

МНОГОСЛОЙНЫЕ ФЕРРОМАГНИТНЫЕ СТРУКТУРЫ С ПЕРИОДИЧЕСКИМИ НЕОДНОРОДНОСТЯМИ АНИЗОТРОПИИ

П.П.Дьячук, Е.В.Лариков

Красноярский государственный педагогический университет,
660049, Красноярск, Россия
(Поступило в Редакцию 27 апреля 1995 г.)

В последнее время значительный интерес как у теоретиков [1,2], так и у экспериментаторов [3,4] вызывают многослойные магнитные структуры. В настоящей работе в рамках квазиклассического приближения проведено исследование многослойных структур, состоящих из чередующихся одноосных ферромагнитных слоев с различным типом анизотропии. Получены выражения эффективного потенциала анизотропии для периодической разориентации локальных осей анизотропии (ЛОА) и конкурирующей анизотропии. Показано, что неоднородность анизотропии приводит к появлению эффективной второй константы анизотропии. Обнаружены область сосуществования фаз легкая ось (ЛО) + легкая плоскость (ЛП) и область угловой фазы. Выводы теории хорошо согласуются с результатами проведенного машинного эксперимента.

1. Рассмотрим многослойную структуру, состоящую из ферромагнитных слоев с анизотропией типа ЛО. ЛОА в каждом слое лежит в плоскости слоя (YOZ) и направлена под углом α к оси OZ. При переходе от слоя к слою угол α поочередно принимает значения $+\alpha_0$ и $-\alpha_0$ (α_0 может принимать значения от 0 до $\pi/2$). Толщина слоев одинакова и равна d ($d \ll \delta = \sqrt{A/K_1}$, где A и K_1 — константы обмена и анизотропии соответственно). Намагниченность лежит в плоскости слоя и ее направление задается углом θ относительно оси OZ.

Уравнение равновесия намагниченности запишем в виде

$$A \frac{d^2 \theta}{dx^2} - K_1 \sin 2(\theta - L) = 0. \quad (1)$$

Нормируя x ($x = x/d$) и перепишем уравнение (1) в виде

$$\frac{d^2 \theta}{dx^2} - b \cos 2\alpha_0 \sin 2\theta + b \sin 2\alpha \cos 2\theta = 0, \quad (2)$$

где $b = d^2/\delta^2 \ll 1$. Сделаем замену переменных [5] в уравнении (2)

$$\theta = \varphi + b \sin 2\alpha \cos 2\varphi,$$

$$\frac{d\theta}{dx} = b\Omega + 2b \cos 2\alpha \cos 2\varphi \frac{d\alpha}{dx}. \quad (3)$$

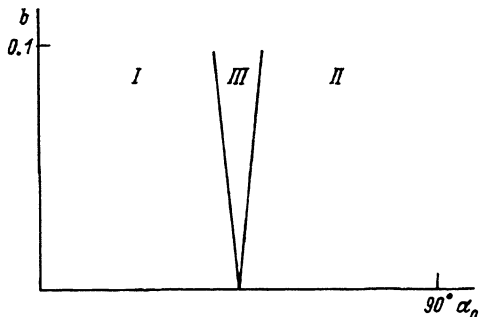


Рис. 1. Фазовая диаграмма многослойной ферромагнитной структуры.

Области I, II, III соответствуют различным типам анизотропии: I — ЛО, II — ЛП, III — (ЛО + ЛП).

После подстановки (3) в уравнение (2), произведем разложение по малому параметру b , с точностью до членов b^2 . Усредняя полученное выражение по быстроизменяющейся переменной α , получим уравнение равновесия, которое запишем в виде

$$A \frac{d^2 \varphi}{dx^2} + K_1 \cos 2\alpha_0 \sin 2\varphi - K_1 b \sin^2 2\alpha_0 \sin 4\varphi = 0, \quad (4)$$

где сделан обратный переход к ненормированной координате x . Уравнению равновесия (4) соответствует эффективный потенциал анизотропии

$$U_{eff} = K_{1eff} \sin^2 \varphi + K_{2eff} \sin^4 \varphi. \quad (5)$$

Здесь

$$K_{1eff} = K_1 \cos 2\alpha_0 + 2bK_1 \sin^2 2\alpha_0, \quad (6)$$

$$K_{2eff} = -2bK_1 \sin^2 2\alpha_0, \quad (7)$$

соответственно 1-я и 2-я эффективные константы анизотропии.

Из условия минимума эффективного потенциала получим, что в пространстве управляющих параметров b и α_0 существуют три области с анизотропией различного типа (рис. 1).

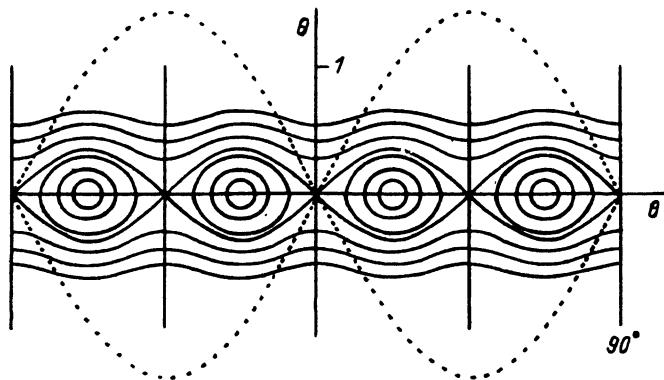


Рис. 2. Фазовый портрет намагниченности в области сосуществования фаз ЛО + ЛП ($b = 0.1$; $\alpha_0 = 45^\circ$; θ увеличена в 10 раз).

Пунктиром показана сепаратриса, соответствующая фазовому портрету в отсутствие разориентации ЛОА ($\alpha_0 = 0$).

Машинным моделированием были получены решения уравнения (1) и построены их фазовые портреты. На рис. 2. приведен фазовый портрет намагниченности для $\alpha_0 = \pi/4$, $b = 0.1$. Седловые точки при $\theta = 0$ и $\theta = \pm\pi/2$ соответствуют направлениям легких осей анизотропии и отражают факт появления области сосуществования фаз ЛО + ЛП.

Характерная длина $\delta_{eff} = \sqrt{A/K_{1eff}}$ при $\alpha_0 = 45^\circ$ равна $\delta_{eff} = \delta^2/d$, где $\delta = \sqrt{A/K_1}$.

2. Пусть теперь направление ЛОА не изменяется и совпадает с направлением оси OZ . При переходе от слоя к слою регулярным образом изменяется константа анизотропии, попеременно то увеличиваясь, то уменьшаясь на величину ΔK от некоторого значения \bar{K} . Эффективный потенциал анизотропии в этом случае имеет вид, аналогичный (5). Эффективные константы анизотропии равны

$$K_{1eff} = \bar{K} - 2\frac{b}{\gamma^2}\bar{K}, \quad (8)$$

$$K_{2eff} = 2\frac{b}{\gamma^2}\bar{K}, \quad \text{где} \quad \gamma = \bar{K}/\Delta K.$$

Можно показать, что в области параметров γ и b появляется область с угловой фазой анизотропии.

Для этой ситуации машинным моделированием также были построены фазовые портреты намагниченности. Получено, что седловая точка при $\theta = 0$ разделяется на две, что и соответствует появлению угловой фазы.

Список литературы

- [1] Ерухимов М.Ш. ФТТ **36**, 1, 84 (1994).
- [2] Nörtemann F.C., Stamps R.L., Camley R.E., Hillebrands B., Günther odt G. Phys. Rev. **B47**, 6, 3225 (1993).
- [3] Zimmerman G.J. Appl. Phys. **73**, 12, 8436 (1993).
- [4] Motomura Y., Tatsumi., Urai H., Aoyam M.H. Digest of Intermag. '90. Brighton UK (1990). FC-10.
- [5] Боголюбов Н.Н., Митропольский Ю.А. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. М. (1974). 503 с.