

УДК 538.221

© 1990

## ДИНАМИЧЕСКИЕ ДОМЕНЫ В ПЛЕНКАХ (Y, Lu, Pr, Bi)<sub>3</sub>(Fe, Ga)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> С ОРИЕНТАЦИЕЙ (210)

М. В. Логунов, В. В. Рандошкин, Ю. Н. Сажин

С помощью метода высокоскоростной фотографии исследованы динамические домены в пленках (Y, Lu, Pr, Bi)<sub>3</sub>(Fe, Ga)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> с ориентацией (210). В зависимости от свойств образца наблюдались треугольные и каплеобразные формы доменов с обратной намагниченностью (ДОН), зарождающихся при импульсном перемагничивании монокристаллических пленок феррит-гранатов (МПФГ), нестабильность и формирование диссипативных структур на ограниченных участках доменных стенок (ДС), изменение ориентации ДОН при изменении продвигающего магнитного поля, однонаправленное повышение и снижение скорости ДС. Приложение постоянного магнитного поля в плоскости пленки может приводить к подавлению анизотропии скорости ДС, изменению направления однонаправленной анизотропии скорости ДС на противоположное. В пленке существует выделенное направление при приложении планарного магнитного поля, вдоль которого зависимость скорости ДС от этого поля является симметричной относительно оси ординат.

Динамика доменных стенок (ДС) в монокристаллических пленках феррит-гранатов (МПФГ) со сложной анизотропией, включающей ромбическую и кубическую компоненты, имеет целый ряд важных отличий по сравнению с одноосными пленками. К их числу прежде всего относятся расширение диапазона продвигающих полей, соответствующих линейной динамике ДС, вследствие чего пороговая скорость срыва стационарного движения ДС повышается в несколько раз [1]. Выше этого порога в поведении ДС обнаружен ряд интересных особенностей: формирование ромбовидных доменов [2], однонаправленная анизотропия скорости ДС [3, 4], изменение ориентации вытянутых доменов с обратной намагниченностью (ДОН) при изменении направления действующего поля на противоположное [2].

В настоящей работе проведено систематическое исследование динамики ДС в пленках (Y, Lu, Pr, Bi)<sub>3</sub>(Fe, Ga)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> с различными параметрами, выращенных методом жидкофазной эпитаксии из переохлажденного раствора—расплава на подложках из (Gd, Ga)<sub>3</sub>(Mg, Zr, Ga)<sub>5</sub>O<sub>12</sub> с ориентацией (210) [4-6]. Эксперименты проводили на универсальной магнитооптической установке с временным разрешением 5 нс и пространственным разрешением 0.5 мкм [7]. Параметры МПФГ измеряли стандартными методами [8]. Магнитную анизотропию исследовали с помощью метода фазовых переходов [9].

При исследовании динамики ДС в исходном состоянии МПФГ намагничивали до насыщения полем смещения  $H_{см}$ , приложенным вдоль нормали к ее плоскости. Импульсное магнитное поле  $H_{и}$  прикладывали в противоположном направлении. Регистрировали изображение ДОН, зарождающегося на точечном дефекте. Использование такого метода обеспечивает большие перемещения ДС (до 500 мкм), повышенную точность измерения скорости ДС (до 2—3 %), а также постоянство действующего магнитного поля  $H$ , с высокой точностью равного  $H_{и} - H_{см}$  [10].

	Номер образца					
	1	2	3	4	5	6
Толщина $h$ , мкм	11.3	11.5	17.7	9.2	6.3	16.0
Ширина полосовых доменов $w$ , мкм	25.0	12.6	20.2	13.8	5.3	11.4
Поле коллапса ЦМД $H_0$ , Э	40	52	38	30	107	63
Намагниченность насыщения $4\pi M_s$ , Гс	142	112	83	79	180	102
Поле одноосной анизотропии $H_k$ , Э	4200	2600	2700	1650	2900	1100

Для исследований были выбраны МПФГ, обладающие сильно различающимися динамическими свойствами. Параметры образцов приведены в таблице.

На рис. 1 схематически изображены ДОН в различные моменты времени, формирующиеся из исходного круглого ДОН диаметром не более 10 мкм и характеризующие основные особенности динамики ДС в исследованных МПФГ: треугольную (а) и каплеобразную (б) форму ДОН, однонаправленное повышение (в) и понижение (г) скорости ДС, нестабильность и формирование диссипативных структур на ограниченных участках ДС (д), изменение ориентации вытянутого ДОН при изменении направления действующего магнитного поля на противоположное (е). Указанные особенности имели место в определенном диапазоне значений  $H$ . В одном и том же образце при изменении  $H$ , как правило, наблюдались одна-две характерные формы ДОН из перечисленных.

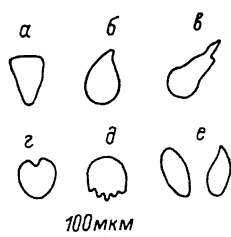


Рис. 1. Характерные формы ДОН в образцах № 5 (а), № 1 (б), № 3 (в), № 2 и 6 (г), № 4 (д), № 1 и 4 (е).

С целью компенсации или, наоборот, усиления тех или иных компонент плоскостной анизотропии МПФГ прикладывали постоянное магнитное поле в плоскости пленки  $H_{пл}$ . Это, как оказалось, расширяет разнообразие характерных форм ДОН, наблюдаемых в одном и том же образце.

Для экспериментов при наличии  $H_{пл}$  была выбрана МПФГ с однонаправленной анизотропией скорости ДС (образец № 3 в таблице). [Азимутальные зависимости нормальной  $H_{\perp}^*$  ( $\varphi$ ) и планарной  $H_{\parallel}^*$  ( $\varphi$ ) компонент критического поля фазового перехода, соответствующего однородному зарождению доменной структуры, для выбранного образца приведены на рис. 2.

Зависимость скорости ДС  $v$  от действующего поля  $H$  для образца № 3 приведена на рис. 3. При  $H < 80$  Э и  $H > 230$  Э анизотропия скорости ДС отсутствует. Ярко выраженная однонаправленная анизотропия скорости ДС имеет место в диапазоне  $100 \text{ Э} \leq H \leq 200 \text{ Э}$ . В полях  $200 \text{ Э} \leq H \leq 270 \text{ Э}$  имеют место нестабильность ДС и образование на ней периодических диссипативных структур, сопровождающиеся при  $H > 250$  Э уширением изображения ДС.

Планарное магнитное поле  $H_{пл}$  вначале прикладывали вдоль такого направления в плоскости пленки, где скорость ДС максимальна (направление «выброса»). Действующее магнитное поле  $H = 160$  Э выбирали таким, чтобы анизотропия скорости ДС была максимальной. При фиксированном  $H$  регистрировали зависимость  $v(H_{пл})$  (рис. 4), где также показаны характерные формы ДОН, соответствующих различным значениям  $H_{пл}$ . Видно, что зависимость  $v(H_{пл})$  сильно несимметрична относительно оси ординат. При отрицательном  $H_{пл}$  минимальная скорость ДС  $v_{мин}$  резко возрастает с ростом  $H_{пл}$ , тогда как максимальная скорость  $v_{макс}$  (для «выброса») слабо меняется. При  $H_{пл} = H_-^* = -250$  Э анизотропия скорости

ДС исчезает, а при  $H_{\text{пл}} = H_{\text{вр}}^- = -300$  Э начинается вращение намагниченности по всей поверхности МПФГ.

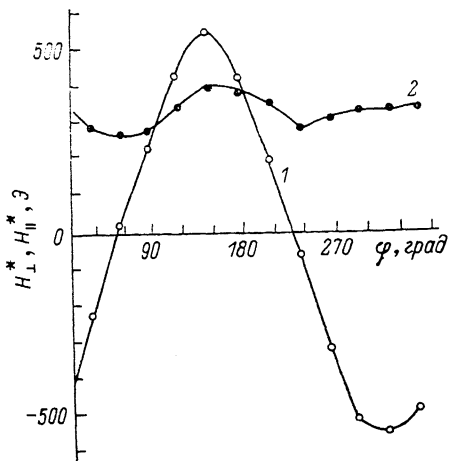


Рис. 2. Азимутальные зависимости нормальной  $H_{\perp}^*$  (1) и планарной  $H_{\parallel}^*$  (2) компонент критического поля фазового перехода для образца № 3.

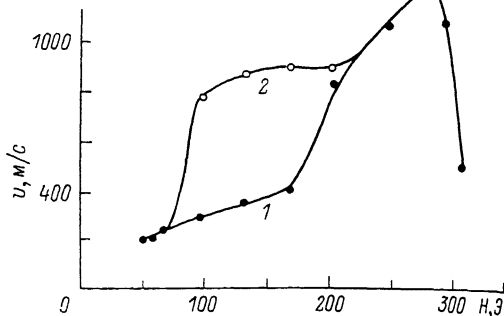


Рис. 3. Зависимости минимальной (1) и максимальной (2) скорости  $v$  участков ДС ДОН от продвигающего магнитного поля  $H$  для образца № 3.

При положительном  $H_{\text{пл}}$  (рис. 4) с ростом его напряженности  $v_{\text{мин}}$  практически не меняется до  $H_{\text{пл}} = 300$  Э, в то время как  $v_{\text{макс}}$  уменьшается (кривая 2). При  $H_{\text{пл}} \approx 200$  Э «выброс» появляется на противоположной стороне ДОН, причем его скорость сначала увеличивается с ростом  $H_{\text{пл}}$  (до  $H_{\text{пл}} = 500$  Э), затем уменьшается (кривая 3). При  $H_{\text{пл}} = 800$  Э наблюдается однонаправленное снижение скорости ДС. При  $H_{\text{пл}} = H_{\text{вр}}^+ = 900$  Э ани-

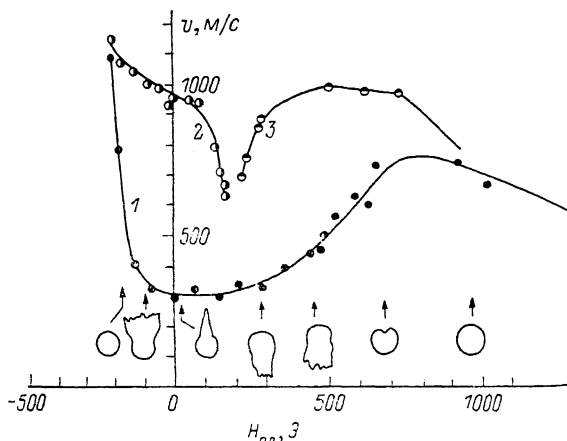


Рис. 4. Зависимости минимальной (1) и максимальной (2, 3) скорости  $v$  участков ДС ДОН от планарного магнитного поля  $H_{\text{пл}}$ , приложенного вдоль направления «выбросов» при  $H = 160$  Э (образец № 3).

зотропия скорости ДС исчезает. Вращение намагниченности при положительном  $H_{\text{пл}}$  начинается при напряженности  $H_{\text{пл}} = H_{\text{вр}}^+ = 1500$  Э. Заметим, что значения  $H_{\text{вр}}^+$  и  $H_{\text{вр}}^-$  различаются в 5 раз.

Зависимости  $v_{\text{макс}}$  и  $v_{\text{мин}}$  от  $H_{\text{пл}}$  для случая, когда планарное магнитное поле приложено перпендикулярно направлению «выбросов», приведены на рис. 5. Видно, что в этом случае зависимость  $v(H_{\text{пл}})$  также сильно несимметрична относительно оси ординат, причем анизотропия скорости ДС имеет место при всех значениях  $H_{\text{вр}}^- < H_{\text{пл}} < H_{\text{вр}}^+$ . При положительном  $H_{\text{пл}}$  (положительное направление выбрано условно) происходит изменение направления «выбросов», причем «выбросы» с обеих сторон ДОН наблюдаются в диапазоне  $40 \text{ Э} < H_{\text{пл}} < 120 \text{ Э}$ . Зависимость  $v_{\text{мин}}(H_{\text{пл}})$  имеет минимум при  $H_{\text{пл}} = 0$  и максимум при  $H_{\text{пл}} = -400$  Э, где также наблюдается максимум  $v_{\text{макс}}$ . Вращение намагниченности начинается при  $H_{\text{пл}} = H_{\text{вр}}^+ = 260$  и  $H_{\text{вр}}^- = -1800$  Э, т. е. значения  $H_{\text{вр}}^+$  и  $H_{\text{вр}}^-$  различаются в 7 раз.

Несимметричность кривых  $v(H_{пл})$  на рис. 4, 5 свидетельствует о том, что ни направление «выбросов», ни перпендикулярное к нему направление не совпадают с направлением плоскостной компоненты суммарного эффективного поля анизотропии. Из рис. 2 можно сделать вывод, что суммар-

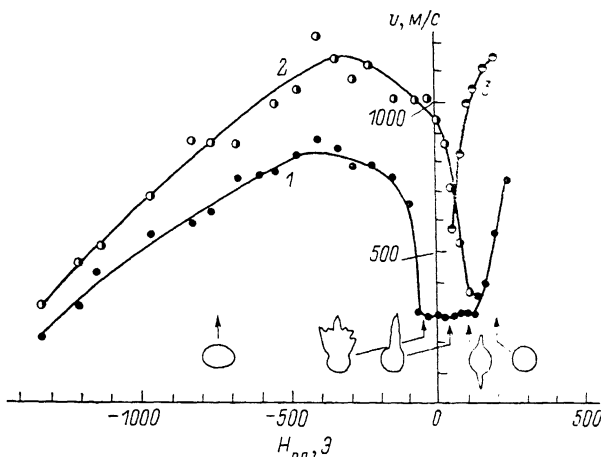


Рис. 5. Зависимости минимальной (1) и максимальной (2, 3) скорости  $v$  участков ДС ДОН от планарного магнитного поля  $H_{пл}$ , приложенного перпендикулярно направлению «выбросов» при  $H=160$  Э.

ное эффективное поле анизотропии в плоскости пленки направлено под углом  $\varphi=53^\circ$  ( $233^\circ$ ), поскольку при таком  $\varphi$  значение  $H_1^*$  обращается в нуль.

Зависимости  $v(H_{пл})$  для  $\varphi=53^\circ$  приведены на рис. 6. Видно, что кривые практически симметричны относительно оси ординат, смена направления «выбросов» происходит при очень малых значениях  $H_{пл}$ , а пороговые поля вращения намагниченности для противоположных направлений  $H_{пл}$  практически совпадают и составляют  $\sim 600$  Э. При  $H_{пл} \approx \pm 200$  Э наблюдаются односторонняя неустойчивость и формирование периодических структур на участках ДС.

Заметим, что в настоящее время отсутствует теория, которая позволяет объяснить описанные эффекты, которые наблюдаются при расширении ДОН в МПФГ с ромбической анизотропией.

В заключение авторы считают своим приятным долгом выразить искреннюю

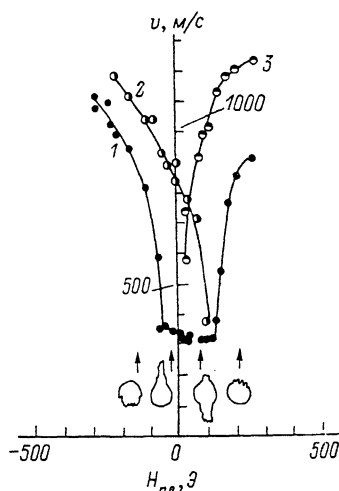


Рис. 6. Зависимости минимальной (1) и максимальной (2, 3) скорости  $v$  участков ДС ДОН от планарного магнитного поля  $H_{пл}$ , приложенного под углом  $\varphi=53^\circ$  к направлению «выбросов».

благодарность Ю. И. Слинкину и В. И. Чани за помощь при выращивании МПФГ, а также В. П. Клину, Б. П. Наму и А. Г. Соловьеву за предоставление некоторых образцов для исследования.

#### Список литературы

- [1] Schlömann E. // J. Appl. Phys. 1976. V. 47. N 3. P. 1142—1150.
- [2] Рандошкин В. В., Сягачев В. Б., Чани В. И., Червоненкис А. Я. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 7. С. 70—76.
- [3] Лисовский Ф. В., Логгинов А. С., Непокойчицкий Г. А., Розанов Т. Б. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 45. № 7. С. 339—342.

- [4] Кли́н В. П., Логунов М. В., Нам Б. П., Рандошкин В. В., Сажин Ю. Н., Соловьев А. Г., Чани В. И., Червоненкис А. Я. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. № 14. С. 79—84.
- [5] Васильева Н. В., Кли́н В. П., Кузнецов И. А., Нам Б. П., Рандошкин В. В., Сигачев В. Б., Чани В. И., Червоненкис А. Я. // Тез. докл. XI Всес. школы-семинара. Ташкент, 1988. С. 300—301.
- [6] Рандошкин В. В., Чани В. И., Логунов М. В., Сажин Ю. Н., Кли́н В. П., Нам Б. П., Соловьев А. Г., Червоненкис А. Я. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. № 14. С. 42—44.
- [7] Логунов М. В., Рандошкин В. В., Сигачев В. Б. // ПТЭ. 1985. № 5. С. 247—248.
- [8] Элементы и устройства на цилиндрических магнитных доменах. Справочник / Под ред. Н. Н. Евтихиева, Б. Н. Наумова. М.: Радио и связь, 1987. С. 24—40.
- [9] Дикштейн И. Е., Лисовский Ф. В., Мансветова Е. Г., Чижик Е. С. // Препринт ИРЭ АН СССР. 1988. № 17. 28 с.
- [10] Рандошкин В. В. // Препринт ИОФАН СССР. 1989. № 23. 21 с.

Институт общей физики АН СССР  
Москва

Поступило в Редакцию  
10 августа 1989 г.  
В окончательной редакции  
7 декабря 1989 г.