

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

© Е.М. Артемьев, М.Е. Артемьев

Сибирский федеральный университет,
Красноярск, Россия

E-mail: aem49@yandex.ru

Получены пленки сплава $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$, $\text{Co}_{50}\text{Pd}_{50}$ и пленки $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50-x}\text{Pd}_x$, где $x = 1-10$ 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.

Одной из причин интенсивных исследований металлов и сплавов в пленочном состоянии является возможность стабилизации метастабильных структур и высокотемпературных модификаций [1]. Пленочные образцы позволяют исследовать метастабильные состояния вещества как при обычных условиях, так и после изменения их в довольно широких пределах. Сплавы CoPt в тонкопленочном состоянии являются привлекательными объектами для исследования в связи с наиболее подходящими структурными и магнитными характеристиками для магнитной и термомагнитной записи информации [2-4]. Предлагаемая работа посвящена исследованию структуры и магнитных свойств пленок $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$, $\text{Co}_{50}\text{Pd}_{50}$ и $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50-x}\text{Pd}_x$, где $x = 1-10$ at.%. Пленки были получены методом магнетронного напыления исходных чистых элементов на стеклянные основы и 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 MgO , 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 $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$ и $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50-x}\text{Pd}_x$, где $x = 1-10$ at.%, имели ГЦК-решетку. Пленки $\text{Co}_{50}\text{Pd}_{50}$ при конденсации на подложки имели двухфазную (ГПУ-ГЦК) структуру, причем, варьируя температуру подложки при конденсации пленок, можно было изменять соотношение фаз. Монокристаллические пленки, выращенные на кристаллах-подложках MgO и 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 прямоуглольности петли гистерезиса S исходных пленок $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}$ и $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50-x}\text{Pd}_x$ 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 ~ 500 Ое. Для получения необходимой степени порядка в пленках они подвергались отжигу в вакууме при температуре ниже их точки Курнакова. Отжиг проводился в следующих режимах. Режим I: выдержка

при 700°C в течение 30 min и охлаждение до 600°C со скоростью $10^\circ\text{C}/\text{min}$, отжиг при 600°C 60 min и охлаждение со скоростью $1^\circ\text{C}/\text{min}$. Режим II: выдержка при 550°C в течение 60 min и охлаждение со скоростью $1^\circ\text{C}/\text{min}$. 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 гранцентрированная решетка с соотношением постоянных решетки $c/a < 1$), 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 к плоскости пленки (на электронограмме отсутствуют рефлексы типа $\{100\}$). В пленках, имеющих большие толщины (с 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, тонкие пленки упорядоченных сплавов становятся магнитоодноосными с легкой осью, нормальной к их плоскости. Величина коэрцитивного поля H_c для пленок с толщиной, превосходящей 200 \AA , менялась в пределах $8-12$ кОе. Оказалось, что величина H_c термообработанных пленок с $d < 200 \text{ \AA}$ зависит от толщины образца (рис. 1). Отметим, что

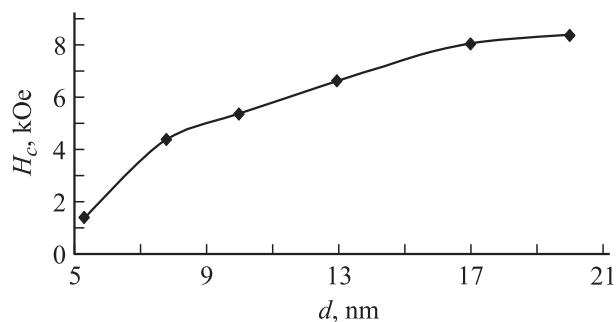


Рис. 1. Зависимость величины коэрцитивного поля H_c , измеренного в легком направлении намагничивания, от толщины пленок $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{43}\text{Pd}_7/\text{MgO}$ (отжиг в режиме I).

петли гистерезиса этих пленок характеризовались величиной параметра $S = 1$. Коэрцитивное поле, измеренное в легком направлении намагничивания, увеличивается от 1.5 до 9 кОе при изменении толщины пленок от 50 до 200 Å. Измеренные величины коэрцитивного поля H_c монокристаллических термообработанных пленок $Co_{50}Pt_{50}/MgO$ (100) и $Co_{50}Pt_{50-x}Pd_x/MgO$ (100) с $d < 200$ Å 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 кривая $H_c(d)$ может быть использована для расчета величины H_a и, следовательно, фундаментальной характеристики ферромагнетика K -константы кристаллографической анизотропии ($K = H_a M/2$) в зависимости от толщины изучаемой пленки. Таким образом, установлено, что в монокристаллических упорядоченных (частично упорядоченных) пленках с $L1_0$ структурой, характеризующихся перпендикулярной магнитной анизотропией в интервале толщин $20 < d < 200$ Å, константа магнитной кристаллографической анизотропии изменяется в диапазоне от $7 \cdot 10^6$ до $4.5 \cdot 10^7$ erg/cm³ для пленок $Co_{50}Pt_{50}$ и до $(3.5-4) \cdot 10^7$ erg/cm³ для $Co_{50}Pt_{50-x}Pd_x$ в зависимости от толщины пленки. Эти значения превосходят величину анизотропии формы, и пленки остаются однородно намагниченными перпендикулярно их плоскости в отсутствии 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 тернопольному изображению контраст крупных полос не меняется, а контраст мелких полос меняется на обратный. Можно считать, что крупные полосы — это отдельные кристаллиты тетрагональной фазы, образовавшиеся в виде тонких пластин. Мелкий полосчатый контраст — от АФГ. С повышением содержания палладия коэрцитивная сила пленок $Co_{50}Pt_{50-x}Pd_x$ 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. 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 $Co_{50}Pt_{50}$ толщиной 500 Å равна 0.065 mJ/mm², для пленок $Co_{50}Pt_{50-x}Pd_x$ — 0.057 mJ/mm². 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 Å, для $Co_{50}Pt_{50}$ равна 0.5 mJ/mm², для $Co_{50}Pt_{50-x}Pd_x$ — 0.4 mJ/mm².

Прослеживается влияние на H_c таких структурных факторов, как степень дальнего порядка в сплаве, размер и ориентация кристаллитов в пленке после термообработки. Кроме того, для пленок были измерены спектральные зависимости фарадеевского вращения (рис. 2) и оптического поглощения. Оказалось, что у всех пленок минимум фарадеевского вращения приходится на область длин волн 0.4–0.5 μm, а максимум — на ближнюю инфракрасную область 0.9–1.2 μm.

Удельное фарадеевское вращение F зависит от толщины пленок. Наибольшее удельное вращение имеют пленки $Co_{50}Pt_{50}$ толщиной 100–140 Å, для таких пленок F достигает значения $9 \cdot 10^5$ deg/cm на длине волны $\lambda = 1.2$ μm. В более толстых пленках удельное вращение уменьшается. Данное различие следует отнести за счет появления 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 норма-

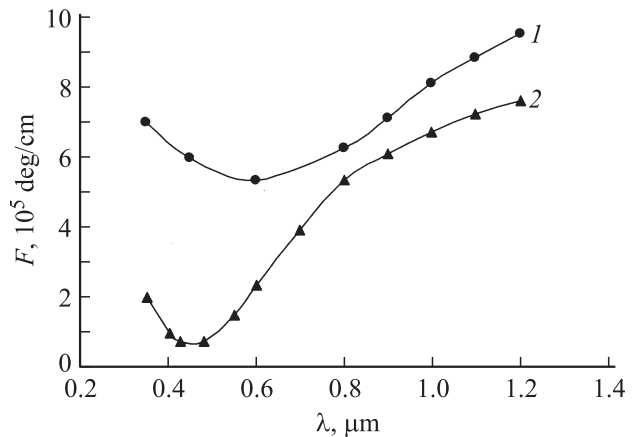


Рис. 2. Спектральная зависимость удельного фарадеевского вращения для пленок $Co_{50}Pt_{50}$ (1) и $Co_{50}Pt_{42}Pd_8$ (2) толщиной 500 Å.

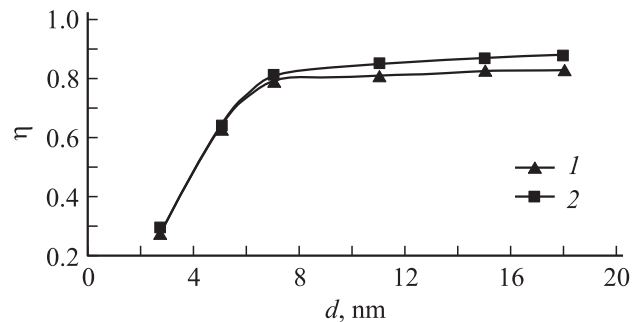


Рис. 3. Зависимость степени порядка η термообработанных пленок $Co_{50}Pt_{50}/MgO$ от толщины пленок. 1 — режим отжига II, 2 — режим I.

ли требует приложения больших полей. Коэффициент оптического поглощения не зависит от длины волны в диапазоне длин волн $0.35\text{--}1.2\ \mu\text{m}$ и лежит в пределах $(1.0\text{--}1.5) \cdot 10^5\ \text{cm}^{-1}$. На рис. 3 показана зависимость степени порядка η термообработанных пленок $\text{Co}_{50}\text{Pt}_{50}/\text{MgO}$ от их толщины для двух режимов отжига. Степень порядка η определяется распределением атомов Co и Pt по узлам различного типа в ГЦТ-решетке и называется степенью дальнего порядка. Упорядочение атомов в кристаллической решетке сплава может быть охарактеризовано в первую очередь тем, насколько полно узлы различного типа (образующие подрешетки) заняты атомами разных сортов. Количественно степень дальнего порядка может быть введена различными способами [7]. В нашей работе степень дальнего порядка η оценивалась по отношению постоянных решетки c/a . 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.% дают возможность использовать их в качестве сред для магнитной 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] Р.С. Исхаков, С.В. Столяр, Л.А. Чеканова, Е.М. Артемьев, В.С. Жигалов. Письма в ЖЭТФ **72**, 6, 457 (2000).
- [2] J.A. Aboaf, S.R. Herd, E. Kloholm. IEEE Trans. Magn. **19**, 4, 1514 (1983).
- [3] S. Hashimoto, Y. Ochiai, K. Aso. J. Appl. Phys. **67**, 9, 4429 (1990).
- [4] Н.И. Власова, Г.С. Кандаурова, Н.Н. Щеголева. ФММ **90**, 3, 31 (2000).
- [5] Е.М. Артемьев, А.Е. Бузмаков. Сплав для носителя термомагнитной записи. Патент RU № 2293377 С1. Приоритет 8 июля 2005 г.
- [6] С. Коген, Р. Мещих. Зарубеж. радиоэлектрон. **11**, 57 (1973).
- [7] М.А. Кривоглаз, А.А. Смирнов. Теория упорядочивающихся сплавов. Физматгиз, М. (1958). 388 с.