

Фотоиндуцированное изменение динамического магнитоупругого взаимодействия в иттриевом феррите-гранате

© Р.А. Дорошенко, С.В. Серегин

Институт физики молекул и кристаллов Российской академии наук,
450065 Уфа, Россия

(Поступила в Редакцию 3 февраля 1997 г.)

Исследовано воздействие света на эффективность возбуждения и резонансную частоту основной моды контурных упругих колебаний круглой пластины феррита-граната. Обнаружено уменьшение безразмерного параметра динамической магнитоупругой связи. Показано, что под влиянием освещения происходит изменения эффективного поля магнитострикции и магнитной анизотропии.

Фотоиндуцированное изменение амплитуды сигналов поглощения при возбуждении нормальных мод упругих колебаний является, по-видимому, общим свойством материалов, магнитная проницаемость которых зависит от света. При выборе образцов для исследований мы наблюдали его в монокристаллах и пленках иттриевого феррита-граната на частотах от 0.5 до 100 МГц в зависимости от размеров образца и моды колебаний. Как само явление резонансного поглощения энергии переменного магнитного поля при возбуждении упругих колебаний за счет магнитоупругой связи, так и его изменения зависят от магнитных и магнитоупругих параметров материала, структуры возбуждаемых колебаний и условий возбуждения. Поэтому исследование упругих свойств магнитных материалов важно для понимания состояния магнитной системы и его изменений в результате внешних воздействий. Однако до настоящего времени была определена зависимость частоты контурной моды упругих колебаний только от величины одноосной магнитной анизотропии, наведенной фотомагнитным отжигом в борате железа [1].

В настоящей работе исследовались монокристаллы $Y_3Fe_5O_{12}$ с фотоиндуцированными изменениями магнитной анизотропии и магнитострикции [2], выращенные в условиях спонтанной кристаллизации из растворителя $BaO-B_2O_3$ без специальных легирующих добавок. Свойства охлажденных в темноте образцов данных монокристаллов до и после освещения являются стабильными во времени при температуре 78 К, что упрощает их сравнение для этих двух состояний. Изучалось влияние освещения на контурную моду колебаний образцов в виде круглой пластины. Упругие смещения данной моды параллельны плоским поверхностям образца, совпадающим с плоскостями $\{110\}$ кристалла. Использовалась стационарная методика, аналогичная применяемой для изучения ядерного магнитного резонанса в магнитоупорядоченных веществах. Слабо закрепленный в ампуле образец помещался в катушку колебательного контура автогенератора, служащего как для возбуждения, так и для регистрации магнитоупругого резонанса. Производилась запись первой производной сигналов поглощения при модуляции частоты и частотной развертке. Частота моды определялась по показаниям частотомера в момент прохождения максимума поглощения. Катушка с образцом погружалась в расположенный между полю-

сами магнита сосуд Дьюара с жидким азотом. Засветка осуществлялась в течение 20 мин лампой накаливания КГМ9-70 через стенки ампулы в магнитном поле, ориентированном вдоль направления $[110]$ в плоскости образца. Переменное магнитное поле ориентировалось в плоскости образца перпендикулярно постоянному. Зависимости для засвеченного состояния снимались после выключения света. Для исключения гистерезиса все зависимости получены при уменьшении величины постоянного магнитного поля от его максимального значения.

Фотоиндуцированное изменение амплитуды сигнала поглощения при ориентации магнитного поля вдоль оси $[110]$ приведено на рис. 1. Освещение образца приводит к уменьшению амплитуды поглощения и сдвигу максимума кривой зависимости $A(H)$ в сторону больших полей. Величина изменения амплитуды максимальна в полях, меньших поля насыщения. Аналогичные изменения наблюдаются и при ориентации магнитного поля вдоль оси трудного намагничивания, но сдвиг максимума примерно в 2 раза больше.

Изменение частоты контурной моды колебаний при воздействии света приведено на рис. 2 для той же, что и на рис. 1, ориентации магнитного поля. Как и для амплитуды поглощения, фотоиндуцированные изменения максимальны в магнитных полях, меньших поля насыщения. Абсциссы особых точек кривых $f(H)$ совпадают с абсциссами максимумов кривых $A(H)$. Аномальная зависимость $f(H)$ ($df/dH < 0$) существует также и при ориентации магнитного поля вдоль оси $[100]$. При отклонении от этих направлений интервал полей ее существования уменьшается, и при $H \parallel [111]$ наблюдается только увеличение частоты с ростом поля.

Указанные условия совпадают с условиями наблюдения ФМР и магнитоэластических мод колебаний в образцах с доменной структурой [3,4]. Как и в однородно намагниченном состоянии, существование связанных с упругими модами магнитоэластических мод колебаний приводит к динамической перенормировке модулей упругости. В данном случае ее величина превышает изменение модулей упругости вследствие ΔE - и ΔG -эффектов, и аномальный характер $f(H)$ вызван соответствующей полевой зависимостью частоты магнитоэластической моды. Излом на графике зависимости $f(H)$, связанный с переходом образца из однородно намагниченного со-

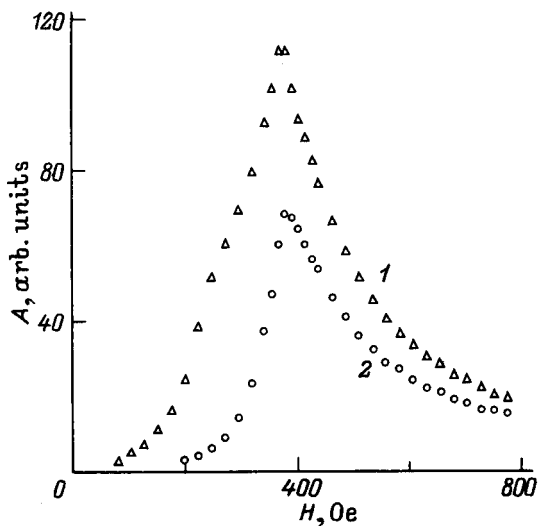


Рис. 1. Зависимость амплитуды сигнала поглощения от величины постоянного поляризующего поля для образца охлажденного в темноте (1) и после его засветки (2). Диаметр диска 2.57 mm, толщина 0.55 mm.

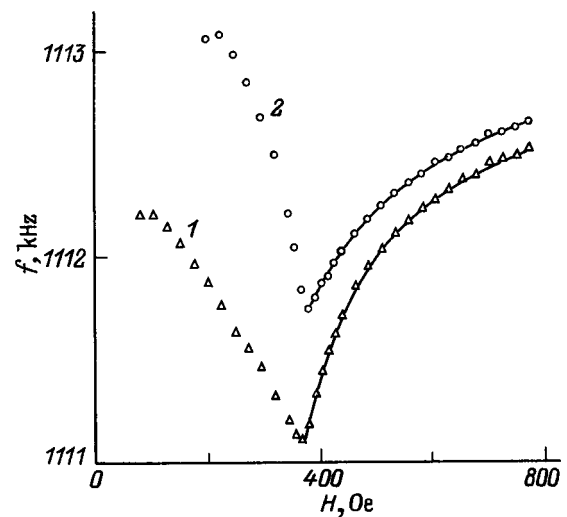


Рис. 2. Зависимость частоты контурной моды от величины магнитного поля до (1) и после освещения (2). Сплошные кривые — аппроксимация выражением (1).

стояния в состоянии с доменной структурой, позволяет определить величину поля насыщения H . При ориентации магнитного поля вдоль оси $[110]$ $H = 368$ для темного и 374 Oe для засвеченного состояний, а при H , направленном вдоль трудной оси, соответственно $H = 506$ и 518 Oe. Определенная из разности полей насыщения при намагничивании по трудному и промежуточному направлениям величина поля анизотропии составляет 138 Oe для охлажденного в темноте и 144 Oe для освещенного образца. Полученное фотоиндуцированное изменение поля анизотропии находится в согласии с результатами измерений, проведенных методом вращательного магнитометра [5].

Для объяснения механизма фотоиндуцированных изменений магнитоупругого взаимодействия рассмотрим полевою зависимость частоты $f(H)$ при $H > H_s$. Согласно [6], она определяется выражением

$$f^2(H) = f_0^2(1 - \xi)^{1/2}, \quad (1)$$

где $f(H)$ и f_0 — частота упругих колебаний в поле H и при магнитном поле, стремящемся к бесконечности, ξ — безразмерный параметр магнитоупругой связи, равный отношению величины магнитоупругой щели к частоте спиновых колебаний в поле H или отношению соответствующих эффективных полей $H_{\text{eff}} = \omega/\gamma$ (ω — частота, γ — магнетомеханическое отношение).

При $H \parallel \langle 110 \rangle$ наиболее сильно связанными с упругими колебаниями являются распространяющиеся вдоль магнитного поля спиновые волны. Их частота определяется выражением [7]

$$(\omega/\gamma)^2 = (H_{i0} + H_a)(H_{i0} - 2H_a), \quad (2)$$

где H_{i0} — внутреннее магнитное поле, H_a — поле магнитной анизотропии. Экспериментальные данные хо-

рошо аппроксимируются зависимостью (1), если в выражении (2) внутреннее магнитное поле H_{i0} отличается от значения, определяемого действием внешнего H и размагничивающего NM_0 полей (N — размагничивающий фактор вдоль H , M_0 — намагниченность насыщения), на некоторую величину ΔH , зависящую от освещения $H_{i0} = H - NM_0 + \Delta H$.

При аппроксимации экспериментальных точек зависимостью (1) определялись значения поля магнитострикции H_{ms} , поля ΔH и частоты f_0 и использовались определенные выше значения полей насыщения и анизотропии. Получены следующие значения параметров: для темного состояния $H_{ms} = 0.76$ Oe и $\Delta H = 79$ Oe, после освещения $H_{ms} = 0.92$ Oe и $\Delta H = 164$ Oe.

При $H \parallel \langle 100 \rangle$ $\omega/\gamma = H_{i0} + 2H_a$ параметры имеют значения для темного состояния $H_{ms} = 0.57$ Oe и $\Delta H = 150$ Oe, после освещения $H_{ms} = 0.65$ Oe и $\Delta H = 230$ Oe.

Таким образом, уменьшение динамического магнитоупругого взаимодействия вызвано увеличением поля. Величина ΔH и ее изменения примерно на два порядка превышают величину и изменение эффективного поля магнитострикции H_{ms} , определяющего магнитоупругую щель спиновых колебаний. Фотоиндуцированное изменение ΔH имеет близкие значения как при $H \parallel \langle 110 \rangle$ (85 Oe), так и при $H \parallel \langle 100 \rangle$ (80 Oe). Природа его, вероятно, как и в случае фотоиндуцированного изотропного сдвига частоты ФМР [8], связана с увеличением локальных одноосных компонент анизотропии.

Для рассматриваемой моды максимальная эффективность возбуждения наблюдается в магнитном поле, соответствующем наибольшему сближению частот упругих и спиновых колебаний. Величина параметра магнитоупругой связи в этой точке ограничена значением поля ΔH . Увеличение магнитного поля при $H > H_s$ или

его уменьшение при $H < H_s$ приводит к увеличению частоты магнитной моды колебаний и уменьшению эффективности возбуждения. В доменной области связь спиновых волн с колебаниями границ доменов приводит к расталкиванию частот колебаний. Фотоиндуцированное увеличение жесткости доменных границ приводит к дополнительному увеличению частоты спиновых колебаний, и изменения динамического магнитоупругого взаимодействия больше, чем в состоянии без доменной структуры.

Работа частично поддержана грантом ISF J49100 и Российским фондом фундаментальных исследований (грант 94-02-04737).

Список литературы

- [1] M.H. Seavey. Solid State Commun. **12**, 49 (1973).
- [2] Р.А. Дорошенко. Тр. ИОФАН **44**, 105 (1992).
- [3] В.И. Дудкин, А.И. Пильщиков. В сб.: Магнитные и кристаллографические исследования ферритов / Под ред. К.П. Белова и Ю.Д. Третьякова. Изд-во МГУ, М. (1971).
- [4] А.И. Пильщиков, С.А. Киров. В сб.: Физика и химия магнитных полупроводников и диэлектриков / Под ред. К.П. Белова и Ю.Д. Третьякова. Изд-во МГУ, М. (1978).
- [5] Р.А. Дорошенко, М.С. Сетченков, И.В. Владимиров, В.А. Тимофеева. ФТТ **34**, 2, 377 (1992).
- [6] Е.А. Туров, В.Г. Шавров. УФН **140**, 429 (1983).
- [7] А.Г. Гуревич. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. Наука, М. (1973).
- [8] O. Hiroyuki, U. Kenichi. Jap. J. Appl. Phys. **19**, 2513 (1980).