

05;11;12

## Термостабильность магнитных параметров эпитаксиальных феррит-гранатовых пленок при воздействии планарных радиальных напряжений

© В.Т. Довгий, Т.Г. Астафьева, Ф.Г. Барьяhtar, Г.И. Ямпольская

Донецкий физико-технический институт АН Украины,  
340114 Донецк, Украина

(Поступило в Редакцию 28 мая 1996 г.)

Исследовано влияние внешнего планарного радиального давления на термостабильность магнитных параметров эпитаксиальных феррит-гранатовых пленок. Исследования проводились в интервале температур 200–500 К и внешнего механического напряжения 0–40 кГ/мм<sup>2</sup>. Показано, что с помощью внешнего планарного радиального давления возможно улучшить термостабильность магнитных параметров в 1.5–2 раза, а также значительно изменить область монодоменности вблизи точки компенсации при ориентационных фазовых переходах.

Одним из важных требований, предъявляемых к материалам, содержащим цилиндрические магнитные домены, является температурная стабильность магнитных параметров [1–11]. В данной работе исследовалось влияние внешнего планарного радиального давления на термостабильность магнитных параметров феррит-гранатовых пленок составов (YSmLuCa)<sub>3</sub>(FeGe)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (1), (YSmLu)<sub>3</sub>(FeGa)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (2), (YGdTm)<sub>3</sub>(FeGa)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> (3), выращенных на подложках Gd<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>O<sub>12</sub> ориентации (111). Исследования проводились в интервале температур 200–500 К и внешнего механического напряжения 0–40 кГ/мм<sup>2</sup> на магнитооптических установках с использованием эффекта Фарадея. В данной работе показано, что с помощью внешнего планарного радиального напряжения можно значительно улучшить термостабильность магнитных параметров эпитаксиальных феррит-гранатовых пленок.

На рис. 1 для пленки состава (YSmLuCa)<sub>3</sub>(FeGe)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> приведены температурные зависимости характеристической длины  $l$ , энергии стенки  $\sigma_w$ , намагниченности насыщения  $4\pi M_s$ , поля анизотропии  $H_A$ , обменной константы  $A$ , фактора качества  $Q$ , полупериода полосовой структуры  $P_0/2$ , поля коллапса ЦМД  $H_k$ , периода  $a$  и диаметра ЦМД  $d$  в решетке ЦМД при внешнем напряжении  $\sigma_{вн} = 0$  (светлые точки) и  $\sigma_{вн} \neq 0$  (черные точки).

Температурные коэффициенты магнитных параметров, определяемые как  $P = [dP/dT/P] \cdot (100\%)$ , где  $P$  — любой (обобщенный) из выше перечисленных статических параметров эпитаксиальных феррит-гранатовых пленок при  $\sigma_{вн} = 0$  и  $\sigma_{вн} = 18$  кГ/мм<sup>2</sup>, приведены в табл. 1. Температурная зависимость характеристической длины  $l$  минимальна, если изменение  $4\pi M_s$  и  $\sigma_w$  компенсируется, т.е.  $\Delta M_s/M_s = \Delta \sigma_w/2\sigma_w$  [4].

На рис. 2 и табл. 2 для состава (YSmLu)<sub>3</sub>(FeGa)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> приведены аналогичные температурные зависимости магнитных параметров и их температурные коэффициенты.

Для эпитаксиальных феррит-гранатовых пленок состава (YGdTm)<sub>3</sub>(FeGa)<sub>5</sub>O<sub>12</sub>, имеющих точку компенсации близко к комнатной температуре ( $\sim 215$  К), рис. 3 иллюстрирует изменение магнитных параметров от температуры, а табл. 3 — их температурные коэффициенты при комнатной температуре (293 К) и 353 К соответственно для исходной пленки ( $\sigma_{вн} = 0$ ) и  $\sigma_{вн} = 16$  кГ/мм<sup>2</sup>.

Анализ графиков для пленок первых двух составов показывает, что магнитные параметры исходных пленок ( $\sigma_{вн} = 0$ ) и находящихся под внешним напряжением ( $\sigma_{вн} \neq 0$ ) монотонно уменьшается с температурой с зависимостью, близкой к линейной (за исключением области возле точки Нееля). Термостабильность магнитных параметров пленок, находящихся под внешним

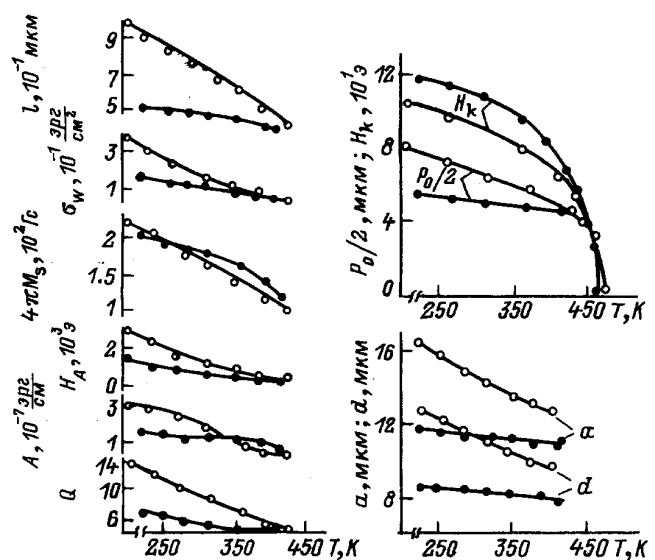


Рис. 1. Температурные зависимости магнитных параметров эпитаксиальных феррит-гранатовых пленок состава (YSmLuCa)<sub>3</sub>(FeGe)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> при  $\sigma_{вн} = 0$  (светлые точки) и  $\sigma_{вн} \neq 0$  (черные точки).

**Таблица 1.** Температурные коэффициенты магнитных параметров для пленки состава  $(YSmLuCa)_3(FeGe)_5O_{12}$

$\sigma_{вн}, \text{кГ/мм}^2$	$T, \text{К}$	$l_T, \%/K$	$\sigma_T, \%/K$	$M_T, \%/K$	$H_A, \%/K$	$A_T, \%/K$	$H_k, \%/K$	$P_0/2, \%/K$	$a_T, \%/K$	$d_T, \%/K$	$K_u, \%/K$	$\frac{\Delta\sigma_w}{\sigma_w} / \frac{\Delta M}{M}$
0	293	-0.32	-0.82	-0.28	-0.73	-0.4	-0.17	-0.22	-0.14	-0.13	-0.92	2.7
18	293	-0.16	-0.48	-0.16	-0.29	-0.35	-0.11	-0.07	-0.07	-0.05	-0.67	2.2

**Таблица 2.** Температурные коэффициенты магнитных параметров для пленки состава  $(YSmLu)_3(FeGa)_5O_{12}$

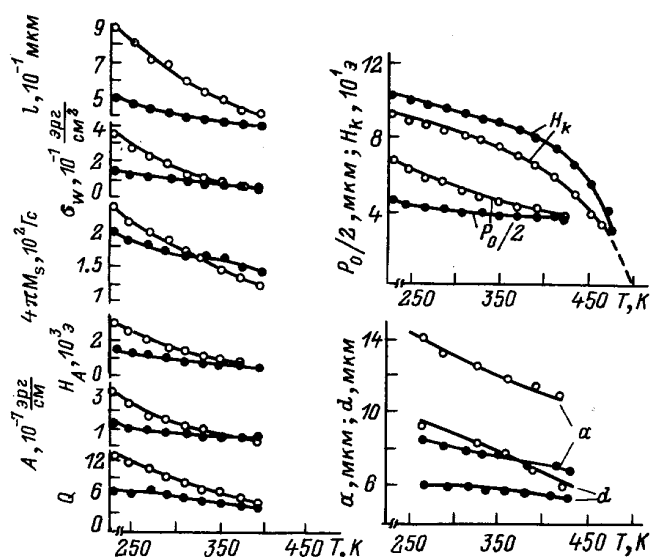
$\sigma_{вн}, \text{кГ/мм}^2$	$T, \text{К}$	$l_T, \%/K$	$\sigma_T, \%/K$	$M_T, \%/K$	$H_A, \%/K$	$A_T, \%/K$	$H_k, \%/K$	$P_0/2, \%/K$	$a_T, \%/K$	$d_T, \%/K$	$K_u, \%/K$	$\frac{\Delta\sigma_w}{\sigma_w} / \frac{\Delta M}{M}$
0	293	-0.43	-1.6	-0.34	-0.87	-0.94	-0.15	-0.30	-0.26	-0.22	-1.19	2.9
15	293	-0.19	-0.5	-0.16	-0.44	-0.4	-0.09	-0.12	-0.1	-0.13	-0.60	2.9

радиальным напряжением, улучшилась. Критерий температурной стабильности магнитных параметров (характеристической длины  $l$ , намагниченности насыщения  $4\pi M_s$ , плотности энергии границ  $\sigma_w$ , поля коллапса  $H_k$ , равновесного периода полосовой доменной структуры  $P_0$ ) сформулирован в работах [1,2,8]  $|P_T| \leq 0.2-0.3\%/K$ . Из приведенных таблиц видно, что температурные коэффициенты магнитных параметров для пленок, находящихся под внешним напряжением, уменьшились в 1.5–2 раза и лучше удовлетворяют критерию температурной стабильности.

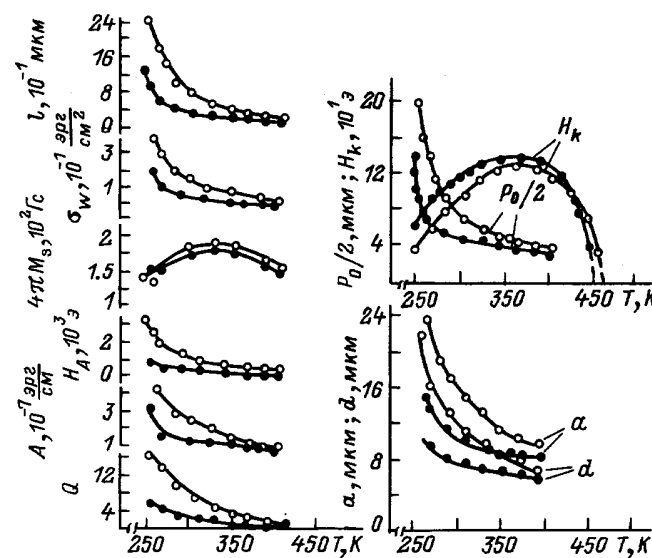
Критерий малого изменения характеристической длины  $l$  [4]  $\Delta M/M = \Delta\sigma/2\sigma_w$ , где  $\Delta M/M$  и  $\Delta\sigma/\sigma_w$  — относительные изменения намагниченности насыщения и энергии доменных границ соответственно, для пленок 1-го и 2-го состава при  $\sigma_{вн} = 0$  и  $\sigma_{вн} \neq 0$  принимает значения  $\Delta\sigma/\sigma/\Delta M/M = 2.62-3.1$ .

Улучшение термостабильности магнитных параметров при воздействии внешнего напряжения достигается за счет того, что изменение магнитных параметров по температуре компенсируется их изменением по напряжению.

В работе [12] показано, что значения магнитных параметров с увеличением внешнего напряжения уменьшаются (производная отрицательна), аналогичны изменения параметров и с изменением температуры. Если пленка при комнатной температуре будет находиться при некотором внешнем напряжении, которое с ростом температуры будет убывать, а с понижением температуры увеличиваться, то в некотором диапазоне температур изменение магнитных параметров по температуре и напряжению будет компенсировать друг друга ( $-dP/dT = +dP/d\sigma$ ). Улучшение термостабильности параметров доменной структуры обеспечивается прежде



**Рис. 2.** Температурные зависимости магнитных параметров эпитаксиальных феррит-гранатовых пленок состава  $(YSmLu)_3(FeGa)_5O_{12}$  при  $\sigma_{вн} = 0$  (светлые точки) и  $\sigma_{вн} \neq 0$  (черные точки).



**Рис. 3.** Температурные зависимости магнитных параметров эпитаксиальных феррит-гранатовых пленок состава  $(YGdTm)_3(FeGa)_5O_{12}$  при  $\sigma_{вн} = 0$  (светлые точки) и  $\sigma_{вн} \neq 0$  (черные точки).

**Таблица 3.** Температурные коэффициенты магнитных параметров для пленки состава  $(\text{YGdTm})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$ 

$\sigma_{\text{вн}}$ , кГ/мм <sup>2</sup>	$T$ , К	$l_T$ , %/К	$\sigma_T$ , %/К	$M_T$ , %/К	$H_A$ , %/К	$A_T$ , %/К	$H_k$ , %/К	$P_0/2$ , %/К	$a_T$ , %/К	$d_T$ , %/К	$K_u$ , %/К
0	293	-1.91	-0.98	+0.51	-1.53	-1.08	+1.37	-1.3	-0.93	-0.93	-0.86
16		-1.38	-0.55	+0.38	-1.06	-0.62	+0.67	-0.66	-0.65	-0.68	-0.48
0	353	-1.37	-1.47	-0.11	-1.52	-1.36	+0.31	-0.75	-0.53	-0.54	-1.57
16		-0.82	-0.95	-0.08	-0.97	-0.88	+0.05	-0.41	-0.22	-0.35	-1.04

всего за счет изменения одноосной анизотропии при воздействии внешнего напряжения.

Так как ЭФГП состава  $(\text{YGdTm})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$  имеет точку компенсации вблизи комнатной температуры, поэтому температурные коэффициенты магнитных параметров при 293 и 353 К у нее хуже, чем у пленок состава 1 и 2. Термостабильность магнитных параметров для пленки состава 3 при наличии внешнего планарного радиального напряжения улучшается (рис. 3 и табл. 3). В области температур, вблизи точки Нееля и точки компенсации, изменение магнитных параметров по температуре большое (прежде всего  $M_s$  и  $H_A$ ) и не компенсируется их изменением по давлению.

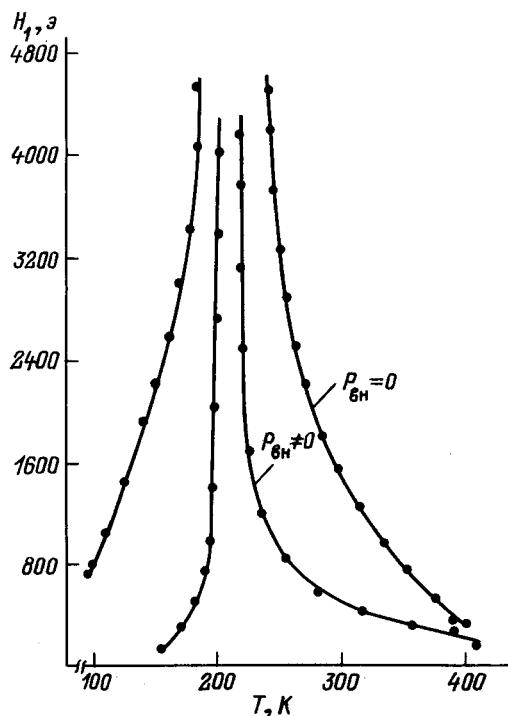
На рис. 4 для состава  $(\text{YGdTm})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$  приведена зависимость магнитного насыщения пленки в планарном поле  $H_{\perp}$  от температуры вблизи точки компенсации при  $\sigma_{\text{вн}} = 0$  и  $\sigma_{\text{вн}} \neq 0$ . Интервал монодоменности в области точки компенсации при  $\sigma_{\text{вн}} = 0$  составил  $\Delta T = 60$  К, при  $\sigma \approx 25$  кГ/мм<sup>2</sup>  $\Delta T = 10$  К ( $\sigma = 25$  кГ/мм<sup>2</sup> соот-

ветствует температуре 210 К). Таким образом, интервал монодоменности по температуре ЭФГП (состояние с однородным намагничиванием) уменьшился в 6 раз и это сужение области монодоменности связывается прежде всего с изменением одноосной анизотропии при планарном радиальном напряжении. Смещение точки компенсации незначительно  $\approx 5$  К (определяется как середина области монодоменности по полю насыщения).

Таким образом, показано, что с помощью внешнего планарного радиального напряжения возможно улучшить термостабильность магнитных параметров феррит-гранатов, а также значительно изменить область монодоменности, вблизи точки компенсации, при фазовых ориентационных переходах.

## Список литературы

- [1] Телеснин Р.В., Дудоров В.Н., Рандошкин В.В. // ФТТ. 1975. Т. 17. Вып. 10. С. 3015–3018.
- [2] Телеснин Р.В., Дудоров В.Н., Марченко А.Т., Рандошкин В.В. // Микроэлектроника. 1979. Т. 8. № 1. С. 84–89.
- [3] Ohta N., Ishida F., Ikeda T., Sugita Y. // J. Appl. Phys. 1980. Vol. 51. N 1. P. 589–593.
- [4] Smith D.M., Anderson A.W. // AIP Conf. Proc. 1972. Vol. 5. P. 120–124.
- [5] Dimayan M.J., Della Torre E. // J. Appl. Phys. 1972. Vol. 43. N 3. P. 1285–1287.
- [6] Dimayan M.J., Della Torre E. // J. Appl. Phys. 1972. Vol. 43. N 12. P. 5207–5209.
- [7] Yamaguchi K., Uchishiba M., Suzuki T. // IEEE Trans. Magn. 1980. Vol. MAG-16. N 5. P. 616–618.
- [8] Nielsen J.W. // IEEE Trans. Magn. 1976. Vol. MAG-12. N 4. P. 327–347.
- [9] Белов К.П., Белянчикова М.А., Левитин Р.З., Никутин С.А. Редкоземельные ферро- и антиферромагнетики. М.: Наука, 1965. С. 319.
- [10] Gualtieri D.M., Tumelty P.F., Gilleo M.A. // J. Appl. Phys. 1979. Vol. 50. N 11. P. 7824–7826.
- [11] Kestigian M., Smith A.B., Bekebrede W.R. // J. Appl. Phys. 1978. Vol. 49. N 3. P. 1873–1875.
- [12] Барьяхтар В.Г., Довгий В.Т., Сухаревский Б.Я. и др. // ФТТ. 1983. Т. 25. Вып. 5. С. 1415–1422.



**Рис. 4.** Зависимость магнитного насыщения пленки в планарном поле  $H_{\perp}$  от температуры вблизи точки компенсации при  $\sigma_{\text{вн}} = 0$  и  $\sigma_{\text{вн}} \neq 0$ .