

05.2; 09

© 1993

## МАГНИТООПТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КВАЗИСТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В ФЕРРИТ-ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНКАХ

Г.С. Криничик, Е.Е. Чепурова,  
М.В. Санько

В последние годы существенно возросло количество работ в области физики магнитных доменов и доменных границ (ДГ), что обусловлено использованием этих магнитных элементов в системах магнитной памяти и обработки информации. Надежность разрабатываемых устройств зависит от динамических и квазистатических характеристик ДГ в используемых для этих целей материалах.

В данной работе представлены результаты исследования зависимостей амплитуды колебаний ДГ в висмут-содержащих феррит-гранатовых (ФГ) пленках от амплитуды и частоты поля смещения ( $f_{CM}$ ), а также влияния на эти зависимости магнитного поля, ориентированного в плоскости образца параллельно  $H_{z\parallel}$  и перпендикулярно  $H_{z\perp}$  плоскости ДГ.

Измерения были выполнены на магнитооптическом микромагнетометре (созданном на базе микроскопа МИМ-8), подробно описанном в [1]. В работе использовалась динамическая методика регистрации магнитооптических сигналов, суть которой состоит в следующем. Под действием внешнего переменного магнитного поля ( $H_{CM}$ ), приложенного параллельно оси легкого намагничивания (ОЛН) исследуемого образца, ДГ колеблется относительно положения равновесия. В этом случае магнитооптический сигнал  $\delta$  отличен от нуля только в области смещения ДГ. Амплитуда смещения ДГ от положения равновесия при измерениях на первой гармонике определяется по полуширине на полувысоте кривой распределения  $\delta(x)$  ( $x$  - направление движения ДГ).

Приведенные ниже результаты были получены с помощью эффекта Фарадея -  $\delta_F$ . Зависимости  $\delta_F(x)$  снимались на участках исследуемых образцов с полосовой доменной структурой. Входная щель ФЭУ имела вид узкой полоски, параллельной ДГ, размером (с учетом увеличения микроскопа)  $0.25 \times 3$  мкм<sup>2</sup>. Образцами служили эпитаксиальные висмутсодержащие  $(LuBi)_3(FeGa)_5O_{12}$  и  $(TmBi)_3(FeGa)_5O_{12}$  ФГ-пленки с ОЛН, перпендикулярной поверхности образцов; толщиной  $t = 7-15$  мкм,  $4\pi M_s \sim 100$  Гс.

На рис. 1, а приведены типичные для изучаемых ФГ-пленок зависимости  $\delta_F(x)$ . Кривая 1 была получена в поле смещения  $H_{CM} = 14$  Э,  $f_{CM} = 13$  Гц, кривые 2, 3 - соответственно при дополнительном включении планарного постоянного поля, перпендикулярного ДГ,  $H_{z\perp} = +30$  Э и  $H_{z\perp} = -30$  Э. Аналогичные изме-

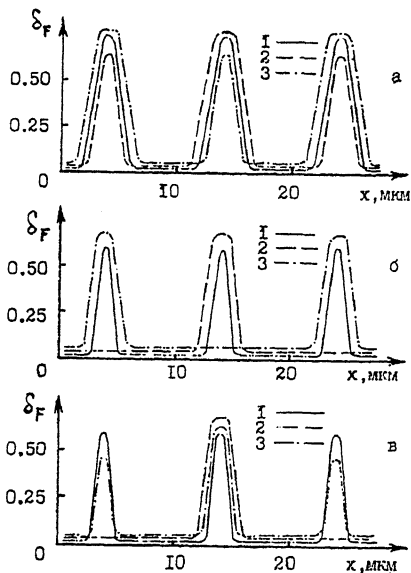


Рис. 1. Типичные зависимости эффекта Фарадея  $\delta_F(x)$  (ось  $x$  перпендикулярна ориентации полосовых доменов) для изучаемых феррит-гранатовых пленок: а) кривая 1 -  $H_{CM} = 14$  Э,  $f_{CM} = 13$  Гц, 2 - дополнительное включение  $H_{\perp} = +30$  Э, 3 -  $H_{\perp} = -30$  Э; б) кривая 1 -  $H_{CM} = 14$  Э,  $f_{CM} = 1040$  Гц, 2 - дополнительное включение  $H_{\perp} = +30$  Э, 3 -  $H_{\perp} = -30$  Э; в) кривая 1 -  $H_{CM} = 14$  Э,  $f_{CM} = 1040$  Гц, 2 - дополнительное включение  $H_{\perp} = +30$  Э, 3 -  $H_{\perp} = +30$  Э,  $H_{\parallel} = 30$  Э,  $f_{\parallel} = 1$  кГц.

рения были выполнены при различных значениях  $f_{CM}$  ( $f_{CM}$  изменялось от 1 Гц до 10 кГц). Кривые распределения  $\delta_F(x)$ , полученные при  $f_{CM} = 1040$  Гц, приведены на рис. 1, б. Из рисунков видно, что планарное поле  $H_{\perp}$  влияет на отношение амплитуд соседних границ. С ростом значения  $f_{CM}$  это влияние увеличивается. Более того, в случае  $f_{CM} > 1$  кГц границы останавливаются через одну, причем смена полярности  $H_{\perp}$  приводит к остановке ранее качающихся ДГ и движению стоящих (рис. 1, б).

Дальнейшие исследования показали, что влияние планарного, постоянного магнитного поля, параллельного ДГ,  $H_{\parallel}$  на квазистатические свойства ДГ подобно  $H_{\perp}$ , но в этом случае границы останавливаются через одну при больших значениях  $f_{CM}$ . Уменьшение амплитуды поля смещения сопровождается уменьшением значения  $f_{CM}$ , при котором этот эффект наблюдается.

Амплитуды колебаний соседних границ становились практически одинаковыми и близкими к исходным при движении ДГ в скрещенных планарных полях, одно из которых является переменным (с частотой  $f_{\perp} > 1$  кГц). Наиболее ярко этот эффект проявлялся, если  $H_{\perp}$  было постоянным, а  $H_{\parallel}$  - переменным. Результаты таких измерений приведены на рис. 1, в.

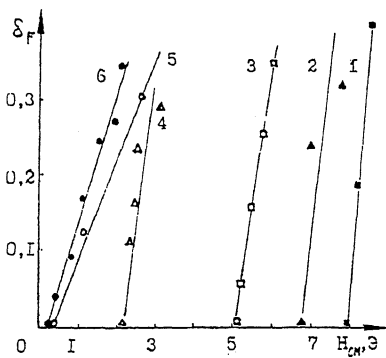


Рис. 2. Типичные зависимости  $\delta_F (H_{CM})$  при различных значениях  $H_{T \parallel}$  ( $f_{T \parallel} = 1$  кГц) для двух соседних границ вблизи канавки: кривые 1-5 получены для стоящей ДГ соответственно при  $H_{T \parallel} = 30, 31.5, 33, 36, 42, 48$  Э; 6 - для качающейся ДГ при  $H_{T \parallel} = 0$ .

Особого внимания заслуживают данные по изучению квазистатических характеристик ДГ вблизи лазер-отоженных (ЛО)-полос или канавок, создаваемых в ФГ-пленках для стабилизации полосовых доменов при формировании накопительного массива памяти в ВБЛ-устройствах [2]. В этом случае решетка полосовых доменов стабилизируется за счет полей рассеяния, создаваемыми ЛО-полосами или канавками, и практически изначально амплитуды колебаний соседних границ отличаются. На рис. 2 приведены зависимости  $\delta_F$  от величины поля смещения и амплитуды планарного, переменного поля  $\tilde{H}_{T \parallel}$  для двух соседних границ вблизи канавки (ДГ1 и ДГ2). Измерения были выполнены при ширине щели ФЭУ, равной 2.5 мкм (т.е. регистрировались средние значения  $\delta_F$  в области смещения ДГ),  $f_{CM} = 330$  Гц,  $f_{T \parallel} = 1$  кГц. Кривые 1-5 были получены для стоящей границы (ДГ2) при  $\tilde{H}_{T \parallel} = 30; 31.5; 33; 36; 42; 48$  Э, кривая 6 - для качающейся при  $\tilde{H}_{T \parallel} = 0$  границы (ДГ1). Из рисунка видно, что при увеличении амплитуды  $\tilde{H}_{T \parallel}$  в 1.5 раза поле старта неподвижной ДГ уменьшается более, чем на порядок. В поле  $\tilde{H}_{T \parallel} = 48$  Э амплитуды колебаний соседних границ становятся близкими по величине, о чем свидетельствует практически одинаковый ход кривых 5 и 6 рис. 2. В том же интервале значений  $\tilde{H}_{T \parallel}$  поле старта ДГ1 изменяется от 0.2 до 0.1 Э, а амплитуда колебаний почти не изменяется (чтобы не перегружать рисунок, весь набор кривых для этого случая не приведен здесь). Оказалось, что при включении планарного переменного поля  $\tilde{H}_{T \perp}$  поле старта и амплитуда колебаний ДГ2 изменяются значительно слабее. Здесь следует также отметить следующий экспериментально установленный факт. При фиксированном значении  $H_{CM}$  и включении только планарного переменного поля  $H_{T \parallel}$  ( $f_{T \parallel} > 1$  кГц) амплитуды колебаний всех ДГ увеличиваются.

Объяснить полученные результаты попытаемся, используя существующие представления о внутренней структуре ДГ в ФГ - пленках. Согласно [3, 4], при включении постоянного магнитного поля  $H_{z\parallel}$  возможно зарождение  $2\pi$ -горизонтальных блоховских линий (ГБЛ) с последующим образованием пары ВБЛ. Оценка поля зарождения  $2\pi$ -ГБЛ показала, что для исследуемых образцов эта величина порядка 4-6 Э. Если теперь предположить, что в исходном состоянии ДГ полосового домена не имела блоховских линий, то при включении  $H_{z\parallel}$  соседние ДГ оказываются в разном энергетическом состоянии. При движении в поле  $H_{cм}$  граница, блоховская компонента намагниченности которой антипараллельна  $H_{z\parallel}$ , набивается ВБЛ, и ее подвижность уменьшается. При смене полярности  $H_{z\parallel}$  в невыгодном энергетическом состоянии оказывается уже другая ДГ.

В случае постоянного магнитного поля  $H_{z\perp}$ , рассуждения аналогичны. Однако в этом случае ВБЛ зарождаются в головках полосовых доменов. При движении границы в поле  $H_{cм}$  ВБЛ за счет гиротропных сил будут смещаться в ту ДГ, в которой намагниченность ВБЛ совпадает с направлением поля  $H_{z\perp}$ , что приводит к уменьшению подвижности ДГ. При изменении полярности  $H_{z\perp}$  другая ДГ „набивается“ ВБЛ.

Усиление влияния постоянного планарного поля с ростом частоты поля смещения, по-видимому, связано с тем, что при увеличении  $f_{cм}$  растет скорость ДГ  $V_{дг}$ , а следовательно, возрастает линейная плотность гиротропной силы  $\vec{F} = \pm(2\pi M_s/\delta)\vec{n} \times \vec{V}_{дг}$  ( $\delta$  - гирромагнитное отношение,  $\vec{n}$  - нормаль к плоскости пленки), действующей на ВБЛ.

Результаты проведенных исследований могут быть полезны разработчикам высокочувствительных магнитооптических датчиков переменных магнитных полей и ВБЛ-устройств.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Криничик Г.С., Чепурова Е.Е., Штайн А.В. // ЖЭТФ. 1984. Т. 87. В. 12. С. 2014-23.
- [2] Юрченко С.Е., Чепурова Е.Е., Ходжаев В.Д., Иерусалимов И.П. // Письма в ЖТФ. Т. 15. В. 5. С. 68-73.
- [3] Малоземов А., Слонзуски Дж. // М.: Мир, 1982. 382 с.
- [4] О'Делл Т. Ферромагнитодинамика. М.: Мир, 1983. 254 с.

Поступило в Редакцию  
27 марта 1993 г.