

О „классической“ зависимости скорости доменных стенок от магнитного поля в пленках ферритов-гранатов с ромбической магнитной анизотропией

© В.В. Рандошкин, Ю.Н. Сажин

Совместная хозрасчетная лаборатория „Магнитооптоэлектроника“ института общей физики Российской академии наук при Мордовском государственном университете им. Н.П. Огарева, 430000 Саранск, Россия

(Поступила в Редакцию 31 мая 2001 г.
В окончательной редакции 16 августа 2001 г.)

Показано, что зависимость скорости доменных стенок V от действующего магнитного поля H в висмутсодержащих монокристаллических пленках ферритов-гранатов с ромбической магнитной анизотропией, включающая начальный „линейный“ участок и участок „насыщения“, в действительности имеет более сложный вид, который находит объяснение в рамках модели движения доменных стенок с излучением спиновых волн.

При исследовании динамики доменных стенок (ДС) в висмутсодержащих монокристаллических пленках ферритов-гранатов (Вс-МПФГ) состава $(\text{Bi}, \text{Y}, \text{Pr})_3(\text{Fe}, \text{Ga})_5\text{O}_{12}$ с ориентацией (210), обладающих ромбической магнитной анизотропией (РМА), обнаружено, что зависимость скорости ДС V от действующего магнитного поля H на первый взгляд имеет „классический“ вид: на кривой $V(H)$ после начального „линейного“ участка наблюдается небольшой пик, за которым следует участок „насыщения“, характеризующийся дифференциальной подвижностью ДС, много меньшей начальной [1-4]. Однако наблюдение с помощью метода высокоскоростной фотографии динамических доменов в полях, примерно соответствующих середине этого линейного участка, показало, что их ДС испытывает нерегулярные искажения, не повторяющиеся от импульса к импульсу [5,6]. Это означает, что линейному участку $V(H)$ соответствует нестационарное движение ДС, что противоречит теории [7].

Цель настоящей работы состояла в выяснении причин указанного противоречия. Для этого с помощью метода высокоскоростной фотографии [8,9] было проведено более тщательное измерение зависимости $V(H)$.

Параметры магнитной анизотропии Вс-МПФГ измеряли методом фазовых переходов [10-12], регистрируя азимутальные зависимости критических значений поля смещения $H_b(\varphi)$ и планарного магнитного поля $H_{in}(\varphi)$ при однородном зарождении доменов. Отсутствие в настоящее время теории, дающей простые аналитические выражения для описания магнитной анизотропии в пленках с ориентацией (210), не позволяет достаточно точно определить константы анизотропии с помощью данных зависимостей. В связи с этим о величине РМА судили по максимальному H_{in}^{\max} и минимальному H_{in}^{\min} значениям планарного магнитного поля на зависимости $H_{in}^*(\varphi)$, при которых исчезает доменная структура.

При исследовании динамики ДС в исходном состоянии Вс-МПФГ намагничивалась до насыщения полем смещения H_b , приложенным вдоль нормали к ее плоскости.

Импульсное магнитное поле H_p прикладывалось в противоположном направлении с помощью пары плоских катушек, в центре между которыми располагалась исследуемая пленка. Регистировалось изображение домена с обратной намагниченностью (ДОН), зарождающегося на точечном дефекте. Измерялась скорость ДС вдоль направления, где она максимальна (см. рис. 1, $a-c$ в [6]).

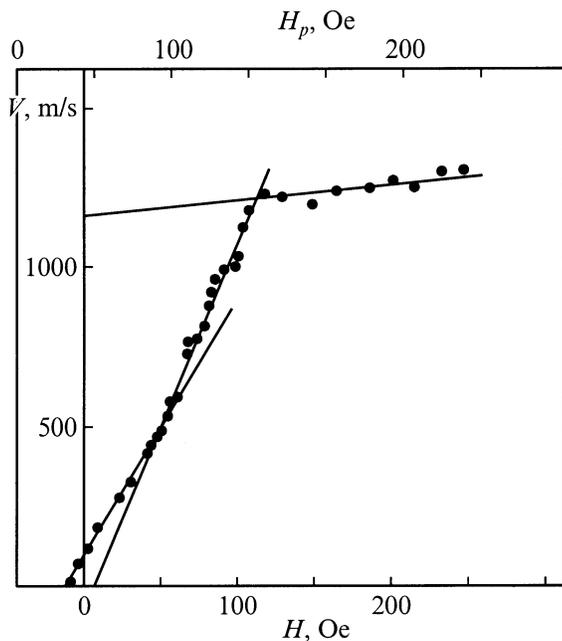
В работе приводятся данные для образца с толщиной $h = 7.3 \mu\text{m}$, равновесной шириной полосовых доменов $w = 16.3 \mu\text{m}$, намагниченностью насыщения $4\pi M_s = 59 \text{ G}$, $H_{in}^{\min} = 2000 \text{ Oe}$, $H_{in}^{\max} = 4800 \text{ Oe}$.

Полученная зависимость приведена на рисунке. Заметим, что по оси абсцисс отложено как импульсное магнитное поле H_p , так и действующее магнитное поле [9]

$$H = H_p - H_b. \quad (1)$$

Видно, что в отличие от „классической“ зависимости скорости ДС от действующего магнитного поля начальную часть кривой $V(H)$, которую ранее принимали за начальный линейный участок, можно разделить на два линейных участка, первый из которых характеризуется наклоном $8.3 \text{ m/s}^{-1} \cdot \text{Oe}^{-1}$, а второй — $11.9 \text{ m/s}^{-1} \cdot \text{Oe}^{-1}$. Более того, первый участок пересекает ось абсцисс при отрицательных значениях H . Как видно из рисунка, поле смещения H_b при этом составляет 43 Oe. Непосредственное наблюдение динамических доменов показало, что именно переходу ко второму участку соответствует появление пространственных искажений ДС. Заметим, что однонаправленная анизотропия скорости ДС [3,13] в исследованной Вс-МПФГ хотя и имела место, но не была ярко выраженной.

Полученные результаты можно объяснить, следуя [14-16], в рамках спин-волнового механизма движения ДС. Переход ко второму линейному участку с повышенной (примерно в 1.4 раза) дифференциальной подвижностью обусловлен достижением порогового поля излучения спиновых волн (СВ), вызывающих локальное вращение намагниченности перед движущейся ДС, что



Зависимость скорости ДС от действующего магнитного поля H и амплитуды импульсного магнитного поля H_p .

приводит к повышению скорости перемещения фронта перемагниченной области. Вследствие относительно высокого значения H_{in}^{min} параметр затухания Гильберта α , зависящий от эффективного магнитного поля в плоскости пленки [14,16], также достаточно большой, поэтому СВ затухают при небольшом удалении от ДС, а наклоны двух линейных участков кривой $V(H)$ не сильно отличаются. По этой же причине, несмотря на то что величина [16]

$$m = (H_{in}^{max} - H_{in}^{min})/H_{in}^{min} \quad (2)$$

больше единицы, однонаправленная анизотропия скорости ДС не была ярко выражена.

Тот факт, что первый линейный участок кривой $V(H)$ пересекает ось H не в начале координат, означает, что для Вс-МПФГ с ориентацией (210), где имеет место достаточно большой наклон оси легкого намагничивания [17,18], действующее магнитное поле нельзя рассчитывать с помощью соотношения (1). В одноосных Вс-МПФГ с ориентацией (111) зарождения ДОН на точечных дефектах при отрицательных значениях H никогда не наблюдалось. Перемагничивание Вс-МПФГ при $H_p < H_b$ возможно, однако в этом случае доменная структура „прорастает“ с периферии образца [19].

Эксперимент показывает, что ширина изображения движущейся ДС не только существенно больше ширины изображения статической ДС, но и превышает перемещение ДС во время действия импульса подсветки (~ 5 ns). Это означает, что наклоны статической и динамической ДС различаются. Вследствие этого проекции вектора поля смещения, не меняющегося в эксперименте, на плоскость ДС в статике и динамике не одинаковы.

Именно данное обстоятельство, не учитываемое при построении кривой $V(H)$ на рисунке, приводит к тому, что ее первый линейный участок пересекает ось абсцисс при отрицательном значении H .

Таким образом, в настоящей работе показано, что появление пространственных искажений ДС в Вс-МПФГ с РМА соответствует не середине начального линейного участка зависимости $V(H)$, а переходу ко второму линейному участку с повышенной дифференциальной подвижностью, появление которого связано с излучением СВ, инициирующих локальное вращение намагниченности вблизи движущейся ДС.

Авторы благодарят М.В. Логунова за помощь в проведении эксперимента.

Список литературы

- [1] В.В. Рандошкин, В.И. Чани, М.В. Логунов, Ю.Н. Сажин, В.П. Клиш, Б.П. Нам, А.Г. Соловьев, А.Я. Червоненкис. Письма в ЖТФ **15**, 14, 42 (1989).
- [2] V.V. Randoshkin. Thin Films and Beam-Solid Interaction. **4**, 267 (1990).
- [3] В.В. Рандошкин, М.В. Логунов, Ю.Н. Сажин. ФТТ **32**, 5, 1456 (1990).
- [4] В.В. Рандошкин. Тр. ИОФАН **35**, 49 (1992).
- [5] В.В. Рандошкин, М.В. Логунов, Ю.Н. Сажин. Новые магнитные материалы микроэлектроники. Тез. докл. XIV Всерос. школы-семинара. М. (1994). Ч. 2. С. 32.
- [6] В.В. Рандошкин, М.В. Логунов, Ю.Н. Сажин. ЖТФ **66**, 2, 201 (1996).
- [7] А. Малоземов, Дж. Слонзуски. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. Пер. с англ. Мир., М. (1982). 382 с.
- [8] В.В. Рандошкин, М.В. Логунов, В.Б. Сигачев. ПТЭ **5**, 247 (1985).
- [9] В.В. Рандошкин. ПТЭ **2**, 155 (1995).
- [10] И.Е. Дикштейн, Ф.В. Лисовский, Е.Г. Мансветова, Е.С. Чижик. Препринт ИРЭ АН СССР № 5. М. (1988). 28 с.
- [11] И.Е. Дикштейн, Ф.В. Лисовский, Е.Г. Мансветова, В.В. Тарасенко. Микроэлектроника **13**, 4 337 (1988).
- [12] И.Е. Дикштейн, Ф.В. Лисовский, Е.Г. Мансветова, Е.С. Чижик. Новые магнитные материалы микроэлектроники. Тез. докл. XI Всерос. школы-семинара. Ташкент (1988). С. 110.
- [13] Ф.В. Лисовский, А.С. Логгинов, Г.А. Непокойчицкий, Т.В. Розанова. Письма в ЖЭТФ **45**, 7, 339 (1987).
- [14] В.В. Рандошкин. Письма в ЖТФ **21**, 23, 74 (1995).
- [15] В.В. Рандошкин, Ю.Н. Сажин. ЖТФ **66**, 8, 83 (1996).
- [16] В.В. Рандошкин. ФТТ **39**, 8, 1421 (1997).
- [17] Е.Н. Ильичева, А.В. Дубова, В.К. Петерсон, Ю.Н. Федюнин, А.Г. Шишков. ФТТ **35**, 5, 1167 (1993).
- [18] Е.Н. Ильичева, Ю.Н. Федюнин, А.Г. Шишков. А.В. Клушина. ЖТФ **63**, 11, 143 (1993).
- [19] В.В. Рандошкин, Л.П. Иванов, Р.В. Телеснин. ЖЭТФ **75**, 3, 960 (1978).