

УДК 537.623

СИНТЕЗ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК $(\text{CoNiP}_{\text{soft}}/\text{CoP}_{\text{hard}})_n$

© 2013 г. Г. С. Патрин^{1,2}, М. Г. Пальчик^{1,2}, Д. А. Балаев^{1,2}, С. Я. Кипарисов¹

E-mail: patrin@iph.krasn.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований магнитных взаимодействий многослойных пленок в системе Co–Ni–P, когда один из слоев магнитомягкий, а другой магнито жесткий. Обнаружены изменение формы петли намагничивания при сопряжении магнитомягкого и магнито жесткого слоев, и осцилляция поля насыщения в зависимости от числа пар слоев.

DOI: 10.7868/S0367676513090366

Интерес к системам, обладающим спин-вентильным эффектом, обусловлен их практическим использованием в устройствах спиновой электроники [1]. На первый план здесь выходит проблема создания спин-поляризованных электронов. Пленочные системы, показывающие эффект обменного смещения, – удобные объекты для решения этой задачи. Межслоевое взаимодействие в таких системах ответственно за формирование магнитного состояния. Именно изучению механизмов намагничивания в многослойных пленочных структурах с чередующимися слоями из магнитомягкого и магнито жесткого слоев и посвящено данное сообщение.

Пленки $(\text{CoNiP}_{\text{soft}}/\text{CoP}_{\text{hard}})_n$ были получены методом химического осаждения. Содержание фосфора во всех слоях составляло 8 ат. %. В магнито жестким слое CoP был в гексагональном поликристаллическом состоянии, в магнитомягком слое CoNiP находился в аморфном состоянии. В последнем случае содержание кобальта было 57.5 ат. %, а никеля – 24.5 ат. %. Толщина каждого слоя была $t = 4$ нм. Такой состав слоев был выбран потому, что при сопряжении магнитомягкого CoNiP и магнито жесткого CoP слоев нет резкого изменения структуры на интерфейсе. В таком случае вкладом от границы раздела между слоями можно пренебречь и принимать во внимание только межслоевые взаимодействия и собственно магнитные свойства слоев многослойной структуры. Измерения проводили на вибрационном магнетометре в температурном интервале $T = 77$ ч 400 К и в магнитных полях $H < 10$ кЭ. Мы исследовали изменения магнитных свойств в зависимости

от количества слоев в мультислойной структуре. В наших экспериментах число пар слоев $n \leq 15$.

Для одиночного магнитомягкого слоя CoNiP температурное поведение петель намагниченности носит характер типичный для магнитомягкого ферромагнетика (см. рис. 1, часть 1), при этом коэрцитивная сила ($H_C(T = 77.4 \text{ К}) \cong 15$ Э) уменьшается более чем на порядок при повышении температуры от азотной до комнатной. Анизотропия в плоскости пленки не наблюдается. Для одиночного магнито жесткого слоя CoP поведение также является ферромагнитным, только в этом случае ($H_C(T = 77.4 \text{ К}) \cong 950$ Э) и изменение H_C , при повышении температуры от азотной до комнатной, происходит примерно в 2 раза (см. рис. 1, часть 2). Ситуация заметно меняется, когда из этих слоев складывается сэндвич (см. рис. 1, часть 3). Видно, что кривая намагничивания имеет вид наложения двух петель. Однако это не алгебраическая сумма исходных кривых, так как внутренняя петля уширена по сравнению с исходной магнитомягкой кривой, а внешняя кривая заметно сужена. Если проследить за температурным изменением петель намагниченности, то (на рис. 2) видно, что наиболее температурно-чувствительной является та часть, которая произошла от магнито жесткого слоя. Дальнейшее увеличение пар слоев (n) ведет к тому, что эта особенность в виде “ступеньки” сглаживается. Так при $n = 5$ ширина гистерезиса меньше, чем при $n = 1$, но при увеличении n до 10 ширина увеличивается, и эта величина практически не меняется в дальнейшем, достигая насыщения при $n = 15$. Зависимость от количества слоев в структуре проявляется в изменении характера поведения магнитных параметров, в частности, коэрцитивной силы (см. рис. 3).

Ранее [2] было установлено, что коэрцитивная сила слоев CoP зависит от толщины слоя (в области толщин t от 4 до 50 нм) растет при увеличении толщины слоя. Это связано с тем, что с ростом толщины пленки увеличивается размер гранул и,

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук, Красноярск.

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования “Сибирский федеральный университет”, Красноярск.

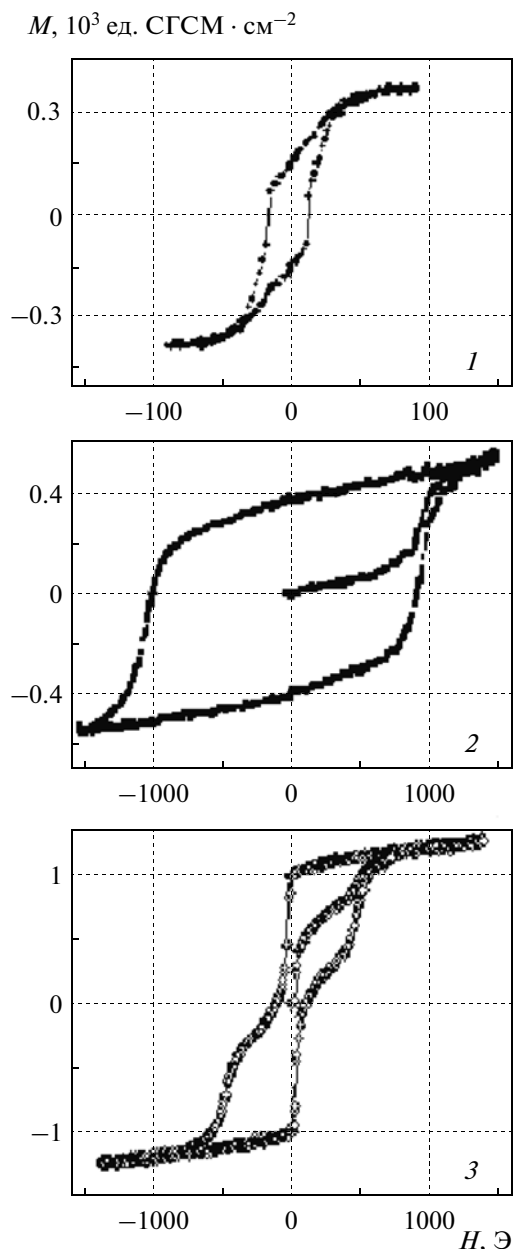


Рис. 1. Полевые зависимости намагниченности пленок: 1 – CoNiP, 2 – CoP, 3 – CoNiP_{soft}/CoP_{hard}; T = 77 К.

как следствие, одноосная анизотропия гранулы. Отметим еще один интересный момент, связанный с поведением поля насыщения намагничивания. Так, поле насыщения (H_S) пленок с нечетным выше, чем с четным числом, и просматривается зависимость типа затухающих колебаний. Полученные результаты указывают на то, что межслоевое взаимодействие по порядку величины сравнимо с внутрислоевым обменным взаимодействием. Зависимости на рис. 2 можно понять, считая, что магнитомягкий слой за счет межслоевого обменного взаимодействия подмагничивает магнито жесткий слой, что ведет к

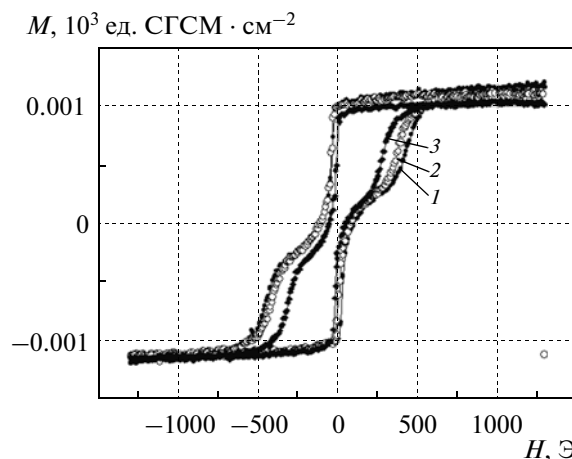


Рис. 2. Петли намагниченности пленки (CoNiP/Co). 1–3 – T = 110, 210, 300 К.

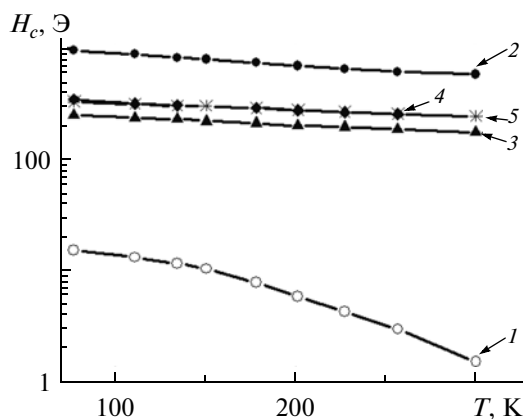


Рис. 3. Температурная зависимость коэрцитивной силы. 1 – soft, 2 – hard, 3 – n = 5, 4 – n = 10, 5 – n = 15.

уменьшению поля насыщения. В случае многослойных структур экспериментальные результаты можно объяснить, предполагая, что в структурах с нечетным количеством пар существует нескомпенсированный вклад. Если считать, что этот вклад связан с анизотропией гранул, то независимо от количества слоев должна быть полная компенсация. Другой механизм может быть связан с существованием либо отрицательного обменного взаимодействия между магнито жесткими слоями через магнитомягкий слой, либо отрицательного биквадратичного обмена между магнитомягким и магнито жестким слоями.

Настоящие исследования ведутся при финансовой поддержке РФФИ (грант № 11-02-00675-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zutic I., Fabian J., Das Sarma S. // Rev. Mod. Phys. 2004. V. 76. № 2. P. 323.
2. Чжан А.В., Патрин Г.С., Купарисов С.Я. и др. // ФММ. 2010. Т. 109. № 6. С. 1.