

05

Исследование доменной структуры ферритов в области точки компенсации методом мессбауэровской спектроскопии

© Ш.М. Алиев, И.К. Камилов, М.Ш. Алиев, Ж.Г. Ибаев

Институт физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского научного центра
РАН, Махачкала
E-mail: ibaev77@mail.ru

Поступило в Редакцию 28 апреля 2015 г.

Методом мессбауэровской спектроскопии исследован монокристаллический образец феррита-граната гадолиния $Gd_3Fe_5O_{12}$ в области точки компенсации T_{cm} ($T_{cm} = 286$ К). По относительным интенсивностям линий поглощения мессбауэровских спектров ядер ^{57}Fe показано, что при приближении к T_{cm} размеры доменов в феррите увеличиваются и вблизи T_{cm} доменная структура в образце исчезает.

Многие редкоземельные ферриты-гранаты (РЗФГ) $R_3Fe_5O_{12}$ (R—Gd, Tb, Dy и др.) имеют точку магнитной компенсации T_{cm} , в которой происходит смена знака суммарной намагниченности подрешеток ферримагнетика. В области T_{cm} в ферритах происходит изменение доменной структуры — при приближении к T_{cm} размеры доменов в феррите увеличиваются, и вблизи T_{cm} доменная структура в образце может полностью исчезнуть [1–3]. Физическая причина этого явления заключается в том, что при приближении к T_{cm} спонтанная намагниченность феррита приближается к нулю, и разбиение кристалла на домены становится энергетически невыгодным [1–3]. Интерес к РЗФГ в последнее время особенно возрос в связи с перспективой создания на основе доменной структуры этих ферримагнетиков материалов для элементной базы приборов магнитной микроэлектроники нового поколения [4–6]. Для исследования доменной структуры ферритов в области T_{cm} применяют метод, основанный на магнитооптическом эффекте Фарадея [3, 7–11]. В данной работе предлагается метод исследования доменной структуры ферритов в области T_{cm} , основанный на эффекте Мессбауэра.

Известно, что относительные интенсивности линий зеемановского расщепления мессбауэровского спектра ядер ^{57}Fe в однородно намагниченном образце зависят от угла θ между направлением распространения γ -лучей и направлением намагниченности в образце [12]

$$\begin{aligned} I_{1,6} &= 3(1 + \cos^2 \theta), \\ I_{2,5} &= 4 \sin^2 \theta, \\ I_{3,4} &= 1 + \cos^2 \theta. \end{aligned} \quad (1)$$

Из соотношения (1) следует, что при угле $\theta = 0$ интенсивности линий 2 и 5 в спектре равны нулю. Следовательно, если направление распространения γ -лучей параллельно оси легкого намагничивания, по которому ориентирован вектор намагниченности образца, то отсутствие доменной структуры в образце вблизи T_{cm} проявится в мессбауэровском спектре отсутствием линий 2 и 5. Появление же доменной структуры в образце при удалении от T_{cm} отразится в мессбауэровском спектре появлением линий 2 и 5, поскольку в образце возникают домены и доменные стенки, в которых магнитные моменты ионов будут уже направлены под определенными углами относительно направления распространения γ -лучей. Причем относительные интенсивности линий 2 и 5 спектра будут зависеть от количества доменов в единице объема образца.

Метод проверялся на монокристаллическом образце феррита $\text{Gd}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, изготовленном по технологии, описанной в [13]. Выращивание монокристалла феррита из чистых исходных окислов Gd_2O_3 и Fe_2O_3 осуществляется в расплаве окиси свинца PbO . Температура плавления шихты 1350°C , скорость охлаждения до 900°C — по 1°C/h [13]. Рентгенографический анализ, проведенный на дифрактометре ДРОН-3М (CuK_α -излучение), показал однофазность изготовленного образца. Измерения намагниченности проводились в интервале температур $150\text{--}400\text{ K}$ на вибрационном магнитометре ВМ2-А с чувствительностью по магнитному моменту $\sim 10^{-6}$ ед. Было установлено, что точка компенсации образца $T_{cm} = 286\text{ K}$ (рис. 1). Мессбауэровские спектры ядер ^{57}Fe записывались на спектрометре ЯГРС-4М с источником γ -излучения $^{57}\text{Co}(\text{Cr})$. Образец для мессбауэровских измерений представлял собой диск диаметром 6 mm и толщиной $50\text{ }\mu\text{m}$, вырезанный из монокристалла феррита по плоскости, перпендикулярной оси легкого намагничивания, и подвергнутый шлифовке. В феррите

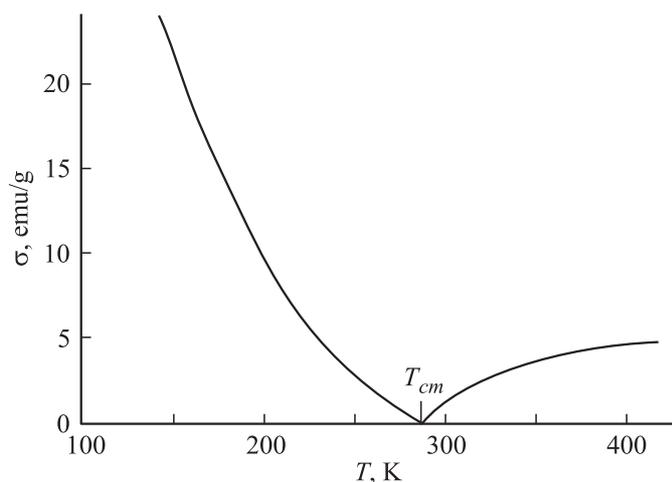


Рис. 1. Зависимость спонтанной намагниченности феррита $Gd_3Fe_5O_{12}$ от температуры.

$Gd_3Fe_5O_{12}$ осями легкого намагничивания являются оси типа [111], все они равновероятны [14]. Образец помещался в комбинированную с криостатом температурную камеру с плавной регулировкой температур в интервале 120–500 К. Автоматическая терморегулировка обеспечивала поддержание заданной температуры с точностью ± 0.5 К. Ориентация вектора намагниченности образца вдоль оси легкого намагничивания, перпендикулярной плоскости образца, была осуществлена следующим образом. Температура образца была доведена до T_{cm} , затем к образцу было приложено магнитное поле $H = 3$ кОе, перпендикулярно к плоскости образца, и выключено. При этом мы исходили из того, что после выключения поля H -вектор намагниченности образца сохранит свою ориентацию вдоль выбранной оси легкого намагничивания, так как вблизи T_{cm} собственное размагничивающее поле образца близко к нулю. После этого снимался мессбауэровский спектр, при этом температура образца сохранялась неизменной. Типичный спектр приведен на рис. 2, а. Спектр представляет собой суперпозицию двух зеемановских секстетов, обусловленных ионами железа в a - и d -подрешетках феррита $\{Gd_3^{3+}\}_c[Fe_2^{3+}]_a(Fe_3^{3+})_dO_{12}^{2-}$. Как видно из рисунка, линии 2 и 5 в спектре

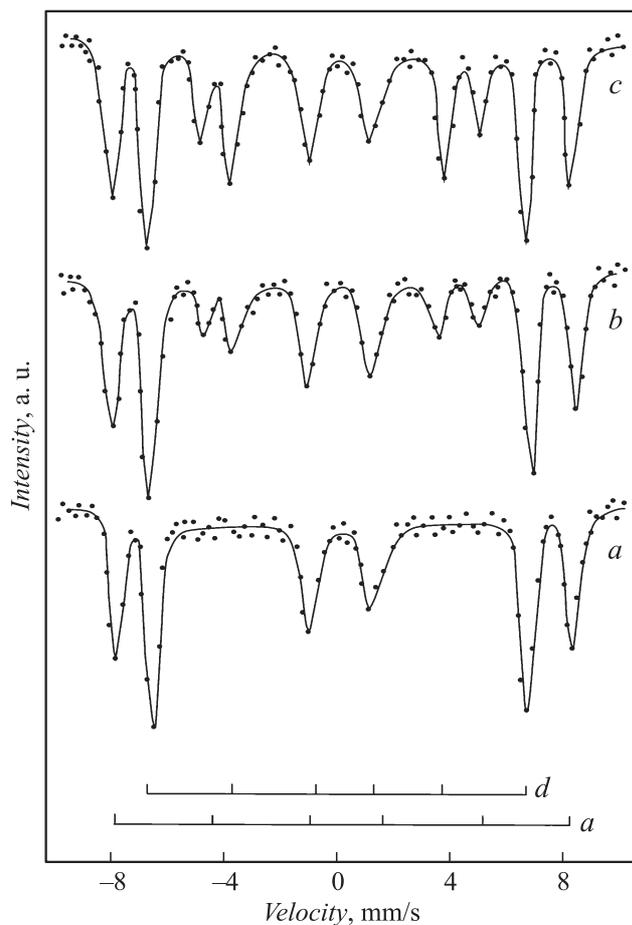


Рис. 2. Мессбауэровские спектры монокристаллического образца феррита $Gd_3Fe_5O_{12}$ в области точки компенсации T_{cm} : a — $T = T_{cm}$, b — $T = T_{cm} - 8$ К, c — $T = T_{cm} - 30$ К. $T_{cm} = 286$ К. Аналогичные спектры наблюдались при удалении от T_{cm} в сторону высоких температур.

отсутствуют, что говорит об отсутствии доменной структуры в образце. Путем постепенного изменения температуры от T_{cm} в ту и другую сторону было установлено, что образец находится в однодоменном

состоянии в области температур 284–288 К. За этим интервалом в образце возникает доменная структура, причем по мере удаления от T_{cm} возрастает количество доменов в единице объема образца. Об этом свидетельствуют мессбауэровские спектры (рис. 2, *b, c*) — по мере удаления от T_{cm} возрастают относительные интенсивности 2 и 5 линий спектра. Таким образом, наряду с магнитооптическим методом Фарадея мессбауэровская спектроскопия также может быть применена при исследовании доменной структуры ферритов в области T_{cm} .

Список литературы

- [1] Барьяхтар В.Г., Яблонский Д.А. // ФТТ. 1974. Т. 16. В. 11. С. 3511.
- [2] Лисовский Ф.В., Шаповалов В.И. // ФТТ. 1975. Т. 17. В. 10. С. 3042.
- [3] Лисовский Ф.В., Мансветова Е.Г., Шаповалов В.И. // ЖЭТФ. 1976. Т. 71. № 4. С. 1443.
- [4] Логгинов А.С., Мешков Г.А., Николаев А.В., Пятаков А.П. // Письма в ЖЭТФ. 2007. Т. 86. № 2. С. 124.
- [5] Logginov A.S., Meshkov G.A., Nikolaev A.V., Nikolaeva E.P., Pyatakov A.P., Zvezdin A.K. // Appl. Phys. Lett. 2008. V. 93. P. 182 510.
- [6] Звездин А.К., Пятаков А.П. // УФН. 2009. Т. 179. № 8. С. 897.
- [7] Лисовский Ф.В., Шаповалов В.И. // Письма в ЖЭТФ. 1974. Т. 20. № 2. С. 128.
- [8] Харченко И.Ф., Еременко В.В., Гнатченко С.Л. // Письма в ЖЭТФ. 1974. Т. 20. № 9. С. 632.
- [9] Харченко И.Ф., Еременко В.В., Гнатченко С.Л., Белый Л.И., Кабанова Э.М. // ЖЭТФ. 1975. Т. 68. № 3. С. 1073.
- [10] Харченко И.Ф., Еременко В.В., Гнатченко С.Л. // ЖЭТФ. 1975. Т. 69. № 5. С. 1697.
- [11] Аваева И.Г., Лисовский Ф.В., Шаповалов В.И. // ФТТ. 1975. Т. 17. № 8. С. 2488.
- [12] Иркаев С.М., Кузьмин Р.Н., Опаленко А.А. Ядерный гамма-резонанс. М.: МГУ, 1970. 207 с.
- [13] Рабкин Л.И., Соскин С.А., Эпштейн Б.Ш. Ферриты. Л.: Энергия, 1968. 384 с.
- [14] Белов К.П. Редкоземельные магнетики и их применение. М.: Наука, 1980. 239 с.