

УДК 537.622.4

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ТРЕХСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ Co-P

© 2009 г. А. В. Чжан^{1,2}, С. Я. Кипарисов¹, В. А. Середкин¹, Г. С. Патрин^{1,2}, М. Г. Пальчик²

E-mail: avchz@mail.ru

Приведены результаты исследований магнитных свойств трехслойной пленочной системы, которая образована из магнито жесткого и магнитомягкого ферромагнитных слоев Co-P и немагнитным промежуточным слоем Ni-P. Определены особенности в изменении смещения петли гистерезиса относительно нулевого значения внешнего магнитного, а также коэрцитивной силы магнитомягкого слоя в зависимости от толщины магнито жесткого и промежуточного слоев. Обнаружены и исследованы динамические изменения в смещении петли гистерезиса магнитомягкого слоя в зависимости от времени его перемагничивания после предварительного насыщения магнито жесткого слоя.

За последние годы значительно вырос интерес к многослойным магнитным пленочным структурам в связи с тем, что в них наблюдаются необычные эффекты, которые не обнаруживаются в объемных материалах [1]. Это вызвало широкий поиск новых технологий и материалов, с помощью которых можно управлять различного рода взаимодействиями между магнитными слоями. В настоящей работе приведены результаты исследований магнитных свойств многослойных тонких пленок, полученных химическим осаждением. Для получения таких структур разработана оригинальная технология химического осаждения как магнитных, так и промежуточного немагнитного слоев.

ИССЛЕДУЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

Исследуемые образцы представляли собой трехслойную структуру, полученную химическим осаждением. В качестве подложки использовано индикаторное стекло фирмы CORNING. На нижний изотропный магнито жесткий слой поликристаллического соединения Co-P [2] толщиной t_{MN} осаждали слой из аморфного соединения Ni-P толщиной t_{NM} . Состав этого слоя выбирали таким образом, чтобы он был немагнитным. Верхний магнитомягкий слой из аморфного Co-P с толщиной t_{MS} имел одноосную анизотропию с легкой осью, параллельной магнитному полю, при котором происходило осаждение. Химический состав слоев контролировали с помощью фотоколметрического и рентгеноспектрального анализов. Для нижнего слоя содержание Co и P в весовых процентах составило 97.5%, P – 2.5%; для – верхнего 94.5% и 5.5%

Измерение петель гистерезиса осуществляли с помощью меридионального эффекта Керра на частоте 0.01 Гц, а также индукционным способом с частотой 50 Гц. Динамические изменения петель гистерезиса визуально наблюдали на экране осциллографа и параллельно регистрировали WEB-камерой с записью в видеофайл.

В исходном состоянии пленки насыщались вдоль легкой оси магнитомягкого слоя постоянным магнитным полем напряженностью 14 кЭ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Магнитные свойства исследуемых трехслойных структур зависят как от магнитных свойств обеих магнитных пленок, так и от толщины промежуточного слоя. В зависимости от этих параметров можно наблюдать либо одну общую петлю гистерезиса, либо от каждого магнитного слоя свою. В исследуемых структурах нижний слой является магнито жестким, и его коэрцитивная сила изменяется от 500 до 1000 Э в зависимости от его толщины. Верхний магнитомягкий слой образован аморфным соединением Co-P. Коэрцитивная сила такой пленки в однослойном состоянии не превышает 10 Э. В связанном состоянии коэрцитивная сила H_c этого слоя зависит от толщины магнито жесткого слоя (рис. 1a). Значение H_c уменьшается от 30 Э при $t_{MN} = 2$ нм до 7 Э при $t_{MN} = 13$ нм и затем вновь увеличивается с ростом толщины магнито жесткого слоя. Такое поведение коэрцитивной силы наблюдается при измерениях магнитооптическим способами и менее выражено при индукционном способе измерений. Наблюдаемые изменения H_c , по всей видимости, объясняются тем, что с увеличением толщины магнито жесткого слоя уменьшается его неоднородность и, как следствие, неоднородность промежуточного слоя. Уменьшение коэрцитивной силы хорошо коррелирует с изменениями рельефа поверхности магнито жесткого

¹ Учреждение Российской академии наук Институт физики им. Л.В.Киренского СО РАН, Красноярск.

² Сибирский федеральный университет, Красноярск.

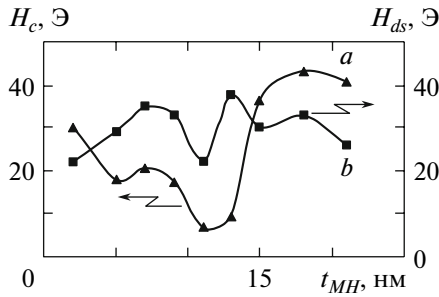


Рис. 1. Зависимость коэрцитивной силы (a) и поля смещения (b) от толщины магнито жесткого слоя. $t_{NM} = 1$ нм, $t_{MS} = 20$ нм.

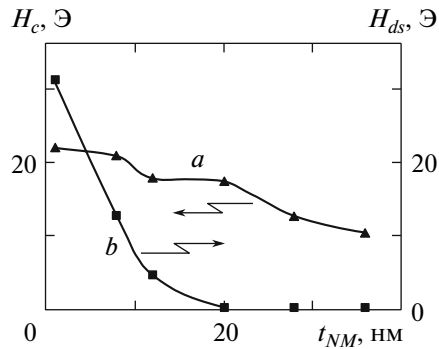


Рис. 2. Зависимость коэрцитивной силы (a) и поля смещения (b) от толщины промежуточного слоя. $t_{MH} = 12$ нм, $t_{MS} = 20$ нм.

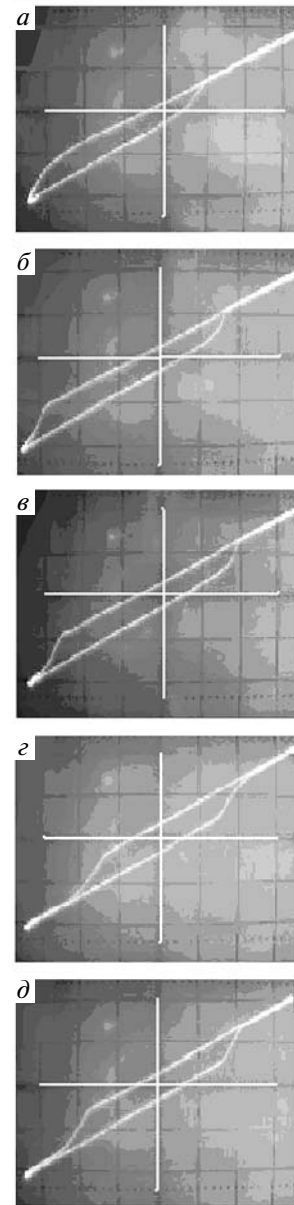


Рис. 3. Изменения петли гистерезиса трехслойной системы в зависимости от времени перемagnetирования после насыщения в постоянном поле. a – $\tau = 0$ с, б – $\tau = 7$ с, в – $\tau = 16$ с, г – $\tau = 60$ с, д – $\tau = 540$ с. $t_{MH} = 7$ нм, $t_{NM} = 1$ нм, $t_{MS} = 12$ нм.

слоя, которые определяли с помощью электронно-микроскопических наблюдений.

Петля гистерезиса магнитомягкого слоя смещена относительно нулевого значения внешнего магнитного поля h на величину H_{ds} . Смещение петель гистерезиса происходило в противоположную сторону относительно намагниченности магнито жесткого слоя или, согласно терминологии [3], в положительном направлении. Значения H_{ds} в зависимости от толщины магнито жесткого слоя представлены на рис. 1б.

Смещение петли гистерезиса в трехслойных магнитных пленках с немагнитной или слабомагнитной прослойкой может обуславливаться самыми различными физическими механизмами. Причинами смещения петли гистерезиса могут быть неоднородности промежуточного слоя и возможные локальные микроотверстия, магнитостатическая связь через слабоферромагнитную прослойку, а также обменное взаимодействие между магнитными слоями. Магнитостатическое взаимодействие магнитных слоев в данном случае можно ис-

ключить, так как оно должно привести к смещению петли гистерезиса в отрицательную сторону и зависеть от геометрических размеров в плоскости образца, что исключается экспериментальными наблюдениями.

Значение коэрцитивной силы H_c и поля смещения H_{ds} менялись в зависимости от толщины промежуточного слоя, как показано на рис. 2 соответствующими кривыми a и b.

Следует отметить, что изменение толщины промежуточного слоя в указанных пределах ока-

зывает слабое влияние на величину коэрцитивной силы магнитомягкого слоя по сравнению с изменениями поля смещения. Такое поведение петли гистерезиса указывает на то, что эффекты неоднородности поверхности промежуточного слоя не оказывают существенного влияния на смещение петель гистерезиса. Следовательно, основными причинами смещения петли гистерезиса могут быть либо обменное взаимодействие между ферромагнитными слоями, либо связь этих слоев через слабомангнитную прослойку.

На существенное влияние сил взаимодействия обменной природы могут указывать эффекты магнитного последствия, обнаруживаемые в настоящей системе по изменению величины поля смещения от времени перемагничивания t (рис. 3). В исходном состоянии система насыщалась в легком направлении магнитным полем 14 кЭ. Как следует из рис. 3, с течением времени перемагничивания смещение петли уменьшается и исчезает полностью. Период времени, в течение которого наблюдаются такие трансформации петель гистерезиса, зависит от толщины магнито жесткого слоя. Так, для структуры с толщиной 7 нм время полного изменения петли составляет ~9 мин, а при толщине 9 нм — ~25 мин. Это время уменьшается с ростом амплитуды магнитного поля. Для структуры с $t_{\text{МН}} = 7$ нм при амплитуде магнитного поля 250 Э петля не смещается уже при времени перемагничивания ~10 с. В таком состоянии система может

находиться как угодно долго, и, чтобы она приобрела первоначальные свойства, необходимо приложить достаточно сильное магнитное поле в легком направлении.

Магнитное последствие подобного вида было впервые обнаружено в системах с ферро- и антиферромагнитной связью (с обменной анизотропией). Такой вид последствия получил название необыкновенного и является универсальным свойством для многослойных пленок с обменной анизотропией. Необыкновенное последствие обусловлено вращательным гистерезисом, который вызван изменениями в обменной анизотропии.

Наблюдаемое нами магнитное последствие носит во многом аналогичный характер с необыкновенным последствием. Этот факт представляется не совсем понятным, так как в исследуемой структуре имеет место обменное взаимодействие ферромагнитного типа.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, грант № 08-02-00397а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Grunberg P., Burgler D.E., Dassow H. et al. // Acta Mater.* 2007. V. 55. P. 1171.
2. *Вершинин В.В., Купарисов С.Я., Патрин Г.С. и др. // ФММ.* 2007. Т. 103. № 5. С. 493.
3. *Йелон А.* Физика тонких пленок. Т. 6. М.: Мир, 1973. С. 229.