

05;12

## Перпендикулярная магнитная анизотропия в пленках $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$ и $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50-x}\text{Pd}_x$

© Е.М. Артемьев, Л.В. Живаева

Сибирский федеральный университет,  
660074 Красноярск, Россия  
e-mail: aem49@yandex.ru

(Поступило в Редакцию 30 октября 2007 г. В окончательной редакции 16 января 2008 г.)

Получены пленки сплава  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$  и пленки  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50-x}\text{Pd}_x$ , где  $x = 3-10$  at.%. Исследованы процессы атомного упорядочения и его влияния на перпендикулярную магнитную анизотропию и коэрцитивную силу в данных пленках. Исследована зависимость коэрцитивной силы от толщины пленок. Показано, что тонкие пленки упорядоченных сплавов становятся магнитоодноосными с легкой осью, нормальной к их плоскости, и могут быть использованы для магнитной и термомагнитной записи и хранения информации.

PACS: 75.50.Ss

Одной из причин интенсивных исследований металлов и сплавов в пленочном состоянии является возможность стабилизации метастабильных структур и высокотемпературных модификации [1]. Пленочные образцы позволяют исследовать метастабильные состояния вещества как при обычных условиях, так и после изменения их в довольно широких интервалах. Сплавы  $\text{CoPt}$  в тонкопленочном состоянии являются привлекательными объектами для исследования в связи с наиболее приемлемыми структурными и магнитными характеристиками для магнитной и термомагнитной записи информации [2-4].

Предлагаемая работа посвящена исследованию структуры и магнитных свойств в пленках  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$  и пленках  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50-x}\text{Pd}_x$ , где  $x = 3-10$  at.%. Пленки получали методом магнетронного напыления из исходных чистых элементов на стеклянные основы и  $\text{MgO}$  и методом термического испарения сплава соответствующего состава в вакууме и конденсации его паров на предварительно нагретые до  $180-220^\circ\text{C}$  кристаллы-подложки  $\text{MgO}$ ,  $\text{LiF}$  и стеклянные основы. Состав и толщина контролировались методом рентгеновского флуоресцентного анализа. В работе исследовались пленки толщиной  $20-600 \text{ \AA}$ . Полученные данными методами пленки имели ГЦК-решетку. Монокристаллические пленки, выращенные на кристаллах-подложках  $\text{MgO}$  и  $\text{LiF}$ , имели ГЦК-решетку, ориентированную относительно подложки по параллельной схеме. В исходном состоянии пленки, независимо от толщины, характеризовались двумя легкими осями намагничивания, расположенными перпендикулярно друг другу в плоскости исследуемых пленок. Степень прямоугольности петли гистерезиса  $S$  исходных пленок составляла  $0.6-0.8$  для всего изучаемого диапазона толщин  $20 < d < 600 \text{ \AA}$ . Величина коэрцитивного поля этих пленок также не зависела от толщины пленок и составляла  $\sim 500 \text{ Oe}$ .

Для получения в пленках необходимой степени порядка они подвергались отжигу в вакууме при температуре ниже их точки Курнакова. После отжига в пленках  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$  и  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50-x}\text{Pd}_x$  наблюдается образование

упорядоченной фазы типа  $L1_0$  (тетрагональная границирированная решетка с соотношением осей  $c/a < 1$ ), причем ориентация тетрагональных кристаллитов относительно плоскости пленки зависит от ее толщины. В пленках толщиной  $20-200 \text{ \AA}$  кристаллиты тетрагональной фазы ориентируются осью  $\langle c \rangle$  нормально плоскости пленки (на электронограмме отсутствуют рефлексы типа  $\{100\}$ ). В пленках, имеющих большую толщину ( $c$  тремя ориентациями осей  $\langle c \rangle$ ), наблюдаются участки с чередованием полос разного контраста по направлениям  $[100]$ . При образовании в пленках упорядоченной тетрагональной фазы магнитная анизотропия пленок претерпевает существенные изменения. Поскольку ось  $\langle c \rangle$  тетрагональных фаз  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$  и  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50-x}\text{Pd}_x$  является осью легкого намагничивания, то тонкие пленки упорядоченных сплавов становятся магнитоодноосными с легкой осью, нормальной к их плоскости.

Величина коэрцитивного поля  $H_c$  для пленок толщиной, превосходящей  $200 \text{ \AA}$ , изменялась в пределах  $8-12 \text{ kOe}$ . Оказалось, что величина  $H_c$  термообработанных пленок с  $d < 200 \text{ \AA}$  зависит от толщины образца. Отметим, что петли гистерезиса этих пленок характеризовались параметром  $S = 1$ . Коэрцитивное поле, измеренное в легком направлении намагничивания, увеличивается от  $1.5$  до  $9 \text{ kOe}$  при изменении толщины пленок от  $50$  до  $200 \text{ \AA}$ . Измеренные величины коэрцитивного поля  $H_c$  монокристаллических термообработанных пленок  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{MgO}(100)$  и  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50-x}\text{Pd}_x/\text{MgO}(100)$ , с  $d < 200 \text{ \AA}$  и  $S = 1$  представляют собой разность между полем кристаллографической магнитной анизотропии  $H_a$  и размагничивающим полем формы пленки:  $H_c = H_a - 4\pi M_s$ . Поэтому обнаруженная экспериментальная зависимость  $H_c(d)$  может быть использована для расчета величины  $H_a$  и, следовательно, фундаментальной характеристики ферромагнетика —  $K$ -константы кристаллографической анизотропии ( $K = H_a M / 2$ ) от толщины изучаемой пленки.

Таким образом, установлено, что в монокристаллических упорядоченных (или частично упорядоченных)

пленках с  $L1_0$  структурой, характеризующихся перпендикулярной магнитной анизотропией в интервале толщин  $20 < d < 200 \text{ \AA}$ , значения константы магнитной кристаллографической анизотропии изменяются в диапазоне от  $7 \cdot 10^6$  до  $4.5 \cdot 10^7 \text{ erg/cm}^3$  для пленок  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$  и до  $(3.5-4) \cdot 10^7 \text{ erg/cm}^3$  для  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50-x}\text{Pd}_x$  в зависимости от толщины пленки. Эти значения превосходят величину анизотропии формы, и пленки остаются однородно намагниченными перпендикулярно их плоскости в отсутствие внешнего магнитного поля и могут быть использованы для термомагнитной записи и хранения информации [5].

Пленки однородны по структуре, в некоторых из них наблюдаются редкие антифазные границы упорядочения (АФГ). При переходе к темнопольному изображению контраст крупных полос не изменяется, а контраст мелких полос меняется на обратный. Можно считать, что крупные полосы — это отдельные кристаллиты тетрагональной фазы, образовавшиеся в виде тонких пластин, а мелкий полосчатый контраст возникает из-за наличия АФГ. С повышением содержания палладия коэрцитивная сила пленок  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50-x}\text{Pd}_x$  уменьшается и при содержании палладия 7–8 at.% составляет 6–9 кОе.

На исследованных пленках запись информации производилась путем нагревания участков пленки до температуры Кюри сплавов. Нагревание осуществлялось сфокусированным лучом лазера. Поскольку у данных пленок ось легкого намагничивания перпендикулярна плоскости пленки, для записи не требуется приложения внешнего магнитного поля, так как замыкание собственного магнитного потока пленки через нагретый участок приводит к намагничиванию его в противоположном направлении.

Плотность энергии записи или разрушения для материала пленки может быть рассчитана [6]. В расчет принимаются теплоемкость материала, температура записи или разрушения, коэффициент оптического поглощения. Рассчитанная плотность энергии записи для пленок сплава  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$  толщиной  $500 \text{ \AA}$  равна  $0.065 \text{ mJ/mm}^2$ , для пленок  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50-x}\text{Pd}_x$  —  $0.57 \text{ mJ/mm}^2$ . В данном случае в расчет не приняты оптические потери системы и энергия, ушедшая на нагревание среды вокруг непосредственно нагреваемого участка. Плотность энергии записи, измеренная на пленках толщиной  $500 \text{ \AA}$ , равна для  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$   $0.5 \text{ mJ/mm}^2$ , для  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50-x}\text{Pd}_x$  —  $0.4 \text{ mJ/mm}^2$ .

Прослеживается влияние на  $H_c$  таких структурных факторов, как степень дальнего порядка в сплаве, размер и ориентация кристаллитов в пленке после термообработки. Степень дальнего порядка оценивалась по отношению осей  $c/a$ . Кроме того, для пленок были сняты спектральные зависимости фарадеевского вращения  $F$  (рис. 1) и оптического поглощения. Оказалось, что у всех пленок минимум фарадеевского вращения приходится на область длин волн  $0.4-0.5 \text{ \mu m}$ , а максимум — на ближнюю инфракрасную область  $0.9-1.2 \text{ \mu m}$ .

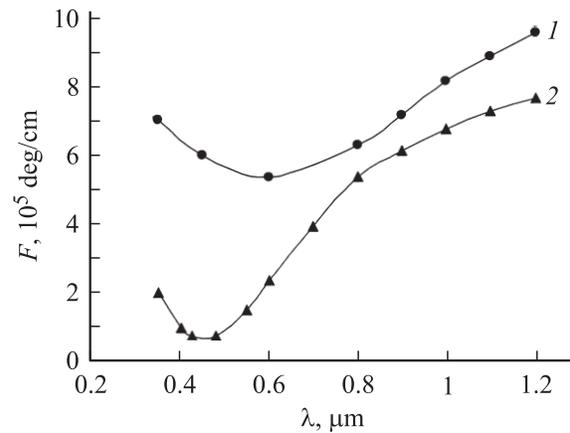


Рис. 1. Спектральная зависимость удельного фарадеевского вращения для пленок  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$  (1) и  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{42}\text{Pd}_8$  (2). Кривые сняты для пленок толщиной  $500 \text{ \AA}$ .

Удельное фарадеевское вращение зависит от толщины пленок. Наибольшее удельное вращение имеют пленки  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$  толщиной  $100-140 \text{ \AA}$ , для таких пленок  $F$  достигает значения  $9 \cdot 10^5 \text{ deg/cm}$  на длине волны  $\lambda = 1.2 \text{ \mu m}$ . В более толстых пленках удельное вращение уменьшается. Данное отличие следует связывать с появлением в более толстых пленках кристаллитов тетрагональной фазы, ориентированных осью  $\langle c \rangle$  в плоскости пленок. В связи с этим полное техническое насыщение пленки вдоль ее нормали требует приложения больших полей. Коэффициент оптического поглощения  $\alpha$  не зависит от длины волны и толщины пленок и лежит в пределах  $(1.0-1.5) \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1}$ .

Зависимость магнитооптической добротности от длины волны приведена на рис. 2. Видно что она носит тот же характер, что и удельное фарадеевское вращение. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что магнитные характеристики пленок  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50-x}\text{Pd}_x$  при изменении содержания палладия 3–10 at.% позволяют использовать их в качестве сред для магнит-

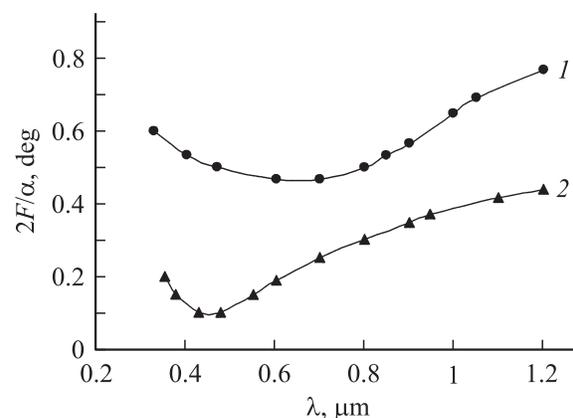


Рис. 2. Спектральная зависимость магнитооптической добротности пленок сплавов  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$  (1) и  $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{42}\text{Pd}_8$  (2). Кривые сняты для пленок толщиной  $500 \text{ \AA}$ .

ной и термомагнитной записи и хранения информации. Следует указать на большую химическую стойкость пленок сплавов: пленки без покрытия могут храниться на воздухе в течение нескольких лет, характеристики пленок при этом не изменяются.

## Список литературы

- [1] Исхаков Р.С., Столяр С.В., Чеканова Л.А., Артемьев Е.М. и др. // Письма в ЖЭТФ. 2000. Т. 22. Вып. 6. С. 457–462.
- [2] Aboaf J.A., Herd S.R., Klokholm E. // IEEE Magn. 1983. Vol. 19. N 4. P. 1514–1520.
- [3] Hashimoto S., Ochiai Y., Aso K. // J. Appl. Phys. 1990. Vol. 67. N 9. P. 4429–431.
- [4] Власова Н.И., Кандаурова Г.С., Щеголева Н.Н. // ФММ. 2000. Т. 90. № 3. С. 31–50.
- [5] Артемьев Е.М., Бузмаков А.Е. Сплав для носителя термомагнитной записи. Пат. RU № 2293377 С1. Приоритет от 08.07.2005 г.
- [6] Коген С., Мецрих Р. // Зарубежная радиоэлектроника. 1973. № 11. С. 57.