

СРАВНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ САМАРИЙ- И ЕВРОПИЙСОДЕРЖАЩИХ ПЛЕНОК ФЕРРИТ-ГРАНАТОВ

© В.В.Рандошкин, Н.В.Васильева, В.Н.Дудоров,
Ю.А.Дурасова, А.Ф.Мартынов, Ю.Н.Сажин

Совместная хозрасчетная лаборатория «Магнитооптоэлектроника» института общей физики академии наук России при Мордовском государственном университете им. Н.П.Огарева, 430000 Саранск, Россия
(Поступила в Редакцию 24 ноября 1994 г.
В окончательной редакции 26 июня 1995 г.)

Обсуждаются возможности для повышения динамических параметров самарий- и европийсодержащих монокристаллических пленок феррит-гранатов (МПФГ), выращиваемых методом жидкофазной эпитаксии из переохлажденного раствора-расплава на различных подложках со структурой граната. Наиболее привлекательными представляются Eu-содержащие МПФГ, одновременно обладающие компенсацией момента импульса и орторомбической магнитной анизотропией.

Самарий- и европийсодержащие монокристаллические пленки феррит-гранатов (МПФГ) широко используются в запоминающих устройствах (ЗУ) на цилиндрических магнитных доменах (ЦМД) [1-6], поскольку в паре с лютецием они обеспечивают наибольшую магнитную анизотропию и как следствие минимальный диаметр ЦМД [1-7]. Статические магнитные свойства этих пленок хорошо изучены, в то время как исследованию их динамических свойств уделялось меньшее внимание.

В ЗУ на ЦМД, где продвигающие магнитные поля невелики, для повышения быстродействия критическим параметром в первую очередь является подвижность доменных стенок (ДС). Однако для других устройств (например, магнитооптических [8]), где действующие магнитные поля много больше, чем в ЗУ на ЦМД, быстродействие в основном определяется скоростью ДС.

Настоящая работа посвящена сравнительному анализу динамических свойств самарийсодержащих МПФГ, причем основное внимание уделяется анализу путей, обеспечивающих повышение быстродействия устройств на основе этих материалов.

МПФГ выращивались методом жидкофазной эпитаксии из переохлажденного раствора-расплава на основе $PbO-V_2O_5$ или $PbO-Bi_2O_3-V_2O_5$ на подложках гадолиний-галлиевого (ГГГ), самарий-галлиевого (СГГ), гадолиний-кальций-магний-цирконий-галлиевого

Параметры МПФГ при комнатной температуре

Номер п/п	Состав	Ориен- тация	h , μm	l , μm	$4\pi M_s$, Gs	Q	α	γ , 10^7 $\text{Oe}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
1	$(\text{Sm}, \text{Y}, \text{Lu}, \text{Ca})_3(\text{Fe}, \text{Ge})_5\text{O}_{12}$	(111)	6.5	0.51	169	5.6	0.08	1.76
2	$(\text{Sm}, \text{Y})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$	(111)	4.7	0.53	178	5.1	0.15	1.76
3	$(\text{Eu}, \text{Y}, \text{Ca})_3(\text{Fe}, \text{Ge})_5\text{O}_{12}$	(111)	7.1	0.86	209			26
4	$(\text{Eu}, \text{Bi})_3(\text{Fe}, \text{Ga}, \text{Al})_5\text{O}_{12}$	(111)	6.0	0.50	160	11.8	1.9	
5	$(\text{Eu}, \text{Bi})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$	(110)	3.2	2.0	123	70		
6	$(\text{Eu}, \text{Bi})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$	(111)	6.1	1.3	115	87		
7	$(\text{Eu}, \text{Bi})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$	(210)	8.7	0.91	232	31		

(ГКМЦГГ) и неодим-галлиевого (НГГ) гранатов с ориентацией (111). Для выращивания МПФГ с орторомбической магнитной анизотропией (ОРМА) использовались также подложки с ориентацией (110) и (210). Параметры некоторых исследованных образцов приведены в таблице, где h — толщина пленки, l — характеристическая длина, $4\pi M_s$ — намагниченность насыщения, Q — фактор качества материала, α — безразмерный параметр затухания Гильберта, γ — эффективное значение гиромагнитного отношения.

Измерения проводились методом ферромагнитного резонанса (ФМР) на частоте 9.34 GHz [8-12] и методом высокоскоростной фотографии с временем экспозиции не более 10 ns [13-18].

Подвижность ДС μ в первую очередь определяется приведенным параметром затухания Ландау-Лифшица Λ

$$\mu = \Lambda^{-1} M_s \Delta_0, \quad (1)$$

где Δ_0 — параметр ширины ДС. Заметим, что в отличие от безразмерного параметра затухания

$$\alpha = \Lambda \gamma / M_s, \quad (2)$$

параметр Λ не зависит от других магнитных параметров МПФГ, а определяется только типом и концентрацией быстрорелаксирующих магнитных ионов в пленке.

Динамические свойства МПФГ характеризуются также предельной скоростью срыва стационарного движения ДС. Для МПФГ вблизи компенсации момента импульса (КМИ) [18] эта величина равна уокеровской предельной скорости

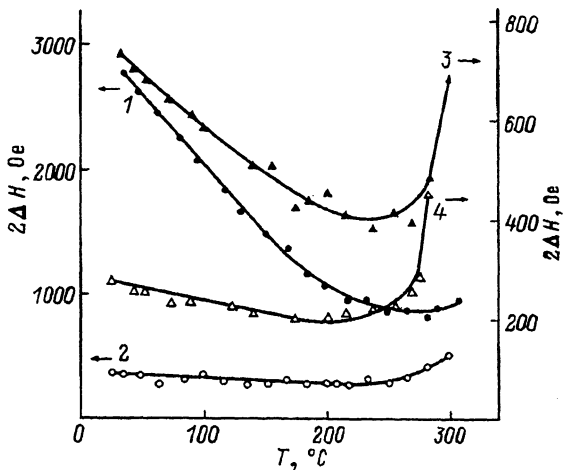
$$V_W = 2\pi\gamma M_s \Delta_0. \quad (3)$$

Вдали от КМИ предельная скорость описывается эмпирической формулой Де Лива [19]

$$V_L = 0.4\pi\gamma M_s \Delta_0 \approx V_W / 5. \quad (4)$$

Использование предельной скорости для характеристики динамических свойств МПФГ оправдано лишь для пленок с малым затуханием

Рис. 1. Температурные зависимости ширины линии ФМР $2\Delta H$ в МПФГ $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (1) и $\text{Eu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (2), выращенных на подложках НГГ с ориентацией (111), а также в МПФГ $(\text{Sm},\text{Tm})_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (3) и $(\text{Eu},\text{Tm})_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (4), выращенных на подложках ГГГ с ориентацией (111).



($\alpha < 10^{-1}$), поскольку в них после достижения предельной скорости наблюдается участок «насыщения», на котором скорость ДС V слабо зависит от действующего магнитного поля H . При большом α , в частности в МПФГ с КМИ ($\alpha > 1$), участок насыщения не наблюдается, а срыв стационарного движения ДС приводит лишь к незначительному уменьшению наклона зависимости $V(H)$ [18].

На рис. 1 приведены температурные зависимости ширины линии ФМР $2\Delta H(T)$ для эпитаксиальных МПФГ $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ и $\text{Eu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, выращенных на подложках НГГ, а также для МПФГ $(\text{Sm},\text{Tm})_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ и $(\text{Eu},\text{Tm})_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, выращенных на подложках ГГГ. Видно, что в самарийсодержащих МПФГ ширина линии ФМР и, следовательно, параметр затухания существенно больше, чем в европийсодержащих. Это обеспечивает более высокую подвижность ДС в последних (при равной концентрации). В МПФГ $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ ширина линии ФМР сильно изменяется с температурой (кривая 1), тогда как для МПФГ $\text{Eu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ в широком диапазоне температур T значение $2\Delta H$ остается неизменным (кривая 2). Это объясняется ван-флековским парамагнетизмом ионов Eu^{3+} [20]. Замещение части ионов Sm^{3+} ионами Tm^{3+} , вносящими наименьшее затухание среди быстрорелаксирующих редкоземельных ионов, приводит, как следовало ожидать, исходя из модели быстрой релаксации [21], к уменьшению наклона зависимости $2\Delta H(T)$ (когда температура не слишком близка к температуре Нееля) (кривая 3 на рис. 1). Замена части ионов Eu^{3+} на Tm^{3+} , наоборот, приводит к увеличению наклона этой кривой (кривая 4 на рис. 1). Заметим, что температурные зависимости $2\Delta H$ (кривые 1 и 2 на рис. 1), полученные для эпитаксиальных пленок, практически совпадают с аналогичными зависимостями для монокристаллов $\text{Sm}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ и $\text{Eu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ [22].

Исследование влияния содержания самария X_{Sm} и европия X_{Eu} на динамические параметры МПФГ проводили на примере пленок системы $\text{Sm}_x(\text{Lu},\text{La})_{3-x}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ и $\text{Eu}_y(\text{Lu},\text{La})_{3-y}\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, выращенных на подложках НГГ, СГГ и ГГГ. Для каждой подложки согласование параметров решеток пленки и подложки обеспечивалось изменением соотношения между содержанием лютеция и лантана. Заметим, что ионы Lu^{3+} и La^{3+} , являясь сферически-симметричными, не вносят дополнительного затухания.

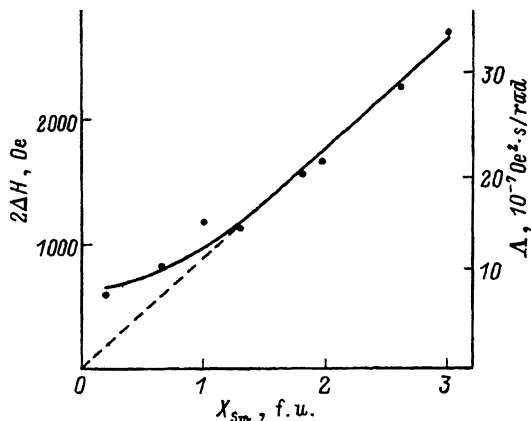


Рис. 2. Зависимость ширины линии ФМР $2\Delta H$ (приведенного параметра затухания Ландау-Лифшица Δ) от содержания самария X_{Sm} в МПФГ системы $Sm_x(Lu,La)_{3-x}Fe_5O_{12}$, выращенных на подложках ГГГ, СГГ и НГГ с ориентацией (111).

Для самарийсодержащих пленок значения намагниченности насыщения и эффективного значения гиромагнитного отношения не зависят от соотношения редкоземельных ионов и составляют $4\pi M_s = (1800 \pm \pm 150) \text{Gs}$ и $\gamma = (1.76 \pm 0.05) \cdot 10^7 \text{Oe}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Зависимость ширины линии ФМР от содержания самария (рис. 2) близка к линейной. Отклонения от прямой, проходящей через начало координат, при малых X_{Sm} объясняются влиянием переходных поверхностных слоев и неоднородностью эффективного поля одноосной магнитной анизотропии в них. Особенно сильно эта неоднородность сказывается, когда значения X_{Sm} и X_{Lu} заметно отличаются.

Поскольку в самарийсодержащих МПФГ значение $4\pi M_s$ одинаково для всех МПФГ системы $Sm_x(Lu,La)_{3-x}Fe_5O_{12}$, то концентрационная зависимость $\Delta(X_{Sm})$ имеет такой же вид, как зависимость на рис. 2. Удельный вклад ионов Sm^{3+} на формульную единицу граната (f.u.) в затухание

$$\Lambda_{Sm} = \Delta / X_{Sm}, \quad (5)$$

определенный с помощью зависимости $2\Delta H(X_{Sm})$ с использованием соотношения

$$\Lambda = \Delta H M_s / \omega, \quad (6)$$

где ω — частота ФМР, составляет $10.5 \cdot 10^{-7} (\text{Oe}^2 \cdot \text{s/rad}) / (\text{f.u.})$.

Таким образом, ионы Sm^{3+} дают аддитивный вклад в затухание, удельная величина которого приведена выше.

В европийсодержащих МПФГ гиромагнитное отношение с ростом содержания европия в МПФГ $Eu_y(Lu,La)_{3-y}Fe_5O_{12}$ уменьшается по линейному закону от $1.76 \cdot 10^7 \text{Oe}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ при $y = 0$ до $1.26 \cdot 10^7 \text{Oe}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ для $Eu_3Fe_5O_{12}$ (кривая 1 на рис. 3). Следовательно, при равном содержании в пленке в случае европия предельная скорость V_W (или V_L) ниже, чем в случае самария.

Концентрационная зависимость гиромагнитного отношения (рис. 3) для европийсодержащих МПФГ описывается соотношением

$$\gamma = \gamma_0 (M_{Eu} / M_{Fe}), \quad (7)$$

где $\gamma_0 = 1.76 \cdot 10^7 \text{Oe}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ — гиромагнитное отношение ионов Fe^{3+} , M_{Eu} — намагниченность додекаэдрической подрешетки, обусловлен-

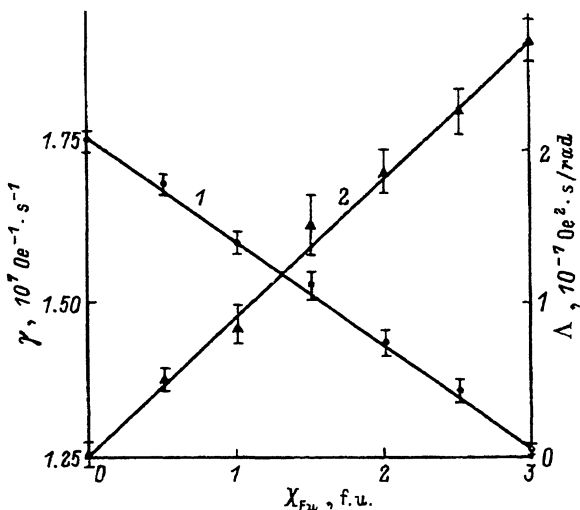


Рис. 3. Зависимости эффективного значения гиромангнитного отношения γ (1) и приведенного параметра затухания Ландау-Лифшица Λ (2) от содержания европия X_{Eu} в МПФГ системы $Eu_y(Lu,La)_{3-y}Fe_5O_{12}$, выращенных на подложках ГГГ, СГГ и НГГ с ориентацией (111).

ная ионами Eu^{3+} , M_{Fe} — суммарная намагниченность окта- и тетраэдрической подрешеток, обусловленная ионами Fe^{3+} . Значение M_{Eu} находили как разность значений намагниченности насыщения для $(Lu,La)_3Fe_5O_{12}$ и МПФГ данного состава. Из данных рис. 3 и соотношения (7) следует, что $M_{Eu}/M_{Fe} = 0.284$.

Значение Λ для европийсодержащих пленок рассчитывали с помощью соотношения

$$\Lambda = \Delta H(M_{Fe} - M_{Eu})/\omega. \quad (8)$$

Из рис. 3 (кривая 2) видно, что приведенный параметр затухания Ландау-Лифшица с ростом X_{Eu} увеличивается по линейному закону, что свидетельствует об аддитивном вкладе ионов Eu^{3+} в затухание. Для МПФГ $Eu_3Fe_5O_{12}$ получено значение $\Lambda = 2.7 \cdot 10^{-7} \text{ Oe}^2 \cdot \text{s} / \text{rad}$, что несколько выше, чем для монокристаллов того же состава, для которых $\Lambda = 2.2 \cdot 10^{-7} \text{ Oe}^2 \cdot \text{s} / \text{rad}$ [8,23]. Такое расхождение объясняется неоднородностью МПФГ в переходных поверхностных слоях. Удельный вклад ионов Eu^{3+} в затухание Λ_{Eu} , определенный с помощью зависимости $\Lambda(X_{Eu})$, составляет $0.90 \cdot 10^{-7} \text{ Oe}^2 \cdot \text{s} / [\text{rad}(\text{f.u.})]$.

Если самарийсодержащие МПФГ не обладают ОРМА, а в их состав не входят быстрорелаксирующие редкоземельные магнитные ионы (Tm^{3+} , Yb^{3+} , Eu^{3+} , Ho^{3+} , Dy^{3+} , Tb^{3+}), то единственной возможностью повышения динамических параметров МПФГ в полях, существенно меньших эффективного поля одноосной магнитной анизотропии, является обеспечение режима движения ДС, сопровождаемого локальным вращением намагниченности перед ней. В этом случае имеет место резкое увеличение скорости ДС с ростом действующего магнитного поля (резко повышается дифференциальная подвижность ДС). Такое повышение скорости иллюстрируют кривые зависимости V от амплитуды импульсного магнитного поля H_p , полученные для МПФГ

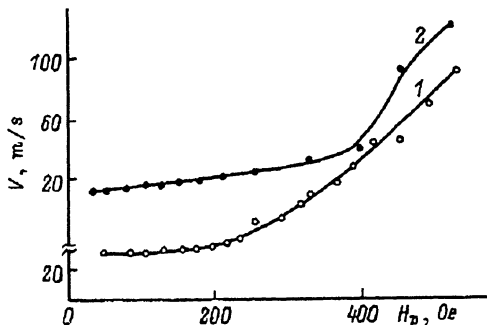


Рис. 4. Зависимости скорости ДС V от амплитуды импульсного магнитного поля H_p в МПФГ $(\text{Sm}, \text{Y}, \text{Lu}, \text{Ca})_3(\text{Fe}, \text{Ge})_5\text{O}_{12}$ (1) и $(\text{Sm}, \text{Y})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$ (2), выращенных на подложках ГГГ с ориентацией (111).
Номера кривых соответствуют номерам образцов в таблице.

$(\text{Sm}, \text{Y}, \text{Lu}, \text{Ca})_3(\text{Fe}, \text{Ge})_5\text{O}_{12}$ и $(\text{Sm}, \text{Y})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$ (кривые 1 и 2 на рис. 4 соответственно). Для однородных МПФГ оно имеет место при действующем магнитном поле выше $H_K/3$, где H_K — поле одноосной магнитной анизотропии. В случае, если в пленке имеется слой с пониженной магнитной анизотропией, например ионно-имплантированный, это пороговое поле снижается.

При использовании режима движения ДС, сопровождаемого локальным вращением намагниченности перед ней, повысить скорость ДС практически удастся не более чем на порядок величины. Это связано с тем, что ширина области, где имеет место локальное вращение намагниченности, при большом затухании невелика.

Температурные зависимости скорости ДС при трех фиксированных значениях H для МПФГ $(\text{Sm}, \text{Y}, \text{Lu}, \text{Ca})_3(\text{Fe}, \text{Ge})_5\text{O}_{12}$ и $(\text{Sm}, \text{Y})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$ приведена на рис. 5 и 6 соответственно. Кривые 1 на них относятся к случаю, когда при любой температуре в исследованном диапазоне локальное вращение намагниченности перед движущейся ДС отсутствует. В этом случае V слабо зависит от T . Кривые 2 на рис. 5, 6 иллюстрируют ситуацию, когда при малых T локальное вращение намаг-

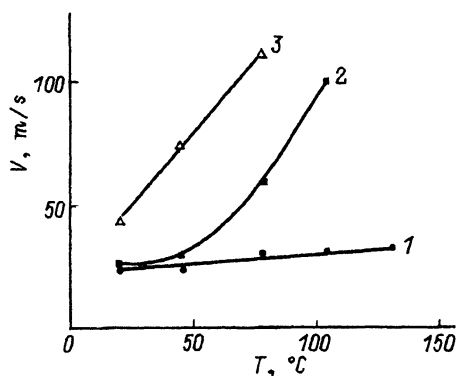


Рис. 5. Температурные зависимости скорости ДС V в МПФГ $(\text{Sm}, \text{Y}, \text{Lu}, \text{Ca})_3(\text{Fe}, \text{Ge})_5\text{O}_{12}$ (образец № 1), выращенной на подложке ГГГ с ориентацией (111), при разных значениях амплитуды импульсного магнитного поля.
 H (Oe): 1 — 40, 2 — 200, 3 — 360.

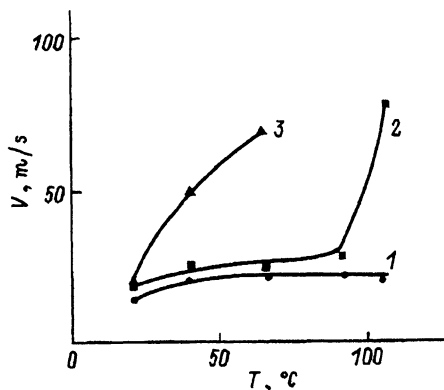


Рис. 6. Температурные зависимости скорости ДС V в МПФГ $(\text{Sm}, \text{Y})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$ (образец № 2), выращенной на подложке ГГГ с ориентацией (111), при различных значениях амплитуды импульсного магнитного поля.
 H (Oe): 1 — 80, 2 — 180, 3 — 380.

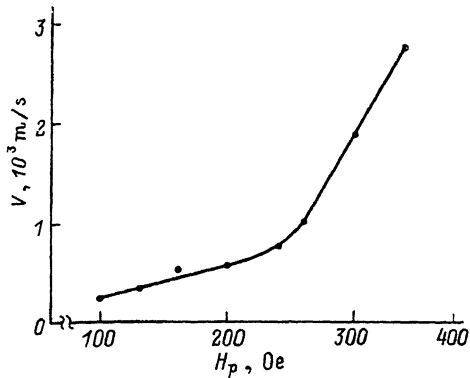


Рис. 7. Зависимость скорости ДС V от амплитуды импульсного магнитного поля H_p в МПФГ $(Eu, Y, Ca)_3(Fe, Ge)_5O_{12}$ (образец № 3), выращенной на подложке СГГ с ориентацией (111).

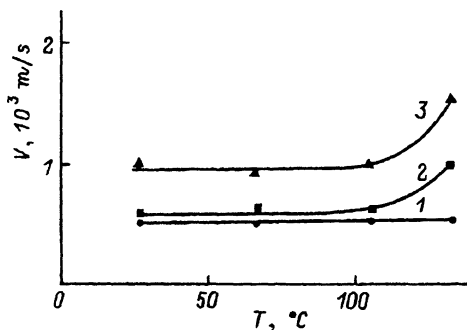


Рис. 8. Температурные зависимости скорости ДС V в МПФГ $(Eu, Y, Ga)_3(Fe, Ge)_5O_{12}$ (образец № 3), выращенной на подложке СГГ с ориентацией (111), при разных значениях амплитуды импульсного магнитного поля.
 H (Oe): 1 — 150, 2 — 200, 3 — 250.

ниченности отсутствует, а при больших T имеет место. При больших H локальное вращение намагниченности перед движущейся ДС происходит во всем исследованном диапазоне температур. Как следствие скорость ДС резко повышается с температурой (кривые 3 на рис. 5, 6).

Обсуждаемый механизм повышения динамических параметров МПФГ имеет место и в европийсодержащих пленках. Однако для этих материалов есть другие пути их повышения, причем более радикальные.

Первый из них состоит в обеспечении КМИ в МПФГ, которая происходит, когда суммарный магнитный момент медленнорелаксирующих магнитных ионов в пленке близок к нулю [24–26]. Если единственным медленнорелаксирующим ионом является Fe^{3+} , то КМИ не имеет место, если суммарный магнитный момент тетра- и октаэдрических подрешеток в структуре граната равен нулю. Если в состав МПФГ входят ионы Gd^{3+} , то КМИ достигается при меньшем уровне замещения железа немагнитными ионами [18, 27, 28].

Типичная зависимость $V(H_p)$ для случая КМИ в европийсодержащих пленках приведена на рис. 7. Она получена для МПФГ состава $(Eu, Y, Ca)_3(Fe, Ge)_5O_{12}$, выращенных на подложках СГГ с ориентацией (111). Видно, что максимальное значение V достигает почти 3 km/s. Излом на кривой $V(H_p)$, как и в случае самарийсодержащих МПФГ (рис. 4), обусловлен локальным вращением намагниченности вблизи движущейся ДС.

На рис. 8 показаны зависимости $V(T)$ при трех фиксированных значениях H_p , полученные для МПФГ $(Eu, Y, Ca)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$. Видно, что при $T < 100$ °C скорость ДС практически не зависит от температуры.

Введение висмута в состав европийсодержащих МПФГ приводит к повышению H_K . Как следствие возрастает и пороговое поле, выше которого имеет место локальное вращение намагниченности вблизи движущейся ДС.

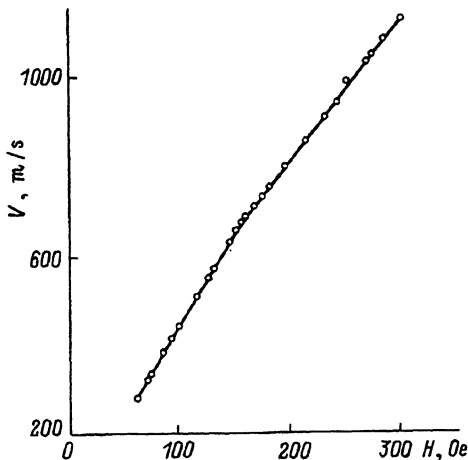


Рис. 9. Зависимость скорости ДС V от действующего магнитного поля H в МПФГ $(\text{Eu, Bi})_3(\text{Fe, Ga, Al})_5\text{O}_{12}$ (образец № 4), выращенной на подложке НГГ с ориентацией (111).

На рис. 9 приведена типичная для МПФГ $(\text{Eu, Bi})_3(\text{Fe, Ga, Al})_5\text{O}_{12}$ вблизи КМИ зависимость скорости ДС от действующего магнитного поля H ($H = H_p - H_b$), полученная для диапазона полей, где не происходит локального вращения намагниченности вблизи движущейся ДС. Заметим, для этой кривой значение V измеряли по методу [29], обеспечивающему повышенную точность измерения и постоянство действующего магнитного поля [30,31]. Здесь H_b — поле смещения.

Кривая $V(H)$ на рис. 9 состоит из двух линейных участков, первый из которых соответствует стационарному движению ДС и характеризуется подвижностью (1). Второй участок кривой $V(H)$ на рис. 9 соответствует движению ДС в режиме свободной прецессии и характеризуется дифференциальной подвижностью

$$\mu_0 = \alpha\gamma\Delta_0(1 + \alpha^2)^{-1} = \mu\alpha^2(1 + \alpha^2)^{-1}. \quad (9)$$

Пороговые скорость и поле перехода ко второму линейному участку вблизи КМИ совпадают и соответствующими уокеровскими значениями.

Температурные зависимости скорости ДС в МПФГ $(\text{Eu, Bi})_3(\text{Fe, Ga, Al})_5\text{O}_{12}$ при фиксированных значениях H приведены на рис. 10. Ход кривых $V(T)$ свидетельствует о том, что для данного образца точка КМИ лежит ниже комнатной температуры. Видно, что при заданном H скорость ДС снижается по мере удаления от точки КМИ.

Недостатком европийсодержащих МПФГ с КМИ при ориентации (111) является относительно низкая термостабильность скорости ДС (рис. 10).

Мы обратили внимание на то, что в европийсодержащих МПФГ реализуется ОРМА [4-6]. С целью повышения термостабильности европийсодержащих МПФГ была предпринята попытка синтеза МПФГ, одновременно обладающих КМИ и ОРМА. Пленки состава $(\text{Eu, Bi})_3(\text{Fe, Ga})_5\text{O}_{12}$ выращивались на подложках ГКМЦГГ с ориентациями (111), (110) и (210).

Температурные зависимости скорости ДС при одном и том же значении H для трех ориентаций приведены на рис. 11. Заметим, что

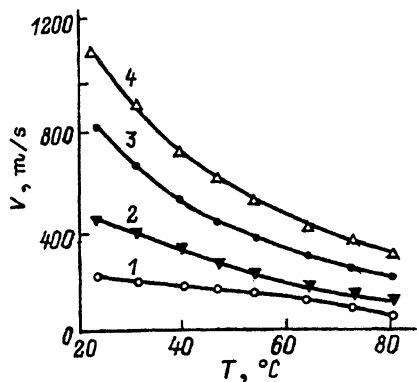


Рис. 10. Температурные зависимости скорости ДС V в МПФГ $(\text{Eu, Bi})_3(\text{Fe, Ga, Al})_5\text{O}_{12}$ (образец № 4), выращенной на подложке НГГ с ориентацией (111), при различных значениях действующего магнитного поля.
 H (Ое): 1 — 50, 2 — 100, 3 — 200, 4 — 300.

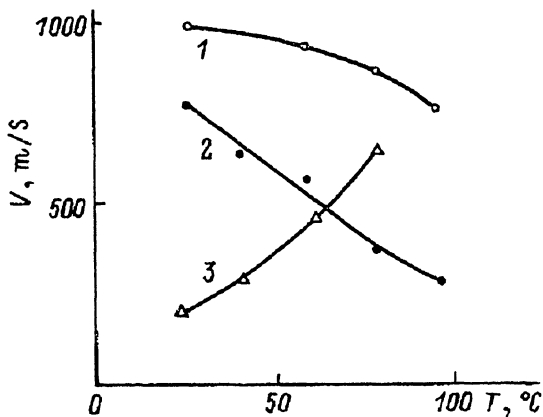


Рис. 11. Температурные зависимости скорости ДС V в МПФГ $(\text{Eu, Bi})_3(\text{Fe, Ga, Al})_5\text{O}_{12}$, выращенных на подложках ГКМЦГ с различной ориентацией (образцы № 5, 6 и 7).
 1 — (110), 2 — (111), 3 — (210). Действующее магнитное поле $H = 285$ Ое.

все образцы выращивались из одного и того же раствора-расплава. Из рис. 11 видно, что в диапазоне температур 20–100 °С значение V в пленках с ориентацией (110) изменяется не более чем на 25%, тогда как при ориентациях (111) и (210) примерно втрое.

Дальнейшее повышение термостабильности европийсодержащих МПФГ достигается при введении в их состав медленнорелаксирующих ионов Gd^{3+} [30].

Таким образом, в настоящей работе показано следующее.

1) При одинаковом содержании ионов Sm^{3+} и Eu^{3+} вдали от точки КМИ европийсодержащие МПФГ обладают меньшей скоростью срыва стационарного движения ДС, чем самарийсодержащие, что связано с меньшим эффективным значением гиромангнитного отношения в первых.

2) Скорость ДС в самарийсодержащих МПФГ можно повысить примерно на порядок величины, если реализовать механизм движения ДС, сопровождаемого локальным вращением намагниченности вблизи нее.

3) В европийсодержащих МПФГ с КМИ скорость ДС повышается до 10 м/с и более.

4) Дополнительное повышение скорости ДС в европийсодержащих МПФГ достигается, если в них при наличии КМИ реализуется механизм движения ДС, сопровождаемого локальным вращением намагниченности вблизи нее.

5) Наибольшая термостабильность динамических параметров в европийсодержащих МПФГ достигается при ориентации (110), когда одновременно реализуются КМИ и ОРМА.

В заключение авторы благодарят М.В. Логунова и В.Б. Сигачева за помощь при проведении экспериментов.

Список литературы

- [1] Балбашов А.М., Червоненкис А.Я. Магнитные материалы для микроэлектроники. М. (1979). 216 с.
- [2] Старостин Ю.В. Радиоэлектроника в 1979 г. М. (1980). Тетр. 11. С. 1-11.
- [3] Рандошкин В.В., Старостин Ю.В. Радиоэлектроника за рубежом. М. В. 1. С. 1-50.
- [4] Эшенфельдер А. Физика и техника цилиндрических магнитных доменов / Пер. с англ. М. (1983). 496 с.
- [5] Рандошкин В.В. Радиоэлектроника. Состояние и тенденции развития. М. (1984). Тетр. 11. С. 17-25.
- [6] Элементы и устройства на цилиндрических магнитных доменах. Справочник / Под ред. Н.Н.Евтихиева, Б.Н.Наумова М. (1987). 488 с.
- [7] Иванов М.А., Осико В.В., Папин Ю.М., Рандошкин В.В., Рогожин Ю.Д., Тимошечкин М.И. Письма в ЖТФ **10**, *24*, 1497 (1983).
- [8] Рандошкин В.В., Червоненкис А.Я. Прикладная магнитооптика. М. (1990). 320 с.
- [9] Дудоров В.Н., Рандошкин В.В., Телеснин Р.В. УФН **122**, *2*, 253 (1977).
- [10] Телеснин Р.В., Козлов В.Н., Дудоров В.Н. ФТТ **16**, *8*, 3531 (1974).
- [11] Рандошкин В.В., Чани В.И., Козлов В.И. ФТТ **33**, *3*, 957 (1991).
- [12] Телеснин Р.В., Зюзин А.М., Рандошкин В.В., Старостин Ю.В. ФТТ **24**, *4*, 1166 (1982).
- [13] Рандошкин В.В., Телеснин Р.В. Магнитные свойства пленочных и массивных материалов. Красноярск (1977). С. 40-48.
- [14] Рандошкин В.В., Иванов Л.П., Телеснин Р.В. ЖЭТФ **75**, *3*, 960 (1978).
- [15] Мартынов А.Ф., Рандошкин В.В., Телеснин Р.В. Письма в ЖТФ **8**, *3*, 803 (1982).
- [16] Логунов М.В., Рандошкин В.В., Сигачев В.Б. ПТЭ, *5*, 247 (1985).
- [17] Рандошкин В.В. Препринт ИОФ АН № 52. М. (1989). 41 с.
- [18] Рандошкин В.В. Тр. ИОФ АН **35**, 49 (1992).
- [19] De Leeuw F.H. IEEE Trans. Magn. **14**, *5*, 596 (1978).
- [20] Гуревич А.Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. М. (1973). 592 с.
- [21] Круничка С. Физика ферритов и родственных окислов / Пер. с нем. М. (1976). Т. 2. 504 с.
- [22] Handbook of Microwave Ferrite Materials / Ed. W.H. Van Aulock. Academic Press. N. Y. (1965).
- [23] Малоземов А., Слонзуски Дж. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами / Пер. с англ. М. (1982). 382 с.
- [24] Зоря В.И., Зуева И.Ю., Рандошкин В.В., Сигачев В.Б., Тимошечкин М.И. ЖТФ **55**, *6*, 1227 (1985).
- [25] Рандошкин В.В., Сигачев В.Б. ЖТФ **58**, *12*, 2350 (1989).
- [26] Рандошкин В.В., Мартынов А.Ф. ФТТ **36**, *4*, 1179 (1994).
- [27] Рандошкин В.В., Сигачев В.Б. Письма в ЖЭТФ **42**, *1*, 34 (1985).
- [28] Рандошкин В.В., Сигачев В.Б. ФТТ **32**, *1*, 246 (1990).
- [29] Патент РФ 1788523 / В.В.Рандошкин. МКИ G 11 C 11/14.
- [30] Рандошкин В.В. ПТЭ, *2*, 155 (1995).
- [31] Рандошкин В.В., Ефремов В.В., Шушера Е.Э. Письма в ЖТФ **19**, *2*, 43 (1993).