

НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СИММЕТРИИ ОРТОФЕРРИТОВ, ИНДУЦИРОВАННОГО ВНЕШНИМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

А.М.Кадомцева, А.П.Агафонов, В.Н.Милов,

А.С.Москвин, В.А.Семенов

Теоретически рассчитаны и экспериментально обнаружены моноклинные искажения кристаллической решетки ортоферрита (изменение кристаллического класса с D_{2h} до C_{2h}), возникающие при спин-переориентационном переходе, индуцированном внешним магнитным полем.

Изменение линейных размеров кристаллов в области спин-переориентационных (СП) переходов, как спонтанных, так и индуцированных внешним магнитным полем – известное явление, достаточно хорошо экспериментально изученное для широкого класса кристаллов, в том числе и для ортоферритов [1].

Однако наряду с обычными магнитострикционными деформациями, не связанными с изменением пространственной группы кристаллической симметрии, при СП переходах, характеризующихся понижением магнитной симметрии кристаллов, должны возникать деформации решетки, понижающие ее кристаллическую симметрию. В частности для редкоземельных ортоферритов $RFeO_3$ или ортохромитов $RCrO_3$ при СП переходах $\Gamma_4 \leftrightarrow \Gamma_2$, $\Gamma_2 \leftrightarrow \Gamma_1$, $\Gamma_1 \leftrightarrow \Gamma_4$, сопровождаемых плавным вращением спинов в плоскостях ac , bc , ab , соответственно, должно наблюдаться понижение кристаллического класса с D_{2h} до C_{2h} [2] за счет появления сдвиговых деформаций ϵ_{ac} , ϵ_{bc} , ϵ_{ab} , соответственно.

Рассмотрим подробнее СП переход $\Gamma_4 \rightarrow \Gamma_2$ с поворотом спинов ионов Fe^{3+} в ac -плоскости, осуществляемый путем двух фазовых переходов второго рода. Магнитоупругую энергию при этом можно представить в виде [3]:

$$\Phi_{Му} = (L_a \epsilon_{aa} + L_b \epsilon_{bb} + L_c \epsilon_{cc}) \sin^2 \theta + \frac{1}{2} \mu_2 \epsilon_{ac} \sin 2\theta, \quad (1)$$

где θ – угол ориентации слабоферромагнитного момента, отсчитываемый от оси c ; $L_{a,b,c}$ и μ_2 – магнитоупругие константы. Используя стандартное выражение для упругой энергии ортоферритов [3] получим для сдвиговой деформации в ac -плоскости

$$\epsilon_{ac} = - \frac{\mu_2}{8C_{55}} \sin 2\theta = \epsilon_{ac}^{(0)} \sin 2\theta, \quad (2)$$

где C_{55} — сдвиговая упругая константа. Анализ выражения (2) позволяет сделать три важных вывода:

1) сдвиговая деформация, характеризующая моноклинность кристалла, обращается в нуль на границах области СП перехода ($\theta = 0, \pi, \pm \pi/2$) и максимальна в центре области СП ($\theta = \pm \pi/2; \pm 3\pi/4$);

2) вблизи точек фазового перехода — начала, или конца СП сдвиговая деформация, в отличие от "обычных" деформаций $\epsilon_{aa}, \epsilon_{bb}, \epsilon_{cc}$ линейна по параметру порядка;

3) знак сдвиговой деформации ϵ_{ac} различен для доменов с различным направлением намагниченности ($\pm \theta$).

Природа магнитоупругой анизотропии в ортоферритах связана в основном с влиянием деформаций на изменение некубических кристаллических полей, действующих на ионы Fe^{3+} (значит и одноионной кристаллографической анизотропии), а также магнитодипольного взаимодействия и антисимметричного обмена. Проведенный нами анализ различных механизмов магнитоупругой связи показывает, что основной вклад в параметры L_a, b, c для $YFeO_3$ вносит механизм, связанный с искажениями октаэдра $Fe^{3+} - 6O^{2-}$, тогда как в сдвиговую магнитоупругую константу μ_2 существенный дополнительный вклад определяется магнитодипольным механизмом [4] и решеткой, рассматриваемой в модели точечных зарядов. Теоретическая оценка для $YFeO_3$ дает $\mu_2 \approx 1,2 \cdot 10^7$ эрг/см³. Используя экспериментальное значение C_{55} [5]; $C_{55} = 0,87 \cdot 10^{12}$ эрг/см³, получим теоретическую оценку для максимальной сдвиговой деформации: $\epsilon_{ac}^{(o)} = -3,4 \cdot 10^{-6}$.

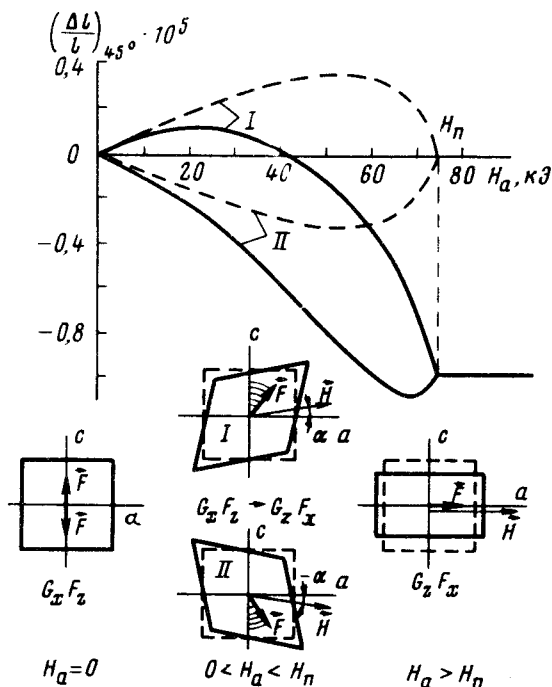


Рис. 1. График теоретически рассчитанной зависимости магнестрикции $(\Delta l/l)_{45^\circ}$ в ac -плоскости от внешнего магнитного поля $H \parallel a$. Кривые I и II получены для однодоменных образцов, различающихся первоначальным направлением намагниченности (различие моноклинных искажений при СП переходе показано на схеме). Пунктиром выделены зависимости относительной сдвиговой деформации от H

Наиболее простой способ обнаружения сдвиговой деформации заключается в измерении магнестрикции в направлении под углом 45° к

осям a - и c - в ac -плоскости в области СП. В этом случае

$$\left(\frac{\Delta l}{l}\right)_{45^\circ} = \epsilon_{ac}^{(o)} \sin 2\theta + \frac{1}{2} (\epsilon_{aa}^{(o)} + \epsilon_{cc}^{(o)}) \sin^2 \theta, \quad (3)$$

где $\epsilon_{aa}^{(o)}$, $\epsilon_{cc}^{(o)}$ — максимальные деформации при СП вдоль a - и c -осей.

В ортоферрите YFeO_3 СП переход $\Gamma_4 \rightleftharpoons \Gamma_2$ в ac -плоскости вызывается внешним магнитным полем H_a , прикладываемым вдоль a -оси с пороговым полем $H_{II} \approx 72$ кЭ [1].

На основе экспериментальных зависимостей $\epsilon_{aa}(H_a)$, $\epsilon_{cc}(H_a)$ [1] и теоретических оценок $\epsilon_{ac}^{(o)}$ мы рассчитали зависимость $(\Delta l/l)_{45^\circ}$ в YFeO_3 от величины поля H_a (рис. 1). Обе кривые I), II) рис. 1 получены для переориентации однодоменных образцов, различающихся первоначальным $H_a = 0$ направлением намагниченности. Для иллюстрации на вставке к рис. 1 наглядно изображено различие в моноклинных искажениях в области СП для доменов с различной предысторией.

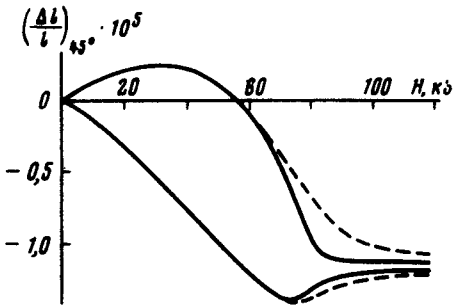


Рис. 2. График экспериментальной зависимости магнитострикции в ac -плоскости в направлении под углом 45° к осям от внешнего магнитного поля $H \parallel a$: — для $\alpha = \pm 0,5^\circ$; - - - для $\alpha = \pm 2^\circ$; где α — угол между направлением поля H и a -осью

Следует отметить, что отличие в знаке сдвиговой деформации для различно ориентированных доменов, делает чрезвычайно затруднительным экспериментальное наблюдение изменения кристаллической симметрии при спонтанной спиновой переориентации.

С целью непосредственного обнаружения моноклинных искажений, возникающих при индуцированном поле СП переходе $\Gamma_4 \rightleftharpoons \Gamma_2$ в монокристалле YFeO_3 нами измерялись магнитострикционные деформации $(\Delta l/l)_{45^\circ}$ при наложении магнитного поля вдоль a -оси ромбического кристалла. Как и следовало ожидать, полевая зависимость магнитострикции имеет сложный характер (рис. 2), свидетельствующий о наложении двух типов магнитострикционных деформаций — обычной деформации

$\sim \sin^2 \theta$, которая достигает максимума $\frac{\epsilon_{aa}^{(o)} + \epsilon_{cc}^{(o)}}{2} \approx -1,2 \cdot 10^{-5}$

по завершении СП перехода, и сдвиговой деформации, достигающей максимума в центре области СП перехода. Изменение направления вращения спинов ионов Fe^{3+} , а значит и знака сдвиговой деформации, достигалось приложением поля H_a под углом $+0,5^\circ$ или $-0,5^\circ$ к a -оси, что практически не влияло на изменение обычной магнитострикции, но приводило в полном соответствии с теоретическими представлениями к радикальному изменению характера зависимости $(\Delta l/l)_{45^\circ}$ от величины

поля H_a . Таким образом однозначно устанавливается существование сдвиговых деформаций ϵ_{ac} и соответственно понижение симметрии $YFeO_3$ от орторомбической до моноклинной во внешнем магнитном поле H_a . Экспериментальные зависимости $(\Delta l/l)_{45^\circ}$ от H_a не только качественно, но и количественно согласуются с предсказываемыми теоретически. Максимальная величина моноклинных искажений достигает $\sim 0,3 \cdot 10^{-5}$.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
6 февраля 1981 г.

Литература

- [1] К.П.Белов, А.К.Звездин, А.М. Кадомцева, Р.З.Левитин. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках. М., изд. Наука, 1979.
- [2] Е.В.Синицын, А.С.Москвин. Кристаллография, **22**, 376, 1976.
- [3] А.С.Пахомов. ФММ, **25**, 595, 1968.
- [4] А.С.Москвин, Е.А.Синицын, А.Ю.Смирнов. ФТТ, **20**, 3465, 1978.
- [5] А.М.Капитонов, А.М.Кадомцева, В.В.Усков. Тезисы докладов Всесоюзной конференции по физике магнитных явлений. Донецк, 1977. стр. 66.