

УДК 548:537.611.44

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ ПЛЕНОК Fe–Ti–O, ПОЛУЧЕННЫХ ТВЕРДОФАЗНЫМ СИНТЕЗОМ

© 2015 г. К. П. Полякова¹, В. В. Поляков¹, В. А. Середкин¹, Г. С. Патрин^{1,2}

E-mail: pkp@iph.krasn.ru

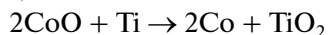
Приведены результаты исследования магнитных и магнитооптических свойств композитных пленок Fe–Ti–O составов выше порога перколяции, полученных в условиях твердотельной реакции с обменом кислородом в слоистых структурах FeO/Ti. Обнаружены особенности магнитооптических спектров полученных пленок в сравнении со спектрами сплошных пленок металлов.

DOI: 10.7868/S0367676515060277

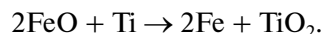
Композитные пленки с неоднородным распределением компонент в плоскости пленки (наногранулированные пленки), состоящие из ферромагнитных гранул, находящихся в диэлектрической матрице, обладают рядом интересных свойств среди которых следует отметить туннельное магнитосопротивление, магниторефрактивный эффект, увеличение магнитооптических эффектов. Большинство исследований посвящено гранулированным пленкам в диэлектрических матрицах SiO₂ и Al₂O₃.

Магнитооптические спектры в неоднородных системах, в сравнении со сплошными пленками, зависят от коэффициента заполнения магнитной фракцией (или относительного объема) и типа диэлектрической матрицы [1–3]. В связи с этим представляют интерес магнитооптические свойства гранулированных пленок в матрице TiO₂ [4–6] с диэлектрической константой, превышающей соответствующие значения SiO₂ и Al₂O₃.

Ранее было показано, что продуктами твердофазной реакции



являются гранулы Co в матрице окиси титана [4]. Учитывая высокую химическую активность титана по отношению к кислороду, для получения гранулированных пленок Fe в диэлектрической матрице окиси титана мы использовали следующую реакцию:



Здесь реагентами реакции могут служить слои FeO и Ti на подложке. Для изменения соотношения объемов магнитной и диэлектрической фаз в продуктах реакции необходимо менять не только

соотношение толщин слоев реагентов, но и давление остаточных газов. Объемную концентрацию магнитной фазы определяли как $X = V_{\text{Fe}} / (V_{\text{Fe}} + V_{\text{Ti}})$, а твердотельные реакции в слоистых структурах FeO/Ti осуществляли в режиме изотермического отжига.

Пленки FeO были получены окислением на воздухе при температуре 620 К пленок железа, осажденных методом термического испарения в вакууме $\sim 10^{-6}$ Торр на пластины покровного стекла при температуре 470–520 К. Слои титана осаждали методом ионно-плазменного распыления массивной мишени титана в атмосфере аргона при давлении $(4-5) \cdot 10^{-4}$ Торр и температуре подложки ~ 320 К. Твердофазная реакция осуществлялась в режиме изотермического отжига при температуре 570–600 К в вакууме $10^{-6} - 10^{-5}$ Торр. В работе представлены результаты исследования магнитных свойств композитных пленок с объемной концентрацией 0.5, 0.56 и 0.63.

Химический состав и толщину пленок контролировали методом рентгеноспектрального флуоресцентного анализа. Кристаллическую структуру анализировали методом рентгеноструктурного фазового анализа. Магнитные свойства полученных пленок были измерены с использованием магнитооптического магнитометра Nano MOKE 2. Измерение величин полярного магнитооптического эффекта Керра (θ_k) а также их спектральные зависимости снимали по методике нуль-анализатора с двойной модуляцией плоскости поляризации падающего света по азимуту на магнитооптическом стенде в полях до 14 кЭ. Измерения проводили при комнатной температуре в интервале длин волн 400–1000 нм. Точность измерения составляла 0.2 нм.

Результаты рентгеноструктурных исследований пленок, полученных отжигом пленочных структур FeO/Ti, показали восстановление Fe в продуктах реакции.

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики имени Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук, Красноярск.

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования “Сибирский федеральный университет”, Красноярск.

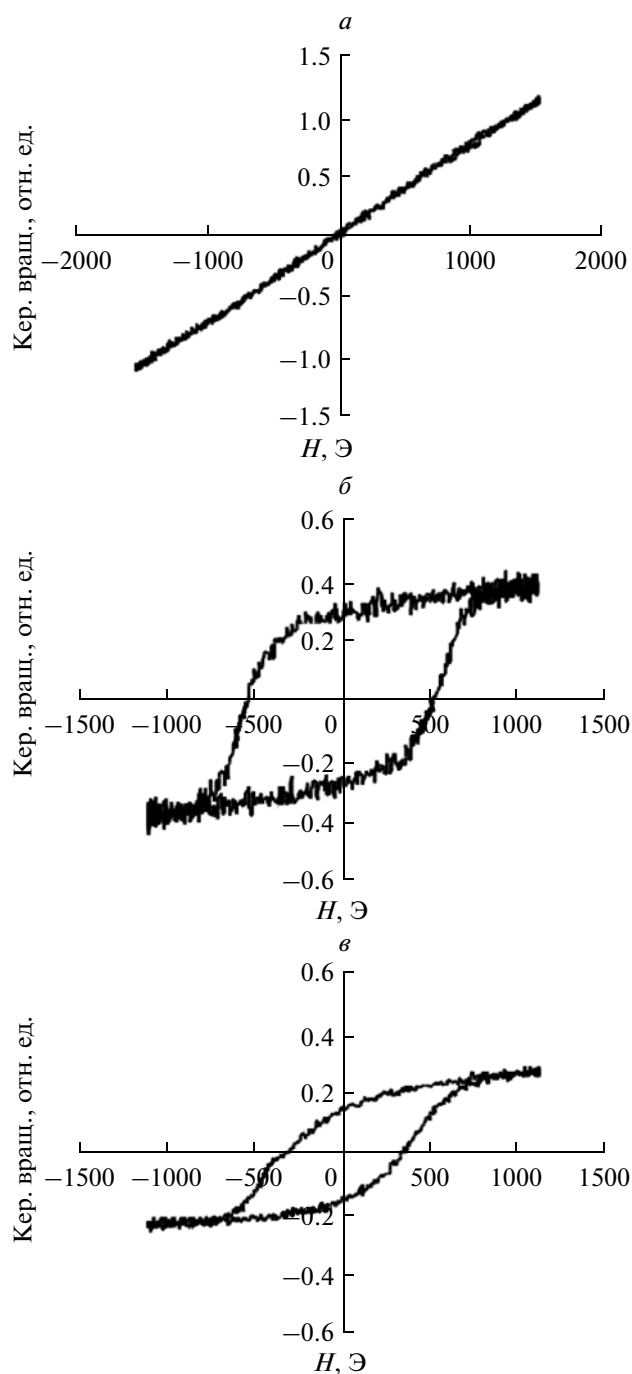


Рис. 1. Кривые перемагничивания пленок Fe–Ti–O с объемными концентрациями $X = 0.35$ (а), $X = 0.6$ (б) и $X = 0.63$ (в).

Значение удельного электросопротивления, составляющие $\rho = 5 \cdot 10^{-3}$ Ом · м для $X = 0.5$ соответствует наногранулированным пленкам в непроводящей матрице.

Исследование магнитных свойств полученных композиционных пленок Fe–Ti–O показало следующее.

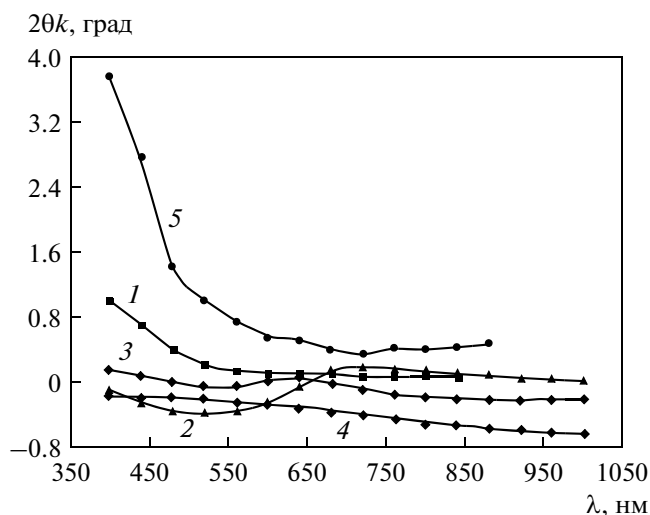


Рис. 2. Спектральные зависимости угла керровского вращения пленок Fe–Ti–O с $X = 0.5$ (кривая 1), $X = 0.56$ (кривая 2), с $X = 0.63$ (кривая 3), однородной пленки Fe (кривая 4) и пленки полученной из слоистой структуры Ti–O/Fe/Ti–O (кривая 5).

Вид кривых перемагничивания в плоскости пленок с объемными концентрациями $X = 0.4$ и выше указывает на ферромагнитный характер взаимодействия между магнитными гранулами. На рис. 1 представлены кривые перемагничивания пленок с $X = 0.35$ (а), 0.56 (б), 0.63 (в). Значения коэрцитивной силы пленок с концентрацией $0.5, 0.56, 0.63$ равны $600, 500$ и 350 Э соответственно. Как видно, с увеличением объемной концентрации магнитной фазы коэрцитивная сила пленок уменьшается. Для гранулированных пленок наблюдались как аналогичная, так и обратная зависимости коэрцитивной силы от концентрации [7].

Магнитооптические спектры полученных пленок были исследованы в области видимого света в магнитном поле до 14 кЭ.

Спектральные зависимости эффекта Фарадея были измерены на пленках с $X = 0.5$. Спектр фарадеевского вращения представляют собой немонотонную зависимость с широким максимумом в области длин 750 – 800 нм. Значение угла фарадеевского вращения в максимуме достигает 9 град · мкм $^{-1}$.

На рис. 2 представлены зависимости угла вращения ($2\theta_k$) полярного эффекта Керра от длины волны (λ) пленок для $X = 0.5, 0.56$ и 0.63 , а также для однородной пленки Fe толщиной 30 нм. Как видно, зависимости являются немонотонными. В отличие от исследованных ранее гранулированных пленок Co–Ti–O [5] спектры пленок Fe–Ti–O не носят ярко выраженного резонансного характера, хотя и показывают значительное усиление (в 5 раз) угла вращения в коротковолновой области спектра для концентрации $X = 0.5$ в сравнение с одно-

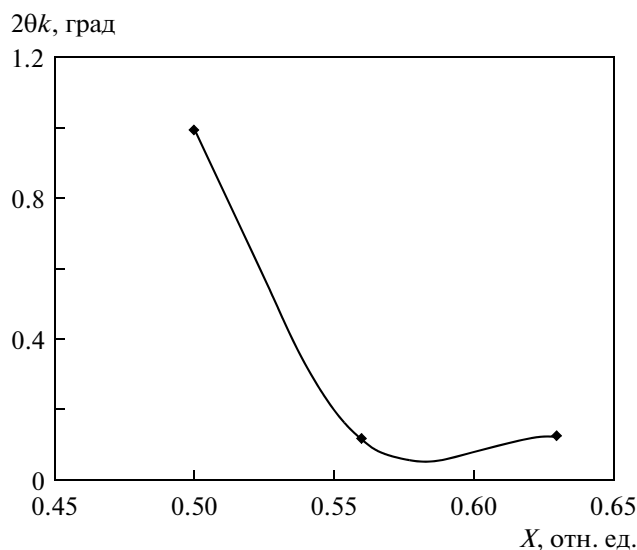


Рис. 3. Зависимость абсолютного значения максимального угла керровского вращения от объемной концентрации магнитной фазы на длине волны 400 нм.

родными пленками железа. На рис. 3 изображена зависимость абсолютного значения максимального угла керровского вращения от объемной концентрации на длине волны 400 нм. Для $X = 0.5$ наблюдается усиление магнитооптического вращения в коротковолновой области спектра. Еще больший рост (в 20 раз) керровского вращения наблюдается у композитных пленок с такой же концентрацией, полученных нами традиционным способом, а именно последовательным нанесением слоев Fe и Ti–O и последующим отжигом (рис. 2, кривая 5).

Следует отметить, что наблюдаемые особенности в спектре эффекта Керра полученных композитных пленок характерны для неоднородных сред металл–диэлектрик [5, 6, 8, 9]. Можно видеть, что результаты исследований магнитооптических свойств полученных пленок носят предварительный характер и не могут быть объяснены в рамках настоящего эксперимента.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 14-02-00238-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abe M., Gomi M. // Jpn. J. Appl. Phys. 1984. V. 23. P. 1580.
2. Gan'shina E., Granovsky A., Dienu B, Kumaritova M., Yurasov A. // Physica B. 2001. V. 299. P. 260.
3. Дынник Ю.А., Эдельман И.С., Морозова Т.П., Ким П.Д., Турпанов И.А., Бетенькова А.Я. // Письма в ЖЭТФ. 1997. Т. 65. № 7. С. 53.
4. Поляков В.В., Полякова К.П., Середкин В.А., Жарков С.М. // Физика тв. тела 2009. Т. 51. Вып. 9. С. 1757.
5. Поляков В.В., Полякова К.П., Середкин В.А., Патрин Г.С., Бондаренко Г.В. // Изв. РАН. Сер. Физ. 2011. Т. 57. № 8. С. 11684; Polyakov V.V., Polyakova K.P., Seredkin V.A., Patrin G.S., Bondarenko G.V. // Bull. Russ. Acad. Sci. Physics. 2011. V. 57. № 8. P. 1106.
6. Gan'shina E.A., Granovsky A.B., Orlov A.F. // J. Magn. Magn. Mater. 2009. V. 321. P. 723
7. Стогней О.В., Ситников А.В. // Физика тв. тела 2010. Т. 125. Вып. 12. С. 2356.
8. Gan'shina E.A., Aimuta K., Granovsky A.B., Kochneva M., Sherbak P., Vashuk M.V. // J. Appl. Phys. 2004. V. 95. № 11. P. 6882.
9. Кравец В.Г., Поперенко Л.В. // Оптика и спектроскопия. 2008. Т. 104. С. 677.