

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Журнал технической физики, т. 58, в. 7, 1988

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОРТОРОМБИЧЕСКОЙ МАГНИТНОЙ АНИЗОТРОПИИ НА СКОРОСТЬ НАСЫЩЕНИЯ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ

Ю. В. Старостин, А. Ю. Трошин, А. А. Хома,
В. Б. Сизгачев, В. В. Рандошкин

Скорость насыщения доменных границ (ДГ) v_s в монокристаллических пленках феррит-гранатов (МПФГ), обладающих орторомбической магнитной анизотропией (ОРМА), может достигать 500 м/с, что на два порядка превышает значения v_s , характерные для МПФГ с одноосной анизотропией (ООМА) [1]. Для скорости насыщения плоской ДГ в пленках получены теоретические соотношения [2]

$$v_s^a = [(1 + 1/q + q_i/q)^{1/2} - 1] v_{s0}, \quad (1)$$

$$v_s^b = [(1 + q_i/q)^{1/2} - (1 + 1/q)^{1/2}] v_{s0}, \quad (2)$$

где v_s^a и v_s^b соответствуют случаям, когда ДГ параллельна и перпендикулярна легкой оси $[ijk]$ в плоскости пленки соответственно (наилучшим направлением намагничивания является нормаль к плоскости пленки, что является главным условием существования цилиндрических магнитных доменов (ЦМД)⁻; $q = K/2\pi M^2$ и $q_i = K_i/2\pi M^2$ — факторы качества материала; K — разность энергий при ориентациях намагниченности перпендикулярно плоскости и в плоскости пленки вдоль направления $[ijk]$; K_i — разность энергий при ориентации намагниченности вдоль направления $[ijk]$ и наиболее трудного направления в плоскости пленки; $4\pi M$ — намагниченность насыщения; A — постоянная обмена; γ — гиромагнитное отношение; $v_{s0} = 2\gamma (AK)^{1/2}/M$.

Для пленок с ООМА значение v_s удовлетворительно описывается эмпирическим соотношением [3]

$$v_{sL} \approx 0.1 \cdot 4\pi M (AK)^{1/2} \gamma. \quad (3)$$

Авторам известна лишь одна работа [4] по экспериментальной проверке соотношений (1) и (2) для $q, q_i \gg 1$. Для малых значений $q, q_i, q_i/q \lesssim 5$ такая проверка не проводилась; неизвестны и требования к параметрам МПФГ с ООМА, определяющие возникновение анизотропии скорости ДГ расширяющегося ЦМД. Выяснение этих обстоятельств и явилось целью настоящей работы.

МПФГ с ОРМА были выращены на подложках неодим-галлиевого (НГГ) и гадолиний-галлиевого (ГГГ) гранатов с ориентацией (110). Пленки системы $(\text{Bi, Pb, Gd, Eu, Ca})_3(\text{Si, Al, Fe})_5\text{O}_{12}/\text{НГГ}$ (I) выращивали, как описано в работе [5]; пленки систем $(\text{Bi, Y})_3(\text{Ga, Fe})_5\text{O}_{12}/\text{ГГГ}$ (II) и $(\text{Bi, Y, Tm})_3(\text{Ga, Fe})_5\text{O}_{12}/\text{ГГГ}$ (III) были получены из расплавов, близких к приведенным в работе [6]. Ориентацию осей $[110]$, $[\bar{1}\bar{1}0]$ и $[001]$ определяли рентгеновским методом; толщину h — интерференционным методом; ширину лабиринтных доменов w , после коллапса H_0 , минимальное $H_{\text{от}}$ и максимальное $H_{\text{ам}}$ поля опрокидывания вектора намагниченности в плоскость, температуру Нееля T_N — магнитооптическим методом; намагниченность $4\pi M$, характеристическую длину l и постоянную обмена A рассчитывали по значениям h, w, H_0, K [7]. Параметры ОРМА K, K_i , постоянную монокристаллической анизотропии K_1 и гиромагнитное отношение γ ДГ определяли методом ФМР из соотношений, полученных

в работе [8]. По ширине линии ФМР рассчитывали подвижность ДГ μ . Для сравнения K и K_i рассчитывали также по значениям H_{am} , H_{aM} и $4\pi M$

$$K^* = 0.5 (H_{am} + 4\pi M), \quad K_i^* = 0.5 (H_{aM} - H_{am} + 4\pi M) M. \quad (4)$$

Скорость движения ДГ v и скорость насыщения определяли методом высокоскоростной фотографии (ВСФ) по расширению доменов обратной намагниченности, зарождающихся при импульсном перемагничивании пленок из насыщенного состояния [9]. При этом измеряли скорость расширения ЦМД в направлении, перпендикулярном v_s^{\parallel} и параллельном v_s^{\perp} легкой оси $[ijk]$ в плоскости пленки.

Результаты измерений статических и динамических параметров, пленок, а также расчетов по формулам (1)–(3) приведены в табл. 1–3, а типичные зависимости скорости ДГ от

Таблица 1

№ МПФГ	h , мкм	w , мкм	H_0 , э	$4\pi M$, Гс	l , мкм	T_N , °С	$A \cdot 10^7$, эрг/см	$K^* \cdot 10^{-3}$	$K_i^* \cdot 10^{-3}$
								эрг/см ³	
I-1	9.6	3.8	242	375	0.313	195	2.0	33	3
I-2	3.7	2.9	191	318	0.269	190	1.88	13	6
I-3	1.7	1.7	220	423	0.189	198	1.97	—	—
I-4	2.0	1.5	267	435	0.137	206	2.33	—	—
II-1	3.9	5.2	64	150	0.657	118	1.29	5.4	5.4
II-2	3.3	5.1	54	142	0.67	120	1.37	5.3	5.3
II-3	4.0	3.75	90	166	0.40	129	1.30	3.7	6.7
III-1	3.2	9.0	25	110	0.592	120	1.30	1.0	2.2

Таблица 2

№ МПФГ	$[ijk]$	$K \cdot 10^{-3}$	$K_i \cdot 10^{-3}$	$K_1 \cdot 10^{-3}$	Q	Q_i	Q_i/Q	$\gamma \cdot 10^{-7}$, с ⁻¹ · э ⁻¹	μ , м/с · э
		эрг/см ³							
I-1	110	37	0.5	—9	3.4	0	0	1.11	59
I-2	110	15	4.5	—8	3.74	1.12	0.3	1.18	3.9
I-3	110	23	33.5	—8	3.24	4.73	1.46	1.16	3.5
I-4	110	11.4	25.6	—11	1.5	3.4	2.25	1.22	8.3
II-1	001	6.7	1.8	—1.5	7.5	2.0	0.27	1.80	48
II-2	001	5.3	4.1	—1.0	6.6	5.1	0.77	1.83	142
II-3	001	1.1	4.7	—1.5	1.0	4.27	4.27	1.41	460
III-1	001	3.7	16.2	—1.5	7.7	34	4.4	1.14	18

Таблица 3

№ МПФГ	v_s^{\perp} , м/с	v_s^{\parallel} , м/с	v_{SL} , м/с	v_W , м/с	v_g^a , м/с	v_s^b , м/с	v_{ss}^0 , м/с
I-1	16	16	9.7	48.4	46.8	46.8	1.0
I-2	23	28	13.3	66.4	125.0	7.0	4.0
I-3	280	180	14.4	71.8	308.0	197	7.2
I-4	360	200	24.0	119.9	357.2	187.6	11.0
II-1	40	40	11.8	59.2	162.4	54.0	6.0
II-2	20	20	13.2	66.1	337.9	225.5	8.2
II-3	330	67	25.4	127.2	465.6	272.9	13.8
III-1	730	623	7.4	37.2	744.0	722.2	5.7

поля представлены на рисунке. Для образцов II-3 и III-1 скорость насыщения не была достигнута. Анализ данных позволяет сделать следующие выводы.

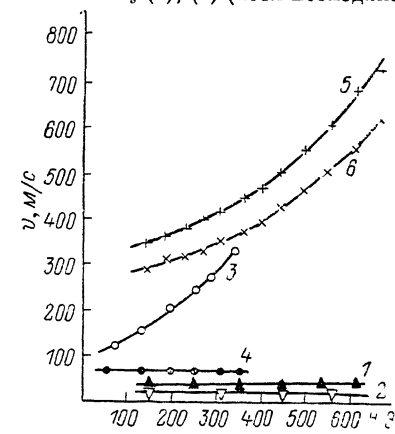
1. Согласно значений констант K^* и K , K_i^* и K_i в целом не очень хорошее. Предпочтение следует отдать более точным значениям, найденным методом ФМР ($\pm 10\%$).

2. Необходимым условием возникновения анизотропии скорости ДГ при общем увеличении v_s в случае ОРМА является значение $q_i/q \geq 1.5$. Это условие хорошо подтверждается сравнением наблюдаемых и рассчитанных теоретических значений v_s (1), (2) (хотя последние и относятся к плоским ДГ).

3. Для значений $0 \leq q_i/q \leq 1$ (скорость изотропна в пределах точности измерения (~5%) и заметно превышает значения v_{SL} , рассчитанные по эмпирической формуле (3), и v_{ss}^0 , рассчитанные с учетом скрученности ДГ [10], что еще раз доказывает непригодность этих моделей для оценки v_s в МПФГ с ориентацией (110).

4. Из-за низкого значения q в МПФГ П-3 легкая ось отклонена на $\sim 20^\circ$ от нормали к плоскости; в данной пленке значение $v_w^* = 67$ м/с значительно меньше $v_w = 127.2$ м/с, где $v_w = 0.5 \cdot 4\pi M (A/K)^{1/2} \gamma$ — предельная скорость Уокера, но и существенно больше, чем $v_{SL} = 25.4$ м/с. Найденные закономерности указывают на необходимость дополнительной теоретической проработки вопроса о возможности оценки скорости насыщения плоской ДГ в пленках (110) в случае ее изотропности ($0 \leq q_i/q \leq 1$) и интерпретации с этой целью соотношений (1) и (2). Очевидно также, что факт резкого снижения $v_s^* \approx 0.55v_w$ в случае анизотропии скорости при q , близком к единице, требует дополнительного обсуждения. Практически же важным является вывод о достижении высокой скорости ДГ (≥ 200 м/с) уже для отношений $q_i/q = 1.5 - 2.25$ и $q_i \geq 1.5$, поскольку получение МПФГ с $q_i/q > 2.25$ становится проблематичным для ЦМД диаметром менее 1 мкм [11]. Параметры ОРМА K и K_s удовлетворительно определяются методом ФМР; метод поворота намагниченности полем в плоскости дает большую погрешность (это не относится к случаю поворота во взаимоперпендикулярных полях [12]).

В заключение авторы выражают благодарность Н. И. Пацагану за помощь в выражении некоторых МПФГ.



Зависимости скорости доменной границы ЦМД v от амплитуды импульсного поля H для МПФГ П — 1 (1), П — 2 (2), П — 3 (3, 4), III — 1 (5, 6) при $v = v^* = v^{\perp}$ (1, 2), $v = v^{\perp}$ (3, 5), $v = v^{\parallel}$ (4, 6).

Литература

[1] Stacy W. T., Vaczmani A. B., Logmans H. Appl. Phys. Lett., 1976, v. 29, N 12, p. 817—819.
 [2] Schlöblann E. J. Appl. Phys., 1976, v. 47, N 3, p. 1142—1150.
 [3] De Leeuw F. H. IEEE Trans. Magn., 1978, v. 14, N 5, p. 596—598.
 [4] Breed D. J., Nederpel P. Q. J., De Geus W. J. Appl. Phys., 1983, v. 54, N 11, p. 6577—6583.
 [5] Старостин Ю. В., Смокин В. И., Гусев С. М., Дубинко С. В. В сб.: Цилиндрические магнитные домены, физические свойства и технические применения. М., 1980, в. 82, с. 70—74.
 [6] Hibiya T., Makino H. J. Appl. Phys., 1981, v. 52, N 12, p. 7347—7352.
 [7] Josephs R. M. AIP Conf. Proc., 1972, v. 10, p. 286—303.
 [8] Le Crow R. C., Pierce R. D., Blank S. L., Wolf R. IEEE Trans. Magn., 1977, v. 13, N 5, p. 1092—1094.
 [9] Zimmer G. J., Gal L., Vural K., Hamphrey F. B. J. Appl. Phys., 1975, v. 46, N 11, p. 4976—4981.
 [10] Slonczewski J. C. J. Appl. Phys., 1973, v. 44, N 4, p. 1759—1770.
 [11] Старостин Ю. В., Гусев В. Ю., Козлов В. И. и др. Тез. докл. VIII Всес. школы-семинара «Новые магнитные материалы для микроэлектроники». Донецк, 1982, с. 3—4.

Институт общей физики АН СССР
Москва

Поступило в Редакцию
22 августа 1986 г.
В окончательной редакции
29 декабря 1987 г.