

- [1] Смирнов Б.М. Физика фрактальных кластеров. М. (1991), 135 с.
- [2] Баланкин А.С. ФТТ **34**, 4, 1245 (1992).
- [3] Dauskardt R.H., Haubensak F., Ritchie R.O. Acta Met. Mater. **38**, 2, 143 (1990).
- [4] Мосолов Ф.Б. // ЖТФ **61**, 7, 57 (1991).
- [5] Уайэтт О., Дью-Хьюз Д. Металлы, керамики, полимеры / Пер. с англ.; Под ред. Б.Я.Любова. М. (1979), 580 с.
- [6] Трефилов В.И., Мильман Ю.В., Фирстов С.А. Физические основы прочности тугоплавких металлов. Киев (1975), 316 с.
- [7] Структура, текстура и механические свойства деформированных сплавов молибдена / Под общ. ред. В.И.Трефилова. Киев (1983), 232 с.

УДК 537.622.4:539.216.2

© Физика твердого тела, том 37, № 4, 1995
Solid State Physics, vol. 37, N 4, 1995

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛЕНОК (Fe/Mo)₁₀, ПОЛУЧЕННЫХ МАГНЕТРОННЫМ РАСПЫЛЕНИЕМ

Л.А.Чеботкевич, С.В.Яловкина, Ю.Д.Воробьев, И.М.Слабженникова

Научно-исследовательский физико-технический институт
при Дальневосточном государственном университете, Владивосток
(Поступило в Редакцию 28 июня 1994 г.)

В настоящее время большой научный и практический интерес представляют многослойные магнитные структуры с чередующимися слоями из ферромагнитных и немагнитных материалов [1,2]. Такие структуры проявляют уникальные магнитные, механические и другие свойства. В частности, мультислойные пленки с высокой намагниченностью и магнитомягкими свойствами могут применяться в качестве элементов магнитных интегральных головок.

В данной работе исследуются магнитные свойства многослойных композиционно-модулированных пленок (Fe/Mo)₁₀ в зависимости от толщины слоев Fe и Mo.

Пленки получали методом магнетронного распыления на постоянном токе в атмосфере Ar. Давление остаточных газов в камере было не выше $3 \cdot 10^{-5}$ Торр, а давление Ar в процессе напыления составляло $7 \cdot 10^{-4}$ Торр. Поочередное напыление Fe и Mo осуществлялось из двух мишеней, над которыми располагалась вращающаяся карусель со стеклянными подложками. Скорость вращения карусели была 1.5 rev./min.

Магнитичность I_{eff} пленок измеряли индукционным методом, коэрцитивную силу H_c и поле анизотропии H_k — магнитооптическим методом. Кристаллическую структуру пленок исследовали дифракционным методом и методом электронной микроскопии. Толщину слоев определяли методом рентгеновской интерференции. Концентрационный состав пленок определяли методом оже-анализа с послойным травлением пучком аргона.

Данные электронной оже-спектроскопии свидетельствуют о присутствии кислорода ($\sim 5 \div 6$ at.%) и углерода (~ 2 at.%) в многослойных композиционно-модулированных пленках (Fe/Mo)₁₀.

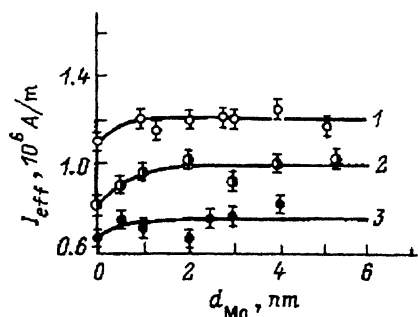


Рис. 1. Зависимость эффективной намагниченности I_{eff} от толщины прослоек молибдена.
 d_{Fe} (nm): 1 — 10.6, 2 — 5.3, 3 — 3.0.

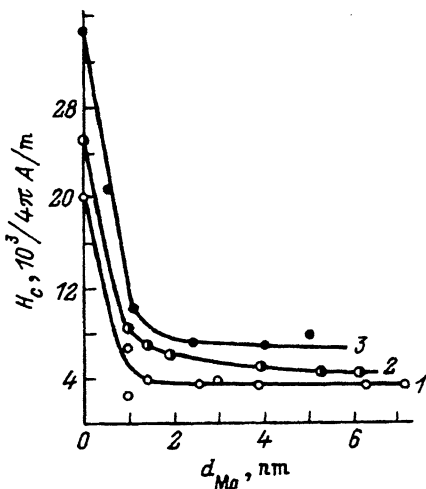


Рис. 2. Зависимость коэрцитивной силы от толщины прослоек Mo.
 Обозначения кривых те же, что и на рис. 1.

Электронно-микроскопические исследования и картины микродифракции показали, что слоистые пленки Fe ($d_{Mo} = 0$) имеют поликристаллическую структуру с размером зерна $R \approx 7$ nm. При подпылении прослоек Mo пленки Fe становятся ультрадисперсными с размером зерна порядка 2–3 nm, что приводит к уширению дифракционных колец.

В работе исследовалось три серии пленок с толщинами ферромагнитных слоев $d_{Fe} = 10.6, 5.3$ и 3.0 nm. На рис. 1 приведена зависимость намагниченности, рассчитанной на суммарный объем магнитных слоев, от толщины слоев Mo. Видно, что намагниченность пленок существенно зависит от толщины ферромагнитных слоев. Для пленок с одинаковой толщиной прослоек Mo намагниченность тем меньше, чем меньше толщина слоев Fe. В композиционно-модулированных пленках $(Fe/Mo)_{10}$ не наблюдается зависимость намагниченности от толщины слоев Mo при $d_{Mo} > 1$ nm, что свидетельствует об отсутствии обменного взаимодействия между слоями железа [3]. Некоторое увеличение намагниченности, наблюдаемое при подпылении слоев молибдена, может быть связано с тем, что адсорбированный на поверхности слоев железа кислород при последующем напылении Mo идет на образование окисла молибдена. В случае же напыления слоистых пленок Fe адсорбированный на поверхности кислород частично окисляет железо.

Зависимость коэрцитивной силы от толщины слоев молибдена приведена на рис. 2. Кривые $H_c(d_{Mo})$ для всех серий имеют подобную зависимость. Увеличение толщины парамагнитной прослойки до ≈ 1 nm приводит к резкому уменьшению величины H_c . При толщине $d_{Mo} > 2$ nm величина H_c уже практически не зависит от толщины парамагнитных прослоек. Следует отметить, что при одинаковых толщинах прослоек Mo (а также в случае, когда $d_{Mo} = 0$) H_c тем меньше, чем больше d_{Fe} .

Известно [4], что коэрцитивная сила обусловлена закреплением доменных стенок межзеренными границами (H_b), дисперсией легких осей

кристаллографической анизотропии (H_k), шероховатостями поверхности слоев Fe (H_s). Изменение величины H_c при увеличении толщины слоев Fe ($d_{Mo} = \text{const}$) обусловлено в основном компонентой $H_s \sim (d_{Fe})^{-4/3}$. Оценки показали, что при увеличении d_{Fe} от 3 до 10 нм компонента H_s уменьшается примерно в пять раз.

Уменьшение коэрцитивной силы при изменении d_{Mo} от 0 до 2 нм обусловлено компонентами H_b [4] и H_k [5]

$$H_b = 24.8 \frac{(\Delta I)^{8/3} \alpha^{4/3} b^{4/3} n^{2/3}}{I \gamma^{1/3} \delta},$$

$$H_k = 1.1 K^{4/3} R^{4/3} / I \gamma^{1/3} \delta,$$

где K — константа анизотропии, γ и δ — поверхностная энергия и ширина доменной границы, ΔI — скачок намагниченности на границе зерно-межзеренная граница, a , b , n — ширина, протяженность и плотность межзеренных границ. Компонента H_k уменьшается примерно в три раза при уменьшении размера зерна от 7 до 3 нм. При $R \approx 3$ нм объем, занимаемый межзеренными границами, увеличивается и составляет $\sim 50\%$ от объема пленки. Происходит перераспределение точечных дефектов (вакансий, атомов остаточных газов и др.) по большому объему межзеренных границ, что приводит к уменьшению магнитостатических полей границ и, следовательно, к уменьшению компоненты H_b . Оценить величину изменения ΔI , а следовательно, и H_b на данном этапе не представляется возможным. Однако если положить, что при увеличении плотности межзеренных границ ΔI изменится на 15–20%, то H_b уменьшится в 1.5 раза.

В заключение следует отметить, что коэрцитивная сила и эффективная намагниченность многослойных поликристаллических пленок Fe/Mo существенно зависят от толщины слоев железа, а зависимость от толщины прослоек молибдена наблюдается только в интервале от 0 до 2 нм.

Список литературы

- [1] Федосюк В.М., Макутин Г.В., Капсютнич О.И. Зарубеж. радиоэлектрон. 4-5, 42 (1992).
- [2] Van Dau F.N., Fert A., Etienne P. J. de Phys. 49, 8 (1988).
- [3] Coehoorn R. Phys. Rev. B44, 17, 9331 (1991).
- [4] Malyutin V.I., Osukhovskii V.E., Ivanov A.A., Chebotkevich L.A., Lobov L.V., Vorobiev Yu.D. Phys. Stat. Sol. (a) 93, 585 (1986).
- [5] Иванов А.А., Лобов И.В. Тез. докл. VIII Всес. шк. семинара. Донецк (1982), С. 99.