

05

Магнитооптические свойства поликристаллических пленок CoCrFeO_4

© К.П. Полякова, В.В. Поляков, 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 13 июля 2010 г.

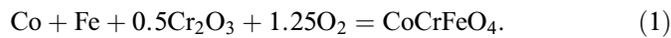
Описан метод получения поликристаллических пленок CoCrFeO_4 на основе твердофазных реакций в слоистых структурах $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Co}/\text{Fe}$ в режимах изотермического отжига и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Проведены исследования магнитооптических свойств. Показана зависимость магнитооптических спектров от режимов и температуры твердофазного синтеза. Обнаружено появление максимума угла фарадеевского вращения ($2\theta_f = 5 \text{ deg}/\mu\text{m}$) на длине волны 630 nm.

В последнее время большое внимание уделяется исследованию нового класса гетерогенных материалов — магнитофотонных кристаллов [1]. Интерес к магнитофотонным кристаллам обусловлен как прикладными аспектами, так и новыми физическими явлениями, возникающими в этих материалах. Одномерные магнитофотонные кристаллы представляют собой мультислойную структуру, состоящую из магнитной пленки, помещенной между двумя одинаковыми многослойными периодически структурированными диэлектриками с различными оптическими свойствами. В ряде магнитофотонных кристаллов магнитным слоем является пленка ферромагнетика, в частности феррограната [2]. Эпитаксиальные пленки Vi -замещенного феррограната являлись в течение многих лет рекордсменом в области высоких магнитооптических эффектов [3]. Известно также, что ионные соединения кобальта, в том числе оксидо-шпинели, характеризуются высоким фарадеевским вращением в видимой области спектра [4,5]. В этой связи представляют интерес синтез поликристаллических пленок магнитных окислов с высокими значениями магнитооптических параметров. Создание магнитофотонных кристаллов накладывает определенные условия на способы получения как магнитных, так

и диэлектрических пленок. Наиболее приемлемым методом получения являются вакуумные методы.

В данной работе представлены результаты исследований магнитных и магнитооптических свойств поликристаллических пленок феррита CoCrFeO_4 , синтезированных с использованием твердофазных реакций в слоистых структурах металл/оксид при относительно низких температурах. Твердофазные реакции могут проходить в режиме как изотермического отжига, так и самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [6–8]. Для осуществления СВС требуется наличие в исходной смеси горючего и окислителя для осуществления процесса в режиме горения. Горючим при синтезе оксидов, как правило, может быть металл, а роль окислителя выполняет кислород. Реакция окисления металла является основной, так как она обеспечивает необходимое для СВС выделение тепла. При этом кислород может быть использован из двух источников: внутреннего и внешнего.

Для получения пленок феррита-хромита кобальта была использована твердофазная реакция вида



Реагенты реакции (1) представляют собой слои в пленочной структуре $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Co}/\text{Fe}$. Слои были нанесены на пластины плавленного кварца методом термического испарения в вакууме $5 \cdot 10^{-6}$ Торр при температуре подложки 470 К. Перед осаждением слоев Co и Fe проводилось окисление на воздухе слоя Cr, предварительно нанесенного на подложку.

Твердофазные реакции в пленочных структурах осуществлялись в режиме как изотермического отжига при температурах 750 и 900–950 К, так и СВС на воздухе. Для получения пленок феррита в режиме СВС пленочную структуру помещали на вольфрамовый нагреватель и нагревали со скоростью не менее 20 К/с (тепловой взрыв) до температуры инициирования волны СВС (~ 900 К). Картина распространения фронта наблюдалась визуально и была типичной для СВС тонких пленок [6].

В результате были получены поликристаллические пленки феррита-хромита кобальта толщиной 150–200 нм. Химический состав и толщина пленок контролировались методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа. Кристаллическая структура анализировалась методом рентгеноструктурного анализа. Константа перпендикулярной магнитной анизотропии и намагниченность насыщения были измерены

на торсионном магнитометре. Петли гистерезиса полярного эффекта Керра и спектральная зависимость фарадеевского вращения измерены с использованием монохроматора ($\lambda = 400\text{--}900\text{ nm}$) в магнитном поле до 16 кОе.

Дифрактограммы пленок феррита, полученных из слоистой структуры $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Co}/\text{Cr}$, содержат только рефлексы от феррита-шпинели, независимо от режима твердофазной реакции.

Кривые перемагничивания поликристаллической пленки феррита-хромита кобальта получены из измерения полевой зависимости угла вращения полярного эффекта Керра на длине волны $\lambda = 800\text{ nm}$. Установлено, что пленки феррита, полученного в режиме СВС и изотермического отжига при температуре 950 К, имеют более высокие значения коэффициента прямоугольности и константы перпендикулярной магнитной анизотропии (K_{\perp}), а именно: коэффициент прямоугольности $S = 2\theta_K(H_0)/2\theta_K(H_{\max}) = 0.9\text{--}0.95$, $K_{\perp} = (5\text{--}7) \cdot 10^5\text{ erg/cm}^3$. Коэрцитивная сила $H_c = 2\text{--}3\text{ kOe}$, $M_s = 200\text{ Gs}$.

На рис. 1 показана спектральная зависимость фарадеевского вращения пленок феррита-хромита кобальта, синтезированных при различных температурах изотермического отжига и в режиме СВС. Обращает на себя внимание появление положительного пика на $\lambda = 630\text{ nm}$, характерного для феррита-хромита кобальта [4]. Значение $2\theta_F$ на $\lambda = 630\text{ nm}$ составляет $5\text{ deg}/\mu\text{m}$ для пленок, синтезированных при температуре 900–950 К, что в несколько раз превышает соответствующие значения пленок кобальтового феррита с такой же концентрацией ионов Co^{2+} [9]. Фарадеевское вращение полученных пленок на длине волны 800 nm также имеет высокое значение, превышающее известные для ферритов (шпинелей, феррогранатов). Усиление фарадеевского вращения на длине волны гелий-неонового лазера феррита-хромита кобальта можно объяснить следующим образом. Магнитооптические спектры ферритов-шпинелей в видимой и инфракрасной области спектра связаны с $d-d$ -переходами в магнитных ионах октаэдрических и тетраэдрических позиций. В кобальтовом феррите ионы Co^{2+} в тетраэдрах дают основной вклад на длине волны 630 nm. Известно также, что ионы хрома имеют предпочтение к расположению в октаэдрах структуры шпинели. Вследствие этого ионы Co^{2+} занимают тетраэдрические положения. Это и приводит к усилению магнитооптического вращения на длине волны в кобальтовом феррите при замещении части ионов Fe^{3+} ионами Cr. Равновесному состоянию такого феррита со структурой шпинели

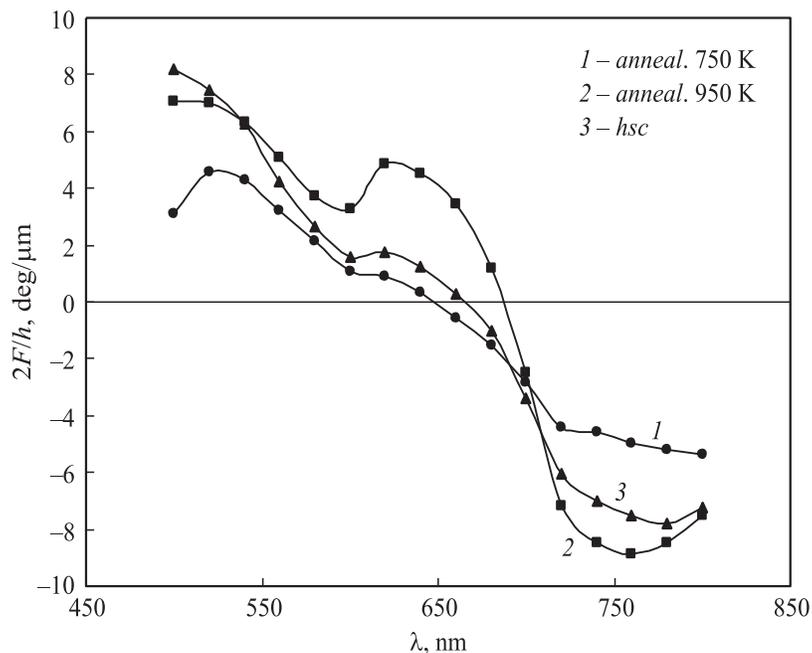


Рис. 1. Спектральная зависимость угла фарадеевского вращения поликристаллических пленок CoCrFeO_4 .

соответствует структура нормальной шпинели, когда двухвалентные ионы полностью расположены в тетраэдрах. Зависимость фарадеевского спектра от режима твердофазной реакции, видимо, связана с различием скоростей реакции при изотермическом отжиге и СВС. Процесс получения пленок в режиме отжига является более равновесным в сравнении с режимом СВС, который фактически рассматривается как тепловой взрыв. Таким образом, пленки, полученные в режиме СВС, могут иметь частично обращенную структуру шпинели, что приводит к уменьшению вклада в магнитооптический спектр тетраэдрических ионов Co^{2+} на длине волны 630 нм. Отметим, что характер магнитооптических спектров полученных пленок подтверждает наличие кобальта в тетраэдрических позициях структуры шпинели [4] и, таким образом, влияние ионов Cr на распределение ионов Co по кристаллографическим подрешеткам.

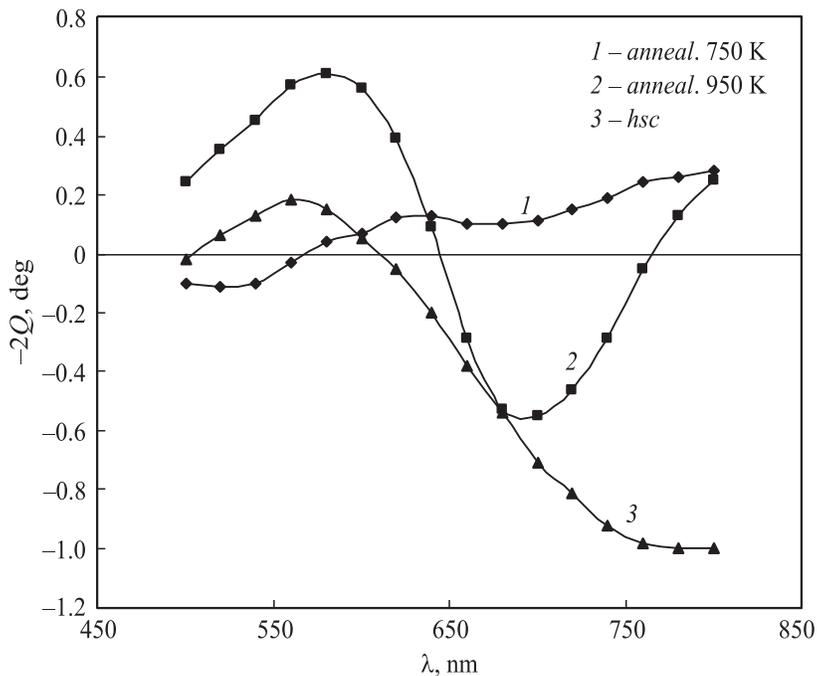


Рис. 2. Спектральная зависимость угла керровского вращения поликристаллических пленок CoCrFeO_4 .

Спектральные зависимости угла керровского вращения пленок феррита-хромита кобальта, полученных при различных условиях твердофазного синтеза, показаны на рис. 2. Как видно в спектре пленки, синтезированной при температуре 750 К, практически отсутствуют резонансы, характерные для кобальтового феррита. Этот факт может быть связан с несовершенством кристаллической структуры, обусловленной низкой температурой синтеза. Характер магнитооптического спектра пленки, полученной при температуре 950 К, соответствует спектру феррита-хромита кобальта [4,5]. При этом абсолютные значения угла керровского вращения в точках экстремума превышают соответствующие значения массивного поликристаллического феррита хромита в два раза.

Таким образом, показано, что использование метода твердотельной реакции в слоистых структурах металл/оксид позволило получить пленки феррита-хромита кобальта на кварцевых подложках при относительно низкой температуре синтеза с высокими значениями магнитных и магнитооптических параметров. Совокупность магнитных и магнитооптических параметров соответствует требованиям магнитооптической среды для магнитофотонных кристаллов, а также магнитооптической памяти.

Список литературы

- [1] *Звездин А.К.* // Природа. 2004. № 10. С. 12.
- [2] *Kato H., Matsushita T., Talayama A. et al.* // J. Appl. Phys. 2003. V. 93. P. 3906.
- [3] *Звездин А.К., Котов В.А.* Магнитооптика тонких пленок. М.: Наука, 1988. 192 с.
- [4] *Edelman I.S., Baurin V.D.* // Phys. Stat. SOL. (a). 1978. V. 46. P. K83.
- [5] *Ahrenkel R., Spburn T.* // IEEE Trans. Magn. 1975. MAG-11. P. 1103.
- [6] *Мягков В.Г., Быкова Л.Е.* // Докл. АН. Физ. Хим. 1997. Т. 354. С. 188.
- [7] *Polyakova K.P., Polyakov V.V. et al.* // Phys. Met. Matallog. 2005.V. 100. P. S60–S62.
- [8] *Поляков В.В., Полякова К.П., Середкин В.А., Жарков С.М.* // ФТТ. 2009. Т. 51. С. 1757.
- [9] *Yamazaki Y., Suzuki, Namikava T.* // IEEE Trans. Magn. 1987. MAG-23. P. 3320.