

О ПРИРОДЕ УСИЛЕНИЯ СИГНАЛА ЯМР Fe^{57} В КРИСТАЛЛАХ ГЕМАТИТА

А.В.Залесский, И.С.Желудев, Р.А.Восканян

17

Специфика ЯМР в ферромагнетиках заключается в том, что частоты резонанса определяются значениями эффективного (сверхтонкого) поля на ядре, а интенсивность поглощения сложным образом зависит от процессов намагничивания, протекающих на радиочастотах. Такими процессами могут быть: вращение намагниченности внутри доменов и смещение доменных границ. Эти процессы приводят к тому, что на ядра воздействует значительно ббльшая по величине (по сравнению с внешним радиочастотным полем) переменная составляющая эффективного поля. Возникающее при этом усиление в случае гематита ($\alpha - Fe_2O_3$), согласно [1], имеет величину 25000 и обусловлено смещением доменных границ. К такому же выводу о стеночном происхождении сигнала ЯМР в гематите пришел Седлак [2]. Убедительным аргументом в пользу механизма смещения границ является обнаруженный им и Шидловским резонанс доменных границ (РДГ) в гематите [3], который наблюдался в широком диапазоне частот, включающем частоту ЯМР Fe^{57} (71,1 Мгц при комнатной температуре). По данным [3] сигнал ЯМР исчезал в постоянных полях $H \sim 200$ э, в то время как РДГ сохранялся до полей $H \sim 1$ кэ. На этом основании было предположено, что оба этих явления обусловлены движением различных типов границ доменов (в частности ЯМР — движением границ, параллельных оси [111]).

Однако имеются и другие точки зрения на происхождение сигнала ЯМР Fe^{57} в гематите. Андерсон [4] пришел к выводу о том, что преобладающим механизмом, обуславливающим интенсивность поглощения ЯМР в исследованном им природном кристалле гематита, является вращение намагниченности. Вследствие очень малой величины энергии магнитной анизотропии гематита в базисной плоскости, фактор усиления, связанный с процессом вращения, по его расчетам также может достигать значений порядка 10^4 .

Интересной особенностью гематита является обнаруженная в нем анизотропия сигнала ЯМР Fe^{57} [2, 4]. В первой работе это явление объясняется с помощью стеночного механизма, а в последней — с точки зрения вращения намагниченности.

В данном сообщении мы приведем некоторые результаты, говорящие, на наш взгляд, в пользу стеночного происхождения сигнала ЯМР в гематите, а также дополнительные сведения о характере анизотропии сигнала ЯМР Fe^{57} .

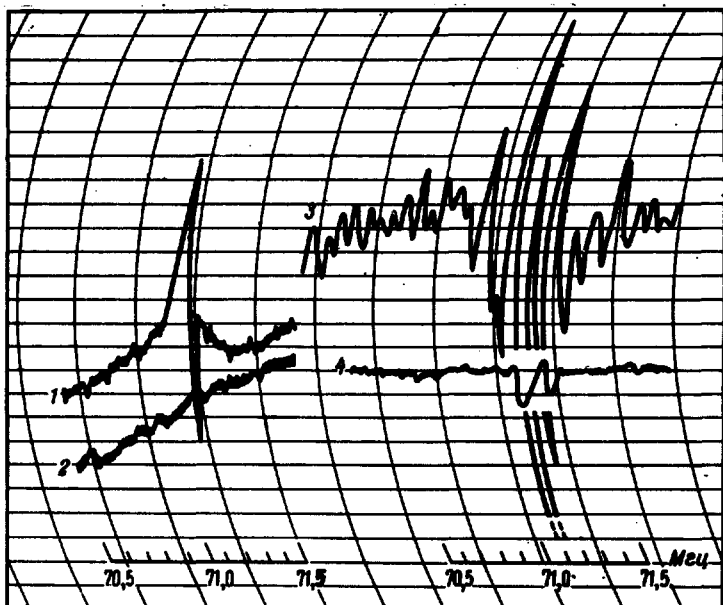


Рис. 1. Первая производная поглощения ЯМР Fe^{57} для гематита, записанная при работе спектрометра в режиме регенератора (кривые 1, 2) и сверхгенератора (кривые 3, 4): кривые 1, 3 — $h \parallel (111)$; кривые 2, 4 — $h \perp (111)$. На кривой 3 виден спектр РДГ

Нами использовался частотномодулированный радиоспектрометр ЯКР конструкции СКБ ИРЭ АН СССР, в котором для возможности работы на низких уровнях радиочастотных (РЧ) колебаний и повышения высокочастотной границы генерации был несколько переделан высокочастотный блок. В зависимости от требуемой чувствительности применялся либо режим регенератора, либо сверхрегенератора. Основные результаты были получены на образце, составленном из нескольких пластинчатых кристаллов $\alpha - \text{Fe}_2\text{O}_3$, обогащенных изотопом Fe^{57} , склеенных между собой по базисной плоскости (111) (метод вращения опубликован в работе [5]).

Полученные результаты сводятся к следующему:

1. Сигнал ЯМР Fe^{57} наблюдался лишь в том случае, когда имелась составляющая РЧ поля параллельная базисной плоскости (111). На рис. 1 кривая 1 (первая производная поглощения в режиме регенератора) получена при расположении образца в контуре, когда РЧ поле h было параллельно (111). При $h \perp (111)$ сигнал был настолько мал (при той же чувствительности), что терялся в шумах (кривая 2); его удалось зафиксировать только при более чувствительном сверхрегенеративном режиме (кривая 4). Проведя опыты с кристаллами различной толщины, мы убедились, что сигнал при $h \perp (111)$ наблюдается только за счет составляющей $h \parallel (111)$ в объеме образца, которую невозможно было избежать в контуре, состоящем всего из трех витков. В пользу этого говорит также одинаковая зависимость амплитуд сигналов ЯМР при $h \parallel (111)$ и $h \perp (111)$ от направления и величины постоянного поля H .

2. Наши измерения подтвердили наличие у гематита сложного спектра со всеми признаками, характерными для РДГ [3, 6]. Спектр можно было наблюдать в широком диапазоне частот от 20 до 80 Mгц . При частотах, включающих частоту ЯМР Fe^{57} , РДГ наблюдался только при работе спектрометра в режиме сверхрегенератора (частота гашения 35 кгц). На кривой 3 рис. 1 в качестве примера показан интенсивный сигнал ЯМР Fe^{57} на фоне спектра РДГ. Сигналы ЯМР на кривых 3 и 4 представляют собой наложение центральной и боковых линий спектра сверхрегенератора. Как и в случае сигнала ЯМР максимальная амплитуда спектра РДГ соответствовала случаю $h \parallel (111)$ (кривая 3) и отсутствовала вовсе при $h \perp (111)$ (кривая 4).

3. Влияние внешнего поля H на амплитуду сигнала ЯМР и спектра РДГ, в отличие от данных работы [3], аналогично (рис. 2). Приложение поля $H \perp (111)$ не приводит к исчезновению сигнала ЯМР и РДГ; некоторое уменьшение амплитуд (кривая 1) можно объяснить влиянием составляющей $H \parallel (111)$ вследствие неоднородности поля H и неточностью ориентировки кристаллов. Наложение поля $H \parallel (111)$ резко снижает амплитуды сигнала ЯМР и спектра РДГ (кривая 2). В полях свыше 500 э сигнал ЯМР исчезает и сохраняется лишь слабый остаточный спектр РДГ, связанный по-видимому, с движением границ, закрепленных на дефектах кристалла.

Одинаковая зависимость амплитуд сигнала ЯМР и спектра РДГ от направления и величины H указывает, во-первых, на то, что сигнал ЯМР обусловлен движением доменных границ и, во-вторых, что за оба

эффекта ответственны одни и те же типы границ. Из результатов, изложенных в 1, 2 и 3, следует также, что движение доменных границ в гематите имеет место только в том случае, когда h и H имеют составляющую, параллельную плоскости (111). Это связано с тем, что ферромагнитный момент доменов в гематите "жестко" связан с базисной

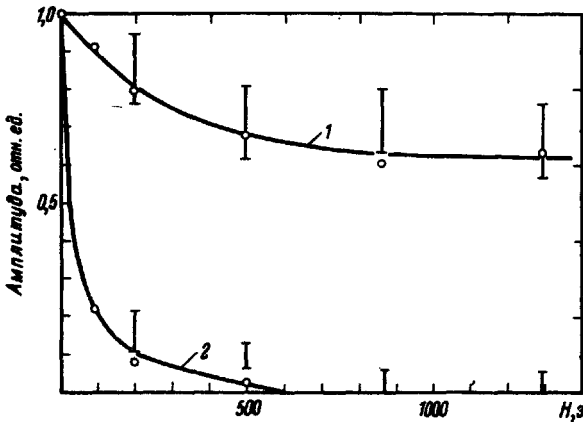


Рис. 2. Влияние внешнего постоянного поля H на амплитуды сигнала ЯМР Fe^{57} (кривые, проведенные по кружкам) и спектра РДГ (отрезки): 1 - $H \perp (111)$, 2 - $H \parallel (111)$. Во всех случаях $h \parallel (111)$. Амплитуды ЯМР и РДГ при $H = 0$ приняты за единицу

плоскостью. Поскольку доменная структура гематита еще полностью не установлена, сказать каким типом границ обусловлен сигнал ЯМР пока затруднительно. По-видимому он обязан легко подвижным границам, параллельным (111), которые наиболее четко наблюдались в недавно опубликованной работе Итона с сотрудниками [7].

Институт кристаллографии
Академии наук СССР

Поступило в редакцию
13 января 1969 г.

Литература

- [1] M. Matsuura, H. Yasuoka, A. Hirai, T. Hashi. J. Phys. Soc. Japan, 17, 1147, 1962.
- [2] B. Sedláč. Czech. J. Phys., 18B, 1374, 1968.
- [3] B. Sedláč, H. Szydłowski. Czech. J. Phys., 17B, 889, 1967.
- [4] D. H. Anderson. Phys. Rev., 151, 247, 1966.
- [5] P. A. Восканян, И. С. Желудев. Кристаллография, 12, 539, 1967.
- [6] E. L. Boyd, J. I. Budnick, L. J. Bruner, R. J. Blume. J. Appl. Phys., 33, 2484, 1962.
- [7] J. A. Eaton, A. H. Morrish, C. W. Searl. Phys. Lett., 26A, 520, 1968.