

УДК 537.62

НАМАГНИЧИВАНИЕ АКСИАЛЬНО-НАПРЯЖЕННОГО МОНОКРИСТАЛЛА БОРАТА ЖЕЛЕЗА

Стругацкий М.Б., Язупов С.В., Наухацкий И.А., Непевная Н.С.

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина
E-mail: strugatsky@tnu.crimea.ua*

Исследованы кривые намагничивания аксиально-напряженного слабоферромагнитного монокристалла бората железа в случае произвольного угла между магнитным полем и одноосным давлением, приложенными в базисной плоскости образца. Полученные экспериментальные результаты коррелируют с развитой теорией.

Ключевые слова: борат железа, кривые намагничивания, одноосное давление

ВВЕДЕНИЕ

Монокристаллы бората железа, FeVO_3 , представляют собой антиферромагнетики со слабым ферромагнетизмом и магнитной анизотропией типа легкая плоскость. Это тригональные кристаллы, симметрия решетки которых описывается пространственной группой D_{3d}^6 . Из-за особенностей кристалломагнитной структуры в этих кристаллах весьма значительно проявляется магнитоупругое взаимодействие. По этой причине механические граничные условия должны оказывать существенное влияние на результаты экспериментов, связанных с учетом свойств магнитной подсистемы образца. Однако, во многих случаях это влияние не удастся учесть непосредственно, поскольку неконтролируемыми оказываются сами экспериментальные граничные условия. Поэтому, для адекватного описания экспериментов приходится граничные условия моделировать теоретически, как это делалось, например, в нашей работе [1] по исследованию магнитного двупреломления звука в борате железа.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДИКИ И ОБРАЗЦЫ

В настоящей работе граничные условия моделируются экспериментально: изучаются процессы намагничивания монокристаллов FeVO_3 , подвергаемых аксиальному давлению заданных величин. Развита теория, позволяющая адекватно интерпретировать экспериментальные результаты.

Эксперименты проводились при комнатной температуре на образцах, синтезированных нами для этих целей из раствора в расплаве. Образцы представляют собой базисные ($\perp C_3$) пластинки монокристаллов бората железа толщиной до 100 мкм. Разработанное механическое устройство позволяло сжимать кристалл в базисной плоскости путем дозированного давления на пару противоположных боковых граней, перпендикулярных базисной грани. Магнитное

поле в базисной плоскости могло ориентироваться под любым заданным углом α к оси давления. В нашей предыдущей работе [2] рассматривалась только параллельная ориентация поля и давления. Поскольку борат железа обладает значительным фарадеевским вращением в видимой области спектра, для изучения процессов намагничивания оказалось целесообразным использовать магнитооптический магнитометр. Необходимость варьирования угла α в процессе эксперимента потребовала существенного модифицирования магнитометра, разработанного нами в [2] (Рис.1).

2. КРИВЫЕ НАМАГНИЧИВАНИЯ И ДОМЕННАЯ СТРУКТУРА

На Рис.2а приведена экспериментальная зависимость намагниченности от приложенного давления $M_H(P)$ при фиксированном магнитном поле, параллельном оси давления. На Рис.2б (кривая 1) представлена расчетная зависимость $M_H(P)$ в той же геометрии, построенная с использованием результатов теоретической работы [3]. Согласно этой работе, в процессе изменения магнитного состояния

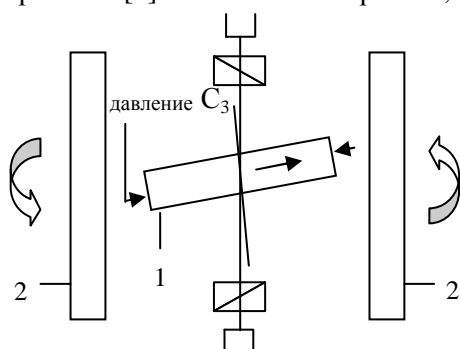


Рис. 1. Модифицированный магнитооптический магнитометр с устройством для создания аксиального давления в образце: 1 – образец, 2 – катушки Гельмгольца

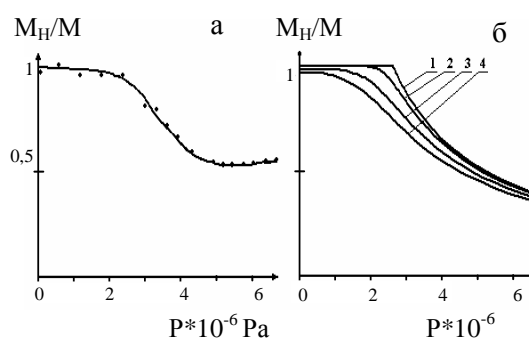


Рис. 2. Кривые $M_H(P)$:
а – эксперимент; б – теория
(1 – $\alpha = 0^\circ$, 2 – $\alpha = 2^\circ$, 3 – $\alpha = 7^\circ$, 4 – $\alpha = 12^\circ$)

слабоферромагнитного кристалла типа $FeVO_3$, обусловленного магнитным полем и параллельным ему аксиальным давлением, поочередно реализуются две фазы, коллинеарная и угловая, которые разделены ориентационным фазовым переходом второго рода по полю или давлению. В эксперименте же фазовый переход не локализован в точке, что может быть связано с неоднородным распределением давления в реальном кристалле. Еще одна причина различий между экспериментальной и теоретической кривыми может заключаться в нестройной параллельности поля и давления.

Мы обобщили теорию [3] на случай произвольного угла α между полем и давлением. Для определения зависимостей $M_H(H)$ и $M_H(P)$ получены следующие выражения:

$$PB_{66}H_E \cdot (M_{\perp} \cdot \cos \alpha + M_H \cdot \sin \alpha) \cdot (M_H \cdot \cos \alpha - M_{\perp} \cdot \sin \alpha) =$$

$$= 4M_0 C_{66} H \cdot M_{\perp} \cdot (H \cdot M_H + H_D \cdot M),$$

$$M_{\perp}(\alpha) = \sqrt{M^2 - M_H^2}.$$

Здесь H_E и H_D – обменное поле и поле Дзялошинского, соответственно; M_0 и M – подрешеточная и спонтанная намагниченности кристалла; C_{66} , B_{66} – упругая и магнитоупругая константы.

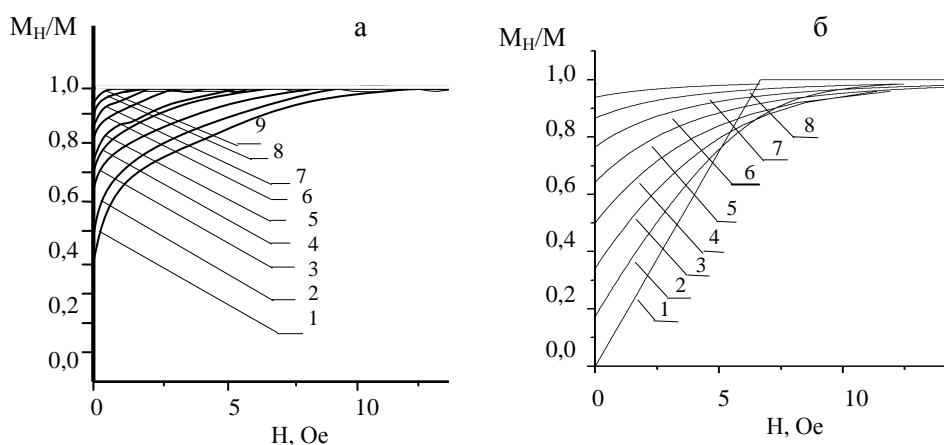


Рис. 3. Кривые $M_H(H)$ (1 – $\alpha = 0^\circ$, 2 – $\alpha = 10^\circ$, 3 – $\alpha = 20^\circ$, 4 – $\alpha = 30^\circ$, 5 – $\alpha = 40^\circ$, 6 – $\alpha = 50^\circ$, 7 – $\alpha = 60^\circ$, 8 – $\alpha = 70^\circ$, 9 – $\alpha = 80^\circ$): а – эксперимент; б – теория

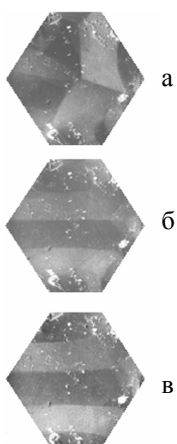


Рис. 4. Влияние аксиального давления на доменную структуру (ось давления вертикальна, $H = 0$): а – $P = 0$, б – $P = 0,35 \cdot 10^7$ Па, в – $P = 0,7 \cdot 10^7$ Па

Расчетные кривые $M_H(P)$ при фиксированном поле H для различных углов α представлены на Рис. 2б. Наша теория показывает, что две упомянутые магнитные фазы должны вырождаться в одну, если аксиальное давление и магнитное поле не параллельны друг другу. Теоретические кривые (Рис.2б, кривые 2-4) хорошо коррелируют с экспериментом (Рис.2а).

Рис.3 представляет экспериментальные (Рис.3а) и теоретические (Рис.3б) кривые $M_H(H)$, полученные при фиксированном поле для различных значений угла α . В этом случае также наблюдается качественное согласие между теорией и экспериментом. Возможными причинами количественных расхождений и здесь могут быть

неоднородное распределение напряжений в образце и неточность определения угла α .

Мы воспользовались преимуществами, которые дает использование магнитооптического магнитометра, и визуализировали магнитное состояние образца, подверженного аксиальному давлению. Рис.4 демонстрирует влияние одноосного давления на доменную структуру кристалла бората железа. Ось давления номинально ориентирована вертикально (в плоскости рисунка). Магнитное поле отсутствует. Возникающая при увеличении давления полосовая доменная структура свидетельствует о том, что возможная неоднородность распределения напряжений все же не очень значительна.

Таким образом, механические напряжения через магнитоупругую связь весьма существенно влияют на магнитное состояние бората железа. Несмотря на свою относительную малость, магнитоупругое взаимодействие проявляется в $FeBO_3$ заметным образом, что связано с особенностями кристалломагнитной структуры кристалла.

Список литературы

1. Mitsay Yu.N., Skibinsky K.M., Strugatsky M.B., Korolyuk A.P., Tarakanov V.V., Khizhnyi V.I. Gakel'- Turov oscillations in iron borate. JMMM, 219, 340 (2000).
2. Strugatsky M.B., Yagupov S.V. Effect of pressure on magnetic state of iron borate. Funct. Mat., 9, No1, 72 (2002).
3. Дикштейн И.Е., Тарасенко В.В., Шавров В.Г.. Влияние давления на резонансные свойства одноосных ферро- и антиферромагнетиков. ФТТ, 1974, т.16, вып.8, с. 2192 – 2197.

Стругацький М.Б., Ягупов С.В., Наухацький І.А., Непевна Н.С. Намагнічування аксіально-напруженого монокристалу борату заліза // Учені записки Таврійського національного університету ім. В. І. Вернадського. – 2007. – Серія «Фізика». - Т. 20 (59). - № 1. - С. 74 - 77.

Досліджено криві намагнічування аксіально-напруженого слабоферромагнітного монокристалу борату заліза у випадку будь-якого кута між магнітним полем та одноосовим тиском, які прикладені у базисній площині примірника. Отримані експериментальні результати корелюють з розвинутою теорією.

Ключові слова: борат заліза, криві намагнічування, одноосовий тиск.

Strugatsky M.B., Yagupov S.V., Nayhatsky I.A., Nepevnaya N.S. Magnetizing of axially stressed Iron Borate monocrystal // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V.I. Vernadskogo. – 2007. – Series «Fizika». – V. 20 (59). - № 1. – P. 74-77.

Magnetization curves in axially stressed weakly ferromagnetic Iron Borate monocrystal have been investigated in the case of arbitrary angle between magnetic field and axial pressure, applied simultaneously in basal plane of the sample. Obtained experimental results are in good correlation with developed theory.

Keywords: Iron Borate, magnetization curves, uniaxial pressure.

Поступила в редакцію 18.12.2006 г.