

О скорости движения торцевой доменной стенки в монокристаллических пленках $(\text{Bi,Lu})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ с ориентацией (210)

© В.В. Рандошкин, А.М. Салецкий, Н.Н. Усманов, Д.Б. Чопорняк*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
119899 Москва, Россия

* Научно-исследовательский институт ядерной физики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова,
119899 Москва, Россия

(Поступила в Редакцию 5 июня 2001 г.)

С помощью метода фотоотклика определена подвижность торцевой доменной стенки (ТДС) в монокристаллических пленках феррита-граната (МПФГ) состава $(\text{Bi,Lu})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ с ориентацией (210). Показано, что в этих пленках подвижность ТДС значительно выше, чем в МПФГ с ориентацией (111), не содержащих быстрорелаксирующих ионов.

Использование механизма переключения намагниченности с помощью движения доменной стенки (ТДС) позволяет существенно повысить быстродействие магнитооптических управляемых транспарантов [1,2]. Впервые скорость ТДС V_h была измерена в двухслойных монокристаллических пленках феррита-граната (МПФГ) состава $(\text{Bi,Y})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ с ориентацией (111) при исследовании переходов цилиндрических магнитных доменов (ЦМД) из сквозного в несквозное состояние и наоборот [3,4]. Оказалось, что она примерно вдвое выше, чем скорость 180° боковой блоховской доменной стенки (ДС). Заметим, что ТДС несквозных ЦМД в двухслойных пленках имеет куполообразную форму.

Плоская ТДС образуется при импульсном перемагничивании неоднородных МПФГ [5–11]. Она формируется в слое с пониженной магнитной анизотропией (либо на его границе) путем слияния тесно расположенных зародышей с обратной намагниченностью или путем вращения намагниченности. Диапазон магнитных полей, в котором существует ТДС, может служить мерой неоднородности МПФГ.

Теория [12], в союзе которой лежит предположение, что угол между направлением вектора намагниченности внутри ТДС и нормалью к ней изменяется так же, как в 180° блоховской ДС, дает следующее соотношение для подвижности ТДС:

$$\mu_h = \alpha\gamma\Delta_h/(1 + \alpha^2), \quad (1)$$

где α — безразмерный параметр затухания Гильберта, γ — гиромагнитное отношение,

$$\Delta_h = [A/(K_u - 2\pi M_s^2)]^{1/2}, \quad (2)$$

A — константа обменного взаимодействия, K_u — константа одноосной анизотропии, $4\pi M_s$ — намагниченность насыщения.

Начальная подвижность 180° блоховской ДС определяется соотношением [13]

$$\mu = \alpha^{-1}\gamma\Delta, \quad (3)$$

где

$$\Delta = (A/K_u)^{1/2}. \quad (4)$$

Поскольку в МПФГ, не содержащих быстрорелаксирующих ионов, обычно $\alpha \ll 1$, то

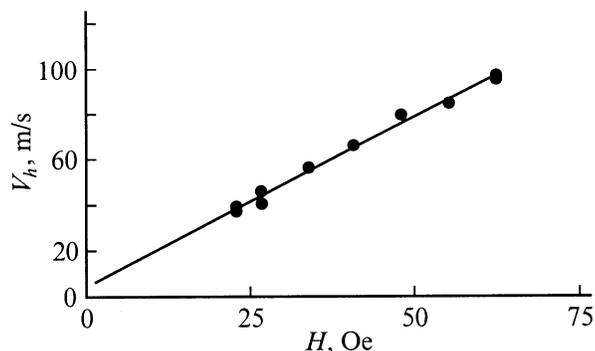
$$\mu_h \ll \mu. \quad (5)$$

Динамика плоской ТДС во всем диапазоне ее существования исследовалась в работе [14] на примере МПФГ состава $(\text{Bi,Y,Lu})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ с ориентацией (111). Было показано, что экспериментальное значение подвижности ТДС $(2.7 \pm 0.2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Oe}^{-1})$, находится в хорошем соответствии с теоретическим $(2.2 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Oe}^{-1})$, полученным с помощью соотношения (1).

Ионы Y^{3+} и Lu^{3+} , являясь медленнорелаксирующими, не вносят существенного вклада в параметр затухания МПФГ с ориентацией (111), не содержащих быстрорелаксирующих ионов. Однако параметр затухания таких МПФГ резко возрастает, если в плоскости пленки с ориентацией (111) приложено постоянное магнитное поле [15] либо пленка имеет ориентацию (110) или (210), когда возникает ромбическая магнитная анизотропия (РМА) [16,17].

Целью настоящей работы являлось исследование движения ТДС в МПФГ состава $(\text{Bi,Lu})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ с ориентацией (210). Эти пленки обладают РМА, а ось легкого намагничивания (ОЛН) в них наклонена относительно нормали к плоскости пленки на достаточно большой угол θ [18]. В работе приводятся данные для образца со следующими параметрами: толщина пленки $h = 11 \mu\text{m}$, $\theta = 46^\circ$, $4\pi M_s = 43 \text{ G}$, $\alpha = 0.0135$, $K_u = 1050 \text{ erg/cm}^3$.

Безразмерный параметр затухания определялся из ширины линии ферромагнитного резонанса (ФМР). Заметим, что из-за неоднородности МПФГ указанное значение α может быть завышенным. Значение $H_K - 4\pi M_s$, где $H_K = 2K_u/M_s$ — поле одноосной магнитной анизотропии, также определялось по данным ФМР исходя из величин резонансных полей при ориентации внешнего магнитного поля перпендикулярно и параллельно плоскости пленки. Значение $4\pi M_s$ рассчитывалось исходя из



Зависимость скорости ТДС V_h от внешнего магнитного поля H .

поля коллапса ЦМД, при этом влиянием наклона ОЛН пренебрегалось.

Исследования проводились на универсальной магнитооптической установке, позволяющей наблюдать процесс перемагничивания с помощью высокоскоростной лазерной фотографии. Для визуализации доменной структуры использовался эффект Фарадея.

В исходном состоянии образец намагничивался полем смещения H_b , превышающим его поле насыщения H_s . Импульсное магнитное поле H_p прикладывалось в противоположном направлении. Во время действия импульса суммарное внешнее поле $H = H_p - H_b$. Длительности фронта и спада импульса магнитного поля составляли 7 и 40 нс.

Движение ТДС исследовалось во всем диапазоне ее существования. Снизу он ограничен минимальным магнитным полем, в котором формируется ТДС, сверху — минимальным полем, в котором образуется так называемая волна опрокидывания магнитного момента [19].

Скорость ТДС определялась по сигналу фотоотклика, когда она находилась в середине пленки [20]. Зависимость скорости движения ТДС V_h от внешнего магнитного поля H приведена на рисунке. В соответствии с теорией [12] эта зависимость линейна, однако экспериментальное значение $\mu_h = 150 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Oe}^{-1}$ существенно выше, чем значение ($\sim 2.5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Oe}^{-1}$), полученное из соотношения (1). Тот факт, что в МПФГ близкого состава при ориентации (210) подвижность ТДС значительно выше, чем при ориентации (111) [14], подтверждает выводы работы [17] об увеличении параметра затухания в МПФГ при наличии РМА.

Таким образом, в настоящей работе показано, что в МПФГ, не содержащих быстрорелаксирующих ионов, при ориентации (210) подвижность ТДС почти на два порядка величины выше, чем при ориентации (111).

Список литературы

- [1] В.Е. McNeal, G.R. Pulliam, J.J. Fernandez de Castro, P.M. Warren. IEEE Trans. Magn. **MAG-19**, 5, 1766 (1983).
- [2] В.В. Рандошкин, А.М. Салецкий, Н.Н. Сысоев, А.Я. Червоненкис. Микроэлектроника **30**, 3, 91 (2001).

- [3] А.Ф. Мартынов, Л.В. Николаев, В.В. Рандошкин, Р.В. Телеснин, А.Я. Червоненкис. Письма в ЖТФ **6**, 13, 786 (1980).
- [4] В.В. Рандошкин, А.М. Балбашов, Ю.А. Дурасова, А.Ф. Мартынов, Л.В. Николаев, А.П. Черкасов. ФТТ **23**, 8, 2520 (1981).
- [5] В.Н. Дудоров, М.В. Логунов, В.В. Рандошкин. ФТТ **28**, 5, 1549 (1986).
- [6] М.В. Логунов, В.В. Рандошкин. ФТТ **28**, 5, 1559 (1986).
- [7] В.Н. Дудоров, М.В. Логунов, В.В. Рандошкин. ЖТФ **56**, 5, 849 (1986).
- [8] Д.И. Йоргов, О.С. Колотов, В.А. Погожев. Вестн. МГУ. Сер. 3. Физика, астрономия **29**, 3, 94 (1988).
- [9] Д.И. Йоргов, О.С. Колотов, В.А. Погожев. ЖТФ **59**, 3, 120 (1989).
- [10] О.С. Колотов, В.А. Погожев. Вестн. МГУ. Сер. 3. Физика, астрономия **32**, 5, 3 (1991).
- [11] В.В. Рандошкин. Дефектоскопия **1**, 77 (1996).
- [12] Н.Е. Khodenkov. Phys. Stat. Sol. (a) **53**, 2, 103 (1979).
- [13] А. Малоземов, Дж. Слонзуски. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами. Мир, М. (1982). 384 с.
- [14] Д.И. Йоргов, О.С. Колотов, В.А. Погожев. ФТТ **32**, 2, 602 (1990).
- [15] В.В. Рандошкин. Письма в ЖТФ **21**, 23, 74 (1995).
- [16] В.В. Рандошкин, Ю.Н. Сажин. ЖТФ **66**, 8, 83 (1996).
- [17] В.В. Рандошкин. ФТТ **39**, 8, 1421 (1997).
- [18] Е.Н. Ильичева, А.В. Клушина, Н.Н. Усманов, Н.Б. Широкова, А.Г. Шишков. Вестн. МГУ. Сер. 3. Физика, астрономия **35**, 2, 59 (1994).
- [19] М.В. Логунов, В.В. Рандошкин, В.Б. Сигачев. ФТТ **29**, 8, 2247 (1987).
- [20] О.А. Васильев, Д.Л. Столяров, Н.Н. Усманов, Д.Б. Чопорняк. Динамика доменной границы. Сб. тр. XVII Междунар. школы-семинара. М. (2000). С. 864.