

К Р А Т К И Е С О О Б Щ Е Н И Я

УДК 537.62

© 1994

МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ
ДИФФУЗНОЙ ДОМЕННОЙ СТЕНКИ

В.В.Рандошкин, М.В.Логунов

Диффузная доменная стенка (ДДС), представляющая собой уширенную область на изображении доменной структуры, разделяющую соседние домены с противоположной намагниченностью, наблюдается в монокристаллических пленках феррит-гранатов (МПФГ) только в динамике, причем обычно ширина изображения ДДС изменяется со временем [1-7]. Такая стенка формируется как в присутствии постоянного магнитного поля, приложенного в плоскости пленки, так и в его отсутствие. Однако в последнем случае имеются основания полагать, что либо в пленке наблюдается компонента ромбической магнитной анизотропии, либо пленка является неоднородной по толщине. Последнее в большей степени относится к висмутсодержащим МПФГ, что связано с особенностями процесса выращивания этих пленок [6,8-10].

Уширение изображения динамической доменной стенки связывают с различными причинами. Наиболее вероятной из них является изменение по толщине пленки скоростей движения локальных участков доменной стенки, что приводит к наклону доменной стенки [1-3]. Формирование ДДС объясняют также недостаточно высоким временным и пространственным разрешением экспериментальных установок и слабым контрастом изображения доменной структуры, что может не позволить зарегистрировать хаотичные колебания локальных участков доменной стенки [5] либо обнаружить генерацию «магнитных возмущений» вблизи движущейся доменной стенки [11,12]. Однако в случае хаотичных колебаний с периодом, меньшим или сравнимым с временным разрешением, ДДС формировалась бы очень быстро, а ширина ее изображения не должна бы увеличиваться со временем, что противоречит экспериментальным данным. В случае генерации магнитных «возмущений» быстрее всего должны были бы перемещаться наиболее «уширенные» участки доменной стенки, однако эксперимент свидетельствует об обратном: чем меньше ширина изображения участка доменной стенки, тем быстрее он движется.

Настоящая работа посвящена исследованию механизма формирования ДДС в неоднородных по толщине висмутсодержащих МПФГ. Для исследования был выбран образец МПФГ состава $(\text{Gd}, \text{Tm}, \text{Bi})_3(\text{Fe},$

Ga_2O_3 вблизи точки компенсации момента импульса [13-17]. Пленка была выращена на подложке из гадолиний-галлиевого граната с ориентацией (111) методом жидкофазной эпитаксии [17,18], что обеспечивало отсутствие ромбической магнитной анизотропии. Вблизи точки компенсации момента импульса небольшие вариации состава МПФГ приводят к резкому изменению эффективного значения гиромагнитного отношения и, как следствие, доменной стенки скорости v [14-17]. Образец обладал следующими усредненными значениями параметров: толщина $h = 22.4$ мкм, равновесная ширина полосовых доменов $W = 135$ мкм, намагниченность насыщения $4\pi M_s = 240$ Гс, поле одноосной магнитной анизотропии $H_k = 3700$ Э. Близость точки компенсации момента импульса обеспечивала невозможность генерации «магнитных возмущений» и высокий порог реализации режима осциллирующего движения доменной стенки [16].

Эксперименты проводили методом высокоскоростной фотографии на универсальной магнитооптической установке [19,20], в которой использовалась телевизионная регистрация изображения доменной структуры. Анализ телевизионного сигнала этого изображения проводился путем регистрации формы и амплитуды регистрируемого видеосигнала, соответствующего профилю суммарного по толщине пленки фарадеевского вращения (состоянию намагниченности) вдоль участка пленки, доменная структура которого отображается выбранной строкой телевизионного кадра.

В исходном состоянии образец намагничивали до насыщения постоянным магнитным полем смещения $H_{см}$, приложенным вдоль нормали к плоскости пленки. Импульсное магнитное поле $H_{и}$ прикладывали в противоположном направлении. В результате на точечном магнитном дефекте зарождался домен с обратной намагниченностью, который, расширяясь, приобретал цилиндрическую форму. Следствием отсутствия компонент анизотропии и постоянного магнитного поля, параллельного плоскости пленки, являлось не только отсутствие анизотропии скорости доменной стенки, но и практически одинаковая по периметру домена ширина изображения ДДС.

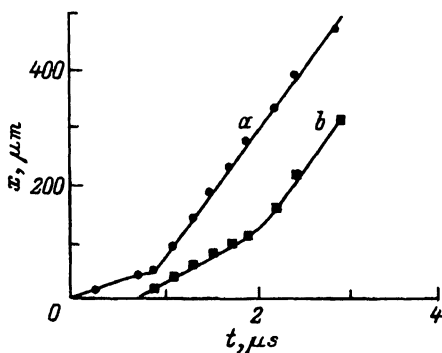


Рис. 1. Временная зависимость смещения переднего (a) и заднего (b) края ДДС при $H_{и} = 1180$ и $H_{см} = 20$ Ое.

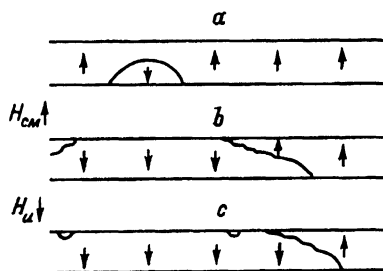


Рис. 2. Схематическое изображение профилей ДДС толщине пленки, соответствующих различным этапам роста домена с обратной намагниченностью.

Эксперименты показали, что благодаря неоднородности МПФГ и близости точки компенсации момента импульса ширина ДДС, постепенно увеличиваясь, достигает значения около 200 мкм, что позволяет достаточно детально установить профиль доменной стенки. Типичная зависимость перемещения X участков доменной стенки от времени приведена на рис. 1, а схематическое изображение ее профиля для различных этапов роста домена с обратной намагниченностью — на рис. 2.

Анализ телевизионного сигнала показывает, что зародыш домена с обратной намагниченностью в намагниченной до насыщения МПФГ в начальный момент времени является несквозным и имеет форму полусферы (рис. 2,а). Он возникает на границе раздела пленка/подложка, что было установлено прямым наблюдением с помощью объектива с 60-кратным увеличением благодаря достаточно большой толщине пленки (22,4 мкм). Формирование ДДС в процессе зарождения и роста домена с обратной намагниченностью происходит в несколько этапов. Зародыш с обратной намагниченностью, преобразуясь в домен с обратной намагниченностью «прорастает» по толщине МПФГ за время около 0,45 мкс, причем скорость его доменной стенки изменяется сложным образом (рис. 1,а). Во время формирования сквозного домена, как и в [21], скорость его боковой доменной стенки уменьшается, при этом диаметр домена с обратной намагниченностью достигает 70 мкм. После образования сквозного домена с обратной намагниченностью устанавливаются стационарные значения скоростей переднего $v_n = 220$ м/с и заднего $v_z = 87$ м/с краев стенки (рис. 1,а,б). При этом ширина изображения ДДС растет, а при ее значении $\delta \approx$ мкм $\gg h$ механизм движения заднего края ДДС резко изменяется и начинает двигаться скачкообразно. На расстоянии около 20 мкм от заднего края происходит разрыв доменной стенки путем локального прорастания ее участков по толщине пленки, а оставшийся внутри домена с обратной намагниченностью несквозной домен уменьшается в размерах и коллапсирует (рис. 2,б). Далее этот процесс повторяется через промежутки времени порядка 0,1 мкс. Как следствие, скорость движения ДДС определяется скоростью ее переднего края.

В установившемся режиме движения профиль доменной стенки является достаточно сложным (рис. 2,б, с), причем размеры «ступенек» на ее поверхности возрастают от переднего края стенки к заднему. При $H_n = 500$ Э одновременно наблюдается 10–15 ступенек шириной около 10 мкм. С увеличением H_n число ступенек возрастает, а их размеры уменьшаются (до 2 мкм при $H_n = 1000$ Э).

Таким образом, в настоящей работе показано, что формирование ДДС может быть обусловлено не только наличием параллельной плоскости пленки компоненты магнитной анизотропии и/или магнитного поля, но и неоднородностью МПФГ по ее толщине, которая приводит к изменению локальной скорости движения участков доменной стенки по толщине пленки, причем локальная скорость не зависит от направления движения доменной стенки в плоскости пленки. Ширина изображения ДДС, увеличиваясь со временем, достигает установившегося значения. При этом имеет место скачкообразное движение заднего края доменной стенки, в процессе которого происходит ее разрыв с образованием несквозного домена позади доменной стенки.

Список литературы

- [1] Zimmer G.J., Morris T.M., Vural K., Humphrey F.B. // Appl. Phys. Lett 1976. V. 25. N 12. P. 750-753.
- [2] Иванов Л.П., Логгинов А.С., Непокойчицкий Г.А., Рандошкин В.В., Телеснин Р.В. // ФТТ. 1979. Т. 21. № 6. С. 1868-1870.
- [3] Vural K., Humphrey F.B. // J. Appl. Phys. 1980. V. 51. N 1. P. 549-555.
- [4] Suzuki T., Gal L., Maekawa S. // Jap. J. Appl. Phys. 1980. V. 19. N 4. P. 627-637.
- [5] Kleparski V.G., Pinter I., Zimmer G.J. // IEEE Trans. Magn. 1980. V. MAG-17. N 6. P. 2775-2777.
- [6] Рандошкин В.В., Червоненкис А.Я. Прикладная магнитооптика. М.: Энергоатомиздат, 1990. 320 с.
- [7] Логунов М.В., Рандошкин В.В. Магнитооптические пленки феррит-гранатов и их применение. М.: Наука, 1992. С. 107-122.
- [8] Грошенко Н.А., Прохоров А.М., Рандошкин В.В., Тимошечкин М.И., Шапошников А.Н., Ширков А.В., Степанов Ю.И. // ФТТ. 1985. Т. 27. № 6. С. 1712-1717.
- [9] Грошенко Н.А., Рандошкин В.В., Шапошников А.Н., Ширков А.В. // ЖТФ. 1986. Т. 56. № 5. С. 935-937.
- [10] Чани В.И. Магнитооптические пленки феррит-гранатов и их применение. М.: Наука, 1992. С. 16-48.
- [11] Иванов Л.П., Логгинов А.С., Непокойчицкий Г.А. // ЖЭТФ. 1983. Т. 84. № 3. С. 1006-1022.
- [12] Иванов Л.П., Лисовский Ф.В., Логгинов А.С., Непокойчицкий Г.А. // Физика многочастичных систем. 1984. № 6. С. 76-98.
- [13] Заболотная Н.В., Осико В.В., Рандошкин В.В., Сигачев В.В., Тимошечкин М.И. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. № 13. С. 788-792.
- [14] Логинов Н.А., Логунов М.В., Рандошкин В.В. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 10. С. 58-63.
- [15] Рандошкин В.В., Сигачев В.В. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 1. С. 246-253.
- [16] Рандошкин В.В. Магнитооптические пленки феррит-гранатов и их применение. М.: Наука, 1992. С. 49-107.
- [17] Proc. SPIE. 1989. V. 1126. P. 103-110.
- [18] Логинов Н.А., Рандошкин В.В., Тимошечкин М.И. // Препринт ИОФАН. 1987. № 120. 30 с.
- [19] Логунов М.В., Рандошкин В.В., Сигачев В.В. // ПТЭ. 1985. № 5. С. 247-248.
- [20] Рандошкин В.В. // Препринт ИОФАН. 1989. № 52. 41 с.
- [21] Рандошкин В.В., Балбашов А.М., Дурасова Ю.А., Мартынов А.Ф., Николаев Л.В., Черкасов А.П. // ФТТ. 1981. Т. 23. № 8. С. 2520-2522.

Мордовский государственный университет
им. Н.П. Огарева Институт общей физики РАН
Совместная козрасчетная
лаборатория «Магнитооптоэлектроника»
Саранск

Поступило в Редакцию
29 октября 1993 г.