

05;06

## Монокристаллические пленки феррогранатов с повышенной термостабильностью намагниченности и поля ферромагнитного резонанса

© С.И. Ющук, П.С. Костюк

Государственный университет "Львовская политехника", Львов

Поступило в Редакцию 17 июля 2000 г.

Предложен и экспериментально проверен путь подбора состава пленок железиттриевого граната, который позволяет получать толстые пленки с хорошими магнитными характеристиками.

Как уже отмечалось в [1], пленки замещенного галлием железиттриевого граната (ЖИГ) имеют повышенную температурную стабильность намагниченности насыщения и поля ферромагнитного резонанса (ФМР) по сравнению с пленками чистого ЖИГ. Однако такие пленки можно выращивать лишь при малых степенях замещения ( $x \leq 0.63$ ) и с невысокими толщинами до  $5 \mu\text{m}$  из-за значительного несоответствия параметров кристаллической решетки пленки и подложки.

Для устранения этого недостатка и для получения пленок толщиной до  $70 \mu\text{m}$  нами одновременно с замещением железа галлием в состав феррогранатовой пленки вводились ионы лантана, которые замещают ионы иттрия в додекаэдрических положениях. Ионы  $\text{La}^{3+}$ , обладая более высоким ионным радиусом ( $1.22 \text{ \AA}$ ), чем ионы  $\text{Y}^{3+}$  ( $1.06 \text{ \AA}$ ), компенсируют уменьшение параметра кристаллической решетки феррогранатовой пленки, вызываемое введением малых по размеру ионов  $\text{Ga}^{3+}$ .

Эпитаксиальные пленки  $\text{Y}_{3-y}\text{La}_y\text{Fe}_{5-x}\text{Ga}_x\text{O}_{12}$  ( $0.172 \leq x \leq 0.940$ ;  $0.033 \leq y \leq 0.161$ ) выращивали методом жидкофазной эпитаксии на подложках из галлий-гадолиниевого граната (ГГГ) ориентации (111) из расплавов гранатообразующих окислов  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  и растворителя  $\text{PbO-B}_2\text{O}_3$ . Для расчета состава шихты использовали молярные соотношения  $R_1-R_5$  Бланка-Нильсона [2,3], значения которых и другие параметры пленок приведены в таблице. Исследование

Составы La, Ga: ЖИГ пленок, молярные соотношения, параметры кристаллической решетки, коэффициенты распределения галлия и лантана

Расчетные составы, <sup>1</sup> а.у.		Молярные коэффициенты, а.у.					Составы гранатовых пленок, а.у.		Параметры решетки подложек ГГГ, Å	Параметры решетки пленок, Å	Коэффициенты распределения, а.у.	
<i>x</i>	<i>y</i>	<i>R</i> <sub>1</sub>	<i>R</i> <sub>2</sub>	<i>R</i> <sub>3</sub>	<i>R</i> <sub>4</sub>	<i>R</i> <sub>5</sub>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>a</i> <sub>s</sub>	<i>a</i> <sub>f</sub>	<i>K</i> <sub>Ga</sub> <sup>3+</sup>	<i>K</i> <sub>La</sub> <sup>3+</sup>
0.1	0.030	13	111	15.6	0.085	18	0.17	0.033	12.3826	12.3818	3.8	0.21
0.3	0.050	13	28	15.6	0.085	10.5	0.41	0.060	12.3821	12.3833	2.4	0.23
0.5	0.075	13	19	15.6	0.085	7.0	0.57	0.090	12.3826	12.3786	2.3	0.24
0.7	0.120	13	14	15.6	0.085	4.8	0.70	0.098	12.3822	12.3802	2.1	0.19
0.8	0.160	13	10.5	15.6	0.085	3.6	0.94	0.161	12.3822	12.3811	2.2	0.25

<sup>1</sup> По содержанию окислов галлия и лантана в шихте.

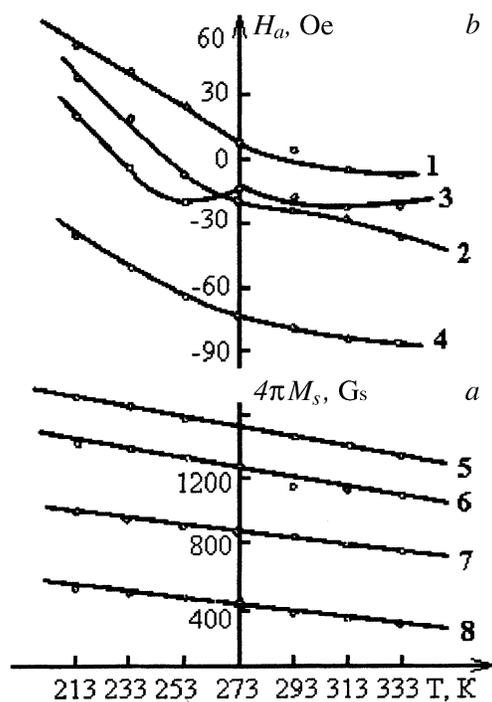
структуры и состава эпитаксиальных пленок выполняли с помощью растрового электронного микроскопа с рентгеновским микроанализатором "Comebax".

Некоторые расхождения между расчетными и экспериментальными значениями параметров содержания ионов галлия *x* и лантана *y*, по-видимому, обусловлены особенностями технологии выращивания, а также взаимным влиянием замещающих ионов Ga<sup>3+</sup> и La<sup>3+</sup>, коэффициенты распределения которых определяли из соотношений [4]:

$$K_{\text{Ga}} = \frac{(X_{\text{Ga}}/X_{\text{Ga}} + X_{\text{Fe}})f}{(X_{\text{Ga}}/X_{\text{Ga}} + X_{\text{Fe}})m}; \quad K_{\text{La}} = \frac{(X_{\text{La}}/3)f}{(X_{\text{La}}/X_{\text{La}} + X_{\text{Y}})m},$$

где *X*<sub>Ga</sub>, *X*<sub>Fe</sub>, *X*<sub>Y</sub> и *X*<sub>La</sub> — содержания галлия, железа, иттрия и лантана в пленке (*f*) и растворе-расплаве (*m*). В то же время как коэффициент *K*<sub>La</sub> незначительно зависит от состава шихты и его среднее значение составляет 0.22, *K*<sub>Ga</sub> для малых значений *x* сильно отличается от литературных данных 1.6–2.0 [5] (см. таблицу).

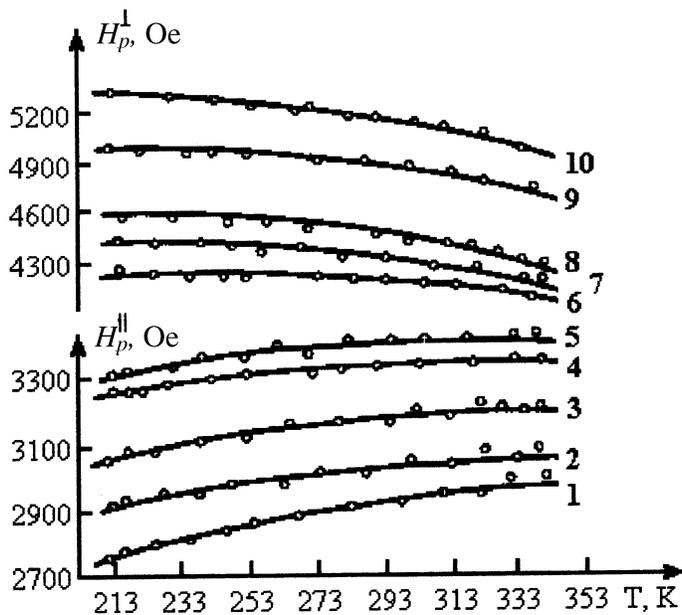
На рис. 1 приведены температурные зависимости намагниченности насыщения  $4\pi M_s$  и поля анизотропии *H*<sub>а</sub> пленок Y<sub>3-y</sub>La<sub>y</sub>Fe<sub>5-x</sub>Ga<sub>x</sub>O<sub>12</sub>. Как видно из рис. 1, а, при увеличении содержания ионов La<sup>3+</sup> и Ga<sup>3+</sup>



**Рис. 1.** Температурные зависимости намагниченности насыщения  $4\pi M_s$  (a) и поля анизотропии  $H_a$  (b) феррогранатовых пленок  $Y_{3-y}La_yFe_{5-x}Ga_xO_{12}$ : 2, 5 —  $x = 0.17$ ;  $y = 0.033$ ; 3, 6 —  $x = 0.41$ ;  $y = 0.060$ ; 1, 7 —  $x = 0.57$ ;  $y = 0.090$ ; 4, 8 —  $x = 0.94$ ;  $y = 0.161$ .

в пленках замещенного ЖИГ наряду с уменьшением намагниченности насыщения изменяется ее температурная зависимость. Так, для пленки с  $x = 0.17$ ,  $y = 0.033$  наклон кривой 5 составляет 2.7 Gs/K, в то время как для  $x = 0.94$ ,  $y = 0.161$  наклон кривой 8 не превышает 1.1 Gs/K.

Как видно из рис. 1, b, наклон кривых зависимости  $H_a$  от температуры с возрастанием содержания ионов  $La^{3+}$  и  $Ga^{3+}$  также уменьшается во всей области температуры. Причем с возрастанием степеней замещения  $x$  и  $y$  параметр  $H_a$  переходит в область отрицательных значений (кривая 4).



**Рис. 2.** Температурные зависимости резонансных полей  $H_p^{\parallel}$  и  $H_p^{\perp}$  для пленок  $Y_{3-y}La_yFe_{5-x}Ga_xO_{12}$ : 1, 10 —  $x = 0.17$ ;  $y = 0.033$ ; 2, 9 —  $x = 0.41$ ;  $y = 0.060$ ; 3, 8 —  $x = 0.57$ ;  $y = 0.090$ ; 4, 7 —  $x = 0.70$ ;  $y = 0.098$ ; 5, 6 —  $x = 0.94$ ;  $y = 0.161$ .

На рис. 2 для пленок  $Y_{3-x}La_yFe_{5-x}Ga_xO_{12}$  приведены температурные зависимости резонансных полей при параллельном ( $H_p^{\parallel}$ ) и перпендикулярном ( $H_p^{\perp}$ ) резонансах, когда постоянное магнитное поле соответственно направлено касательно или нормально к плоскости пленки. Как видно из рис. 2, наклоны кривых  $H_p^{\parallel}(T)$  и  $H_p^{\perp}(T)$  при увеличении содержания ионов  $La^{3+}$  и  $Ga^{3+}$  уменьшаются, причем для La, Ga:ЖИГ пленок наблюдается более высокая температурная стабильность резонансных полей, чем для Ga:ЖИГ пленок [1]. Так, при перпендикулярном резонансе температурный уход резонансного поля составляет: 3.2 Oe/K — для пленок чистого ЖИГ, 1.4 Oe/K — для Ga:ЖИГ пленок ( $x = 0.63$ ) и 0.7 Oe/K — для La, Ga:ЖИГ пленок ( $x = 0.94$ ;  $y = 0.161$ ).

Для La,Ga:ЖИГ пленок с  $x = 0.17$ ,  $y = 0.033$  получены минимальные значения ширины линии ФМР  $\Delta H = 0.4$  Ое. Для пленок с  $x = 0.94$ ,  $y = 0.161$   $\Delta H = 0.5$  Ое, что совпадает со значением  $\Delta H$  для пленок чистого ЖИГ одинаковой толщины. Следовательно, введение в структуру пленок ЖИГ немагнитных ионов  $\text{La}^{3+}$  и  $\text{Ga}^{3+}$  дает возможность значительно улучшить термостабильность основных параметров материала без существенного возрастания ширины линии ФМР.

## Список литературы

- [1] Ющук С.И., Костюк П.С., Лопатинский И.Е. // ЖФТ. 1998. Т. 68. № 9. С. 46–50.
- [2] Blank S.L., Nielson J.W. // Journ. Cryst. Growth. 1973. V. 17. P. 302–311.
- [3] Ющук С.И., Юрьев С.А., Костюк П.С. // Неорган. материалы. 1997. Т. 33. № 7. С. 881–883.
- [4] Балбашов А.М., Червоненкис А.Я. // Магнитные материалы для микроэлектроники. М.: Энергия, 1979. С. 159.
- [5] Эшенфельдер А. // Физика и техника цилиндрических магнитных доменов. М.: Мир, 1983. С. 334.