

СТАБИЛИЗАЦИЯ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ НА ДОМЕННЫХ ГРАНИЦАХ СИСТЕМОЙ МАГНИТОЖЁСТКИХ ЧАСТИЦ

Манакон Н.А., Толстобров Ю.В., Монтэн М., Чакак А.А.

**Оренбургский государственный университет, г. Оренбург
Алтайский государственный гуманитарный педагогический
университет им. В. М. Шукшина, г. Бийск,
Компания SEMIKRON Elektronik GmbH & Co. KG
(СЕМИКРОН Электроник), г. Нюрнберг, Германия**

Методом микромагнитного моделирования исследуется совместное влияние поверхностной анизотропии типа «легкая ось» и системы магнитожёстких частиц на устойчивость магнитной записи на монокристаллической плёнке, при которой информационными битами являются границы полосовой доменной структуры. Установлено, что при подходящих геометрических и магнитных параметрах системы уровень устойчивости магнитной записи к воздействию внешних полей достигает уровня поля формирования записи. Размер информационного бита составляет $18 \times 6 \text{ nm}$, что соответствует плотности записи в монокристаллической дорожке 6 Tbit/inch^2 .

PACS: 75.40.Mg, 75.60.Ch, 75.75.+a

В работах [1-3] уже рассматривались вопросы магнитной записи информации на доменных границах. Настоящая работа является продолжением этих исследований и посвящена теоретическому анализу возможностей стабилизации магнитной записи на доменных границах с помощью системы однодоменных магнитожёстких частиц. Анализ проводился в рамках теории микромагнетизма путём численного моделирования (см. [4-7]).

При магнитной записи на доменных границах, близких по структуре к блоховским, значение информационного бита определяется ориентацией поля намагниченности в границе по оси z в том или ином направлении (рисунки 1,2).

В работе [1] рассматривались методы стабилизации магнитной записи путём формирования на поверхности дорожки записи поверхностной анизотропии различных типов и расположением под дорожкой слоя намагниченных до насыщения магнитожёстких частиц, фиксирующих своим полем положение доменов в дорожке. Показано, что поверхностная анизотропия понижает устойчивость записи к внешним полям, а подслои частиц повышает устойчивость от 53 до 95 кА/м. Однако полученный таким способом уровень устойчивости остаётся значительно ниже поля формирования записи (240 кА/м [2]).

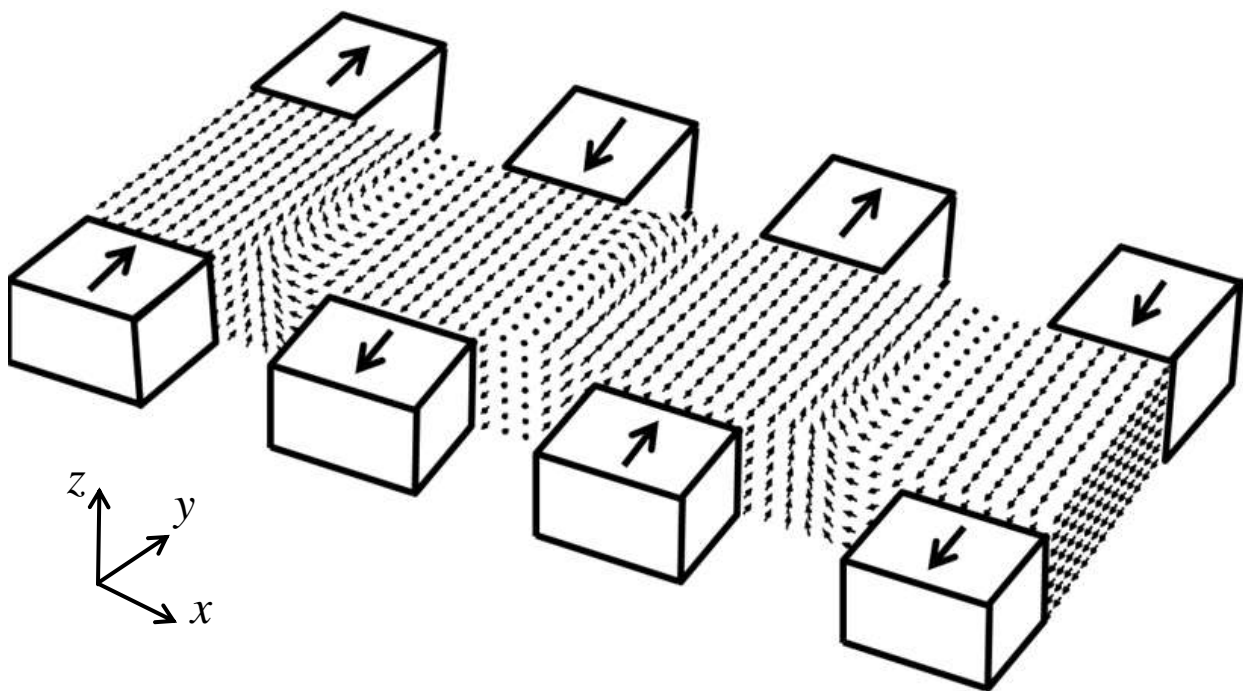
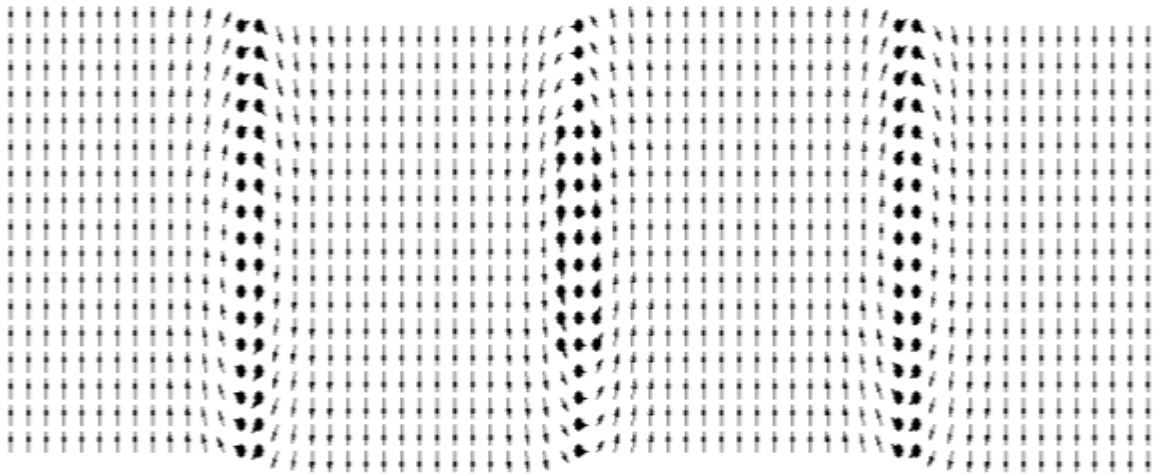
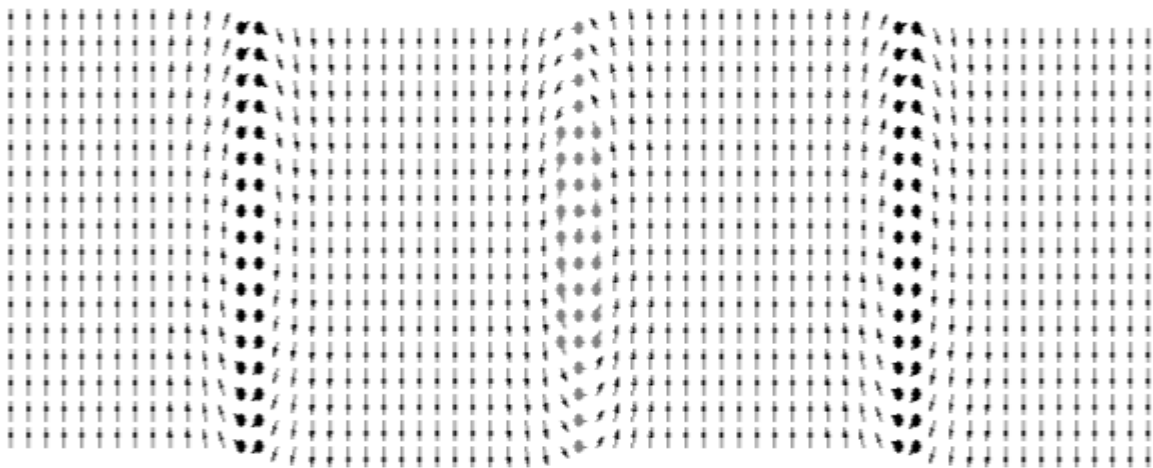


Рисунок 1. Монокристаллическая пластинка с четырьмя доменами в границах, в которых намагниченность ориентирована преимущественно по оси z . Большими стрелками показано направление поля намагниченности в фиксирующих частицах.

В настоящей работе предлагается модель магнитной записи на доменных границах в монокристаллических дорожках, расположенных между рядами однодоменных частиц с чередующимся направлением намагниченности. Первоначально отрезок одной из дорожек моделируется пластинкой с поперечным сечением, которое рассматривалось в работах [1,2] и составляет 20×10 nm по координатным осям y и z соответственно. На рисунке 1 показана пластинка длиной 80 nm с окружающими ее частицами размером $11 \times 10 \times 10$ nm и расстояниями между ними 12 nm. Предполагается, что пластинка и частицы состоят из одноосного ферромагнетика $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, магнитные параметры которого приведены в [2]. Оси лёгкого намагничивания в пластинке и в частицах ориентированы по координатной оси y . Из-за высокой анизотропии частицы однородно намагничены вдоль лёгких осей и на их состояние не оказывает заметного влияния суммарное поле, создаваемое пластинкой, самими частицами, а также внешнее поле в пределах рассматриваемой величины. Частицы отделены от пластинки тонкой немагнитной прослойкой, исключаящей обменное взаимодействие, и влияют на пластинку только собственным (магнитоэстатическим) полем, метод учёта которого описан в [1].



(a)



(b)

Рисунок 2. Изменение ориентации доменной границы в центре пластинки под действием внешнего поля: *a* – ориентация всех границ по оси *z*; *b* – конфигурация с ориентацией средней границы противоположно оси *z*. Темными кружками отмечены векторы, ориентированные преимущественно по оси *z*, светлыми – в противоположном направлении. Показана проекция поля \mathbf{m} на плоскость *xu* в среднем сечении пластинки.

Трёхмерное поле намагниченности $\mathbf{M} = \mathbf{M}(x, y, z)$ в монокристаллической пластинке рассчитывается путем нахождения стационарных решений уравнения Ландау-Лифшица с граничным условием, учитывающем поверхностную анизотропию [1]:

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

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 расчётах использовались значения $K_S = 0$ и $K_S = -5.11 \times 10^{-3} \text{ J/m}^2$ [1], соответствующие отсутствию поверхностной анизотропии и поверхностной анизотропии типа «лёгкая ось». Расчёты проводились на равномерной сетке с шагом равным 0.25 nm. На рисунках показана проекция поля \mathbf{m} на крупную сетку.

В работе [1] показано, что в пластинке без фиксирующих частиц и $K_S \leq 0$ разрушение магнитной записи внешним полем происходит путём взаимного поглощения доменов или их вытеснением за пределы пластинки. Предполагалось, что расположенные по обе стороны от пластинки частицы своим полем будут лучше фиксировать домены по сравнению с их расположением под пластинкой, что должно повысить устойчивость записи. Действительно, устойчивость доменной структуры повысилась втрое (с 95 до 290 kA/m), однако устойчивость записи неожиданно понизилась до 90 kA/m. Такой эффект обусловлен изменением механизма разрушения записи. В случае ориентации всех границ в одном направлении (рисунок 2a), при действии внешнего поля по оси y средняя граница перемагничивается в противоположное направление (рисунок 2b), что означает потерю информации, которая задается ориентацией намагниченности в границе. Это объясняется энергетически более выгодным состоянием системы с чередующимся направлением ориентации границ по сравнению с ориентацией в одном направлении. Можно ожидать, что в рассматриваемой системе сохранению ориентации границ должна способствовать поверхностная анизотропия типа «лёгкая ось». Действительно, в системе с фиксирующими частицами и $K_S < 0$ устойчивость ориентации доменных границ и, соответственно, устойчивость записи возросла почти вдвое (от 90 до 170 kA/m) при сохранении уровня устойчивости доменной структуры (290 kA/m). Негативным фактором влияния поверхностной анизотропии оказался значительный рост поля формирования записи [2] (от 240 до 390 kA/m). Для понижения этого поля размер поперечного сечения пластинки уменьшался с 20×10 до 6×6 nm. Размер фиксирующих частиц выбирался равным $12 \times 10 \times 6$ nm с расстоянием между ними 6 nm. Формирование записи (перемагничивание границы) проводилось внешним полем, действующим над центром границы в полосе шириной 24 nm по оси x и наклонённом от оси z к оси x на 45° . В этом случае для перемагничивания центральной границы из ориентации на рисунке 2b в ориентацию на рисунке 2a, соответствующую росту свободной энергии системы, оказалось достаточно поля 310 kA/m. Перемагничивание границы в обратном направлении происходит в поле 290 kA/m. Устойчивость записи проверялась воздействием однородного внешнего поля на весь образец в направлениях координатных осей, а также по направлению поля записи. Оказалось, что одновременно с понижением поля формирования записи повысилась ее устойчивость. Поле, разрушающее магнитную запись в наименее устойчивом состоянии (рисунок 2a), совпало по величине и направлению с полем записи, т.е. составило 290

kA/m. Разрушение записи происходит путём перехода системы в состояние, показанное на рисунке 2b.

Таким образом, совместное действие поверхностной анизотропии и системы магнитожёстких частиц при подходящих геометрических и магнитных параметрах системы позволяет поднять уровень устойчивости магнитной записи до максимально возможного значения – уровня поля формирования записи. В описанной выше системе размер информационного бита составляет 18×6 nm, что соответствует плотности записи в монокристаллической дорожке 6 Tbit/inch².

Список литературы

1. Толстобров, Ю. В. Устойчивость магнитной записи на доменных границах [Текст] / Ю. В. Толстобров, Н. А. Манаков, Г. С. Шиллинг, Д. Ю. Коротких // Письма в ЖТФ. - 2012. - Т.38. - вып. 23. – с. 64–68.
2. Толстобров, Ю. В. Магнитная запись на доменных границах монокристаллической плёнки [Текст] / Ю. В. Толстобров, Н. А. Манаков, А. С. Заиграев // Письма в ЖТФ. - 2009. - Т.35. - вып. 19. – с. 1–5.
3. Толстобров, Ю. В. Влияние поверхностной анизотропии типа "лёгкая плоскость" на магнитную запись на доменных границах [Текст] / Ю. В. Толстобров, Н. А. Манаков, Г. С. Шиллинг // Письма в ЖТФ, 2011, Т. 37, вып. 5. – с. 38-42.
4. Манаков, Н. А. Микромагнитное моделирование доменных структур в монокристалле Co. [Текст] / Н. А. Манаков, М. Д. Старостенков, Ю. В. Толстобров, А. А. Черемисин // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – Барнаул, 2004, №2. - с. 47-53.
5. Толстобров, Ю. В. Влияние метода минимизации функционала свободной энергии на результаты микромагнитного моделирования [Текст] / Ю. В. Толстобров, Н. А. Манаков, А. А. Черемисин // ФММ. – 2004. - Т. 98, №3. - с. 16-22.
6. Толстобров, Ю. В. Микромагнитное моделирование распределения намагниченности в полубесконечных монокристаллах [Текст] / Ю. В. Толстобров, Н. А. Манаков // ФММ, 2006, Т. 102, № 6. – с. 597-601.
7. Манаков, Н. А. Микромагнитное моделирование влияния поверхностной анизотропии на доменные структуры в нанопластинке [Текст] / Н. А. Манаков, Ю. В. Толстобров, Г. С. Шиллинг // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. - № 10. – с. 130-133.

