

05.2;08

Влияние ионов кобальта на магнитоупругое взаимодействие в поликристаллических частично замещенных железиттриевых гранатах

© В.М. Сарнацкий, Т.С. Касаткина, А.М. Уляшев

Научно-исследовательский институт физики
С.-Петербургского государственного университета, Петродворец

Поступило в Редакцию 15 января 1998 г.

Обнаружено значительное увеличение динамической магнитострикции в поликристаллических частично замещенных алюминием железиттриевых гранатах при внедрении в них небольшого количества (до 0.01 mol.%) ионов двухвалентного кобальта. Немонотонный ход концентрационной зависимости магнитоупругого взаимодействия от содержания ионов кобальта объясняется с учетом изменения полей анизотропии и формы кривой намагничивания в примесных образцах.

Исследования влияния примесей и дефектов различной природы на физические свойства ферромагнитных веществ представляют большой интерес как в фундаментальном плане для выяснения механизмов взаимодействия колебаний решетки с доменной структурой и ее нарушениями при введении примесей, так и для практических применений с целью создания магнитных элементов с заранее заданными характеристиками. Ранее нами в работах [1–2] было изучено влияние немагнитных ионов алюминия на магнитоупругое взаимодействие, проявляющееся в изменениях значений модулей упругости и коэффициента затухания ультразвука, а также в величине динамической магнитострикции поликристаллических железиттриевых гранатов (ЖИГ). При этом наблюдаемые изменения магнитоупругих характеристик ЖИГ (~ 10% — увеличение скорости ультразвука, ~ 50% — уменьшение коэффициента затухания и 30% — изменения динамической магнитострикции) достигались при значительных концентрациях примесных ионов алюминия ~ 1.5 mol.%. Представляет большой интерес нахождение такой примеси, введение которой в малых количествах приводило бы к

существенным изменениям магнитных, акустических и магнитоупругих свойств. Анализ электронной структуры различных ионов показывает, что в роли такой примеси могут являться ионы двухвалентного кобальта, для которых в формировании магнитоупругой связи определяющую роль играет механизм спин-орбитального взаимодействия в связи с неполным замораживанием орбитального момента [3]. В работах [4–6] приведены результаты теоретических расчетов изменения констант магнитострикции и коэффициента магнитной анизотропии ЖИГ при введении в них ионов кобальта в различных валентных состояниях. Из этих работ следует, что ионы двухвалентного кобальта могут вносить значительный вклад в формирование магнитоупругой связи по сравнению с трех- и четырехвалентным кобальтом, при этом величина вклада определяется дополнительно и позицией ионов кобальта в решетке ЖИГ.

В настоящей работе приведены результаты экспериментальных исследований магнитоупругого взаимодействия в частично замещенных иттриевых алюмоферрогранатах с примесью кобальта. Для сохранения электронейтральности и достижения ионами кобальта валентности, равной двум, ионы германия дополнительно вводились в исследуемые образцы, которые готовились по обычной керамической технологии и имели состав $Y_3Fe_{4.7-x}Al_{0.3}Co_{x/2}Ge_{x/2}O_{12}$, где величина x менялась от 0.005 до 0.1 mol.%. Содержание ионов кобальта контролировалось по величине константы магнитной анизотропии, которая, как известно [6,7], линейно зависит от содержания ионов кобальта, проходя нулевое значение при концентрации 0.008 mol.% вблизи комнатной температуры. Магнитоупругое взаимодействие оценивалось по изменению затухания ультразвука в магнитном поле и по величине динамической магнитострикции, которая изучалась разработанным нами способом по значению амплитуды импульса ультразвука, возбуждаемого порошкообразным образцом феррита, помещенного в комбинацию переменного и постоянного магнитного поля [8]. Измерения проводились в диапазоне частот ультразвука 5–50 МГц при изменении температуры от комнатной до температуры жидкого азота. Напряженность внешнего магнитного поля менялась от 0 до 1000 Ое.

На рис. 1 представлена зависимость амплитуды возбужденного ультразвука A от величины магнитного поля в четырех образцах алюмоиттриевого феррограната с содержанием ионов двухвалентного кобальта соответственно 0.000; 0.005; 0.012 и 0.1 mol.%. Характер поведения величины A от магнитного поля соответствует изученным нами ранее

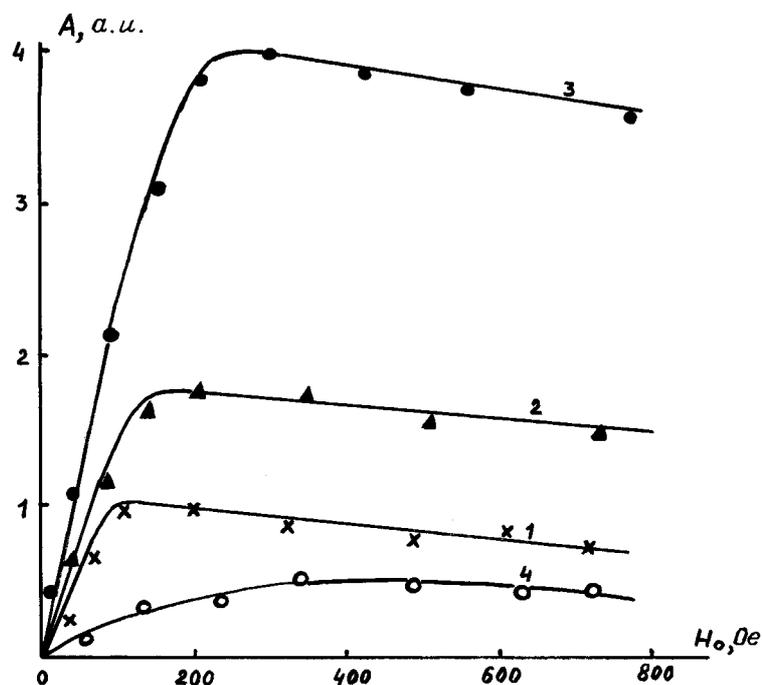


Рис. 1. Зависимость амплитуды A ультразвука, возбужденного иттриевыми алюмоферрогранатами от магнитного поля: 1 — беспримесный образец, 2 — образец с 0.005 mol.% Co, 3 — образец с 0.012 mol.% Co, 4 — образец с 0.1 mol.% Co.

зависимостям в беспримесных поликристаллических железоиттриевых гранатах [8], при этом наблюдается значительное увеличение константы динамической магнитострикции с ростом содержания ионов кобальта при малых концентрациях (до 0.01 mol.%) и ее уменьшение в образце с максимальным содержанием ионов кобальта по сравнению с беспримесным образцом. Одновременно следует отметить рост значений величины магнитного поля, в котором наблюдается максимум A , с увеличением содержания ионов кобальта. Полученные результаты хорошо согласуются с теоретическими расчетами Слончевского [4], предсказавшего линейное возрастание коэффициента статической магнитострикции и

величины магнитной анизотропии при небольших концентрациях ионов кобальта. Спад значений величины A в образце с содержанием ионов кобальта, равным 0.1 mol.%, можно объяснить тем, что величина A пропорциональна значению динамической магнитострикции, которая, в свою очередь, определяется производной статической магнитострикции по магнитному полю. На основе экспериментальных работ [6,9] нами был проведен расчет изменения поля анизотропии и соответственно вида кривой намагничивания за счет примесных ионов. При этом для образца с максимальным содержанием ионов кобальта кривая намагниченности значительно расширяется (что приводит к уменьшению динамической магнитострикции) и сдвигается в сторону более высоких магнитных полей по сравнению с беспримесным образцом. Рассчитанные значения максимума производной кривой намагничивания по магнитному полю определяют значения полей, при которых наблюдается максимум возбужденного ультразвука, и они хорошо совпадают с экспериментально измеренными значениями.

На рис. 2 показана температурная зависимость максимума величины A для образцов с концентрацией примесных ионов кобальта, равной 0; 0.005 и 0.012 mol.%. Следует отметить появление максимума в поведении величины A_{\max} с изменением температуры в примесных образцах по сравнению с беспримесным и сдвиг этого максимума в сторону более высоких температур при увеличении содержания ионов кобальта, что объясняется достижением в примесных образцах в исследуемой области температур нулевых значений константы магнитной анизотропии [6], т.е.реализации наведенного за счет примесных ионов спин-переориентационного фазового перехода. При этом появляются значительные флуктуации в движении доменов, приводящие к увеличению амплитуды ультразвуковых колебаний [1]. Дополнительно в тех же образцах нами было изучено поведение коэффициента затухания сдвиговых ультразвуковых волн от магнитного поля. Абсолютные значения коэффициента затухания ультразвука и характер его поведения в магнитном поле зависят от взаимной ориентации магнитного поля и вектора смещения в ультразвуковой волне, однако наиболее общим в поведении затухания ультразвука является зависимость его от содержания ионов кобальта, проявляющаяся в уменьшении коэффициента затухания при малых концентрациях и в его возрастании при максимальном содержании примесных ионов. Кроме того, в образце с максимальной концентрацией ионов кобальта коэффициент затухания ультразвука не

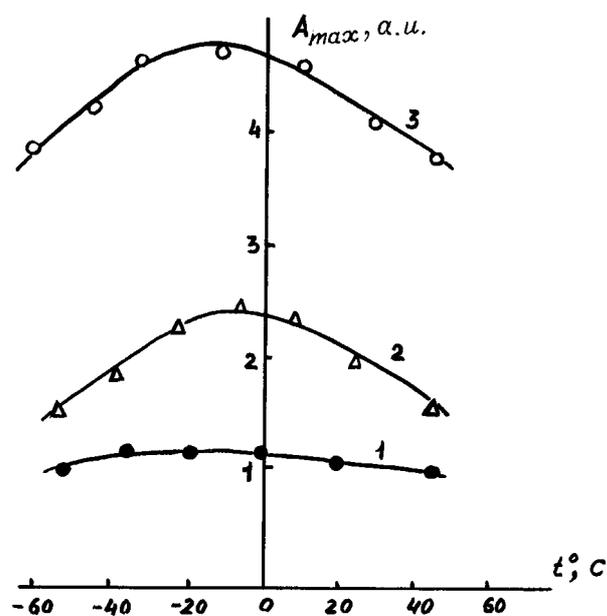


Рис. 2. Температурная зависимость максимального значения ультразвука A_{max} , возбужденного иттриевыми алюмоферрогранатами: 1 — беспримесный образец, 2 — образец с 0.005 mol.% Co, 3 — образец с 0.012 mol.% Co.

зависит от величины магнитного поля. Подобная зависимость коэффициента затухания ультразвука от содержания примесных ионов связана с закреплением доменных стенок ионами кобальта при небольших концентрациях и значительными изменениями доменной структуры при концентрации, равной 0.1 mol.%, в связи с более чем десятикратным увеличением значений коэффициента магнитной анизотропии [6].

Проведенные исследования показали информативность акустических методов для изучения магнитных и магнитоупругих характеристик примесных ферромагнетиков и позволяют разработать оптимальные условия (выбрать рабочий диапазон температур и содержание ионов кобальта) при использовании иттриевых алюмоферрогранатов в качестве излучателей ультразвука.

Список литературы

- [1] *Сарнацкий В.М., Баханова Т.В.* // Письма в ЖТФ. 1994. Т. 19. В. 20. С. 51–55.
- [2] *Сарнацкий В.М., Мирзоахмедов Х., Таваров С.* // Матер. Всесоюз. акуст. конф. М., 1991. С. 230–232.
- [3] *Белов К.П.* Магнитострикционные явления и их технические приложения. М.: Наука, 1987. 159 с.
- [4] *Slonzewski G.S.* // J. Phys. Chem. Solids. 1960. V. 15. N 1. P. 335–353.
- [5] *Callen E., Callen H.* // Phys. Rev. 1965. V. 139. N 1. P. 455–461.
- [6] *Hansen P., Tolksdorf W., Krishnan R.* // Phys. Rev. B. 1977. V. 16. N 9. P. 3973–3982.
- [7] *Петраковский Г.А., Протопопова Л.М., Смокитин Э.М.* // ФТТ. 1968. Т. 10. В. 8. С. 2544–2549.
- [8] *Сарнацкий В.М., Кулешов А.А., Шоно А.А.* // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 7. С. 37–41.
- [9] *Sturge M.D., Le Craw R.C., Remeika J.P.* // Phys. Rev. 1969. V. 180. N 2. P. 413–419.