

УДК 539.216.2:538.2

БЕЗГИСТЕРЕЗИСНОЕ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЕ ОДНООСНЫХ МАГНИТНЫХ ПЛЕНОК ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ПОЛЯ

В.А. Костяков, Н.М. Саланский

В работе [1] было показано, что при воздействии вдоль оси трудного намагничивания (ОТН) пленки ВЧ-поля, амплитуда $H_{\sim}$ которого выше некоторого критического значения H_c , квазистатическое перемангничивание в направлении оси легкого намагничивания (ОЛН) происходит без гистерезиса. При этом наблюдается полосовая доменная структура, перестраиваемая при изменении перемангничивающего поля. В данной работе предлагается модель указанного процесса, основанная на учете внутренних полей рассеяния пленки.

В соответствии с результатами [1] будем считать, что выполнены следующие условия:

1) При воздействии вдоль ОТН ВЧ-поля $H_{\sim} < H_c < H_k$ пленка стабильно разбита на домены с неподвижными границами. Магнитные моменты внутри доменов совершают колебания в некоторых угловых секторах, биссектрисы которых совпадают с ОЛН (рис.1а). В первом приближении можно заменить колеблющиеся векторы M_1 и M_2 неподвижными, расположенными вдоль ОЛН (рис.1,б,в).

2) Эффективная коэрцитивная сила пленки при данном значении $H_{\sim}$ равна нулю, т.е. границы могут смещаться в очень ма-

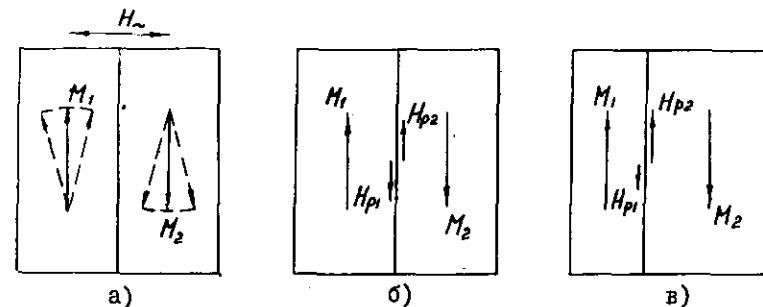


Рис.1.

лом постоянном поле H_0 , параллельном легкому направлению.

Рассмотрим сначала пленку, разделенную на два домена. Размагничивающие поля H_{p1} и H_{p2} от смежных доменов в районе границы направлены в противоположные стороны и при равной ширине доменов имеют одинаковую величину (рис. 1,б). Поэтому в данном случае внутренние поля в районе границы взаимно скомпенсированы, и при отсутствии внешнего поля граница находится в состоянии покоя.

Если в результате какой-либо флуктуации один из доменов становится шире, то в районе границы возникает некоторое результирующее поле (рис.1,в). В силу второго условия граница под действием этого небольшого поля возвращается в исходное положение. Таким образом, при отсутствии внешних постоянных полей вдоль ОЛН размагниченное состояние пленки является устойчивым и поддерживается длительное время, что и наблюдается экспериментально [1].

Приложение внешнего постоянного поля изменяет условия компенсации полей в районе границы таким образом, что выгодно ориентированные относительно поля домены растут за счет невыгодно ориентированных. Это также соответствует экспериментальным наблюдениям [1].

Проведем приближенный расчет этой модели для случая, когда число доменов больше двух. Рассмотрим квадратную пленку размерами $2b \times 2b$, разделенную на полосовые домены чередующейся ширины a' и a'' , направленные вдоль ОЛН (рис.2). Период доменной структуры обозначим через $L = a' + a''$. Будем считать, что пленка содержит целое число пар $n = 2b/L$ доменов, внутри кото-

принимает вид:

$$H_p = \frac{\delta M(\alpha' - \alpha'')}{\pi b^2} F(m), \quad (7)$$

$$F(m) = \sum_{k=0}^{m-1} \frac{1}{\sqrt{1 + (\frac{k}{m})^2}}$$

Используя (4), формулу (7) можно записать в виде:

$$H_p = H_{p0} \sqrt{2} \frac{\alpha' - \alpha''}{b} F(m). \quad (8)$$

Нетрудно показать, что

$$\frac{1}{\sqrt{2}} m \leq F(m) \leq m. \quad (9)$$

Учитывая (9), получим из (8):

$$H_p \approx H_{p0} \frac{\alpha' - \alpha''}{L}. \quad (10)$$

Поле рассеяния в районе границы максимально при $\alpha'' = 0$:

$$H_{pmax} = \lim_{\alpha'' \rightarrow 0} H_p = H_{p0}$$

и, естественно, совпадает с размагничивающим полем однодоменной пленки.

Таким образом, если пленка разделена на 180° - градусные полосовые домены, то на доменную стенку, расположенную в центральной области пленки, действует внутреннее поле, пропорциональное разности площадей доменов и величине размагничивающего поля однодоменной пленки. При наличии внешнего поля H_0 равновесное значение $\alpha' - \alpha''$ определяется условием отсутствия поля в районе границы:

$$H_p = -H_0,$$

из которого получаем:

$$\frac{\alpha'' - \alpha'}{L} = \frac{H_0}{H_{p0}}. \quad (II)$$

Из (II) следует, что пленка становится однодоменной при $|H_0| = H_{p0}$, так как при этом либо $\alpha' = 0$, либо $\alpha'' = 0$.

Амплитуду выходного сигнала E_{2m} можно найти по формуле (2) работы [1]. Для пленки, находящейся в поле $|H_0| < H_{p0}$ и периодически разделенной на домены шириной α' и α'' , полу-

чим:

$$E_{2m} = B \left\{ \frac{|\alpha'' - \alpha'|}{L} \frac{1}{(1 + |h_0|)^2} - 4 \frac{\alpha_i}{L} \frac{|h_0|}{(1 - h_0^2)^2} \right\}, \quad (12)$$

где $B = \mu_0 \omega M h_0^2 \delta b$; $\alpha_i = \alpha'$ при $H_0 > 0$, и $\alpha_i = \alpha''$ при $H_0 < 0$. Используя (II), выражение (12) нетрудно привести к виду:

$$E_{2m} = B \left\{ \frac{|h_0|}{h_{p0}} \frac{1}{(1 + |h_0|)^2} - 2 \frac{h_{p0} |h_0| - h_0^2}{h_{p0}} \frac{1}{(1 - h_0^2)^2} \right\} \quad (13)$$

при $|H_0| < H_{p0}$,

где $h_{p0} = H_{p0}/H_k$. Если $|H_0| \geq H_{p0}$, то пленка однодоменна и формула (13) принимает вид:

$$E_{2m} = B \frac{1}{(1 + |h_0|)^2} \quad \text{при} \quad |H_0| \geq H_{p0}. \quad (14)$$

На рис. 4 приведен график $E_{2m}(h_0) = \frac{E_{2m}(h_0)}{B}$, построенный по формулам (13) и (14) для $h_{p0} = 0,1$. Как видно, его ход

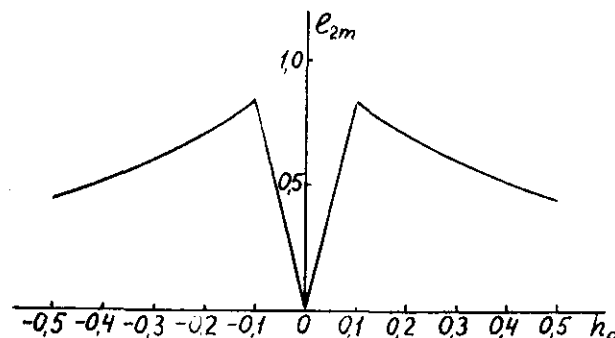


Рис. 4.

вполне соответствует ходу экспериментальных кривых рис. 4, г, д, 5, д, е работы [1]. При поле H_0 , равном максимальному значению внутреннего размагничивающего поля H_{p0} , теоретическая кривая рис. 4 претерпевает излом. Это соответствует тому факту, что при полной компенсации размагничивающего поля пленка переходит в однодоменное состояние.

Интересно провести сравнение величины внутреннего размаг-

ничающего поля H_{po} со значениями H_H , соответствующими точке перегиба экспериментальных кривых $E_{2m}(H_o)$, полученных в работе [1], где эксперимент проводился с круглыми пленками. Значение H_{po} для этих пленок нетрудно получить интегрированием выражения (2), в результате которого получается:

$$H_{po} = \frac{\delta M}{2D}, \quad (15)$$

где D — диаметр пленки.

В табл. I приведены значения H_{po} и H_H для четырех пленок различной толщины. Точка перегиба экспериментальных кривых $E_{2m}(H_o)$ ясно не выражена, поэтому H_H определялась как ширина безгистерезисной кривой на уровне $0,5 E_{2mmax}$ (при $H_o \cong H_{po}$). Значение H_{po} рассчитывалось по формуле (15). Из табл. I видно, что между расчетными (H_{po}) и экспериментальными (H_H) величинами нет абсолютного совпадения. Это связано с тем, что принятое в расчете приближение не учитывает некоторые факторы, в частности, колебания магнитных моментов внутри доменов и некоторые малые смещения границ. Однако значения H_H для различных пленок ведут себя так, как предсказывает модель полей рассеяния. При одинаковом диаметре D величина H_H больше для тех пленок, которые имеют большую толщину.

Т а б л и ц а 1

№ пленки	H_c , а/см	H_K , а/см	D , мм	$\delta, \text{Å}$	H_{po} , а/см	H_H , а/см
1	0,42	2,0	15	3000	0,1	0,167
2	0,8	2,3	15	2700	0,09	0,15
3	0,9	2,3	15	3000	0,1	0,15
4	1,8	4,4	15	920	0,031	0,08

Для выяснения зависимости H_H от диаметра пленки был проведен следующий эксперимент. Пленки № 1 и № 2 диаметром 15 мм стравливались с краев до диаметра сначала 10 мм, а затем 5 мм. При каждом диаметре записывались кривые $E_{2m}(H_o)$. Результаты измерения H_H по этим кривым приведены в табл. 2. Они показывают, что с уменьшением диаметра пленки значение H_H возрастает примерно обратно пропорционально диаметру. Уменьшение диа-

метра пленки № 1 в 1,5 и 3 раза приводило к увеличению H_H в 1,4 и в 2,6 раза, соответственно. Для пленки № 2 H_H выросло в 1,45 раза при уменьшении ее диаметра в 1,5 раза и в 2,2 раза при уменьшении диаметра в 3 раза. То есть при уменьшении диаметра пленки наблюдался рост поля насыщения в примерном соответствии с формулой (15).

Т а б л и ц а 2

D , мм	H_{po} , а/см	H_H , а/см	H_{po} , а/см	H_H , а/см
15	0,1	0,167	0,09	0,15
10	0,15	0,233	0,135	0,215
5	0,3	0,435	0,27	0,33
№ пленки	I		2	

Таким образом, учет внутренних полей рассеяния пленки при описании безгистерезисного перемангничивания позволяет получить хорошее соответствие расчетов с экспериментальными данными.

Авторы выражают благодарность В.В. Сохдатенковой за проведение химического травления пленок.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. САЛАНСКИЙ Н.М., КОСТЯКОВ В.А. Влияние высокочастотного поля на квазистатическое перемангничивание одноосных магнитных пленок. — Данный сборник, стр. 63-79.

2. ПОЛИВАНОВ К.М. Ферромагнетики. "Госэнергоиздат", М. — Л., 1957.

Поступила в редакцию
3. III. 1969