

Д. Е. БОНДАРЕВ, И. П. КИРИЧОК, И. Г. ЗИНОВЬЕВА, М. А. ШАМАНОВ

УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ  
ФЕРРИМАГНЕТИКОВ ВВЕДЕНИЕМ ИОНОВ-АКТИВАТОРОВ

(Представлено академиком Н. В. Беловым 23 VIII 1972)

Необходимость управления магнитными и электрическими свойствами ферримагнетиков возникла в связи с развитием быстродействующей вычислительной техники (1, 2). Особенно это относится к быстродействующим устройствам магнитной памяти ЭЦВМ (2), где гистерезисные параметры микросердечников, частично представленные в табл. 1, должны удовлетворять определенным требованиям. Кристаллохимическая природа трансформации, например, уровня магнитной индукции описана в (3, 4). Однако управление коэрцитивной силой осталось нерешенным.

Целью данной работы было изыскание физико-технологических путей управления уровнем коэрцитивной силы литий-марганецодержащей матрицы, поскольку литий-марганецодержащие ферриты (5) обладают высокой термостабильностью (0,1% / °C), хотя и невысоким быстродействием. Известно (6), что вариации по замещению литиевой составляющей приводят к понижению термостабильности (0,33% / °C), например, системы  $\text{Li}_{0,30}\text{Zn}_{0,25}\text{Ln}_{0,15}\text{Fe}_{2,30}\text{O}_4$ .

С целью отыскания оптимальных композиций, обладающих и повышенной требовательностью, и высоким быстродействием, нами исследовались системы  $\text{Li}_{0,5}\text{Fe}_{2,5-x}\text{Mn}_x\text{O}_4$ ;  $\text{Li}_{0,5}\text{Fe}_{2,5-(a+x)}\text{Mn}_a \cdot \text{Sc}_x\text{O}_4$ . Составы исследованных композиций с данными гистерезисных параметров приведены в табл. 2.

Графические зависимости уровней коэрцитивной силы литий-марганецодержащей матрицы в интервале изменений количества марганца  $0 \leq x \leq 0,8$  приведены на рис. 1 (1–4). Видно, что литий-марганецодержащая матрица обладает тремя участками стабильной коэрцитивности в зависимости от содержания марганца, а именно: 0–0,10; 0,10–0,30 и выше 0,30 (рис. 1, участок 3–4).

Наличие такой характеристики позволяет практически синтезировать семейство ферритов с перед заданными уровнями коэрцитивной силы. Нами прослежено влияние иона-активатора скандия, вводимого в литий-марганецодержащую матрицу с базисными уровнями марганца 0,00; 0,10, на  $H_c$ ; полученные данные (рис. 1) указывают на технологические возможности управления коэрцитивной силой с любых потенциальных отрезков матричной характеристики, а также бескислородный синтез ферритов.

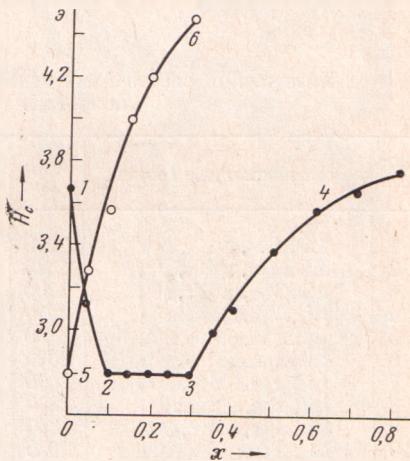


Рис. 1. Зависимость уровней коэрцитивной силы литий-марганецодержащей матрицы (1–4) и литий-марганец-скандийсодержащих ферритов (5, 6). Размер ферритовых сердечников для баллистических измерений  $10 \times 6 \times 2 \text{ mm}^3$

Таблица 1

Сравнительные магнитодинамические параметры ферритов с прямоугольной гистерезисной характеристикой

№№ п.п.	Марка феррита	$B_m$ , гс	$H_c$ , э	Коэф. пере- магн. $S_w$ , э.амсек	Источник
1	HS-2M	1100	1,60	0,28	( <sup>1-3</sup> )
2	HS-2	1100	1,40	0,46	То же
3	HS-3	900	0,85	0,46	» »
4	HS-5	900	2,20	0,26	» »
5	HS-8	800	0,70	0,48	» »
6	0,7 ВТ	2300	0,70	0,55	( <sup>9</sup> )
7	0,9 ВТ	2500	0,90	0,60	То же
8	1,3 ВТ	2300	1,30	0,65	» »
9	1,75 ВТ	2100	1,75	0,60	» »
10	2 ВТ	1800	2,00	0,55	» »
11	XF-4019	2100	1,65	0,55	( <sup>10</sup> )
12	XF-3018	2100	1,25	0,60	( <sup>10</sup> )
13	$Li_{0,5}Fe_{2,5}O_4$	2400	3,50	0,62	( <sup>11</sup> )
14	Li-феррит № 1	2400	6,30	1,06	( <sup>11</sup> )
15	Li-феррит № 2	2400	3,00	0,90	( <sup>11</sup> )
16	M102П-2К	2000	1,40	0,88	( <sup>12</sup> )
17	M101П-2К	2250	3,20	0,55	То же
18	M101П-2К	2500	2,20	0,60	» »
19	M102П-4У	2400	3,10	0,52	» »
20	3 ВТ-Li	2200	3,00	0,60	( <sup>13</sup> )
21	5 ВТ-Li	2200	5,00	0,55	( <sup>13</sup> )

Таблица 2

Химический состав и магнитные свойства литий-марганецодержащих и литий-скандийсодержащих ферритов

№№ п.п.	Композиционные составы	$B_m$ , гс	$H_c$ , э	№№ п.п.	Композиционные составы	$B_m$ , гс	$H_c$ , э
1	$Li_{0,5}Fe_{2,5}O_4$	2200	3,7	11	$Li_{0,5}Fe_{2,35}Mn_{0,1}Sc_{0,05}O_4$	1750	3,3
2	$Li_{0,5}Fe_{2,5}Mn_{0,05}O_4$	2325	3,1	12	$Li_{0,5}Fe_{2,30}Mn_{0,1}Sc_{0,10}O_4$	1700	3,4
3	$Li_{0,5}Fe_{2,40}Mn_{0,10}O_4$	2300	2,8	13	$Li_{0,5}Fe_{2,25}Mn_{0,1}Sc_{0,15}O_4$	1650	4,1
4	$Li_{0,5}Fe_{2,35}Mn_{0,15}O_4$	2320	2,8	14	$Li_{0,5}Fe_{2,20}Mn_{0,1}Sc_{0,20}O_4$	1550	4,3
5	$Li_{0,5}Fe_{2,30}Mn_{0,20}O_4$	2330	2,8	15	$Li_{0,5}Fe_{2,10}Mn_{0,1}Sc_{0,30}O_4$	1550	4,6
6	$Li_{0,5}Fe_{2,25}Mn_{0,25}O_4$	2390	2,8	16	$Li_{0,5}Fe_{2,0}Mn_{0,30}O_4$		
7	$Li_{0,5}Fe_{2,20}Mn_{0,30}O_4$	2400	2,8	17	$Li_{0,5}Fe_{2,15}Mn_{0,30}Sc_{0,05}O_4$		
8	$Li_{0,5}Fe_{2,15}Mn_{0,35}O_4$	2370	3,0	18	$Li_{0,5}Fe_{2,10}Mn_{0,30}Sc_{0,10}O_4$		
9	$Li_{0,5}Fe_{2,10}Mn_{0,40}O_4$	2260	3,1	19	$Li_{0,5}Fe_{2,05}Mn_{0,3}Sc_{0,15}O_4$		
10	$Li_{0,5}Fe_{1,90}Mn_{0,60}O_4$	2250	4,2	20	$Li_{0,5}Fe_{2,00}Mn_{0,30}Sc_{0,20}O_4$		
				21	$Li_{0,5}Fe_{1,90}Mn_{0,30}Sc_{0,30}O_4$		

Необычность такого метода управления коэрцитивностью системы требует выяснения кристаллофизических причин, лежащих в основе ионного метода управления этим параметром. Мы полагаем, что, наряду с кристаллохимическими свойствами ионов (структурная склонность, ионные радиусы, потенциалы ионизации, заселенность электронных орбиталей, экранирование) окисной матрицы и ионов-активаторов, за коэрцитивность системы также ответственны внутризеренные микро- и макровключения кластерного происхождения. Об этом свидетельствуют приведенные на рис. 2 микроструктуры, наблюдаемые после термического травления скандийсодержащих ферритов (табл. 1, композиции 11–15). При концентрациях  $Sc_2O_3$  от 0,10 до 0,25 размер зерен матрицы полностью сохраняется, однако выше 0,30 наступает частичное (но неполное) спонтанное деление зерен на локальные области. Эффект полного деления зерен, вероятно,

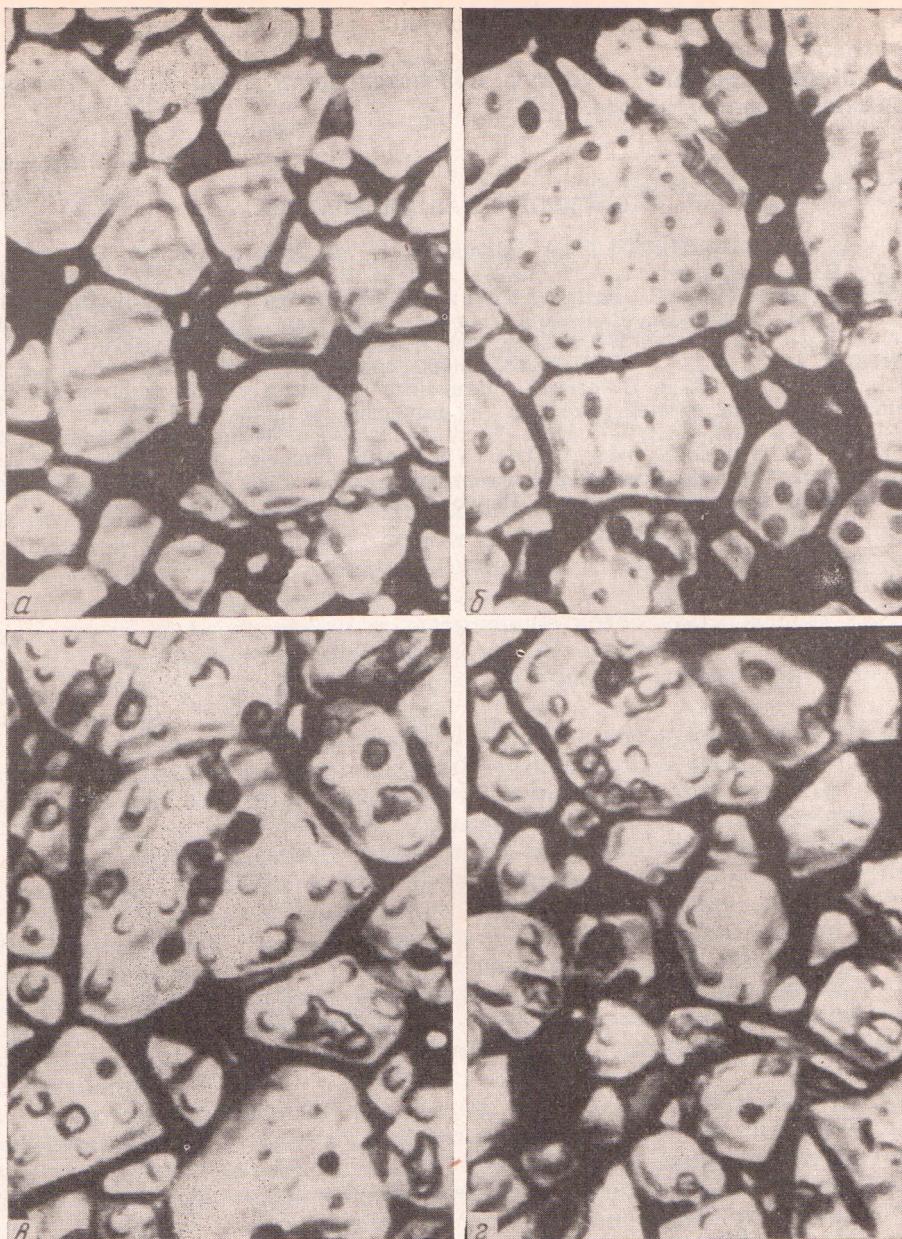


Рис. 2. Характер внутризеренных включений в зависимости от концентраций  $\text{Sc}_2\text{O}_3$ . *а* — 0,05; *б* — 0,1; *в* — 0,2; *г* — 0,3. Микрофотографии в поле микроскопа типа МБИ-6, 600×. Образцы для наблюдений в виде таблеток диаметром 16 мм и толщиной 2 мм. Температура термического травления 50—100°, т. е. выше температуры ферритизации

может быть достигнуто при повышенных концентрациях как ионов окисной матрицы, так и ионов-активаторов. В наблюдаемых образцах наличие мелкозернистости структуры сопровождается увеличением коэрцитивной силы (рис. 1, 5, 6). Полученные нами данные согласуются с теоретическими представлениями о роли градиентов внутренних микронапряжений<sup>(7)</sup> и макровключений<sup>(8)</sup>, влияющих на величину коэрцитивной зависимости. Приведенные иллюстрации восполняют данные<sup>(7, 8)</sup> по определению гра-

ниц микронапряжений и макровключений, возникающих за счет спонтанного деления зерен.

Авторы выражают глубокую признательность акад. Н. В. Белову за внимание к данной работе.

Поступило  
5 VII 1972

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> A. Greifer, IEEE Trans. Magnetics, **5**, 774 (1969). <sup>2</sup> О. А. Соловьев, Сборн. Редкие элементы, в. 4, 7 (1970). <sup>3</sup> Д. Е. Бондарев, ДАН, **154**, 83 (1964); **175**, 553 (1967). <sup>4</sup> Г. С. Подвальныx, П. П. Кирючок и др., ДАН, **201**, 1342 (1971). <sup>5</sup> C. Kuroda, T. Kawashima, IEEE Trans. Magnetics, **5**, 192 (1969). <sup>6</sup> A. H. Agajanian, IEEE Trans. Magnetics, **6**, 90 (1970). <sup>7</sup> Е. И. Кондорский, ЖЭТФ, **7**, 1117 (1937). <sup>8</sup> Л. Неель, Сборн. Физика ферромагнитных областей, ИЛ, 1951, стр. 245. <sup>9</sup> В. В. Бардиж, Магнитные элементы устройств вычисл. техники, сборн. Инст. точной механики и вычисл. техники, АН СССР, М., 1961. <sup>10</sup> Л. И. Рабкин, С. А. Соскин, Б. Ш. Эпштейн, Технология ферритов, 1962. <sup>11</sup> K. W. Babbitt, G. Sands, A. Dunlap, J. Appl. Phys., **40**, 14555 (1969). <sup>12</sup> А. И. Пирогов, Автореф. докторской диссертации, 1970. <sup>13</sup> В. Г. Глотов, Тез. докл. семинара по технологии ферритов, Ивано-Франковск, 1972, стр. 25.