

УДК 538.9

МАГНИТОМЯГКИЙ СЛОЙ В СТРУКТУРАХ ДЛЯ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

Морозов А.И., д.физ.-мат.н., профессор, E-mail: mor-alexandr@yandex.ru

Муравьёв Э.К., студент

МГТУ МИРЭА, Москва, Россия

Аннотация. Найдено принципиальное ограничение на толщину магнитомягкого слоя в структуре для перпендикулярной магнитной записи.

Ключевые слова: перпендикулярная магнитная запись, ферромагнетик, магнитомягкий слой, магнитное поле.

SOFT MAGNETIC LAYER IN THE STRUCTURES FOR PERPENDICULAR MAGNETIC RECORDING

Morosov A.I., D.ofSci.(Phys-Math), prof., E-mail: mor-alexandr@yandex.ru

Murav'ev E.K., student

MSTU MIREA, Moscow, Russia

Abstract. Principal limitation on the soft magnetic layer thickness in the structures for perpendicular magnetic recording is found.

Keywords: perpendicular magnetic recording, ferromagnet, soft magnetic layer, magnetic field.

Введение

Современные устройства жестких дисков с перпендикулярной магнитной записью содержат магнитомягкий слой. Он имеет достаточно большую намагниченность насыщения и достаточно низкое коэрцитивное поле. Основной полюс записывающей головки создает магнитное поле, линии которого выходят из него перпендикулярно поверхности магнитного диска и замыкаются через нижний магнитомягкий слой диска на вспомогательном полюсе сердечника [1]. В процессе хранения энергия системы понижается за счёт того, намагниченность магнитомягкого слоя направлена вдоль силовых линий размагничивающего поля (рис.1.). В процессе записи магнитомягкий слой позволяет повысить концентрацию магнитного поля, пронизывающего слой, в котором записывается информация (СЗ), а также предотвращает появление магнитного поля вне магнитомягкого слоя.

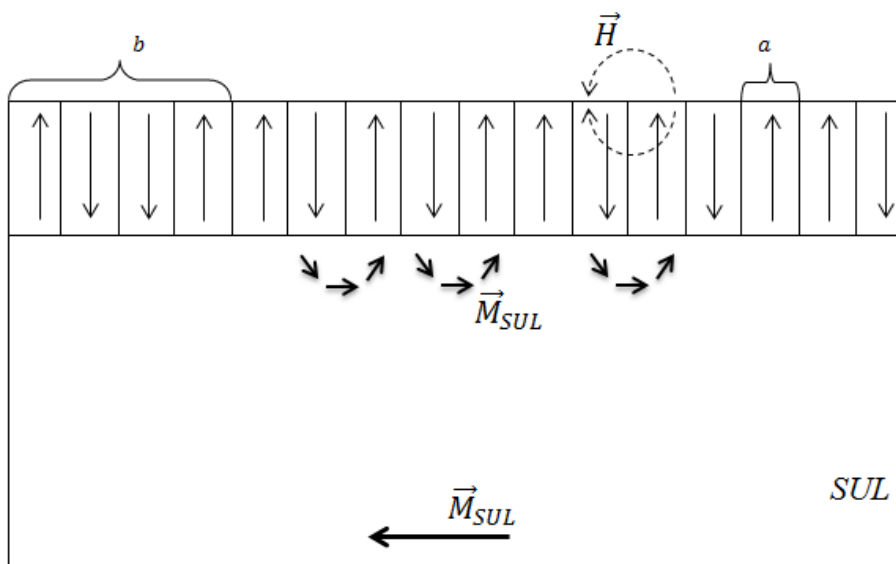


Рис.1. Схема структуры, состоящей из СЗ и магнитомягкого слоя, в процессе хранения. Жирными стрелками показана намагниченность магнитомягкого слоя. \vec{H} – напряженность размагничивающего поля, a – продольный размер домена, b – продольный размер нескольких доменов, равный ширине вспомогательного полюса записывающей головки.

Влияние магнитомягкого слоя в процессе хранения

В процессе хранения информации возможно два варианта: 1. Намагниченность магнитомягкого слоя однородна, тогда энергия системы не понижается; 2. За счёт неоднородности намагниченности магнитомягкого слоя линия размагничивающего поля замыкаются на намагниченности этого слоя.

Рассмотрим двухслойную структуру, состоящую из СЗ и магнитомягкого слоя (рис.1.).

В результате записи бита информации в домене СЗ на краях домена образуются магнитные полюса, создающие размагничивающее поле.

В случае полосовой структуры доменов энергия размагничивающего поля имеет вид [2]:

$$W_m = -\frac{1}{2}\mu_0 \int_V \vec{M}\vec{H}dV', \quad (1)$$

где μ_0 – магнитная постоянная, \vec{M} – намагниченность домена, \vec{H} – напряженность размагничивающего поля, V – объём, в котором сосредоточено размагничивающее поле, рассчитанный на 1 метр ширины дорожки.

$$V \sim a^2. \quad (2)$$

Вблизи поверхности домена размагничивающее поле по порядку величины примерно равно намагниченности.

Намагниченность выразим через спин:

$$M \sim \frac{\mu_B S}{V_{\text{яч}}} \approx \frac{\mu_B}{V_{\text{яч}}}. \quad (3)$$

После подстановки (2), (3) в (1), и некоторых преобразований, получаем энергию размагничивающего поля в расчёте на единицу площади, параллельную поверхности диска:

$$w_m = \frac{\mu_0 \mu_B^2}{V_{\text{яч}}^2} a. \quad (4)$$

Энергия неоднородности обменного взаимодействия в магнитомягком слое:

$$W_{\text{ex}} = J_{\text{SUL}} \int (\nabla S_{\text{SUL}})^2 dV, \quad (5)$$

где J_{SUL} – обменный интеграл магнитомягкого слоя, S_{SUL} – спин атомов магнитомягкого слоя.

Градиент спина ∇S_{SUL} отличен от нуля только в области порядка a , тогда

$$\nabla S_{\text{SUL}} \approx \frac{1}{a}. \quad (6)$$

Тогда, энергия обменного взаимодействия в расчёте на единицу площади, параллельную поверхности диска, примет вид:

$$w_{\text{ex}} = \frac{J_{\text{SUL}}}{a}. \quad (7)$$

Для того чтобы намагниченность домена замыкались на намагниченности магнитомягкого слоя, энергия неоднородности магнитомягкого слоя должна быть меньше энергии размагничивающего поля домена. После несложных алгебраических преобразований получаем ограничения на размер домена:

$$a > \frac{V_{\text{яч}}}{\mu_B} \sqrt{\frac{J_{\text{SUL}}}{\mu_0}}. \quad (8)$$

Без магнитомягкого слоя ширина домена зависит от параметров домена следующим образом [3]:

$$a \sim \sqrt{qL\Delta}, \quad (9)$$

где L – высота домена, Δ – толщина доменной стенки, $q = \frac{KV_{ЯЧ}^2}{\mu_0 \mu_B^2}$ – фактор

качества – отношение энергии анизотропии к энергии размагничивающего поля.

Влияние магнитомягкого слоя в процессе записи

Рассмотрим теперь процесс записи информации. В этом случае к структуре прикладывается внешнее магнитное поле. Линии магнитного поля проходят через домен, а затем замыкаются на нескольких доменах, шириной порядка толщины вспомогательного полюса записывающей головки (рис.2).

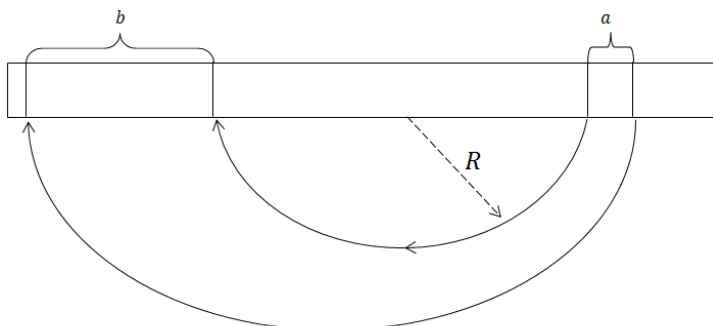


Рис.2. Схема структуры, состоящей из последовательности доменов, в процессе записи.

Для качественного описания процесса записи примем следующее допущение. Будем считать, что линии магнитного поля образуют конус с длиной верхнего основания, равной ширине домена a , и с длиной нижнего основания, равного b . Такое допущение будет работать, если радиус кривизны замыкания линий магнитного поля R много больше длины нижнего основания b . Этот конус схематично изображен на рис.3.

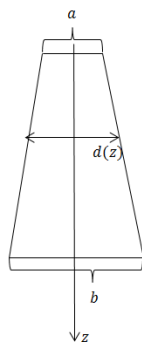


Рис.3. Конус, образованный линиями магнитного поля. Ось z направлена вдоль оси конуса, $d(z)$ – длина основания в точке с координатой z .

Длина основания в зависимости от координаты имеет вид:

$$d(z) = a + \frac{b-a}{\pi R} z, \quad (10)$$

Энергия магнитного поля имеет вид:

$$W_{field} = \frac{\mu_0}{2} \int H(z)^2 dV, \quad (11)$$

где $H(z)$ – напряженность магнитного поля, интегрирование ведётся по объёму конуса.

Из постоянства магнитного потока, имеем:

$$H(z) = \frac{H_0 a}{d(z)}. \quad (12)$$

Подставляя (12) в (11), и интегрируя по x от $-\frac{d(z)}{2}$ до $\frac{d(z)}{2}$, по z от 0 до πR , получим:

$$W_{field} = \frac{\mu_0 H_0^2 a^2}{2} \int_0^{\pi R} \int_{-d(z)/2}^{d(z)/2} \frac{1}{d(z)^2} dx dz = \mu_0 H_0^2 \frac{\pi R a^2}{(b-a)} \ln\left(\frac{b}{a}\right), \quad (13)$$

Рассмотрим двухслойную структуру, состоящую из слоя, в котором происходит запись, и мягкого слоя в процессе записи (рис.4).

Энергия магнитного поля в этом случае имеет вид:

$$W'_{field} = \mu_0 H^2 \cdot 2Rd, \quad (14)$$

где d – толщина магнитомягкого слоя. Область заворота линий магнитного поля не даёт вклад в энергию из-за её малости, так как считаем, что $\max(a, b) \ll \pi R$.

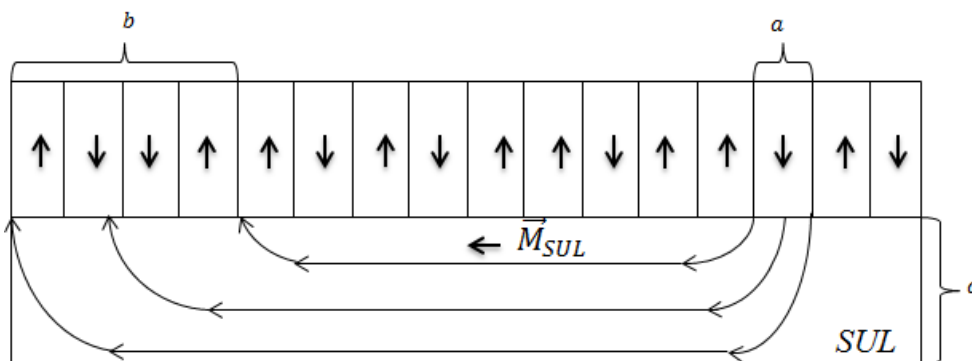


Рис.4. Схема структуры, состоящей из слоя, в котором происходит запись информации, и магнитомягкого слоя в процессе записи.

Энергия ферромагнетика в магнитном поле примет вид:

$$W_{magnet} = -\mu_0 M_{SUL} H \cdot 2Rd. \quad (15)$$

Из постоянства магнитного потока:

$$H = \frac{aH_0}{d}, \quad (16)$$

Полная энергия такой структуры:

$$W_{\Sigma} = -2Ra \cdot \mu_0 M_{SUL} H_0 + \frac{2R \cdot \mu_0 a^2 H_0^2}{d}. \quad (17)$$

Для того чтобы силовым линиям магнитного поля было энергетически выгодно проходить через магнитомягкий слой, должно выполняться неравенство $W_{field} > W_{\Sigma}$, что приводит к неравенству

$$d > \frac{2a}{\left(\frac{\pi a}{b-a} \ln\left(\frac{b}{a}\right) + \frac{2M_{SUL}}{H_0}\right)}. \quad (18)$$

Для типичных значений: $a = 20\text{нм}$, $b = 100\text{нм}$, $H_0 = 5\text{кЭ} = 4 \cdot 10^5\text{А/м}$, $M_{SUL} = 10^2\text{А/м}$ получаем $d > 31\text{нм}$.

Заключение

Сформулируем основные выводы работы.

1) Намагниченность доменов в слое записи шунтируется намагниченностью магнитомягкого слоя, если ширина этих доменов превосходит некоторое критическое значение, равное $\sqrt{\frac{J_{SUL} a}{2K}}$.

2) Магнитомягкий слой включает в себе все силовые линии магнитного поля в процессе записи информации, если его толщина превышает некоторое критическое значение, даваемое формулой (18).

Список литературы

1. <http://www.comprice.ru/articles/detail.php?ID=40322>
2. Спиновые волны / Ахиезер А.И. и др. - М.: Наука, 1967. - 368 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. - М.: Наука, 2005. - 651 с.
4. Litvinov D., Kryder M.H., Khizroev S. Recording physics of perpendicular media: soft underlayers // J. Magn. Magn. Mater. – 2001. т.232, №84. – с.456-462.