

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВРЕМЕНИ СПИН-СПИНОВОЙ РЕЛАКСАЦИИ ЯДЕРНОГО МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА В ФЕРРОМАГНИТНОМ CrBr_3

В.А.Тулин, Е.Е.Юлинен¹⁾, А.Н.Вуоримяки, М.Пунккинен¹⁾

*Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН
142432, Черноголовка. Московская обл.*

¹⁾ *Wihuri Physical Laboratory, University of Turku, Finland*

Поступила в редакцию 13 марта 1992 г.

Методом двухимпульсного спинового эха исследована температурная зависимость времени спин-спиновой релаксации ядер в доменных стенках ферромагнитного CrBr_3 .

В настоящее время большой интерес представляет информация о структуре и динамических свойствах доменных границ в ферро- и ферромагнитных материалах. У этого есть две причины. Широкое использование магнетиков в накопителях информации вычислительных машин требует предсказуемого и управляемого поведения доменной структуры, основными элементами которой являются доменные стенки. Кроме этого накоплен большой объем теоретических знаний, предсказывающих те или иные свойства доменных границ, но в этих вопросах остается много неясного из-за недостаточности экспериментальных результатов. Уже беглое знакомство с магнитоупорядоченными веществами и сверхтонким взаимодействием указывает на то, что ядерный магнитный резонанс (ЯМР) может дать информацию о деталях строения и динамике доменных границ различного масштаба. Частота ядерного магнитного резонанса в сверхтонком поле пропорциональна абсолютной величине намагниченности в доменных границах (M_W), а такой параметр, как время спин-спиновой релаксации частично определяется низкочастотными дипольными полями элементарных возбуждений магнитной системы, с которой взаимодействуют ядерные магнитные моменты. В работе ¹ была измерена температурная зависимость частоты ЯМР в доменных границах (то есть $M_W(T)$) в ферромагнитном CrBr_3 . В данной работе мы исследуем температурную зависимость времени спин-спиновой релаксации $T_2(T)$. Полученные в работе зависимости намагниченности в доменах и доменных стенках могут помочь разобраться в поведении скорости спин-спиновой релаксации $\eta = 1/T_2$ и доопределить сведения о спин-спиновых системах.

$+\text{CrBr}_3$ имеет гексагональную кристаллическую решетку типа ViI_3 . При температуре 34,5 К переходит в ферромагнитное состояние, являясь одним из немногих ферромагнетиков-диэлектриков ². В магнитоупорядоченном состоянии он обладает анизотропией типа легкая ось ($H_A = 6,15 \text{ кЭ}$). Величина намагниченности насыщения $4\pi M = 3,38 \text{ кГс}$ ³⁻⁵. Исследуемые кристаллы представляют собой тонкие пластины (толщина порядка 100 мкм, площадь порядка 1 см^2) ²⁾. Ось шестого порядка (легкая ось магнитной анизотропии) направлена перпендикулярно плоскости пластин. Для увеличения отношения сигнал-шум в измерениях мы использовали стопку пластин (порядка 20 шт). При этом оси C_6 для каждого кристалла были параллельны, а ориентация в плоскости случайна. Образец помещался в катушку индуктивности LC-контура (резонансная частота контура могла меняться в диапазоне 32-73 МГц подстройкой конденсатора). LC-контур (с образцом) помещался в криостат с

²⁾ Кристаллы CrBr_3 были выращены методом газового транспорта Клинковой Л.А. в ИФТТ РАН.

возможностью регулирования и стабилизации температуры и являлся поглощающей ячейкой в ЯМР спектрометре BRUKERMSL-300.

На рис.1 представлены записи линий ядерного магнитного резонанса ядер Cr^{53} в трибромиде хрома при температуре 4,2 К в магнитном поле $H = 0$. Триплет с центральной частотой 57,434 МГц представляет собой квадрупольно-расщепленный сигнал ЯМР доменов. Одиночная линия (54,87) МГц - линия ЯМР доменных стенок. Доменная структура в пластинках CrBr_3 в нулевом магнитном поле является лабиринтной³ с шириной доменов порядка 10 мкм. Ширина доменной стенки вследствие достаточно большой кристаллической анизотропии и малого обменного поля составляет несколько постоянных решетки ($\sqrt{H_E/H_A} \approx 6$). Отношение объема доменов к объему доменных стенок порядка нескольких сотен. Интегральная же интенсивность ЯМР от доменных стенок заметно больше интенсивности ЯМР из доменов, что по-видимому связано с различием коэффициентов усиления ЯМР в доменах и доменных стенках. Различие частот ЯМР в доменах и доменных стенках в работе¹ связывалось с различной величиной намагниченности насыщения в этих объектах и различной температурной зависимостью этих величин. Одной из проблем, не имеющих пока объяснений, является отсутствие квадрупольного расщепления линий ЯМР в доменных границах.

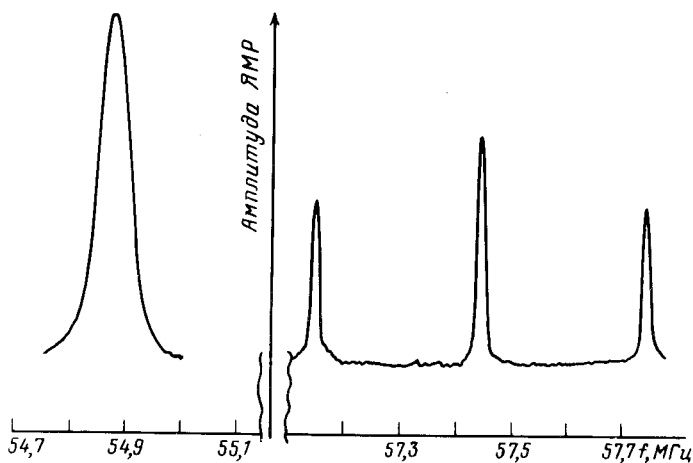


Рис.1. Спектр ядерного магнитного резонанса ядер Cr^{53} ферромагнитного CrBr_3 при температуре 4,2 К в нулевом внешнем магнитном поле. Фрагмент *а* - линия ЯМР в доменных стенках, фрагмент *б* - квадрупольно-расщепленный ЯМР в доменах

Ширина линий ЯМР в доменах (триплет на рис.1) составляет величину близкую к 10 КГц, в доменных стенках (одиночная линия на рис.1) около 50 кГц. Чтобы понять, является ли уширение линий ЯМР однородным или неоднородным, мы проделали измерения времени спин-спиновой релаксации T_2 , используя технику двухимпульсного спинового эха.

В доменных границах сигнал спинового эха хорошо наблюдаем. Он имеет некоторое отличие от традиционного эха Хана, сигнал эха наблюдается несколько раньше по времени. Мы подробно не исследовали это отличие, однако масштаб можно указать - сдвиг эха по времени несколько микросекунд при задержках по времени порядка сотен микросекунд. Это отличие не мешает измерениям времени спин-спиновой релаксации. Мы исследовали температурную зависимость в диапазоне температур от 4,2 до 15 К. На рис.2

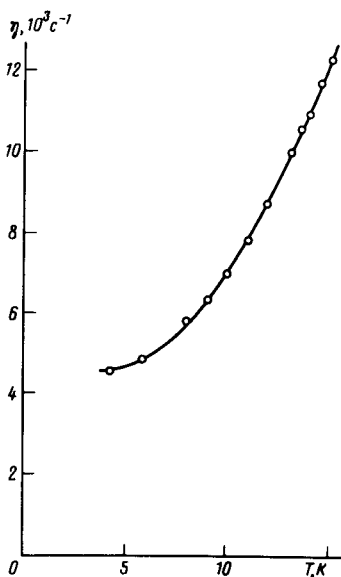


Рис.2. Скорость спин-спиновой релаксации ЯМР в доменных стенках, как функция температуры

представлены результаты этих измерений. Результаты представлены в виде скорости релаксации $\eta = 1/T_2$. Эта величина более удобна для интерпретации, так как при наличии нескольких параллельных процессов полная скорость релаксации является простой суммой скоростей отдельных процессов. Для представления изменения самой величины T_2 приведена таблица зависимости T_2 от температуры.

Температура (К)	4,2	6	8	9	10	11	12	13	13,5	14	14,5	15
T_2 (мкс)	220	205	172	158	143	128	113	100	95	92	86	82

Математическая обработка результатов измерений дает следующее выражение

$$\eta = 1/T_2 = (4189 + 7,36T^{2,59})[c^{-1}].*$$

Если предположить, что степень температуры в выражении * имеет простой вид, а именно 2,5, то скорость релаксации описывается, как

$$\eta = (4094 + 9,43T^{2,5})[c^{-1}].$$

Из этого значения скорости релаксации можно оценить однородную ширину линии ЯМР в доменных стенках. При 4,2К

$$\Delta f = \eta/2\pi \approx 1 \text{ кГц.}$$

Эта величина значительно меньше ширины линии ЯМР в доменах (10КГц), которые мы считали однородноуширенными. В связи с этим мы выполнили измерение времени спин-спиновой релаксации ЯМР в доменах. Результаты этих измерений менее достоверны, чем предыдущие. Это связано с меньшей интегральной интенсивностью линий ЯМР, наличием квадрупольного расщепления и заметной неэкспоненциальностью зависимости амплитуды эха от времени. Измерения показали, что время T_2 в доменах на 30÷40% короче T_2 в доменных стенках. Тем не менее оно больше обратной ширины линии, то есть и в доменах имеет место неоднородное уширение. (Результаты исследования ЯМР

ферромагнитного CrVr_3 в магнитном поле будут опубликованы в подробной статье). В работе Суладзе и Хуцишвили ⁶ был проведен расчет скорости ядерной спин-спиновой релаксации ферромагнетика с учетом взаимодействия ядерной магнитной системы со спиновыми волнами доменных границ (моды Винтера ⁷). Наши результаты не соответствуют этому расчету. Причина расхождения может состоять в высокой частоте этих спиновых волн в CrVr_3 ⁸.

Компонента скорости релаксации (и соответствующее ей время спин-спиновой релаксации), которая не зависит от температуры, определяется косвенным взаимодействием ядерных спинов через ферромагнитную систему (Сул ⁹).

В заключение авторы выражают благодарность Л.А.Клиновой за любезно предоставленные кристаллы CrVr_3 и организациям способствующим проведению этой совместной работы.

-
1. В.А.Тулин, М.Кому, Е.Макела и др. Письма в ЖЭТФ **35**, 462 (1982).
 2. I.Tsubokawa, J. Phys. Soc. Japan **15**, 664 (1960).
 3. J.F.Dillon, J. Appl. Phys. **33**, 1191 (1962).
 4. A.C.Gossard, V.Jaccarino and J.P.Remeika, J. Appl. Phys. **33**, 1187 (1962).
 5. С.Н.Собб, V.Jaccarino, М.А.Бутлер et al. Phys. Rev. B **7**, 307 (1973).
 6. З.Н.Суладзе, К.О.Хуцишвили, ФТТ **30**, 1226 (1985).
 7. J.M.Winter, Phys. Rev. **124**, 452 (1961).
 8. В.А.Тулин, Письма в ЖЭТФ **31**, 585 (1980).
 9. H.Suhl, Phys. Rev. **109**, 606 (1958).