

05.2; 06.3

© 1993

ПЛЕНКИ $(Tb, Bi)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$ ВБЛИЗИ ТОЧКИ
КОМПЕНСАЦИИ МОМЕНТА ИМПУЛЬСАВ.В. Рандошкин, В.В. Ефремов
М.В. Логунов, Ю.Н. Сажин

Висмут-содержащие монокристаллические пленки феррит-гранатов (Вс-МПФГ) являются функциональным материалом для ряда магнитооптических устройств. Высокое быстродействие таких устройств можно обеспечить, используя в них Вс-МПФГ с компенсацией момента импульса (КМИ) [1-4], поскольку как предельная скорость доменных стенок (ДС), так и скорость вращения намагниченности, пропорциональны гиромагнитному отношению γ , которое резко возрастает при приближении к точке КМИ. Высокие значения γ получены в пленках $(R, Bi)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$, где $R = Yb$ [5], Tm [6], Er [7], Ho [8], Dy [9] и Eu [10], при условии $M_S \gg |M_{Fe}|$. Здесь M_S - намагниченность насыщения, M_R - суммарная намагниченность тетраэдрической (d -) и октаэдрической (a -) подрешеток в структуре граната. Важнейшим параметром с точки зрения повышения быстродействия является также намагниченность насыщения, так как чем больше M_S , тем выше скорость вращения намагниченности и короче путь, проходимый ДС (меньше равновесная ширина доменов w).

В данной работе сообщается о синтезе новых Вс-МПФГ состава $(Tb, Bi)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$ с достаточно высокой намагниченностью насыщения. Эти пленки выращены методом жидкофазной эпитаксии из переохлажденного раствора-расплава на основе $PbO - Bi_2O_3 - B_2O_3$ на подложках $(Gd, Ga)_3(Mg, Zr, Ga)_5O_{12}$ с ориентацией (111). Параметры некоторых исследованных образцов приведены в таблице, в которой для сравнения приведены также данные для пленок с другими редкоземельными элементами и той же ориентацией. Здесь h - толщина пленки, H_0 - поле коллеса цилиндрических магнитных доменов (ЦМД), H_k - поле одноосной магнитной анизотропии, l - характеристическая длина, T_N - температура Нееля, μ - начальная подвижность ДС, v_{max} - максимальное значение скорости ДС, измеренное в эксперименте.

Динамику ДС исследовали методом высокоскоростной фотографии так же, как в [5, 6, 9]. В исходном состоянии образец намагничивали до насыщения полем смещения H_B вдоль нормали к плоскости пленки, а импульсное магнитное поле H_P прикладывали в противоположном направлении. Измеряли скорость ДС v домена с обратной намагниченностью, который зарождался при импульсном перемагничивании пленки из насыщенного состояния на точечном магнитном дефекте.

Параметры Вс-МПФГ состава $(R, Bi)_3 (Fe, Ga)_5 O_{12}$ с КМИ при комнатной температуре

№ п/п	R	h , мкм	ω , мкм	H_0 , Э	H_K , Э	l , мкм	$4EM_S$, Гс	T_N , °C	μ , см/(с·Э)	σ_{max} , М/с
1	Tb	9	3.5	345	1800	0.18	448	92	44	310
2	Tb	6.6	3.0	200	2000	0.20	278	153	43	316
3	Tb	2.5	3.5	180	2000	0.44	444	> 160	18	130
4	Yb	9.5	6.0	83	750	0.48	128	110	165	260
5	Tm	1.7	7.4	19	840	0.83	122	112	1080	1500
6	Er	2.8	4.0	93	1470	0.51	234	112	150	680
7	Ho	8.8	2.86	207	900	0.15	270	81	60	216
8	Dy	10.6	2.95	320	1050	0.13	433	120	66	150
9	Eu	4.4	7.9	47	2810	1.05	141	124	350	1500

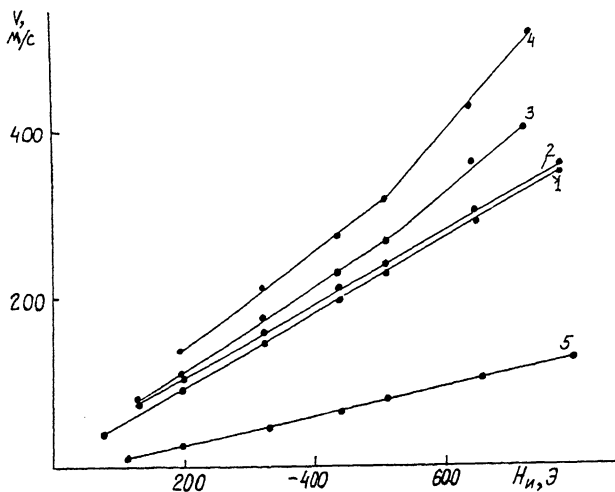


Рис. 1. Зависимости скорости ДС v от действующего магнитного поля H для образцов 1 (кривая 1), 2 (кривые 2-4), 3 (кривая 5) при разных значениях температуры T , $^{\circ}\text{C}$: 1 - 15; 2 - 15; 3 - 60; 4 - 100; 5 - 20.

Типичные зависимости скорости ДС v от действующего магнитного поля $H = H_p - H_B$ приведены на рис. 1. На всех кривых имеется достаточно протяженный начальный линейный участок, что свидетельствует о близости точки КМИ. Пленки $(\text{Tb}, \text{Bi})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$ среди Вс-МПФГ с КМИ обладают наименьшей подвижностью ДС, что и неудивительно, так как ионы Tb^{3+} вносят наибольшее затухание среди быстрорелаксирующих ионов. На кривых 3 и 4 (рис. 1) наблюдается участок, дифференциальная подвижность для которого ($\approx 85 \text{ см}/(\text{с} \cdot \text{Э})$) выше, чем начальная подвижность ДС ($\approx 43 \text{ см}/(\text{с} \cdot \text{Э})$). Такой же участок наблюдался и для Вс-МПФГ, содержащих Tm^{3+} [11] и Yb^{3+} [5], причем ему соответствовало уширенное изображение движущейся ДС, а в узком диапазоне полей H , предшествующем возникновению уширения изображения ДС, наблюдались локальные искажения формы движущейся ДС. В Tb -содержащих пленках такие искажения и уширение не наблюдались, причиной чего может быть и относительно малый размер доменов вблизи точки КМИ.

Низкое значение μ в пленках $(\text{Tb}, \text{Bi})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$ не позволило в исследованном диапазоне полей достичь предельной скорости ДС, свидетельством чего должно было быть насыщение скорости ДС или снижение дифференциальной подвижности [1, 2]. Следствием этого является сравнительно слабая температурная зависимость скорости ДС при фиксированном значении H (рис. 2, кривые 1 и 2). Для сравнения в Tm -содержащих пленках вблизи

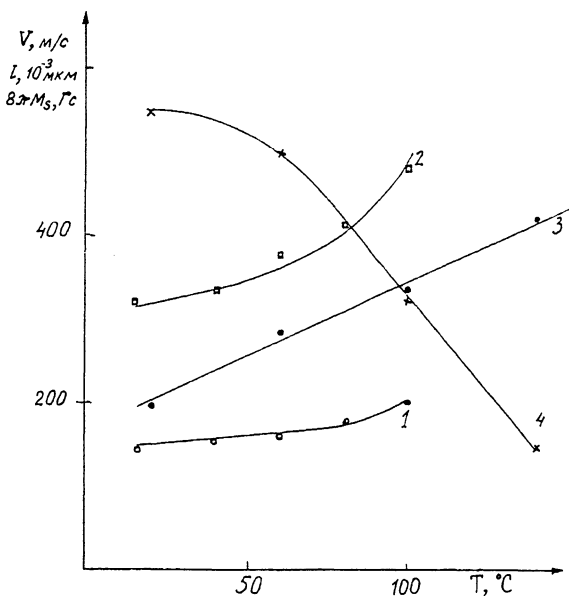


Рис. 2. Температурные зависимости скорости ДС v при $H = 300$ Э (1) и 700 Э (2), характеристической длины l (3) и намагниченности насыщения (4).

точки КМИ такие кривые имеют „резонансный” вид [1, 2]. Повышение v с ростом T (кривая 1) может быть обусловлено только увеличением начальной подвижности с температурой. На рис. 2 приведены также температурные зависимости характеристической длины и намагниченности насыщения. Уменьшение $4\pi M_s$ с температурой свидетельствует о том, что рост μ при повышении T может быть объяснен только эффектом возрастания подвижности ДС при приближении к точке КМИ [11], поскольку в соответствии с классической формулой

$$\mu = \Lambda^{-1} M_s \Delta_0$$

подвижность ДС должна уменьшаться с температурой. Здесь Λ – приведенный параметр затухания Ландау–Лифшица (не зависит от других параметров материала), $\Delta_0 = (A/K_u)^{1/2}$ – параметр ширины ДС (практически не зависит от температуры, так как константы обменного взаимодействия A и одноосной магнитной анизотропии K_u линейно снижаются с ростом T).

Как и для пленок $(\text{Ho}, \text{Bi})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$ [9], в Tb -содержащих пленках не удалось зарегистрировать сигнал ферромагнитного резонанса (ФМР). Это является дополнительным аргументом в пользу близости точки КМИ, так как вблизи этой точки имеет

место уширение, пропорциональное γ , и без того широкой линии ФМР, а также выход резонансных полей за пределы развертки ФМР-спектрометра.

Среди известных Вс-МПФГ состава $(R, Bi)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$ с КМИ Tb -содержащие пленки обладают наибольшей температурой Нееля (см. таблицу). Это может быть объяснено тем, что ионы Tb^{3+} не входят в а-подрешетку структуры граната, тогда как другие редкоземельные ионы меньшего размера замещают часть ионов железа в а-подрешетке, повышая уровень замещения железа галлием, необходимый для выполнения условия $M_S \gg |M_{Fe}|$, и снижая, как следствие, температуру Нееля [1].

Таким образом, в настоящей работе показано, что Вс-МПФГ состава $(Tb, Bi)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$ обладают достаточно высокой одноосной магнитной анизотропией, в них реализуется КМИ, причем Tb -содержащие пленки с КМИ обладают повышенной температурой Нееля среди аналогичных пленок с другими быстрорелаксирующими редкоземельными ионами.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Р ан д о ш к и н В.В., Ч е р в о н е н к и с А.Я. Прикладная магнитооптика. М.: Энергоатомиздат. 1990. 320 с.
- [2] R a n d o s h k i n V.V. // Pros. SPIE. 1989. V. 1126. P. 103-110.
- [3] R a n d o s h k i n V.V. // Pros. SPIE. 1990. V.1307. P. 124-133.
- [4] Р ан д о ш к и н В.В. В кн. „Магнитооптические пленки ферритгранатов и их применение“. М.: Наука, 1992. С. 49-107. (Тр. ИОФАН, Т. 35.)
- [5] А й р а п е т о в А.А., Л о г у н о в М.В., Р ан д о ш к и н В.В., Ч а н и В.И. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 2. С. 74-77.
- [6] З а б о л о т н а я Н.В., О с и к о В.В., Р ан д о ш к и н В.В., С и г а ч е в В.Б., Т и м о ш е ч к и н М.И. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. В. 13. С. 788-792.
- [7] Р ан д о ш к и н В.В., С и г а ч е в В.Б. // ФТТ. 1987. Т. 29. В. 9. С. 2658-2665.
- [8] А й р а п е т о в А.А., Л о г у н о в М.В., Р ан д о ш к и н В.В., Ч а н и В.И., Ш у ш е р о в а Е.Э. // ФТТ. 1992. Т. 34. В. 5. С. 1649-1651.
- [9] А й р а п е т о в А.А., Л о г у н о в М.В., Р ан д о ш к и н В.В., Ч а н и В.И., Ш у ш е р о в а Е.Э. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 4. С. 79-82.
- [10] Р ан д о ш к и н В.В., С и г а ч е в В.Б. // ЖТФ. 1988. Т. 58. В. 12. С. 2350-2354.
- [11] Р ан д о ш к и н В.В., С и г а ч е в В.Б. // ФТТ. 1990. Т. 32. В. 1. С. 246-253.

Поступило в Редакцию
27 декабря 1992 г.