

## КВАЗИСТАТИЧЕСКОЕ БЕЗДИССИПАТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ УЕДИНЕННОЙ ДОМЕННОЙ СТЕНКИ В ФЕРРИТ-ГРАНАТОВЫХ ПЛЕНКАХ

А.Н. Григоренко, С.А. Мишин, Е.Г. Рудашевский

*Экспериментально установлен факт подавления квазистатических диссипативных потерь в ферромагнетиках внешним неоднородным магнитным полем. Это открывает возможность управления коэрцитивностью ферромагнитных материалов.*

В реальных магнетиках условно можно ввести два механизма диссипации энергии при движении доменных стенок (ДС): первый — динамический, когда сила сопротивления и соответственно потери энергии на единице пути пропорциональны средней скорости движения ДС. Второй механизм связан с дефектами в материале. В этом случае даже при квазистатическом движении (когда скорость ДС стремится к нулю) потери энергии на единице пути постоянны и не зависят от скорости. При наличии дефектов движение ДС становится необратимым и принимает гистерезисный вид с ненулевым полем коэрцитивности. Литература по взаимодействию ДС с дефектами обширна; результаты, наиболее близкие к предлагаемой работе, описаны в [1 — 4]. Однако в большинстве работ не учитывалось влияние неоднородных полей, практически всегда присутствующих в магнетиках с доменной структурой. Проведенные нами эксперименты и последующая теоретическая интерпретация показали, что в неоднородном поле с достаточно сильным градиентом квазистатическое движение ДС происходит без диссипации, а поле коэрцитивности тождественно равно нулю.

Благодаря разработанной магнитооптической установке с квадрупольной магнитной системой удалось впервые исследовать влияние неоднородного магнитного поля, стабилизирующего ДС, в широком интервале величин градиента этого поля от  $10^4$  до  $2,3 \cdot 10^5$  Э/см с точностью регистрации однократных перемещений участка ДС длиной 10 мкм на расстояния до 10 А [5, 6]. Исследовались тонкие феррит-гранатовые пленки, являющиеся весьма совершенными ферромагнитными кристаллами с плотностью макродефектов  $\lesssim 10$  см<sup>-2</sup>. Данные в статье приведены для пленки состава  $(\text{LuBi})_3(\text{FeGa})_5\text{O}_{12}$  с характеристиками  $4\pi M = 80$  Гс,  $H_A = 1800$  Э, толщина  $h = 30$  мкм, период равновесной доменной структуры 50 мкм.

При малых градиентах неоднородного поля изолированная ДС, стабилизируемая этим полем, проявляет гистерезисное поведение и ее положение в образце не определяется однозначно величиной приложенного однородного поля. Это связано с существованием в феррит-гранатовых пленках магнитных микродефектов, распределенных в материале с огромной плотностью ( $> 10^{13}$  см<sup>-3</sup>) и приводящих к гистерезисным потерям энергии [7]. При увеличении градиента неоднородного поля область метастабильных положений ДС уменьшается, а при значении величины градиента, большей критического  $\beta_c = 2,2 \cdot 10^5$  Э/см, происходит исчезновение метастабильных положений ДС в образце, движение ДС становится обратимым и исчезает гистерезисная диссипация энергии при квазистатическом движении ДС. На рис. 1 изображена зависимость коэрцитивной силы изолированной ДС, измеряемой обычным методом экстраполяции линейного участка отклика на приложенное однородное поле, от величины градиента внешнего неоднородного магнитного поля.

Полученный результат можно интерпретировать в рамках простой одномерной модели. Положения равновесия в реальном кристалле определяются как взаимодействием ДС с различного рода дефектами материала, так и неоднородным полем, в котором находится ДС. Таким образом, положения равновесия ДС соответствуют минимумам энергии  $\mathcal{E}(x)$  ДС как функции положения ее в образце

$$\mathcal{E}(x) = U(x) + \beta M x^2 - 2M H x, \quad (1)$$

где  $U(x)$  — энергия взаимодействия ДС с дефектами,  $\beta$  — величина градиента неоднородного поля,  $H$  — внешнее однородное поле,  $x$  — координата ДС. При  $\beta \rightarrow 0$  требование минимальности  $\mathcal{E}(x)$  приводит к известному выражению для поля коэрцитивности  $8/H_c = (1/2M) (\partial U/\partial x)|_{\max}$ .

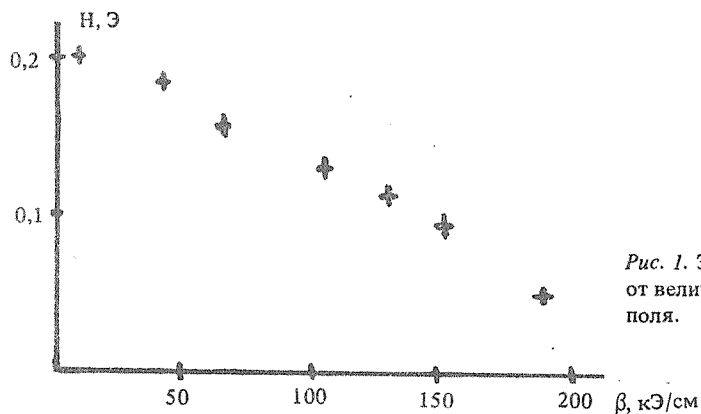


Рис. 1. Зависимость поля коэрцитивности доменной стенки от величины градиента внешнего неоднородного магнитного поля.

Анализ уравнения (1) при  $\beta \neq 0$  позволяет получить критическое значение величины градиента неоднородного поля  $\beta_c = (1/2M) (\partial^2 U/\partial x^2)|_{\max}$ . При  $\beta < \beta_c$  существует много метастабильных положений ДС, а движение ДС сопровождается скачками Баркгаузена и гистерезисными явлениями. При  $\beta > \beta_c$  положение ДС в образце становится однозначным, а квазистатическое движение ДС бездиссипативно.

Таким образом, величина неоднородного поля, стабилизирующего положение в образце, оказывает существенное влияние на квазистатическую диссипацию энергии при движении ДС и может использоваться для управления коэрцитивностью ферромагнетиков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Döring Zs. Naturforsch., 3a, 373 (1948).
2. Janak T. F. Phys. Rev. A, 134, 441 (1964).
3. Боровик А. Е., Кулешов В. С., Стржемечный М. А. ЖЭТФ, 68, 2236 (1975).
4. Дедух Л. М., Инденбом М. В., Никитенко В. Н. ЖЭТФ, 80, 380 (1981).
5. Григоренко А. Н. и др. ПТЭ, № 3, 175 (1987).
6. Григоренко А. Н., Мишин С. А., Рудашевский Е. Г. ПТЭ, № 1, 163 (1988).
7. Григоренко А. Н., Мишин С. А., Рудашевский Е. Г. ФТТ, 30, № 10 (1988).
8. Кондорский Е. И. ЖЭТФ, 10, 420 (1940).

Институт общей физики АН СССР

Поступила в редакцию 6 июля 1988 г.