38,4	55,6	6	–
	заготовка	–	–	100	12,437(3)
	перетёртый композит	5,6	7,6	86,6	12,432(5)

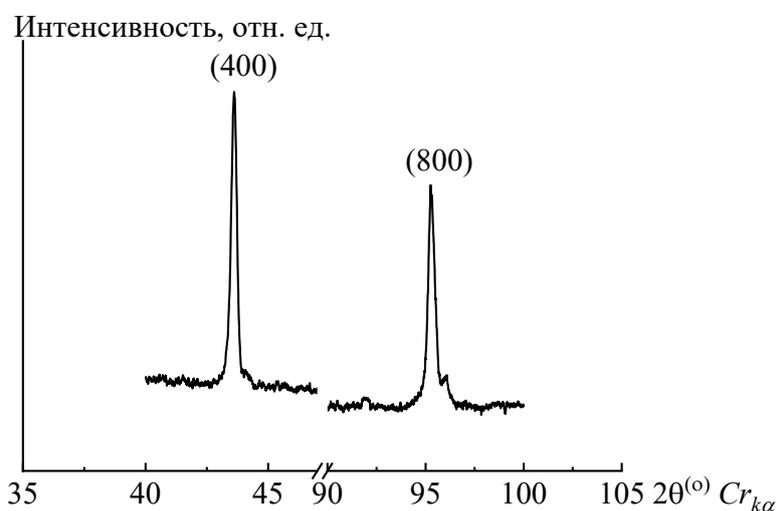


Рис. 3. Фрагмент дифрактограммы с плоскости перпендикулярной направлению роста кристалла.

Наличие совместных твердых растворов на основе $Y_3Fe_5O_{12}$ и $La(Y)FeO_3$ в структуре одного кристалла предполагает образование композита. Несмотря на композиционное строение материала, выращенный из расплава железо-иттриевый гранат $(Y_{0,82}La_{0,18})_3Fe_5O_{12}$ имеет выделенное направление роста $\langle 100 \rangle$, что показано на рис. 3.

Для установления внутренней структуры композитов были выполнены СЭМ-исследования сколов кристаллов перпендикулярно и параллельно направлению роста. Поверхность кристаллов в режиме детектирования проходящих электронов (SEI) представляет собой газоплотную керамику без пор и посторонних включений (см. рис. 4).

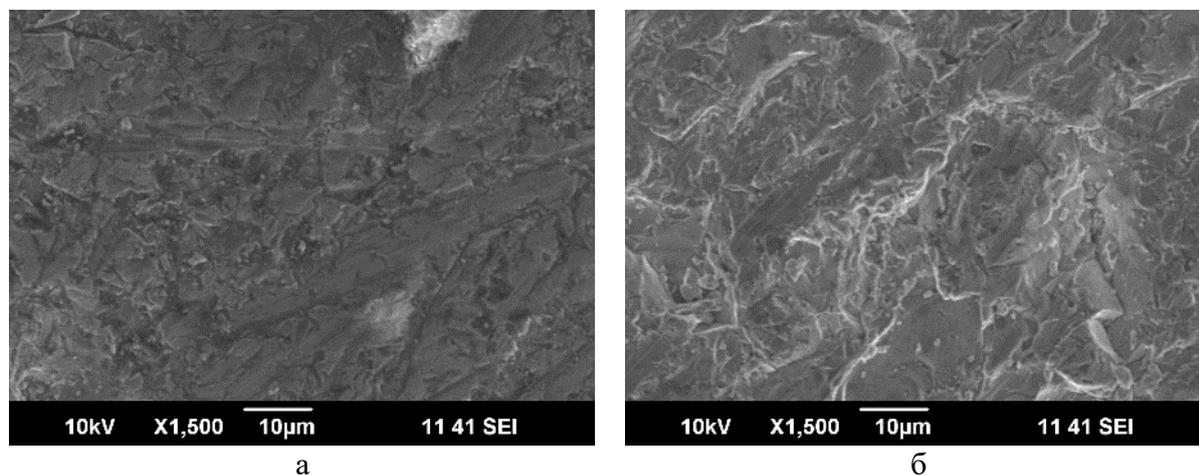


Рис. 4. СЭМ-изображение поверхности кристаллов, полученных методом БЗП из расплава прекурсоров: а – СВС технология, б – формиатная технология.

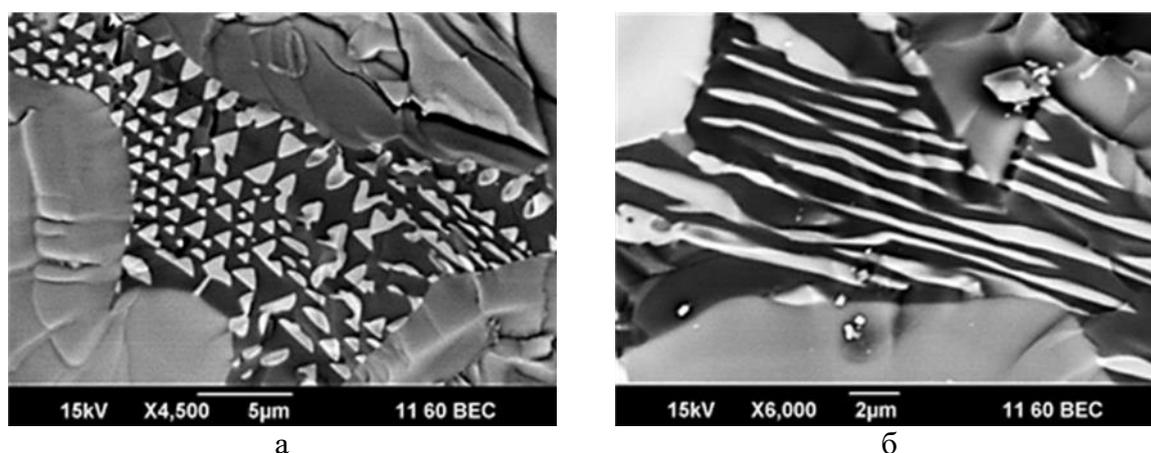


Рис. 5. СЭМ-изображения кристалла $(Y_{0,82}La_{0,18})_3Fe_3O_{12}$, полученного из формиатного прекурсора: а – поперечный скол, б – продольный скол.

Съемка в режиме отраженных электронов (BEC) продольного среза кристаллов обнаруживает сложную картину формирования фаз прорастания с повышенной концентрацией лантана в основной иттрий-содержащей фазе (см. рис. 5). Форма фазы прорастания зависит от предыстории получения кристаллов. Так в случае использования СВС-прекурсора фазы прорастания имеют форму дендритов. EDX анализ демонстрирует неравномерность распределения элементов по изучаемой поверхности образца (см. рис. 6).

По данным РФА и EDX-анализа выделенных зон: фаза прорастания соответствует перовскиту $La_{1-x}Y_xFeO_3$ ($0 \leq x \leq 0,05$); основная фаза композита

представляет собой твердый раствор $(Y_{1-x}La_x)_3Fe_5O_{12}$ ($0,03 \leq x \leq 0,17$). Поскольку фаза перовскита в композите присутствует в небольшом количестве, она занимает зернограничное пространство между крупными зернами железо-иттриевого граната.

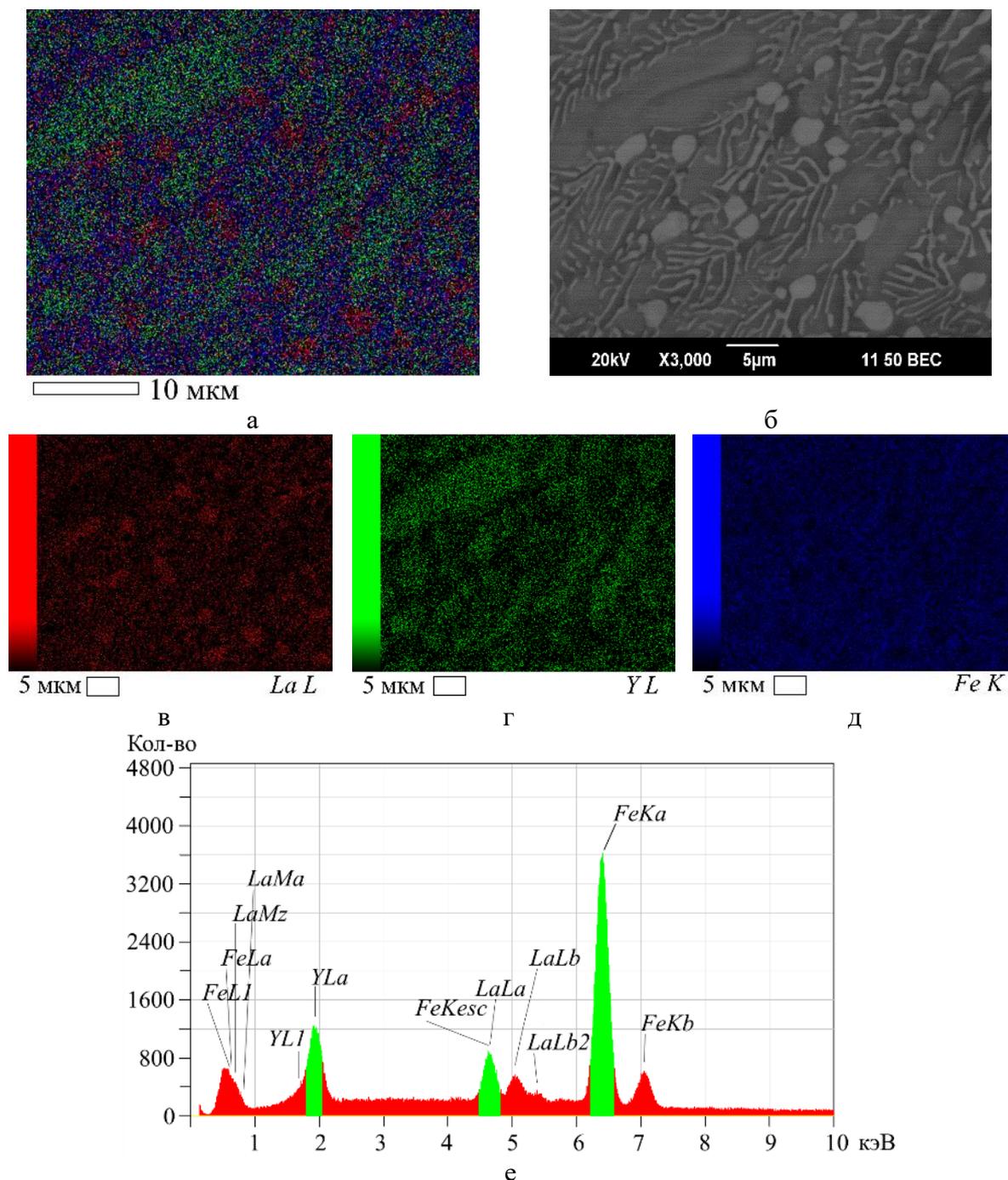


Рис. 6. СЭМ изображение поперечного среза кристалла, полученного плавлением СВС-прекурсора (режим ВЕС) с EDX исследованием выделенного участка.

Основное отличие композитов, полученных из формиатных прекурсоров, заключается в архитектуре фазы прорастания в структуру

кристалла. Фаза прорастания на поперечном сколе кристалла представлена правильными упорядоченными треугольниками (см. рис. 5 а) и непрерывными, практически параллельными каналами в направлении его роста (см. рис. 5 б).

4. Заключение

Таким образом, в условиях бестигельной зонной плавки из прекурсоров двух типов были получены газоплотные композиты $Y_{3-x}La_xFe_{5-y}O_{12+\delta}/La_{1-x}Y_xFe_{1-y}O_3$ со сложной внутренней архитектурой: основной фазой является $Y_{3-x}La_xFe_{5-y}O_{12+\delta}$ со структурой граната, внутри которой наблюдается прорастание нитевидных кристаллов перовскита $La_{1-x}Y_xFe_{1-y}O_3$. Композит, полученный из прекурсора сформированного формиатным методом содержит ~ 87 мол.% основной фазы, композит полученный из прекурсора сформированного методом СВС ~76 мол.%. Полученные композиты имеют выделенное направление роста основной фазы $Y_{3-x}La_xFe_{5-y}O_{12+\delta} \langle 100 \rangle$.

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием и планами научно-исследовательских работ ИХТТ УрО РАН (грант № АААА-А19-119031890025-9). Получение композитов методом бестигельной зонной плавки осуществлялось в рамках государственного задания Минобрнауки РФ (тема «Спин» г.р. 122021000036-3).

Библиографический список:

1. Geller, S. Structure and ferrimagnetism of yttrium and rareearth-iron garnets. / S. Geller, M.A. Gilleo // Acta Crystallographica. – 1957. – V. 10. – Part 3. – P. 239. DOI: 10.1107/S0365110X57000729.
2. Aichele, T. Garnet layers prepared by liquid phase epitaxy for microwave and magneto-optical applications – A review / T. Aichele, A. Lorenz, R. Hergt, P. Görnert // Crystal Research and Technology. – 2003. – V. 38. – I. 7-8. – P. 575-587. DOI: 10.1002/crat.200310071.
3. Harris, V.G. Recent advances in processing and applications of microwave ferrites / V.G. Harris, A. Geiler, Y. Chen et al. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials – 2009. – V. 321. – I. 14. – P. 2035-2047. DOI:10.1016/J.JMMM.2009.01.004
4. Elwell, D. Mechanism of electrical conduction in garnets / D. Elwell, A. Dixon // Solid State Communications – 1968. – V. 6. – I. 8. – P. 585-587. DOI: 10.1016/0022-4596(75)90315-1
5. Larsen, K. Electrical properties of yttrium iron garnet at high temperatures. / Larsen and R. Metselaar // Physical Review B. – 1976. – V. 14. – I. 6. – P.2520-2527. DOI: 10.1103/PhysRevB.14.2520.
6. Liu, H. Structure, optical spectroscopy properties and thermochromism of $Sm_3Fe_5O_{12}$ garnets / H. Liu, L. Yuan, S. Wang // Journal of Materials Chemistry C. – 2016. – V. 4. – I. 44. – P. 10529-10537. DOI: 10.1039/c6tc02830f.
7. Yamagishi, T. Ferrimagnetic order in the mixed garnet $(Y_{1-x}Gd_x)_3Fe_5O_{12}$ / T. Yamagishi, J. Awaka, Y. Kawashima et al. // Philosophical magazine. – 2006. – V. 85. – I. 17. – P. 1819-1833. DOI: 10.1080/09500830500038092.
8. Jiang, L. Synthesis and magnetic properties of nanocrystalline $Gd_3Fe_5O_{12}$ and $GdFeO_3$ powders prepared by sol-gel auto-combustion method / L. Jiang, S. Yang, M. Zheng, H. Chen, A. Wu // Materials Research Bulletin. – 2018. – V. 104. – P. 92-96. DOI: 10.1016/j.materresbull.2018.04.010.
9. Kharton, V. Ionic transport in $Gd_3Fe_5O_{12}$ and $Y_3Fe_5O_{12}$ -based garnets / V.V. Kharton, A.L. Shaula, E.N. Naumovich et al. // Journal of the Electrochemical Society. – 2003. – V. 150. – № 7. – P. J33-J42. DOI: 10.1149/1.1574810.
10. Bhosale, D.R. High oxide ion conductivity below 500 °C in the garnets $La_xY_{3-x}Fe_5O_{12+\delta}$ / D.R. Bhosale,

- S.M. Yusuf, A. Kumar et al. // *Physical Review Materials*. – 2017. – V. 1. – I. 1. – Art. № 015001. – 5 p. DOI: 10.1103/PhysRevMaterials.1.015001.
11. **Yousaf, M.** Evaluation of rare earth (Yb, La) doped ($\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$) garnet ferrite membrane for LT-SOFC / M. Yousaf, M. Akhtar, M.Y. Shah et al. // *International Journal of Hydrogen Energy* – 2021. – V. 46. – I. 15. – P. 9996-10006. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.01.166.
12. **Sharma, V.** Synthesis and characterization of yttrium iron garnet (YIG) nanoparticles - microwave material / V. Sharma, J. Saha, S. Patnaik, B. Kuanr // *AIP Advances*. – 2017. – V. 7. – I. 5. – P. 056405-1-056405-6. DOI: 10.1063/1.4973199.
13. **Гырдасова, О.И.** Сорбционная и фотокаталитическая активность $\text{Zn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}$ ($x=0,05$ и $0,15$) к As (III) в щелочной среде / О.И. Гырдасова, Л.А. Пасечник, В.Н. Красильников, В.Т. Суриков, М.В. Кузнецов // *Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов*. – 2020. – Вып. 12. \ – С. 792-804. DOI: 10.26456/pcascnn/2020.12.792.
14. **Porotnikova, N.** Effect of grain boundaries in $\text{La}_{0,84}\text{Sr}_{0,16}\text{CoO}_{3-\delta}$ on oxygen diffusivity and surface exchange kinetics. / N. Porotnikova, A. Farlenkov, S. Naumov et al. // *Physical Chemistry Chemical Physics*. – 2021. – V. 23. – I. 19. – P. 11272-11286. DOI: 10.1039/D1CP01099A.

References:

1. Geller S., Gilleo M.A. Structure and ferrimagnetism of yttrium and rareearth-iron garnets, *Acta Crystallographica*, 1957, vol. 10, part 3, pp. 239-246. DOI:10.1107/S0365110X57000729.
2. Aichele, T. Lorenz, R. Hergt, Görnert P. Garnet layers prepared by liquid phase epitaxy for microwave and magneto-optical applications, *Crystal Research and Technology*, 2003, vol. 38, issue 7-8, pp. 575-587, DOI:10.1002/crat.200310071.
3. Harris V.G., Geiler A., Chen Y. et al. Recent advances in processing and applications of microwave ferrites, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2009, vol. 321, issue 14, pp 2035-2047. DOI: 10.1016/J.JMMM.2009.01.004.
4. Elwell D., Dixon A. Mechanism of electrical conduction in garnets, *Solid State Communications*, 1968, vol. 6, issue 8, pp. 585-587. DOI: 10.1016/0022-4596(75)90315-1.
5. Larsen K., Metselaar R. Electrical properties of yttrium iron garnet at high temperatures, *Physical Review B*, 1976, vol. 14, issue 6, pp. 2520-2527. DOI: 10.1103/PhysRevB.14.2520.
6. Liu H., Yuan L., Wang S. et al. Structure, optical spectroscopy properties and thermochromism of $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ garnets, *Journal of Materials Chemistry C*, 2016, vol. 4, issue 44, pp. 10529-10537. DOI: 10.1039/c6tc02830f.
7. Yamagishi T., Awaka J., Kawashima Y. et al. Ferrimagnetic order in the mixed garnet $(\text{Y}_{1-x}\text{Gd}_x)_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, *Philosophical magazine*, 2006, vol. 85, issue 17, pp. 1819-1833. DOI: 10.1080/09500830500038092.
8. Jiang L., Yang S., Zheng M., Chen H., Wu A. Synthesis and magnetic properties of nanocrystalline $\text{Gd}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ and GdFeO_3 powders prepared by sol-gel auto-combustion method, *Materials Research Bulletin*, 2018, vol. 104, pp. 92-96. DOI: 10.1016/j.materresbull.2018.04.010.
9. Kharton V.V., Shaula A.L., Naumovich E.N. et al. Ionic transport in $\text{Gd}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ - and $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ -based garnets. *Journal of the Electrochemical Society*, 2003, vol. 150, no. 7, pp. J33-J42. DOI: 10.1149/1.1574810.
10. Bhosale D.R., Yusuf S.M., Kumar A. et al. High oxide ion conductivity below 500 °C in the garnets $\text{La}_x\text{Y}_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12+\delta}$. *Physical Review Materials*, 2017, vol. 1, issue 1, art. no. 015001, 5 p. DOI: 10.1103/PhysRevMaterials.1.015001.
11. Yousaf M., Akhtar M., Shah M.Y. et al. Evaluation of rare earth (Yb, La) doped ($\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$) garnet ferrite membrane for LT-SOFC. *International journal of Hydrogen Energy*, 2021, vol. 46, issue 15, pp. 9996-10006. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2020.01.166.
12. Sharma V., Saha J., Patnaik S., Kuanr B. Synthesis and characterization of yttrium iron garnet (YIG) nanoparticles - microwave material, *AIP Advances*, 2017, vol. 7, issue 5, pp. 056405-1-056405-6. DOI: 10.1063/1.4973199.
13. Gyrdasova O.I., Pasechnik L.A., Krasil'nikov V.N., Syrikov V.T., Kuznetsov M.V. Sorbcionnaya i fotokataliticheskaya aktivnost' $\text{Zn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}$ ($x=0,05$ and $0,15$) k As (III) v shchelochnoj srede [Sorption and photocatalytic activity of $\text{Zn}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}$ ($x=0,05$ i $0,15$) to As (III) in an alkaline medium], *Fiziko-khimicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov*[*Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials*], 2020, issue 12, pp. 792-804. DOI: 10.26456/pcascnn/2020.12.792. (In Russian).
14. Porotnikova N., Farlenkov A., Naumov S. et al. Effect of grain boundaries in $\text{La}_{0,84}\text{Sr}_{0,16}\text{CoO}_{3-\delta}$ on oxygen diffusivity and surface exchange kinetics, *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2021, vol. 23, issue 19, pp. 11272-11286 DOI:10.1039/D1CP01099A.

**EFFECT OF SYNTHESIS CONDITIONS ON THE FORMATION
OF $Y_{3-x}La_xFe_{5-y}O_{12+\delta}/La_{1-x}Y_xFe_{1-y}O_3$ COMPOSITE**

O.I. Gyrdasova¹, A.E. Stepanov², S.V. Naumov³, S.N. Shkerin⁴

¹*Institute of Solid State Chemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russia*

²*Ural Federal University named after the first President of B.N. Yeltsin, Russia*

³*Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Yekaterinburg, Russia*

⁴*Institute of High-Temperature Electrochemistry of the Ural Branch of RAS, Yekaterinburg, Russia*

DOI: 10.26456/pcascnn/2022.14.583

Abstract: Glass-like composite materials with high oxygen conductivity values were obtained by growing from a homogeneous melt by the method of non-melting zone melting. A complex architecture of the composite is observed: the main phase is highly defective in cationic and anionic sublattices $Y_{3-x}La_xFe_{5-y}O_{12+\delta}$ with a garnet structure, inside which the germination of filamentous crystals $La_{1-x}Y_xFe_{1-y}O_3$ with a perovskite structure is observed. The effect of the method of synthesis of polycrystalline precursors used as raw materials for the production of the melt on the formation of the structure of composites $La_{1-x}Y_xFe_{1-y}O_3/Y_{3-x}La_xFe_{5-y}O_{12+\delta}$ is investigated. The composite obtained from the precursor formed by the formate method contains ~87 mol.% of the main phase. The composite obtained from the precursor formed by the self-propagating high-temperature synthesis is ~76 mol.% of the garnet phase. The obtained composites have a certain growth direction of the main phase $Y_{3-x}La_xFe_{5-y}O_{12+\delta} <100>$.

Keywords: yttrium ferrite, garnet structures, synthesis, precursors, morphology, composites, oxygen conductivity.

Гырдасова Ольга Ивановна – к.х.н., ведущий научный сотрудник лаборатории неорганического синтеза, ФГБУН «Институт химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук»

Степанов Антон Евгеньевич – студент 4 курса Института новых материалов и технологий, ФГБУН «Уральского Федерального Университета им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Наумов Сергей Владимирович – к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории магнитных полупроводников ФГБУН «Институт Физики Металлов Уральского отделения Российской академии наук»

Шкерин Сергей Николаевич – д.х.н., главный научный сотрудник лаборатории электрохимического материаловедения, ФГБУН «Институт Высокотемпературной Электрохимии Уральского отделения Российской академии наук»

Olga I. Gyrdashova – Ph. D., Leading Researcher, Laboratory of Inorganic Synthesis, Institute of Solid State Chemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Anton E. Stepanov – 4th year student, Institute of New Materials and Technologies, Ural Federal University named after the first President of B.N. Yeltsin

Sergey V. Naumov – Ph. D., Senior Researcher, Laboratory of Magnetic Semiconductors, Institute of Metal Physics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Sergey N. Shkerin – Dr. Sc., Chief Researcher, Laboratory of Electrochemical Materials Science, Institute of High-Temperature Electrochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Поступила в редакцию/received: 07.08.2022; после рецензирования/revision: 12.09.2022; принята/accepted 16.09.2022.