

Фотоиндуцированные изменения магнитострикции в монокристаллах $Y_3Fe_5O_{12}$

Н. В. Воробьева, Р. А. Дорошенко

*Уфимский научный центр РАН, Институт физики молекул и кристаллов,
Россия, 450075, г. Уфа, пр. Октября, 151
E-mail: imcp@anrb.ru*

Статья поступила в редакцию 13 октября 1998 г., после переработки 8 декабря 1998 г.

При $T = 78$ К в монокристаллических образцах иттрий-железистых гранатов ИЖГ:Ва и ИЖГ:Si обнаружено уменьшение значения константы магнитострикции λ_{111} под действием света спектрального диапазона 0,65–2 мкм. Под действием только инфракрасного света значение λ_{111} для ИЖГ:Si увеличивается, а для ИЖГ:Ва не изменяется.

При $T = 78$ К в монокристаллических зразках ітрій-залізістих гранатів ІЗГ:Ва та ІЗГ:Si виявлено зменшення значення константи магнітострикції λ_{111} під впливом світла спектрального діапазону 0,65–2 мкм. Під впливом лише інфрачервоного світла значення λ_{111} для ІЗГ:Si збільшується, а для ІЗГ:Ва не змінюється.

PACS: 75.50.Gg, 75.80.+q, 75.90.+w

В иттрий-железистых гранатах (ИЖГ) при освещении наблюдается изменение магнитных и оптических свойств. Ранее в монокристаллах $Y_3Ba_xFe_{5-x}O_{12}$ (ИЖГ:Ва) и $Y_3Si_xFe_{5-x}O_{12}$ (ИЖГ:Si) была обнаружена спектральная чувствительность фотоиндуцированного оптического эффекта [1], а также изменений магнитной проницаемости [2]. В настоящей работе представлены исследования фотоиндуцированного изменения магнитострикции монокристаллических образцов ИЖГ с различным легированием под действием света различного спектрального состава.

Методика эксперимента и образцы

Измерения проводились мостовым методом пленочными хромовыми тензодатчиками, сформированными непосредственно на поверхностях монокристаллических дисков (110) в направлениях типа $\langle 111 \rangle$. Исследовались монокристаллы $Y_3Fe_5O_{12}$, выращенные из растворов в расплаве $BaO-B_2O_3$ (ИЖГ:Ва) и $(PbO-PbF_2):SiO_2$ (ИЖГ:Si). В ходе экспериментов образцы находились в жидком азоте. Иттрий-железистый гранат Si освещался лампой КГМ 12-100 через конденсор и светофильтры ИКС-3 (область пропускания 1–2 мкм) или КС-17 (область пропускания 0,65–2 мкм). Для ИЖГ:Ва использовались

ИКС фильтр от монохроматора МДР-12 (область пропускания 1,5–2,5 мкм) или КС-17. Основной задачей эксперимента являлось получение зависимостей магнитострикционной деформации $(\Delta L/L)^{\langle 111 \rangle}$ от направления внешнего постоянного насыщающего поля H в плоскости (110). Направление H задавалось углом ψ , который отсчитывался от направления [001]. Измерялись зависимости $\{(\Delta L/L)^{\langle 111 \rangle} - (\Delta L/L)_{\psi}^{\langle 111 \rangle}\}$, т.е. изменение относительного удлинения образца в направлении [111] при повороте насыщающего поля в плоскости (110).

Были получены кривые после первоначального и повторного воздействия красным и инфракрасным и только инфракрасным светом. Освещение проводилось в течение 15 мин при насыщающем магнитном поле, ориентированном по [001] в плоскости среза образца. Условия эксперимента соответствовали наибольшему фотоиндуцированному изменению магнитострикционных констант, полученному для ИЖГ:Si ранее [3]. Время выхода фотоиндуцированных эффектов на насыщение в этих кристаллах составляет около трех минут [1], однако более длительное воздействие света позволяет избежать возможного влияния временных зависимостей. Основное определяющее результат условие — направление насыщающего магнитного поля $H = 2\ 000$ Э по [001] в

процессе освещения, обеспечивающее симметризацию условий расположения фотоактивных центров по тригональным осям.

Экспериментальные результаты

Для ИЖГ:Si на рис. 1 показана зависимость изменения магнитострикции $\Delta L/L$ в направлении $[111]$ при намагничивании по направлению ψ в плоскости образца (110) . Под действием света ход кривой изменяется. Как видно, после освещения красным и инфракрасным светом амплитуда максимума (расстояние между крайними точками по оси ординат) уменьшается, а после воздействия только ИК света — возрастает. Полученные экспериментальные зависимости описываются выражением [4]:

$$\Delta L/L^{(111)} - \Delta L/L_{\psi}^{(111)} = \lambda_{\sigma} \left(\frac{2}{3} - \sin^2 \psi \right) + \lambda_{111} \left(1 - \frac{\sqrt{2}}{2} \sin 2\psi - \frac{1}{2} \sin^2 \psi \right),$$

где λ_{σ} — коэффициент, а λ_{111} — константа магнитострикции.

Для ИЖГ:Si обнаружено уменьшение величины константы магнитострикции λ_{111} после освещения красным светом: $\lambda_{111}^d = -0,11 \cdot 10^{-5}$ — до освещения, $\lambda_{111}^l = -0,09 \cdot 10^{-5}$ — после воздействия света через КС-17. После освещения инфракрасным светом через светофильтр ИКС-3 значе-

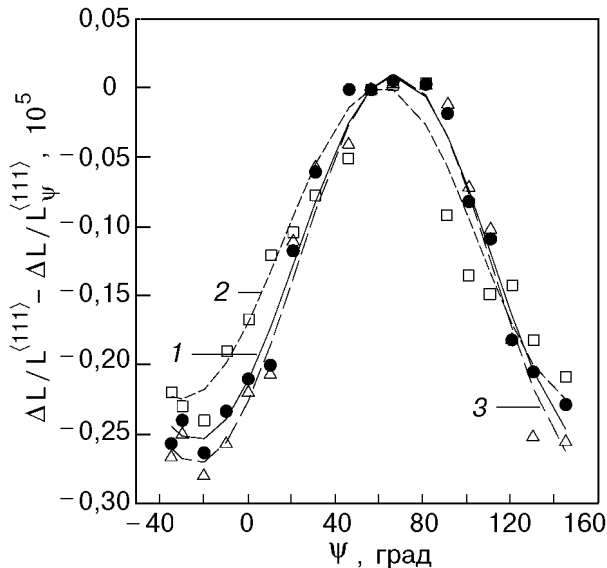


Рис. 1. Угловые зависимости магнитострикции для ИЖГ:Si $\Delta L/L^{(111)} - \Delta L/L_{\psi}^{(111)}$, снятые при повороте поля в плоскости (110) . Точки — эксперимент, кривые — расчет: 1 — темновая кривая, до освещения (●); 2 — после первичного воздействия красным и инфракрасным светом (□); 3 — после первичного воздействия ИК светом (Δ). Время освещения 15 мин, $T = 78$ К.

ние λ_{111} возрастает: $\lambda_{111}^l = -0,13 \cdot 10^{-5}$. Для λ_{σ} в этом образце темновое значение $\lambda_{\sigma}^d = -0,13 \cdot 10^{-5}$, после одновременного воздействия красного и инфракрасного света $\lambda_{\sigma}^l = -0,11 \cdot 10^{-5}$, после освещения только ИК светом $\lambda_{\sigma}^l = -0,14 \cdot 10^{-5}$. При чередовании светофильтров проявляется частичная обратимость эффекта. Экспериментальные данные обрабатывались с помощью программы Sigma Plot, стандартная ошибка определения констант не более 0,5%.

В ИЖГ:Ba воздействие красного света совместно с ИК аналогично воздействию белого света. Экспериментально не найдено изменений констант магнитострикции для ИЖГ:Ba после воздействия света спектрального диапазона 1,5–2,5 мкм.

Обсуждение результатов

Полученные экспериментальные результаты объясняются фотоиндуцированным изменением внутренних упругих напряжений, вызванных иновалентными ионами железа, находящимися в октаэдрических позициях. Влияние внутренних упругих напряжений на изменение магнитострикции изучалось в работе [5] на примере монокристаллического образца кремнистого железа. Иновалентные ионы железа в ИЖГ вызывают локальные упругие напряжения, что влияет на магнитоупругие свойства окружающих ионов Fe^{3+} . Магнитоупругий центр, включающий иновалентный ион Fe^{2+} (Fe^{4+}) и окружающие ионы Fe^{3+} , можно рассматривать как макроскопический центр. В [6] теоретически изучалось усреднение неоднородных макроскопических напряжений и возможность их замены средними параметрами упругого напряжения.

Зависимость констант магнитострикции в ИЖГ от упругих напряжений вдоль тригональных и тетрагональных кристаллографических осей вследствие появления или перераспределения магнитоупругих центров получена ранее [3]:

$$\lambda_{111} = \lambda_{111}^* + \frac{2}{9} \Delta \left(\frac{1}{6c_{44}} - \frac{1}{c_{11} - c_{12}} \right) + \frac{4}{27} \frac{K}{c_{44}},$$

здесь λ_{111}^* — константа магнитострикции образца без упругих напряжений, вызванных иновалентными ионами; K — симметричная часть напряжений $\sigma_i = K_i \cos^2 \theta$ по тригональным осям ($K_1 = K$, $K_2 = K + \Delta$, $K_3 = K_4 = K + \epsilon$; θ — угол между направлением магнитного поля и i -й диагональю куба); Δ — асимметрия напряжений по тригональным осям в плоскости (110) ; c_{11} , c_{12} , c_{44} — модули упругости.

Величина λ_{σ} зависит только от неравномерностей распределения числа магнитоупругих центров по октаэдрическим и тетраэдрическим узлам [3]:

$$\lambda_{\sigma} = \frac{2}{9} (\varepsilon - \Delta) \left(\frac{1}{6c_{44}} - \frac{1}{c_{11} - c_{12}} \right) + \frac{1}{c_{11} - c_{12}} \frac{4}{3} \varepsilon',$$

где ε — асимметрия напряжений по тригональным осям, не принадлежащим плоскости (110); ε' — асимметрия напряжений по тетрагональным осям.

Изменение кубической константы λ_{111} вследствие освещения ИЖГ:Ва и ИЖГ:Si определяется изменением симметричной части тригональных упругих напряжений K . Увеличение или уменьшение общего количества центров в октаэдрических позициях ведет к изменению значения K и соответственно λ_{111} .

Величина λ_{σ} меняется как следствие изменения асимметрии Δ , ε -распределения магнитоупругих центров между тригональными осями для ИЖГ:Ва, а для ИЖГ:Si и за счет возможного изменения тетрагональных напряжений ε' . При увеличении асимметрии напряжений количество центров, равновероятно распределенных по осям, уменьшается, что приводит к соответствующему изменению K и λ_{111} .

Для ИЖГ:Si обнаружено уменьшение величины константы магнитострикции λ_{111} как после освещения красным светом, так и после воздействия белого света.

Согласно выводам работы [7], для ИЖГ:Si при увеличении населенности позиций ионами Fe^{2+} образец, помещенный в насыщающее магнитное поле, испытывает удлинение вдоль той тригональной оси, где возросло количество активных центров, т.е. наблюдается уменьшение магнитострикции. Нами также получено [3], что для ИЖГ:Si $K > 0$. Это означает, что иновалентные ионы железа в ИЖГ:Si вызывают напряжения растяжения. При увеличении K значение λ_{111} уменьшается. То есть после освещения белым или красным светом напряжения растяжения по всем тригональным осям увеличиваются, что соответствует увеличению общего количества ионов Fe^{2+} , расположенных в октаэдрических позициях. После освещения ИК светом значение λ_{111} возрастает, т.е. внутренние упругие напряжения уменьшаются.

Заключение

Полученные для ИЖГ:Si экспериментальные данные дают основания полагать, что перераспре-

деление иновалентных ионов железа из «ближних» в «дальние» позиции под действием ИК излучения приводит к уменьшению внутренних тригональных равновероятных и симметричных напряжений в кристалле и к увеличению значения λ_{111} .

В [8] показано влияние близкого соседства ионов Fe^{2+} и Si^{4+} на минимизацию упругой энергии и магнитострикцию. Отмечено увеличение значения магнитострикции при отжиге вдоль $\langle 100 \rangle$ вследствие возможности перераспределения активных центров при 78 К, что указывает на различие магнитоупругих свойств Fe^{2+} «вблизи» и «вдали» от ионов Si^{4+} .

Для ИЖГ:Si увеличение количества фотоактивных центров в «ближних» позициях под действием красного света приводит к возрастанию тригональных напряжений и уменьшению значения λ_{111} . Для ИЖГ:Ва образование иновалентных ионов железа под действием красного света приводит к уменьшению внутренних напряжений. Действие ИК света на этот образец может быть не обнаружено вследствие малости эффекта.

1. М. Д. Надеждин, Р. А. Дорошенко, в сб.: *Структурные, магнитоупругие и динамические эффекты в упорядоченных средах*, БГУ, Уфа (1997), с. 149.
2. Р. А. Дорошенко, М. Д. Надеждин, Р. З. Халилов, Н. В. Воробьева, *Новые материалы магнитоэлектроники*, Тез. докл. XVI Международной школы-семинара, Москва (1998), ч. II, с. 654.
3. Р. А. Дорошенко, Н. В. Воробьева, в сб.: *Структурные, магнитоупругие и динамические эффекты в упорядоченных средах*, БГУ, Уфа (1997), с. 36.
4. В. Г. Веселаго, Н. В. Воробьева, Р. А. Дорошенко, *Письма в ЖЭТФ* 45, 402 (1987).
5. В. А. Зайкова, Я. С. Шур, *Физ. металлов и металловедение* 16, 614 (1963).
6. И. М. Лившиц, *К теории упругих свойств поликристаллов*, в кн.: *Физика реальных кристаллов и неупорядоченных систем*, Наука, Москва (1987).
7. J. P. Dillon, E. M. Gyorgy, and J. P. Remeika, *Appl. Phys. Lett.* 15, 221 (1969).
8. D. R. Mack and J. Smith, *Appl. Phys.* 2, 23 (1973).

Photo-induced changes of magnetostriction in $Y_3Fe_5O_{12}$ single crystals

N. V. Vorobjeva and R. A. Doroshenko

It is found that the magnetostriction constant λ_{111} experiences a decrease at $T = 78$ K in YIG:Ba and YIG:Si single crystals exposed to light of 0.65–2 μm . On exposure to infrared light only, this constant increases in YIG:Si and remains unchanged in YIG:Ba.