

06

## Влияние технологии получения ферритизированного порошка на степень магнитной текстуры пластин гексаферритов $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ и $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$

© А.В. Тимофеев, В.Г. Костишин, Д.Н. Читанов

Национальный исследовательский технологический университет „МИСиС“,  
Москва, Россия  
E-mail: andtim2011@gmail.com

Поступило в Редакцию 17 января 2019 г.

В окончательной редакции 17 января 2019 г.

Принято к публикации 23 января 2019 г.

Изучено влияние технологии получения ферритизированного порошка гексаферритов бария и стронция на степень магнитной текстуры пластин на их основе. Показано, что по сравнению с керамической технологией использование технологии химического соосаждения позволяет получать в пластинах гексаферритов при тех же значениях магнитного поля прессования сырых заготовок степень магнитной текстуры на 19–22% выше.

DOI: 10.21883/PJTF.2019.08.47619.17706

Ферриты на базе систем  $\text{BaO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{SrO}-\text{Fe}_2\text{O}_3$  относятся к классу магнитотвердых материалов и широко применяются в качестве постоянных магнитов [1]. Как известно, частицы гексаферритов типа  $M$  имеют несферическую форму и кристаллы растут преимущественно в базисной плоскости (медленнее всего вдоль оси) [2].

На основе пластин гексаферритов могут быть получены анизотропные магниты с высокими значениями магнитной энергии, а также подложки с высокой степенью магнитной текстуры для современных высокочастотных микрополосковых устройств сверхвысокочастотной электроники, работающих в миллиметровой области длин волн [3]. Достигается это прессованием сырых заготовок в присутствии магнитного поля, приложенного вдоль направления оси прессования.

Степень магнитной текстуры заготовки гексаферрита определяется формой частиц порошка гексаферрита и однородностью их распределения по размерам, с одной стороны, и величиной приложенного магнитного поля, с другой стороны.

Метод химического соосаждения позволяет получать частицы гексаферрита с большей однородностью распределения по размерам, а также существенно меньших размеров, чем метод традиционной керамической технологии [4–7]. Поскольку меньшие по размеру частицы гексаферрита легче сориентировать в магнитном поле, это позволит получить высокие значения степени магнитной текстуры в пластинах гексаферритов при меньших энергетических затратах.

Цель настоящей работы состоит в изучении влияния технологии получения ферритизированного порошка гексаферрита на степень магнитной текстуры пластин.

Образцы порошков гексаферритов  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  и  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ , полученные с помощью классической керамической технологии и метода химического соосаждения, подробно описанного в работах [8,9], исследовались

на сканирующих электронных микроскопах JEOL JSM-7800F и MIRA3 TESCAN.

Из имеющихся порошков гексаферритов были спрессованы сырые заготовки:  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  (керамическая технология),  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  (керамическая технология),  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  (технология химического соосаждения) и  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$  (технология химического соосаждения). Сырые заготовки имели форму шайб диаметром 10 мм и толщиной 3.0 мм. Используемое давление прессования равнялось 8 МПа, величина намагничивающего поля в конце прессования составляла 6.5 кОе. После прессования сырые заготовки сушились в естественных условиях в течение двух суток, после чего проводилась операция спекания в печи с резистивным нагревом при температуре 1200°C в течение 2 h.

Степень магнитной текстуры образцов оценивалась по формуле

$$D = \left[ 1 - \frac{B_{r\perp}}{B_{r\parallel}} \right] \cdot 100, \quad (1)$$

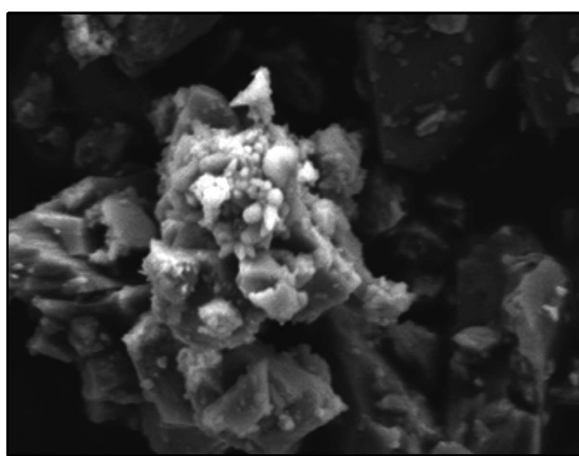
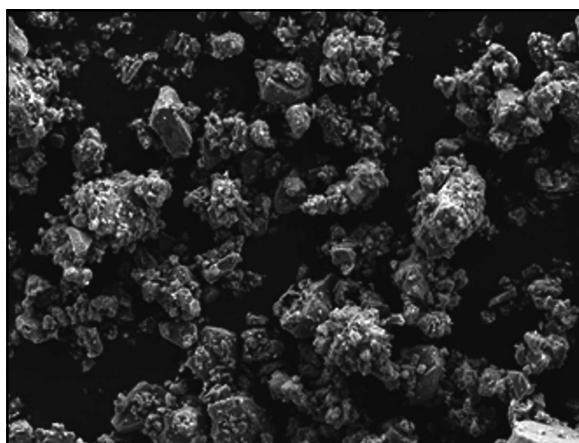
где  $D$  — степень магнитной текстуры (в процентах);  $B_{r\perp}$  и  $B_{r\parallel}$  — остаточная магнитная индукция поперек и вдоль оси текстуры соответственно.

На рис. 1–3 представлены при различных увеличениях фотографии ферритизированных порошков:  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ , керамическая технология (рис. 1);  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ , технология химического соосаждения (рис. 2);  $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ , технология химического соосаждения (рис. 3).

Как видно из представленных микрофотографий, для порошка гексаферрита, полученного по традиционной керамической технологии (изображение порошка гексаферрита стронция, полученного по керамической технологии, было сходно с изображением гексаферрита бария, представленным на рис. 1), характерны неправильная форма частиц и большой разброс по размерам. В то же время для порошков гексаферритов, полученных методом химического соосаждения, наблюдается правильная

Значения степени магнитной текстуры пластин гексаферритов бария и стронция в зависимости от технологии получения ферритового порошка

№ п/п	Химический состав порошка	Технология получения порошка	Степень магнитной текстуры, %
1	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	Традиционная керамическая технология	69
2	SrFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	То же	70
3	BaFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	Технология химического соосаждения	91
4	SrFe <sub>12</sub> O <sub>19</sub>	То же	89



**Рис. 1.** Микрофотографии порошка гексаферрита бария, полученного методом традиционной керамической технологии, при различных увеличениях.

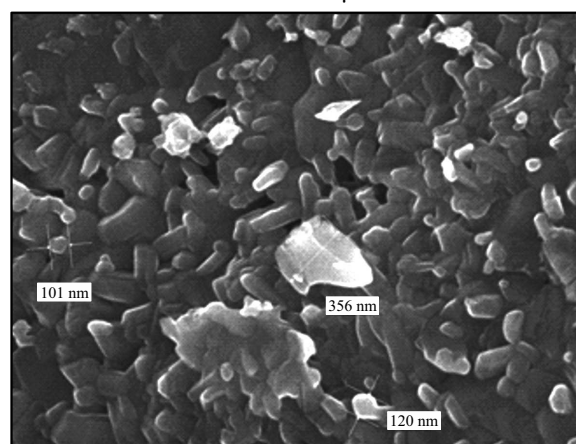
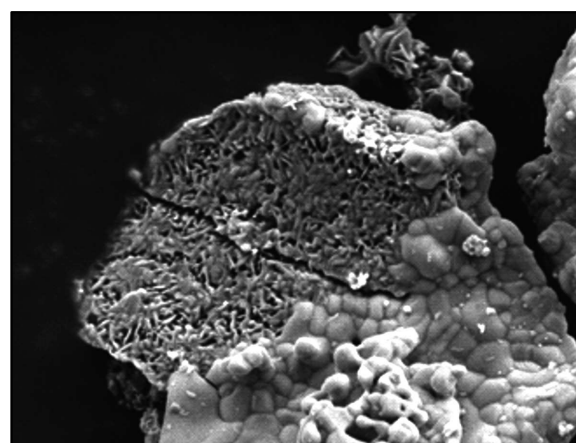
пластинчатая форма частиц и небольшой их разброс по размерам.

В таблице представлены определенные значения степени магнитной текстуры изученных порошков.

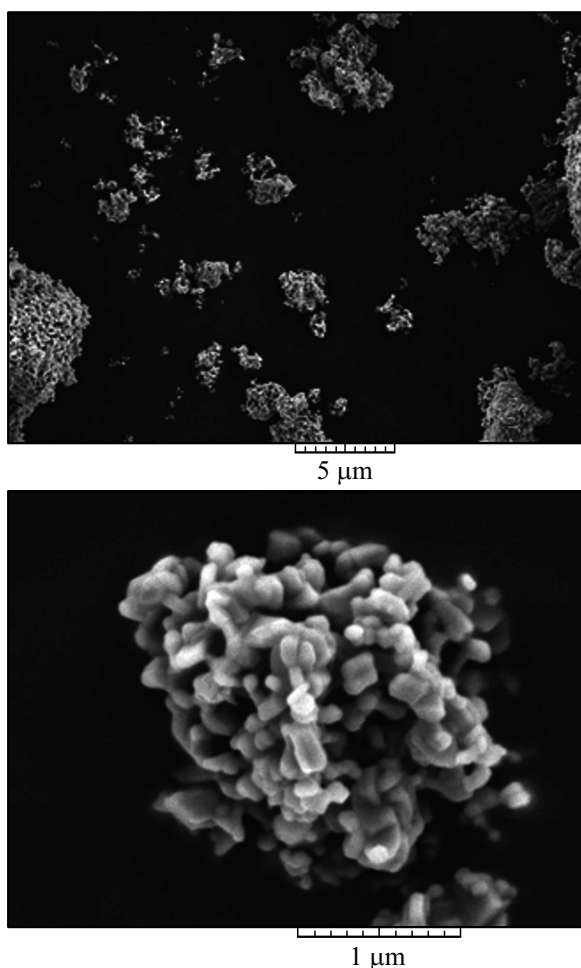
Как видно из данных таблицы, технология химического соосаждения является весьма эффективной по сравнению с традиционной керамической технологией для получения пластин гексаферритов с высокой степенью магнитной текстуры. В пластинах на основе

порошков гексаферритов, полученных методом химического соосаждения, удается достичь степени магнитной текстуры ~ 90%, т.е. на 19–22% выше, чем при тех же условиях и на том же оборудовании позволяет достичь традиционная керамическая технология.

Таким образом, изучено влияние технологии получения ферритизированного порошка на степень магнитной текстуры пластин на основе гексаферритов BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> и SrFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>. Как показали исследования, порошки гексаферритов, полученные по технологии химического



**Рис. 2.** Микрофотографии порошка гексаферрита бария, полученного методом химического соосаждения, при различных увеличениях.



**Рис. 3.** Микрофотографии порошка гексаферрита стронция, полученного методом химического соосаждения, при различных увеличениях.

соосаждения, позволяют получить пластины с большими значениями степени магнитной текстуры.

Использование в технологии поликристаллических гексаферритов для получения ферритовых порошков метода химического соосаждения позволит создавать анизотропные гексаферриты с повышенной степенью магнитной текстуры при меньших энергозатратах.

Работа выполнена в рамках гранта Президента № МК-1041.2017.8.

## Список литературы

- [1] Летюк Л.М., Костишин В.Г., Гончар А.В. Технология ферритовых материалов магнитоэлектроники. М.: МИСиС, 2005. 352 с.
- [2] Смит Я., Вейн Х. Ферриты. М.: Изд-во иностр. лит., 1962. 504 с.
- [3] Костишин В.Г., Андреев В.Г., Налогин А.Г., Алексеев А.А., Читанов Д.Н., Белоконь Е.А. // ЖТФ. 2017. Т. 87. В. 6. С. 956–958. DOI: 10.21883/JTF.2017.06.44526.2074

- [4] Mattei J.-L., Le C.N., Chevalier A., Maalouf A., Noutehou N., Queffelec P., Laur V. // J. Magn. Magn. Mater. 2018. V. 451. P. 208–213. DOI: 10.1016/j.jmmm.2017.10.121
- [5] El Shater R.E., El-Ghazzawy E.H., El-Nimr M.K. // J. Alloys Compd. 2018. V. 739. P. 327–334. DOI: 10.1016/j.jallcom.2017.12.228
- [6] Barrera V., Betancourt I. // J. Phys. Chem. Solids. 2016. V. 93. P. 1–6. DOI: 10.1016/j.jpcs.2016.02.007
- [7] Abraime B., Ait Tamerd M., Mahmoud A., Boschini F., Benyoussef A., Hamedoun M., Xiao Y., El Kenz A., Mounkachi O. // Ceram. Inter. 2017. V. 43. N 17. P. 15999–16006. DOI: 10.1016/j.ceramint.2017.08.187
- [8] Kostishyn V.G., Timofeev A.V., Chitanov D.N. // J. Nano- and Electron. Phys. 2015. V. 7. N 4. P. 04066.
- [9] Костишин В.Г., Тимофеев А.В., Читанов Д.Н. // Хим. технология. 2018. № 1. С. 11–15.