

ОСЦИЛЛЯЦИИ ФАРАДЕЕВСКОГО ВРАЩЕНИЯ В МУЛЬТИСЛОЙНЫХ ПЛЕНКАХ Co/Pd

Р.С.Исхаков¹⁾, Ж.М.Мороз, И.С.Эдельман, Л.А.Чеканова

*Институт физики им. Л.В.Киренского СО РАН
660036 Красноярск, Россия*

Поступила в редакцию 8 апреля 1996 г.

Обнаружены осцилляции фарадеевского вращения по толщине слоев Pd в мультислойных пленках Co/Pd. Прослежена корреляция между поведением фарадеевского вращения в зависимости от толщины слоев Pb и величиной поля насыщения, определенной из полевых зависимостей фарадеевского вращения.

PACS: 78.20.Ls

В теоретических и экспериментальных работах последних лет отмечено существенное влияние Pd на свойства мультислойных пленок и сэндвичей, включающих слои Pd и слои ферромагнитного металла. В частности, в мультислоях Co/Pd наблюдалось возрастание полярного эффекта Керра в коротковолновой области спектра [1] по сравнению с эффектом Керра (ЭК) в сплошных пленках Co, в [2] обнаружено несоответствие полярного и меридионального ЭК в мультислоях Ni/Pd, которое не может быть описано в рамках феноменологической теории, в [3] получена немонотонная зависимость величины экваториального ЭК от толщины слоев Pd (в пределах толщин Pd до 1.7 нм) в мультислоях Co/Pd. Фарадеевское вращение (ФВ) в системах Pd/ферромагнитный металл до сих пор не исследовалось.

Нами на пленках Co/Pd, полученных на стеклянных подложках методом химического осаждения, были измерены полевая зависимость ФВ при нормальном на магничивании и дисперсия ФВ в области энергий от 1.2 до 2.3 эВ. Образцы состояли из трех пар слоев Co с постоянной толщиной $d_1 = 5$ нм и Pd с толщиной d_2 , изменяющейся от 0.5 до 4 нм. Оба металла имели ГЦК структуру. Для Co она обеспечивалась введением фосфора в количестве 8 ат.%. ФВ измерялось нулевой методикой с точностью 0.2 мин, магнитное поле, нормальное плоскости образца, изменялось от 0 до 22 кЭ и измерялось с точностью 20 Э.

На рис.1 представлены величины ФВ (усредненного по интервалу энергий 1.45–1.9 эВ) в насыщенных образцах, различающихся по толщине слоев Pd. Видно, что: 1) зависимость ФВ от толщины d_2 слоев Pd немонотонна; 2) эта зависимость может быть разложена на линейную функцию, убывающую с градиентом приблизительно $0.2 \cdot 10^5$, на 1 нм Pd и осциллирующую часть; 3) амплитуда осцилляций ФВ по отношению к линейной части ФВ составляет порядка 20%; 4) период осцилляций (усредненный по точкам максимума и минимума зависимости ФВ от толщины слоев Pd) равен 1.4 нм. Как известно, ФВ пропорционально намагниченности материала M:

$$\alpha_F = K(\omega)Md, \quad (1)$$

¹⁾e-mail: ise@iph.krasnoyarsk.su

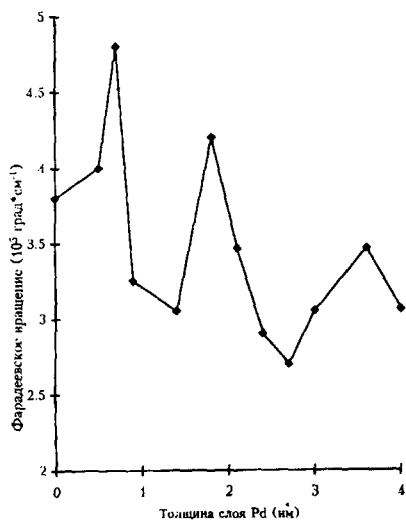


Рис.1

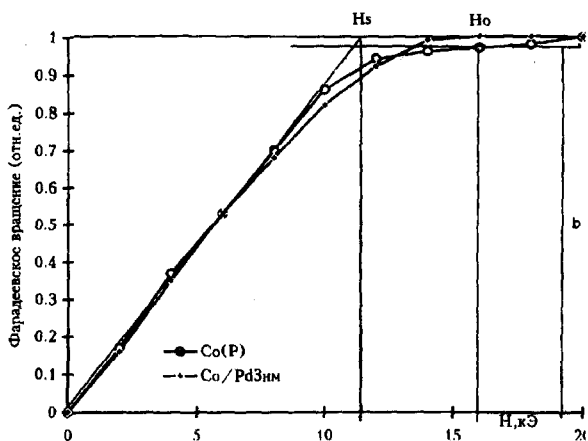


Рис.2

Рис.1. Зависимость угла фарадеевского вращения в поле насыщения от толщины слоев Pd

Рис.2. Кривые намагничивания для мультислойной пленки $Co(5nm)/Pd(3nm)$ и пленки $Co(P)$ ($d_{Co} = 30nm$). Пересечение тонких линий показывает H_s и H_0 . H_0 – точка пересечения кривой намагниченности с прямой $M/M_0 = b$, где мы взяли $b = 0.98$ для Co/Pd и Co пленок. H_s – точка пересечения линейных асимптот к кривой намагниченности и прямой $M/M_s = 1$.

где K – константа, определенная диэлектрической проницаемостью материала и обуславливающая дисперсию ФВ, M – намагниченность, d – толщина магнитного слоя. В нашем случае Co/Pd пленок, осцилляционная зависимость ФВ может быть обусловлена как возможной осцилляцией намагниченности насыщения M_0 , вследствие поляризации Pd, так и немонотонной зависимостью $K(\omega, d_2)$. Поэтому мы попытались разделить вклады в осцилляции ФВ. Для этого были измерены полевые зависимости $\alpha_F(H)/\alpha_F(H_0)$, тождественные зависимостям $M(H)/M_0$. На рис.2 приведены для примера полевые зависимости ФВ для двух образцов. Обычно принимается, что зависимость M от магнитного поля с достаточной точностью определяется теорией однородного вращения магнитного момента:

$$M(H) = \begin{cases} H/4\pi, & H < H_s = 4\pi M_0, \\ M_0, & H > H_s. \end{cases} \quad (2)$$

Однако из кривых рис.2 видно, что как для однослойной пленки $Co(P)$, так и для мультислойных пленок Co/Pd высокополевая ферромагнитная восприимчивость не равна нулю. Мы предполагаем, что точка пересечения линейных асимптот кривой $\alpha_F(H)$, представляющая собой координату максимальной кривизны, и в этом случае характеризуется выражением $H_s = 4\pi M_{eff}$, где различие между M_{eff} и M_0 может быть обусловлено вкладом анизотропии либо межслойным взаимодействием. Кроме того, мы вводим в число измеряемых параметров кривой $\alpha_F(H)$ некоторое поле H_0 , характеризующее условием, что в области полей $H > H_0$ высокополевая восприимчивость может быть положена равной нулю.

Вследствие крайне медленного изменения ФВ в области приближения к насыщению определение H_0 из кривой $\alpha_F(H)$ страдает большой погрешностью. В [4], где исследованы полевые зависимости полярного ЭК в сэндвичах $Co/Cu/Co$, было предложено определять величину H_0 в точке пересечения кривой $\alpha_F(H)$ с прямой $\alpha_F/\alpha_{F_0} = b$, где b выбирается как максимальное значение α_F/α_{F_0} , при котором точность определения H_0 составляет 0.1кЭ (именно эти значения H_0 приведены на рис.3).

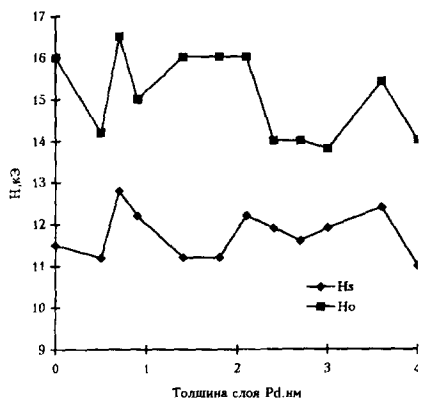


Рис.3. Зависимость полей насыщения (H_s - технического, H_0 - истинного) от толщины слоев Pd в мультислойных пленках Co/Pd

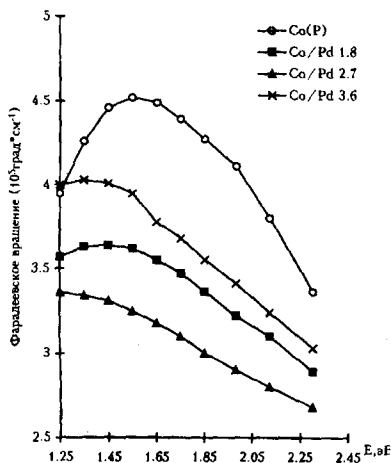


Рис.4. Спектральные зависимости фарадеевского вращения для однослойной пленки $Co(P)$ - \circ ($d = 20$ нм) и мультислойных пленок Co/Pd ($d_{Pd} = 1.8$ нм - \blacksquare ; 2.7 нм - \blacktriangle ; 3.6 нм - \times)

На рис.3 представлены зависимости поля технического насыщения $H_s(d_2)$ и истинного - $H_0(d_2)$. Видно, что осциллирующая часть зависимости $4\pi M_{eff}(d_2)$ коррелирует с осциллирующей частью $\alpha_{F_0}(d_2)$ (см. рис.1). Кривая $M_{eff}(d_2)$ так же характеризуется тремя максимумами и двумя минимумами; усредненный период осцилляций приблизительно 1.4 нм. Но есть и отличия: 1) осцилляции осуществляются относительно среднего значения $\langle H_s \rangle = 11.7$ кЭ; 2) амплитуда осцилляций H_s по отношению к $\langle H_s \rangle$ не превышает 10%. Что касается зависимости $H_0(d_2)$, то здесь обращает на себя внимание то, что для пленок Co , Co/Pd ($d_2 = 1.4; 1.8; 2.1$ нм) высокополевая восприимчивость равна нулю с 16 кЭ, а для пленок Co/Pd ($d_2 = 2.4; 2.7; 3; 4$ нм) с 14 кЭ.

Таким образом, совпадения характера зависимостей $\alpha_F(d_2)$ и $H_s(d_2)$ свидетельствуют о вкладе изменений M_{eff} (обусловленных, по-видимому, поляризацией Pd) в осцилляции α_F согласно формуле (1). Наблюдаемые различия как в амплитудах осциллирующей части, так и в линейной части, говорят в пользу предположения об изменениях величины K в формуле (1) при изменении толщины Pd. Другими словами, в мультислойных пленках Co/Pd коэффициент K является функцией $K(\omega, d_2)$. Сопоставление кривых рис.1 и рис.3 позволяет выявить характер этой функции.

В [5] при изучении ЭК в сплавах $\text{Pd}_x\text{Fe}_{1-x}$ было показано, что Pd дает существенный вклад в измеряемое вращение и величина этого вклада различна в разных областях спектра. Если предположить, что в исследованных мультислойных пленках Co/Pd имеет место спиновая поляризация Pd и знак поляризации изменяется при изменении толщины слоев Pd, то в зависимости от него Pd будет давать положительный или отрицательный вклад в K , усиливая амплитуду осцилляций $\alpha_F(d_2)$ по сравнению с амплитудой осцилляций $H_s(d_2)$. Для проверки этого предположения были измерены спектральные зависимости ФВ. На рис.4 показаны спектры ФВ для ряда образцов, различающихся по толщине слоев Pd. Видно, что: 1) характер спектра ФВ приблизительно одинаков для всех мультислойных образцов и несколько отличается от характера спектра сплошной пленки Co в низкоэнергетической области, 2) величина ФВ при изменении толщины слоев Pd изменяется немонотонным образом, при этом по-разному в разных участках спектра. Таким образом, зависимость $K(d_2)$ проявляется и при спектральных исследованиях.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант 95-02-03669.

-
1. S.Hashimoto, Y.Ochiai, and K.Aso, J. Appl. Phys. **67**, 4429 (1990).
 2. S.Viskousky, P.Kiclar, and M.Nuvet, IEEE Trans. on Magnetics **29**, 3373 (1993).
 3. Ю.В.Кудрявцев, Р.Гонтаж, ФММ **77**, 44 (1994).
 4. A.J.R.Ives, R.I.Hekeu, and J.A.C.Bland, J. Appl. Phys. **75**, 6458 (1994).
 5. W.Reim, H.Brahdle, and D.Weller, J. Magn. Mater. **93**, 220 (1991).