

- [1] Pickett W.E. *Comp. Phys. Rep.* **9**, 3, 115 (1989).
- [2] Гриняев С.Н., Караваяев Г.Ф., Тютюрев В.Г. *ФТП* **23**, 8, 1458 (1989).
- [3] Yoder P.D., Natoli V.D., Martin R.M. *J. Appl. Phys.* **73**, 9, 4378 (1993).
- [4] Bachelet G.R., Greenside H.S., Baraff G., Schluter M. *Phys. Rev.* **B24**, 8, 4745 (1981).
- [5] Ревинский А.Ф. *Вестн АНБ. Сер. Физ.-мат. наук*, 2, 47 (1992).
- [6] Yin M.T., Cohen M.L. *Phys. Rev.* **B26**, 6, 3259 (1982).
- [7] Ревинский А.Ф. *Вестн. БГУ. Сер. 1*, 2, 33 (1994).
- [8] Гантмахер В.Ф., Левинсон И.Б. *Рассеяние носителей тока в металлах и полупроводниках*. М. (1984). 349 с.
- [9] Palomo A., Verges J.A. *Phys. Rev.* **B30**, 4, 2104 (1984).
- [10] Klenner M., Falter C., Ludwig W. *Ann. Phys.* **1**, 1, 24 (1992).
- [11] Jacoboni C., Reggiani L. *Adv. Phys.* **28**, 4, 493 (1979).

© *Физика твердого тела*, том 37, № 9, 1995
Solid State Physics, vol. 37, N 9, 1995

ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕРНОГО МАГНИТОУПРУГОГО РЕЗОНАНСА В БОРАТЕ ЖЕЛЕЗА В МНОГОДОМЕННОМ СОСТОЯНИИ

*Х.Г.Богданова, В.А.Голенищев-Кутузов, М.И.Куркин,
 И.Р.Низамиев, М.М.Шахирзянов*

Казанский физико-технический институт Российской академии наук,
 420029, Казань, Россия
 (Поступило в Редакцию 20 февраля 1995 г.)

Как известно, сильное магнитоупругое (МУ) взаимодействие в FeVO_3 обуславливает возбуждение интенсивных МУ колебаний переменным магнитным полем, что используется при возбуждении размерного МУ резонанса (РМУР) [1,2]. Одним из достоинств РМУР является то, что он позволяет изучать влияние МУ взаимодействия на магнитные и упругие свойства одновременно, что особенно важно при изучении магнитных и структурных фазовых переходов [3], доменной структуры и процессов монодоменизации в магнетиках. При этом доменная структура, на наш взгляд, должна оказывать существенное влияние на интенсивность и частоту РМУР.

В настоящей работе сообщается о результатах экспериментального исследования РМУР в борате железа при электромагнитном способе его возбуждения. Исследуемые монокристаллические образцы FeVO_3 помещались в катушку индуктивности колебательного контура с переменной емкостью, позволяющей перестраивать его собственную частоту. Переменное ($h(t)$) и постоянное (H) магнитные поля были приложены в базисной плоскости (111) кристалла (перпендикулярно оси третьего порядка C_3) перпендикулярно друг другу ($h(t) \perp H \perp C_3$). Сигнал РМУР регистрировался по изменению добротности РЧ-контура (вставка на рис. 1), что соответствует сигналу поглощения в режиме непрерывного прохождения. В качестве образцов использовались тонкие пластинки FeVO_3 толщиной $L = 0.77$ и 0.26 мм, основная плоскость (8.2×1.7 мм) которых совпадала с базисной плоскостью кристалла.

В такой геометрии возбуждаются МУ волны, связанные с компонентой B_{14} МУ тензора [1,4] и распространяющиеся вдоль оси C_3 ($k_n \parallel C_3$). При размерном резонансе волновой вектор определяется выражением

$$k_n = (2\pi/L)(2n + 1), \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где n — номер гармоники. Ранее о результатах исследования РМУР в борате железа сообщалось в работе [1], где были приведены данные лишь для одной толщины ($L = 0.095 \text{ mm}$) и одной частоты РМУР $\nu_0(\infty) = 25 \text{ MHz}$, соответствующей основной гармонике ($n = 0$). Согласно [4], пленки FeVO_3 такой толщины остаются монокристаллическими даже в нулевом магнитном поле. Поэтому экспериментальная кривая зависимости частоты РМУР $\nu_0(H)$ от постоянного поля H в [1] хорошо согласуется с теоретической кривой для монокристаллического антиферромагнетика (АФЛП), определяемой выражением [1]

$$\nu_n(H) = \nu_n(\infty) \left\{ 1 - \frac{4H_E B_{14}^2 / C_{44} M_0}{H^2 + H H_D + 2H_E H_{ms}} \right\}^{1/2}, \quad \nu_n(\infty) = \frac{(2n+1)}{2L} \left(\frac{C_{44}}{\rho} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

где $H_E = 3 \cdot 10^6 \text{ Oe}$ — обменное поле, $H_D = 0.7 \cdot 10^5 \text{ Oe}$ — поле Дзялошинского, C_{44} — компонента тензора модулей упругости, определяющая скорость сдвиговых волн в направлении C_3 , H_{ms} — эффективное поле спонтанной магнитострикции, M_0 — намагниченность подрешетки, $\nu_n(\infty)$ — частота РМУР при $H \rightarrow \infty$, ρ — плотность кристалла.

В отличие от [1] мы проводили экспериментальное изучение явления РМУР, во-первых, в более толстых образцах, которые в малых полях H обладают сложной доменной структурой; во-вторых, исследовались образцы разной толщины L , что позволило выявить зависимость параметров РМУР от L ; в-третьих, измерения проводились для двух гармоник, соответствующих $n = 0$ и 1 , что дало возможность определить зависимости характеристик РМУР от n .

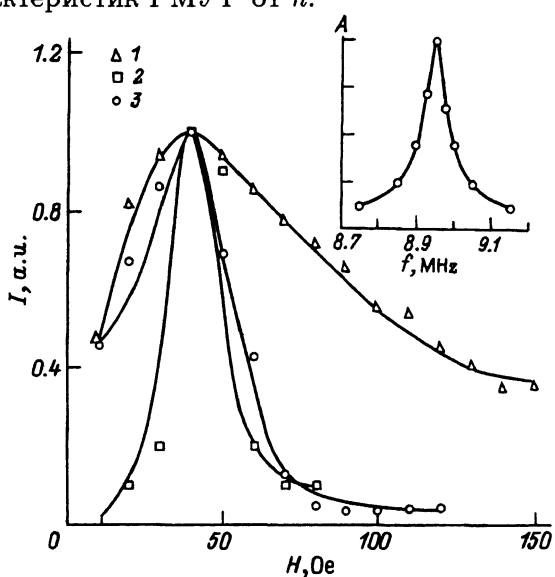


Рис. 1. Зависимость интенсивности сигналов РМУР от магнитного поля для трех случаев. Пояснения в тексте.

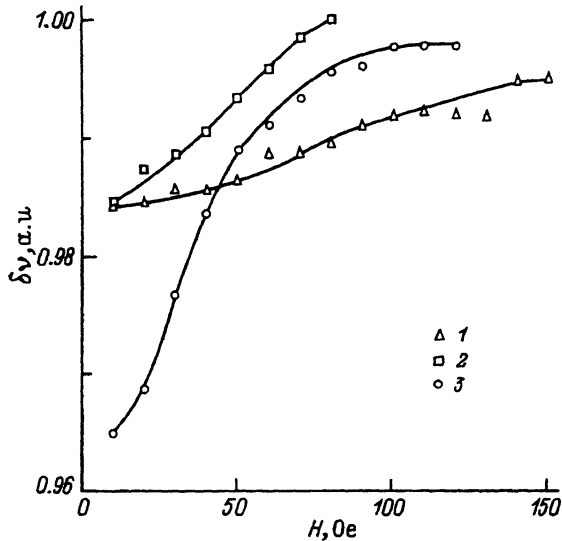


Рис. 2. Зависимость относительного сдвига частоты РМУР от магнитного поля для трех случаев.

L (mm), n и $\nu_0(\infty)$ (MHz) соответственно равны: 1 — 0.77, 0 и 3.115; 2 — 0.77, 1 и 9.9; 3 — 0.26, 0 и 9.1.

На рис. 1 приведены зависимости интенсивности сигналов РМУР $I_n(H, L)$ от магнитного поля для трех случаев: $L = 0.77$ mm, $n = 0$, $\nu_0(\infty) = 3.115$ MHz (1); $L = 0.77$ mm, $n = 1$, $\nu_1(\infty) = 9.4$ MHz (2); $L = 0.26$ mm, $n = 0$, $\nu_0(\infty) = 9.1$ MHz (3). Все кривые имеют максимум при $H \approx 40$ Oe. На рис. 2 представлены данные по полевой зависимости частоты РМУР $\nu_n(H, L)$. Для всех случаев наблюдается монотонное возрастание $\nu_n(H, L)$ с ростом H , которое качественно согласуется с формулой (2). В то же время имеются значительные количественные расхождения между экспериментальными и теоретическими кривыми, рассчитанными согласно формуле (2). Тем не менее некоторые количественные оценки можно дать для всего интервала изменения частоты $\nu_n(H, L)$. Так, относительное изменение частоты

$$\varepsilon_n = \frac{\Delta \nu_n(L)}{\nu_n(\infty, L)} = \frac{(\nu_n(0, L) - \nu_n(\infty, L))}{\nu_n(\infty, L)}, \quad (3)$$

согласно (2), определяется соотношением

$$\varepsilon_n \cong \frac{M_0 B_{14}^2}{C_{44} H_{ms}}. \quad (4)$$

Как следует из (4), величина $\varepsilon_n(L)$ не зависит от номера n возбуждаемой гармоники, что согласуется с данными на рис. 2 ($\varepsilon_0(0.77)/\varepsilon_1(0.77) \approx 1$). В то же время эксперимент дает значительную зависимость $\varepsilon_n(L)$ от толщины образца L ($\varepsilon_0(0.26)/\varepsilon_0(0.77) \approx 2$), что может быть связано с различием эффективного поля спонтанной магнитострикции H_{ms} в образцах разной толщины.

На наш взгляд, наблюдаемые особенности в полевых зависимостях $I_n(H, L)$ и $\nu_n(H, L)$ обусловлены образованием доменной структуры в исследуемых образцах при $H < 40$ Oe. Это предположение основано на следующих соображениях. Прежде всего наблюдаемая зависимость

интенсивности МУ колебаний $I_n(H, L)$ от H совершенно не согласуется с зависимостью $I_n(H, L)$ для монодоменного образца АФЛП

$$I_n(H, L) \propto 1/(H^2 + HH_D + 2H_E H_{ms}), \quad (5)$$

вытекающей из решения уравнений МУ динамики [5,6], полученного с учетом возбуждающего переменного поля и условий эксперимента. Формула (5), качественно описывающая наблюдаемое поведение $I_n(H, L)$ при $H > 40$ Ое, не объясняет резкого уменьшения $I_n(H, L)$ при $H < 40$ Ое.

Однако если допустить, что при $H < 40$ Ое образцы находятся в многодоменном состоянии, то процессы смещения доменных границ, как хорошо известно [7], будут экранировать проникновение поля $h(t)$ внутрь доменов. И поскольку экранирование растет с увеличением числа границ (при уменьшении H), то в результате уменьшается объем образца, в который проникает поле $h(t)$, что и обеспечивает падение $I_n(H, L)$ при $H < 40$ Ое. И наконец, поскольку с доменной структурой связаны дополнительные спонтанные магнитострикционные напряжения (по сравнению с монодоменным образцом), то, очевидно, можно предположить существенную зависимость H_{ms} от толщины образца L в выражении (4), о чем говорилось выше.

Таким образом, доменная структура образца оказывает большое влияние на параметры РМУР. Благодаря этому, на наш взгляд, РМУР может использоваться в качестве чувствительного метода исследования доменной структуры и процессов монодоменизации магнетиков. В заключение заметим, что дальнейшие экспериментальное и теоретическое исследования РМУР позволяют установить количественные связи параметров РМУР с характеристиками образца.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (93-02-14026).

Список литературы

- [1] Seavey M.H. Solid State Commun. **10**, 219 (1972).
- [2] Богданова Х.Г., Голенищев-Кутузов В.А., Медведев Л.И., Куркин М.И., Низамиев И.Р., Танкеев А.П. ЖЭТФ **103**, 1, 163 (1993).
- [3] Туров Е.А., Шавров В.Г. УФН **140**, 3, 429 (1983).
- [4] Фарзтдинов М.М. Физика магнитных доменов в антиферромагнетиках и ферритах. М. (1981). 155 с.
- [5] Ожогин В.И., Преображенский В.Л. УФН **155**, 4, 593 (1988).
- [6] Луговой А.А., Туров Е.А. ЖЭТФ **94**, 10, 358 (1988).
- [7] Хуберт А. Теория доменных стенок в упорядоченных средах. М. (1977). С. 30.