

Для описания ферромагнитного состояния однодоменного кристалла  $\alpha$ -Fe можно использовать локализованную модель, эффективный гамильтониан которой можно представить в общем виде [6]:

$$H = H_K + H_{SO} + H_Z,$$

где  $H_K$  – оператор энергии кристаллического поля,  $H_{SO}$  – оператор энергии спин-орбитального взаимодействия,  $H_Z$  – оператор зеемановской энергии.

Оператор зеемановской энергии домена в эффективном магнитном поле  $B$ , с учетом двух подрешеток орбитального момента, будет иметь известный вид [6]:  $H_Z = -2\mu_B \mathbf{S}B - \mu_B \mathbf{L}B$

Полная энергия спин-орбитального взаимодействия в домене в приближении  $LS$ -связи [18] примет вид:

$$E = \sum_{i=1}^N E_i = W(\mathbf{S}\mathbf{L})(\tilde{\mathbf{S}}\tilde{\mathbf{L}}) + W(\mathbf{S}\mathbf{L})^3 (\tilde{\mathbf{S}}\tilde{\mathbf{L}}), \text{ где}$$

$$\tilde{\lambda} = \frac{8}{N^4} \sum_{i=1}^N \tilde{\lambda}_i^h, \quad \tilde{\sigma} = \frac{32}{N^8} \sum_{i=1}^N \tilde{\sigma}_i^h.$$

В рамках метода классической аналогии, полагая величины, входящие в вышестоящее уравнение, операторами, для спин-орбитального гамильтониана домена получим окончательное выражение:

$$H_{SO} = W(\mathbf{S}\mathbf{L})(\tilde{\mathbf{S}}\tilde{\mathbf{L}}) + W(\mathbf{S}\mathbf{L})^3 (\tilde{\mathbf{S}}\tilde{\mathbf{L}}).$$

В итоге уравнения для средних примут вид:

$$\frac{d\mathbf{S}}{dt} = 2\gamma[\mathbf{S} \times \mathbf{B}] - \frac{4\pi W \lambda}{h} (\mathbf{S}\mathbf{L})[\mathbf{S} \times \mathbf{S}\mathbf{L}]$$

$$\frac{d\mathbf{L}}{dt} = \gamma[\mathbf{S} \times \mathbf{L}] + \frac{4\pi W \lambda}{h} (\mathbf{S}\mathbf{L})[\mathbf{S} \times \mathbf{S}\mathbf{L}],$$

где  $\gamma = 2\mu_B / \hbar$  – гиромагнитное отношение.

По построенной квантовой модели  $\alpha$ -Fe выведены Гамильтонианы зеемановской энергии, кристаллического поля и спин-орбитального взаимодействия, и получены уравнения динамики намагничивания, но без учета магнитной вязкости, членов четвертого порядка реализация петли гистерезиса не осуществилась.

Список публикаций:

1. H. Kikuchi et al. Relationship between ferromagnetic properties and grain size of Inconel alloy 600 // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 381, 2015. SJR 0.935.
2. Matsuo T. Anisotropic Vector Hyteresis Model Using an Isotropic Vector Play Model // *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. 46, #8, 2010. SJR 0.624.
3. Zhe Yuan et al. Gilbert Damping in Noncollinear Ferromagnets // *Physical Review Letters*, vol. 113, 2014. SJR 4.099
4. Bustman R. et al. On Variational Formulations in Nonlinear Magnetoelastostatics // *Mathematics and Mechanics of Solids*, 2007. SJR 0.550.
5. Вонсовский С.В. Магнетизм. Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», 1971. 1032 с.
6. Уайт Р. Квантовая теория магнетизма. Москва: Мир, 1985. 304 с.

## Исследование распределения удельного поверхностного сопротивления в кристаллах

### $\text{KN}_2\text{PO}_4$ и $\text{KD}_2\text{PO}_4$

*Калинников Михаил Анатольевич*

*Прохоров Артем Павлович*

*Институт прикладной физики РАН*

*Новиков Михаил Афанасьевич, к.ф.-м.н.*

*[kalinnikov.mikhail93@mail.ru](mailto:kalinnikov.mikhail93@mail.ru)*

В настоящее время во многих странах мира (Россия проект «Искра», Япония проект «Gekko», Франция проект "MegaJoule" и т.д.) идет строительство экспериментальных лазерных систем для создания управляемого термоядерного синтеза (УТС). Для УТС необходимо использовать излучение видимого и ближнего ультрафиолетового (УФ) диапазона. На данный момент самими мощными и высокоэффективными лазерными системами являются системы на ниодимовом стекле и йоде, генерирующие излучения ближнего инфракрасного (ИК) диапазона. Для преобразования ИК излучения в излучение видимого диапазона и ближнего УФ, необходимы преобразователи частоты лазерного излучения. Наиболее подходящими для этих целей являются монокристаллы  $\text{KN}_2\text{PO}_4$  (KDP) и их дейтерированный аналог  $\text{KD}_2\text{PO}_4$  (DKDP) [1]. Кристаллы KDP и DKDP активно используются в лазерной технике в качестве преобразователей частоты лазерного излучения уже много лет. Одними из главных требований для изготовления преобразователей частоты из данных кристаллов

являются: высокий процент дейтерирования, предельно высокая оптическая стойкость, однородность по показателю преломления и высокое омическое сопротивление.

В данной работе проводится исследование распределения удельного поверхностного сопротивления в кристаллах KDP и DKDP в зависимости от параметров роста кристалла [2,3,4]. Для исследования использовались крупногабаритные монокристаллы KDP и DKDP размерами до 410x410x100 мм, выращенные скоростным методом роста кристаллов в форме [5,6], в кристаллизаторах объемами до 700 л, в температурном интервале от 45 до 25 °С. Полученное двумерное распределение поверхностного сопротивления соотнесено с теневой и коноскопической картинами исследуемых образцов, что в свою очередь позволило установить влияние обнаруженных дефектов и неоднородностей на величину удельного сопротивления. Измерение сопротивления осуществлялось тераомметром Ха 10 kV MI 3210 по двухэлектродной схеме с охраняемым электродом. Данное исследование позволяет разработать эффективную методику проверки качества выращенных кристаллов.

Список публикаций:

- [1] Zhenxu Bai, Yulei Wang, Zhiwei Lu, , Hang Yuan, Li Jiang, Tan Tan, Zhaohong Liu, Hongli Wang, Can Cui, Wuliji Hasi. //Optik - International Journal for Light and Electron Optics. Volume 127. Issue 20. October 2016. P 9201–9205.
- [2] Ким Е.Л., Кацман В.И., Воронцов В.В., Еришов В.П., Портнов В.Н., Воронцов Д.А.. // Вестник ННГУ. Серия Физика твердого тела. Вып. 1(9). 2006. С.118-124.
- [3] I.M. Pritula, ,M.I. Kolybayeva, V.I. Salo, V.M. Puzikov// 4th International Symposium on Laser, Scintillator and Nonlinear Optical Materials. Volume 30. Issue 1. September 2007. P 98–100.
- [4] Baoan Liu, Xin Yin, Minglei Zhao, Qinghua Zhang, Mingxia Xu, Shaohua Ji, Lili Zhu, Lisong Zhang, Xun Sun, Xinguang Xu. //Applied Physics A.October 2012.Volume 109.Issue 1.P 159–162.
- [5] V.I.Bespalov, V.I.Bredikhin,V.P.Ershov,V.I.Katsman.//High-Rate Growth of Large-Size Profiled Monosectorial Water-Soluble (KDP, DKDP) Crystals. Jemna Mechaika a Optika., 5 - 6/95. 1995. P 156 - 159.
- [6] Еришов В.П., Кацман В.И. //Способ выращивания кристаллов типа KDP. Патент РФ №95574.

## **Изменение магнитооптических изображений планарной компоненты поля рассеяния магнита при приложении внешнего однородного магнитного поля в плоскости наблюдения**

**Ковешников Александр Викторович**  
**Иванов Владимир Елизарович**

*Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина*  
*Иванов Владимир Елизарович, к.ф.-м.н.*  
*[koveshnikov.aleksandr@gmail.com](mailto:koveshnikov.aleksandr@gmail.com)*

Разработка неразрушающих методов контроля качества источников магнитного поля включает в себя задачу топографирования различных компонент полей рассеяния. Метод магнитооптической (МО) визуализации на основе магнитооптического эффекта Керра позволяет визуализировать различные компоненты поля (полярная, продольная и поперечная чувствительности). Ранее в работе [1] была показана возможность топографирования нормальной к плоскости наблюдения компоненты поля магнитов при помощи металлических пленок в качестве индикаторных сред.

В данной работе приводятся результаты экспериментального наблюдения изменения магнитооптических изображений в продольной чувствительности поля рассеяния магнита, магнитный момент которого ориентировался перпендикулярно плоскости индикаторной пленки, в присутствии внешнего однородного магнитного поля. Эксперимент проводился на Магнитооптическом Керр-микроскопе Magnetometer (Evico Magnetics GmbH). Внешнее поле  $H_e$  создавалось системой электромагнитов в плоскости индикаторной пленки в интервале  $H_e \sim 0 - 700$  Э. Моделирование поля исследуемого магнита, соответствующих ему МО изображений и векторных графиков распределения плоскостной компоненты поля (рис.1) проводилось в прикладном пакете MathCad.

В исходном (в отсутствии поля) состоянии МО изображение поля магнита (рис. 2, а) имеет одну особую точку типа  $S_0$  [2] и характерное угловое распределение яркости (область дипольной контрастности), похожее на такую же магнитооптическую картину от одиночного диполя, ориентированного перпендикулярно плоскости наблюдения (рис 1, а).