

05

Исследование механизма обменной связи в ферро-ферритмагнитной пленочной структуре NiFe/DyCo

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

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск
Сибирский государственный аэрокосмический университет
им. Л.В. Решетнева, Красноярск
E-mail: sava@iph.krasn.ru

Поступило в Редакцию 10 августа 2009 г.

Исследовано влияние толщины магнитомягкого слоя на магнитные и магнитооптические свойства обменно-связанной пленочной структуры NiFe/DyCo. Установлено, что при $t_{\text{DyCo}} \sim 400 \text{ \AA}$ однонаправленная анизотропия исчезает, а величина коэрцитивной силы магнитомягкого слоя становится сравнимой с полем смещения. В этом случае намагниченность магнитомягкого слоя практически расположена в плоскости пленки, в то время как в контрольной пленке DyCo наблюдается перпендикулярная анизотропия. Предложена модель магнитного состояния слоев в этой структуре, которая предполагает образование 180° -ной границы в интерфейсе при перемагничивании магнитомягкого слоя.

Эффекты обменного взаимодействия между магнитомягкими и магнитожесткими слоями в пленочной структуре приводят к появлению однонаправленной анизотропии в магнитомягком слое. Несмотря на то что это явление было обнаружено более 50 лет назад [1], механизм формирования однонаправленной анизотропии полностью не установлен.

В начале 80-х гг. была предложена модель, предполагающая образование магнитной переходной области (интерфейса) в магнитожестком слое [2]. Согласно этой модели, толщина интерфейса должна быть равна толщине доменной стенки в магнитожестком слое. В то же время эксперименты, проведенные на ферро-антиферромагнитной структуре, показали, что это условие не выполняется. Толщина интерфейса на порядок меньше ширины доменной стенки [3,4]. Для объяснения этого различия требуется информация о магнитной структуре интерфейса.

Однако решение данной задачи в ферро-антиферромагнитных пленках затруднено из-за его малой толщины ($t_{in} < 50 \text{ \AA}$).

Нами исследован механизм формирования однонаправленной анизотропии в пленочной структуре NiFe/DyCo, где в качестве магнито жесткого слоя используются аморфные сплавы редкоземельных и переходных металлов (РЗМ–ПМ). Отличительными особенностями обменно связанных ферро-ферри магнитных пленок является то, что, с одной стороны, эффективные магнитные моменты в слоях расположены ортогонально (в NiFe слое — в плоскости пленки, а в ферромагнитном РЗМ–ПМ слое — нормально к плоскости), а с другой стороны, величина поля однонаправленной анизотропии (H_E) значительно больше, чем в ферро-антиферромагнитных пленках [5].

В задачу данной работы входило определение толщины интерфейса в пленках NiFe/DyCo, исследование влияния толщины слоя DyCo на магнитные и магнитооптические свойства пленок NiFe/DyCo, исследование магнитной структуры интерфейса.

Для решения поставленных задач использовались индукционная и магнитооптические методики.

Были получены образцы, представляющие собой совмещенные на одной подложке однослойную DyCo (контрольную) и двухслойную NiFe/DyCo пленки (рис. 1, *a*). Толщина DyCo-слоя 700 \AA , NiFe — 1000 \AA . На рис. 1, *b* приведена индукционная петля гистерезиса с NiFe слоя ($H_E \approx 22 \text{ Oe}$, коэрцитивная сила $H_C \approx 2 \text{ Oe}$). Спектральные зависимости полярного эффекта Керра с контрольной пленки и с магнито жесткого слоя структуры NiFe/DyCo, снятые в нормальном к плоскости пленки магнитном поле $H = 14 \text{ kOe}$ в диапазоне длин волн $400\text{--}800 \text{ nm}$, приведены на рис. 2.

Магнитооптические эффекты с этих образцов совпадают при $\lambda = 400 \text{ nm}$. Разница сигналов в диапазоне $\lambda > 400 \text{ nm}$ связывается с тем фактом, что в пленочной структуре NiFe/DyCo при $H > 5 \text{ kOe}$ намагниченность пермаллового слоя устанавливается вдоль нормали к плоскости пленки. При этом изменяется и магнитное состояние в граничных с NiFe слоях DyCo (в интерфейсе). При уменьшении длины волны падающего света отличие магнитооптических эффектов с контрольной пленки и с магнито жесткого слоя структуры NiFe/DyCo уменьшается и при $\lambda \approx 400 \text{ nm}$ они совпадают. Если считать, что в этом случае мы снимаем сигнал с части магнито жесткого слоя, не подверженного влиянию NiFe слоя, то, оценив глубину проникновения

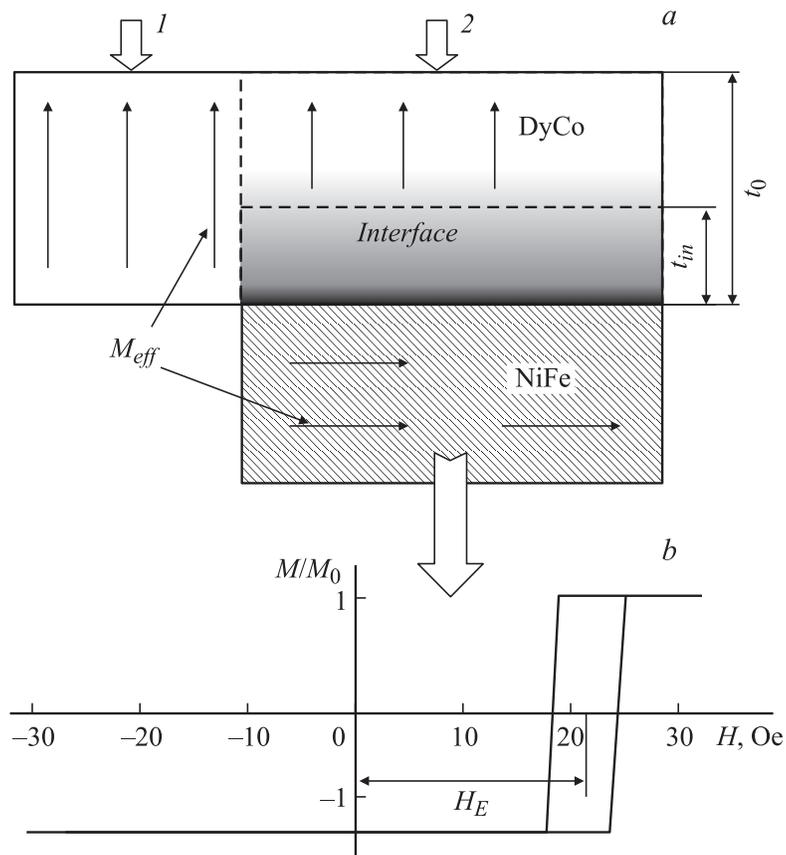


Рис. 1. Поперечный разрез (a) и индукционная петля (b) гистерезиса исследуемых пленок.

света δ для $\lambda = 400$ nm, мы можем определить и толщину интерфейса $t_{in} = t_0 - \delta$ (рис. 1, a). Толщина интерфейса в исследованных образцах составляла $t_{in} \approx 400$ Å. Эта величина примерно в два раза меньше толщины доменной стенки в пленках DyCo.

Для проверки вычисленной толщины интерфейса была напылена серия пленок NiFe/DyCo, в которых толщина магнитомягкого слоя оста-

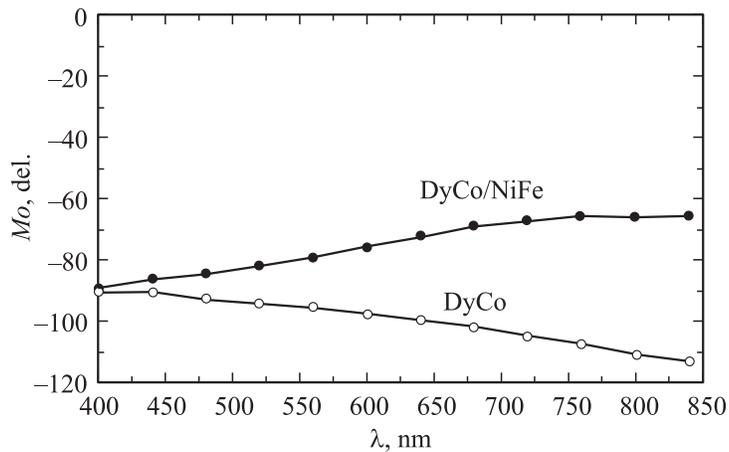


Рис. 2. Спектральная зависимость магнитооптического эффекта Керра в пленке DyCo и в пленочной структуре DyCo/NiFe.

валась постоянной, а толщина DyCo слоя варьировалась в диапазоне $t \geq t_{in}$. На рис. 3 представлены индукционные петли гистерезиса для 2 пленок: 1 — $t_{DyCo} = 700 \text{ \AA}$, 2 — $t_{DyCo} = 400 \text{ \AA}$ ($t_{NiFe} = 300 \text{ \AA}$). В первом образце петля гистерезиса показывает однонаправленную анизотропию ($H_E = 80 \text{ Oe}$), а у 2-й пленки сдвиг петли отсутствует и ее коэрцитивная сила равна полю смещения для пленки 1 ($H_C = H_E$). Как известно, такой результат имеет место, когда толщина магнито жесткого слоя равна толщине интерфейса [4], т.е. для данных пленок $t_{in} \approx 400 \text{ \AA}$, что совпадает с данными, полученными из магнитооптических измерений.

Для интерпретации механизма формирования однонаправленной анизотропии в исследуемых пленках необходима информация о магнитной структуре интерфейса. В связи с этим были проведены исследования по влиянию толщины магнито жесткого слоя на его магнитное состояние. Для этого с DyCo слоя пленок 1 и 2 (рис. 3) снимались магнитооптические петли гистерезиса (полярный эффект Керра) в продольном и перпендикулярном к плоскости пленки магнитных полях ($\lambda = 400 \text{ nm}$). Было установлено, что в образце 2 магнитный

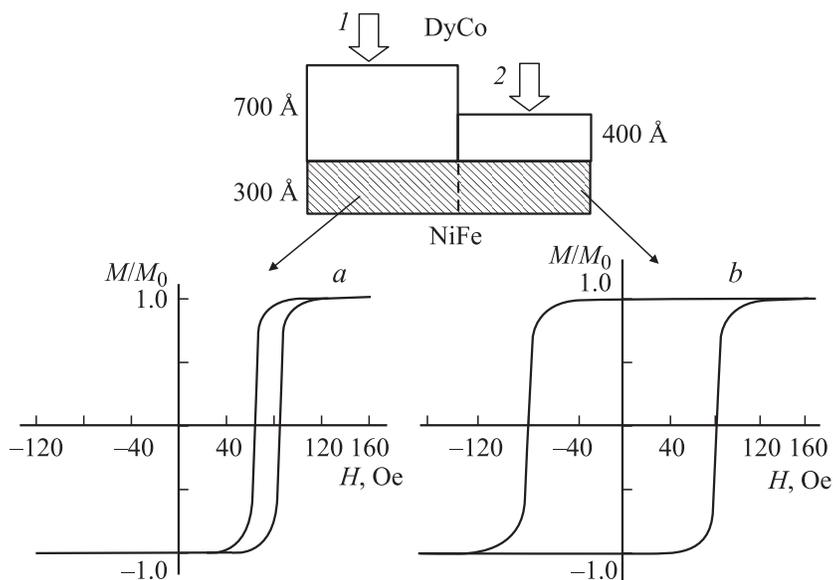


Рис. 3. Вид индукционных петель гистерезиса для пленок NiFe/DyCo с различной толщиной магнитомягкого слоя.

момент слоя DyCo практически расположен в плоскости, а в пленке 1 магнитный момент магнитомягкого слоя направлен по нормали к плоскости.

Таким образом, можно утверждать, что влияние магнитомягкого слоя на DyCo слой в этой структуре приводит к изменению его магнитного состояния на толщинах, сравнимых с t_{in} . Магнитный момент магнитомягкого слоя практически располагается в плоскости образца. В связи с этими данными можно предложить следующую модель магнитного состояния слоев в обменносвязанных пленках NiFe/РЗМ–ПМ (рис. 4). Если пермаллоевый слой находится в намагниченном состоянии, то магнитомягкий слой разбивается на два участка: верхняя часть DyCo слоя имеет намагниченность, перпендикулярную к намагниченности NiFe слоя, а в нижней части DyCo слоя намагниченность меняет свое направление на 90° (рис. 4, а). При перемагничивании пленки в продольном поле $H > H_E$ намагниченность NiFe слоя разворачивается

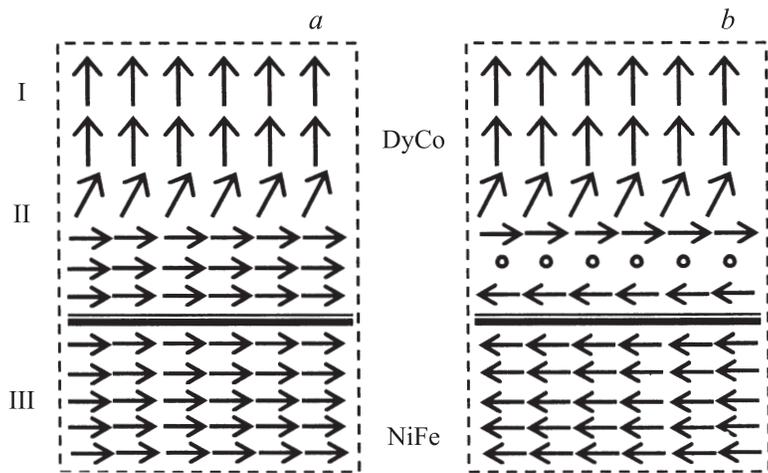


Рис. 4. Магнитное состояние слоев в обменносвязанных пленках NiFe/РЗМ–ПМ.

на 180° , а в переходном слое DyCo возникает 180° -я доменная граница (рис. 4, *b*). Аналогичная картина магнитного состояния интерфейса для пленок NiFe/TbCo была предложена в работе [6]. Однако эти образцы имеют ряд не совсем объяснимых особенностей: во-первых, однонаправленная анизотропия наблюдается только при размагниченном магнитомягком слое и исчезает, когда он намагничен; во-вторых, коэрцитивность NiFe слоя на порядок превышает коэрцитивность обычных пермалловых пленок. Эти данные противоречат результатам, представленным в работах [5,7].

Поэтому для дальнейшей детализации механизма формирования однонаправленной анизотропии в ферро-ферритмагнитных пленочных структурах представляет интерес изучение влияния на эффекты обменного взаимодействия между слоями толщины магнитомягкого слоя в диапазоне $t < t_{in}$, а также толщины магнитомягкого слоя в диапазоне, где нарушается зависимость $H_E = f(1/t_{FM})$.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы „Развитие научного потенциала высшей школы“ (грант РНП 2.1.1/4399).

Список литературы

- [1] *Meiklejohn W.H., Bean C.P.* // Phys. Rev. 1956. V. 102. P. 1413.
- [2] *Mauri D., Siegmann H.C., Bagues P.S., Kay E.* // J. Appl. Phys. 1987. V. 62. P. 3047.
- [3] *Mauri D., Kay E., Scholl D., Howard K.* // J. Appl. Phys. 1987. V. 62. P. 2929.
- [4] *Ali M., Marrows C.H., Hickey B.J.* // Phys. Rev. B. 2003. V. 67. P. 172405.
- [5] *Середкин В.А., Фралов Г.И., Яковчук В.Ю.* // ФММ. 1987. Т. 63. С. 457.
- [6] *Cain W.C., Kryder M.H.* // J. Appl. Phys. 1990. V. 67. P. 5722.
- [7] *Van Dover R.B., Gyorgy E.M.* // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 50. P. 296.