

На рисунке 1 видно, что структура опытных образцов однородна, отчетливо видны кристаллы кварца и железосодержащих фаз.

Разработанные электроизоляционные керамические материалы оптимального состава характеризуются следующими свойствами: водопоглощением 0,15–9,2 %, открытой пористостью 0,37–24,1 %, кажущейся плотностью 2319,5–2529,0 кг/м<sup>3</sup>, температурным коэффициентом линейного расширения при 300 °С –  $(4,6–5,8) \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ , химической устойчивостью к щелочам – (98,4–99,8) %, к кислотам – (96,1–99,2) %, удельном объемным электрическим сопротивлением при 100 °С –  $10^{13}–10^{14} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , пробивной напряженностью 30–34 кВ/мм,  $T_E$  – 790–840 °С.

Список использованных источников

1. Масленникова, Г.Н. Технология электрокерамики / Г.Н. Масленникова. – М. : «Энергия», 1974 – 224 с.

**Слонская С.В., к.х.н., доцент; Лубинский Н.Н., к.х.н.  
Белорусский государственный аграрный технический  
университет, Минск, Республика Беларусь  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ  
ТВЕРДОГО РАСТВОРА ОРТОФЕРРИТА  $\text{SrFeO}_{3-\delta}$**

Ферриты типа  $\text{RFeO}_3$ , где R- ионы  $\text{Y}^{3+}$ ,  $\text{La}^{3+}$  и других редкоземельных элементов, кристаллизуются в структуре искаженного перовскита. В литературе, особенно в области физики магнитных явлений, их часто называют ортоферритами, рассматривая как соли ортокислоты  $\text{H}_3\text{FeO}_3$ . Наиболее подробно изучены их кристаллическая структура, магнитные и электрические свойства. Установлено, что ортоферриты редкоземельных элементов обладают слабым ферромагнетизмом. Они являются неколлинеарными антиферромагнетиками, температуры Нея которых заключены в интервале 620–720 К. У некоторых из них при определенной температуре происходит спин-переориентационный переход, т.е. изменение оси легкого намагничивания от оси  $a$  к оси  $c$ , или переориентационный переход от слабоферромагнитного состояния в антиферромагнитное состояние (переход типа Морина). Некоторое время считалось, что наличие самопроизвольной намагниченности у ортоферритов редкозе-

мельных элементов и  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  обусловлено присутствием различных примесей и дефектов кристаллической решетки. Однако затем теоретически и экспериментально было показано, что слабый спонтанный ферромагнетизм таких антиферромагнитных кристаллов как  $\text{CoCO}_3$ ,  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , ортоферритов  $\text{RFeO}_3$  является врожденным свойством и обусловлен отклонением спинов от строгой антипараллельности. Наиболее интенсивно магнитные и магнитооптические свойства ортоферритов редкоземельных элементов изучались в 70<sup>ые</sup> годы XX века в связи со специфической у них и у одноосных ферритов-гранатов доменной структуры, на основе которой были созданы принципиально новые запоминающие устройства, носителями информации которых являются подвижные магнитные домены цилиндрической формы микронных размеров. Кристаллическая структура, магнитные и электрические свойства ортоферритов щелочноземельных элементов  $\text{AFeO}_{3-\delta}$  ( $\text{A}=\text{Ca}^{2+}, \text{Sr}^{2+}, \text{Ba}^{2+}$ ) зависят от величины стехиометрического коэффициента ( $3-\delta$ ) содержания кислорода, который может меняться в интервале 2,5-3,0 [1]. Феррит стронция  $\text{SrFeO}_{2,5}$  ( $\text{SrO}\cdot 0,5\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) имеет кристаллическую орторомбическую структуру типа браунмиллера ( $\text{Ca}_2\text{AlFeO}_5$ ) и его химическая формула записывается как  $\text{Sr}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ , ( $2\text{Sr}^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{O}_{2,5}$ ). Согласно [1] ортоферрит  $\text{SrFeO}_{2,5}$  ( $\text{Sr}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ ) со структурой браунмиллерита получается при обжиге на воздухе смеси порошков ( $2\text{SrCO}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) при температурах выше 1473 К. Феррит стронция  $\text{SrFeO}_{3-\delta}$  при значениях кислородного коэффициента ( $3-\delta$ ) в интервале 2,72-3,0 имеет структуру перовскита, искажение которого и соотношение концентраций ионов  $\text{Fe}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  зависит от кислородной нестехиометрии, которая в свою очередь зависит от температуры и парциального давления кислорода [1]. Наиболее интенсивно физико-химические свойства твердых растворов со структурой перовскита на основе феррита  $\text{SrFeO}_{3-\delta}$  и кобальтита  $\text{SrCoO}_{3-\delta}$  стронция стали исследоваться после обнаружения у них большой кислород-ионной проницаемости и магнитосопротивления. Установлено, что твердые растворы  $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Co}_{1-y}\text{Fe}_y\text{O}_{3-\delta}$  являются перспективными материалами для изготовления керамических кислородпроницаемых мембран [2] и запоминающих устройств магниторезистивного типа. В связи с этим опубликовано значительное число работ, посвященных изучению электронной и ионной электропроводности, магнитных и дру-

гих свойств твердых растворов систем  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  [3]  $\text{SrFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_{3-\delta}$  [4] со структурой перовскита, в которых проведено соответственно частичное гетеровалентное замещение ионов  $\text{La}^{3+}$  ионами стронция  $\text{Sr}^{2+}$  и изовалентное замещение ионов железа  $\text{Fe}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  ионами  $\text{Co}^{4+}$ ,  $\text{Co}^{3+}$  находящихся в различных спиновых состояниях. При гетеровалентном частичном замещении ионов  $\text{La}^{3+}$  ионами  $\text{Sr}^{2+}$  в феррите  $\text{LaFeO}_3$  согласно условию электронейтральности эквивалентная часть ионов  $\text{Fe}^{3+}$  переходит в  $\text{Fe}^{4+}$ , что и приводит к существенному изменению электрических и магнитных свойств. При образовании твердых растворов  $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  на основе феррита  $\text{SrFeO}_{3-\delta}$  частичное замещение ионов  $\text{Sr}^{2+}$  ионами  $\text{La}^{3+}$  приводит в железной подрешетке к переходу эквивалентного количества ионов  $\text{Fe}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  в  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ . Для того, чтобы такой переход  $\text{Fe}^{4+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$  не происходил, в феррите  $\text{SrFeO}_{3-\delta}$  со структурой перовскита наряду с гетеровалентным замещением ионов  $\text{Sr}^{2+}$  ионами  $\text{La}^{3+}$ , необходимо провести гетеровалентное замещение ионов  $\text{Fe}^{4+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  ионами двухвалентных металлов ( $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ). Феррит стронция  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  со структурой магнетоплюмбита является магнитотвердым ферри-магнетиком и из него изготавливают керамические постоянные магниты, широко используемые в различных областях науки и техники. До недавнего времени величина энергетического произведения  $(\text{BH})_{\text{макс}}$  керамических анизотропных постоянных магнитов не превышало  $37 \text{ кДж/м}^3$ . Однако в 1997 г. появилось сообщение [5], в котором показано, что твердый раствор  $\text{Sr}_{0,7}\text{La}_{0,3}\text{Fe}_{11,7}\text{Zn}_{0,3}\text{O}_{19}$  позволяет изготавливать керамические постоянные магниты с величиной  $(\text{BH})_{\text{макс}} = 41 \text{ кДж/м}^3$ . Известно, что синтез феррита стронция  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  при нагревании смеси порошков ( $\text{SrCO}_3 + 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) при температурах 1300-1500 К протекает через промежуточную стадию образования ортоферрита стронция  $\text{SrFeO}_{3-\delta}$ , взаимодействие которого с оксидом  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  и приводит к образованию  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ . Вероятно, синтез твердого раствора  $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{12-x}\text{M}_x\text{O}_{19}$  (M-  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ) со структурой магнетоплюмбита можно также провести, если взять в качестве прекурсора твердый раствор  $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{1-x}\text{M}_x\text{O}_{3-\delta}$  со структурой перовскита или браунмиллерита. В связи с этим планируется изучить физико-химические свойства твердых растворов  $\text{Sr}_{0,7}\text{La}_{0,3}\text{Fe}_{0,7}\text{M}_{0,3}\text{O}_{3-\delta}$  (M-  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ , (MnZn), (MnCo), (CoZn), полученных керамическим методом.

Список использованных источников

1. Takeda, Y. Phase Relation in the Oxygen Nonstoichiometric System,  $\text{SrFeO}_x$  ( $2.5 \leq x \leq 3.0$ ) / Y. Takeda et al. // J. of Solid State Chemistry. – 1986. – Vol.63. – P. 237–249
2. Teraoka, Y. Oxygen permeation through perovskite-type oxides / Y. Teraoka et al. // Chem. Lett. – 1985. – P. 1743–1746.
3. Bahteeva, J.A. High-temperature ione transport in  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{FeO}_{3-\delta}$  / J.A. Bahteeva et al. // J. Solid State Electrochem. – 2004. – Vol.8. – P. 578–584.
4. Maignan, A. Magnetoresistance in the ferromagnetic metallic perovskite  $\text{Sr}_x\text{FeCo}_x\text{O}_8$  / A. Maignan et al. // Solid State Sciences. – 2001. – Vol.3. – P. 57–63.
5. Taguchi, T. High Energy Ferrite Magnets / T. Taguchi et al. // Supplement au Journal de Physique III de mars. – 1997. – P. C1-311-C1-312.

**Тульев В.В., к.ф.-м.н., доцент**

**Белорусский государственный технологический университет,**

**Минск, Республика Беларусь**

**ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ СТРУКТУР Me/Al,  
ПОЛУЧЕННЫХ ИОННО-АССИСТИРУЕМЫМ  
ОСАЖДЕНИЕМ**

Ионно-лучевые технологии являются перспективными методами модифицирования свойств поверхности материалов [1, 2]. В процессе модифицирования в поверхностных слоях происходят сложные физико-химические процессы способные существенно изменить структуру и свойства поверхности [1, 2]. Изучение процессов, протекающих на поверхности при осаждении металлсодержащих покрытий в условиях ионного ассистирования, представляется важным для определения оптимальных условий получения покрытий с необходимыми свойствами. В работе предпринята попытка установить закономерности процессов взаимопроникновения элементов подложки и покрытия при осаждении тонких металлсодержащих покрытий и установления характера распределения элементов в приповерхностных слоях модифицированных образцов.

В данной работе на подложку из алюминия осаждались покрытия на основе Mo и W при ускоряющем напряжении  $U = 7, 15, 20$  кВ и