

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 539.216.22:538

А. М. БУЗЬКО, В. В. ПОТЕМКИН

О СПЕКТРАХ ФЛУКТУАЦИЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ ПРИ ВЫСОКОЧАСТОТНОМ ЦИКЛИЧЕСКОМ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИИ ТОНКИХ МАГНИТНЫХ ПЛЕНОК

Тонкие ферромагнитные пленки используются в качестве нелинейного элемента в различных радиотехнических устройствах. Изучение шумовых свойств этих пленок при циклическом перемагничивании весьма необходимо. Спектр флуктуаций намагниченности в условиях квазистатического перемагничивания исследовался в [1, 2]. В настоящей работе экспериментально исследуются спектры флуктуаций намагниченности при высокочастотном циклическом перемагничивании пермалловых пленок 20% Fe — 80% Ni, толщиной (1000÷2000) Å, диаметром 1 см, полученных напылением в вакууме на подогретую стеклянную подложку в присутствии постоянного поля смещения.

В наших экспериментах измерялась спектральная плотность шумовой э.д.с. индукции в съемной обмотке из нескольких витков селективным вольтметром по методу сравнения с напряжением эталонного генератора шума Г2-1. Наводимая перемагничивающим полем синусоидальная э. д. с. компенсировалась с помощью дополнительного витка. При обработке результатов измерений вводилась поправка, учитывающая подъем спектральной плотности шума из-за паразитного резонанса в съемной обмотке. Частота этого резонанса была не ниже 30 мгц. Поскольку э.д.с. индукции вызвана изменением намагниченности образца M и связана с ней известным преобразованием, измеренная спектральная плотность шумовой э.д.с. индукции $g(f)$ пересчитывалась в спектральную плотность относительных флуктуаций намагниченности $S_M(f)/M_s^2$ по формуле

$$\frac{S_M(f)}{M_s^2} = \frac{g(f)}{(2\pi f w k a \mu_0 M_s)^2},$$

где M_s — намагниченность насыщения, f — частота измерения, w — число витков съемной обмотки, k — коэффициент охвата пленки, a — площадь сечения пленки в плоскости съемного витка, μ_0 — магнитная постоянная.

Результаты измерений показывают, что спектральная плотность флуктуаций намагниченности существенным образом зависит от условий перемагничивания и наблюдения. На рис. 1 представлены спектральные плотности флуктуаций намагниченности, измеренные вдоль оси легкого намагничивания для различных амплитуд перемагничивающего поля H_0 , направленного вдоль оси трудного намагничивания. В слабых полях (кривые 1, 2) спектр магнитных шумов является узкополосным спектром, спадающим пропорционально $1/f^2$ и повторяющимся с меньшими уровнями на частотах гармоник перемагничивания. Судя по уровням кривых между гармониками, его спад происходит еще быстрее на частотах, больших частоты накачки f_0 . Верхняя граница спектра находится в области нескольких сотен герц, и по мере увеличения амплитуды перемагничивающего поля она перемещается в сторону высоких частот. Для спектра, характеризуемого кривой 3, она близка 150 Кгц. При полях возбуждения, близких полю анизотропии пленки H_k (кривая 4), она достигает частоты перемагничивания. В этом слу-

чае спектральная плотность магнитных флуктуаций изменяется по закону $1/f$, характерному для параметрических шумов многих радиофизических приборов. В больших полях (кривые 5, 6) этот закон сохраняется. Изменяется лишь общий уровень спектра и его ширина.

Причиной «медленных» флуктуаций намагниченности являются скачки доменных границ, которые можно проконтролировать на экране осциллографа после детектирования гармоник сигнала с пленки. Импульсы наведенной э.д.с. имеют прямоугольную форму, и их длительность намного превышает период перемагничивания.

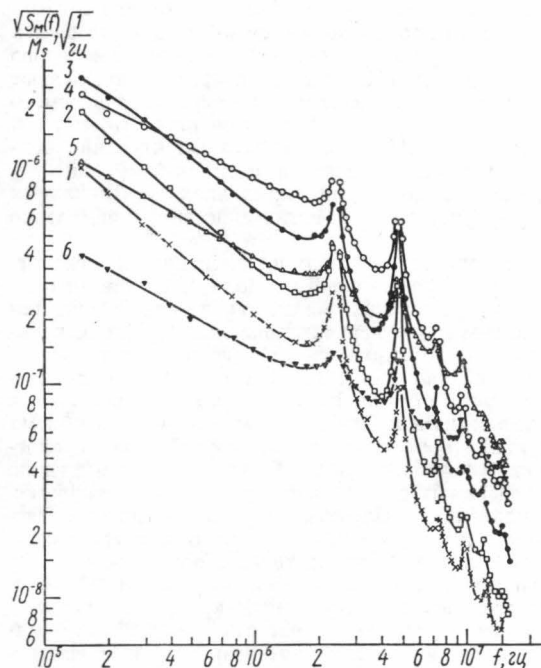


Рис. 1. Зависимость спектральной плотности флуктуаций намагниченности от частоты наблюдения для различных полей накачки H_0 . Толщина пленки 2000 Å, угловая дисперсия 4° , $H_k = 4 \text{ а/см}$: 1 — $H_0 = 2$; 2 — $H_0 = 2,3$; 3 — $H_0 = 2,5$; 4 — $H_0 = 3,2$; 5 — $H_0 = 5,6$; 6 — $H_0 = 11,4 \text{ а/см}$

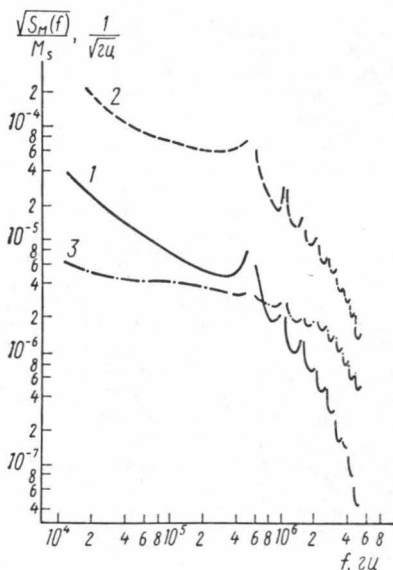


Рис. 2. Зависимость спектральной плотности флуктуаций намагниченности от частоты наблюдения для различных полей накачки H_0 . Толщина пленки 1100 Å, угловая дисперсия 3° , $H_k = 3,8 \text{ а/см}$: 1 — $H_0 = 4$; 2 — $H_0 = 5,2$; 3 — $H_0 = 11 \text{ а/см}$

Механизм образования длительных скачков Баркгаузена мы объясняем нерегулярными процессами в перемагничиваемой пленке. Как известно [3, 4], при перемагничивании пленки образуются полосовые домены, векторы намагниченности которых вращаются в разные стороны. Характерным является наличие области необратимых перебросов при прохождении векторами намагниченности среднего положения. Эта область существенно больше для перемагничивания по оси легкого, чем по оси трудного намагничивания. Рассмотрим нерегулярные процессы в предварительно размагниченной в ослабевающем поле накачки пленке, т. е. когда полосовая доменная структура уже образована. При увеличении поля подмагничивания по оси трудного намагничивания коэрцитивная сила пленки существенно уменьшается, и отдельные локальные области самопроизвольно перемагничиваются по оси легкого намагничивания необратимыми скачками доменных границ вблизи их среднего положения. Эти скачки могут возбуждаться за счет энергии выбросов термических флуктуаций [4]. В слабых полях перемагничивания необратимые переходы происходят редко, поэтому ширина спектра флуктуаций намагниченности мала (кривые 1, 2, 3). Более быстрый спад на частотах, превышающих f_0 , можно объяснить конечной скоростью скачков границ, т. е. влиянием фронта импульсов.

По мере увеличения амплитуды перемагничивающего поля H_0 вероятность переходов растет, а следовательно, растет и их число в единицу времени. Это приводит к расширению спектра флуктуаций намагниченности образца. При полях, близких к полю анизотропии пленки H_k , такие переходы практически совершаются в каждом цикле перемагничивания. В сильных полях дальнейший рост ширины спектра и снижение его общего уровня объясняются сокращением интервала времени перемагничивания, т. е. уменьшением длительности случайного возмущения, связанного с неидентичностью разных циклов перемагничивания. Поскольку намагниченность пленки периодически изменяется, рассматриваемые переходы приводят к появлению хаотической модуляции гармоник частоты перемагничивания. При измерении по оси трудного намагничивания в полях, меньших H_k , получается узкополосный низкочастотный спектр флуктуаций намагниченности, спадающий пропорционально $1/f^2$ и повторяющийся в основном на нечетных гармониках f_0 . Он обусловлен «медленными» по сравнению с периодом перемагничивания флуктуациями числа областей, которые преодолевают участок необратимого перемагничивания, т. е. флуктуациями перемагничиваемого объема пленки. При поле накачки, равном H_k , т. е. когда доменная структура в основном формируется в каждом цикле перемагничивания, спектр флуктуаций представляет собой комбинацию «дробового» компонента спектра с верхней границей f_0 и «медленного» компонента типа $1/f$, повторяющегося на гармониках f_0 . В сильных полях перемагничивания «медленные» флуктуации намагниченности существенно уменьшаются.

Спектры магнитных флуктуаций при перемагничивании и измерении по оси легкого намагничивания для разных амплитуд приложенного поля представлены на рис. 2. При небольших амплитудах накачки флуктуации малы, так как изменение намагниченности происходит обратимо. С ростом поля накачки появляются редкие, крупные скачки намагниченности, которые можно обнаружить по весьма неустойчивым показаниям контролирующего уровня первой гармоники вольтметра. Эти скачки свидетельствуют о преодолении локальными участками области необратимых перебросов векторов намагниченности, что приводит к изменению перемагничиваемого объема пленки. Максимальный уровень флуктуаций (кривая 2) соответствует полю перемагничивания, близкому к критическим полям переброса большей части объема пленки. В больших полях (кривая 3) число неперемагничивающихся участков сокращается, что приводит к уменьшению уровней «медленных» флуктуаций намагниченности. Расширение спектра и уменьшение его «дробового» компонента связано с сокращением интервала времени перемагничивания. В отличие от квазистатического случая [1, 2], спектр флуктуаций намагниченности при полях накачки, близких динамической коэрцитивной силе H_c , содержит ярко выраженный низкочастотный компонент, спадающий пропорционально $1/f^2$, начиная с некоторой граничной частоты наблюдения, зависящей от величины H_0 . При больших амплитудах накачки интенсивность низкочастотных флуктуаций уменьшается, а спектральная плотность растет с понижением частоты наблюдения. Общий уровень флуктуаций вдоль оси трудного намагничивания на несколько порядков меньше, чем по оси легкого намагничивания. Для спектров, измеренных в этом направлении, характерна соизмеримость уровня «медленных» флуктуаций намагниченности с уровнями флуктуаций, огибающих первой гармоники в малых и второй гармоники в больших полях. Эти флуктуации мы связываем с возбуждаемыми термически необратимыми скачками границ полосовых доменов вблизи их среднего положения.

Результаты данной работы соответствуют результатам наблюдения доменной картины в сильных и слабых полях перемагничивания, так как при этих условиях динамические доменные структуры повторяются с высокой степенью точности [5, 6, 7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Колачевский Н. Н., Стрыгин Л. В. «Изв. вузов», радиофизика, 5, 718, 1971.
2. Колачевский Н. Н. Магнитные шумы. М., 1971.
3. West F. G. J. Appl. Phys., 32, 290 S, 1961.
4. Андре. Квазистатическое перемагничивание. В сб.: «Тонкие ферромагнитные пленки», под ред. Р. В. Телеснина. М., 1964.
5. Дурасова Ю. А., Колотов И. С., Колотов О. С. и др. Труды 7-го Международного конгресса по электронной микроскопии. Гренобль, 1970, стр. 619.
6. Durasova U. A., Kolotov I. S. et al. Czechoslovak Journ. of Physics, B21, 451, 1971.
7. Петров В. И., Спивак Г. В., Павлюченко О. П. «Успехи физических наук», 106, 229, 1972.