

МАТЕРИАЛЫ

XXIV Международная конференция
«ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ И МАТЕРИАЛЫ
(Фундаментальные физические исследования)»

Москва, 18–19 ноября 2016 г.

PROCEEDINGS

XXIV International Conference
«ELECTROMAGNETIC FIELD AND MATERIALS
(Fundamental Physical Research)»

Moscow, 18–19 November, 2016

Электронно-
Библиотечная
Система
znanium.com

Москва
ИНФРА-М
2016

Материалы: XXIV Международная конференция «Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические исследования)». — М. : ИНФРА-М, 2016. — 446 с.

ISBN 978-5-16-012551-0 (print)
ISBN 978-5-16-102289-4 (online)

В сборнике приведены доклады, представленные на XXIV Международной конференции «Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические исследования)», посвященной текущим достижениям и фундаментальным вопросам теории электромагнитного поля, механики излучений, фундаментальным исследованиям в области ядерной физики, физики ускорителей, астрофизики, физики элементарных частиц. В материалах конференции также рассмотрены вопросы физических и математических основ спиновой электроники, самоорганизации электрических и магнитных полей в сложных биологических и физических объектах, современные методы экспериментального и теоретического исследования электрических и магнитных полей датчиками новейшего поколения, проблемы создания и повышения эффективности ферритовых и резистивных материалов для радиопоглощающих покрытий различного применения.

Мероприятие проводилось при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Проект № 16-08-20853 «Проект организации XXIV Международной конференции «Электромагнитное поле и материалы (фундаментальные физические исследования)».

УДК 537.8
ББК 22.3

89198-2016
ГПНТБ СО РАН
Гос. Публ. Науч.-тех.
библиотека

ISBN 978-5-16-012551-0 (print)
ISBN 978-5-16-102289-4 (online)

М34

Head of NPK - 9. **Nalagin A.G.**
JSC "RPC "ISTOK" named after Shokin"
Vokzalnaya str., 2A, 141190, Fryazino, Moscow region, Russia
Phone/fax: 8 (495) 465-86-66
E-mail: alexeinalogin@gmail.com
Engineer, Graduate student **Alekseev A.A.**
NUST MISiS, JSC "RPC "ISTOK" named after Shokin"
Leninskiy pr. 4, Moscow, Russia, 119049, Vokzalnaya str., 2A, 141190, Fryazino, Moscow region, Russia
Phone/fax: 8 (495) 465-86-66
E-mail: alekseevalbert@bk.ru
Engineer, Graduate student **Belokon E.A.**
NUST MISiS, JSC "RPC "ISTOK" named after Shokin"
Leninskiy pr. 4, Moscow, Russia, 119049, Vokzalnaya str., 2A, 141190, Fryazino, Moscow region, Russia
Phone/fax: 8 (495) 465-86-66
E-mail: amon.moment@gmail.com
Chief Technologist **Pashkov A.N.**
JSC "RPC "ISTOK" named after Shokin"
Vokzalnaya str., 2A, 141190, Fryazino, Moscow region, Russia
Phone/fax: 8 (495) 465-86-66
E-mail: amon.moment@gmail.com
Ph.D. **Bryazgin A.A.**
Institute of Nuclear Physics
11, akademika Lavrentieva prospect, Novosibirsk, 630090, Russia
Phone/fax: 8 (383) 329-40-00
E-mail: A.A.Bryazgin@inp.nsk.su
Ph.D. **Korobeynikov M.V.**
Institute of Nuclear Physics
11, akademika Lavrentieva prospect, Novosibirsk, 630090, Russia
Phone/fax: 8 (383) 329-40-00
E-mail: M.V.Korobeynikov@inp.nsk.su
Ph.D. **Mikhaylenko M.A.**
Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS
630128, Russia, Novosibirsk, Kutateladze str., 18
Phone/fax: 8 (383) 329-40-00
E-mail: mikhailenkoma79@gmail.com

ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ФАЗОВОГО СОСТАВА АНИЗОТРОПНЫХ ГЕКСАГОНАЛЬНЫХ ФЕРРИТОВ $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ И $\text{BaFe}_{9,5}\text{Al}_{2,5}\text{O}_{19}$, ПОЛУЧЕННЫХ МЕТОДОМ РАДИАЦИОННО- ТЕРМИЧЕСКОГО СПЕКАНИЯ

В.Г. Костишин¹, И.М. Исаев¹, А.С. Комлев¹, А.В. Тимофеев¹
¹Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

*С.В. Щербаков², А.Г. Налогин², А.А. Алексеев^{1,2}, Е.А. Белоконов^{1,2},
А.Н. Пашков²,*
²АО «НПП «Исток» им. Шокина»

А.А. Брызгин³, М.В. Коробейников³,
³Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

М.А. Михайленко⁴
⁴Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН

Методом радиационно-термического спекания (РТС) в пучке быстрых электронов на ускорителе ИЛУ-6 получены образцы гексаферрита бария $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ и замещенного гексаферрита бария $\text{BaFe}_{9,5}\text{Al}_{2,5}\text{O}_{19}$ (с добавками Ni, Ti, Mn). Исследование синтезированных образцов проводили методом рентгеноструктурного и рентгенофазового анализов. Обнаружено, что в образцах обоих составов кроме основной фазы ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ и $\text{BaFe}_{9,5}\text{Al}_{2,5}\text{O}_{19}$, соответственно), присутствует также фаза BaFe_2O_4 . С ростом температуры спекания от 1100 °С до 1300 °С интенсивность фазы моноферрита бария уменьшается или исчезает полностью, а при температуре 1400 °С указанная фаза фиксируется снова (ее интенсивность продолжает расти). Обсуждается возможность практического использования полученных результатов.

Введение

В настоящее время в различных отраслях промышленности широко используются магнитотвёрдые материалы. Одним из наиболее перспективных материалов является гексаферрит бария, обладающий высокой точкой температуры Кюри. Он применяется в качестве источника магнитного поля (постоянного магнита), в качестве подложек для ферритовых развязывающих приборов [1, 2]. Важной причиной для продолжения активного исследования свойств бариевых гексаферритов и нахождения новых областей для их применения являются их химическая стабильность и стойкость к коррозии [3]. Огромный интерес, несомненно, представляет информация о влиянии химического состава на свойства гексаферритов [4, 5].

Целью данной работы являлось получение поликристаллических образцов гексаферрита бария $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ и образцов замещенного гексаферрита бария $\text{BaFe}_{9,5}\text{Al}_{2,5}\text{O}_{19}$ (с добавками Ni, Ti, Mn) методом радиационно-

термического спекания. Особенностью изготовления анизотропных гексагональных ферритов является прессование в сильном магнитном поле, приложенном по направлению прессования, что позволяет ориентировать частицы и получать материал с высокой степенью текстуры.

Получение объектов исследования

Технология изготовления заготовок поликристаллических гексагональных ферритов (ГФ) бария (ГБ) базировалась на основах классической керамической технологии [1]. Технологическая схема получения методом РТС поликристаллических гексагональных ферритов представлена на рис. 1.



Рис. 1. Технология изготовления гексаферритов методом радиационно-термического спекания

Для изготовления анизотропных гексаферритовых заготовок прессование проводилось в магнитном поле, приложенном вдоль направления прессования. Для этого был сконструирован специальный пресс, оснащенный двумя катушками (электромагнит), которые создают магнитное поле. Общий вид и схема пресса с катушками изображены на рисунке 2. В верхнюю катушку входит плунжер пресса с укрепленным на нем наконечником, форма которого способствует концентрации магнитного поля. В нижней катушке расположено основание для пресс-формы с отверстием для стока воды, оканчивающееся

штуцером для крепления шланга, соединенного через ловушку с механическим вакуумным насосом. Источник, питающий электромагнит, обеспечивает получение постоянного тока до 10 А при напряжении до 20 В.

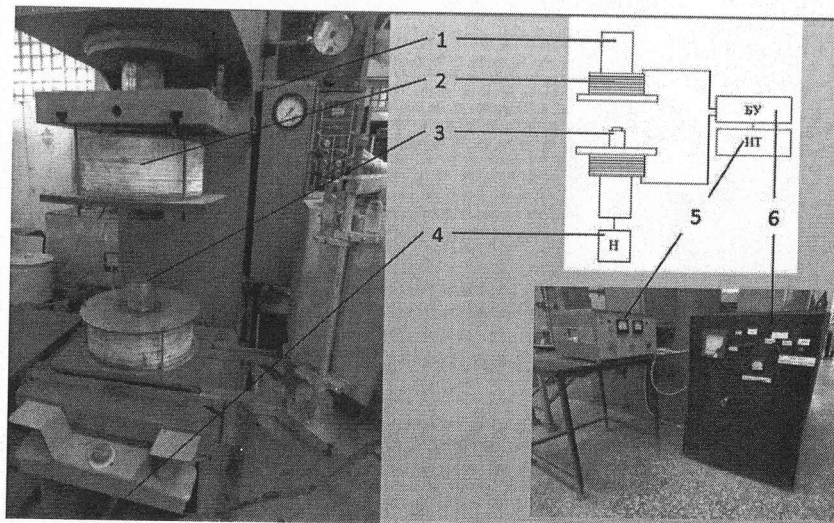


Рис. 2. Общий вид и схема пресса для прессования заготовок анизотропных гексагональных ферритов
1 – пресс, 2 – магнитная катушка, 3 – пресс-форма, 4 – насос, 5 – источник тока, 6 – блок управления магнитным полем и насосом

Результаты измерений показали, что напряженность магнитного поля при прессовании составляет примерно 10 кЭ. В предположении, что для обеспечения качественной магнитной текстуры (поворота магнитных моментов большинства однодоменных частиц) требуется магнитное поле величины $3 \cdot H_C$ (H_C – значение коэрцитивной силы), а $H_C \approx 3$ кЭ для гексаферрита бария, то поля с намагниченностью 10 кЭ должно быть достаточно для создания анизотропного материала.

Для получения образцов из гексаферритов использовалась пресс-форма с матрицей из немагнитного материала (латуни) и пуансонами из мягкой стали. Схема пресс-формы изображена на рис. 3.

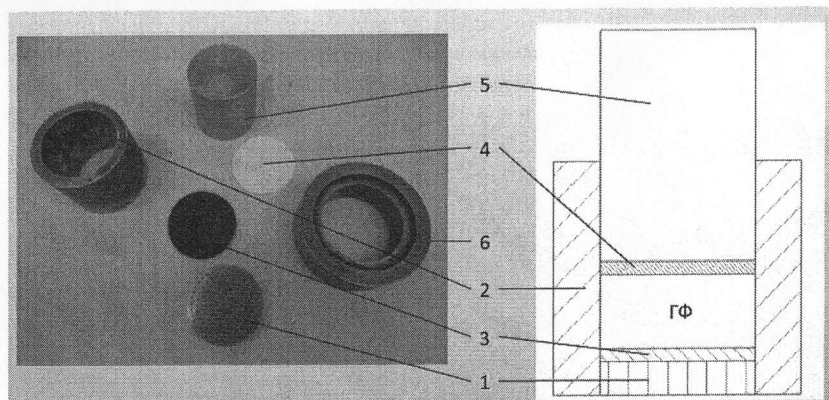


Рис. 3. Схема пресс-формы для прессования заготовок анизотропных гексаферритов
1 – нижний пуансон, 2 – внешняя форма, 3 – прокладка из фетра,
4 – прокладка из ткани, 5 – верхний пуансон, 6 – выпрессовочное кольцо

Такая конструкция позволяет создать магнитное поле в зазоре между пуансонами, где располагается текстурируемая шихта. Нижний пуансон имеет отверстия для удаления воды через фетровые фильтры, расположенные на нем. Использовались две пресс-формы с диаметрами 50 и 70 мм.

Для ориентации частиц в магнитном поле необходимо создать условия, позволяющие частице достаточно свободно вращаться вокруг своей оси, что достигается разбавлением шихты дистиллированной водой, которая удаляется после ориентации в процессе прессования.

Замена обычного термического спекания на радиационно-термическое (РТС) в пучке быстрых электронов обусловлено существенно низкой энергоемкостью последнего и более высоким качеством спекания [6-9].

При РТС кроме фактора температуры действует также такой существенный фактор, как радиационно-стимулированная диффузия. За счет этого спекание происходит и при более низких температурах, и за более короткое время.

РТС образцов проводилось с использованием быстрых электронов на линейном ускорителе ИЛУ-6 (энергия электронов $E_e=2,5$ МэВ) ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

В табл. 1 и в табл. 2 представлена информация о технологических режимах образцов, полученных методом РТС.

Таблица 1

Технологические режимы РТС образцов $BaFe_{12}O_{19}$

№ образца	$T_{\text{спек}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{спек}}, \text{мин}$	Скорость нагрева $V, ^\circ\text{C}/\text{мин}$
1-1	1 100	60	50
1-2	1 200	60	50
1-3	1 300	60	50
1-4	1 400	60	50

Таблица 2
Технологические режимы РТС образцов $BaFe_{12-x}Al_xO_{19}$ (с добавками Ni, Ti, Mn)

№ образца	$T_{\text{спек}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{спек}}, \text{мин}$	Скорость нагрева $V, ^\circ\text{C}/\text{мин}$
2-1	1 100	60	50
2-2	1 200	60	50
2-3	1 300	60	50
2-4	1 400	60	50

Методики экспериментальных исследований

Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ объектов исследования проводили на рентгеновском дифрактометре ДРОН-8 (Россия).

При проведении рентгенофазового анализа использовалось $\text{CuK}\alpha$ -излучение, а также трубка с железным анодом (рабочий ток – 25 мА, напряжение – 25 кВт). Длина волны излучения 0,193728 нм. При съемке образцов использовался фильтр из Mn. Фокусировка осуществлялась по методу Брэгга-Брентано с двумя щелями Соллера. Измерения производились при комнатной температуре.

Идентификация интенсивных пиков на дифрактограмме проводилась с помощью программного комплекса PDWin 4.0. Рентгенофазовый анализ образцов сводился к определению серии межплоскостных расстояний и сравнению их со справочными данными базы порошковых дифракционных данных, которая основана на картотеке PDF2.

Результаты экспериментальных исследований

На рис. 4-7 представлены рентгеновские дифрактограммы образцов поликристаллического чистого гексагонального феррита бария $BaFe_{12}O_{19}$, полученных методом РТС.

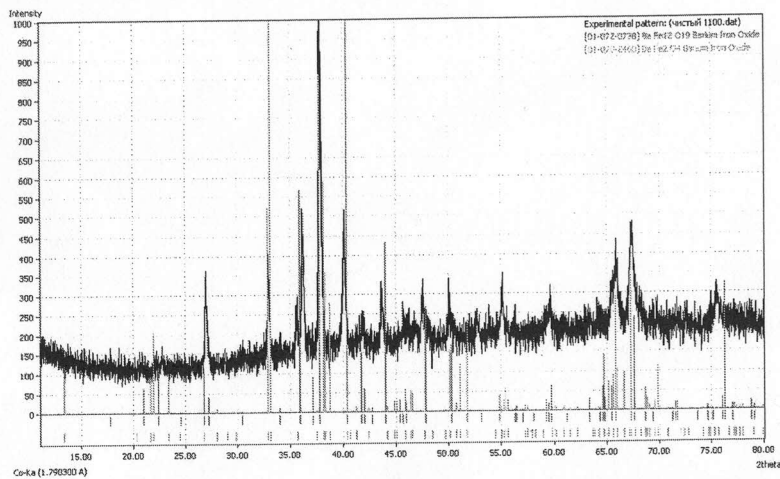


Рис. 4. Характерная рентгеновская дифрактограмма образца $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, полученного методом РТС при температуре спекания 1100°C

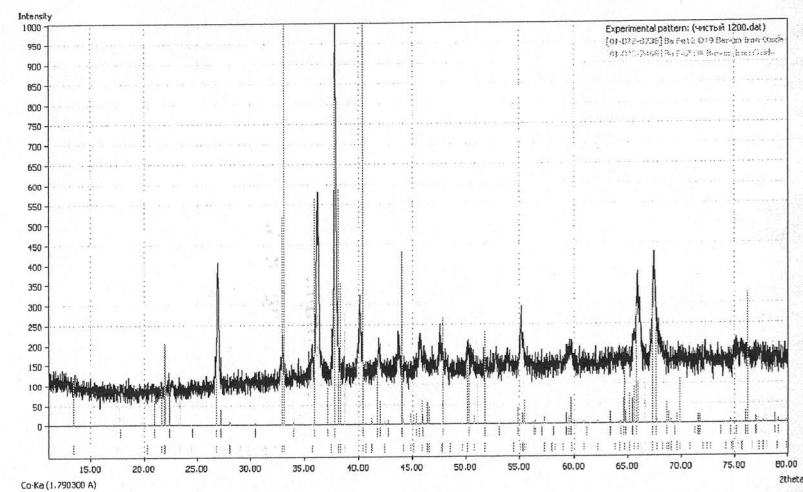


Рис. 5. Рентгеновская дифрактограмма образца $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, полученного методом РТС при температуре спекания 1200°C

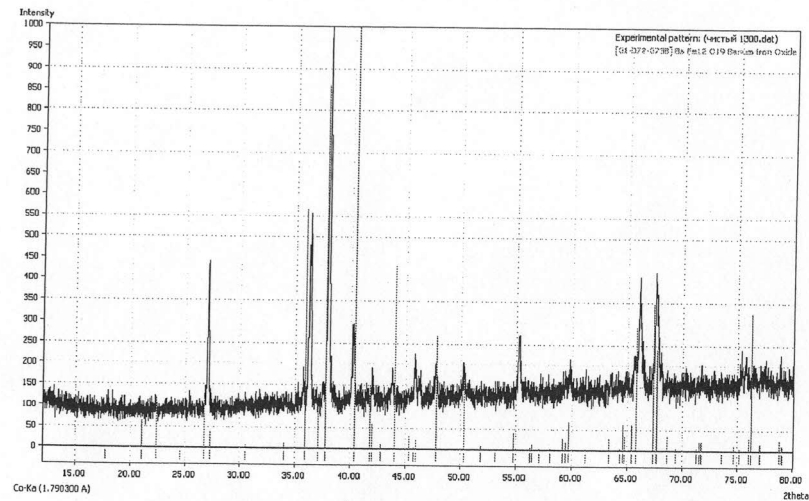


Рис. 6. Рентгеновская дифрактограмма образца $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, полученного методом РТС при температуре спекания 1300°C

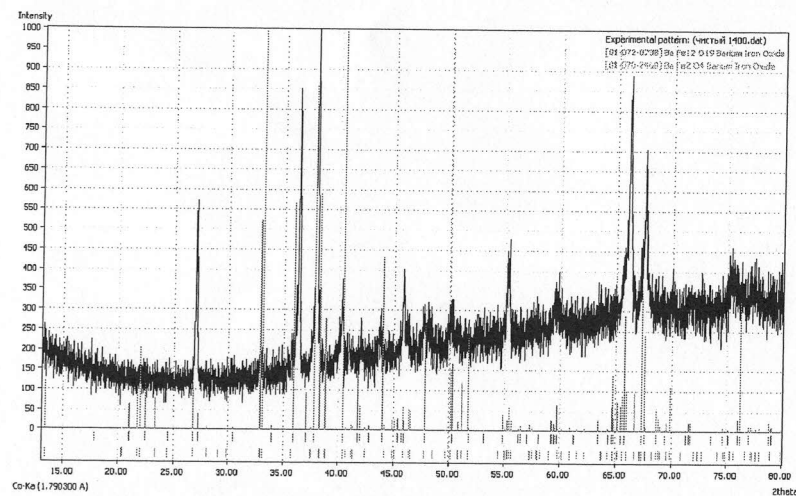


Рис. 7. Рентгеновская дифрактограмма образца $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, полученного методом РТС при температуре спекания 1400°C

Для всех дифрактограмм на указанных рисунках характерно наличие основного пика фазы $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ (это – рефлекс (114) в окружности $2\theta = 40$ градусов). Для всех образцов характерно перераспределение данного рефлекса, что обусловлено наличием текстуры в образцах. Причем, с повышением

температуры интенсивность данного рефлекса уменьшается, что, по всей видимости, указывает на увеличение текстурированности в образцах, спеченных при более высоких температурах. Во время спекания анизотропных гексаферритов происходит дополнительный рост степени текстурирования вследствие преимущественного роста ориентированных зерен за счет неориентированных. При этом скорость роста зерен в базисной плоскости выше скорости роста вдоль гексагональной оси С. По данным дифрактограмм образцов чистого гексаферрита бария (рис. 4-7), кроме основной фазы $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, присутствует также фаза моноферрита бария BaFe_2O_4 .

В соответствии с расшифровкой, для фазы $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ характерным является наличие ламелярной структуры с плоскостями среза (107), а для фазы BaFe_2O_4 присутствует незначительная структура по типу иголок в направлении (107). Присутствие в объектах исследования фазы BaFe_2O_4 подтверждает наличие её основных спаренных рефлексов (402) та (212) вблизи значения $2\theta = 33$ град.

В образцах чистого $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ с повышением температуры до 1200°C содержание фазы BaFe_2O_4 уменьшается, а при 1300°C она уже не фиксируется. Однако, при 1400°C на дифрактограмме снова качественно фиксируется след от её основных спаренных рефлексов (402) и (212). Ни на одной из дифрактограмм не обнаружено фаз оксидов железа.

Следует отметить, что группа рефлексов фазы $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ является чрезвычайно чувствительной к значениям параметров решетки. В частности, изменение параметра с 23,1800 на 23,0268 вызывает четкое разделение данных рефлексов и кардинальное распределение их интенсивности.

На рис. № 8-11 представлены рентгеновские дифрактограммы образцов поликристаллического гексагонального феррита $\text{BaFe}_{9,5}\text{Al}_{2,5}\text{O}_{19}$ (с добавками Ni, Ti, Mn), полученных методом РТС.

В образцах $\text{BaFe}_{9,5}\text{Al}_{2,5}\text{O}_{19}$ (с добавками Ni, Ti, Mn) для температуры 1300°C фаза BaFe_2O_4 все еще фиксируется, а при 1400°C ее содержание снова увеличивается. Также ни на одной из дифрактограмм не обнаружено фаз оксидов железа.

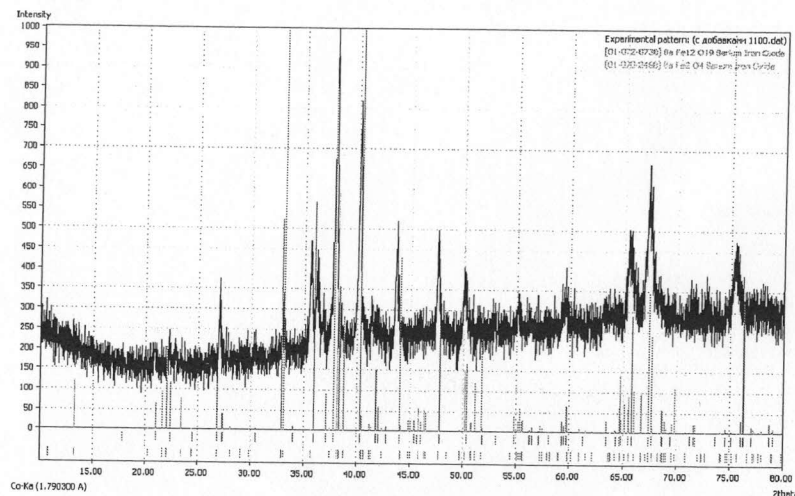


Рис. 8. Рентгеновская дифрактограмма образца $\text{BaFe}_{9,5}\text{Al}_{2,5}\text{O}_{19}$ (с добавками Ni, Ti, Mn), полученного методом РТС при температуре спекания 1100°C

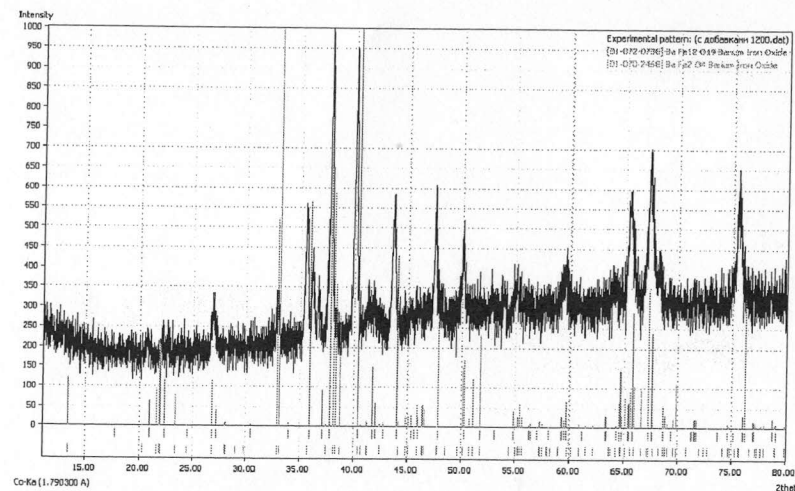


Рис. 9. Рентгеновская дифрактограмма образца $\text{BaFe}_{9,5}\text{Al}_{2,5}\text{O}_{19}$ (с добавками Ni, Ti, Mn), полученного методом РТС при температуре спекания 1200°C

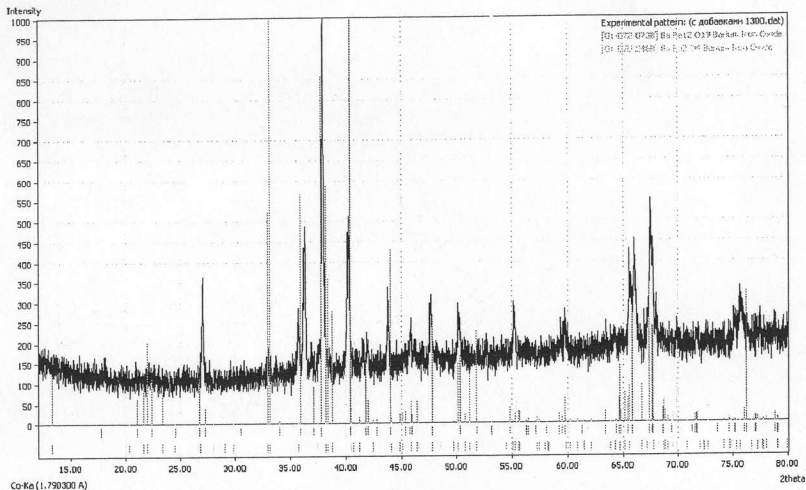


Рис. 10. Рентгеновская дифрактограмма образца $\text{BaFe}_{9.5}\text{Al}_{2.5}\text{O}_{19}$ (с добавками Ni, Ti, Mn), полученного методом РТС при температуре спекания 1300°C

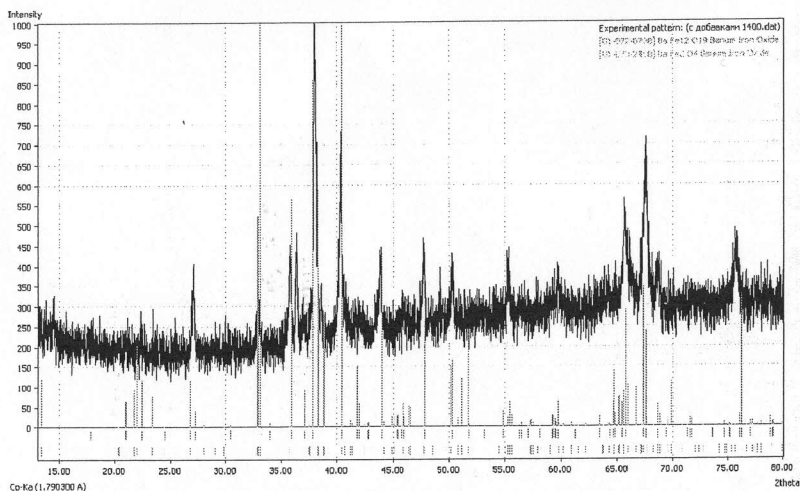


Рис. 11. Рентгеновская дифрактограмма образца $\text{BaFe}_{9.5}\text{Al}_{2.5}\text{O}_{19}$ (с добавками Ni, Ti, Mn), полученного методом РТС при температуре спекания 1400°C

Проводимые исследования магнитных свойств показали, что полученные образцы могут быть использованы как в качестве постоянных магнитов, так и в качестве подложек для микрополосковых ферритовых развязывающих приборов, что открывает новые возможности технологии РТС в производстве ферритов.

Заключение

В работе методом радиационно-термического спекания (РТС) в пучке быстрых электронов получены образцы гексаферрита бария $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ и замещенного алюминием гексаферрита бария $\text{BaFe}_{9.5}\text{Al}_{2.5}\text{O}_{19}$ (с добавками Ni, Ti, Mn) и изучены их свойства.

Установлено, что в образцах обоих составов кроме основной фазы ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ и $\text{BaFe}_{9.5}\text{Al}_{2.5}\text{O}_{19}$, соответственно), присутствует также фаза моноферрита бария BaFe_2O_4 . С ростом температуры спекания от 1100°C до 1300°C интенсивность фазы моноферрита бария уменьшается или исчезает полностью, а при температуре 1400°C указанная фаза фиксируется снова (ее интенсивность продолжает расти). Обсуждается возможность практического использования полученных результатов.

Примечательно, что для фазы $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ характерным является наличие ламелярной структуры с плоскостями среза (107), а для фазы BaFe_2O_4 присутствует незначительная структура по типу иголок в направлении (107).

Полученные в работе результаты позволяют заключить, что РТС-технология может эффективно использоваться для получения гексаферритов бария разных составов.

Работа выполнена в рамках задания № 11.2502.2014/К от 17.07.2014 г. на выполнение научно-исследовательской работы в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности (тема № 3219022), а также при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках соглашения о предоставлении субсидии № 14.575.21.0030 от 27 июня 2014 г. (RFMEFI57514X0030).

Литература

1. Летюк Л.М., Костишин В.Г., Горчар А.В. Технология ферритовых материалов магнитoeлектроники. М.: МИСН, 2005. 352 с.
2. Kostishyn V.G., Panina L.V., Timofeev A.V., Kozhitov L.V., Kovalev A.N., Zyuzin A.K. Dual ferroic properties of hexagonal ferrite ceramics $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ and $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 400 (2016) 327-332.
3. Gutfleisch O., Willard M.A., Brück E., Chen C.H., Sankar S.G., Liu J.P. "Magnetic Materials and Devices for the 21st Century: Stronger, Lighter, and More Energy Efficient". Adv. Mater., 23 (2011) 821-84.
4. Vinnik D.A., Zhrebtsov D.A., Mashkovtseva L.S., Nemrava S., Perov N.S., Semisalova A.S., Krivtsov I.V., Isaenko L.I., Mikhailov G.G., Niewa R. "Growth, structural and magnetic characterization of Al-substituted barium hexaferrite single crystals". Journal of Alloys and Compounds, 615 (2014) 1043-1046.

5. H. Sozeri, Z. Mehmedi, H. Kavas, A. Baykal. "Magnetic and microwave properties of 44 BaFe₁₂O₁₉ substituted with magnetic, non-magnetic and dielectric ions". *Ceramics International*, (2015).

6. Суржиков А.П., Притулов А.М. Радиационно-термическое спекание ферритовой керамики. – Москва: Энергоатомиздат, 1998. – 217 с.

7. Костишин В.Г., Коровушкин В.В., Панина Л.В. и др. Магнитная структура и свойства MnZn-ферритов, полученных методом радиационно-термического спекания. *Неорганические материалы*. 2014, т. 50, № 12. – С. 1352-1356.

8. Костишин В.Г., Андреев В.Г., Коровушкин В.В. и др. Получение радиационно-термической керамики марки 2000НН методом радиационно-термического спекания по полной и короткой технологическим схемам. *Неорганические материалы*. 2014, т. 50, № 12. – С.1387-1392.

9. Киселев Б.Г., Костишин В.Г., Комлев А.С. Обоснование экономических преимуществ технологии радиационно-термического спекания ферритовой керамики. *Цветные металлы*. 2015, № 4. – С. 7-11.).

Авторы:

Д.ф.-м.н., профессор **Костишин В.Г.**

НИТУ «МИСиС»

119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4

Тел./факс: 8 (495) 638-46-51

E-mail: drvgkostishyn@mail.ru

Инженер 1 категории **Исаев И.М.**

НИТУ «МИСиС»

119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4

Тел./факс: 8 (495) 638-45-91

E-mail: isa@isis.ru

Аспирант **Тимофеев А.В.**

НИТУ «МИСиС»

119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4

Тел./факс: 8 (495) 955-01-60

E-mail: andtim2011@gmail.com

Аспирант **Комлев А.С.**

НИТУ «МИСиС»

119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4

Тел./факс: 8 (495) 955-01-60

E-mail: kom_lev@mail.ru

Заместитель генерального директора - директор по научной части **Щербakov С.В.**

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

141190, Московская область, г. Фрязино, ул. Вокзальная, 2а

Тел./факс: 8 (495) 465-86-66

E-mail: info@istokmw.ru

Начальник НПК-9 **Налогин А.Г.**

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

141190, Московская область, г. Фрязино, ул. Вокзальная, 2а

Тел./факс: 8 (495) 465-86-66

E-mail: alexeinalogin@gmail.com

Инженер/аспирант **Алексеев А.А.**

НИТУ «МИСиС», АО «НПП «Исток» им. Шокина»

119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4, 141190, Московская область, г. Фрязино, ул. Вокзальная, 2а

Тел./факс: 8 (495) 465-86-66

E-mail: alekseevalbert@bk.ru

Инженер/аспирант **Белокоп Е.А.**

НИТУ «МИСиС», АО «НПП «Исток» им. Шокина»

119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4, 141190, Московская область, г. Фрязино, ул. Вокзальная, 2а

Тел./факс: 8 (495) 465-86-66

E-mail: amon.moment@gmail.com

Главный технолог **Пашков А.Н.**

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

141190, Московская область, г. Фрязино, ул. Вокзальная, 2а

Тел./факс: 8 (495) 465-86-66

E-mail: amon.moment@gmail.com

К.т.н. **Брызгин А.А.**

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 11

Тел./факс: 8 (383) 329-40-00

E-mail: A.A.Bryazgin@inp.nsk.su

К.т.н. **Коробейников М.В.**

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

630090, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 11

Тел./факс: 8 (383) 329-40-00

E-mail: M.V.Korobeynikov@inp.nsk.su

К.х.н. **Михайленко М.А.**

Институт химии и механохимии СО РАН

630128, Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18

Тел./факс: 8 (383) 332-40-02

E-mail: mikhailenkoma79@gmail.com

FEATURES OF CRYSTAL STRUCTURE AND PHASE COMPOSITION OF THE ANISOTROPIC HEXAGONAL FERRITES BaFe₁₂O₁₉ AND BaFe_{9,5}Al_{2,5}O₁₉, OBTAINED BY RADIATION-THERMAL SINTERING

*V.G. Kostishyn¹, I.M. Isaev¹, A.S. Komlev¹, A.V. Timofeev¹,
¹National University of Science and Technology "MISIS"*

*S.V. Scherbakov², A.G. Nalogin², A.A. Alekseev^{1,2}, E.A. Belokon^{1,2}, A.N. Pashkov²
²JSC "RPC "ISTOK" named after Shokin"*

*A.A. Bryazgin³, M.V. Korobeynikov³
³Institute of Nuclear Physics*

M.A. Mihaylenko⁴

⁴Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS

The method of radiation-thermal sintering (RTS) in the fast electron beam by accelerator ILU-6 obtained samples of barium hexaferrite $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ and substituted barium hexaferrite $\text{BaFe}_{9.5}\text{Al}_{2.5}\text{O}_{19}$ (with additions of Ni, Ti, Mn). The research synthesized samples was carried out by X-ray structural analysis and X-ray phase analysis. It is found that both compounds besides the main phase samples ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ and $\text{BaFe}_{9.5}\text{Al}_{2.5}\text{O}_{19}$, respectively), is also present phase BaFe_2O_4 . With increasing sintering temperature from 1100°C to 1300°C phase barium monoferrite intensity decreases or disappears completely, and at a temperature of 1400°C this phase is fixed again (its intensity continues to increase). The possibility of practical use of the results.

Keywords: hexagonal ferrite, radiation thermal sintering, pressing, magnetic field, texture

References

1. Letyuk L.M. Technology ferrite materials of magnetoelectronic / L.M. Letyuk, V.G. Kostishin, A.V. Gorchar. – M.: MISiS, 2005, – 352 p.
2. Kostishyn V.G. Dual ferroic properties of hexagonal ferrite ceramics $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ and $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ / V.G. Kostishyn, L.V. Panina, A.V. Timofeev, L.V. Kozhitov, A.N. Kovalev, A.K. Zyuzin. – Journal of Magnetism and Magnetic Materials, – 2016, № 400, pp 327-332.
3. Gutfleisch O., Willard M.A., Brück E., Chen C.H., Sankar S.G., Liu J.P. "Magnetic Materials and Devices for the 21st Century: Stronger, Lighter, and More Energy Efficient". Adv. Mater., 23 (2011) 821-84.
4. Vinnik D.A., Zhrebtsov D.A., Mashkovtseva L.S., Nemrava S., Perov N.S., Semisalova A.S., Krivtsov I.V., Isaenko L.I., Mikhailov G.G., Niewa R. "Growth, structural and magnetic characterization of Al-substituted barium hexaferrite single crystals". Journal of Alloys and Compounds, 615 (2014) 1043-1046.
5. Sozeri H., Mehmedi Z., Kavas H., Baykal A. "Magnetic and microwave properties of 44 $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ substituted with magnetic, non-magnetic and dielectric ions". Ceramics International, (2015).
6. Surzhikov A.P., Prytulov A.M. Radiation-thermal sintering ferrite ceramics. – Moscow: Energoatomisdat, 1998. – 217 p.
7. Kostishin V.G., Korovushkin V.V., Panina L.V. and el. Magnetic structure and properties of Mn-Zn ferrites prepared by radiation-enhanced thermal sintering. Inorganic materials. V.50, pp. 1252-1256
8. Kostishin V.G., Andreev V.G., Korovushkin V.V. Preparation of 2000NN ferrite ceramics by a complete and a short radiation-enhanced thermal sintering process. . Inorganic materials. V.50, pp. 1317-1323
9. Kiselev B.G., Kostishin V.G., Komlev A.S., and el. Substantiation of economic advantages of technology of radiation-thermal agglomeration of ferrite ceramics. Tsvetnye Metally. 2015. № 2015. p. 7.

Authors:

Dr. Sc., prof. **Kostishyn V.G.**
NUST MISiS
Leninskiy pr. 4, Moscow, Russia, 119049.
Phone/fax: 8 (495) 638-46-51
E-mail: drvkgkostishyn@mail.ru

Category 1 engineer **Isaev I.M.**

NUST MISiS
Leninskiy pr. 4, Moscow, Russia, 119049.
Phone/fax: 8 (495) 638-45-91
E-mail: isa@misis.ru

Graduate student **Komlev A.S.**
NUST MISiS

Leninskiy pr. 4, Moscow, Russia, 119049.
Phone/fax: 8 (495) 955-01-60
E-mail: kom_lew@mail.ru

Graduate student **Timofeev A.V.**
NUST MISiS

Leninskiy pr. 4, Moscow, Russia, 119049.
Phone/fax: 8 (495) 955-01-60
E-mail: andtim2011@gmail.com

Deputy General Director - Director for Research **Shcherbakov S.V.**
JSC "RPC "ISTOK" named after Shokin"

Vokzalnaya str., 2A, 141190, Fryazino, Moscow region, Russia
Phone/fax: 8 (495) 465-86-66
E-mail: info@istokmw.ru

Head of NPK - 9 **Nalogin A.G.**

JSC "RPC "ISTOK" named after Shokin"
Vokzalnaya str., 2A, 141190, Fryazino, Moscow region, Russia
Phone/fax: 8 (495) 465-86-66

E-mail: alexeinalogin@gmail.com

Engineer / Graduate student **Alekseev A.A.**

NUST MISiS, JSC "RPC "ISTOK" named after Shokin"

Leninskiy pr. 4, Moscow, Russia, 119049, Vokzalnaya str., 2A, 141190, Fryazino, Moscow region, Russia

Phone/fax: 8 (495) 465-86-66

E-mail: alekseevalbert@bk.ru

Engineer / Graduate student **Belokon E.A.**

NUST MISiS, JSC "RPC "ISTOK" named after Shokin"

Leninskiy pr. 4, Moscow, Russia, 119049, Vokzalnaya str., 2A, 141190, Fryazino, Moscow region, Russia

Phone/fax: 8 (495) 465-86-66

E-mail: amon.moment@gmail.com

Chief Technologist **Pashkov A.N.**

JSC "RPC "ISTOK" named after Shokin"

Vokzalnaya str., 2A, 141190, Fryazino, Moscow region, Russia
Phone/fax: 8 (495) 465-86-66

E-mail: amon.moment@gmail.com

Ph.D. **Bryazgin A.A.**

Institute of Nuclear Physics

11, akademika Lavrentieva prospect, Novosibirsk, 630090, Russia

Phone/fax: 8 (383) 329-40-00

E-mail: A.A.Bryazgin@inp.nsk.su

Ph.D. **Korobeynikov M.V.**

Institute of Nuclear Physics

11, akademika Lavrentieva prospect, Novosibirsk, 630090, Russia

Phone/fax: 8 (383) 329-40-00

E-mail: M.V.Korobeynikov@inp.nsk.su

Ph.D. **Mikhaylenko M.A.**
Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry SB RAS
630128, Russia, Novosibirsk, Kutateladze str., 18
Phone/fax: 8 (383) 332-40-02
E-mail: mikhailenkoma79@gmail.com

16-89198

5862

Цена 2017 3002
ЦЕНТЪ СО РАН
0

МАТЕРИАЛЫ

XXIV Международная конференция
«ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ И МАТЕРИАЛЫ
(Фундаментальные физические исследования)»

Подписано в печать 09.11.2016.
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Newton.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 27,88.
Тираж 500 экз. Заказ № 13396
TK 651643-773242-091116

Отпечатано в типографии ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М»
127282, Москва, ул. Полярная, д. 31В, стр. 1
Тел.: (495) 280-15-96, 280-33-86. Факс: (495) 280-36-29