

05

## Устойчивость магнитной записи на доменных границах

© Ю.В. Толстобров, Н.А. Манаков, Г.С. Шилинг, Д.Ю. Коротких

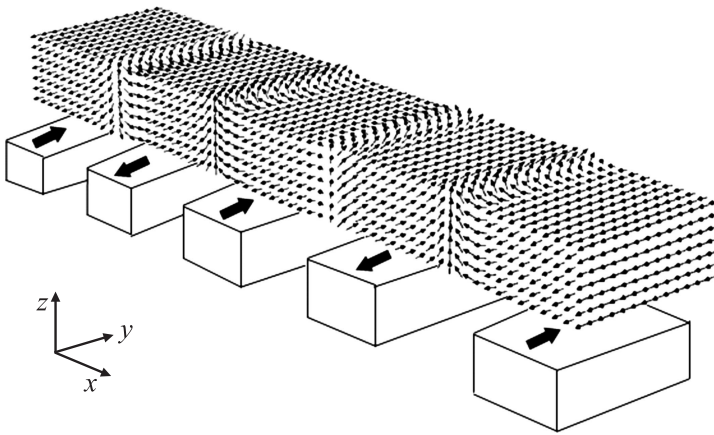
Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина,  
Бийск  
Оренбургский государственный университет  
E-mail: tyv\_biysk@mail.ru

Поступило в Редакцию 4 мая 2012 г.

Методом микромагнитного моделирования исследуется влияние поверхностной анизотропии типов „легкая плоскость“ и „легкая ось“, а также вспомогательного слоя магнито жестких частиц на устойчивость магнитной записи на доменных границах к воздействию внешних магнитных полей. Установлено, что поверхностная анизотропия существенно не влияет на устойчивость записи, а вспомогательный слой значительно повышает ее устойчивость и позволяет фиксировать размер информационных битов.

В работах [1,2] методом микромагнитного моделирования была показана принципиальная возможность высокоплотной магнитной записи на доменных границах полосовой доменной структуры в отсутствие поверхностной анизотропии и с поверхностной анизотропией типа „легкая плоскость“. Реализация такой записи возможна в случае ее достаточной устойчивости к воздействию внешних магнитных полей. В связи с этим в настоящей работе исследуется влияние анизотропии типов „легкая плоскость“ и „легкая ось“ на устойчивость доменных границ, а также возможность их стабилизации размещением под монокристаллической дорожкой записи слоя магнито жестких наночастиц.

Первоначально рассматривается устойчивость записи в монокристаллической однослойной пленке без поверхностной анизотропии, а также с анизотропией типов „легкая плоскость“ и „легкая ось“. В этом случае постановка задачи полностью совпадает с описанной в работах [1,2], т. е. рассматривается отрезок дорожки записи с размерами по координатным осям  $x$ ,  $y$  и  $z$ , равными 100, 20 и 10 nm соответственно, представленный верхним слоем на рис. 1. Поле намагниченности  $\mathbf{M} = \mathbf{M}(x, y, z)$  предполагается трехмерным и рассчитывается путем



**Рис. 1.** Магнитная запись на доменных границах верхнего слоя двухслойной пленки. Большими стрелками показано направление намагниченности в частицах нижнего слоя.

нахождения стационарных решений уравнения Ландау–Лифшица с граничным условием [2]:

$$\frac{\partial \mathbf{m}}{\partial(-\mathbf{n})} = \frac{LK_s}{2A} (\mathbf{m} \cdot \mathbf{n}) [\mathbf{n} - (\mathbf{m} \cdot \mathbf{n})\mathbf{m}]. \quad (1)$$

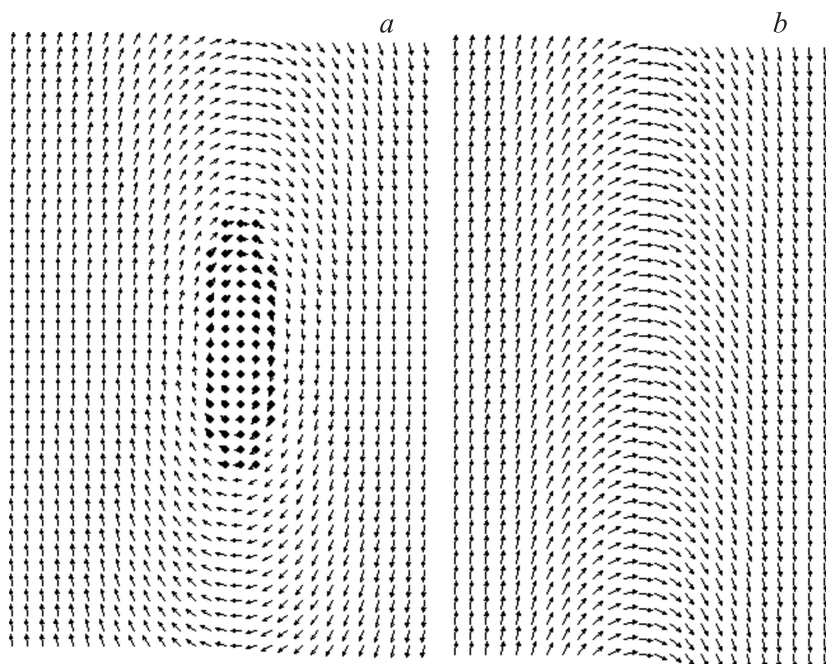
Здесь  $\mathbf{m} = \mathbf{M}/M_s = (m^x, m^y, m^z)$  — единичный вектор;  $M_s = |\mathbf{M}|$ ;  $\mathbf{n}$  — внешняя нормаль к поверхности пластинки;  $\partial \mathbf{m} / \partial(-\mathbf{n})$  — производная вектора  $\mathbf{m}$  по направлению вектора  $-\mathbf{n}$ ;  $A$  — константа обмена;  $L$  — характерный линейный размер (одна из сторон пластинки);  $K_s$  — коэффициент поверхностной анизотропии. В расчетах использовались магнитные параметры  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ , приведенные в [1], при которых  $|K_s| = 5.11 \cdot 10^{-3} \text{ J/m}^2$  [2]. Далее запись  $K_s < 0$  и  $K_s > 0$  означает равенство модуля коэффициента поверхностной анизотропии указанному выше значению. Анизотропии типа „легкая плоскость“ соответствует  $K_s > 0$ , анизотропии типа „легкая ось“ —  $K_s < 0$ , а случай  $K_s = 0$  означает отсутствие поверхностной анизотропии.

Рассматривалось воздействие однородного внешнего поля в направлениях координатных осей. Оказалось, что минимальное поле, разруша-

ющее магнитную запись, составляет  $4.6 \cdot 10^4$ ,  $5.3 \cdot 10^4$  и  $5.0 \cdot 10^4$  А/м для значений  $K_s < 0$ ,  $K_s = 0$  и  $K_s > 0$  соответственно. Из полученных результатов видно, что увеличение коэффициента  $K_s$  от  $-5.11 \cdot 10^{-3}$  до  $0$  Дж/м<sup>2</sup> повышает устойчивость записи, а дальнейшее увеличение  $K_s$  до  $5.11 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup> устойчивость понижает. Такой эффект объясняется различием в механизмах разрушения записи. При  $K_s < 0$  и  $K_s = 0$  минимальное разрушающее поле ориентировано по оси  $y$  (поперек дорожки записи). В этом случае второй и четвертый домены, ориентированные по полю (рис. 1), растут, поглощая ориентированные против поля. При  $K_s > 0$  минимальное разрушающее поле направлено вдоль дорожки (по оси  $x$ ). Под действием этого поля вихревые границы, выполняющие функцию информационных битов, превращаются в неелевские (рис. 2). Как сообщалось в работе [2], при  $K_s = 5.11 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup> и указанных геометрических и магнитных параметрах дорожки записи в равновесном состоянии могут существовать как неелевская, так и вихревая доменные границы. Поэтому после выключения внешнего поля граница остается неелевской, что означает потерю информации, задаваемую ориентацией вихревой границы.

Приведенные выше результаты показывают, что поверхностная анизотропия существенно на устойчивость магнитной записи не влияет.

Для повышения устойчивости записи предлагается использовать вспомогательный слой частиц. Как и прежде, вихревые доменные границы верхнего монокристаллического слоя выполняют функцию информационных битов, а частицы вспомогательного нижнего слоя фиксируют положение доменов в верхнем слое. Размеры и магнитные параметры верхнего слоя соответствуют рассмотренному выше случаю однослойной пленки. Нижний вспомогательный слой состоит из магнито жестких частиц с размерами по координатным осям  $16 \times 28 \times 40$  нм и чередующимся направлением намагниченности (рис. 1). Слои разделены немагнитной прослойкой малой толщины, исключая обменное взаимодействие между ними. Поэтому учитывается только магнитостатическое взаимодействие между слоями. Поле намагниченности  $\mathbf{M} = \mathbf{M}(x, y, z)$  в верхнем слое предполагается трехмерным и рассчитывается путем нахождения стационарных решений уравнения Ландау–Лифшица. Расчеты проводились для нижнего слоя, образованного как частицами  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ , так и для слоя с частицами  $\text{SmCo}_5$  с константой внутриобъемной анизотропии  $K = 1.8 \cdot 10^7$  Дж/м<sup>3</sup> и намагниченностью насыщения  $M_s = 9 \cdot 10^5$  А/м.



**Рис. 2.** Изменение типа доменных границ под действием внешнего поля от вихревых (*a*) к неслевским (*b*). Показана проекция поля намагниченности на координатную плоскость  $xz$ . Кругжками отмечены векторы, ориентированные преимущественно по оси  $z$ .

Предполагалось, что из-за высокой анизотропии частицы нижнего слоя однородно намагничены вдоль легких осей и на их состояние не оказывает заметного влияния суммарное поле, создаваемое верхним и нижним слоями, а также внешнее поле в пределах рассматриваемой величины.

Расчет поля намагниченности в верхнем слое проводился путем решения уравнения Ландау–Лифшица в постановке задачи, отличающейся от однослойного случая [1] добавкой в потенциал собственного поля верхнего слоя потенциала  $u$ , создаваемого нижним слоем. Потенциал  $u$  вычислялся как сумма вклада потенциалов отдельных частиц нижнего

слоя  $u_i$ , каждый из которых находился по формуле:

$$u_i(x_0, y_0, z_0) = \frac{\pm M_s}{4\pi} \times \int_{-L_x}^{L_x} \ln \frac{(\rho(x, L_y, L_z) + L_z - z_0)(\rho(x, -L_y, -L_z) - L_z - z_0)}{(\rho(x, L_y, -L_z) - L_z - z_0)(\rho(x, -L_y, L_z) + L_z - z_0)} dx. \quad (2)$$

Здесь знак „+“ перед правой частью (2) соответствует намагниченности частицы по оси  $y$ , а знак „-“ — намагниченности в противоположном направлении;  $(x_0, y_0, z_0)$  — координаты точки пространства относительно локальной координатной системы с началом в центре частицы и ориентацией координатных осей, показанной на рис. 1;  $\rho(a, b, c) = ((a - x_0)^2 + (b - y_0)^2 + (c - z_0)^2)^{0.5}$  — расстояние между точками  $(a, b, c)$  и  $(x_0, y_0, z_0)$ ;  $2L_x \times 2L_y \times 2L_z$  — размеры частицы по координатным осям. Функции  $u_i$  по формуле (2) вычислялись только в точках  $(x_0, y_0, z_0)$ , принадлежащих верхнему слою, т.е. при  $z_0 \geq L_z$ . Интеграл в правой части (2) находился численным методом (по формуле трапеций) с учетом, что для  $-L_x \leq x_0 \leq L_x$ ,  $y_0 = \pm L_y$  подинтегральное выражение имеет особенность в точке  $x = x_0$ .

Расчеты, проведенные при  $K_y = 0$ , показали, что для нижнего слоя, состоящего из частиц  $\text{SmCo}_5$ , поле разрушения магнитной записи составляет  $8.3 \cdot 10^4$  А/м, а для частиц  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  —  $9.5 \cdot 10^4$  А/м, что объясняется более высокой намагниченностью насыщения частиц  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ . Таким образом, применение вспомогательного слоя существенно повышает устойчивость магнитной записи. Кроме повышения устойчивости записи вспомогательный слой позволяет избежать вариации размеров информационных битов, которая наблюдалась в однослойной пленке [1].

## Список литературы

- [1] Толстобров Ю.В., Манаков Н.А., Заиграев А.С. // Письма в ЖТФ. 2009. Т. 35. В. 19. С. 1–5.  
 [2] Толстобров Ю.В., Манаков Н.А., Шилинг Г.С. // Письма в ЖТФ. 2011. Т. 37. В. 5. С. 38–42.