

## САМООРГАНИЗАЦИЯ МАГНИТНОГО МОМЕНТА ПРИ ПУЛЬСАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЯХ, ДИНАМИЧЕСКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ИЛИ ДРЕЙФЕ ДВУМЕРНЫХ РЕШЕТОК ДОМЕНОВ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

*Ф.В.Лисовский, Е.Г.Мансветова*

*Институт радиотехники и электроники РАН*

*141120 Фрязино, Московская обл., Россия*

Поступила в редакцию 14 октября 1993 г.

Обнаружено явление самоорганизации распределения магнитного момента, обусловленное пульсационными колебаниями, динамической кластеризацией или дрейфом двумерных решеток цилиндрических магнитных доменов в пленках ферритов-гранатов. Наблюдалось формирование решеток из одиночных или спаренных кольцевых доменов (группы  $P6mm$  и  $C4mm2$ ), а также массивов из  $L$ - или  $S$ -образных доменов (группа  $P2$ ) и из чередующихся рядов гантелевидных доменов разного размера (группа  $Pmm2$ ).

В [1-4] сообщалось об обнаружении и исследовании новых типов самоорганизации магнитного момента в пленках ферритов-гранатов с большой константой одноосной анизотропии  $\beta_u$  под действием монополярных импульсов поля подмагничивания с образованием решеток гантелевидных или гантелевидных и круглых цилиндрических магнитных доменов (ЦМД), симметрия которых в статических условиях соответствует пространственным группам  $Pab2$  и  $P6$ , а в динамическом режиме – группам  $C4mm2$  и  $P6mm$ . Было высказано предположение [3], что изменение параметров внешнего воздействия, а также использование пленок с отличной от одноосной анизотропией могут приводить к формированию двумерных массивов доменов различной формы с самыми разнообразными типами симметрии. В настоящей работе приведены результаты экспериментов, подтверждающих данную гипотезу.

В первой серии экспериментов использовалась пленка феррита-граната состава  $(Y_GdYbBi)_3(FeAl)_5O_{12}$  толщиной  $t \approx 20$  мкм на подложке из  $Gd_3Ga_5O_{12}$  с ориентацией (111), имеющая период лабиринтной доменной структуры (ДС)  $d = 58$  мкм, константу одноосной анизотропии  $\beta_u \approx 20$ , намагниченность  $M \approx 7,7$  Гс и поле коллапса ЦМД  $H_c = 39$  Э. Пленка подвергалась воздействию создаваемого плоской катушкой с внутренним диаметром 1 мм и направленного по нормали к поверхности пленки  $n$  монополярного импульсного магнитного поля с амплитудой  $\dot{H} \approx 75$  Э, длительностью  $\tau_p \approx 2$  мкс и периодом повторения  $T_r \approx 1$  мс. Импульсы магнитного поля имели треугольную форму, то есть длительности фронта  $\tau_r$  и среза  $\tau_f$  составляли около 1 мкс.

При описанных выше условиях эксперимента из исходной лабиринтной ДС после воздействия около 100 импульсов магнитного поля формировалась структура, фотография которой приведена на рис. 1а<sup>1)</sup>. Симметрия такой ДС описывается двумерной пространственной группой  $Pmm2$ ; соответствующая ячейка Браве с мотивообразующими элементами приведена на рис. 2а слева. Каждый

<sup>1)</sup> Полиграфическая обработка фотографий ДС выполнена на компьютере IBM PC-AT/386 с использованием программы Photo-Paint графического пакета CorelDRAW. Фотографии получены для "замороженных" ДС, то есть, при отключенном импульсном магнитном поле.

Каждый импульс магнитного поля переводит короткие домены в длинные и наоборот, так что в динамическом режиме при усреднении по многим импульсам наблюдается ДС с ячейкой Браве, изображенной на рис. 2а справа (пространственная группа  $C_{2mm}2$ ). При незначительной модификации формы импульса в той же самой пленке можно получить ДС, фотография которой приведена на рис. 1b (группа симметрии  $P6b2$ ), а ячейки Браве для статического и динамического режимов – на рис. 2b (динамическому режиму соответствует группа  $C_{2mm}2$ ). Как и в [1-3], переориентация больших осей гантелевидных доменов (под действием каждого импульса магнитного поля) происходит не путем поворота последних, а через ударное возбуждение пульсационной моды колебаний, то есть домены сначала испытывают сжатие, сохраняя исходную ориентацию осей симметрии до приобретения почти круговой формы, а затем расширяются вдоль новых осей симметрии. В отличие от самоорганизации, описанной в [1-3], когда переориентация больших осей доменов происходила на угол, равный  $\pi/2$ , в данном случае этот угол составлял около  $\pi/6$ .

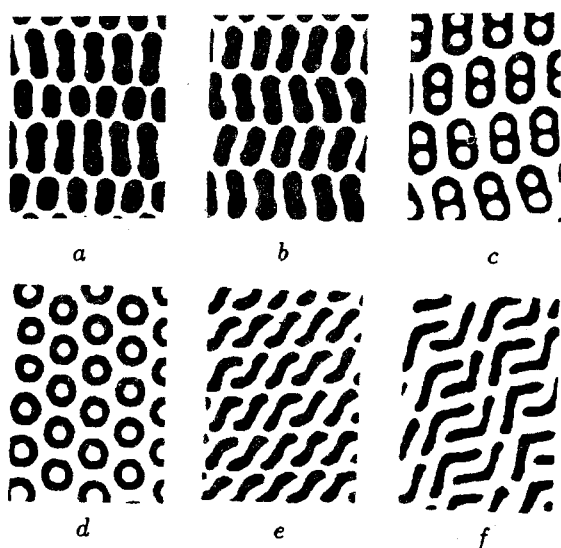


Рис.1. Фотографии доменных структур, возникающих в процессе самоорганизации

Вторая серия экспериментов проводилась на пленке состава  $(YBi)_3(FeGa)_5O_{12}$  (ориентация (111),  $t \approx 7$  мкм,  $d = 60$  мкм,  $\beta_u \approx 60$ ,  $M \approx 6,7$  Гс,  $H_c = 14$  э). Использовалось гармоническое магнитное поле с амплитудой  $\vec{H} > H_c$  и частотой  $f \sim 10^4$  Гц. В определенном интервале изменения амплитуды магнитного поля в пленке из исходной лабиринтной ДС формировалась монополярная гексагональная решетка круглых ЦМД с одинаковым направлением вектора  $M$  внутри всех ЦМД, то есть происходило спонтанное нарушение симметрии<sup>2</sup>). При увеличении амплитуды  $\vec{H}$ , однако, происходило восстановление нарушенного элемента симметрии путем хаотического зарождения и разрастания кластеров, представляющих собой участки гексагональной решетки ЦМД с антипараллельным (по отношению к исходной решетке) на-

<sup>2</sup>) В исходной лабиринтной ДС оба возможных направления вектора намагниченности  $M \uparrow \uparrow n$  и  $M \downarrow \downarrow n$  эквивалентны.

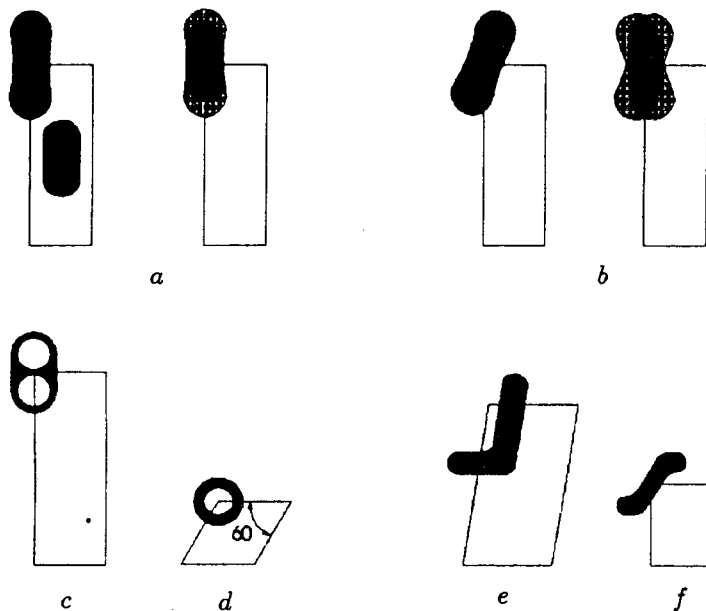


Рис.2. Решетки Браве с мотивообразующими элементами - прототипами для доменных структур рис.1

правлением вектора  $M$  внутри ЦМД<sup>3</sup>). Число ЦМД в таких кластерах  $n_d$  в момент образования последних может быть довольно большим. Если в такой ситуации воздействовать на пленку слабым постоянным магнитным полем  $H_0 \ll H_c$  и постепенно увеличивать его, то начинается быстрая диссоциация кластеров (в системе опять нарушается симметрия) и  $n_d$  убывает. Одновременно происходит вытеснение фрагментов исходной решетки ЦМД. Тенденция к упорядочению кластеров начинает проявляться при  $n_d \leq 6$ , однако полная самоорганизация решетки кластеров, выражающаяся в формировании упорядоченного массива спаренных кольцевых доменов (КМД), наблюдается при  $n_d = 2$  (см. рис.1c). Симметрия ДС описывается группой  $C_{2mm}$ ; ячейка Браве для нее приведена на рис.2c. При несколько большей напряженности поля подмагничивания  $H_0$  кластеры с  $n_d = 2$  диссоциируют и образуется гексагональная решетка КМД с симметрией  $P6mm$  (рис.1d и 2d)<sup>4</sup>).

В третье группе экспериментов использовалась пленка состава  $(LuBi)_3(FeGa)_5O_{12}$ , выращенная на подложке из  $Gd_3Ga_5O_{12}$  с ориентацией (210), что обеспечивало наличие сильной ромбической компоненты наведенной анизотропии ( $\beta_p \sim \beta_u$ , где  $\beta_p$  – константа ромбической анизотропии). Пленка имела следующие параметры:  $t = 14$  мкм,  $d = 14$  мкм,  $\beta_u = 3,3$ ,  $M = 7,3$  Гс,  $H_c = 66$  Э. При воздействии на пленку монополярных прямоугольных импульсов магнитного поля с длительностью  $\tau_p \sim 10$  мкс, периодом повторения  $T_r = 10$  мс и амплитудой  $\dot{H} > 90$  Э происходило дробление исходной полосовой

<sup>3</sup>)Сходное явление при импульсном переманчивании пленок, названное топологическим переключением полярности решетки ЦМД, было обнаружено и описано О'Деллом [5].

<sup>4</sup>)Заметим, что самоорганизация ДС во второй серии экспериментов наблюдалась только в том случае, если существовал небольшой зазор между пленкой и катушкой, создающей переменное магнитное поле, то есть переменное поле обладало радиальной компонентой.

ДС и возникал дрейф массива как целого. В процессе дрейфа происходила самоорганизация с образованием упорядоченных решеток  $S$ - или  $L$ -образных доменов (рис.1e и 1f), симметрия которых описывается группой  $P2$ , а ячейки Браве имеют вид, показанный на рис.2e и рис.2f. Возникновение киральности у элементов массивов обусловлено действием гироскопических сил на концы доменов в процессе дрейфа [6]. Это подтверждается тем, что при смене знака импульсного магнитного поля направление закрутки изменялось.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 93-02-2018).

Авторы выражают признательность В.И.Миргородскому за помощь в проведении экспериментов и О.А.Бышевскому-Конопко и В.Н.Чеснокову за содействие в компьютерной обработке изображений ДС.

- 
1. Ф.В.Лисовский, Е.Г.Мансветова, Письма в ЖЭТФ **55**, 34 (1992).
  2. Ф.В.Лисовский, Е.Г.Мансветова, А.В.Николаев, Е.П.Николаева, Препринт ИРЭ АН СССР №1(569), 1992, М.
  3. Ф.В.Лисовский, Е.Г.Мансветова, Е.П.Николаева, А.В.Николаев, ЖЭТФ **103**, 213 (1993).
  4. Ф.В.Лисовский, Е.Г.Мансветова, Е.П.Николаева, Письма в ЖЭТФ **57**, 580 (1993).
  5. Т.Н.О'Dell, *Phil. Mag.* **27**, 595 (1973).
  6. А.Малоземов, Дж.Слонзуски. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими магнитными доменами, пер. с англ., 1982, М.: Мир (А.Р.Malozemoff, J.C.Slonczewski. *Magnetic domain walls in bubble materials*, 1979, New York, Academic Press).