

537.6224(048)

А. В. Залесский. Доменные стенки в магнетиках по данным ЯМР спектроскопии. Одна из особенностей ЯМР в ферромагнетиках состоит в том, что основной вклад в интенсивность ЯМР поглощения во многих случаях вносят ядра в доменных стенках, так как коэффициент усиления η_w для них более высок, чем для ядер в доменах. Обычно отмечаются трудности, связанные с интерпретацией внутрисканочных спектров ЯМР. С другой стороны, изучение таких спектров могло бы дать ценные сведения о свойствах стенок на микроскопическом уровне, поскольку ядра являются своеобразными микрозондами, позволяющими «проникнуть» в глубь стенки.

Существенный сдвиг в понимании внутрисканочных спектров ЯМР внесли теоретические работы Турова, Танкеева и Куркина¹. В настоящем докладе приводятся результаты экспериментального изучения доменных стенок методом ЯМР в некоторых магнитоупорядоченных кристаллах. Результаты частично опубликованы в обзоре².

Наиболее интересными объектами оказались кристаллы редкоземельных ортоферритов с общей формулой $RFeO_3$ (R — редкоземельный ион).

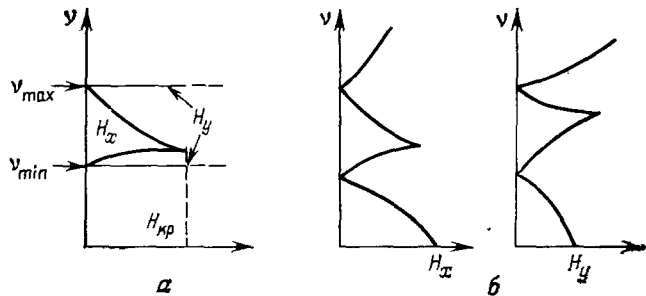


Рис. 1. Характер изменения частот ν_{\max} и ν_{\min} во внешних полях для доменных стенок ac -типа (a) и ab -типа (b)

В этих ромбических слабых ферромагнетиках внутрисканочные сигналы ЯМР можно получить в «чистом виде». Кроме того, доменные стенки в ортоферритах сохраняются без заметного изменения их структуры в достаточно сильных (до 10 кЭ и более) полях, перпендикулярных «легкой» оси c , что позволяет изучать спектры во внешних полях. Обнаруженные спектры от ядер ^{57}Fe состоят из двух близко расположенных по частоте пиков на частотах ν_{\max} и ν_{\min} . Теория, объясняющая такие спектры, была развита Звездным³. Наличие двух линий связано с тем, что при повороте вектора антиферромагнетизма \mathbf{G} внутри стенки, вследствие понижения симметрии (по сравнению с доменами), возникают две частотные ветви, причем резонансные пики на частотах ν_{\max} и ν_{\min} соответствуют максимальной спектральной плотности, отвечающей условию $dv_i(\theta)/d\theta = 0$, где $v_i(\theta)$ — угловая зависимость частоты ЯМР для одной из ветвей, θ — угол поворота \mathbf{G} внутри стенки относительно ромбической оси a . Замечательной особенностью спектров является возможность определения плоскости поворота \mathbf{G} по характеру смещения частот ν_{\max} и ν_{\min} в полях H_x (параллельно оси a) и H_y (\parallel оси b). В ортоферритах возможны 2 типа стенок: 1) с поворотом \mathbf{G} и вектора ферромагнетизма \mathbf{F} как единого целого в плоскости ac (аналог обычных блоховских стенок) и 2) с поворотом \mathbf{G} в плоскости ab , при котором \mathbf{F} сохраняет свою ориентацию вдоль оси c , но изменяется по абсолютной величине, проходя в центре стенки через нуль с изменением знака. Принципиальная возможность последних стенок, не имеющих аналога в обычных ферромагнетиках, для ортоферритов была рассмотрена в^{4,5}. Характер изменения частот ν_{\max} и ν_{\min} для стенок ac - и ab -типов показан соответственно на рис. 1, a и b . Эксперимент показал, что при высоких температурах в ортоферритах существуют стенки ac -типа. С другой стороны, в ортоферрите DyFeO_3 , в котором при низких температурах

имеется переход Морины ($T_M = 40$ К) в ab -плоскости, в интервале $40 < T < 150$ К были обнаружены стенки ab -типа (смещение частот по типу рис. 1, б)⁶. При $T > 150$ К минимуму энергии стенки начинает отвечать поворот в a , c -плоскости и происходит перестройка стенок из ab -типа в ac -тип. Она осуществляется в интервале температур 150—160 К. Схематически перестройка изображена на рис. 2, где в общепринятых обозначениях приведены спиновые конфигурации для доменов и для центра стенок. Из рис. 2 видно, что в процессе перестройки в центре стенки происходит переориентационный переход, сопровождающийся изменением точечной группы магнитной симметрии mmm (Γ_1, G_y) \rightarrow $m'm'm$ ($\Gamma_2, G_z F_x$) с поворотом \mathbf{G} в плоскости b , c

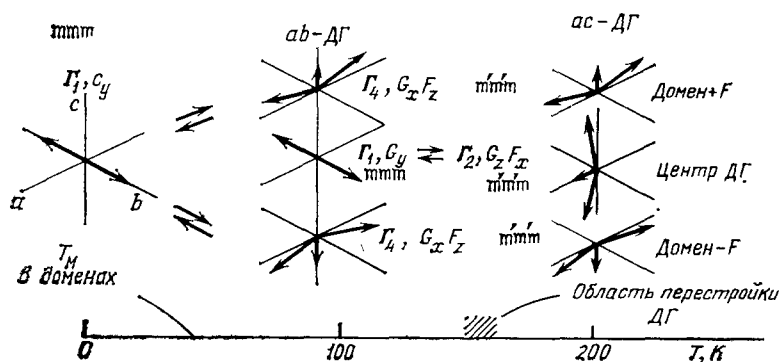


Рис. 2. Схематическое изображение температурной перестройки доменных стенок в DyFeO_3 (точка Морины внутри стенки)

и возникновением F_x . Это своеобразный переход Морины, но происходящий не в объеме доменов (в доменах магнитная структура не меняется), а локально в центре стенок. Стенки, имеющие при $T < 150$ К в центре антиферромагнитную структуру G_y , служат зародышами антиферромагнитной фазы, возникающей при $T < T_M$ во всем объеме кристалла.

Мы рассмотрели случай, когда из спектров ЯМР удастся получить сведения о внутренней структуре стенок. Рассмотрим, какую еще информацию можно получить из внутрискеночного ЯМР.

Величина расщепления $\Delta\nu = \nu_{\max} - \nu_{\min}$ в ортоферритах может служить мерой анизотропии локальных сверхтонких полей на ядрах ^{57}Fe . По мере уменьшения атомного номера R-иона, т. е. с уменьшением ромбических искажений в ряду ортоферритов, $\Delta\nu$ падает⁷.

Использование методики спинового эха вскрыло различие в условиях формирования пиков ЯМР в спектрах, полученных стационарным и импульсным методами. Оказалось, что спиновое эхо в кристалле YFeO_3 формируется от ядер, расположенных в некотором придоменном слое стенки⁸.

Измерения температурной зависимости частот ЯМР дают сведения о внутрискеночных спиновых волнах (винтеровских магнонах).

На интенсивность и форму линии ЯМР для внутрискеночных ядер оказывают влияние факторы, связанные с реальной структурой кристалла (примеси, дефекты), поскольку η_W зависит от таких структурночувствительных характеристик стенки, как затухание, упругость, подвижность, резонансная частота и др. Влияние дефектности особенно сильно проявляется в кристаллах гематита⁹. Закалкой и отжигом можно сильно влиять на динамические свойства «свободных» и «жестких» стенок и тем самым изменять форму линии «стационарного» спектра ЯМР. В случае YFeO_3 наличие примесного иона Fe^{4+} вызывает сужение толщины стенки при $T < 15$ К, что приводит к резкому возрастанию интенсивности ЯМР поглощения¹⁰.

При анализе внутрискеночных спектров важно знать локализацию ядер, ответственных за резонансные пики. В многоподрешеточных гексагональных

ферритах ядра каждой из подрешеток формируют свою индивидуальную форму линии, которая может состоять из одной линии на краю, в центре стенки, либо из двух линий одновременно¹¹. Эти результаты указывают на применимость теории Турова, Танкеева и Куркина¹ не только к простым ферромагнетикам, но и к сложным многоподрешеточным ферримагнетикам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туров Е. А., Танкеев А. П., Курсин М. И. — ФММ, 1969, т. 28, с. 386; 1970, т. 29, с. 747.
2. Z a l e s s k y A. V., Z h e l u d e v I. S. — Atomic Energy Rev., 1976, v. 14, p. 133.
3. Звездин А. К. — ЖЭТФ, 1975, т. 68, с. 1434.
4. Булаевский Л. Н., Гинзбург В. Л. — Письма ЖЭТФ, 1970, т. 11, с. 404.
5. Фарзтдинов М. М., Мальгинова С. Д. — ФТТ, 1970, т. 2, с. 2955.
6. Залесский А. В., Саввинов А. М., Желудев И. С., Иващенко А. Н. — ЖЭТФ, 1975, т. 68, с. 1449.
7. Залесский А. В. — ФТТ, 1984, т. 26, с. 564.
8. Залесский А. В., Звездин А. К., Кривенко В. Г., Балбашов А. М., Химич Т. А., Евдищенко Е. А. — ЖЭТФ, 1981, т. 80, с. 2480.
9. Залесский А. В., Ванчиков В. В., Кривенко В. Г. — ЖЭТФ, 1978, т. 74, с. 1563.
10. Залесский А. В., Кривенко В. Г., Балбашов А. М. — ФТТ, 1981, т. 23, с. 3459.
11. Залесский А. В., Дорошев В. Д., Кривенко В. Г. — ФТТ, 1982, т. 24, с. 20.