пьезоэлектрическими при комнатной температуре, что усложняет интерпретацию результатов исследования скорости и поглощения УЗВ в этом материале.

Список литературы

[1] Kuhs W. P., Nitsche R., Scheunemann K. // Mat. Res. Bul. 1976. V. 11. N 9. P. 1115—1124.
[2] Fiecher S., Eckstein J., Nitsche R. J. // Cryst. Growth. 1983. V. 61. N 2. P. 275—283.
[3] Студеняк И. П., Ковач Д. Ш., Панько В. В., Ковач Е. Т., Борец А. Н. // ФТТ. 1984. Т. 26. № 9. С. 2598—2602.
[4] Студеняк И. П., Ковач Д. Ш., Панько В. В., Ковач Е. Т., Перечинский С. И. // Материалы IV Всес. школы-семинара «Сегнетоэластики». 1988. С. 137.
[5] Graham L. J., Chang R. J. // Appl. Phys. 1975. V. 46. N 6. P. 2433—2438.

Вильнюсский государственный университет
им. В. Капсукаса
Вильнюс
Ужгородский государственный университет
Ужгород

Поступило в Редакцию
14 декабря 1988 г.

УДК 538.291

Физика твердого тела, том 31, в. 7, 1989
Solid State Physics, vol. 31, № 7, 1989

ФОРМА РАВНОМЕРНО ДВИЖУЩЕЙСЯ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЫ В ПРОВОДЯЩЕЙ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ПЛЕНКЕ

С. И. Денисов

Отличие формы движущейся доменной границы (ДГ) от плоской в пленке проводящего ферромагнетика связано с неоднородностью магнитного поля вихревых токов [1]. В настоящей работе аналитически решена задача о влиянии на форму ДГ вихревых токов, индуцируемых равномерно движущейся ДГ. Предполагается, что 1) ДГ движется со скоростью v вдоль оси x системы координат xyz, плоскость xy которой совпадает со средней плоскостью пленки; 2) распределение намагниченности $\mathbf{M}$ в области пленки однородно вдоль оси y: $\mathbf{M}=\mathbf{M}\ (\xi=x-vt,\ z)$; 3) $\mathbf{M}\ (\pm\infty,\ z)=\mp M\mathbf{e}_y$, M — намагниченность насыщения, $\mathbf{e}_y$ — единичный вектор вдоль оси y. Форма ДГ определяется как кривая $f\ (z)$, на которой $M_y(f\ (z),\ z)=0$. При этом вследствие симметрии задачи $f\ (z)=f\ (-z)$ и в сопутствующей системе координат на $f\ (z)$ можно наложить граничные условия $f\ (\pm h/2)=0$ (h — толщина пленки). Кроме того, в непосредственной окрестности $f\ (z)$ распределение намагниченности будем описывать выражениями $M_x=M\ \mathrm{ch}^{-1}\ (n/\Delta)\sin\varphi\ (z)$, $M_y=-M\ \mathrm{th}\ (n/\Delta)$, $M_z=M\ \mathrm{ch}^{-1}\times$ $\times(n/\Delta)\cos\varphi\ (z)$, где n — координата, отсчитываемая по нормали от $f\ (z)$; Δ — параметр ширины ДГ; $\varphi\ (z)$ — угол между вектором $\mathbf{M}\ (f\ (z),\ z)$ и осью z. Тогда уравнение Ландау—Лифшица, записываемое при равномерном движении ДГ в виде

$$[\mathbf{M},\ \tilde{\mathbf{H}}=\mathbf{H}_0+\mathbf{H}_a+H\mathbf{e}_y+\mathbf{H}_b+(\alpha v/\gamma M)\ \partial\mathbf{M}/\partial\xi+(v/\gamma M^2)\ \mathbf{M}\times\partial\mathbf{M}/\partial\xi]=0 \qquad (1)$$

($\mathbf{H}_0$ — обменное поле, $\mathbf{H}_a$ — поле анизотропии, $H\mathbf{e}_y$ — внешнее постоянное магнитное поле, $\mathbf{H}_b$ — поле вихревых токов, α — параметр затухания Гильберта, γ — гиромагнитное отношение), на кривой $f\ (z)$ сводится к системе двух уравнений для $f\ (z)$ и $\varphi\ (z)$

$$\tilde{H}_y|_{\xi=f(z)}=0, \qquad (\tilde{H}_x\cos\varphi\ (z)-\tilde{H}_z\sin\varphi\ (z))|_{\xi=f(z)}=0. \qquad (2)$$

В случае $\varepsilon=4\pi\sigma vh/c^2\ll 1$ (σ — проводимость материала, c — скорость света), соответствующем малой неоднородности магнитного поля вихревых токов, система уравнений (2) в линейном по $f(z)$ и $\varphi(z)$ приближении распадается на два независимых уравнения. При этом уравнение для формы ДГ $\tilde{H}_y/_{\xi=f(z)}=0$ принимает вид

$$\Delta\beta M f''(z) + H + H_b(z) - av/\gamma\Delta = 0 \quad (|z| \leqslant h/2). \tag{3}$$

Здесь β — безразмерная константа одноосной анизотропии; $H_b(z)$ — магнитное поле вихревых токов, индуцируемое движущейся плоской ДГ в месте ее расположения (учет в $H_b(z)$ прогиба ДГ привел бы к превышению точности линейного приближения). Поле $H_b(z)$ находится из уравнений Максвелла в квазистационарном приближении, решение которых в случае геометрической ДГ приводит при $\varepsilon \ll 1$ к выражению

$$H_b(z) = -4\varepsilon M \int_0^\infty \left[1 - \frac{\operatorname{ch}(2zy/h)}{\operatorname{ch} y}\right] \frac{dy}{y^2}. \tag{4}$$

Скорость же движения ДГ v связана с внешним полем H соотношением

$$H - av/\gamma\Delta - 28\xi(3)\,\varepsilon M/\pi^2 = 0 \tag{5}$$

($\xi(3)$ — дзета-функция Римана), следующим из равенства диссипируемой энергии и работы внешнего поля по перемещению ДГ. Вводя обозначения $\varkappa=2z/h$, $F(\varkappa)=7\xi(3)/\pi^2+H_b(z)/4\varepsilon M$, $\tilde{f}(\varkappa)=(\Delta\beta/h^2\varepsilon)f(z)$ и используя (5), уравнение (3) и условия, которым должно удовлетворять его решение, записываются в виде

$$\frac{d^2\tilde{f}(\varkappa)}{d\varkappa^2} + F(\varkappa) = 0, \quad \tilde{f}(\varkappa) = \tilde{f}(-\varkappa), \quad \tilde{f}(1) = 0, \quad \tilde{f}'(1) = 0. \tag{6}$$

Поскольку $F(\varkappa)$ от параметров задачи не зависит, то не зависит от них и решение уравнения (6). Это означает, что влияние параметров на форму ДГ определяется лишь множителем при $\tilde{f}(\varkappa)$: $f(z)=(h^2\varepsilon/\Delta\beta)\tilde{f}(\varkappa)$. Функция же $\tilde{f}(\varkappa)$, как показывает анализ уравнения (6), обладает следующими свойствами: $\tilde{f}(\varkappa) < 0$ при $|\varkappa| < 1$, $\tilde{f}(\varkappa)=-F(1)(1-|\varkappa|)^2/2$ при $|\varkappa| \to 1$, а $|\tilde{f}(0)| \simeq 10^{-1}$ и, следовательно, использование линейного приближения оправдано при $|f(0)|/h \simeq h\varepsilon/(10\Delta\beta) \ll 1$.

Таким образом, при равномерном движении ДГ прогибается в сторону, противоположную направлению движения (этот факт хорошо известен [2, 3]), вблизи поверхности пленки форма ДГ квадратичным образом зависит от $1-|\varkappa|$, а максимальный прогиб ДГ $|f(0)| \simeq h^2\varepsilon/(10\Delta\beta)$.

Автор выражает благодарность Ю. И. Горобцу и Б. Н. Филиппову за обсуждение результатов работы.

Список литературы

[1] Филиппов Б. Н., Танкеев А. П. Динамические эффекты в ферромагнетиках с доменной структурой. М.: Наука, 1987. 216 с.
[2] Bishop J. E. L. // Phys. St. Sol. (a). 1971. V. 7. N 1. P. 117—124.
[3] О'Делл Т. Ферромагнитодинамика. Динамика ЦМД, доменов и доменных стенок. М.: Мир, 1983. 256 с.

Донецкий государственный университет
Донецк

Поступило в Редакцию
19 декабря 1988 г.