

05

Магнитоупругие волны в пластинах ортоферрита иттрия

© Е.А. Жуков, А.П. Кузьменко

Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск
E-mail: kap@mail.khstu.ru

Поступило в Редакцию 27 июня 2007 г.

Экспериментально исследованы пластинчатые магнитоупругие волны в образце ортоферрита иттрия. Обнаружено явление перекачки энергии от первоначальной частоты ~ 1 kHz в сторону более высокочастотных гармоник ~ 12.5 kHz.

PACS: 75.50.Gg, 75.70.Kw

Магнитоупругое взаимодействие в слабых ферромагнетиках, несмотря на малую величину, оказывает заметное влияние на процессы перемагничивания в областях магнитоакустических резонансов и спиноориентационных переходов [1], а в пластинчатых образцах вызывает появление поверхностных акустических волн [2]. Упругие волны в кристаллах в отсутствие взаимодействия с другими типами возбуждений с хорошей точностью являются линейными во всем диапазоне энергий, ограниченных пределом прочности. Магнитные волны становятся нелинейными при существенно меньшей энергии. Магнитоупругие взаимодействия вызывают нелинейности упругих колебаний [3], что особенно сильно проявляется в ортоферритах за счет механизма обменного усиления [4]. В этих магнетиках основным механизмом перемагничивания в полях, меньших полей опрокидывания подрешеток, является движение доменных границ, скорости которых могут превышать звуковые [5]. Наряду с этим ортоферриты обладают рядом других уникальных динамических свойств, что до последнего времени является предметом исследовательского интереса. Исследованы нетепловые сверхбыстрые фотоиндуцированные [6,7] и упругоиндуцированные [8] механизмы перемагничивания в этих магнетиках. Возникающая перекачка энергии между гармониками объемного звука наблюдалась при спиновой переориентации в ортоферрите тулия [3] и при лазерном

возбуждении звука в ортоферрите иттрия [9]. В [10] была измерена амплитуда деформации стоячих изгибных волн, сопровождающих периодическое движение доменной границы и имеющих магнитную природу, наибольшая амплитуда которых составила 7 nm.

В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований динамических свойств пластинчатых магнитоупругих волн (МУВ) в монокристаллических пластинчатых образцах YFeO_3 . Образцы были вырезаны перпендикулярно оптической оси, имели толщину 0.1 mm с поперечными размерами 3–6 mm. Смещение доменной границы осуществлялось магнитным полем, направленным перпендикулярно поверхности с амплитудой до 21 Oe, создаваемым катушками Гельмгольца. Амплитуда МУВ определялась теневым способом по мощности отраженного от поверхности образца излучения на длине волны 0.63 μm одномодового гелий-неонового лазера, регистрируемого в дальней зоне с помощью фотодиода и цифрового осциллографа типа TDS 5054. Диаметр луча на образце составлял 1 mm. В установленном режиме при воздействии на образец прямоугольного биполярного импульса магнитного поля наблюдалось резкое возрастание сигнала на ряде резонансных частот, определяемых размерами образцов. Для образцов, по форме близких к прямоугольным с поперечными размерами l_1 , l_2 и опертыми краями, частоты f могут быть рассчитаны в соответствии с [10]:

$$f_{p,q,n} = Bh[(p/l_1)^2 + (q/l_2)^2]/n, \quad B = \pi s_t \sqrt{s_1^2 - s_t^2} / (2\sqrt{3}s_1)$$

с ненулевыми целыми p , q , n . Здесь p , q — номера резонансных частот, n — номер субгармоники, h — толщина пластины, s_t , s_1 — поперечная и продольная скорости звука ($s_t = 4 \cdot 10^3$ m/s, $s_1 = 7 \cdot 10^3$ m/s). Для YFeO_3 величина $B = 3 \cdot 10^3$ m/s.

Способ закрепления пластинок на подложке наиболее близко соответствовал граничным условиям „опертые края“. При этом основная резонансная частота ($f_{1,1,1}$) для исследуемых образцов попадала в диапазон 10–30 kHz. Для образцов со свободными краями значения резонансных частот субгармоник понижались, а их амплитуды повышались, тогда как закрепление краев образцов повышало частоту и уменьшало амплитуды субгармоник. Наблюдалось не менее 10 субгармонических колебаний для разных форм, размеров образцов. Зависимости амплитуды МУВ от величины магнитного поля были линейными с точностью до

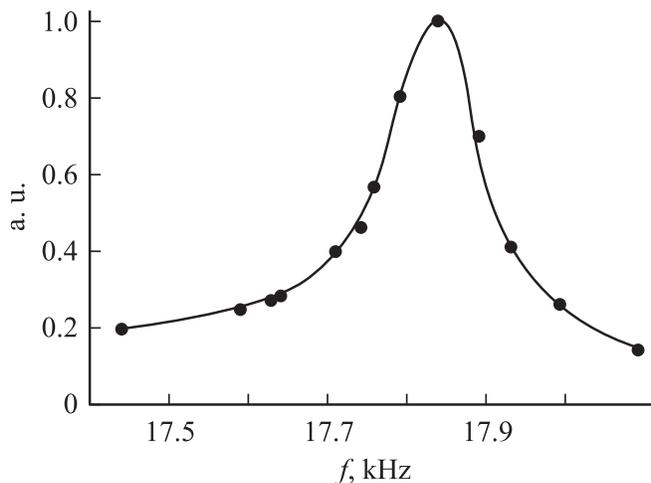


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика пластинчатых магнитоупругих волн вблизи частоты 17.85 kHz.

нескольких процентов. Их амплитудно-частотные зависимости носили ярко выраженный резонансный характер. К примеру, для одного из образцов гармоника на частоте 17.85 kHz имела ширину резонансной зависимости порядка 130 Hz (рис. 1).

Для исследования временных характеристик возбуждаемых МУВ биполярной прямоугольный сигнал магнитного поля модулировался низкочастотной прямоугольной огибающей. На рис. 2 приведены характерные цифровые наложенные осциллограммы биполярного магнитного поля (1) и регистрируемого сигнала амплитуды МУВ (2), наблюдаемого на частоте одной из субгармоник 1.018 kHz, для периода низкочастотной модуляции 60 ms. Время жизни возбуждаемых МУВ составило порядка 20 ms на этой частоте. На вставке к рис. 2 приведен участок осциллограммы, из которого видно уменьшение амплитуды возбуждаемой гармоники и появление более высокочастотных колебаний.

На частотах, кратных выбранной частоте 1.018 kHz, результаты оконного Фурье-анализа осциллограмм с прямоугольным окном, равным периоду субгармоники, представлены в таблице. Приведены амплитуды кратных гармоник c_k на частотах $k \cdot 1.018$ kHz, рассчитанные

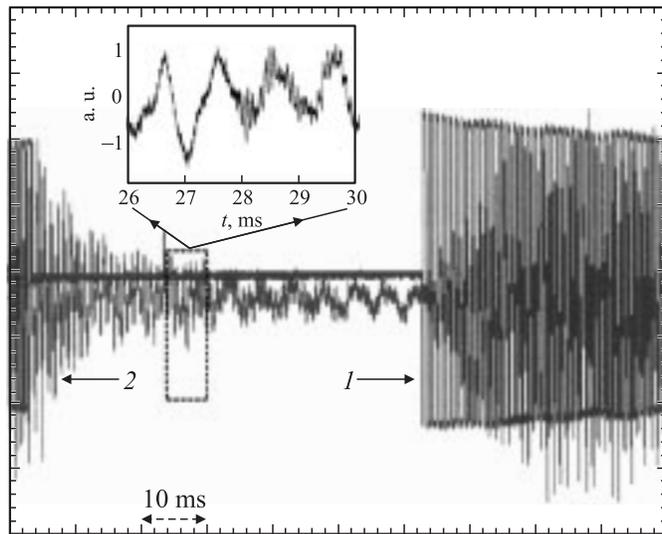


Рис. 2. Осциллограммы магнитного поля (I) и регистрируемого сигнала пластинчатых магнитоупругих волн (2). На вставке фрагмент сигнала (2) в интервале 26–29 ms от начала осциллограммы.

для окна, начинающегося с 26 ms (c_{k1}) и на 1.8 ms позднее (c_{k2}). Как видно из таблицы, для данного образца наблюдается перекачка энергии в гармоники, близкие к одной из резонансных частот, составившей порядка 12.5 kHz, что согласуется с видом временной зависимости амплитуды, представленной на вставке к рис. 2.

Исследование непрерывных спектральных характеристик проводилось также с помощью вейвлет-анализа [11]. Результаты вейвлет-

Расчетные значения амплитуд кратных гармоник c_k на частотах $k \cdot 1.018$ kHz

| k | 1 | 2 | 3 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Частота, kHz | 1.02 | 2.04 | 3.05 | 10.2 | 11.2 | 12.2 | 13.2 | 14.3 | 15.3 | 16.3 |
| c_{k1} | 22.05 | 9.57 | 4.45 | 0.53 | 0.41 | 0.53 | 0.35 | 0.63 | 0.34 | 0.22 |
| c_{k2} | 2.39 | 1.96 | 2.87 | 2.55 | 1.26 | 0.65 | 7.88 | 1.50 | 2.25 | 1.00 |

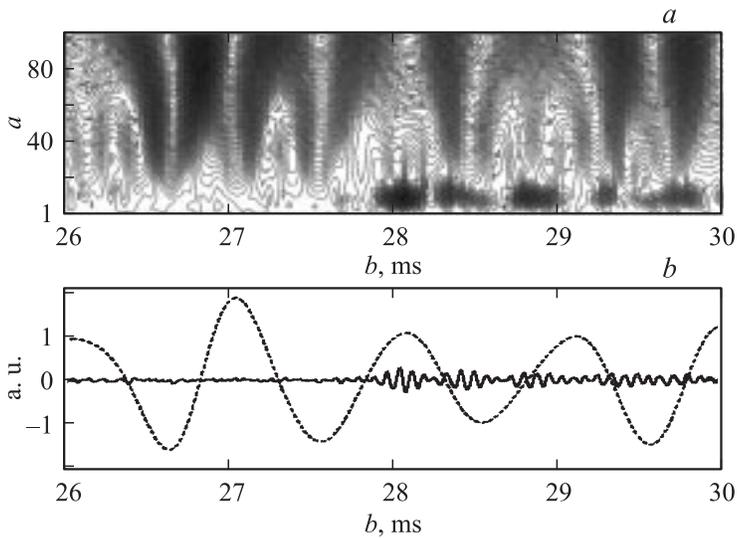


Рис. 3. Зависимости вейвлет-коэффициентов $c(a, b)$: a — вейвлет-поверхности $c(a, b)$; b — графики коэффициентов $c(100, b)$ — пунктирная линия, $c(8, b)$ — сплошная линия.

анализа приведены на рис. 3, где представлены контурный график коэффициентов

$$c(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} u(t) \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt; \quad \psi(t) = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \exp(-t^2/2)$$

(рис. 3, a) и их временные графики для значений a , равных 100 (пунктирная линия) и 8 (сплошная линия), соответствующих частотам 1 и 12.5 kHz (рис. 3, b) в диапазоне изменения b в интервале времени, представленном на вставке к рис. 2. Наблюдаемое возникновение в нижней части вейвлет-поверхности затемненных областей при b , начиная с 28 ms, указывает на образование высокочастотных составляющих колебаний. В этих условиях отмечается также уменьшение амплитуды колебаний (на частоте 1 kHz) и появление колебаний на срезах вейвлет-поверхности (рис. 3, b).

Таким образом, в данной работе обнаружено и исследовано явление перекачки энергии между различными гармониками пластинчатых магнитоупругих волн в образцах YFeO_3 , как это следует из вейвлет-анализа временных зависимостей их амплитуд.

Список литературы

- [1] Бучельников В.Д., Данышин Н.К., Цымбал Л.Т., Шавров В.Г. // УФН. 1999. Т. 169. С. 1049–1084.
- [2] Гуляев Ю.В., Дикштейн И.Е., Шавров В.Г. // УФН. 1997. Т. 167. С. 735–750.
- [3] Ожогин В.И., Преображенский В.Л. // УФН. 1988. Т. 155. С. 593–621.
- [4] Туров Е.А., Шавров В.Г. // УФН. 1983. Т. 140. С. 429–462.
- [5] Bar'yakhtar V.G., Chetkin M.V., Ivanov B.A., Gadetskii S.N. // Springer Tracts in Modern Physics. Berlin: Springer-Verl., 1994. V. 129. 179 p.
- [6] Kimel A.V., Kirilyuk A., Usachev P.A., Pisarev R.V., Balbashov A.M., Rasing Th. // Nature. London. 2005. V. 435. P. 655–657.
- [7] Perromi C.A., Liebsch A. // Physical Review B. 2006. V. 74. P. 134430(10).
- [8] Кузьменко А.П., Жуков Е.А., Леоненко Н.А., Каминский А.В., Ли Ц // Патент РФ 2266552. G02 B26/04, G02 F1/09. Опубликовано. 20.12.2005. Бюл. № 35. 5 с.
- [9] Dorofeev D.L., Pakhomov G.V., Zon B.A. // Physical Review E. 2005. V. 71. S. 026607 (8).
- [10] Кузьменко А.П., Жуков Е.А. // Письма в ЖТФ. 2006. Т. 32. С. 49–54.
- [11] Астафьева М.Н. // УФН. 1996. Т. 166. С. 1145–1170.