



УДК 537.622:537.326

© *Е. А. Жуков, А. В. Каминский, Ю. И. Щербаков, 2010*

ИЗГИБНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПЛАСТИН БОРАТА ЖЕЛЕЗА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Жуков Е. А. – д-р физ.-мат. наук, проф. кафедры «Электротехника и электроника», e-mail: e_a_zhukov@mail.ru.; *Каминский А. В.* – канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры «Электротехника и электроника», e-mail: Ak13636@mail.ru.; *Щербаков Ю. И.* – канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры «Физика», тел.: (4212) 37-52-53 (ТОГУ)

Экспериментально исследованы изгибные колебания пластин FeBO_3 во внешнем магнитном поле. Измерена зависимость резонансной частоты изгибных колебаний от магнитного поля.

The vibrations of FeBO_3 plates in an external magnetic field are experimentally investigated. The resonant frequency of flexural vibrations as a function of magnetic field is measured.

Ключевые слова: изгибные колебания, слабые ферромагнетики, борат железа, резонансная частота.

Большое количество исследований посвящено спектрам колебаний и волн магнитных плёнок и пластин, которые используются в качестве элементов памяти, например, в ячейках магниторезистивной памяти с произвольным доступом (Magnetoresistive Random Access Memory MRAM) [1]. Зависимость резонансных частот изгибных колебаний ферромагнитных пластин от магнитного поля используется при исследовании свойств материалов, а также в атомно-силовой микроскопии [2–4]. Большую роль в формировании этих спектров играет динамическое взаимодействие между магнитной, электрической и акустической подсистемами, которое в реальных элементах происходит при влиянии ограничивающих поверхностей [5–7]. В работе [6] было показано, что внешнее магнитное поле приводит к появлению поперечной жесткости ферромагнитной пластины. Приобретенная дополнительная жесткость приводит к изменению закона дисперсии изгибных колебаний.

Ряд магнетиков оказывается прозрачным в видимом и ближнем ИК диапазонах света, что делает возможным использование оптических методов не только для записи, считывания и обработки информации, но и для исследований этих магнетиков. Особое место среди них занимают антиферромагнетики с небольшим скосом магнитных моментов подрешеток (слабые ферромаг-

нетики). К последним относятся ортоферриты, борат железа, гематит и др. [8], ряд уникальных свойств которых, в частности, магнитооптических, делают их перспективными для применения в быстродействующих устройствах обработки информации [8, 9].

В настоящей работе экспериментально исследованы изгибные колебания монокристаллических пластин легкоплоскостного слабого ферромагнетика бората железа FeBO_3 во внешнем постоянном однородном магнитном поле. Использовались образцы в форме плоскопараллельных пластин. Естественные грани пластин, совпадающие с легкой плоскостью кристалла, не подвергались механической обработке. Магнитное поле, ориентированное в легкой плоскости, создавалось постоянным магнитом, с размерами, большими по сравнению с образцами и регулировалось изменением расстояния до них. Изгибные колебания пластин (волны Лэмба) возбуждались с помощью пьезокерамической пластины, на краю которой закреплялся образец (рис. 1). На пьезокерамическую пластину, размеры которой значительно превышали размеры образца, от генератора гармонических колебаний подавалось напряжение с амплитудой 15 В и частотами f вплоть до нескольких мегагерц. Возникающие при этом изгибные колебания образца регистрировались по методике, приведенной в [10, 11].

Амплитуда колебаний U резко возрастала на резонансных частотах, зависящих от геометрических размеров свободной части пластины образца.

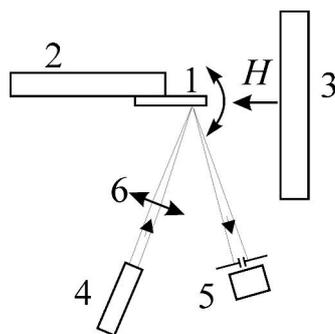


Рис. 1. Схема эксперимента:

1 – образец FeBO_3 , 2 – пьезокерамика,
3 – постоянный магнит, 4 – He-Ne
лазер, 5 – фотодиод, 6 – линза

Идентификация типа возбуждаемых колебаний осуществлялась по исследованию распределения угла отклонения отраженного лазерного излучения по поверхности образца. Отклонение луча было максимальным на свободном краю образца и исчезало при приближении к закреплённому. При этом резонансная частота уменьшалась с увеличением размера свободной части образцов, что дополнительно подтверждало отсутствие влияния колебаний пьезокерамики на измерения.

Для измерения частотных зависимостей амплитуды и фазы φ колебаний применялся метод темного поля (рис. 1).

На рис. 2 приведены характерные амплитудно-частотные (*a*) и фазо-частотные характеристики (*б*) изгибных колебаний вблизи одной из резонансных частот $f_0 \sim 87$ кГц, в магнитных полях $H = 6,3$ и 556 Э для образца, толщиной около $h \sim 150$ мкм и поперечными размерами 2–3 мм, свободная часть которого выступала на 1,5 мм. Из рис. 2 видно, что при увеличении



внешнего магнитного поля от 6,3 до 556 Э резонансная частота увеличивается. Это согласуется с теоретическими выводами [5, 6], где показано, что магнитоакустическое взаимодействие приводит к росту частоты изгибных колебаний в магнитном поле.

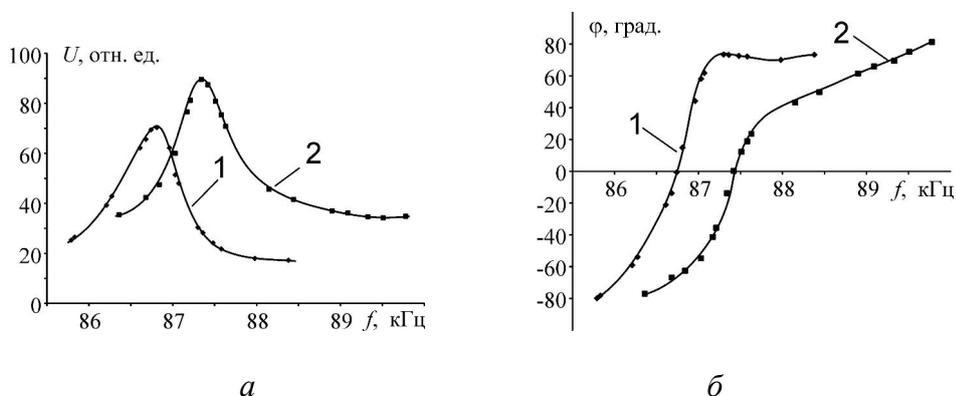


Рис. 2. Амплитудно-частотные (а) и фазо-частотные (б) характеристики в полях $H = 6,3$ Э (кривая 1) и $H = 556$ Э (кривая 2)

На рис. 3 приведена зависимость резонансной частоты f_0 изгибных колебаний пластинки бората железа в присутствии внешнего магнитного поля H от величины $1/H$. Изменение резонансной частоты составило примерно 1 %.

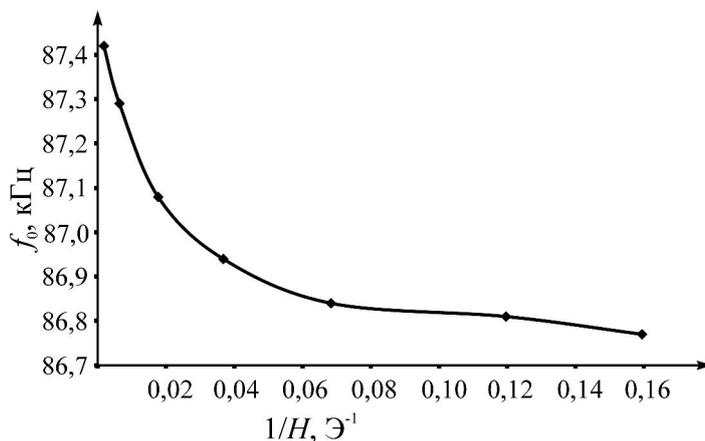


Рис. 3. Зависимость сдвига резонансной частоты изгибных колебаний от обратной величины магнитного поля $1/H$

Наблюдалось также возрастание резонансной частоты в магнитном поле другой моды колебаний. В этом случае частота была около 240 кГц. При увеличении магнитного поля наблюдалось увеличение резонансной частоты. В

сильном магнитном поле ($H \sim 3500$ Э) резонансная частота возрастает примерно на 2,1 % по сравнению с её величиной в отсутствие магнитного поля.

Аналогичные результаты, но с меньшим сдвигом резонансных частот наблюдались также в пластинах гематита и ортоферрита иттрия.

Проведённые исследования изгибных колебаний в монокристаллических образцах бората железа позволяют утверждать, что на их основе можно создать устройства с перестраиваемой под действием внешнего магнитного поля частотой изгибных колебаний. Подобные устройства также могут быть использованы для создания дефлекторов лазерного излучения.

Работа выполнена при поддержке Федерального агентства по образованию в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» (проект № 2.1.1/2691).

Библиографические ссылки

1. *Spin Dynamics in Confined Magnetic Structures III* / Edited by B. Hillebrands and A. Thiaville. Berlin.: Springer-Verlag, Topics in Applied Physics. 2006. V. 101.
2. *Brandt E. H.* Theory of the vibrating ferromagnetic reed // *J. Appl. Phys.* 1986. V. 59.
3. *Jacobsen R. L., Ehrlich A. C.* Vibrating-reed dynamics in a magnetic field // *Phys. Rev. Lett.* 1994. V. 73.
4. *Gaganidze E., Esquinazi P., Ziese M.* Dynamical response of vibrating ferromagnets // *J. Magn. Mater.* 2000. V. 210.
5. *Гуляев Ю. В., Дикштейн И. Е., Шавров В. Г.* Поверхностные магнитоакустические волны в магнитных кристаллах в области ориентационных фазовых переходов // *УФН.* 1997. Т. 167. № 7.
6. *Барьяхтар В. Г., Локтев В. М., Рябченко С. М.* Вращательная инвариантность и магнитоизгибные колебания ферромагнитных пластин (стержней) // *ЖЭТФ.* – 1985. Т. 88. Вып. 5.
7. *Дикштейн И. Е.* Упругие волны в магнитных кристаллах в окрестности ориентационного фазового перехода во внешнем поле // *ФТТ.* 1989. Т. 31. Вып. 3.
8. *Bar'yakhtar V. G., Chetkin M. V., Ivanov B. A., Gadetskii S. N.* Dynamics of Topological Magnetic Solitons. Experiment and Theory. Berlin.: Springer-Verlag, Springer Tracts in Modern Physics. 1994. V. 129.
9. *Kalashnikova A. M., Kimel A. V., Pisarev R. V., Gridnev V. N., Kirilyuk A., Rasing Th.* Impulsive Generation of Coherent Magnons by Linearly Polarized Light in the Easy-Plane Antiferromagnet FeBO_3 // *Phys. Rev. Lett.* 2007 V. 99. N. 16.
10. *Кузьменко А. П., Жуков Е. А., Лу Ц.* Резонансное возбуждение магнитоупругих колебаний в ортоферритах одиночной доменной границей // *Вестник Тихоокеанского государственного университета.* 2005. № 1.
11. *Кузьменко А. П., Жуков Е. А., Щербаков Ю. И.* Взаимодействие движущейся доменной границы с поверхностными магнитоупругими волнами в ортоферрите иттрия. // *ЖТФ.* Т. 78. Вып. 11.