

ВЛИЯНИЕ ЯДЕРНОЙ ПОДСИСТЕМЫ МАГНЕТИКА НА ДИНАМИКУ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ

М. П. Петров, В. И. Белотницкий, В. Л. Чекарёв

Экспериментально обнаружено изменение динамических свойств доменных границ (ДГ) феррита $\text{Eu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ при насыщении спиновой системы ядер европия. Предложена модель, связывающая коэффициент упругости и затухания ДГ с параметрами ядерной системы.

При измерении магнитной восприимчивости феррит-граната $\text{Eu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ резонансным методом [1] на частоте 50 кГц в области температур $1,7 \div 4,2$ К было обнаружено изменение добротности Q катушки индуктивности с образцом и емкости C , настраивающей контур в резонанс на частоте 50 кГц, при воздействии на образец радиочастотного (РЧ) поля в диапазоне частот $200 \div 800$ МГц. Образец представлял собой набор монокристаллов размерами ~ 1 мм и общим объемом ~ 1 см³.

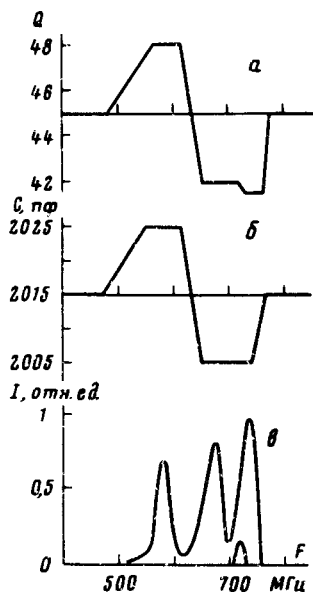


Рис.1. Зависимости a — добротности Q катушки индуктивности с образцом и b — емкости C , настраивающей контур в резонанс на частоте 50 кГц от частоты РЧ поля, воздействующего на образец; c — спектр ЯМР ядер Eu^{151} в ДГ ($T = 1,8$ К)

Перечислим основные свойства обнаруженного эффекта: (a) изменения Q (рис.1, a) и C (рис.1, b) наблюдаются при воздействии РЧ поля в диапазоне частот, коррелирующем со спектром ЯМР ядер Eu^{151} в ДГ $\text{Eu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ (рис.1, c), полученным методом спинового эха. Воздействие РЧ поля в диапазоне 1 ($630 \div 760$ МГц) уменьшает Q и C , а в диапазоне 2 ($500 \div 630$ МГц) увеличивает Q и C ; b) величины изменений Q и C при повышении температуры образца от 1,7 до 4,2 К уменьшаются в два — три раза; c) изменения Q и C наблюдаются при $P_1 > 0,1$ мВт и нелинейно зависят от мощности РЧ поля P , при $P_2 > 50$ мВт наблюда-

ется насыщение¹⁾ (рис.2). *в)* обнаруженный эффект не наблюдается в постоянных магнитных полях, больших 5 кЭ; характер изменений C и Q (рис.3) коррелирует с полевой зависимостью амплитуды сигналов спинного эха Eu^{151} , расположенных в ДГ $Eu_3Fe_5O_{12}$ [2]; *д)* аналогичные изменения Q и C наблюдаются также при воздействии РЧ поля в диапазоне частот ядерного магнитного резонанса (ЯМР) ядер Eu^{153} (200 ÷ 400 МГц).

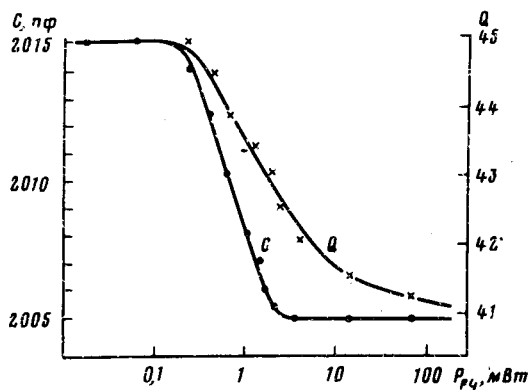


Рис. 2

Рис.2. Зависимости Q , C от мощности РЧ поля ($f_{РЧ} = 680$ МГц, $T = 1,8$ К)

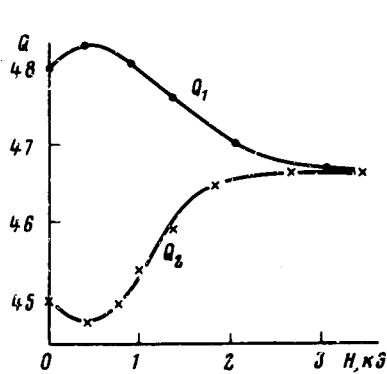


Рис. 3

Рис.3. Зависимости добротности катушки индуктивности с образцом от величины внешнего магнитного поля ($T = 1,8$ К). Q_1 — при воздействии РЧ поля на частоте 580 МГц; Q_2 — без воздействия РЧ поля

Наблюдаемые изменения Q , C соответствуют изменению низкочастотной начальной восприимчивости феррита, определяемой смещением ДГ, которое описывается уравнением гармонического осциллятора. В этом случае изменения Q и C соответствуют изменению коэффициента упругости ДГ k и затухания b .

Таким образом, анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что насыщение ядерной спиновой системы, расположенной в ДГ, приводит к изменению динамических свойств ДГ.

Для объяснения полученных результатов рассмотрим следующую модель. В случае анизотропного сверхтонкого взаимодействия (СТВ) на ядра различных слоев ДГ действуют различные сверхтонкие поля со стороны электронных моментов. Тогда в соответствии с законом Кюри существует распределение величины ядерной намагниченности в направлении, перпендикулярном плоскости ДГ. При колебаниях ДГ направления и величины сверхтонких полей на ядрах различных слоев ДГ периодически изменяются. Если частота колебаний Ω много меньше частоты ЯМР, то направления ядерной намагниченности отдельных слоев ДГ в любой момент времени практически совпадают с мгновенными на-

¹⁾ Отметим, что при наблюдении двухимпульсного эха на частоте РЧ поля оптимальная мощность РЧ импульсов длительностью ~ 1 мксек составляет ~ 10 мВт

правлениями сверхтонких полей. С другой стороны из-за релаксационных процессов величины ядерных намагниченностей могут отличаться от значений, соответствующих мгновенному распределению величин сверхтонких полей. В этом случае при смещении ДГ энергия СТВ изменяется, поэтому при анализе движения ДГ необходимо наряду с инерционным, упругим и диссипативным членами учитывать также энергию СТР.

В соответствии с приведенной выше моделью был проделан расчет для одноосного кристалла со 180° ДГ. Распределение полей СТВ выбрали в виде [3]: $H = H_D - \Delta H \sin^2 \theta$, где H_D — сверхтонкое поле в домене, ΔH — разность между величинами сверхтонких полей в домене и центре ДГ. Расчет показал, что уравнение движения ДГ следует записать в виде

$$m\ddot{q} + (b + b_{\text{я}})\dot{q} + (k + k_{\text{я}})q = 2Mh\cos \Omega t, \quad (1)$$

где q — смещение центра ДГ от положения равновесия; m , b , k — масса ДГ, коэффициент упругости и затухания без учета ядерной системы; $b_{\text{я}}$, $k_{\text{я}}$ — вклад ядерной подсистемы в коэффициент затухания и упругости:

$$b_{\text{я}} = \chi_{\text{я}} \frac{32 (\Delta H)^2 T_1}{5\delta [1 + 4 (\Omega T_1)^2] [1 + (\Omega T_1)^2]}, \quad (2)$$

$$k_{\text{я}} = \chi_{\text{я}} \frac{64 (\Delta H)^2 (\Omega T_1)^4}{15\delta [1 + 4 (\Omega T_1)^2] [1 + (\Omega T_1)^2]},$$

где $\chi_{\text{я}}$ — статическая восприимчивость ядерной спин-системы, δ — толщина ДГ, T_1 — время продольной релаксации. Проведенные численные оценки показывают, что при $T = 1,7 \div 4,2$ К параметры b и $b_{\text{я}}$, k и $k_{\text{я}}$ могут быть сравнимы по величине.

Качественные оценки вклада ядерной подсистемы в свойства ДГ при насыщающем воздействии РЧ поля показали, что существенных изменений $b_{\text{я}}$ и $k_{\text{я}}$ можно ожидать лишь при воздействии на частотах, близких к частотам ЯМР ядер, расположенных в центре ДГ. При этом выражения для вкладов $b_{\text{я}}$ и $k_{\text{я}}$ (2) существенно изменяются, причем при $\Delta H > 0$ величины $b_{\text{я}}$ и $k_{\text{я}}$ увеличиваются, а при $\Delta H < 0$ уменьшаются.

Непосредственное рассмотрение предложенной модели для $\text{Eu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ дает громоздкий результат ввиду существования шести неэквивалентных кристаллографических положений для редкоземельных ионов и возможности существования нескольких типов ДГ, однако качественные особенности эффекта сохраняются. Сравнение эксперимента с расчетом показывает, что предложенная модель качественно описывает наблюдаемое явление (для ядер Eu^{151} $T_1 = 20 \div 30$ мксек). Следует отметить, что для ядер Eu^{151} , расположенных в ДГ $\text{Eu}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$, частота ЯМР в диапазоне 1(2) больше (меньше), чем частота ЯМР для ядер в доменах (600 и 650 МГц [4]), т.е. $\Delta H < 0$ ($\Delta H > 0$). В соответствии с этим понятие изменение знака эффекта при воздействии РЧ поля в диапазоне 1 и 2.

Таким образом, экспериментально и теоретически показано, что при низких температурах система ядерных спинов может оказывать существенное влияние на динамические свойства ДГ.

Авторы выражают благодарность М.И.Куркину за полезные обсуждения и консультации.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
6 октября 1981 г.

Литература

- [1] *Vella-Coleiro G.P., Smith D.H., Van Uitert L.G. Appl. Phys., 1972, 43, 2428.*
- [2] *Белотицкий В.И., Чекмарев В.П. Радиоспектроскопия. Материалы всесоюзного симпозиума Пермь, 1980, стр.36.*
- [3] *Туров Е.А., Танкеев А.П., Куркин М.И. ФММ, 1970, 29, 747.*
- [4] *Streever R.L., Caplan P.J. Phys. Rev., B., 1971, 3, 2910.*
-