

УДК 538.221

ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ ИЗОЛИРОВАННЫХ ЦМД И СТРАЙП-ДОМЕНА

К. И. Лукаш, В. Г. Показаньев, Ю. И. Ялышев

Резонансным методом и методом динамической визуализации изучено преобразование структуры изолированных ЦМД и страйпа под действием плоскостного поля. В ЦМД наблюдаются разрыв и слияние пары вертикальных блоховских линий (ВБЛ). Перемагничивание прямых участков границы страйпа происходит путем перемещения ВБЛ.

В настоящее время вряд ли у кого вызывает сомнение, что многие свойства и особенности в поведении доменных границ (ДГ) феррит-гранатовых пленок с перпендикулярной анизотропией связаны с наличием в ДГ вертикальных и горизонтальных (ГБЛ) блоховских линий, представляющих собой границы между областями с различной ориентацией намагниченности (субдоменами). Постоянное магнитное поле H_p , приложенное в плоскости ДГ и пленки, может существенно изменить структуру границы [1], что и было продемонстрировано в экспериментальной работе [2]. Изучение механизмов перестройки ДГ и ее структуры представляется сейчас важным аспектом физики ДГ и процессов ее перемагничивания (если к ДГ применимо это понятие в традиционном для магнетизма смысле). Эти вопросы экспериментально изучаются в настоящей работе применительно к ДГ цилиндрического магнитного домена (ЦМД) и страйпа.

Перемагничивание ЦМД

Как ЦМД, так и страйп создавались и стабилизировались с помощью токовой аппликации в феррит-гранатовой пленке с параметрами: толщина 5.4 мкм, фактор качества 7.4, характеристическая длина 0.54 мкм, намагниченность насыщения 13.1 Гс. Мы работали с двумя типами ЦМД, различающимися полями коллапса H_k . При минимальном зарождающем поле внутри токовой петли создается ЦМД с полем коллапса $H_k = H_1 = 88.5 \pm 0.6$ Э (ЦМД-1). Из него путем растяжения в страйп и обработки расширяющими импульсами поля смещения H_z (перпендикулярного к пленке) можно получить домен с полем коллапса $H_k = H_2 = 86.2 \pm 0.6$ Э (ЦМД-2). Для наблюдения за поведением ДГ применялся метод динамической визуализации, основанный на торможении в процессе колебаний тех участков ДГ, где локализованы ВБЛ [3].

На рис. 1, а, б приведены фотографии наблюдаемых с помощью поляризационного микроскопа колебаний ДГ ЦМД-1, возбуждаемых расширяющими импульсами поля смещения H_z длительностью 200 нс, амплитудой 5 Э и частотой следования 4 МГц. Снимки получены в плоскостных полях $H_z = 8$ и 3 Э. В первом случае на концах диаметра, наклоненного относительно направления поля, имеются заторможенные сегменты, которые при уменьшении поля до 3 Э сливаются в один, как показано на рис. 1, б. Заторможенный сегмент после слияния может стабилизироваться как на верхней, так и на нижней части ЦМД. При смене направления поля заторможенный сегмент образуется в нижней части ЦМД и в поле $H_p =$

$=8 \text{ Э}$ разрывается на два сегмента. В полях $-3 \text{ Э} < H_p < 3 \text{ Э}$ изображение всей границы размытое, заторможенных участков нет.

Такое поведение границ ЦМД в плоскостном поле объяснимо, если в ДГ ЦМД присутствуют вертикальные линии Блоха. Есть ли основания считать, что исследуемый ЦМД-1 содержит ВБЛ?

О наличии ВБЛ в ДГ можно судить по величине поля коллапса ЦМД: оно выше для ЦМД, содержащих ВБЛ. Это хорошо известный и надежный способ аттестации ЦМД на ВБЛ, тем более если он подкреплён конкретными расчетами. Методом, рассмотренным в [4], мы провели расчет поля коллапса ЦМД с двумя ВБЛ и без них (хирального). Оказалось, что поле H_2 (ЦМД-2) совпадает с рассчитанным для хирального ЦМД, а поле $H_1 > H_2$ со значением, полученным для ЦМД с двумя ВБЛ. Отметим, что в последнем случае уменьшение силы поверхностного натяжения ДГ, приводящее к увеличению поля коллапса, обусловлено не взаимодействием между ВБЛ, как в жестких ЦМД, а отрицательным магнитостатическим вкладом в плотность энергии незамкнутого нормального сегмента ДГ [4].

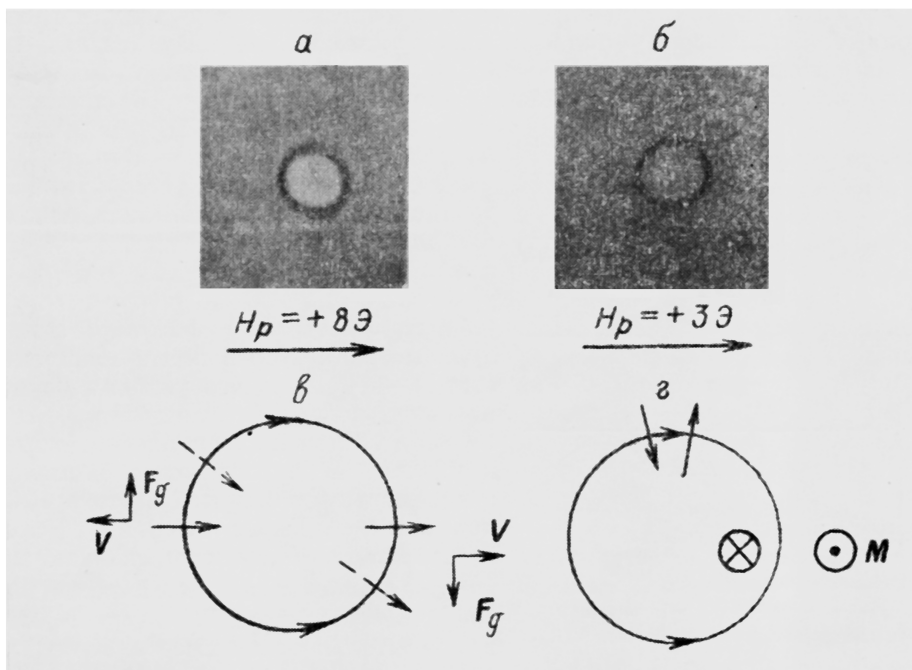


Рис. 1. Картина колебаний ДГ ЦМД и модель структуры границы.

Таким образом, исследуемый ЦМД-1 в соответствии с вышеизложенным содержит в своей границе пару ВБЛ (у нас нет оснований говорить о большем числе), мгновенное распределение которых в полях 3 и 8 Э представлено на рис. 1, в, г. Стрелки по окружности указывают направление намагниченности в центре ДГ. Теперь мы можем перейти к объяснению наблюдаемых эффектов, в частности, приведенных на рис. 1, а, б.

В интервале полей $-3 \text{ Э} < H_p < 3 \text{ Э}$ благодаря магнитостатическому притяжению ВБЛ образуют пару, которая под действием гиротропной силы перемещается по кругу при смещении ДГ под действием импульса расширяющего поля смещения. В поле, большем 3 Э, пара стабилизируется на верхней или нижней части ЦМД (в зависимости от направления поля H_p), о чем свидетельствует заторможенный участок ДГ на рис. 1, б. В поле порядка 8 Э пара разрывается, ЦМД переходит в состояние, приведенное на рис. 1, а. Заторможенные участки указывают на положение изолированных ВБЛ. Наклон заторможенных сегментов позволяет опре-

делить направление действующей на ВБЛ гиротропной силы F_g . Зная направление вектора скорости ДГ и F_g , можно определить направление вектора линии [3]. В соответствии с общепринятым определением исследуемый ЦМД содержит отрицательные ВБЛ (ВБЛ другого знака не обнаружены). Обратный процесс, т. е. слияние ВБЛ в пару при уменьшении поля H_p , может происходить как на верхней, так и на нижней части ЦМД. Развал пары, т. е. переход от рис. 1, б к рис. 1, а, является предельным случаем (для кластера из двух ВБЛ) фазового перехода в системе ВБЛ, вызванного магнитным полем и предсказанного в [5, 6]. Мы склонны считать, что это первые убедительные наблюдения фазового перехода в ДГ

Перемагничивание страйпа

Страйп, имеющий определенную магнитную структуру ДГ, создавался путем растяжения ЦМД-1. Введенные таким образом две ВБЛ разделяют различно поляризованные участки границы страйпа, как это схематически изображено на вставке к рис. 2. Нашей задачей является определение направления намагниченности ДГ в различных ее участках в зависимости от величины и направления поля в плоскости. Поле прикладывается вдоль страйпа. Воспользоваться методом динамической визуализации оказалось невозможным, так как необходимая для визуализации амплитуда импульсов поля смещения сильно возмущает структуру ДГ (динамическое зарождение ВБЛ), что для нашего эксперимента нежелательно.

Для исследования состояния ДГ страйпа использовалась магнитооптическая установка, позволяющая регистрировать колебания отдельных участков ДГ с разрешением 4 мкм (область засветки сфокусированного луча лазера). Колебания в области частот 1—100 МГц возбуждались однородным полем с амплитудой 10—100 мЭ, приложенным перпендикулярно к пленке. В эксперименте снималась зависимость резонансной частоты $\omega_0/2\pi$ колебаний ДГ от величины поля в плоскости H_p , которая, как известно, наиболее полно отражает внутреннее состояние ДГ. На рис. 2 приведена такая зависимость, снятая с прямого участка стенки страйпа (как показано на вставке рис. 2).

При увеличении поля H_p от нуля резонансная частота сначала падает (кривая 1), затем в поле $H_p = H_c = 4$ Э скачком возрастает и далее почти линейно увеличивается с ростом поля. Весьма примечательно, что скачок частоты в поле H_c является необратимым: при обратной развертке поля частота монотонно убывает (кривая 2) до значения ее в нулевом поле. При повторных развертках поля H_p частота $\omega_0/2\pi$ остается на этой линии. Если же направление поля H_p изменить на противоположное, произойдет повторение рассмотренной картины: частота $\omega_0/2\pi$ сначала убывает (продолжая кривую 2), в поле $H_p = -4$ Э испытывает скачок и затем с полем монотонно увеличивается. На противоположной стороне страйпа наблюдается аналогичная ситуация.

При объяснении полученной зависимости резонансной частоты от поля в плоскости будем исходить из известного факта: резонансная частота участков стенки, намагниченность которых совпадает с направлением поля, увеличивается с ростом поля; если намагниченность и поле антипараллельны, то уменьшается [1, 2]. Кроме того, будем считать, что страйп, как и исходный ЦМД-1, содержит две ВБЛ. Тогда наблюдаемое вначале уменьшение свидетельствует о том, что ДГ поляризована против поля H_p

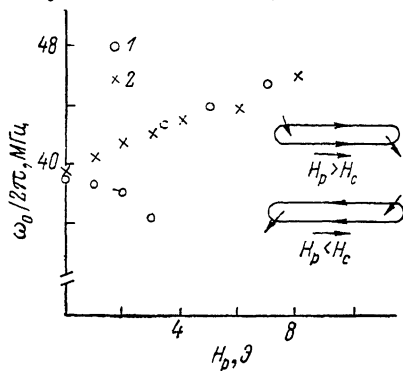


Рис. 2. Зависимость резонансной частоты колебаний участка ДГ от поля H_p и модель структуры ДГ страйпа.

1 — частота при первом увеличении H_p ,
2 — последующие прохождения полем H_p .

(рис. 2, 1). Необратимый скачок частоты в поле H_c , наблюдаемый на обеих сторонах страйпа одновременно, и последующий ее рост с полем говорят о переключении поляризации участков ДГ на направление поля (рис. 2, 2). Это переключение происходит путем перемещения по ним ВБЛ, срываемых из потенциальных ям плоскостным полем $H_p = 4 \text{ Э}$.

В заключение отметим, что процесс перематничивания ДГ хиральных ЦМД-2 и страйпа протекает с участием 2π -ГБЛ и рассмотрен в [7].

Список литературы

- [1] Гуревич В. А., Моносов Я. А. // ФТТ. 1976. Т. 18. № 10. С. 2897—2904.
- [2] Ялышев Ю. И., Лукаш К. И., Показаньев В. Г. // ФТТ. 1984. Т. 26. № 5. С. 1549—1550.
- [3] Малоземов А., Слоузуски Дж. Доменные стенки в материалах с ЦМД. М., 1982. 376 с.
- [4] О'Делл Т. Ферромагнитодинамика. М., 1983.
- [5] Жеберляев И. Ф., Показаньев В. Г., Политов В. Ю. и др. // Доменные и магнитооптические запоминающие устройства. Тез. докл. Суздаль, 1985. С. 78—79.
- [6] Ялышев Ю. И., Политов В. Ю., Показаньев В. Г. // ФММ. 1986. Т. 62. № 1. С. 61—68.
- [7] Лукаш К. И., Показаньев В. Г., Ялышев Ю. И. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 6. С. 491—495.

Уральский электромеханический
институт инженеров железнодорожного
транспорта им. Я. М. Свердлова
Свердловск

Поступило в Редакцию
10 марта 1988 г.
В окончательной редакции
3 ноября 1988 г.