

06

## Термомагнитная запись и стирание информации в пленочных структурах DyCo/NiFe(TbFe/NiFe)

© В.А. Середкин, С.В. Столяр, Г.И. Фролов, В.Ю. Яковчук

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск,  
Академгородок  
Красноярский государственный университет  
E-mail: sva@iph.krasn.ru

Поступило в Редакцию 12 апреля 2004 г.

Предложен новый принцип записи и стирания информации, основанный на использовании обменной связи между слоями с ортогональной ориентацией эффективных намагниченностей, позволяющий значительно снизить энергозатраты. Исследованы возможности использования двухслойных магнитных пленок (РЗМ–ПМ)/NiFe, обладающих однонаправленной анизотропией, в качестве сред для термомагнитной записи и стирания магнитооптической информации.

Одноосные аморфные ферромагнитные пленки редкоземельных и переходных металлов (РЗМ–ПМ) с перпендикулярной магнитной анизотропией, такие как TbFe, TbFeCo, DyCo, DyFeCo и др. получили наибольшее распространение в качестве сред для термомагнитной записи и стирания магнитооптической (МО) информации [1–4]. Пленки этих соединений в области компенсационных составов обладают высокими значениями перпендикулярной магнитной анизотропии ( $K_{\perp} = 10^5 - 10^6 \text{ erg/cm}^3$ ), достаточными значениями магнитооптических эффектов, приемлемым диапазоном температур и линейного разрешения при термомагнитной записи и стирании информации. Однако при этом необходимо прикладывать внешнее магнитное поле записи (стирания)  $H_w$  относительно большой величины ( $3 \cdot 10^4 - 6 \cdot 10^4 \text{ A/m}$ ), при меньших значениях которого не достигается насыщенного состояния магнитного домена в записанном участке [5]. Отрицательным фактором является также и большое время перехода от записи к стиранию, которое лимитируется индуктивностью обмотки источника магнитного поля записи/стирания [4], что ограничивает быстродействие

реальных устройств, использующих такие среды. В связи с этим поиск новых, более эффективных, магнитооптических материалов и принципов записи является актуальной задачей.

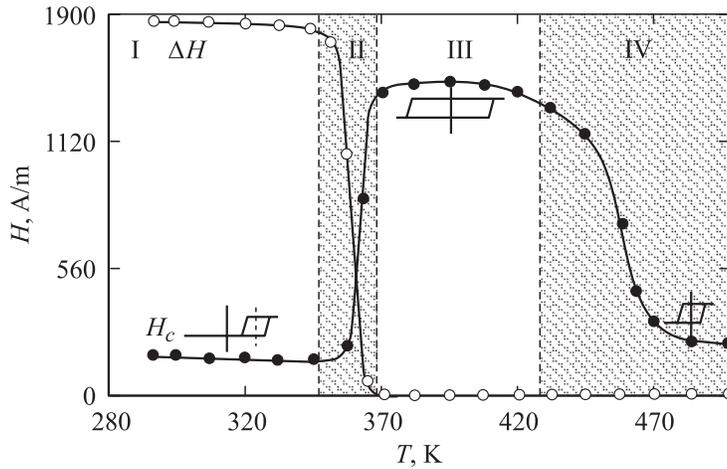
Одним из направлений решения поставленной задачи предлагается использование явления однонаправленной анизотропии в обменно-связанных слоях с различным магнитным порядком.

Нами впервые были получены двухслойные пленочные структуры TbFe/NiFe и DyCo/NiFe, обладающие однонаправленной анизотропией в плоскости образца, причем эффективные намагниченности в слоях DyCo(TbFe) и NiFe ортогональны друг другу [6,7].

Неожиданным является сам факт образования однонаправленной анизотропии, когда ориентации векторов эффективных намагниченностей индивидуальных слоев взаимно ортогональны и, следовательно, обменно не связаны ( $J\mathbf{M}_1\mathbf{M}_2 = JM_1M_2 \cos(M_1 \wedge M_2)$ ). Поэтому однонаправленная анизотропия, наблюдаемая в рассматриваемых двухслойных системах, интерпретироваться в рамках известных представлений не может [8], хотя понятно, что наблюдаемые эффекты непосредственно связаны только с магнитной структурой слоя РЗМ–ПМ.

В результате проведенных исследований обнаружено, что направление смещения петли гистерезиса NiFe слоя ( $\Delta H$ ) относительно нуля магнитного поля, при комнатной температуре, однозначно определяется направлением намагниченности в слое РЗМ–ПМ. При размагничивании этого слоя смещение петли гистерезиса слоя NiFe исчезает, коэрцитивная сила ( $H_c$ ) возрастает в несколько раз, а петля гистерезиса становится изотропной в плоскости структуры.

Для объяснения природы этого эффекта были проведены исследования с использованием методов спин-волнового и ферромагнитного резонанса [9]. Было показано, что слой ферромагнетика DyCo(TbFe), характеризующийся интегральной перпендикулярной магнитной анизотропией, представляет собой гетерофазную нанокристаллическую систему, состоящую, как минимум, из двух магнитных фаз. Вектор намагниченности подрешетки 3d металла одной из фаз, составляющих гетерофазную структуру, ферромагнитного сплава параллелен плоскости пленки. Наличие обменного взаимодействия между намагниченностью слоя NiFe и плоскостной составляющей вектора намагниченности гетерофазного слоя РЗМ–ПМ, на наш взгляд, и является причиной возникновения однонаправленной анизотропии в таких системах, которая и в данных структурах имеет обменную природу.



**Рис. 1.** Температурные зависимости коэрцитивной силы  $H_c$  и поля смещения  $\Delta H$  для слоя NiFe в двухслойных пленках DyCo/NiFe(TbFe/NiFe).

Проведены также и температурные исследования зависимостей коэрцитивной силы  $H_c$  и поля смещения  $\Delta H$  для двухслойных пленок DyCo/NiFe. Соответствующие температурные зависимости  $H_c$  и  $\Delta H$  приведены на рис. 1. Для пленок TbFe эти зависимости аналогичны.

Из представленных кривых видно, что в интервале температур 350–370 К (область II, рис. 1) наблюдается резкое изменение величин  $H_c$  и  $\Delta H$ . Коэрцитивная сила при этом возрастает примерно в 10 раз, а смещение петли гистерезиса полностью исчезает. В области III, в диапазоне температур 370–430 К, это состояние примерно сохраняется. При дальнейшем увеличении температуры  $H_c$  слоя NiFe уменьшается почти до исходного значения (область IV).

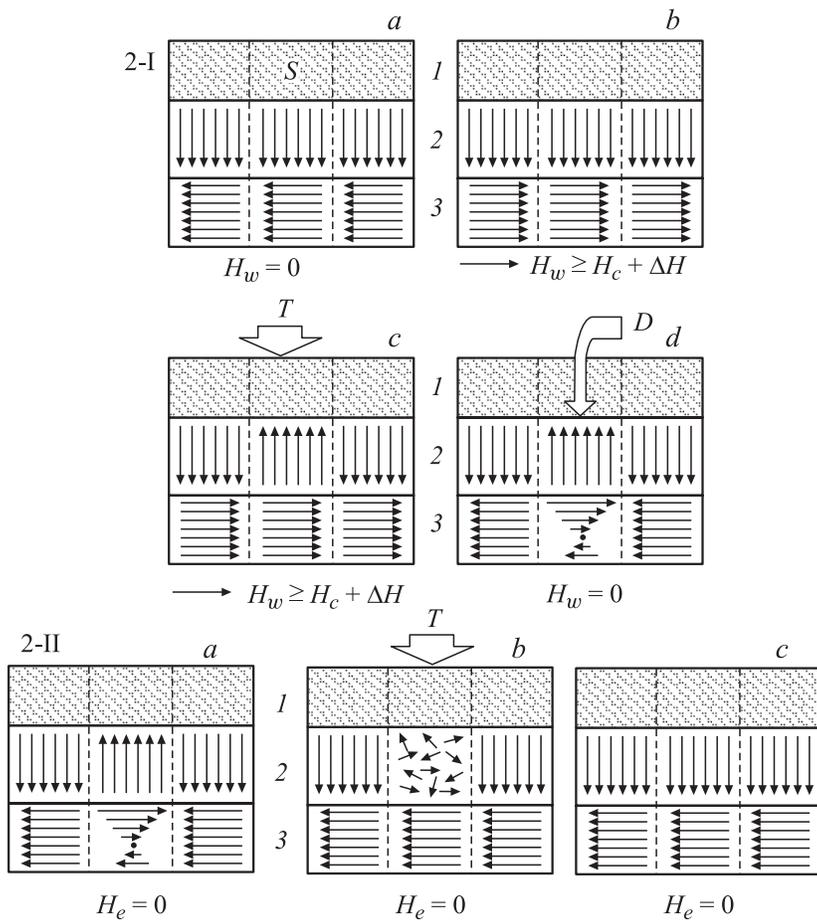
С точки зрения практического применения пленок (РЗМ–ПМ)/NiFe с однонаправленной анизотропией наиболее важными являются области I и III.

В первом случае (область I, рис. 1) в интервале температур от 290 до 345 К (рабочие температуры МО накопителей) величины статических магнитных параметров  $H_c$  и  $\Delta H$  изменяются незначительно, а исходное магнитное состояние слоя РЗМ–ПМ при перемагничивании

слоя NiFe не изменяется. Наблюдаемое увеличение  $H_c$  слоя NiFe в области III связано с тем, что при температурах  $\sim 370$ – $430$  К обменное взаимодействие между слоями РЗМ–ПМ и NiFe еще сохраняется, а коэрцитивная сила РЗМ–ПМ слоя с температурой уменьшается до такой величины, что энергии обменного взаимодействия между ними становится достаточно, чтобы при перемагничивании слоя NiFe происходило перемагничивание слоя РЗМ–ПМ нормально его плоскости. Это надежно фиксируется полярным магнитооптическим эффектом Керра. Понятно, что смещения петли гистерезиса NiFe при этом не будет, т.е.  $\Delta H = 0$ .

Именно этот факт положен в основу нового принципа термомагнитной записи и стирания информации в двухслойных структурах (РЗМ–ПМ)/NiFe с однонаправленной анизотропией. Считывание информации предполагается осуществлять с РЗМ–ПМ слоя с помощью полярного магнитооптического эффекта Керра.

Принцип записи информации поясняется на рис. 2-1. В исходном состоянии (рис. 2-1, *a*) слой РЗМ–ПМ (2) находится в насыщенном состоянии с направлением намагниченности, например, „вниз“ (основное состояние), при этом слой NiFe (3) за счет обменной связи с ним находится также в насыщенном состоянии с направлением намагниченности „влево“. При наложении внешнего магнитного поля записи  $H_w \geq H_c + \Delta H$  антипараллельно исходному состоянию намагниченности слоя 3 (рис. 2-1, *b*) направление намагниченности этого слоя изменяется на противоположное, при этом состояние намагниченности слоя 2 не меняется, так как величина  $H_w$  много меньше поля анизотропии ( $H_u \geq 8 \cdot 10^5$  А/м) этого слоя. При нагревании локального участка (рис. 2-1, *c*) до любой температуры в рамках области III (рис. 1) магнитное состояние участка слоя 3 при этом не изменяется, так как его температура Кюри значительно выше ( $\sim 835$  К). За счет энергии обменного взаимодействия между слоями 2 и 3 (как отмечалось выше) направление намагниченности в слое 2 изменяется на противоположное („вверх“). При охлаждении участка это состояние сохраняется и при снятии внешнего поля записи  $H_w$ , намагниченность в слое 3 при этом приобретает неравновесную геликоидальную магнитную структуру [10] (рис. 2-1, *d*). Это состояние соответствует записи единицы информации в слое 2. Сформированный таким образом домен будет всегда находиться в насыщенном состоянии, так как такое состояние намагниченности в записанных участках в нашем случае обеспечивается иным, чем



**Рис. 2.** Принцип записи (2-I) и стирания (2-II) магнитооптической информации в двухслойных пленках DyCo/NiFe(TbFe/NiFe).  $S$  — подложка;  $T$  — нагрев,  $D$  — домен.

в [5], механизмом формирования доменов, при котором обменное взаимодействие между однородно намагниченным слоем 3 и слоем 2 препятствует образованию многодоменной магнитной структуры в процессе формирования информационного домена.

Принцип стирания сформированных доменов поясняется на рис. 2-II. Магнитное поле стирания ( $H_e$ ) в этом случае отсутствует. Исходное состояние магнитной структуры представлено на рис. 2-II, *a*. При нагревании участка с доменом до температуры, близкой к температуре Кюри  $T_c$  слоя 2 (область IV, рис. 1), этот участок переходит в парамагнитное состояние, а направление намагниченности в участке слоя 3 за счет прямого обменного взаимодействия в NiFe слое переориентируется в соответствии с направлением намагниченности окружающего его массива, т.е. „влево“ (осуществляется переход в равновесное состояние) (рис. 2-II, *b*). При охлаждении нагретого участка в слое 2 за счет энергии обменного взаимодействия со слоем 3 направление намагниченности в нем изменится на противоположное и записанный ранее домен в слое 2 исчезает (рис. 2-II, *c*).

Таким образом, поскольку для записи информации требуемое магнитное поле записи  $H_w \geq (H_c + \Delta H) \approx 2 \cdot 10^3$  А/м много меньше, чем в [5], а для стирания информации магнитное поле вообще не требуется, то энергия магнитного поля, необходимая при записи/стирании информации, существенно уменьшается. В то же время низкие значения магнитного поля при записи позволяют формировать импульсы магнитного поля  $H_w$  длительностью единиц наносекунд, чем обеспечивается более высокое быстродействие. Более высокое быстродействие обеспечивается также отсутствием необходимости коммутации магнитного поля в процессе записи и стирания. Следует особо отметить, что все отмеченные выше положительные качества информационного слоя РЗМ–ПМ сохраняются.

Проведенные нами исследования показали, что в предлагаемых пленочных структурах РЗМ–ПМ/NiFe возможно осуществление иных, в отличие от известных, принципов записи и стирания информации со значительным уменьшением энергопотребления.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 04–02–16099-а.

## Список литературы

- [1] Середкин В.А., Фролов Г.И., Яковчук В.Ю. // ЖТФ. 1984. Т. 54. В. 6. С. 1183–1186.
- [2] Nobiri S. // РЖ Радиотехника. 1985. В. 4. № 4. С. 464.
- [3] Майклдэжон У.М. // ТИИЭР. 1986. Т. 74. № 11. С. 112–125.

- [4] *Xerox Corp.* Пат. США. 1986. G 11B13/04, № 4610009.
- [5] *Гадецкий С.Н., Ступнов Н.В., Зюмкин М.В.* и др. // ФТТ. 1992. Т. 34. № 10. С. 3019–3027.
- [6] *Середкин В.А., Фролов Г.И., Яковчук В.Ю.* // Письма в ЖТФ. 1983. Т. 9. В. 23. С. 1446–1448.
- [7] *Исхаков Р.С., Яковчук В.Ю., Столяр С.В.* и др. // ФТТ. 2001. Т. 43. В. 8. С. 1462–1467.
- [8] *Исхаков Р.С., Середкин В.А., Столяр С.В.* и др. // Письма в ЖЭТФ. 2002. Т. 76. В. 11. С. 779–783.
- [9] *Середкин В.А., Исхаков Р.С., Яковчук В.Ю.* и др. // ФТТ. 2003. Т. 45. В. 5. С. 882–886.
- [10] *Хрусталеv Б.П., Мельник А.С.* // ФММ. 1973. Т. 36. В. 2. С. 435–436.