

05.2;08;09

©1995

## ДИНАМИЧЕСКОЕ НАМАГНИЧИВАНИЕ ПЛЕНОК ФЕРРИТОВ–ГРАНАТОВ В ПЕРЕМЕННЫХ ПОЛЯХ ЗВУКОВЫХ ЧАСТОТ

*Г.С.Кандаурова, В.Х.Осадченко*

Обнаружена сильная аномалия в динамических кривых намагничивания пленок ферритов–гранатов с большим фактором качества. При увеличении амплитуды и частоты переменного поля наблюдается последовательное изменение формы динамической магнитооптической петли гистерезиса от обычной к совершенно необычной “треугольной” форме и далее к горизонтальной “схлопнутой” петле. Показано, что обнаруженные эффекты связаны с особенностями поведения динамической доменной структуры и существованием динамической однодоменности.

При исследовании динамических гистерезисных свойств пленок ферритов–гранатов (ФГ) в низкочастотных полях [1] мы обнаружили эффект “мигающей” петли гистерезиса. Этот эффект связан с ангерным состоянием многодоменной среды. В данной работе продолжено изучение процессов перемагничивания и динамической доменной структуры (ЛДС) пленок ФГ различного состава.

Исследованные пленки ФГ имели перпендикулярную анизотропию. Толщина пленок  $L = 1.5-40$  мкм, намагниченность насыщения  $M_s = 7.5-30$  Гс, статическое поле насыщения  $H_s = 30-190$  Э, фактор качества  $Q = K_u/2\pi M_s^2$ , где  $K_u$  — константа наведенной перпендикулярной анизотропии, равен 3–96. Переменное магнитное поле  $H \sim H_0 \times \sin 2\pi ft$  амплитудой  $H_0 \approx 0-2H_s$  и частотой  $f \approx 0.1-20$  кГц ориентировалось по нормали к образцу. Для измерения динамических кривых намагничивания  $\Delta M(H_0)$ , петель гистерезиса (ПГ) и для наблюдения ЛДС использовались магнитооптические методики.

Выделены две группы образцов. Первая (I) имела параметр  $Q = 3-9$ , вторая (II)  $Q = 21-96$ . Кривые  $\Delta M(H_0)$  и динамические ПГ образцов первой группы имели обычную форму [2] при всех частотах и амплитудах переменного поля. Например, кривые  $\Delta M(H_0)$ , как кривые 1 и 2 на рис. 1. В пленках группы II при частотах  $f \gtrsim 1$  кГц обнаружены сильные аномалии в форме динамических магнитооптических кривых намагничивания (рис. 1). Сначала с увеличе-

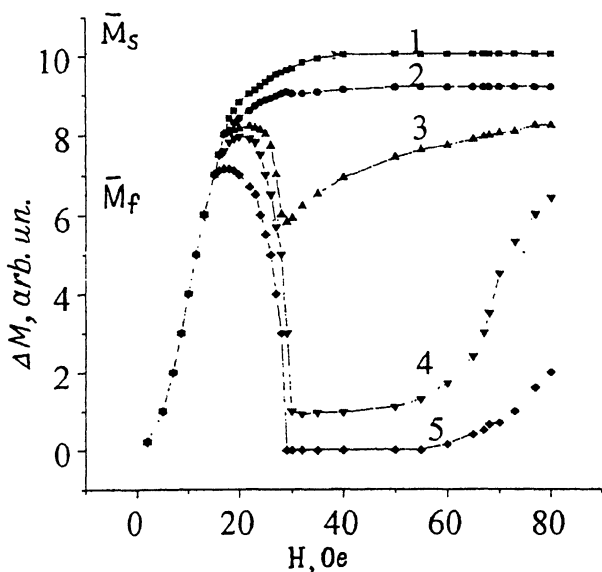


Рис. 1. Магнитооптические кривые динамического намагничивания образца с  $Q = 47$  при различных частотах внешнего поля: 1 — 0, 2 — 0.8, 3 — 1.6, 4 — 3.2, 5 — 6.4 кГц.

нием амплитуды поля  $H_0$  до  $\sim 0.5H_s$ , изменение намагниченности  $\Delta M$  растет, достигает максимума, затем резко падает до некоторого минимального значения  $\bar{M}_f$  при определенной амплитуде  $H_f \lesssim H_s$ , а далее снова возрастает (рис. 1, кривые 3-5). Как видно из рис. 1, падение  $\Delta M$  тем сильнее, чем выше частота поля. Так, при  $f = 1.6$  кГц  $\bar{M}_f/\bar{M}_s = 0.6$ , а при  $f = 6.4$  кГц  $\bar{M}_f/\bar{M}_s = 0$ . Отметим, что значение поля  $H_f$  почти не зависит от частоты. Анализ семейства кривых  $\Delta M(H_0)$ , аналогичных тем, что представлены на рис. 1, для всех пленок группы II показал, что отношение  $\bar{M}_f/\bar{M}_s$  уменьшается с увеличением частоты тем резче, чем больше фактор качества материала. Например, при  $f = 2$  кГц  $\bar{M}_f/\bar{M}_s = 0.9$  для образца с  $Q = 21$  и  $\bar{M}_f/\bar{M}_s = 0.2$  в случае  $Q = 96$ . Соответственно при  $f = 4$  кГц  $\bar{M}_f/\bar{M}_s = 0.5$  и 0.01 для этих же образцов.

Для выяснения причин такого необычного эффекта были изучены динамические петли гистерезиса и поведение ДДС пленок за период изменения поля. Установлено, что для всех исследованных пленок при  $H_0 \lesssim H_s$  петли гистерезиса

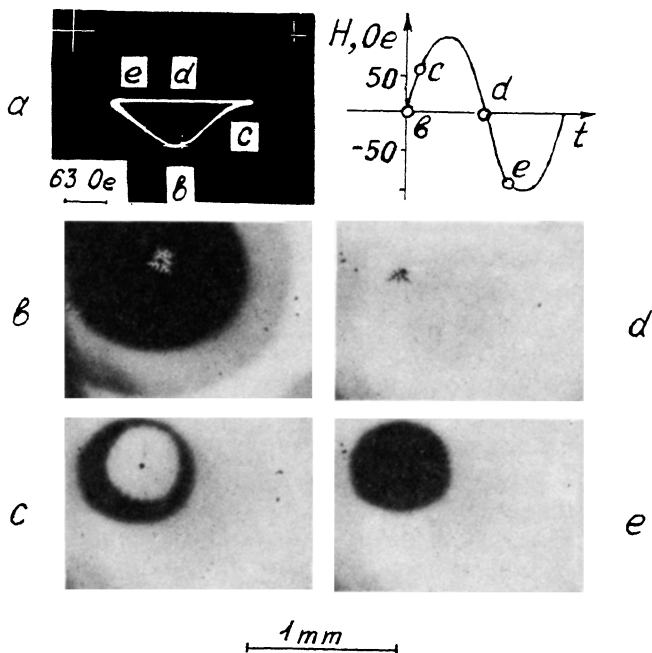


Рис. 2. Динамическая петля гистерезиса на экране осциллографа (а) и ДДС (b-e) пленки с  $Q = 96$  в поле амплитудой  $117 \text{ Э}$  и частотой  $2 \text{ кГц}$ . Напряженность поля в моменты времени, отмеченные на схеме, равна: b) 0, c) 70, d) 0, e) —  $105 \text{ Э}$ .

имеют обычный вид [2]. Такими они остаются и при  $H_0 \gtrsim H_s$  для образцов I группы. Но в случае образцов II группы при  $H_0 \gtrsim H_s$  петли гистерезиса становятся асимметричными по оси  $M$  и уменьшаются по высоте. Это означает, что за период изменения поля от  $+H_0$  до  $-H_0$  полного перемагничивания образца от  $+M_s$  до  $-M_s$  не происходит. Петли гистерезиса с увеличением частоты сначала приобретают треугольную форму (рис. 2, а), а затем схлопываются до горизонтальной линии. Изменение  $M$  за период изменения поля в этом случае равно нулю, образец остается намагниченным до насыщения. Это состояние мы назвали динамической однодоменностью [3]. Так как динамические кривые намагничивания представляют собой совокупность вершущек динамических ПГ при монотонном увеличении  $H_0$ , то провалу  $\bar{M}_f$  на кривых  $\Delta M(H_0)$  на рис. 1 соответствуют "треугольные" ПГ (рис. 2, а), а нулевому значению  $\Delta M$  (например, на кривой 5) — динамическая однодоменность.

Неполное циклическое перемагничивание пленок подтверждается стробоскопическими наблюдениями ДДС. На рис. 2 представлены фотографии ДДС, соответствующей

различным моментам за период поля  $H_{\sim} = H_0 \sin 2\pi ft$  при  $H_0 = 117 \text{ Э}$  и  $f = 2 \text{ кГц}$  для образца с  $Q = 96$ . Видны "светлая" и "черная" магнитные фазы с намагниченностью соответственно по полю и против поля. Область между этими фазами представляет собой гребенчатую структуру, которая описана в [4]. С увеличением положительного поля обратная (черная) фаза убывает (рис. 2, *b* и соответствующие точки на схеме). С уменьшением положительного поля возникновение и рост этой фазы задерживаются настолько, что к моменту прохождения поля через нуль (рис. 2, *d* и точка *d* на схеме) обратная (черная) фаза имеет очень малый размер (объем). Увеличение ее происходит уже в отрицательном полупериоде поля (рис. 2, *e* и точка *e* на схеме). Только в конце периода объемы магнитных фаз по полю и против поля становятся приблизительно равными (как на рис. 2, *b*). Описанный процесс изменения ДДС соответствует ПГ, приведенной на рис. 2, *a*.

Таким образом, динамическая однодоменность, аномальные кривые динамического намагничивания и асимметричные ("треугольные") петли гистерезиса пленок обусловлены задержкой образования и роста обратной магнитной фазы. В пленках с малым фактором качества эти процессы не играют существенной роли.

Авторы благодарят В.П.Клиев, В.И.Чани за предоставленные для исследования пленки ферритов-гранатов.

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант № 93-02-16340).

### Список литературы

- [1] Кандаурова Г.С., Осадченко В.Х. // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 20. В. 21. С. 24-28.
- [2] Дикштейн И.Е. и др. // ЖЭТФ. 1990. Т. 97. В. 4. С. 1218-1229.
- [3] Кандаурова Г.С., Русинов А.А. // ДАН. 1995. Т. 340. № 5. С. 610-613.
- [4] Kandaurova G.S., Sviderskiy A.E. // Physica B. 1992. V. 176. P. 213-216.

Уральский государственный университет  
Екатеринбург

Поступило в Редакцию  
12 июля 1995 г.