

05;06;11

Увеличение эффекта Керра в магнитооптических носителях DyFeCo/GeO

© Л.В. Буркова, В.А. Середкин, В.Ю. Яковчук

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

(Поступило в Редакцию 12 марта 1999 г.)

Выполнен расчет оптимальных параметров приподложечного диэлектрического слоя в интерференционной многослойной структуре, который показал, что этот слой должен иметь показатель преломления $n \sim 3$. Приведены экспериментальные результаты измерения угла магнитооптического вращения Керра многослойной структуры, в которой впервые были использованы пленки GeO в качестве диэлектрических слоев. Максимальный угол вращения Керра, полученный в такой системе, равен 0.75° и магнитооптическая добротность — 0.34° . Они превосходят аналогичные параметры для известных носителей, что демонстрирует преимущества использования предлагаемой структуры в магнитооптических дисках.

В настоящее время аморфные пленки редкая земля-переходной металл наиболее широко применяются при производстве магнитооптических (МО) дисков [1], поэтому актуальными являются поиски путей увеличения полярного эффекта Керра, который определяет значение считываемого сигнала. Одним из способов является нанесение диэлектрического слоя [2], который, согласно имеющимся теоретическим представлениям [3], за счет интерференционных эффектов позволяет увеличить вращение Керра в n^2 раз, где n — его показатель преломления. В соответствии с Международным стандартом ISO считывание информации должно осуществляться со стороны подложки МО диска. В этом случае диэлектрический слой (ДС) помещается между подложкой и магнитным слоем и МО вращение в значительной степени зависит от разности показателей преломления подложки и диэлектрического слоя, т.е. в качестве последнего предпочтительны материалы с большим значением n [4]. Практически реализуемой запоминающей средой в МО дисках является многослойная интерференционная структура, которая состоит из магнитоактивного слоя, заключенного между диэлектрическими слоями, и отражающего слоя. Были изучены системы, в которых в качестве ДС использовались SiO [4], ZnS [5], AlN [4,6], при этом получилось увеличение угла вращения Керра в 1.6, 1.75 и 1.9 раз соответственно по сравнению с однослойной пленкой. Теоретические выкладки показывают возможность увеличения эффекта Керра за счет оптимального подбора параметров ДС вплоть до 90° [7].

В данной работе представлены расчет и экспериментальные результаты исследований многослойной структуры, в которой в качестве диэлектрических слоев впервые использовались пленки GeO, а в качестве магнитоактивного и отражающего слоев были выбраны аморфные пленки DyFeCo.

Образцы были получены методом термического испарения в вакууме $3 \cdot 10^{-4}$ Па. На стеклянные подложки, температура которых поддерживалась равной $20-30^\circ\text{C}$, последовательно осаждались: интерферирующий диэлек-

трический слой GeO, магнитоактивный слой DyFeCo толщиной 10 nm, диэлектрическая прослойка GeO толщиной 34 nm и отражающий слой DyFeCo. Полученная структура покрывалась защитным слоем GeO толщиной 150 nm. Толщина приподложечного диэлектрического слоя GeO варьировалась в пределах 60–102 nm. Отражающий слой выбирался больше скин-слоя для области длин волн ($\lambda \approx 780-820$ nm), используемой в МО накопителях, и составлял 70 nm. Приводим схему такой системы.

Воздух	0	$N_0 = n_0 = 1$
Подложка-стекло	1	$N_1 = n_1 = 1.52$
Диэлектрический слой	2	$N_2 = n_2 = ?$
Магнитоактивный слой-DyFeCo	3	$N_3 = 2.4 - i2.6$
Диэлектрическая прослойка-GeO	4	$N_4 = n_4 \sim 2.8$
Отражающий слой-DyFeCo	5	$N_5 = 2.4 - i2.6$
Защитный слой-GeO	6	$N_6 = n_6 \sim 2.8$

$$Q_3 = Q_5 = 0.0149 + i0.006$$

Состав магнитных слоев DyFeCo был выбран 20 at.% Dy и 80 at.% FeCo с соотношением Fe и Co 2 : 1, что обеспечивало наличие в пленках перпендикулярной анизотропии, оптимальную величину коэрцитивной силы ($H_c \approx 3$ kOe) и максимальное значение угла вращения Керра для одного слоя ($\theta_k \approx 0.17^\circ$).

Измерение МО параметров проводилось на МО установке с нуль-компенсацией в полях до 16 kOe. Коэрцитивная сила определялась из МО петель гистерезиса. Коэффициент отражения (R) измерялся на модернизированном спектрофотометре SPECORD UV VIS.

С целью определения оптимальных параметров приподложечного диэлектрического слоя (ДС), при которых должно происходить резонанное возрастание угла вращения Керра вследствие интерференционных эффектов, был проведен расчет показателя преломления такого слоя и его толщина по формулам [7]

$$n_2^2 = n_1 n_3 + (n_3 k_1^2 - n_1 k_3^2) / (n_1 - n_3), \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \delta_2 = -n_2(n_1 - n_3) / (n_1 k_3 + n_3 k_1), \quad (2)$$

где $\delta_2 = 2\pi n_2 h_2 / \lambda$ — набег фазы на толщине слоя h_2 ; $N_j = n_j - ik_j$ — комплексный показатель преломления j -го слоя, где n_j — действительный показатель преломления, k_j — коэффициент поглощения; индексы соответствуют ситуации, когда диэлектрический слой ($j = 2$) граничит, с одной стороны, с внешней средой ($j = 1$) и, с другой стороны, с магнитным слоем ($j = 3$).

Расчеты были проведены для структуры, приведенной на рисунке. Здесь среды по обе стороны относительно ДС, обеспечивающего интерференцию, сами являются набором слоев; под n_1, k_1, n_3, k_3 следует понимать эффективные значения, которые в свою очередь определялись по коэффициентам отражения от соответствующих границ раздела.

Если учесть, что в стеклянной подложке отсутствует поглощение ($N_2 = n_2$), то амплитудный коэффициент отражения со стороны подложки можно записать в виде [8]

$$r_{02} = (r_{01} + r_{12} \cos 4\pi n_1 h_1 / \lambda) \times (1 + r_{01} r_{12} \cos 4\pi n_1 h_1 / \lambda)^{-1} \quad (3)$$

и коэффициент отражения системы будет представлен выражением

$$R_{02} = \frac{r_{01}^2 + r_{12}^2 + 2r_{01} r_{12} \cos(-\Delta_{01} + \Delta_{12} - 4\pi n_1 h_1 / \lambda)}{1 + r_{01}^2 r_{12}^2 + 2r_{01} r_{12} \cos(\Delta_{01} + \Delta_{12} - 4\pi n_1 h_1 / \lambda)}, \quad (4)$$

где $r_{ij} = (N_i - N_j) / (N_i + N_j)$; Δ_{01} и Δ_{12} — скачки фазы на границах раздела, которые имеют значения 0 или π в зависимости от того, положительны или отрицательны значения r_{01} и r_{12} , т.е. в данном случае $\Delta_{01} = \Delta_{12} = \pi$.

Таким образом получается, что в результате расчета R_{02} две границы раздела со стороны подложки относительно ДС заменяются одной эффективной поверхностью. Эффективное значение действительного показателя преломления среды со стороны подложки $n_{1\text{eff}}$ определялось из выражения [8]

$$R_{02} = (n_{1\text{eff}} - n_2)^2 (n_{1\text{eff}} + n_2)^{-2}, \quad (5)$$

$$n_{1\text{eff}} = n_2 (1 + R_{02} \pm 2\sqrt{R_{02}}) (1 - R_{02})^{-1}. \quad (6)$$

Эффективные значения показателя преломления $n_{3\text{eff}}$ и коэффициента поглощения $k_{3\text{eff}}$ со стороны магнитоактивного слоя были получены в результате поэтапного определения амплитудного коэффициента отражения эффективной поверхности, которой заменялись две соседние границы раздела, начиная с защитного слоя GeO. При

этом для упрощения расчетов пренебрегали комплексными магнитооптическими параметрами в показателе преломления пленок DyFeCo ввиду их малости. Исходя из общего вида формулы для амплитудного коэффициента отражения [7] в рассматриваемом случае можно записать ряд выражений

$$r_{46} = [r_{45} + r_{56} \exp(-i4\pi n_5 h_5 / \lambda)] \times [1 + r_{45} r_{56} \exp(-i4\pi n_5 h_5 / \lambda)]^{-1},$$

$$r_{45} = (N_4 - N_5) / (N_4 + N_5), \quad r_{56} = (N_5 - N_6) / (N_5 + N_6); \quad (7)$$

$$r_{36} = [r_{34} + r_{46} \exp(-i4\pi n_4 h_4 / \lambda)] \times [1 + r_{34} r_{46} \exp(-i4\pi n_4 h_4 / \lambda)]^{-1},$$

$$r_{34} = (N_3 - N_4) / (N_3 + N_4); \quad (8)$$

$$r_{26} = [r_{23} + r_{36} \exp(-i4\pi n_3 h_3 / \lambda)] \times [1 + r_{23} r_{36} \exp(-i4\pi n_3 h_3 / \lambda)]^{-1},$$

$$r_{23} = (N_2 - N_3) / (N_2 + N_3); \quad (9)$$

$$R_{26} = r_{26}^2, \quad (10)$$

$$N_{3\text{eff}} = n_2 (1 + R_{26} \pm 2\sqrt{R_{26}}) (1 - R_{26})^{-1}, \quad (11)$$

$$N_{3\text{eff}} = n_{3\text{eff}} - ik_{3\text{eff}}. \quad (12)$$

В результате расчетов было получено, что ДС должен иметь показатель преломления $n = 3$. В качестве такого слоя более всего подходят пленки GeO, поскольку измерения показали, что они имеют показатель преломления $n \sim 2.8$. Рассчитанная по формуле (2) оптимальная толщина h_2 пленки GeO в рассматриваемой структуре получалась равной ~ 95 nm.

Угол вращения Керра с диэлектрической пленкой GeO оптимальной толщины можно оценить исходя из состояния поляризации света, отраженного от внешней поверхности этой многослойной пленочной структуры. При использовании линейного по намагниченности приближения этот угол равен [9]

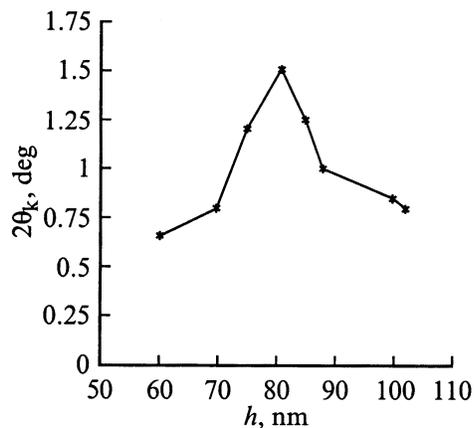
$$\theta_k = \operatorname{Im}(\chi/r), \quad \text{если } |\chi| \ll |r|, \quad (13)$$

где $r^\pm = r \pm \chi$ — амплитудные коэффициенты отражения для циркулярно поляризованных компонент соответственно с правым (+) и левым (-) направлениями вращения.

Эти коэффициенты вычислялись по приведенной выше схеме, но уже с использованием для магнитоактивной среды показателя преломления круговых волн, который задается соотношением [9]

$$N_j^\pm = N_j \sqrt{1 \pm Q_j}, \quad (14)$$

где N_j — комплексный показатель преломления, который определяется диагональной компонентой тензора диэлектрической проницаемости; Q_j — комплексный МО параметр, связанный с гиротропией магнитной среды.



Зависимость угла вращения Керра от толщины приподложечного диэлектрического слоя.

В отличие от предыдущих вычислений следует рассматривать всю систему полностью, поэтому формулы (7)–(9) необходимо дополнить следующими выражениями:

$$r_{16} = \left[r_{12} + r_{26} \exp(-i4\pi n_2 h_2 / \lambda) \right] \times \left[1 + r_{12} r_{26} \exp(-i4\pi n_2 h_2 / \lambda) \right]^{-1},$$

$$r_{12} = (N_1 - N_2) / (N_1 + N_2); \quad (15)$$

$$r_{06} = \left[r_{01} + r_{16} \exp(-i4\pi n_1 h_1 / \lambda) \right] \times \left[1 + r_{01} r_{16} \exp(-i4\pi n_1 h_1 / \lambda) \right]^{-1},$$

$$r_{01} = (N_0 - N_1) / (N_0 + N_1). \quad (16)$$

Вычислив таким образом r_{06}^+ и r_{06}^- , по формуле (13) можно определить θ_k . Необходимые для расчета значения МО и оптических параметров пленок DyFeCo (рисунок) были взяты исходя из данных для аморфных пленок TbFe [10,11]. Вычисленный угол вращения Керра равен $\sim 0.7^\circ$.

На рисунке показана экспериментально полученная зависимость угла вращения Керра от толщины ДС для многослойной структуры. Эта зависимость имеет явно выраженный резонансный характер, что можно рассматривать как свидетельство влияния интерференционных эффектов на увеличение МО вращения. Как видно из рисунка, максимальный угол вращения $2\theta_k = 1.5^\circ$ имеет структура, в которой толщина ДС равна ~ 81 nm, что достаточно хорошо согласуется с вычислениями. Такой угол вращения в 4.5 раза больше по сравнению с однослойной магнитной пленкой, и соответствующая ему МО добротность $\sqrt{R} \cdot \theta_k$ равна 0.34° . Эти значения превосходят аналогичные параметры для известных носителей запоминающих сред на основе пленок редкая земля–переходной металл.

Таким образом, использование в многослойных пленочных структурах пленок GeO оптимальной толщины в

качестве ДС позволяет увеличить угол вращения Керра в несколько раз по сравнению с однослойной магнитной пленкой. По своим МО параметрам предлагаемые структуры могут рассматриваться как перспективный материал для использования в качестве среды в МО дисках. Вычисления на основе интерференционных эффектов достаточно хорошо согласуются с экспериментом и могут быть использованы для оценки оптимальных параметров диэлектрического слоя.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 98-02-16139.

Список литературы

- [1] Буркова Л.В., Фролов Г.И. Зарубеж. электронная техника. 1987. № 9. С. 3-68.
- [2] Носков М.М. // ДАН СССР. 1941. Т. 31. № 2. С. 112–113.
- [3] Соколов А.В. Оптические свойства металлов. М.: ГИФМЛ, 1961. 464 с.
- [4] Niihara T., Ohta N., Kaneko K. et al. // IEEE Trans. Magn. 1986. Vol. 22. N 5. P. 1215–1217.
- [5] Tanaka F., Nagao Y., Imamura N. // IEEE Trans. Magn. 1984. Vol. 20. N 5. P. 1033–1035.
- [6] Tabata M. // Jap. J. Appl. Phys. 1994. Vol. 33. N 10. P. 5811–5816.
- [7] Болотин Г.А. // ФММ. 1991. № 6. С. 197–199.
- [8] Крылова Т.Н. Интерференционные покрытия. Л.: Машиностроение, 1973. 224 с.
- [9] Болотин Г.А., Соколов А.В. // ФММ. 1961. Т. 12. № 6. С. 785–791.
- [10] Prinz G.A., Krebs J.J., Forester D.W. et al. // J. Magn. Magn. Mater. 1980. Vol. 15-18. P. 779–781.
- [11] McGuire T.R., Gambino R.J., Bell A.E. et al. // J. Magn. Magn. Mater. 1986. Vol. 54-57. P. 1387–1388.