

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ГЕКСАФЕРРИТНЫХ ФАЗ СИСТЕМЫ $\text{SrO-CoO-Fe}_2\text{O}_3$ И ТВЁРДЫХ РАСТВОРОВ НА ИХ ОСНОВЕ

© О. Ю. Дьяконица, В. М. Миннебаев

ОАО «НПП «Пульсар», 105187, г. Москва, Окружной пр., 27

В статье представлены результаты получения системы $\text{SrO-CoO-Fe}_2\text{O}_3$ и исследования свойств гексаферритных фаз. Приводятся результаты рентгенографических, диэлектрических и электрофизических измерений параметров системы. Исследованы температурные зависимости диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь и удельного сопротивления, влияющие на магнитоэлектрический эффект.

Ключевые слов: магнитоэлектрический эффект, синтез, гексаферрит, мессбауэровские спектры, твердые растворы, монокристалл, зонная плавка

Сведения об авторах: Дьяконица Олег Юрьевич, аспирант, oleg1852@rambler.ru; Миннебаев Вадим Минхатович, к.т.н, mail6@pulsarnpp.ru

ELECTROPHYSICAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF HEXAFERRITE PHASES OF $\text{SrO-CoO-Fe}_2\text{O}_3$ AND SOLID SOLUTIONS ON THEIR BASIS

O. Y. Dyakonitsa, V. M. Minnebaev

JCS «S&PE «Pulsar», 105187, Moscow, Okružhnoy proezd, 27

The article presents the results of system $\text{SrO-CoO-Fe}_2\text{O}_3$ creation and study of the hexaferrite phases properties. The results of x-ray, dielectric and electrophysical measurements of the main parameters of the system are presented. Temperature dependencies of dielectric permittivity and tangent of dielectric loss and impedance that affect the magnetoelectric effect are investigated.

Keywords: magnetoelectric effect, synthesis, hexaferrite, mossbauer spectrum, solid solutions, monocrystal, zone melting

Data of authors: Dyakonitsa Oleg Yurievich, postgraduate, oleg1852@rambler.ru; Minnebaev Vadim Minkhatovich, Ph.D., mail6@pulsarnpp.ru

Введение

Последние годы характеризуются резким повышением интереса к магнитоэлектрическим веществам, проявляющим сильный магнитоэлектрический (МЭ) эффект. Этот эффект даёт возможность управлять электрическим полем магнитными свойствами материала и осуществлять моду-

ляцию электрических свойств магнитным полем, что открывает заманчивые перспективы его использования в спинтронике, элементах памяти, устройствах СВЧ-электроники, сенсорной технике и др. [1-6].

Слабая МЭ связь и (или) низкие температуры её проявления в большинстве известных МЭ фазах тормозят реализацию указанных перспектив. Поэтому особый ин-

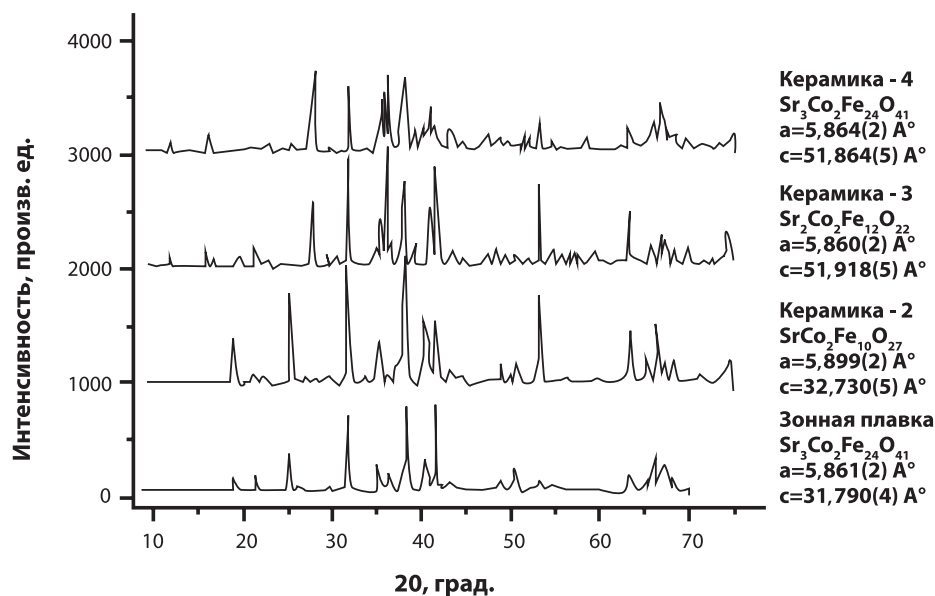


Рис. 1

Дифрактограммы керамических образцов 2-4, отожжённых при 1200 °С в течение 24 часов, и слитка $Sr_3Co_2Fe_{24}O_{41}$, полученного зонной плавкой (CoK $_{\alpha}$ -излучение)

терес представляют выявленные в последние годы магнитоэлектрики нового типа (так называемые мультиферроики II типа), в которых сегнетоэлектричество индуцируется переходом в магнитоупорядоченное состояние [1-4]. Из-за непосредственной связи намагниченности и электрической поляризации в таких веществах они могут проявлять гигантские МЭ, магнитоёмкостные и другие интересные с научной и практической точек зрения эффекты.

Выполнено большое число работ, посвящённых разработке различных технологий синтеза, получению и изучению свойств однофазных и композитных МЭ образцов [1-5]. Особый интерес вызывает при этом пока немногочисленная группа магнитоэлектриков с высокими температурами магнитного и сегнетоэлектрического упорядочений ($BiFeO_3$, $Sr_3Co_2Fe_{24}O_{41}$), а также магнитоэлектриков с не равной нулю результирующей намагниченностью (ACr_2O_4 , $A=Co, Ni, Fe; Sr_3Co_2Fe_{24}O_{41}$). Получение и изучение новых твёрдых растворов на основе этих МЭ фаз должно способствовать выяснению механизмов МЭ взаимодействий, расширению круга перспективных МЭ веществ с варьирующимися в широких пределах физико-химическими и физическими свойствами.

В связи с изложенным работа посвящена физико-технологическим исследованиям процессов синтеза, получению и изучению новых твёрдых растворов на основе перспективных МЭ фаз типа $Sr_3Co_2Fe_{24}O_{41}$, которые являются актуальными как с научной, так и с практической точек зрения.

Получение образцов и их рентгеновский фазовый анализ

Для получения монокристаллических образцов осуществлена зонная плавка керамических стержней $Sr_3Co_2Fe_{24}O_{41}$. Получены цилиндрические булы диаметром 8 мм и длиной до 20 мм.

Получение образцов гексаферритных фаз $SrFe_{12}O_{19}$ (M-типа, 1), $SrCo_2Fe_{16}O_{27}$ (W-тип, 2), $Sr_2Co_2Fe_{12}O_{22}$ (Y-типа, 3), $Sr_3Co_2Fe_{24}O_{41}$ (Z-типа, 4) и $PbFe_{12}O_{19}$ (M-типа, 5) осуществлено методом твердофазных реакций в воздушной атмосфере.

Дифрактограммы керамик 2-4, результаты их индексования и данные о размерах элементарной ячейки приведены на рис. 1.

Результаты измерений показывают, что после длительного отжига смесей, соответствующих по составу гексаферритным фазам W-, Y- и Z-типов, основными фазами

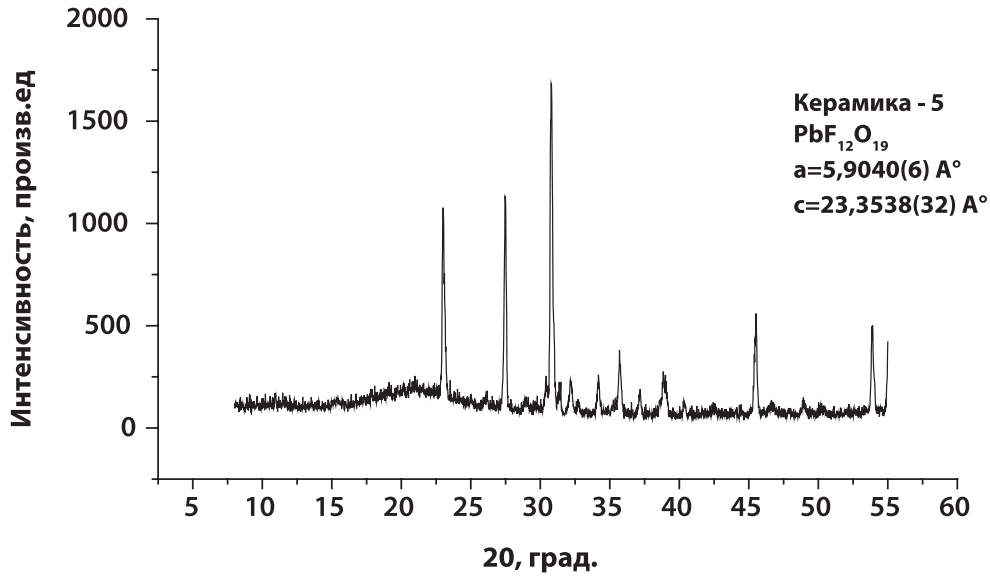


Рис. 2

Дифрактограмма керамического образца 5, отожжённого при 1200 °С в течение 24 часов

в полученных образцах были гексаферритные фазы W- и Z-типов, соответственно.

По результатам индирования рентгенограмм керамических образцов были определены параметры элементарных ячеек гексаферритных фаз M-, W- или Z-типа: $a = 5,875(5)$, $c = 23,037(5)$ Å (M, состав 1); $a = 5,900(5)$, $c = 32,73(1)$ Å (W, состав 2);

$a = 5,860(2)$, $c = 51,92(1)$ Å (Z, состав 3); $a = 5,864(2)$, $c = 51,864(5)$ Å (Z, состав 4); $a = 5,9040(6)$, $c = 23,3538(32)$ Å (M, состав 5).

Размеры гексагональной элементарной ячейки фазы M-типа в керамике $SrFe_{12}O_{19}$ и $PbFe_{12}O_{19}$ составляли: $a = 5,8751(5)$ Å, $c = 23,037(5)$ Å и $a = 5,9040(6)$ Å, $c = 23,3538(32)$ Å, соответственно. Дифрак-

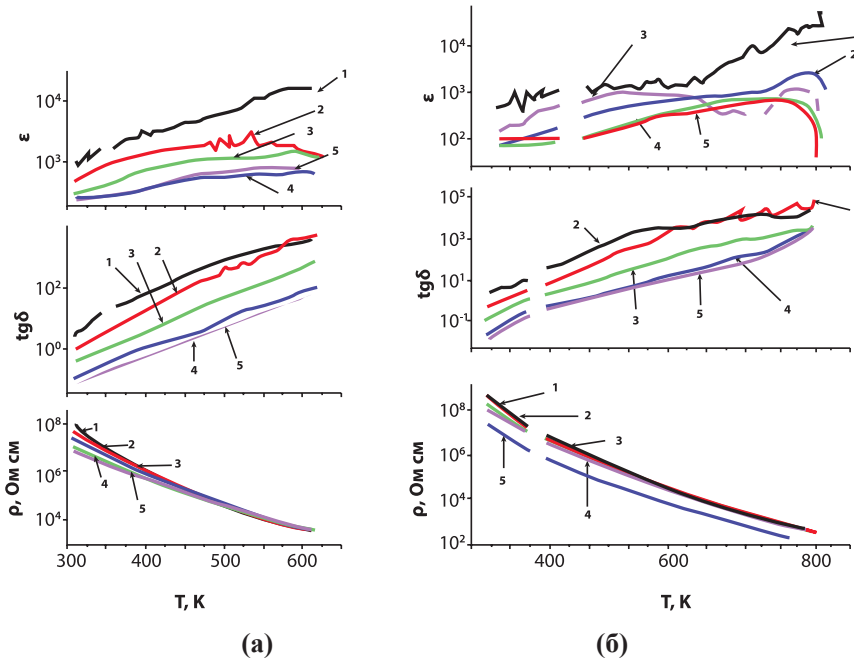


Рис. 3

Температурные зависимости диэлектрической проницаемости, тангенса угла диэлектрических потерь и удельного сопротивления керамических образцов $Sr_3Co_2Fe_{24}O_{41}$ (а) и $Sr_2Co_2Fe_{12}O_{22}$ (б): 1 – 0,1 кГц; 2 – 1 кГц; 3 – 10 кГц; 4 – 100 кГц; 5 – 200 кГц

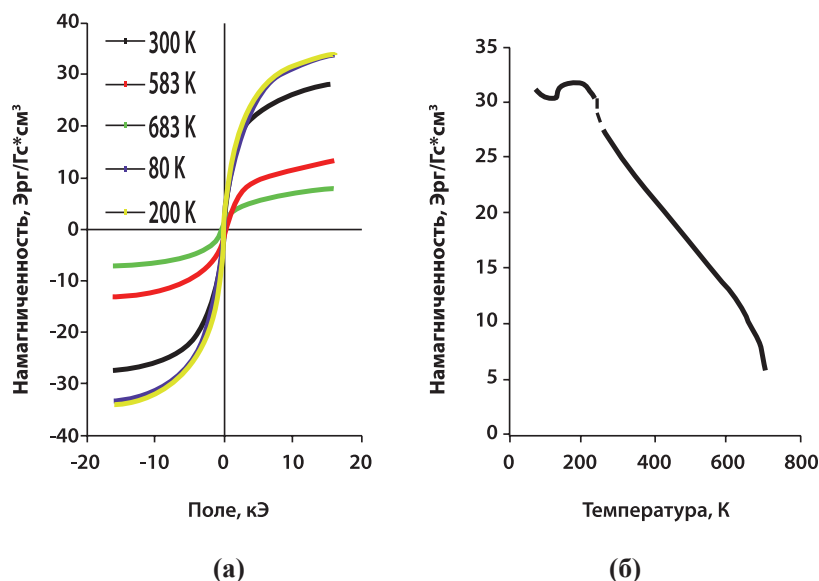


Рис. 4

Зависимость намагниченности от поля (а) и температурная зависимость намагниченности (б) образцов $Sr_3Co_2Fe_{24}O_{41}$, полученных зонной плавкой

тограмма керамического образца $PbFe_{12}O_{19}$, отожжённого при 1200 °С в течение 24 часов, показана на рис. 2. Образования гексаферритных фаз с большими размерами элементарной ячейки вдоль оси c не наблюдалось.

Электрофизические исследования полученных образцов

На полученных образцах в диапазоне температур 300-800 К и частот 0,1-200 кГц были изучены температурные зависимости диэлектрических проницаемостей $\epsilon(T)$, тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta(T)$, удельного сопротивления $\rho(T)$ (рис. 3).

Выраженные аномальные изменения, характерные для фазовых переходов, не проявляются, возможно, их наличие маскируется повышенной проводимостью образцов. Выполнены измерения полевых и температурных зависимостей намагниченности образцов (рис. 4).

Поляризацию образца проводили в следующем режиме: образец толщиной 1 мм нагревался до 420 К, к образцу прикладывали электрическое напряжение величиной 100 В, затем, не снимая поля, образец охлаждали. На поляризованных образцах с добавками Al зафиксирован МЭ эффект. МЭ

сигнал составлял 40 мВ при приложении переменного модулирующего магнитного поля частотой 1 кГц и амплитудой $h_0 = 5$ Э и постоянного смещающего магнитного поля $H = 200$ Э. Из этих данных следует, что величина МЭ коэффициента равна:

$$\alpha_v = U/(d \cdot h_0) = 40 \text{ мВ}/0,1 \text{ (см)} \cdot 5 \text{ (Э)} = 80 \text{ мВ}/(\text{см} \cdot \text{Э}).$$

Установлено, что намагниченность гексаферрита падает с увеличением температуры и обращается в ноль при $T_c \sim 720$ К. Эта температура является, очевидно, температурой перехода в парамагнитное состояние для данного образца.

Заключение

Методом твёрдофазных реакций получены образцы гексаферритных фаз M- ($SrFe_{12}O_{19}$), W- ($SrCo_2Fe_{16}O_{27}$) и Z- ($Sr_3Co_2Fe_{24}O_{41}$) типов, зонной плавкой выращены кристаллы гексаферритов M- и W-типа. Рентгеновский фазовый анализ (РФА) кристаллов, полученных бестигельной зонной плавкой и раствор-расплавной кристаллизацией, показал, что основными фазами при этом являются гексаферритные фазы M- и W-типов.

Гексаферритные фазы $\text{SrO-CoO-Fe}_2\text{O}_3$ могут быть использованы в различных устройствах: элементы памяти, устройства СВЧ электроники, устройства сенсорной техники, постоянные магниты и др.

Получены данные о влиянии добавок Al на проводимость образцов. На поляризованных образцах $\text{Sr}_3\text{Co}_2(\text{Fe}_{0,95}\text{Al}_{0,05})_{24}\text{O}_{41}$, зарегистрировано проявление МЭ эффекта с величиной МЭ коэффициента, равной 80 мВ/(см•Э).

Литература

1. Fiebig M. J. Phys., 2005, vol. 38D, P.R. 123.
2. Wang K. F., Liu J.-M., Ren Z. F. Adv. Phys., 2009, vol. 58, 321 p.
3. Пятаков А. П., Звездин А. К. Магнитоэлектрические материалы и мультиферроики // УФН. – 2012. – Т. 182, № 6. – С. 593-620.
4. Kimura T. Annual Review of Condensed Matter Physics, 2012, vol. 3, 93 p.
5. Nan C.-W., Bichurin M. I., Dong S. et. al. J. Appl. Phys., 2008, vol. 103, 031101.
6. Maignan A., Martin C., Singh K. et. al. J. Solid State Chem., 2012, vol. 190, 2251 p.
7. Menil F. Systematic trends of the ^{57}Fe Mossbauer isomer shifts in (FeOn) and (FeFn) polyhedra. Evidence

of a new correlation between the isomer shift and the inductive effect of the competing bond T-X ($\rightarrow\text{Fe}$) (where X is O or F and T any element with a formal positive charge) // J. Phys. Chem. Solids, 1985, vol. 46, pp. 763-789.

References

1. Fiebig M. J. Phys., 2005, vol. 38D, P.R. 123.
2. Wang K. F., Liu J.-M., Ren Z. F. Adv. Phys., 2009, vol. 58, 321 p.
3. Pyatakov A. P., Zvezdin A. K. Magnetoelectric materials and multiferroics. *Uspekhi fizicheskikh nauk = Physics-Uspekhi*, 2012, vol. 182, № 6, pp. 593-620.
4. Kimura T. Annual Review of Condensed Matter Physics, 2012, vol. 3, 93 p.
5. Nan C.-W., Bichurin M. I., Dong S. et. al. J. Appl. Phys., 2008, vol. 103, 031101.
6. Maignan A., Martin C., Singh K. et. al. J. Solid State Chem., 2012, vol. 190, 2251 p.
7. Menil F. Systematic trends of the ^{57}Fe Mossbauer isomer shifts in (FeOn) and (FeFn) polyhedra. Evidence of a new correlation between the isomer shift and the inductive effect of the competing bond T-X ($\rightarrow\text{Fe}$) (where X is O or F and T any element with a formal positive charge) // J. Phys. Chem. Solids, 1985, vol. 46, pp. 763-789.