

05;11;12

Влияние магнитной анизотропии на подвижность доменных границ в тонких магнитных пленках

© В.И. Береснев, Б.Н. Филиппов, Л.Г. Корзунин

Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург

Поступило в Редакцию 29 января 1997 г.

В окончательной редакции 28 октября 1997 г.

Рассмотрено влияние магнитной кристаллографической анизотропии на подвижность доменных границ в тонких магнитных пленках с осью легкого намагничивания, лежащей в плоскости пленки. Показано, что стабильной конфигурацией доменной границы является одновихревая блоховская доменная граница. Кроме этого существуют два метастабильных состояния доменной границы — неелевская доменная граница и доменная граница с двумя расположенными по нормали к плоскости пленки магнитными вихрями. Показано, что подвижности одновихревой, неелевской и доменной границы с двумя вихрями уменьшаются с ростом константы анизотропии и стремятся к одному значению.

Известно [1–3], что в тонких магнитных пленках с осью легкого намагничивания, параллельной поверхности пленки, могут существовать доменные границы с двумерным или одномерным распределением вектора намагниченности. Целью данного сообщения является исследование влияния объемной кристаллографической анизотропии на структуру и подвижность доменных границ в тонких магнитных пленках.

Рассмотрим тонкую магнитную пленку толщиной h и с осью легкого намагничивания, параллельной поверхности пластины. Ось z направим вдоль оси легкого намагничивания. Распределение вектора намагниченности \mathbf{M} в доменной границе, разделяющей домены, намагниченные вдоль $\pm z$, считаем зависящим только от x, y (ось x направлена перпендикулярно плоскости доменной границы). Тогда функционал плотности

энергии W запишется в следующем виде:

$$W = \int_0^h dy \int_{-\infty}^{\infty} dx \left\{ (A/M^2) [(\partial \mathbf{M}/\partial x)^2 + (\partial \mathbf{M}/\partial y)^2] - (K/M^2)(M\mathbf{c}) - 0.5M\mathbf{H}^m \right\}. \quad (1)$$

Здесь A — параметр обменного взаимодействия, K — константа магнитной анизотропии, M — намагниченность насыщения, \mathbf{c} — единичный вектор вдоль оси легкого намагничивания, \mathbf{H}^m — напряженность магнитостатического поля.

Структуру доменной границы мы находим в результате численной минимизации (1) (подробнее см. [4]). Величина K изменялась в пределах от 10^2 до 10^6 erg/cm³. Остальные параметры: $A = 10^{-6}$ erg/cm, $M = 800$ Gs, $h = 10^{-5}$ cm.

В результате численных расчетов оказалось, что при изменении K стабильной конфигурацией доменной границы является хорошо известная одновихревая блоховская доменная граница [1,2]. Образование вихревых распределений \mathbf{M} обеспечивает минимальную плотность объемных магнитных зарядов ($\text{div } \mathbf{M} \Rightarrow 0$) и наилучшим образом описывает свойства оператора обменного взаимодействия. Кроме одновихревой блоховской доменной границы существует два метастабильных состояния доменной границы. Одно из них — двухвихревая асимметричная неелевская доменная граница [1]. Другое получено нами впервые (в пленке данной толщины) — двухвихревая асимметричная доменная граница с двумя вихрями, расположенными вдоль нормали к поверхности пленки. В качестве примера на рис. 1 приведены структуры доменной границы при $K = 10^3$ erg/cm³. Появление двухвихревой асимметричной доменной границы в качестве метастабильного состояния мы связываем с тем, что при достаточной толщине пленки два вихря вектора намагниченности могут локализоваться у поверхностей пленки симметричным образом в отличие от двухвихревой неелевской доменной границы (сравн. рис. 1, *b* и *c*). Отметим, что магнитостатическая энергия у двухвихревой асимметричной доменной границы и двухвихревой неелевской примерно одинакова, но обменная энергия у двухвихревой асимметричной доменной границы выше. Это обусловлено тем, что в двухвихревой неелевской доменной границе

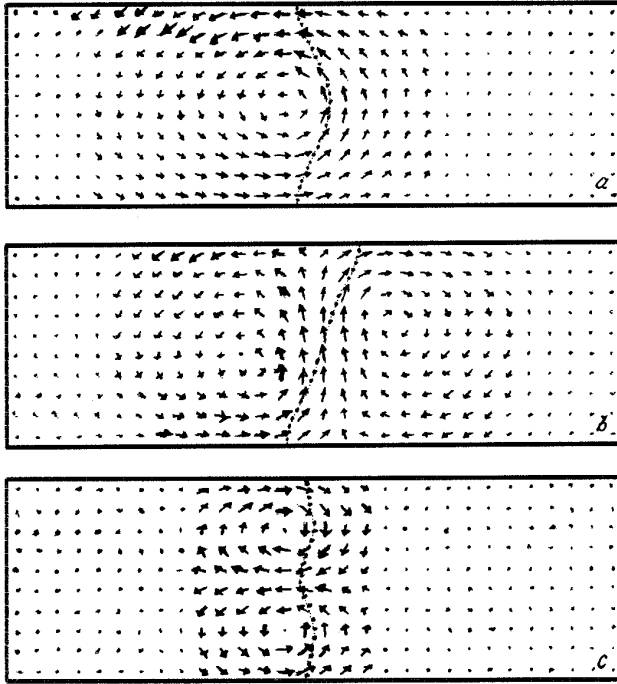


Рис. 1. Структура доменной границы при $A = 10^{-6}$ erg/cm, $K = 10^3$ erg/cm³, $h = 10^{-5}$ cm, $m = 800$ Gs. *a* — одновихревая блоховская, *b* — двухвихревая неелевская, *c* — двухвихревая асимметричная доменные границы.

эффективный размер вихря больше. Результаты расчетов показывают, что при увеличении K энергии всех трех конфигураций доменных границ растут и постепенно сближаются. Так, при $K = 10^3$ erg/cm³ приведенные значения энергии $\varepsilon = W/2A$ равны: ε (одновихревой блоховской доменной границы) = 10.04; ε (двухвихревой неелевской доменной границы) = 12.85; ε (двухвихревой асимметричной доменной границы) = 17.98, а для $K = 10^6$ erg/cm³ — ε (одновихревой блоховской доменной границы) = 25.18; ε (двухвихревой неелевской доменной границы) = 25.34; ε (двухвихревой асимметричной доменной границы) = 28.6. Сближение энергии между одновихревой блоховской и двухвихревой неелевской доменной границей происходит за счет

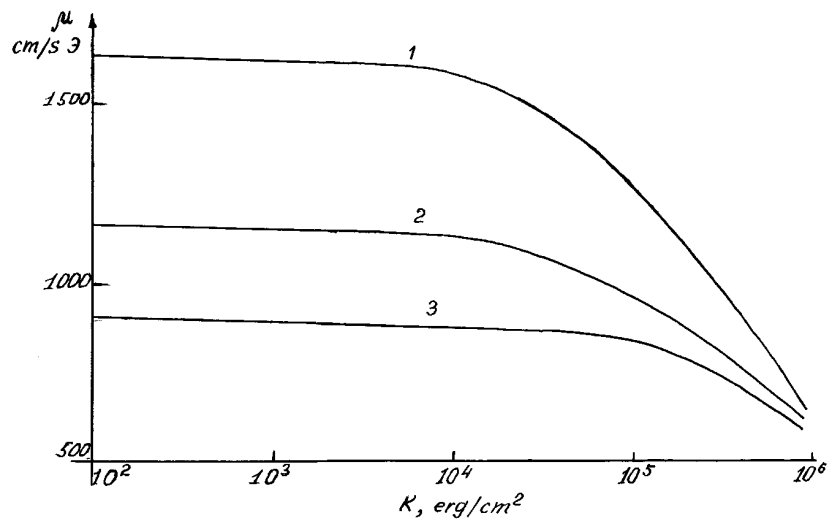


Рис. 2. Зависимости подвижностей доменной границы от константы анизотропии: 1 — одновихревая блоховская, 2 — двухвихревая неелевская, 3 — двухвихревая асимметричная доменная граница.

увеличения вклада энергии анизотропии у одновихревой блоховской доменной границы по сравнению с двухвихревой неелевской доменной границей. Распределение вектора намагниченности в доменной границе при увеличении K изменяется таким образом, что уменьшается эффективная ширина доменной границы.

Нами также рассмотрено стационарное движение доменной границы и рассчитана ее подвижность μ при изменении K . В пределе малых скоростей движения доменной границы величину μ можно определить используя структуру статических стенок, которая находится в результате минимизации функционала (1), причем [5]:

$$\mu = 2h\gamma/\alpha I, \quad (2)$$

$$I = M^{-2} \int_0^h dy \int_{-\infty}^{\infty} dx (\partial \mathbf{M} / \partial x)^2, \quad (3)$$

где γ — гиромагнитное отношение, α — параметр затухания Гильберта.

На рис. 2 приведены зависимости подвижностей одновихревой блоховской, двухвихревой неелевской и двухвихревой асимметричной доменных границ, рассчитанные согласно (2, 3) и на основе полученного при каждом значении константы анизотропии K распределения вектора намагниченности в доменной границе. Отметим, что для блоховской доменной границы в безграничном кристалле подвижность границы зависит от K как $K^{1/2}$. Как видно из рисунка, подвижность доменных границ уменьшается с ростом K , что и следовало ожидать, но в интервале K 10^2 – 10^4 erg/cm³ изменение μ мало. Такое поведение $\mu(K)$ связано с тем, что, как показывают расчеты, в указанном интервале значений K тонкая структура доменной границы слабо зависит от K .

При больших K подвижности одновихревой блоховской, двухвихревой неелевской, двухвихревой асимметричной доменных границ уменьшаются, но зависимость $K^{-1/2}$ явно не выполняется. Для $K = 10^6$ erg/cm³ обменные энергии всех трех конфигураций доменных границ близки по значению, поэтому их подвижности различаются незначительно, так как согласно (2, 3), значение μ определяется коэффициентом, пропорциональным части обменной энергии (3).

Итак, в данной работе на основе численной минимизации функционала энергии доменной границы определена тонкая структура доменной границы в рамках модели двумерного распределения вектора намагниченности в зависимости от константы анизотропии. Найдено новое метастабильное состояние доменной границы с двумя вихрями, локализованными у поверхностей пленки. Рассмотрено стационарное движение доменной границы и рассчитаны ее подвижности при изменении K .

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 96–02–16000).

Список литературы

- [1] *La Bonte A.E.* // J. Appl. Phys. 1969. V. 40. N 6. P. 2450–2458.
- [2] *Hubert A.* // Phys. Stat. Solidi (a). 1969. V. 32. N 2. P. 519–534.
- [3] *Aharoni A.* // Phys. Stat. Solidi (a). 1973. V. 18. N 3. P. 661–667.
- [4] *Филиппов Б.Н., Корзунин Л.Г.* // ФММ. 1993. Т. 75. В. 4. С. 49–62.
- [5] *Филиппов Б.Н., Корзунин Л.Н., Береснев В.И.* // ФММ. 1995. Т. 80. В. 6. С. 31–36.