

УДК 538.958

DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-15-24

## **ЭКВАТОРИАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ КЕРРА И УЧЕТ РАЗМЕРНОГО ФАКТОРА В НАНОКОМПОЗИТАХ НА ПРИМЕРЕ CoFeB**

**А.Н. Юрасов<sup>@</sup>,  
Н.В. Грановский**

*МИРЭА – Российский технологический университет, Москва 119454, Россия  
<sup>@</sup>Автор для переписки, e-mail: alexey\_yurasov@mail.ru*

С помощью экваториального эффекта Керра (ЭЭК) в работе проанализированы свойства нанокompозитов на примере CoFeB. В данном нанокompозите наблюдаются аномальный эффект Холла и значительная магнитооптическая активность, что представляет фундаментальный и практический интерес. Рассмотрены возможности весьма широкого применения нанокompозита в различных областях: от медицины и химии до строительства и ракето- и самолетостроения. Описан способ получения нанокompозита CoFeB. По результатам эксперимента и в рамках теории эффективной среды и размерного эффекта объяснены особенности его магнитооптических спектров и структуры. Проведен поиск оптимальных значений параметров нанокompозита, как то: размер частиц, форм-фактор, угол падения света. Фиксируя все выбранные параметры, кроме одного изменяемого, удается описать спектры экваториального эффекта Керра нанокompозита. Установлена важность учета размерного эффекта. Построены спектральные зависимости ЭЭК и наглядно показано изменение знака и величины эффекта в ближней ИК-области, обусловленное внутризонными переходами.

**Ключевые слова:** размерный эффект, нанокompозиты, экваториальный эффект, размерный эффект Керра, магнитооптические свойства.

## **SPECIAL ASPECTS OF THE TRANSVERSE KERR EFFECT WITH CONSIDERATION OF THE SIZE EFFECT IN NANO-COMPOSITES AS EXEMPLIFIED BY CoFeB**

**A.N. Yurasov<sup>@</sup>,  
N.V. Granovsky**

*MIREA – Russian Technological University, Moscow 119454, Russia  
<sup>@</sup>Corresponding author e-mail: alexey\_yurasov@mail.ru*

The article deals with the analysis of the properties of nanocomposites as exemplified by CoFeB using the transverse Kerr effect (TKE). This nanocomposite has strong magnetic properties. It shows such effects as anomalous Hall effect and significant magneto-optical activity, which is of both fundamental and practical interest. In this article, in addition to calculating the optimal values in the modeling of nanocomposites, the possibility of their very wide application in a variety of fields is considered: from medicine and chemistry to the building industry, rocket engineering and aircraft construction. An important task is to study the structure of nanocomposites, which allows producing magneto-optical devices. The method of obtaining the CoFeB nanocomposite is described. The specific features of its magneto-optical spectra are explained in view of the results of the experiment in the framework of the effective medium theory and the size effect. Using the CoFeB nanocomposite this article allows explaining the value of the TKE, the spectra of which change their sign in the near IR region and, significantly, their shape. This behavior can be explained only by particle size distribution, i.e., size effect. The obtained results allow explaining experimental optical and magneto-optical spectra in nanocomposites, mainly, in the near and visible IR region. This article deals with the research on the optimal values of the parameters describing the nanocomposite. The following parameters of the nanocomposite were considered during the simulation: particle size, form-factor and light incidence angle. Fixing all the chosen parameters except the changeable one and carrying out corresponding calculations the author has succeeded in obtaining several different values describing the transverse Kerr effect influence on the nanocomposite. The importance of considering the size effect in the near IR region of the spectra is explained in the article. The description of the optical and magneto-optical spectra of the nanocomposite (CoFeB) is provided. Spectral dependences of the TKE were obtained, which allowed clearly demonstrating the change in signs and values of the effect in the near IR region. The size effect in the near IR region of the spectrum is associated with interband transitions.

**Keywords:** size effect, nanocomposites, transverse Kerr effect, magneto-optical properties.

### Введение

Нанокompозиты – это перспективные многокомпонентные материалы с интересными магнитными, электрическими, оптическими, теплоизоляционными и механическими свойствами. Поэтому сфера применения нанокompозитов весьма широка: от медицины, химии, строительства до ракет- и самолетостроения. Так, аккумуляторы на основе кремний-углеродных нанокompозитов имеют отличные показатели: большую емкость и значительную силу тока. Теплоизоляционная плитка для многоразового корабля «Буран» сделана из нанокompозита на основе карбида кремния. В последнее время нанокompозиты широко применяются для выращивания костных имплантатов в стоматологии. Использование нанокompозитов в упаковке позволяет уменьшить количество и общую стоимость материала при одновременном повышении барьерных свойств упаковки. Весьма перспективно применение композитов на основе углеродных нанотрубок и нановолокон. Нанокompозиты прекрасно подходят для иммобилизации протеинов, вирусов и бактерий [1, 2].

Одним из наиболее интересных и важных разделов с точки зрения практического применения и исследования нанокompозитов является магнитооптика [1, 2]. Магнитооптика изучает явления, возникающие в результате взаимодействия оптического излучения с веществом, находящимся в магнитном поле. Наличие магнитного поля изменяет

дисперсионные кривые коэффициента поглощения и показателя преломления и приводит к появлению или изменению оптической анизотропии среды. Магнитооптические эффекты можно классифицировать различными способами, например, разделить их на эффекты, наблюдающиеся на проходящем через магнитный кристалл свете, и эффекты влияния на отраженный от кристалла свет. Известна классификация магнитооптических эффектов на продольные и поперечные по характеру распространения света относительно плоскости его падения [3–5].

Экваториальный эффект Керра (ЭЭК) заключается в изменении интенсивности и фазы отраженного от образца линейно-поляризованного света при перемагничивании образца в направлении, перпендикулярном плоскости падения света. Большим преимуществом экваториального эффекта Керра заключается в том, что на  $p$ -компоненте эффект линейно-поляризованного света определяется гироэлектрическими свойствами вещества, а на  $s$ -компоненте – гиромангнитными свойствами вещества. Это обстоятельство позволяет с помощью экваториального эффекта Керра определять недиагональные компоненты тензоров, а в практическом отношении «отсеять» шумы и наводки в экспериментальной установке [3–5]. Яркий пример использования магнитооптических эффектов – магнитооптическая запись информации. Магнитооптический диск – носитель информации, сочетающий свойства оптических и магнитных накопителей. Для чтения информации используется магнитная система, для записи – одновременно оптическая и магнитная.

В магнитных нанокompозитах ферромагнитные частицы, близкие к однодоменным, помещены в полупроводниковую или диэлектрическую матрицу. Магнитные нанокompозиты представляют большой практический интерес в связи с наличием в них туннельного магнитосопротивления и аномального эффекта Холла (АЭХ) [6, 7].

К наиболее перспективным с точки зрения магнитооптических свойств относятся следующие структуры: стекла, содержащие оксид свинца (флинты, кроны); плавленый кварц; ферромагнетики ( $Y_3Fe_5O_{12}$ ,  $CdFe_3O_{12}$ ); ортоферриты ( $MnBi$ ,  $EuO$ ,  $CdTFe$ ); пленки феррит-гранатов ( $(Bi, Y, Gd)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$ ,  $(Bi, Tm, Gd)_3(Fe, Ga)_5O_{12}$ ).

Целью работы явилось моделирование и объяснение экспериментальных спектров ЭЭК, полученных для нанокompозита  $(Co_{41}Fe_{39}B_{20})_x(SiO_2)_{100-x}$ , который является типичным представителем перспективного класса наноматериалов.

### Экспериментальная часть

Нанокompозит «аморфный ферромагнетик – диэлектрик» состава  $(Co_{41}Fe_{39}B_{20})_x(SiO_2)_{100-x}$  получали в Воронежском государственном техническом университете методом ионно-лучевого напыления в атмосфере аргона [5]. Выбор столь сложного состав гранул  $Co_{41}Fe_{39}B_{20}$  обусловлен устойчивостью аморфной структуры такого ферромагнетика при комнатной температуре. С целью изготовления образцов использовали вакуумную камеру с тремя источниками ионно-лучевого распыления. Для напыления брали сплавные или составные мишени: сплавную мишень  $Co_{41}Fe_{39}B_{20}$  (кобальт чистотой 99.98%, карбонильное железо и бор) получали методом индукционной вакуумной плавки. Составная мишень представляла собой сплавную мишень с закрепленными на ее поверхности пластинами из монокристалла кварца/алюмооксида. Толщина полученных пленочных образцов составляла 0.15–6.5 мкм [5].

Важно отметить, что спектральные зависимости ЭЭК для послойно напыленных композитов  $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$  отличаются не только от зависимости для *bulk*-композита, но и между собой. В разных условиях получения образцов формируются гранулы разных размеров. При непрерывном напылении образец находится при высокой температуре достаточно долгое время, и в нем успевают образоваться равновесные гранулы. Образование равновесных гранул может происходить практически в полном его объеме, а размер равновесных гранул определяется, в первую очередь, концентрацией ферромагнитной фазы. При последовательном напылении образование гранул возможно только внутри последнего, еще горячего напыляемого слоя. Таким образом, можно говорить, что средний размер гранул послойно напыленного композита не превышает толщины отдельных его слоев.

Состав полученных композитов контролировали электронно-зондовым рентгеноспектральным микроанализом. Измерение электрических и магниторезистивных свойств полученных образцов осуществляли двухзондовым потенциометрическим методом. На основе исследования концентрационной зависимости удельного электросопротивления определяли порог перколяции ( $x_{\text{пер}}$ ), который составил  $x_{\text{пер}} \approx 49\%$  для  $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$ . Исследование магнитосопротивления полученных материалов показало, что они обнаруживают эффект туннельного магнитосопротивления (ТМС) с ярко выраженным максимумом вблизи порога перколяции [5].

Экспериментальные исследования ЭЭК проводили на кафедре магнетизма МГУ им. М.В. Ломоносова на магнитооптической установке в диапазоне от 0.5 до 3.5 эВ при комнатной температуре динамическим методом [5]. Величина магнитного поля не превышала 2.5 кЭ. Угол падения света менялся от 40° до 85°. Источником излучения служила галогенная лампа TESLA.CHS-150 с излучением в диапазоне 0.5–4 эВ. Использовали призменный двойной монохроматор ДМР-4 и поляризатор Франка-Риттера. В качестве приемников излучения применяли: в ИК-области спектра (0.5–1.5 эВ) фотосопротивление PbS, а в видимой и ближней ИК-области – фотоэлектрический умножитель ФЭУ-106 (или ФЭУ-79). Величину ЭЭК рассчитывали по уравнению

$$\delta(\omega) = k[\Delta R(\omega)/R(\omega)],$$

где  $k$  – калибровочный коэффициент;

$\Delta R(\omega)$  – глубина модуляции;

$R(\omega)$  – постоянная составляющая.

Такой способ измерения практически исключает влияние нестабильности работы источника света и других приборов электронной части установки [см., например, 5].

### Результаты моделирования экваториального эффекта Керра для нанокompозитов $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$

Для описания нанокompозитов и моделирования с учетом неоднородности их состава целесообразно применять методы эффективной среды [8, 9]. Согласно определению, частица, находящаяся в эффективной среде, не может быть обнаружена экспериментально, если использовать электромагнитное излучение ограниченного диапазона длин волн. Другими словами, поглощение частицы должно быть таким же, как если бы она была

заменена эффективной средой с диэлектрической проницаемостью, характеризующей эту среду в целом величиной  $\varepsilon$ . Это фундаментальное свойство эффективной среды. Оно показывает, что распространение волн заданного диапазона внутри такой среды происходит без изменения волнового фронта [8, 9].

Тензор диэлектрической проницаемости (ТДП) имеет вид:

$$\hat{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon & i\gamma & 0 \\ -i\gamma & \varepsilon & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon \end{pmatrix} \quad (1)$$

Если объемная концентрация частиц мала, то можно воспользоваться приближением Максвелла–Гарнетта ( $x < 0.3$ ), при средних значениях объемной концентрации – приближением Бруггемана ( $0.3 < x < 0.7$ ) [8, 9].

В пределе малых размеров сферических частиц получаем формулу приближения  $\varepsilon = \varepsilon^{EMA}$  [9]:

$$X \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon^{EMA})}{\varepsilon^{EMA} + (\varepsilon_1 - \varepsilon^{EMA})L_{xx}} + (1 - X) \frac{(\varepsilon_0 - \varepsilon^{EMA})}{\varepsilon^{EMA} + (\varepsilon_0 - \varepsilon^{EMA})L_{xx}} = 0 \quad (2)$$

где  $\varepsilon_1$  – диэлектрическая проницаемость первой компоненты (в нашем случае металла);

$\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость второй компоненты (в нашем случае кварца);

$\varepsilon^{EMA}$  – эффективная диэлектрическая проницаемость;

$L_{xx}$  – форм-фактор частиц.

Используем формулу с учетом размерного эффекта (РЭ) в диагональных компонентах ТДП [7]:

$$\varepsilon_{\text{mod}} = \varepsilon + \frac{\omega^2}{p} \frac{1}{\omega(\omega + i/\tau_{\text{bulk}})} - \frac{\omega^2}{p} \frac{1}{\omega(\omega + i/\tau_{\text{part}})}, \quad (3)$$

здесь:  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость металла без учета РЭ;

$\omega$  – частота света;

$\omega_p$  – плазменная частота;

$\tau_{\text{part}}$  – время свободного пробега электронов в грануле;

$\tau_{\text{bulk}}$  – время свободного пробега электронов в массивном образце.

Для учета размерного эффекта в недиагональных компонентах ТДП возьмем формулу [10]:

$$\gamma_{\text{mod}} = \gamma + \frac{4\pi\sigma_{xy}^{\text{bulk}}(0) / \tau_{\text{bulk}}^2}{\omega(\omega + i / \tau_{\text{bulk}})^2} - \frac{4\pi\sigma_{xy}^{\text{gr}}(0) / \tau_{\text{part}}^2}{\omega(\omega + i / \tau_{\text{part}})^2}, \quad (4)$$

где  $\sigma_{xy}^{\text{bulk}}(0) = 4\pi M_s R_{\text{bulk}} / \rho_{\text{bulk}}^2$ ;

$$\sigma_{xy}^{gr}(0) = 4\pi M_s R_{gr} / \rho_{gr}^2;$$

$M_s$  – намагниченность насыщения;

$R_{gr}$  – коэффициент АЭХ;

$\tau_{bulk}$  – время свободного пробега в массивном образце;

$\tau_{gr}$  – время свободного пробега в грануле;

$\rho_{bulk}$  – удельное сопротивление массивного образца;

$\rho_{gr}$  – удельное сопротивление гранулы.

Далее полученные результаты подставляем в формулы экваториального эффекта Керра на  $p$ -компоненте:

$$\delta_P = (A\gamma_1 + B\gamma_2) \frac{2 \sin 2\varphi}{A^2 + B^2}, \quad (5)$$

где  $\varepsilon = \varepsilon_1 - i\varepsilon_2$ ;

$$A = \varepsilon_2(2\varepsilon_1 \cos^2 \varphi - 1);$$

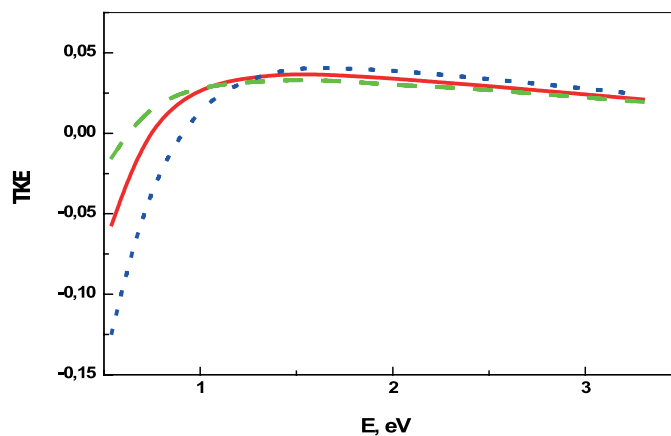
$$B = \cos^2 \varphi(\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2 + 1) + \varepsilon_1 - 1;$$

$\varphi$  – угол падения света.

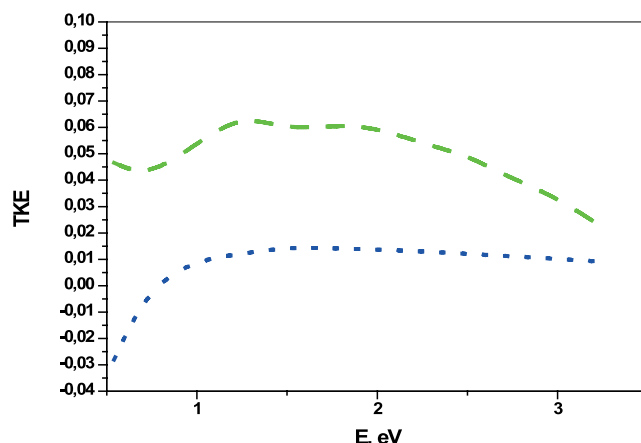
Рассмотрим теперь смоделированные спектры нанокompозитов и сравним их с экспериментальными данными [5]. В ходе моделирования анализируется влияние таких параметров, как размер частицы, форм-фактор, угол падения.

На рис. 1 представлены спектры нанокompозита  $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_x(\text{SiO}_2)_{100-x}$ , рассчитанные по формуле (5), для разных размеров частицы  $r_0$  с учетом размерного эффекта в диагональных компонентах ТДП. Видно, что основное отличие наблюдается в ближней ИК-области спектра, что обусловлено внутризонными переходами.

На рис. 2 приведены спектры ЭЭК в зависимости от угла падения света. На них видно, что варьирование параметра угла приводит к значительному изменению формы спектра, а также величины эффекта.



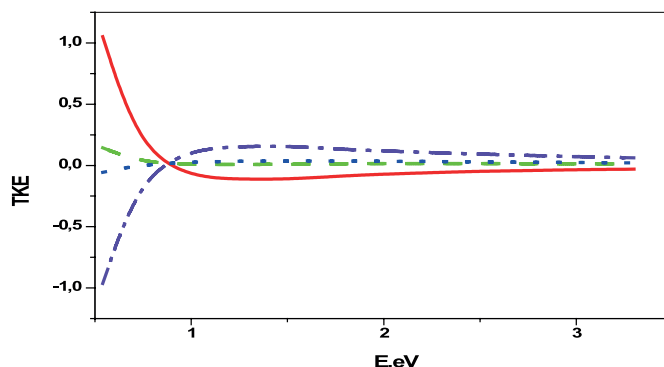
**Рис. 1.** Спектральная зависимость экваториального эффекта Керра (учет РЭ в диагональных компонентах ТДП): сплошная линия –  $r_0 = 2$  нм; пунктир –  $r_0 = 2.5$  нм; точки –  $r_0 = 1.5$  нм.



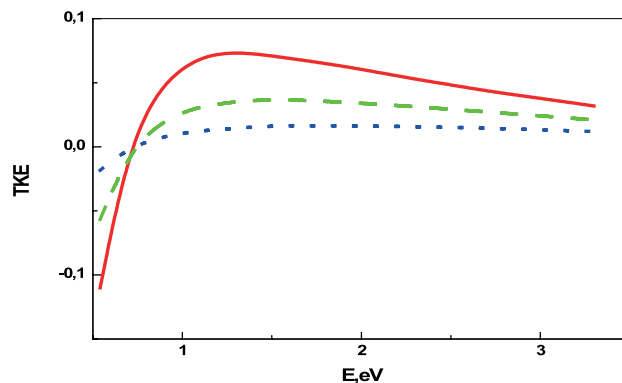
**Рис. 2.** Спектральная зависимость экваториального эффекта Керра при изменении угла падения света  $\varphi$ : пунктир – для  $\varphi = 40^\circ$ ; точки – для  $\varphi = 80^\circ$ .

Как видно из рис. 3, на котором приведен спектр зависимости ЭЭК с учетом полного размерного эффекта (уравнения 4, 5), РЭ меняет величину, форму и даже знак ЭЭК в ближней ИК-области спектра, что также, по нашему мнению, связано с внутризонными оптическими переходами.

В случае изменения форм-фактора вид спектральных кривых меняется незначительно (рис. 4).

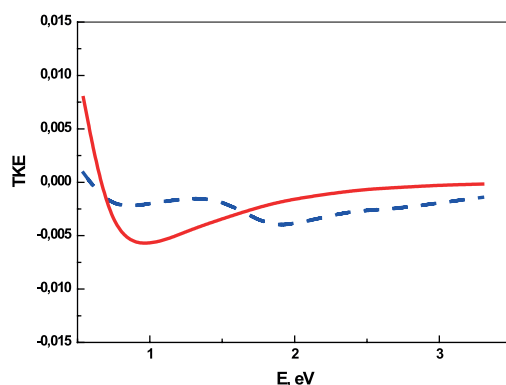


**Рис. 3.** Спектральная зависимость экваториального эффекта Керра при учете полного размерного эффекта: сплошная линия – параметр  $\beta = R_{gr}/R_s = -10$ ; пунктир – для  $\beta = -1$ ; точки – для  $\beta = 1$ ; штрих-пунктир – для  $\beta = 10$ .



**Рис. 4.** Спектральная зависимость экваториального эффекта Керра при изменении форм-фактора  $L_{xx}$ : сплошная линия – для  $L_{xx} = 0.4$ ; пунктир – для  $L_{xx} = 0.33$  (сферические частицы); точки – для  $L_{xx} = 0.2$ .

Сопоставление оптимальных параметров, полученных в ходе моделирования (размер частицы  $r_0 = 1.75$  нм, угол падения света  $\varphi = 85^\circ$ , значение параметра размерного эффекта  $\beta = R_{gr}/R_s = -2.55$  и форм-фактор  $L_{xx} = 0.23$ ), и экспериментальных значений для ЭЭК в видимом диапазоне и ближней ИК-области (рис. 5) позволяет утверждать, что средний размер гранул соответствует толщине отдельных его слоев, что хорошо согласуется с экспериментом [5].



**Рис. 5.** Спектральные зависимости экваториального эффекта Керра: сплошная линия – теоретический спектр; пунктирная линия – экспериментальный спектр.

Отметим, что для более детального описания экспериментальных данных следует учитывать зависимость оптических и магнитооптических эффектов от распределения по размерам частиц среды.

### Заключение

В статье исследованы спектры экваториального эффекта Керра на примере нанокompозита  $(\text{Co}_{41}\text{Fe}_{39}\text{B}_{20})_{x}(\text{SiO}_2)_{100-x}$  с учетом размерного эффекта. Показано, что в ближней ИК-области ЭЭК может изменять знак, форму и свою величину, особенно в зависимости от размеров частиц нанокompозита. В ходе моделирования путем варьирования основных параметров, таких, как размер частицы, форм-фактор, угол падения света, получены оптимальные значения величин для описания экспериментальных зависимостей ЭЭК. Показано, что именно размерный эффект оказывает существенное влияние на оптические и магнитооптические свойства нанокompозита. Доказан значительный вклад размерного фактора в аномальный эффект Холла, что играет важную роль для магнитных наноструктур. Таким образом, учет размерного эффекта очень важен для описания оптических и магнитооптических спектров нанокompозитов, особенно в ближней ИК-области спектра.

Результаты работы могут найти применение для объяснения оптических и магнитооптических свойств широкого класса нанокompозитов.

### Литература:

1. Ajayan P.M, Schadler L.S., Braun P.V. Nanocomposite science and technology. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2003. 230 p. DOI: 10.1002/3527602127.ch11.
2. Ткачева В.Р. Нанокompозиты – будущее машиностроения // Техника. Технологии. Инженерия. 2016. № 1. С. 37–40.
3. Khan H.R., Granovsky A.B., Brouers F., Ganshina E., Clerc J.P., Kuzmichev M.



Magneto-optical spectra of ferromagnetic composites  $\text{Co}_x\text{CuO}_{(1-x)}$  // *J. Magn. Magn. Mater.* 1998. V. 183. № 1-2. P. 127–131.

4. Ganshina E., Granovsky A., Gushin V., Kuzmichov M., Podrugin P., Kravetz A., Shipil E. Optical and magneto-optical spectra of magnetic granular alloys // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 1997. V. 241. № 1-2. P. 45–51.

5. Буравцова В.Е., Ганьшина Е.А., Дмитриев А.А., Иванова, О.С., Калинин Ю.Е., Ситников А.В. Магнитооптические свойства аморфных многослойных пленок // *Известия РАН, серия физическая*. 2009. Т. 73. № 9. С. 1374–1376.

6. Bozec D., Kravets V.G., Matthew A.D., Thompson S.M. Calculation of the magnetorefractive effect in giant magnetoresistive granular films // *J. Appl. Phys.* 2002. V. 91 (10). P. 8587–8589.

7. Юрасов А.Н. О распределении по размеру гранул в нанокompозитах // *Российский технологический журнал*. 2016. Т. 4. № 1 (10). С. 25–27.

8. Niklasson G.A., Granqvist C.G. Optical properties and solar selectivity of coevaporated  $\text{Co-Al}_2\text{O}_3$  composite films // *J. Appl. Phys.* 1984. V. 55. P. 3382–3410.

9. Bruggeman D.A.G. Berechnung verschiedener physikalischer Konstanten von heterogenen Substanzen // *Ann. Phys. (Leipzig)*. 1935. V. 24. P. 636–679.

10. Юрасов А.Н., Яшин М.М. Теория эффективной среды, как инструмент анализа оптических свойств нанокompозитов // *Российский технологический журнал*. 2018. Т. 6. № 2. С. 56–66.

11. Telegin A.V., Sukhorukov Yu.P., Loshkareva N.N., Mostovshchikova E.V., Bebenin, E.A., Gan'shina N.G., Granovsky A.B. Giant magnetotransmission and magnetoreflexion in ferromagnetic materials // *J. Magn. Magn. Mater.* 2015. V. 383. P. 104–109.

12. Сухоруков Ю.П., Телегин А.В., Грановский А.В., Ганьшина Е.А., Жуков А., Гонзалес Х., Херранз Г., Кайседо Х.М., Юрасов А.Н., Бессонов В.Д., Кауль А.Р., Горбенко О.Ю., Корсаков И.Е. Магниторефрактивный эффект в манганитах с колоссальным магнитосопротивлением в видимой области спектра // *Журнал эксперим. и теор. физики*. 2012. Т. 141. № 1. С. 160–168.

### References:

1. Ajayan P.M, Schadler L.S., Braun P.V. Nanocomposite science and technology. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2003. 230 p. DOI: 10.1002/3527602127.ch11.

2. Tkacheva V.R. Nanocomposites – the future of machine building. *Tekhnika. Tekhnologii. Inzheneriya* (Technique. Technologies. Engineering). 2016; (1): 37-40. (in Russ.)

3. Khan H.R., Granovsky A.B., Brouers F., Ganshina E., Clerc J.P., Kuzmichev M. Magneto-optical spectra of ferromagnetic composites  $\text{Co}_x\text{CuO}_{(1-x)}$ . *J. Magn. Magn. Mater.* 1998; 183(1-2): P. 127-131.

4. Ganshina E., Granovsky A., Gushin V., Kuzmichov M., Podrugin P., Kravetz A., Shipil E. Optical and magneto-optical spectra of magnetic granular alloys. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 1997; 241(1-2): 45-51.

5. Buravtsova V.E., Ganshina E.A., Dmitriev A.A., Ivanova O.S., Kalinin Yu.E., Sitnikov A.V. Magneto-optical properties of amorphous multilayer films. *Izvestiya RAN, seriya fizicheskaya* (Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics). 2009; 73(9): 1374-1376. (in Russ.)

6. Bozec D., Kravets V.G., Matthew A.D., Thompson S.M. Calculation of the magnetorefractive effect in giant magnetoresistive granular films. *J. Appl. Phys.* 2002; 91(10): 8587-8589.
7. Yurasov A.N. About distribution on the granule size in nanocomposites. *Rossiyskiy tekhnologicheskii zhurnal* (Russian Technological Journal). 2016; 4(1): 25-27. (in Russ.)
8. Niklasson G.A., Granqvist C.G. Optical properties and solar selectivity of coevaporated Co-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite films. *J. Appl. Phys.* 1984; 55: 3382-3410.
9. Bruggeman D.A.G. Berechnung verschiedener physikalischer Konstanten von heterogenen Substanzen. *Ann. Phys.* (Leipzig). 1935; 24: 636-679.
10. Yurasov A.N., Yashin M.M. The effective medium theory as a tool for analyzing the optical properties of nanocomposites. *Rossiyskiy tekhnologicheskii zhurnal* (Russian Technological Journal). 2018; 6(2): 56-66. (in Russ.)
11. Telegin A.V., Sukhorukov Yu.P., Loshkareva N.N., Mostovshchikova E.V., Bebenin, E.A. Gan'shina N.G., Granovsky A.B. Giant magnetotransmission and magnetoreflexion in ferromagnetic materials. *J. Magn. Magn. Mater.* 2015; 383: 104-109.
12. Sukhorukov Yu.P., Telegin A.V., Granovsky A.V., Ganshina E.A., Zhukov A., Gonzales H., Herranz G., Kaicedo H.M., Yurasov A.N., Bessonov V.D., Kaul A.R., Gorbenko O.Yu., Korsakov I.E. Magnetorefractive effect in manganites with colossal magnetoresistance in the visible spectral region. *Journal of Experimental and Theoretical Physics.* 2012; 141(1): 141-149.

**Об авторах:**

**Юрасов Алексей Николаевич**, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры наноэлектроники Физико-технологического института ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

**Грановский Никита Вадимович**, аспирант кафедры наноэлектроники Физико-технологического института ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78).

**About the authors:**

**Alexey N. Yurasov**, D.Sc. (Physics and Mathematics), Associate Professor, Professor of the Chair of Nanoelectronics, Physico-Technological Institute, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow, 119454, Russia).

**Nikita V. Granovsky**, Postgraduate Student of the Chair of Nanoelectronics, Physico-Technological Institute, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo Pr., Moscow, 119454, Russia).

**Для цитирования:** Юрасов А.Н., Грановский Н.В. Экваториальный эффект Керра и учет размерного фактора в нанокompозитах на примере CoFeB // Российский технологический журнал. 2018. Т. 6. № 5. С. 15–24. DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-15-24.

**For citation:** Yurasov A.N., Granovsky N.V. Special aspects of the transverse Kerr effect with consideration of the dimensional effect in nanocomposites as exemplified by CoFeB. *Rossiyskiy tekhnologicheskii zhurnal* (Russian Technological Journal). 2018; 6(5): 15-24. (in Russ.). DOI: 10.32362/2500-316X-2018-6-5-15-24.