

09

## Усиление магнитооптического эффекта Керра в мультислойных пленках $\text{Co}/\text{TiO}_2$

© В.В. Поляков, К.П. Полякова, В.А. Середкин, Г.С. Патрин

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

Сибирский федеральный университет, Красноярск

E-mail: pkr@iph.krasn.ru

Поступило в Редакцию 4 июня 2012 г.

Представлены результаты исследования спектральных зависимостей угла вращения плоскости поляризации полярного эффекта Керра ( $\theta_k$ ) мультислойных пленок  $\text{Co}/\text{TiO}_2$  в спектральном диапазоне 400–1000 нм. Показано, что знак, величина и форма магнитооптического спектра зависят от толщины диэлектрической прослойки и количества слоев. Обнаружено значительное увеличение угла керровского вращения пленок  $\text{Co}/\text{TiO}_2$  по сравнению с однородными пленками  $\text{Co}$ . Угол поворота плоскости поляризации достигает рекордного значения  $2\theta_k = 7.3 \text{ deg}$  в слоистой структуре  $\text{Co}(5 \text{ nm})/\text{TiO}_2(17 \text{ nm})$  с числом пар слоев  $n = 8$  на длине волны 540 нм.

Значительный интерес, который вызывают в настоящее время нанокompозитные материалы, в частности нанокompозитные пленки, обусловлен целым рядом проявляемых ими необычных и практически важных свойств, делающих их чрезвычайно перспективным объектом как для фундаментальных, так и для прикладных исследований. Различают два типа магнитных нанокompозитных систем: в виде наногранулированных пленок, состоящих из ферромагнитных нанокластеров, находящихся в непроводящей матрице, и в виде периодических наноразмерных структур (мультислоев) ферромагнитный металл/немагнитный металл (или диэлектрик). Изучение магнитооптических свойств нанокompозитных пленок ведется в связи с возможностью их использования в качестве магнитоактивной среды в различных магнитооптических устройствах. Обнаруженное усиление магнитооптических эффектов в периодических пленочных структурах магнитный металл/диэлектрик открывает новый класс магнитооптических материалов [1,2]. Чаще всего в качестве диэлектрической прослойки используются  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Известно, что магнитооптические свойства таких неоднородных

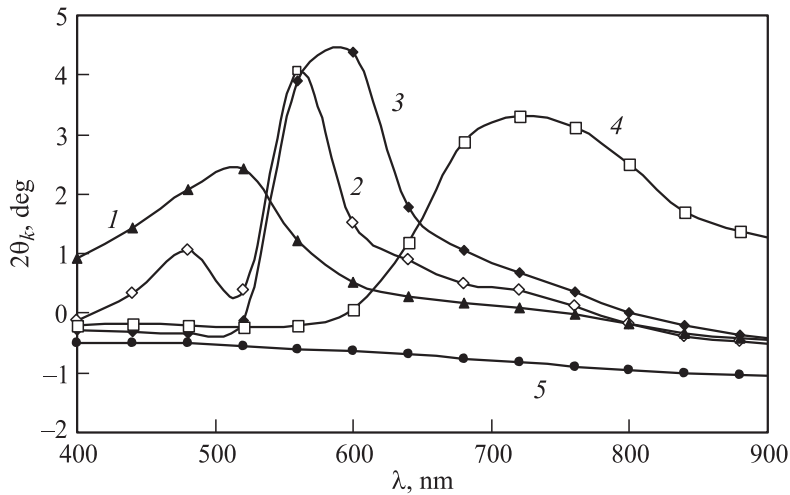
структур определяются диэлектрическими и оптическими константами магнитных и немагнитных слоев [1–4]. В связи с этим представляют интерес изучение магнитооптических свойств мультислойных пленок  $\text{Co}/\text{TiO}_2$  с прослойкой  $\text{TiO}_2$ , имеющей более высокие значения оптических констант, чем у  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Ранее нами были представлены результаты исследования магнитооптических свойств наногранулированных пленок  $\text{Co-Ti-O}$  [5]. Было показано, что спектральные зависимости угла вращения полярного эффекта Керра носят резонансный характер со значительным усилением магнитооптического отклика, зависящего от концентрации магнитной фазы и превышающего соответствующую величину наногранулированных пленок  $\text{Co-SiO}_2$  [6].

В данной работе представлены результаты исследования магнитооптических свойств нанокompозитных пленок  $\text{Co}/\text{TiO}_2$  в виде слоистой периодической структуры  $\text{Co}/\text{TiO}_2$  с максимальным числом пар слоев  $n = 12$ , полученных в едином вакуумном цикле путем последовательного осаждения слоев  $\text{Co}$  и оксида титана методом ионно-плазменного распыления и реактивного распыления соответственно. В качестве подложки использовались покровные стекла. Нанесение слоев осуществлялось на относительно холодную подложку  $T = 320 \text{ K}$ . Измерение величин угла поворота плоскости поляризации полярного эффекта Керра ( $\theta_k$ ), а также спектральные зависимости снимались по методике нуль-анализатора с двойной модуляцией плоскости поляризации падающего света по азимуту на магнитооптической установке в полях до  $14 \text{ kOe}$ . Измерения проводились при комнатной температуре в интервале длин волн  $350\text{--}1000 \text{ nm}$ . Точность измерения составляла  $0.2 \text{ min}$ .

На полученных образцах были исследованы спектральные зависимости угла поворота плоскости поляризации полярного эффекта Керра в зависимости от толщины диэлектрической прослойки и числа слоев.

Исследования влияния толщины прослойки  $\text{TiO}_2$  на спектральные зависимости угла керровского вращения были проведены на 4-слойных пленках с толщинами прослойки  $10, 14, 17, 20, 25$  и  $30 \text{ nm}$ . При толщине прослойки  $10 \text{ nm}$  наблюдалась зависимость, близкая к монотонной. На рис. 1 показаны спектральные зависимости угла керровского вращения слоистых структур  $\text{Co}/\text{TiO}_2$  для толщин слоев  $\text{TiO}_2$  ( $14, 17, 20, 25 \text{ nm}$ ) при толщине слоя  $\text{Co}$ , равной  $5 \text{ nm}$ . Как видно, зависимость угла

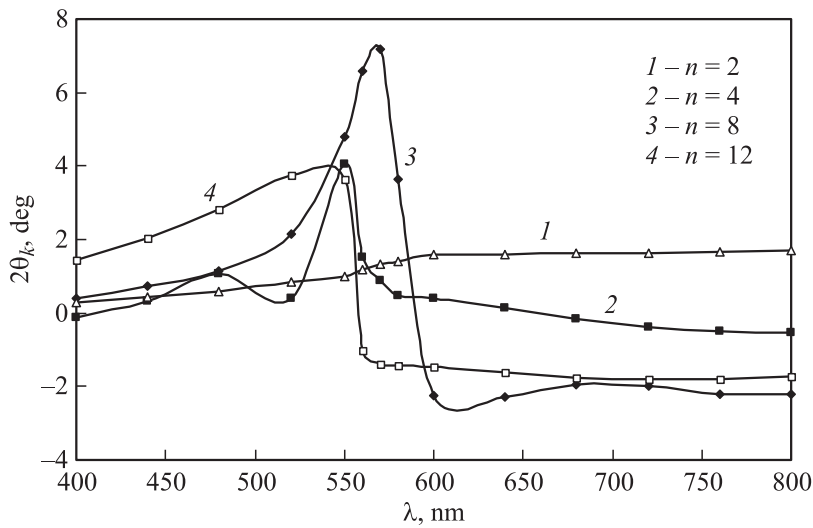


**Рис. 1.** Спектральные зависимости угла керровского вращения мультислоев  $[\text{TiO}_2(x)/\text{Co}(5 \text{ nm})] \times 4$ : 1 —  $x = 14 \text{ nm}$ , 2 —  $x = 17 \text{ nm}$ , 3 —  $x = 20 \text{ nm}$ , 4 —  $x = 25 \text{ nm}$  (5 — спектр Co толщиной 20 nm).

магнитооптического вращения от длины волны немонотонна и характеризуется наличием экстремумов. При этом наблюдается значительное увеличение угла керровского вращения по сравнению с однородными пленками Co (кривая 5), достигающего максимального значения  $2\theta_k = 4.5 \text{ deg}$  в структуре с толщиной прослойки оксида титана 20 nm на длине волны 600 nm, а наиболее узкая резонансная кривая спектра получена для структуры с толщиной  $\text{TiO}_2$  17 nm на длине волны 540 nm.

Из рис. 1 следует, что толщина прослойки  $\text{TiO}_2$  влияет не только на форму спектра, но и на положение резонанса на шкале длин волн. С увеличением толщины  $\text{TiO}_2$  происходит сдвиг положения максимума в длинноволновую область спектра. Заметим, что аналогичная зависимость наблюдалась на многослойных пленках Co/ $\text{SiO}_2$  [3].

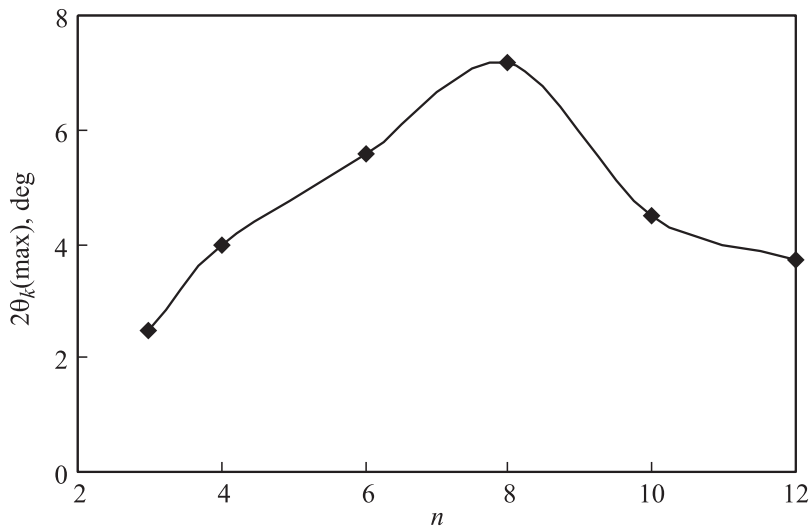
Для исследования влияния числа слоев на спектральные зависимости угла керровского вращения была получена серия пленок Co/ $\text{TiO}_2$  с числом пар слоев  $n$  от 2 до 12 с толщинами Co и  $\text{TiO}_2$ , равными соответственно 5 и 17 nm. Спектральные зависимости угла керровского



**Рис. 2.** Спектральные зависимости угла керровского вращения мультислоев  $[\text{TiO}_2(17 \text{ nm}/\text{Co}(5 \text{ nm})) \times n$  от числа слоев ( $n$ ).

вращения пленок с числом пар слоев  $n$ , равным 2, 4, 8 и 12, показаны на рис. 2. Как следует из рис. 2, форма спектра и величина магнитооптического сигнала зависят от  $n$ , при этом спектры мультислоев с  $n = 4, 8, 12$  носят ярко выраженный резонансный характер. Положение максимумов слабо меняется от числа слоев, а значение угла вращения нелинейно зависит от  $n$  (рис. 3) и достигает рекордного значения  $2\theta_k = 7.3 \text{ deg}$  в структуре с  $n = 8$  на длине волны  $540 \text{ nm}$  в сравнении с мультислойными пленками с прослойкой  $\text{SiO}_2$  [3].

Представленные результаты исследования магнитооптических свойств многослойных пленок  $\text{Co}/\text{TiO}_2$  качественно совпадают с известными экспериментальными результатами для многослойных пленок металл/диэлектрик [3,7]. Теоретические расчеты [4], проведенные на основе модели эффективной среды для подобных систем, показывают, что изменение магнитооптических спектров многослойных структур по сравнению с исходным металлом связано с изменением диагональной компоненты тензора диэлектрической проницаемости, обусловленным присутствием диэлектрической компоненты.



**Рис. 3.** Зависимость максимального значения угла керровского вращения ( $2\theta_k$ ) от числа слоев ( $n$ ) в мультислойной структуре  $[\text{TiO}_2(17\text{ nm})/\text{Co}(5\text{ nm})] \times n$ .

Отметим основные результаты проведенных исследований. Показано, что знак и величина угла керровского вращения, а также форма магнитооптического спектра мультислойных пленок  $\text{Co}/\text{TiO}_2$  зависят от толщины диэлектрической прослойки и количества слоев. Спектральные зависимости угла керровского вращения пленок с числом пар слоев  $n = 4$  и более носят резонансный характер со значительным усилением угла керровского вращения в резонансе по сравнению с однородными пленками  $\text{Co}$ . Угол поворота плоскости поляризации полярного эффекта Керра достигает рекордного для мультислойных пленок значения  $2\theta_k = 7.3\text{ deg}$  в слоистой структуре  $\text{Co}(5\text{ nm})/\text{TiO}_2(17\text{ nm})$  с числом пар слоев  $n = 8$  на длине волны  $540\text{ nm}$ .

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 11-02-00675-а).

## Список литературы

- [1] Ганьшина Е.А., Грановский А.Б., Диени Б. // ФТТ. 2000. Т. 42. В. 10. С. 1860–1862.
- [2] Виноградов А.П., Ерохин С.Г., Грановский А.Б., Инуе М. // Радиотехника и электроника. 2004. Т. 49. № 7. С. 726–729.
- [3] Edelman I.S., Morozova T.P., Zabljuda V.H. et al. // J. Magn. Magn. Mater. 1996. V. 161. P. 299–302.
- [4] Abe Goti M. // Jpn. J. Appl. Phys. 1984. V. 23 (12). P. 1580–1585.
- [5] Поляков В.В., Полякова К.П., Середкин В.А., Патрин Г.С., Бондаренко Г.В. // Изв. РАН. Сер. Физ. 2011. Т. 75. № 8. С. 1168–1169.
- [6] Кравец В.Г., Поперенко В.В. // Опт. и спектр. 2008. Т. 104. № 4. С. 677–682.
- [7] Ващук М.В., Ганьшина Е.А., Тульский И.И. и др. // Сб. тр. X Ежегодного Международного симпозиума „Нанозфизика и нанозлектроника“. Нижний Новгород, 2006. С. 674.