

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МЭИ»

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

УДК 537.8
ББК 22.3
М34

М34 **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

ПОЛУЧЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКИМ СПЕКАНИЕМ АНИЗОТРОПНЫХ ГЕКСАГОНАЛЬНЫХ ФЕРРИТОВ ДЛЯ ПОДЛОЖЕК МИКРОПОЛОСКОВЫХ СВЧ-ПРИБОРОВ ММ-ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

В.Г. Костишин¹, И.М. Исаев¹, Д.Н. Читанов¹, А.С. Комлев¹

¹Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

С.В. Щербаков², А.Г. Налогин², А.А. Алексеев^{1,2}, Е.А. Белоконь^{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

В работе радиационно-термическим спеканием получены поликристаллические гексагональные ферриты четырех составов для подложек сверхминиатюрных микрополосковых ферритовых развязывающих приборов миллиметрового диапазона длин волн. Особенностью изготовления анизотропных гексагональных ферритов по технологии радиационно-термического спекания является прессование сырых заготовок в сильном магнитном поле, приложенном по направлению прессования, и спекание в пучке быстрых электронов. Использование различных составов и легирующих добавок в процессе изготовления позволяет управлять электромагнитными и магнитными свойствами гексагональных ферритов.

Ключевые слова: гексагональный феррит, радиационно-термическое спекание, прессование, магнитное поле, текстура.

Введение

В последние годы все больший интерес исследователей вызывает метод воздействия на структурное состояние и физико-механические свойства материалов мощного потока ускоренных электронов – радиационно-термический метод, заключающийся в нагреве смеси исходных компонентов или прессовок из них пучками высокоэнергетических электронов без привлечения сторонних источников теплоты [1].

Преимущества радиационно-термического метода (одновременного воздействия радиации и температуры) заключаются в скорости и низкой инерционности разогрева материалов, отсутствии контакта нагреваемого тела и нагревателя, однородности нагрева материала по всему объему [2]. Имеющиеся на сегодняшний день типы ускорителей электронов с $E = 0,01-13$ МэВ позволяют нагревать твердые тела до температуры их плавления [3].

Для улучшения свойств ферритов необходимо получение однофазных температурно стабильных композиций с малыми диэлектрическими и

магнитными потерями [4]. Свойства ферритов зависят не только от их химического и фазового составов, но и от степени дефектности структуры, связанной с диффузионным обменом кислородом между ферритом и окружающей атмосферой в процессе обжига и охлаждения [5, 6]. Пористость, нарушение стехиометрии, наличие вторых фаз или неполное протекание реакции ферритизации приводят к снижению химической и структурной гомогенности материала, созданию полей упругих напряжений, искажающих магнитную анизотропию ферритов и обуславливающих ухудшение его магнитных характеристик и их воспроизводимости.

Получение объектов исследования

Технология изготовления заготовок поликристаллических гексагональных ферритов (ГФ) бария (ГБ) и стронция (ГС) базировалась на основах классической керамической технологии. Формирование состава гексаферрита происходило путем смешивания исходных компонентов в процессе мокрого помола в шаровой мельнице при соотношении шихты: шаров: деионизованной воды = 1:2:1 в течение 24 час. Для получения 1 кг шихты использовались фарфоровые барабаны с ёмкостью 4 л. Для получения поликристаллического гексаферрита бария с базовым составом $BaFe_{12-x}Al_xO_{19}$, использовались следующие компоненты и легирующие добавки: $BaCO_3$; Fe_2O_3 ; Al_2O_3 ; TiO_2 ; NiO ; $MnCO_3$. Для получения поликристаллического гексаферрита стронция с базовым составом $SrFe_{12-x}Al_xO_{19}$, использовались следующие компоненты и легирующие добавки: $SrCO_3$; Fe_2O_3 ; Al_2O_3 ; SiO_2 ; $CaCO_3$. Для повышения значения внутреннего поля кристаллографической анизотропии H_A применялось замещение ионами Al^{3+} , замещающими в кристаллической решетке гексаферрита ионы железа Fe^{3+} . Введение добавок титана и никеля проводилось с целью снижения температурного ухода поля анизотропии с 10% до 4% от среднего значения в интервале температур $(-60 \div +85)^\circ C$. Добавление марганца увеличивает электросопротивление ферритов и уменьшает диэлектрические потери за счет замещения (связывания) ионов двухвалентного железа, которые являются быстрорелаксирующими ионами и служат источниками потерь. Для гексаферрита стронция используются добавки кремния и кальция. Введение в состав гексаферрита атомов кремния позволяет задержать рост кристаллов в жидкой фазе, а добавка кальция улучшает магнитные параметры материала за счет уменьшения магнитных потерь. Исходя из необходимости учёта намола от металлических шаров и того, что оптимальное сочетание электромагнитных свойств наблюдается у образцов гексаферрита бария (аналогично и для ГФ стронция), состав которых отличается от стехиометрического ($BaO \cdot 6Fe_2O_3$) пониженным содержанием окиси железа Fe_2O_3 , рассматривались ферриты с химической формулой $BaO \cdot (5,5 \div 5,75)Fe_2O_3$. После смешивания шихту выливали в стальную кювету и высушивали в сушильном шкафу при $T = 150^\circ C$ до полного высыхания. Высушенную шихту просеивали через сито и высыпали в никелевую кювету, после чего закладывали в печь, где проводился

процесс ферритизации. Длительность выдержки составляла 5 часов при температуре 1150 °С для стронциевого и 1250 °С для бариевого гексаферритов. После ферритизации шихту подвергали мокрому помолу в шаровой мельнице при соотношении шихты: шаров: деионизованной воды = 1:2:1 в течение 96 ч. Такая продолжительность помола обеспечивала получение порошка со средним размером частиц порядка $0,3 \div 0,5$ мкм. Шихту в фарфоровом барабане промывали деионизованной водой и выливали в свободную ёмкость. Полученную суспензию порошка гексаферрита отстаивали в течение трех суток, после чего удаляли излишек воды. Влажность суспензии при прессовке составляла $30 \div 35$ %.

Для изготовления анизотропных гексаферритовых заготовок прессование проводилось в магнитном поле, приложенном вдоль направления прессования. РТС образцов проводили с использованием быстрых электронов на линейном ускорителе ИЛУ-6 (энергия электронов $E_e = 2,5$ МэВ) ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН.

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.

Магнитные характеристики объектов исследования регистрировались при комнатной температуре на вибрационном магнитометре M-155 фирмы EG&G.PARC (США). Образцами служили сферы $\varnothing 2,5 - 3,0$ мм, полученные из спеченных образцов.

Результаты экспериментальных исследований

Технологическая схема получения методом РТС поликристаллических гексагональных ферритов представлена на рис. 1.

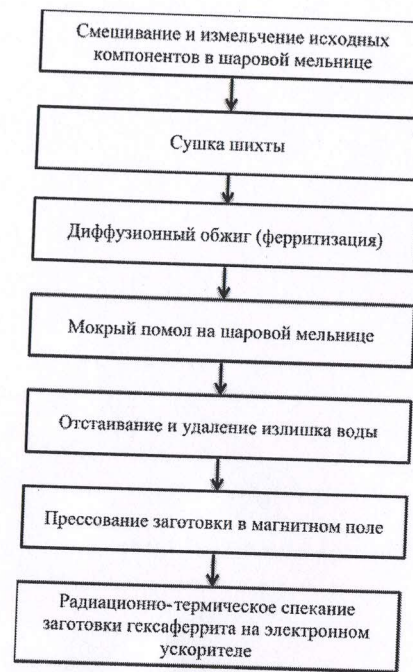


Рис. 1. Технология изготовления гексаферритов методом радиационно-термического спекания

Для прессования образцов в магнитном поле был сконструирован специальный пресс, оснащенный двумя катушками (электромагнит), которые создают магнитное поле. В верхнюю катушку входит плунжер прессы 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.

Равномерность магнитного поля является важным фактором, поскольку от его распределения напрямую зависят как свойства прессуемого материала, так и их однородность. Измерение напряженности магнитного поля в рабочем зазоре было проведено с помощью тесламетра, работающего на эффекте Холла. Графическое представление зависимости измеренных данных изображено на рис. 2.

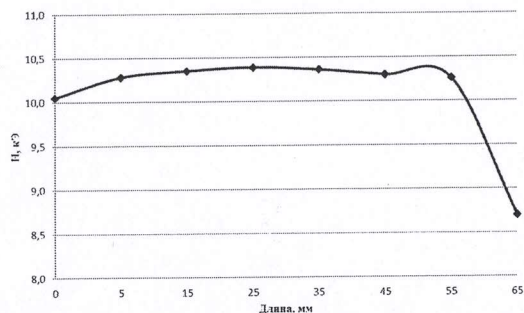
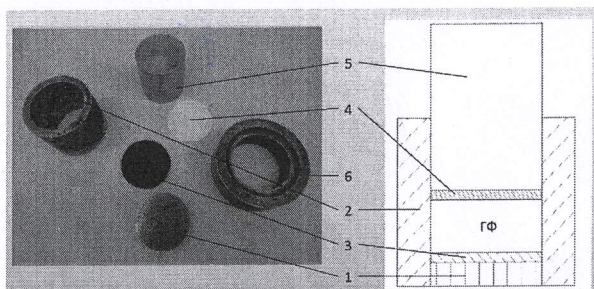


Рис. 2. Распределение магнитного поля в рабочем зазоре пресса для получения сырых заготовок гексаферрита

Результаты измерений показали, что напряженность магнитного поля при прессовании составила примерно 10 кЭ. В предположении, что для обеспечения качественной магнитной текстуры (выстраивания в одном направлении магнитных моментов большинства однодоменных частиц) требуется магнитное поле величиной $3 \cdot H_c$ (H_c – коэрцитивная сила), и $H_c \approx 3$ кЭ для гексаферритов бария и стронция, то поля с намагниченностью 10 кЭ должно быть достаточно для создания анизотропного материала.

Также из рис. 2 видно, что поле распределяется достаточно однородно, что должно обеспечивать однородность свойств прессуемого материала. Меньшее значение поля на краевой точке, возможно, может быть объяснено экранированием от корпуса пресса или физическими свойствами катушек.

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.



1 – нижний пуансон, 2 – внешняя форма, 3 – прокладка из фетра, 4 – прокладка из ткани, 5 – верхний пуансон, 6 – выпрессовочное кольцо

Рис. 3. Схема пресс-формы для прессования сырых анизотропных заготовок гексагональных ферритов

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. Используются 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.

Процесс прессования состоит из следующих стадий:

- 1) Загрузка суспензии ферритового порошка в пресс-форму;
- 2) Выдержка суспензии в магнитном поле с целью ориентации частиц порошка путем их механического поворота осями легкого намагничивания вдоль направления приложенного поля;
- 3) Предварительная откачка влаги с помощью форвакуумного насоса через пуансон с фильтрующими элементами;
- 4) Прессование суспензии при включенном магнитном поле и непрерывном откачивании освобождающейся влаги;
- 5) Распрессовка заготовки.

Для того чтобы выдержать прессовку в магнитном поле, верхний пуансон пресса опускается до контакта с верхним пуансоном пресс-формы, уменьшая зазор между катушками и позволяя более эффективно использовать магнитное поле. Далее происходит выдержка в магнитном поле. Далее при приложенном необходимом давлении заготовка выдерживается еще некоторое время.

Величина намагничивающего поля в процессе прессования составляла 10 кЭ.

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

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.

Температура в образце при проведении РТС достигалась варьированием частоты электронного пучка, его плотности и временем облучения.

В таблицах 1-4 представлена информация о режимах РТС гексаферритов разных составов

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

Таблица 1

№ 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 ПТС образцов $BaFe_{12-x}Al_xO_{19}$ (с добавками Ni, Ti, Mn)

№ образца	$T_{\text{спекс}}$, °C	$t_{\text{спекс}}$, мин	Скорость нагрева V , °C/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

Таблица 3
Технологические режимы ПТС образцов $SrFe_{12}O_{19}$

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

Таблица 4
Технологические режимы ПТС образцов $SrFe_{12-x}Al_xO_{19}$ (с добавками Ca, Si)

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

Рентгеновские исследования подтвердили, что в результате использования радиационно-термического спекания получены поликристаллы анизотропных гексагональных ферритов бария и стронция (как в чистом виде, так и замещенные). Характерные рентгеновские дифрактограммы гексаферритов $BaFe_{12}O_{19}$ и $BaFe_{12-x}Al_xO_{19}$ (с добавками Ni, Ti, Mn) представлены на рисунках 4 и 5. Результаты магнитных параметров сведены в таблицу 5.

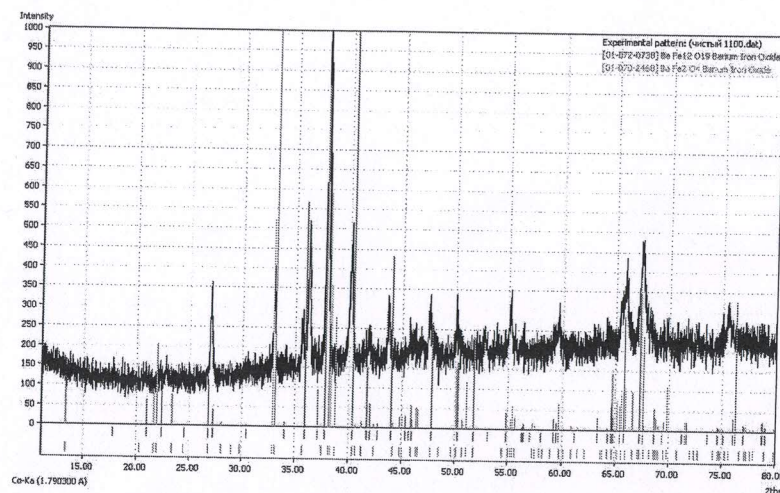


Рис. 4. Характерная рентгеновская дифрактограмма образца $BaFe_{12}O_{19}$, полученного методом ПТС при температуре спекания 1100°C

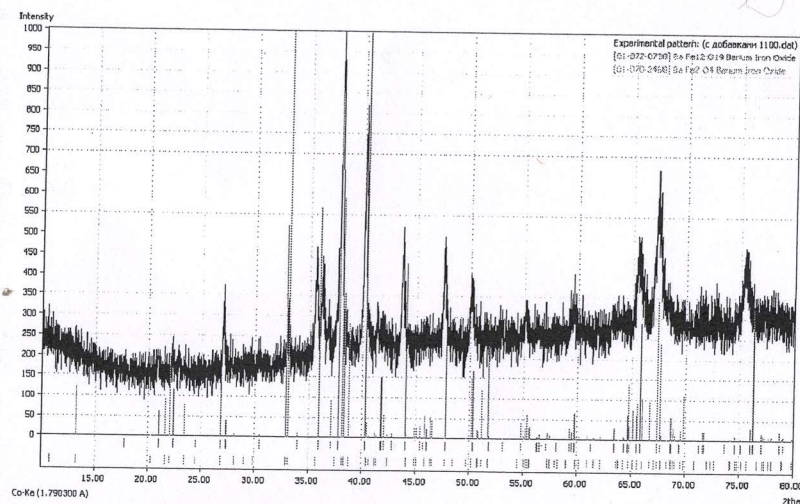


Рис. 5. Характерная рентгеновская дифрактограмма образца $BaFe_{12-x}Al_xO_{19}$ (с добавками Ni, Ti, Mn), полученного методом ПТС при температуре спекания 1100°C

Таблица 5

Магнитные свойства образцов гексаферритов бария и стронция

Химический состав	Поле насыщения H_{max} , кЭ	Поле анизотропии H_k , кЭ	Поле удельной намагниченности насыщения σ_s , emu/g	Поле остаточной удельной намагниченности σ_r , emu/g	Коэффициент прямоугольности петли M_r/M_s	Коэрцитивная сила по намагниченности H_c , кЭ
$SrFe_{11,9}Al_{0,1}O_{19}$ (с примесями $Ca^{2+} Si^{4+}$)	20,0	450,0	59,0	25,0	0,38	2,8
$SrFe_{11,8}Al_{0,2}O_{19}$ (с примесями $Ca^{2+} Si^{4+}$)	20,0	130,0	38,0	6,0	0,07	0,45
$BaFe_{12}O_{19}$	20,0	430,0	68,0	44,0	0,64	1,98
$SrFe_{12}O_{19}$	20,0	425,0	64,0	40,0	0,56	2,1

Заключение

В работе методом РТС получены поликристаллические гексагональные ферриты четырех составов для подложек сверхминиатюрных микрополосковых ферритовых развязывающих приборов миллиметрового диапазонов длин волн.

Особенностью изготовления анизотропных гексагональных ферритов по технологии РТС является прессование в сильном магнитном поле, приложенном по направлению прессования, и спекание в пучке быстрых электронов.

Полученные методом РТС образцы поликристаллических гексагональных ферритов полностью соответствуют требованиям для их применения в качестве подложек для микрополосковых ферритовых развязывающих приборов мм-диапазона.

Работа выполнена в НИТУ «МИСиС» при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках соглашения о предоставлении субсидии № 14.575.21.0030 от 27 июня 2014 г. (RFMEFI57514X0030).

Литература

- Летюк Л.М. Технология ферритовых материалов магнитоэлектроники / Л.М. Летюк, В.Г. Костишин, А.В. Горчар. – М.: МИСиС, 2005, – 352 с.
- Kostishyn V.G. Dual ferroic properties of hexagonal ferrite ceramics $BaFe_{12}O_{19}$ and $SrFe_{12}O_{19}$ / V.G. Kostishyn, L.V. Panina, A.V. Timofeev, L.V. Kozhitov, A.N. Kovalev, A.K. Zuzin. – Journal of Magnetism and Magnetic Materials, – 2016, № 400, с 327-332.
- Суржиков А.П. Радиационно-термическое спекание ферритовой керамики / А.П. Суржиков, А.М. Притулов. – Москва: Энергоатомиздат, 1998, – 217 с.
- Костишин В.Г. Магнитная структура и свойства $MnZn$ -ферритов, полученных методом

радиационно-термического спекания / В.Г. Костишин, В.В. Коровушкин, Л.В. Панина и др. – Неорганические материалы, 2014, т. 50, – № 12. – с. 1352-1356.

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

6. Киселев Б.Г. Обоснование экономических преимуществ технологии радиационно-термического спекания ферритовой керамики / Б.Г. Киселев, В.Г. Костишин, А.С. Комлев. – 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 I категории **Исаев И.М.**

НИТУ «МИСиС»
119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4
Тел./факс: 8 (495) 638-45-91
E-mail: isa@misis.ru

К.ф.-м.н. **Читанов Д.Н.**
НИТУ «МИСиС»
119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4
Тел./факс: 8 (495) 955-01-60
E-mail: denchitanov@mail.ru
Аспирант **Комлев А.С.**

НИТУ «МИСиС»
119049, г. Москва, Ленинский проспект, 4
Тел./факс: 8 (495) 955-01-60
E-mail: kom_lew@mail.ru
Заместитель генерального директора - директор по научной части **Щербаков 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: aleksevalbert@bk.ru

Инженер/аспирант **Белоконов 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 твердого тела и механохимии СО РАН
 630128, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18
 Тел./факс: 8 (383) 329-40-00
 E-mail: mikhailenkoma79@gmail.com

OBTAINING ANISOTROPIC HEXAGONAL FERRITES FOR SUBSTRATES MICROSTRIP MICROWAVE DEVICES OF MM- RANGE OF RADIATION THERMAL SINTERING

V.G. Kostishyn¹, I.M. Isaev¹, D.N. Chitanov¹, A.S. Komlev¹
¹National University of Science and Technology "MISIS"

S.V. Scherbakov², A.G. Nalagin², 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

We obtain polycrystalline hexagonal ferrite substrate of subminiature devices microstrip ferrite decoupling short-wave part of the centimeter and millimeter wavelength radiation and thermal sintering. A feature of the manufacture of anisotropic hexagonal ferrite technology radiation-thermal sintering is pressing in a strong magnetic field applied in the direction of compression, which allows target

particles and to obtain a material with a high degree of texture, and the use of various compounds and dopants in the manufacturing process, allows you to control electromagnetic and magnetic hexagonal ferrites.

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 BaFe₁₂O₁₉ and SrFe₁₂O₁₉ / 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. Surzhikov A.P., Prytulov A.M. Radiation-thermal sintering ferrite ceramics. – Moscow: Energoatomisdat, 1998. – 217 p.
4. 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
5. 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
6. 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: drvgkostishyn@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

Ph.D. **Chitanov D.N.**

NUST MISiS

Leninskiy pr. 4, Moscow, Russia, 119049.

Phone/fax: 8 (495) 955-01-60

E-mail: denchitanov@mail.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

Deputy General Director - Director for Research **Shcherbakov S.V.**

JSC "RPC "ISTOK" named after Shokin"

Vokzalnaya str., 2A, 141190, Fryazino, Moscow region, Russia

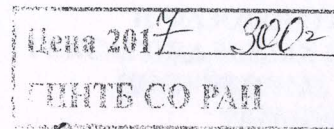
Phone/fax: 8 (495) 465-86-66

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) 329-40-00
E-mail: mikhailenkoma79@gmail.com

16-89198

5862



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
ТК 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