

УДК 537.632.4

МАГНИТНЫЕ И МАГНИТООПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК Co–P В ОБЛАСТИ НАНОТОЛЩИН

© 2012 г. А. В. Чжан^{1,2}, Г. С. Патрин^{1,2}, С. Я. Кипарисов¹, В. А. Середкин¹,
М. Г. Пальчик², Л. В. Буркова¹

E-mail: avchz@mail.ru; patrin@iph.krasn.ru

На основе магнитных измерений, а также анализа морфологии поверхности определены особенности формирования химически осажденных поликристаллических пленок Co–P в области нанотолщин. Установлено, что удельная величина магнитооптического эффекта Фарадея в пленках Co–P в 2 раза больше, чем в пленках Co. Наблюдаемый эффект связывается с магнитной поляризацией подслоя Pd. Показано, что введение фосфора оказывает незначительное влияние на эффект Керра пленок Co.

Тонкие магнитные пленки Co с добавкой фосфора привлекают внимание исследователей, благодаря тому, что они проявляют многообразие физических свойств в зависимости от содержания фосфора и микроструктуры. Введение фосфора улучшает морфологию пленок, коррозионную стойкость, что позволяет использовать пленки Co–P в качестве сред для магнитной и термомагнитной записи [1], а также для создания антикоррозионных защитных покрытий [2].

Один из методов получения пленок Co–P – химическое осаждение. Данная технология отличается относительной простотой, имеет низкую себестоимость и позволяет получать однородные по толщине пленки на поверхности любой конфигурации. При химическом осаждении можно получать многослойные пленки, содержащие слои Co–P с различными структурными и магнитными характеристиками.

В настоящее время интерес представляют пленки толщиной в несколько нанометров. В этой области толщин пленки Co–P остаются малоизученными. Цель данной работы – исследование магнитных и магнитооптических свойств пленок Co–P в области нанотолщин.

ИССЛЕДУЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ

Исследуемые образцы были получены методом химического осаждения и имели многослойную структуру, обусловленную спецификой такой технологии. Для увеличения адгезии на поверхность стеклянной подложки предварительно осаждались тонкие слои SnO₂ и Pd. Магнитный слой со-

стоял из поликристаллического ГПУ сплава Co–P со средним содержанием фосфора ~2.5 вес. %, оптимальным для получения высококоэрцитивных пленок. Пленки были изотропны с намагниченностью, лежащей в плоскости.

Полярный эффект Керра и Фарадея наблюдали с помощью метода нуль-анализатора с двойной модуляцией плоскости поляризации при комнатной температуре в магнитном поле 14 кЭ. Для сравнительного анализа исследованы и однослойные пленки Co, которые получены ионно-плазменным напылением. Петли гистерезиса и намагниченность определялись на SQUID-магнитометре при комнатной температуре в магнитном поле, которое прикладывалось в плоскости пленок. Морфологию поверхности пленок исследовали на атомном силовом микроскопе.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Угол вращения полярного эффекта Керра θ_K в пленках Co–P имеет немонотонную зависимость от их толщины (рис. 1). Положительные значения θ_K при очень малых толщинах пленки обуславливаются влиянием стеклянной подложки. До толщины ~13 нм θ_K по абсолютной величине растет и свыше этой толщины падает до некоторого постоянного значения. В этой области толщин эффект Керра сильно зависит от длины волны. В области больших толщин (>30 нм) θ_K слабо зависит как от толщины пленки, так и от длины волны и имеет значение ~–0.2°. Эта величина совпадает со значением θ_K пленок Co, полученных нами, и согласуется с данными [4].

Удельное значение эффекта Фарадея θ_F пленок Co–P на длине волны 500 нм составляет ~4.38 · 10⁵ град · см^{–1}, а для пленок Co на этой же длине

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

² Сибирский федеральный университет, Красноярск.

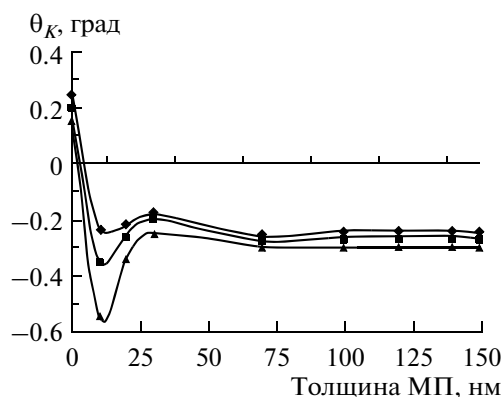


Рис. 1. Зависимость полярного эффекта Керра от толщины пленок для длин волн: \blacktriangle – 900; \blacksquare – 600; \blacklozenge – 400 нм.

волны равно $\sim 2.2 \cdot 10^5$ град \cdot см $^{-1}$, что близко к значению объемного Co ($\sim 2.9 \cdot 10^5$ град \cdot см $^{-1}$) [5].

Морфология поверхности исследуемых пленок, как показано в [3], имеет неоднородный (зернистый) вид, при этом средний размер неоднородностей рельефа зависит от толщины пленки и изменяется с ее ростом немонокотонным образом. Так, в пленке толщиной 4 нм средний размер поверхностной неоднородности ρ составляет ~ 50 нм, для пленки толщиной 7.5 нм $\rho \sim 80$ нм. В образце при толщине 10.5 нм $\rho \sim 40$ нм. Дальнейший рост толщины пленок вновь приводит к увеличению размеров неоднородностей и при 30 нм $\rho \sim 70$ нм. Изменение формы петель гистерезиса с толщиной пленки хорошо коррелирует с изменениями морфологии поверхности. Безгистерезисный вид кривой намагничивания пленки (рис. 2а) показывает, что в области малых толщин пленки Co–P находятся в суперпарамагнитном состоянии и состоят из отдельных не взаимодействующих островков. При дальнейшем наращивании толщины наблюдается улучшение сплошности за счет укрупнения и слияния островков. В этом случае перемагничивание уже происходит по механизму Стонера–Вольфарта с характерной петлей гистерезиса (рис. 2б). При толщинах свыше 10 нм происходит образование сплошного слоя и форма петли гистерезиса становится близкой к прямоугольной (рис. 2в, г).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Изменение намагниченности с толщиной пленки может объяснить увеличение θ_K в области малых толщин (до ~ 13 нм), но не может быть причиной уменьшения эффекта Керра с дальнейшим ростом толщины. При толщинах пленок >13 нм величина намагниченности продолжает расти, то-

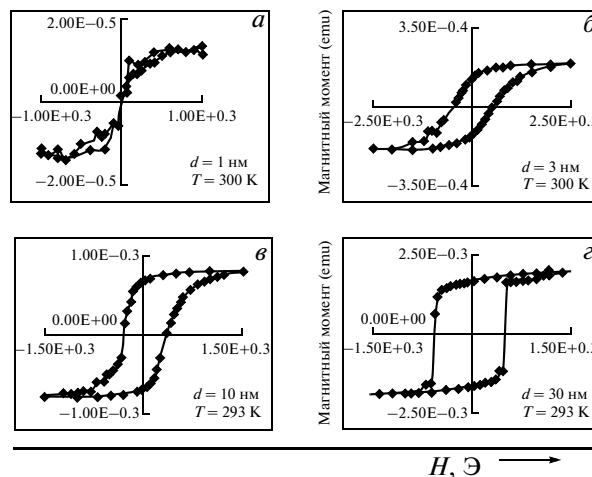


Рис. 2. Петли гистерезиса меридионального эффекта Керра пленок Co–P.

гда как θ_K падает. Ранее было показано [6], что причиной усиления эффекта Керра при малых толщинах может быть вклад эффекта Фарадея, который учитывается в модели многократного отражения [4]. В данной модели учитывается отражение света от границ раздела. Коэффициент отражения системы пленка–подложка можно записать в виде

$$\tilde{r}^\pm = |\tilde{r}^\pm| \exp(i\Delta^\pm) = \frac{\tilde{r}_1^\pm + \tilde{r}_2^\pm \tilde{\beta}^\pm}{1 + \tilde{r}_1^\pm \tilde{r}_2^\pm \tilde{\beta}^\pm}, \quad (1)$$

где $\tilde{r}_1^\pm = \frac{\tilde{n}^\pm - 1}{\tilde{n}^\pm + 1}$ – коэффициент отражение на границе воздух–пленка;

$\tilde{r}_2^\pm = \frac{b - \tilde{n}^\pm}{b + \tilde{n}^\pm}$ – коэффициент отражение на границе пленка–подложка;

b – показатель преломления подложки; \tilde{n}^\pm – показатель преломления магнитной пленки для право(+) и лево(–)циркулярно поляризованного света; $\tilde{\beta}^\pm = \exp(-i4\pi\tilde{n}^\pm d/\lambda)$, d – толщина магнитной пленки. Величина эффекта Керра в этой модели определяется из

$$\theta_K = (\Delta^+ - \Delta^-)/2. \quad (2)$$

Если рассматривать многослойную систему, то расчет проводится поэтапно с использованием эффективных значений комплексных оптических констант. При вычислениях использовались опубликованные в литературе оптические и магнитооптические параметры для Co [7], так как данные для пленок Co–P отсутствуют. На рис. 3 показаны вычисленные толщинные зависимости полярного эффекта Керра с учетом многократных отражений: в однослойной пленке (кривая 1), при наличии металлического подслоя Pd (2), в пленках Co и Pd (3), в пленках Co, Pd, SnO $_2$ (4) для $\lambda = 600$ нм.

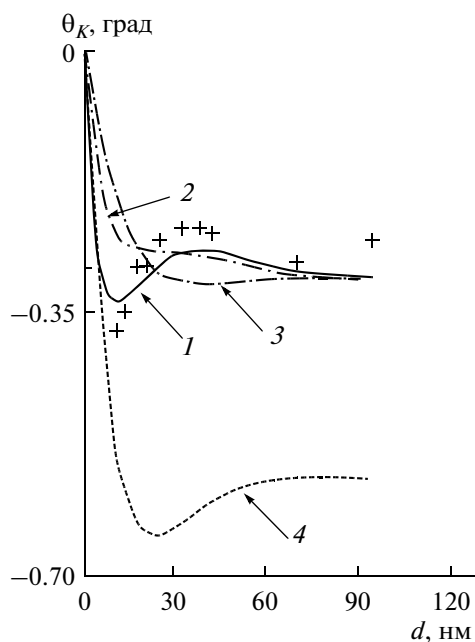


Рис. 3. Расчетные зависимости эффекта Керра от толщины магнитной пленки при учете отражения от различных слоев.

Как видно из рисунка, такой последовательный учет приводит к изменению формы зависимости и к смещению максимума в сторону больших толщин. На рис. 3 также приведены экспериментальные значения $\theta_K(+)$ для пленок Co–P, полученных химическим осаждением. Из рисунка видно, что изменение θ_K от толщины могут быть описаны расчетной зависимостью (1) для однослойной пленки Co. Следует отметить, что изменение θ_K от толщины для пленок Co–P согласуются с данными для пленок Co [4], которые авторы также описывают с помощью модели многократных отражений. На основе изложенного выше можно сделать выводы:

1) полученная толщинная зависимость полярного эффекта Керра в основном определяется многократными отражениями в слое Co–P;

2) введение фосфора незначительно изменяет величину эффекта Керра пленок Co.

Как следует из полученных данных, удельная величина эффекта Фарадея в пленках Co–P в 2 раза превышает эту величину в пленках Co. Возможная причина усиления эффекта Фарадея пленок Co–P – спиновая поляризация Pd [4]. Как известно, ионы Pd обладают высокой парамагнитной восприимчивостью и в окружении ионов Co приобретают ферромагнитный момент [8]. Несмотря на то что такой индуцированный момент относительно мал ($\sim 0.48 \mu_B$ [9]), ионы Pd обладают высоким орбитальным моментом локализованных 4d-электронов и поэтому могут вносить дополнительный вклад в магнитооптическое вращение.

Для того чтобы сделать окончательные выводы относительно такого механизма, требуются дополнительные исследования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 11-02-00675-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Treves D., Hunt R.P., Diskey B. // IEEE Trans. Magn. 1969. MAG-5. № 3. P. 449.
2. Beskri S. Caracrisation d'un placage de cobalt-phosphore nanocrystallin (dissertation). Montreal: Ecole Polytechn., 2008.
3. Чжан А.В., Патрин Г.С., Купарисов С.Я. и др. // ФММ. 2010. Т. 109. № 6. С. 1.
4. Zhai H.R., Lu M., Miao Y.S. et al. // J. Magn. Magn. Mater. 1992. V. 115. P. 20.
5. Chen D. Handbook of Lasers / Ed. Pressley R.J. Cleveland: Chemical Rubber C°, 1971. P. 460.
6. Чжан А.В., Патрин Г.С., Середкин В.А. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2011. Т. 25. № 5. С.
7. Кринчик Г.С. // ФММ. 1959. Т. 7. С. 181.
8. Bozorth R.M., Wolff P.A., Davis D.D. et al. // Phys. Rev. 1961. V. 122. P. 1157.
9. Robles R., Izquierdo J., Vega A. // Phys. Rev. B. 1999. V. 61. P. 6848.