

Оценка разрешающей способности двуслойных магнитных структур

77-30569/339881

02, февраль 2012

Одинокое С. Б., Кузнецов А. С.

УДК 535.2+537.6+621.3

МГТУ им. Н.Э. Баумана

kus_a_s@mail.ru

odinokov@bmstu.ru

Перед производителями ценных документов (банкноты, ценные бумаги, удостоверения личности и т.п.) стоит проблема защиты их от подделки. Одним из способов защиты является маркирование материальных объектов скрытыми магнитооптическими метками, которые считываются специальными средствами идентификации (лупа, микроскоп и др.).

В последнее время появился заметный интерес к магнитооптическим устройствам хранения, обработки и отображения информации. Это новое направление в оптоэлектронике обязано своим происхождением открытию магнитных материалов, обладающих одновременно достаточно высокой прозрачностью в видимом и ближнем ИК-диапазоне, сильными магнитооптическими эффектами (Фарадея и Керра) и управляемой доменной структурой [1].

Эти магнитные материалы позволяют производить:

- уникальные исследования аудио- и видеозаписей на предмет подлинности и идентификации средств записи;
- контроль подлинности денежных купюр и других ценных бумаг по магнитному признаку;
- производить восстановление частично разрушенной или утраченной информации, например, с магнитных лент “черных ящиков”.

Возможность магнитооптической визуализации, копирования и считывания записи с магнитных носителей (лент, дисков и т.п.) была продемонстрирована в [2-4], где, в частности, было показано, что в тестовой (визуализирующей) магнитооптической пленке, сопряженной с магнитным носителем, формируется упорядоченная доменная структура, однозначно воспроизводящая структуру полей рассеяния от сигналограмм. В данных работах рассмотрены магнитооптические головки с полной, не полной перестройкой доменной структуры при визуализации магнитных сигналограмм с целью улучшения оптических характеристик (отношение сигнал/шум, оптическая эффективность и разрешающая способность) головок. Приведены результаты экспериментальных исследований магнитооптических головок на предмет оценки разрешающей способности,

однако теоретических положений по оценке разрешающей способности магнитооптических структур при визуализации магнитных сигналограмм не рассмотрено.

Данная статья посвящена определению разрешающей способности двуслойной магнитной среды и разработке методики выбора величин параметров данных сред, с целью обеспечения высокой оптической эффективности и высокого контраста изображения магнитных сигналограмм.

Научная новизна проведенных исследований заключается в теоретической оценке разрешающей способности магнитооптической визуализации при помощи V_i -содержащих феррит-гранатовых пленок сигналограмм, записанных на традиционных магнитных лентах в виде синусоидальных или бинарных магнитных решеток.

Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций по выбору параметров двуслойных магнитных структур, обеспечивающих получение удовлетворительных характеристик магнитооптических носителей информации.

Критерий оценки разрешающей способности при считывании магнитных сигналограмм

Под двуслойной магнитной средой будем понимать такие среды, которые содержат регистрирующий магнитотвердый слой и визуализирующий магнитомягкий слой. В качестве последнего применяют в основном V_i -содержащие магнитные пленки феррит-граната (МПФГ).

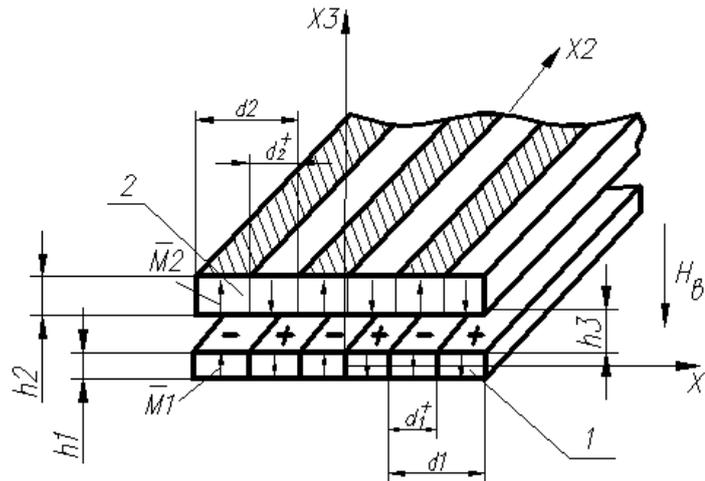
На рис. 1 представлена двуслойная магнитная среда, содержащая носитель магнитной записи 1, визуализирующую V_i -содержащую МПФГ 2, разделенных немагнитной прослойкой h_3 , и возможное распределение намагниченности в слоях МПФГ M_2 . Магнитные поля рассеяния M_1 , создаваемые доменной структурой носителя магнитной записи 1, перестраивают доменную структуру МПФГ 2 в точном соответствии с записанной на носителе информацией. Модель двуслойной магнитной среды удовлетворяет следующим условиям.

1) Оба магнитных слоя имеют фактор качества (Q_i) больше единицы ($Q_i = H_{Ai} / 4\pi M_{Si} > 1$, где H_{Ai} [Э] - поле одноосной анизотропии, $4\pi M_{Si}$ [Гс] - намагниченность i -го слоя), так что вектора намагниченности в любой точке пленок направлены перпендикулярно их поверхностям, а толщина доменных границ, где это не выполняется, пренебрежимо мала.

2) Коэрцитивность доменных стенок в регистрирующем слое обеспечивает неизменность конфигурации полученного в процессе записи распределения намагниченности в течение сколь угодно длительного времени. Напротив, коэрцитивность визуализирующего слоя пренебрежимо мала.

3) Одноосная анизотропия в визуализирующем магнитомягком слое достаточна для обеспечения бинарного характера распределения намагниченности в нем и сохранения неизменной величины плотности энергии доменных границ в магнитомягких решетках во внешних полях и полях рассеяния от магнитотвердых решеток.

4) Размеры решеток в направлениях X_1 и X_2 предполагаются бесконечно большими.



1 – Носитель записи; 2 – Визуализирующая МПФГ; h_1 – толщина носителя записи, h_2 – толщина МПФГ, h_3 – толщина зазора, H_0 - внешнее магнитное поле, $\overline{M1}$, $\overline{M2}$ - намагниченность носителя магнитной записи и визуализирующего слоя соответственно.

Рис. 1. Двуслойная магнитная структура

Разрешающая способность при считывании магнитных сигналограмм зависит как от магнитных, так и от геометрических параметров двуслойной магнитной среды, и определяется минимальными размерами перемагниченных в регистрирующем слое областей, которые могут быть однозначно отображены в визуализирующем слое в виде определенных доменных конфигураций. Для пленок типа MnBi и Tb-Fe возможно перемагничивание изолированных участков с характерным размером порядка $0,5 \div 1,0$ мкм, что соответствует дифракционному пределу, накладываемому оптической системой, формирующей регистрируемое изображение.

В настоящей статье предполагается, что перезапись информации из регистрирующего слоя в визуализирующий, и ее оптическое считывание происходят без искажений, если конфигурация доменной структуры, инициируемой в визуализирующем слое, адекватна конфигурации распределения намагниченности, сформированного при записи в регистрирующем слое. Выбор критерия оценки качества записи/считывания в таком виде позволяет не производить непосредственный анализ восстановленного с визуализирующего магнитомягкого слоя изображения, считая, что оно будет во всех отношениях не хуже, чем изображение, получаемое при восстановлении с регистрирующего магнитотвердого слоя, отличаясь от последнего лишь значительно более высокими уровнями интенсивности и контраста за счет более высокой магнитооптической добротности визуализирующего магнитомягкого слоя по сравнению с регистрирующим магнитотвердым слоем.

При уменьшении или увеличении характерных размеров перемагниченных в регистрирующем магнитотвердом слое областей, начиная с некоторых их значений, адекватность распределений намагниченности в слоях нарушается (оказывается энергетически невыгодной), что, по сути дела, и ограничивает разрешающую способность рассматриваемого способа записи/считывания. Оценим возможность формирования в визуализирующем слое доменных конфигураций, адекватных информационным распределениям намагниченности в регистрирующем магнитотвердом слое.

Перезапись бинарной информации из регистрирующего слоя ДМС в визуализирующий слой

Для простоты рассуждений предположим, что в регистрирующем слое записана неограниченная МТР, пространственный период, скважность и ориентация которой постоянны в ее плоскости.

В высокоанизотропных магнитоодноосных визуализирующих пленках, каковыми являются рассматриваемые в настоящей статье феррит-гранатовые пленки, возможно существование только бинарных распределений намагниченности. Устойчивыми оказываются полосовые доменные структуры, представляющие из себя магнитомягкие решетки. Перезапись информации из регистрирующего магнитотвердого слоя в визуализирующий магнитомягкий слой будет происходить без искажений, если пространственный период, скважность и ориентация магнитомягкой решетки совпадают с аналогичными параметрами магнитотвердой решетки. В этом случае магнитные решетки являются адекватными с точки зрения зафиксированной в них информации.

Анализ литературных данных показал [5], что совпадение конфигураций магнитомягкой решетки и магнитотвердой решетки возможно и при заданных параметрах двуслойной магнитной среды достигается в определенном диапазоне пространственных периодов $[d_{1\min}, d_{1\max}]$. Границы этого диапазона могут служить естественной количественной характеристикой разрешающей способности двуслойной магнитной среды. Проведем оценку величин $d_{1\min}$ и $d_{1\max}$.

Основным критерием, определяющим возможность реализации в визуализирующем слое доменной структуры определенного вида является устойчивость ее конфигурации. Устойчивым конфигурациям соответствуют минимумы плотности энергии доменной структуры [6]. Таким образом, условия, при которых возможно образование магнитомягкой решетки, адекватных решеткам, записанными в регистрирующем слое, могут быть определены из анализа выражения для плотности энергии магнитомягкой решетки, находящейся в полях рассеяния магнитотвердой решетки.

Ограничим рассматриваемый класс доменных структур в визуализирующем слое решетками, параллельными решетке, записанной в регистрирующем слое. Такое ограничение не сказывается на общности получаемых выводов, т.к. непосредственное наблюдение доменных структур в визуализирующем слое показывает, что в нем реализуется именно такие магнитомягкие решетки, которые, однако, в зависимости от конкретных условий, могут подвергаться определенным видам искажений.

Средняя плотность энергии магнитомягкой решетки может быть записана в виде суммы [7]

$$\omega_2 = \omega_{\sigma_2} + \omega_{M_2} + \omega_H + \omega_{M_1} + \omega_{\sigma_2}', \quad (1)$$

где ω_{σ_2} - энергия вертикальных доменных стенок магнитомягкой решетки с поверхностной плотностью энергии σ_2 ; ω_{M_2} - собственная магнитостатическая энергия магнитомягкой решетки; ω_H - энергия взаимодействия магнитомягкой решетки с внешним магнитным полем H_e ; ω_{M_1} - зеемановская энергия взаимодействия магнитомягкой решетки с полями рассеяния от распределения намагниченности в регистрирующем слое; ω_{σ_2}' - энергия горизонтальных доменных стенок типа "head to head" с поверхностной плотностью энергии σ_2' , возникающих на границе раздела

магнитных слоев при отсутствии между ними немагнитной прослойки, нарушающих их обменное взаимодействие.

Выражения для первых трех слагаемых в (1) хорошо известны и могут быть записаны в виде

$$\begin{aligned}\omega_{\sigma} &= \tau_2/\zeta_2, \quad \tau_2 = l_2/h_2, \quad \zeta_2 = d_2/h_2, \\ \omega_H &= (s_2 - 0.5)(H_e/4\pi M_{s2}), \\ \omega_{m2} &= \left\{ (s_2 - 0.5)^2 + \frac{\zeta_2}{\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^3} \sin^2(\pi n s_2) \left[1 - \exp(-2\pi n \zeta_2^{-1}) \right] \right\},\end{aligned}$$

где $l_2 = \sigma_2/4\pi M_{s2}^2$ – характеристическая длина материала визуализирующего слоя; $s_2 = d_2^+/d_2$ – скважность магнитомягкой решетки; H_e – вертикальная составляющая внешнего постоянного магнитного поля, в которое помещена двуслойная магнитная среда.

Сумма слагаемых ω_{σ} и ω_{m2} описывает энергию магнитомягкой решетки с периодом d_2 и скважностью s_2 в визуализирующей пленке, свободной от регистрирующего слоя. График зависимости этой суммы от d_2 при $s_2 = 0,5$

представляет из себя кривую $\omega_2^0(\zeta_2)$, изображенную на рис. 2 утолщенной линией.

Минимум функции $\omega_2^0(\zeta_2)$ достигается при некоторой величине пространственного периода магнитомягкой решетки $d_2 = d_2^0$ ($\zeta_2 = \zeta_2^0$). Магнитомягкая решетка (чаще с лабиринтной структурой) с таким периодом реализуется в визуализирующем слое при отсутствии воздействия на него внешних полей.

Выражения для плотности энергии взаимодействия магнитомягкой решетки с полями рассеяния магнитотвердой решетки и плотности энергии горизонтальных доменных стенок имеют вид

$$\begin{aligned}\omega_{m1} &= -\frac{2}{\pi^3} \tilde{m} \zeta_1 \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{nk^2} \sin(\pi n s_2) \sin(\pi k s_1) \left[1 - \exp\left(-\frac{2\pi k \varepsilon_1}{\zeta_1}\right) \right] \left[1 - \exp\left(-\frac{2\pi k}{\zeta_1}\right) \right] \cdot \\ &\cdot \exp\left(-\frac{2\pi k \varepsilon_3}{\zeta_1}\right) \Delta\left(\zeta_2, \frac{n}{k} \zeta_1\right),\end{aligned}\quad (2)$$

$$\omega_{\sigma'} = \frac{\tau_2'}{4} \left\{ 1 - \frac{16}{\pi^2} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{nk} \sin(\pi n s_2) \sin(\pi k s_1) \Delta\left(\zeta_2, \frac{n}{k} \zeta_1\right) \right\}, \quad (3)$$

где $\tau_2' = l'/h_2 = \sigma'/4\pi M_{s2}^2 h_2$.

Из выражений (2 и 3) следует, что взаимодействие между решетками приводит к изменению средней плотности энергии магнитомягкой решетки, если отношение пространственных периодов решеток равно некоторому положительному рациональному числу, т.е. может быть выражено как отношение целых положительных чисел (рис. 2). В этом случае в двойных суммах отличными от нуля будут слагаемые, соответствующие

значениям n и k , отношение которых равно тому же рациональному числу. Количество и величина не равных нулю слагаемых определяется видом этого рационального числа

$$\zeta_2/\zeta_1 = d_2/d_1 = n/k = N + \alpha/\beta, \quad (4)$$

где N, α, β - целые взаимнопростые положительные числа, $\alpha < \beta$, N и α не одновременно могут быть равны нулю, причем при $\alpha = 0$, β следует считать равным единице.

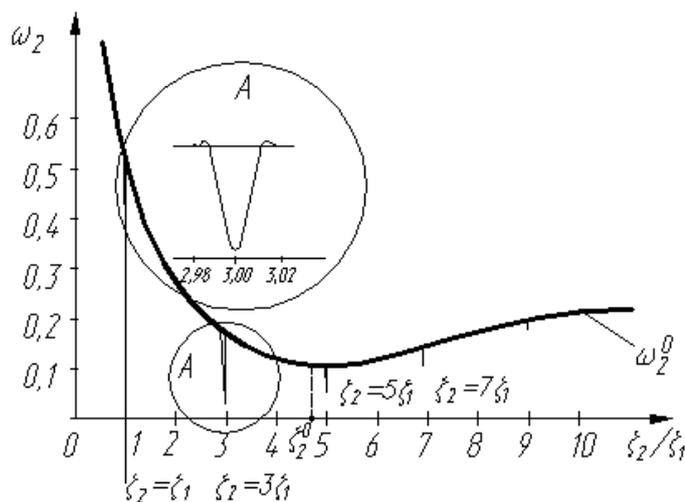


Рис. 2. Зависимость плотности энергии ММР от ее пространственного периода
($\zeta_2 = d_2/h_2, \zeta_1 = d_1/h_2$)

Слагаемые, остающиеся при этом в двойных суммах (2, 3), характеризуются величинами n и k , удовлетворяющими соотношениям

$$\begin{cases} n = l\beta, \\ k = l(N\beta + \alpha), l = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

Двойное суммирование по n и k в (2, 3) при этом сводится к суммированию по индексу l от 1 до ∞ . Кроме того, можно сделать заключение, что величина двойной суммы оказывается обратно пропорциональной произведению $(N\beta + \alpha)^2 \beta$ в выражении (2) и произведению $(N\beta + \alpha) \beta$ в выражении (3). Теперь становится очевидным, что наиболее сильные возмущения кривой плотности энергии магнитомягкой решетки ω_2^0 должны наблюдаться при отношениях пространственных периодов решеток, равным целым числам.

Скачкообразный (локальный) характер изменения плотности энергии $\omega_2(\zeta_2)$ при $\zeta_2 = (N + \frac{\alpha}{\beta})\zeta_1$ является следствием неограниченных размеров решеток в плоскости X1OX2 (рис. 1). Если же размер взаимодействующих решеток ограничен вдоль оси OX1 и

равен L , то ширина областей возмущения кривой $\omega_2^0(\zeta_2)$ перестанет быть равной нулю. Для $d_2 = N d_1$ она может быть оценена по формуле

$$\delta = \frac{2N d_1^2}{d_1 + 4L} \approx \frac{d_1 d_2}{L}.$$

При $d_1 = 1$ мкм, $L \gg 100$ мкм и $N = 1$ получаем $\delta \approx -0,5 \cdot 10^{-3}$ мкм. Влияние на величину ω_2 полей рассеяния от краев магнитных решеток не учитывалось, которые также приводят к уширению минимумов энергии. Конечность ширины областей возмущения кривой ω_2 отражена на рис. 2. путем увеличения масштаба вдоль оси пространственных периодов в окрестности точки $d_2/d_1 = 3$.

Таким образом, в соответствии с вышеизложенным, в полях рассеяния от магнитотвердых решеток оказываются устойчивыми магнитомягкие решетки, пространственные периоды которых удовлетворяют соотношению (4). Из указанных решеток в пленке реализуется та, которой соответствует абсолютный минимум энергии. Для адекватной перезаписи информации из регистрирующего магнитотвердого слоя в визуализирующий магнитомягкий слой необходимо, чтобы решетке с периодом $d_2 = d_1$ соответствовал не просто минимум, а абсолютный минимум плотности энергии ω_2 . Кроме того, необходимо, чтобы он достигался при $s_2 = s_1$. В общем случае адекватность воспроизведения не нарушается, если между величиной s_1 и s_2 , соответствующей минимуму ω_2 , наблюдается близкое к линейному соответствие ($s_2 = s_1^0 + K s_1$) с коэффициентом K незначительно меньшим единицы. Эти условия выполняются в определенном диапазоне пространственных периодов магнитотвердой решетки $[d_{1\min}, d_{1\max}]$, границы которого резко зависят от величины параметров двуслойной магнитной среды.

Искажения, возникающие при визуализации магнитных сигналограмм

При визуализации магнитных сигналограмм с регистрирующего магнитотвердого слоя возможны следующие виды искажений, которые ограничивают диапазон пространственных периодов $[d_{1\min}, d_{1\max}]$:

- 1) «кратное умножение периода» - ограничивают диапазон пространственных периодов $[d'_{1\min}, d'_{1\max}]$;
- 2) «синусоидальное» искажение доменных стенок - ограничивают диапазон пространственных периодов $[d''_{1\min}, d''_{1\max}]$;
- 3) искажения типа «перетяжек» - ограничивают диапазон пространственных периодов $[d'''_{1\min}, d'''_{1\max}]$.

В первом случае искажения являются следствием неравенства $s_2 \neq s_1$. Расчет величин $d'_{1\min}$ и $d'_{1\max}$ может быть произведен путем численного сравнения локальных минимумов плотностей энергии магнитомягкой решетки при значениях $d_2 = (N + \frac{\alpha}{\beta})d_1$ и $d_2 = d_2^0$. Результаты численных расчетов приводят к выводу, если d_1 больше $d'_{1\max}$ или меньше $d'_{1\min}$, то плотность энергии магнитомягкой решетки с пространственным периодом $d_2 = d_1$ оказывается не минимально возможной, и в визуализирующей пленке будет реализовываться решетка с $d_2 \neq d_1$.

Различие пространственных периодов магнитомягкой решетки и магнитотвердой решетки является не единственным типом искажений, встречающимся в реальных образцах двуслойных магнитных сред. На рис. 3 представлены возможные типы искажений.

Несовпадение конфигураций решеток проявляется также в виде волнообразного искривления (синусоидальной неустойчивости) доменных стенок магнитомягкой решетки или в виде большого числа узких участков доменной структуры – «перетяжек». Синусоидальная неустойчивость возникает при увеличении периода d_1 (рис. 3, г). «Перетяжки» соединяют одинаковым образом намагниченные полосовые домены магнитомягкой решетки (рис. 3, в).

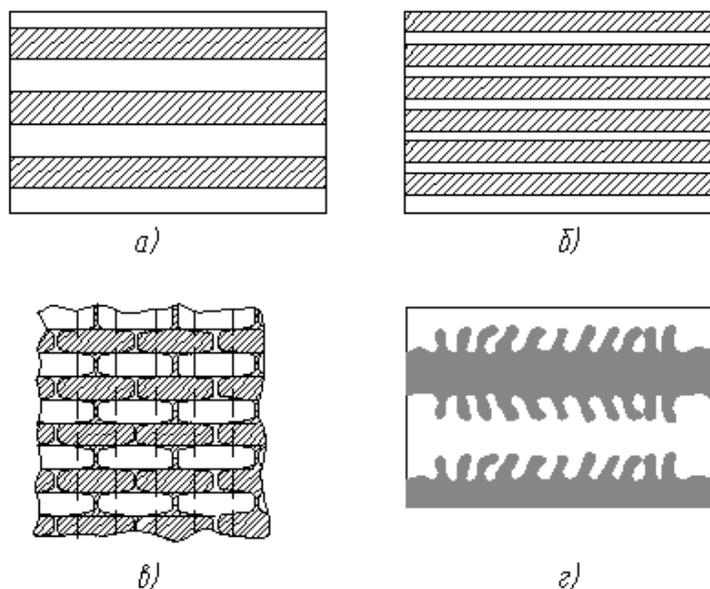


Рис. 3. Возможные типы искажений конфигурации визуализированных магнитных решеток. а) неискаженная визуализация; б) «кратное умножение периода» визуализированной решетки; в) искажения типа «перетяжек»; г) «синусоидальное» искажение доменных стенок

Волнообразное искривление плоских доменных границ наблюдалось и раньше, и было теоретически обосновано в работе [8]. Причиной его возникновения являются пространственно-неоднородные магнитные поля с малой величиной градиента вертикальной составляющей (в частности, если он равен нулю, конфигурации доменной

структуры принимает лабиринтный вид). Критический градиент β_k , при котором энергетически выгодной становится синусоидальная искривленная доменная стенка, может быть найден из соотношений

$$\beta_k = 4\pi^2 M_{s2} h_2^{-1} (h_2/\lambda_c)^2 \left[1 + 0.344 (h_2/\lambda_c)^2 - 0.5\pi^2 (h_2/\lambda_c)^2 \ln(\lambda_c/h_2) \right],$$

$$\pi\tau_2 = \sigma_2/4h_2 M_{s2}^2 = \left[1 + 0.5\pi^2 (h_2/\lambda_c)^2 \ln(\lambda_c/h_2) - 1.247 + 0.892 (h_2/\lambda_c)^2 \right],$$

где λ_c — пространственный период возникающей синусоидальной неустойчивости.

На доменные стенки магнитомягкой решетки действуют пространственно-неоднородные магнитные поля со стороны магнитотвердой решетки. Если величина градиента вертикальной составляющей этого поля оказывается меньше критической — доменные стенки в визуализирующей пленке «синусоидально» искривляются. Диапазон пространственных периодов решетки $[d_{1\min}'' , d_{1\max}'']$, внутри которого синусоидальная неустойчивость не проявляется, может быть найден путем решения неравенства

$$\frac{\partial H_{m1}(4\pi M_{s1}, d_1, x_1)}{\partial x_1} \geq \beta_k(4\pi M_{s1}, \sigma_2, h_2),$$

где $H_{m1}(4\pi M_{s1}, d_1, x_1)$ — усредненная величина вертикальной составляющей поля рассеяния от МТР.

Искажения типа «перетяжек» в иницируемой магнитомягкой решетке являются следствием неполной перестройки первоначальной полосовой или лабиринтной структуры магнитомягкого слоя в доменную структуру, адекватную магнитотвердой решетке. Эксперименты, проведенные ранее, позволяют установить, что перестройка осуществляется путем локального пережима полосовых доменов с намагниченностью, направленной противоположно приложенному в данном месте полю. На рис. 4 показано первоначальное перпендикулярное расположение доменных полосовых решеток в магнитомягких и магнитотвердых слоях. Под действием полей рассеяния от магнитотвердой решетки полосовые домены визуализирующего слоя в окрестности точки «А» начинают сжиматься. При достаточной величине поля происходит разрыв перетяжек и образуется полосовая доменная структура адекватная магнитотвердой решетке. В момент разрыва перетяжки представляют собой узкие полосовые домены и поэтому можно считать, что разрыв происходит, если действующее на полосовой домен магнитное поле в окрестности точки «А» (в этих точках вертикальная составляющая поля рассеяния максимальна), больше поля коллапса (H_k^l) полосового домена, которое может быть рассчитано из соотношений

$$H_k^l = \left[1 - \frac{1}{\pi} (2 \arctg \zeta + \ln(1 - \zeta^2)) \right] 4\pi M_{s2},$$

$$\tau_2 = \left[(1 + \zeta^2) \ln(1 + \zeta^2) - \zeta^2 \ln \zeta^2 \right] / 2\pi,$$

где $\zeta = b/h_2$ — относительная ширина полосового домена — «перетяжки» в момент коллапса [7].

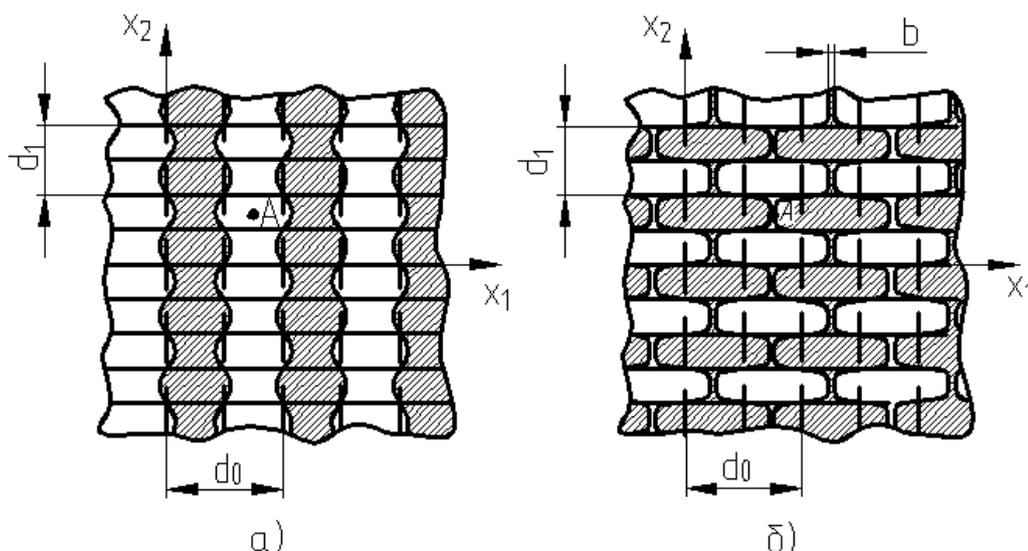


Рис. 4. Действие магнитотвердой решетки с периодом d_1 на магнитомягкую решетку с периодом d_2^0 (решетки расположены ортогонально). Сплошными прямыми линиями показаны магнитные стенки в магнитотвердом слое. Сплошными линиями синусоидально искаженной формы – магнитные стенки в магнитомягкой пленке. Пунктирными линиями показано первоначальное положение доменных стенок в визуализирующем слое.

Штриховкой выделены области магнитомягкой пленки с положительной намагниченностью.

а) – размагничивающие поля от магнитотвердого слоя, $H_{\max} \ll H_k^l$;

б) - размагничивающие поля от магнитотвердого слоя близки к полю коллапса полосовых доменов в магнитомягкой решетке, $H_{\max} \leq H_k^l$.

Решая неравенство, $H_{\max} \geq H_k^l(4\pi M_{s2}, \sigma_2, h_2)$, где H_{\max} - амплитуда усредненной по толщине магнитомягкой пленки вертикальной составляющей магнитного поля рассеяния от магнитотвердой решетки, находим граничные значения $d_{1\min}'''$ и $d_{1\max}'''$ диапазона периодов магнитотвердой решетки, внутри которого искажения типа «перетяжек» не наблюдается.

Выбирая из значений $d_{1\max}'$, $d_{1\max}''$ и $d_{1\max}'''$ минимальное, а из $d_{1\min}'$, $d_{1\min}''$ и $d_{1\min}'''$ - максимальное, получим соответственно граничные значения $d_{1\min}$, $d_{1\max}$ периодов магнитотвердой решетки, в котором будет происходить адекватная перезапись информации из регистрирующего магнитотвердого слоя в визуализирующий магнитомягкий слой. На рис. 5. приведены графики зависимостей $d_{1\min}$ и $d_{1\max}$ от параметров визуализирующего слоя двуслойной магнитной среды типа: пленка MnBi – пленка Vi-содержащего феррит-граната. Легко видеть, что феррит-гранатовая пленка толщиной порядка 2 мкм может визуализировать магнитотвердые решетки, записанные в MnBi слое ($4\pi M_{s1} = 8000$ Гс, $h_1 = 0.06$ мкм, $h_3 = 0.03$ мкм) с периодом от 0,8 до 20 мкм, причем эти уровни разрешающей способности достигаются в пленке с намагниченностью порядка 200 Гс и энергией стенки порядка 0,1 эрг/см².

При намагненности насыщения 100 Гс минимальный период d_{1min} магнитотвердой решетки, позволяющий реализовать неискаженную перезапись в визуализирующий слой, оказывается 1,5 мкм, d_{1max} также возрастает до значений 300 мкм.

Аналогичные расчетные зависимости, построенные для двуслойной магнитной среды с определенными регистрирующими слоями (с учетом необходимой толщины немагнитной прослойки), позволяют в каждом конкретном случае оценить предельные значения разрешающей способности, рассматриваемой двуслойной магнитной среды, и определить величины параметров визуализирующего слоя, при которых достигаются заданные уровни d_{1min} и d_{1max} .

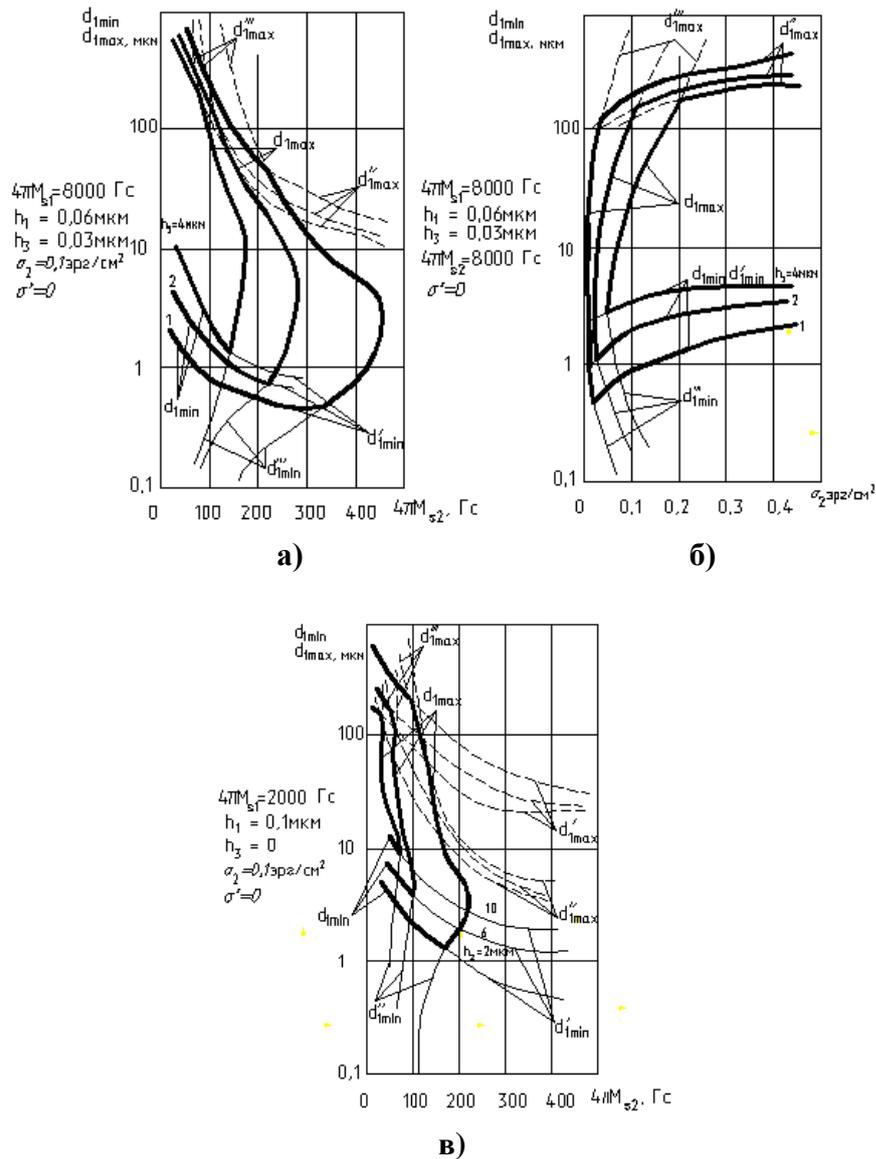


Рис. 5. Граничные значения диапазонов пространственных периодов магнитотвердой решетки, внутри которых происходит адекватная перезапись информации из регистрирующего слоя в визуализирующий слой

- а) $4\pi M_{s1} = 8000$ Гс, $h_1 = 0.06$ мкм, $h_3 = 0.03$ мкм, $\sigma_2 = 0,1$ эрг/см²,
- б) $4\pi M_{s1} = 8000$ Гс, $h_1 = 0.06$ мкм, $h_3 = 0.03$ мкм, $4\pi M_{s2} = 8000$ Гс,
- в) $4\pi M_{s1} = 2000$ Гс, $h_1 = 0.06$ мкм, $h_3 = 0$, $\sigma_2 = 0,1$ эрг/см².

Выбор параметров двуслойной магнитной среды

Величины параметров двуслойной магнитной среды должны выбираться таким образом, чтобы обеспечить определенные требования, предъявляемые к величине эффективности считывания, контрасту визуализированных световых картин, диапазону воспроизводимых пространственных периодов $d1_{\min}$ и $d1_{\max}$ и т.д.

Намагниченность регистрирующего слоя должна выбираться максимально возможной. На практике она определяется составом выбранной регистрирующей пленки.

Толщина прозрачной немагнитной прослойки h_3 должна быть минимально возможной и выбирается отличной от нуля только вследствие необходимости предотвращения химического взаимодействия между магнитными слоями, которое приводит к ухудшению магнитооптических свойств последних.

Целесообразность введения между магнитными слоями отражающей прослойки из алюминия или серебра толщиной сотни ангстрем определяется повышенными требованиями, предъявляемыми к двуслойной магнитной среде при визуализации. Если требуются повышенные уровни оптической эффективности и контраста, а требования к разрешающей способности недостаточно жесткие, введение такого слоя оправдано. Напротив, при визуализации мелкоструктурных информационных изображений введение такого слоя может оказаться недопустимым.

Максимальные уровни оптической эффективности считывания и контраста достигаются в первую очередь путем максимально возможного увеличения магнитооптической добротности визуализирующей пленки.

При выборе длины волны считывающего излучения и толщины магнитооптической пленки следует ориентироваться на максимально возможные величины оптической эффективности, которые однозначно связаны с величиной магнитооптической добротности.

Намагниченность насыщения визуализирующего слоя выбирается так, чтобы $d1_{\min}$ было минимально возможным. Обычно она равняется $150 \div 200$ Гс.

Таким образом, B_i -содержащие МПФГ позволяют проводить, практически независимо, выбор их толщин из соображения максимальной величины магнитооптических характеристик считывания, а намагниченности насыщения и плотности энергии доменных стенок – из соображений удовлетворения требований к разрешающей способности.

Заключение

1. На основе изучения устойчивости конфигураций доменных структур в визуализирующем слое, адекватных распределениям намагниченности в регистрирующем слое, получены соотношения, позволяющие определять диапазон параметров двуслойной магнитной среды, при которых возможна неискаженная перезапись информации из регистрирующего слоя в визуализирующий слой.

2. Рассмотрены различные виды искажений конфигурации иницируемой в визуализирующем слое полосовой доменной структуры.

3. Разработаны рекомендации по выбору величин параметров двуслойных магнитных сред, обеспечивающих заданные уровни оптической эффективности и разрешающей способности при считывании.

Материалы статьи и полученные результаты дают возможность проводить криминалистические экспертные исследования магнитных сигналограмм ленточных носителей аудио- и видео записей.

Список литературы

1. В.В. Рандошкин, А.Я. Червоненкис. Прикладная магнитооптика. М.: Энергоатомиздат, 1990.-320 с.: ил.
2. Б.С. Введенский, Ф.В. Лисовский, А.Я. Червоненкис. Магнитооптическая визуализация магнитной записи. // Техника кино и телевидения. 1978. №6., С. 11-17.
3. Matsuda H., Yamata T. High frequency response of a magneto-optical readout head // IEEE Trans. Magn. 1984. Vol. MAG-17, N 6. P. 3238-3240.
4. Komada O., Minemoto H., Ishizuka S. Application of bismuth-substituted iron garnet films to magnetic field sensors // J/ Magn. Soc. Jap. 1987. Vol.11. Suppl. NS1. P. 1001-1004.
5. Балбашов А.М., Губарев А.П., Червоненкис А.Я. Полосовые доменные структуры в двуслойных магнитных пленках – В сб.: Тезисы докладов V Международной конференции по гиромангнитной электронике и электродинамике Вильнюс: 1980, т. 3, с. 187-195.
6. Браун У.Ф. Микромагнетизм / пер. с англ. под ред. А.Г. Гуревича. – М.: Наука, 1979.- 160 с.
7. Кооу С. and Еуз Н. Experimental and theoretical study of the domain configuration in thin layers of BaFe₁₂O₁₉. – Philips Res. Reports., 1960, v.15, p. 7-29.
8. Schlömann E. Wave propagation along domain walls in magnetic films. – IEEE Trans. on Magn., 1974, Vol. MAG-10, n.1, p. 11-17.

Assessment of resolving power for double-layer magnetic structures.

77-30569/339881

02, February 2012

Odinokov S.B., Kuznecov A.S.

Bauman Moscow State Technical University

kus_a_s@mail.ru

odinokov@bmstu.ru

The article considers quality assessment criteria for recording/reading process of magnetic signalograms with correct information read-out. The authors analyzed the distortions arising during magnetic signalogram visualization. The article describes boundary conditions allowing to determine boundary values of spatial periods of recorded magnetic signalograms to which undistorted information corresponds. Recommendations on selection of double-layer magnetic materials parameters are given. The degree of the optical efficiency for reading process, image contrast and range of the reproducing of spatial periods is determined with the usage of these parameters.

Publications with keywords: [magnetooptics](#), [magnetic signalogram](#), [2-layer magnetic media](#)

Publications with words: [magnetooptics](#), [magnetic signalogram](#), [2-layer magnetic media](#)

References

1. Randoshkin V.V., Chervonenkis A.Ia. *Prikladnaia magnitooptika* [Applied magneto-optics]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1990. 320 p.
2. Vvedenskii B.S., Lisovskii F.V., Chervonenkis A.Ia. Magnitoopticheskaia vizualizatsiia magnitnoi zapisi [Magneto-optical visualization of magnetic recording]. *Tekhnika kino i televideniia*, 1978, no. 6, pp. 11-17.
3. Matsuda H., Yamata T. High frequency response of a magneto-optical readout head. *IEEE Transactions on Magnetics*, 1984, vol. MAG-17, no. 6, pp. 3238-3240.
4. Komada O., Minemoto H., Ishizuka S. Application of bismuth-substituted iron garnet films to magnetic field sensors. *Journal of the Magnetics Society of Japan*, 1987, vol. 11, Suppl. NS1, pp. 1001-1004.
5. Balbashov A.M., Gubarev A.P., Chervonenkis A.Ia. Polosovye domennye struktury v dvusloinykh magnitnykh plenkakh [Stripe domain structures in double-layer magnetic films]. 5 *Mezhdunar. konf. po giromagnitnoi elektronike i elektrodinamike. Tez. dokl.* [5th Int. Conf. on Gyromagnetic Electronics and Electrodynamics. Abstr.]. Vil'nius, 1980, vol. 3, pp. 187-195.
6. Brown W.F. *Micromagnetics*. Krieger Pub. Co., 1978. 143 p. (Russ. ed.: Braun U.F. *Mikromagnetizm*. Moscow, Nauka Publ., 1979. 160 p.).

7. Kooy C., Euz H. Experimental and theoretical study of the domain configuration in thin layers of BaFe₁₂O₁₉. *Philips Research Reports*, 1960, vol. 15, pp. 7-29.
8. Schlomann E. Wave propagation along domain walls in magnetic films. *IEEE Transactions on Magnetism*, 1974, vol. MAG-10, no. 1, pp. 11-17.