

УДК 537.638.214

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРОВ МАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА СМЕШАННЫХ ФЕРРИТОВ-ГРАНАТОВ

В. П. КАЛАНТАРЯН, Ю. О. АВЕТИСЯН, С. А. МНАЦАКАНЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 5 сентября 1993 г.)

Проведено экспериментальное исследование температурных зависимостей спектров магнитного резонанса двух систем смешанных ферритов-гранатов с возможной угловой спиновой конфигурацией в a - и в d -подрешетках. В некотором температурном интервале обнаружено искажение кривой магнитного резонанса, которое приписывается возникновению дополнительной резонансной линии, обусловленной неколлинеарностью спиновой системы. Проведена оценка температурной зависимости среднего угла между соседними спинами.

Смешанные ферриты-гранаты иттрия, в которых часть магнитных ионов Fe^{3+} , находящихся в октаэдрических междуузлиях (a -места) или в тетраэдрических междуузлиях (d -места), замещаются какими-либо диамагнитными ионами, оказались удобным объектом для изучения различных взаимодействий в этих ферритах. В работе [1] для объяснения статических параметров замещенных ферритов-гранатов было сделано предположение о неколлинеарном расположении спинов в той или другой подрешетке феррита-граната.

В настоящей работе проведено исследование формы линии магнитного резонанса в двух системах замещенных ферритов-гранатов иттрия и сделана попытка наблюдения магнитного резонанса, вызванного неколлинеарностью спинов в той или другой подрешетке. В качестве объектов исследования были взяты ферриты следующих составов:

$$\{Y_{3-x}Ca_x\}[Fe_{2-x}Sn_x](Fe_3)O_{12}, \quad (1)$$

где $x=0; 0,1; 0,3; 0,5; 0,7$ и $0,9$,

и

$$\{Y_{3-x}Ca_x\}[Fe_3](Fe_{3-x}Si_x)O_{12}, \quad (2)$$

где $x=0,45; 0,75; 1,05$ и $1,35$.

В этих формулах использованы принятые обозначения—фигурными скобками выделены ионы, находящиеся в додекаэдрических междуузлиях (или в c -подрешетке), квадратными скобками—ионы в a -подрешетке и круглыми—в d -подрешетке.

В ферритах (1) при $0 < x \leq 1,5$ ионы Sn^{4+} замещают ионы Fe^{3+} , занимающие исключительно октаэдрические междуузлия [2], а в

ферритах (2) ионы Si^{4+} занимают тетраэдрические междоузлия [1]. Ионы Y^{3+} и Ca^{2+} , занимающие c -подрешетки феррита-граната, являются диамагнитными и не принимают участия в создании магнитных свойств. Замещение ионов Y^{3+} ионами Ca^{2+} производится для сохранения электрической нейтральности молекулы. В соответствии с предположениями, сделанными в работе [1], в ферритах-гранатах (1) возможна угловая спиновая конфигурация в d -подрешетке, а в ферритах-гранатах (2) угловая конфигурация спинов возможна в a -подрешетке.

На рисунке приведены спектры электронного магнитного резонанса, которые наблюдались в феррите-гранате системы (1) с $x=0,9$. Похожие кривые, полученные для образца с $x=0,7$, приведены в работе [3]. При комнатной температуре (верхняя кривая на

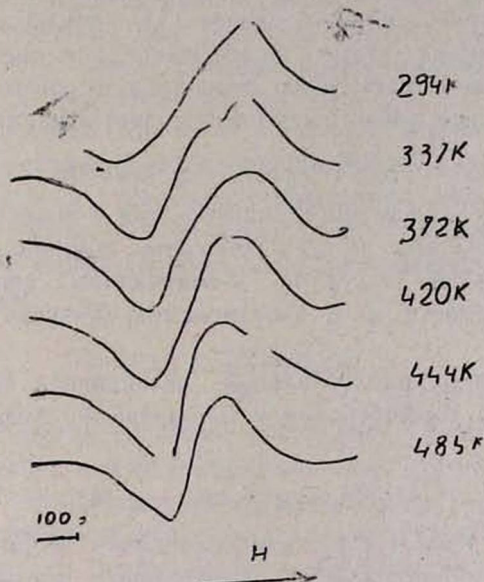


Рис. Искажение формы линии магнитного резонанса феррита-граната $Y_{2,1}Ca_{0,9}Fe_{4,1}Sn_{0,9}O_{12}$.

рисунке) линия магнитного резонанса имеет вид, типичный для поликристаллического ферромагнетика с кубической магнитной кристаллографической анизотропией. По мере возрастания температуры, начиная примерно с 330 K и до температур ~ 420 K, происходит заметное искажение кривой магнитного резонанса. Анализ формы резонансных линий показывает, что линию магнитного резонанса в области искажений можно представить в виде суммы линий основного ферромагнитного резонанса и некоторой другой резонансной линии, которая начинает проявляться в области температур 330 K и по мере роста температуры удаляется в область более высоких магнитных полей. Подобные кривые были получены для ферритов-гранатов состава (1) с $x=0,5$; $x=0,9$ и $x=0,7$. Резонансные кривые

ферритов-гранатов (1) с $x=0$; 0,1 и 0,3 и всех исследованных ферритов-гранатов состава (2) подобных искажений не имеют. Ниже приводятся области температур, в которых наблюдается искажение кривой магнитного резонанса, в зависимости от состава:

x	Область т-р, К
0,5	440—470,
0,7	400—430,
0,9	330—420.

Как видно отсюда, по мере возрастания величины замещения в ферритах-гранатах искажения линии магнитного резонанса смещаются в область более низких температур.

Расчет резонансных частот в ферритах-гранатах с угловой спиновой конфигурацией, проведенный в работе [4], показывает, что кроме обычных резонансных частот, отвечающих коллинеарной спиновой структуре, в спектре магнитного резонанса ферритов с угловой спиновой конфигурацией в d -подрешетке появляется частота

$$\omega = \gamma_d(H_0 - \lambda_{ad}M_a + \lambda_{dd}M_d \cos\psi), \quad (3)$$

где γ_d —магнетомеханическое отношение для d -подрешетки, H_0 —внешнее магнитное поле, λ_{ad} и λ_{dd} —константы обменных взаимодействий между подрешетками и внутри d -подрешетки соответственно, M_a и M_d —намагниченности a - и d -подрешеток, ψ —угол между спинами в d -подрешетке.

Выражение для дополнительной резонансной частоты в случае угловой спиновой конфигурации в a -подрешетке будет иметь следующий вид:

$$\omega = \gamma_a(H_0 - \lambda_{aa}M_a \cos\varphi + \lambda_{ad}M_d), \quad (4)$$

где обозначения соответствуют обозначениям формулы (3).

Формула (3) описывает дополнительные резонансные частоты, которые могут появиться в ферритах-гранатах системы (1), а формула (4)—в ферритах-гранатах системы (2). Для ферритов системы (1) имеем

$$M_a \sim 2-x, \quad M_d \sim 3,$$

а для ферритов системы (2)

$$M_a \sim 2, \quad M_d \sim 3-x.$$

Перепишем выражение (3) в виде

$$\omega = \gamma_d H_0 - \gamma_d \lambda_{ad} \left(M_a - \frac{\lambda_{dd}}{\lambda_{ad}} M_d \cos\psi \right). \quad (5)$$

Для того, чтобы резонансная частота ω попадала в область частот ларморовской прецессии, второй член в первой части (5) должен быть примерно равен нулю, т. е. должно иметь место соотношение

$$2-x \approx 3 \frac{\lambda_{dd}}{\lambda_{ad}} \cos \psi.$$

Поскольку можно принять, что $\psi < \frac{\pi}{2}$, для величины x в ферритах-гранатах системы (1) получаем

$$2 > x \geq 2 - 3 \frac{\lambda_{dd}}{\lambda_{ad}}. \quad (6)$$

Аналогично, для ферритов-гранатов системы (2)

$$3 > x \geq 3 - 2 \frac{\lambda_{aa}}{\lambda_{ad}}. \quad (7)$$

Формулы (6) и (7) показывают величины замещения магнитных ионов Fe^{3+} немагнитными, при которых частота магнитного резонанса, связанного с угловым расположением соседних спинов, оказывается близкой к ларморовской частоте. Для определения величин x , удовлетворяющих (6) и (7), большое значение приобретает знание отношений коэффициентов молекулярных полей или обменных интегралов. Эти же отношения оказываются очень важными при определении статических свойств смешанных ферритов-гранатов [1]. По данным теории молекулярного поля, приведенным в работе [5], эти отношения равны

$$\frac{\lambda_{aa}}{\lambda_{ad}} = 0,3 \text{ и } \frac{\lambda_{dd}}{\lambda_{ad}} = 0,43.$$

Как видим, имеет место хорошее совпадение результатов наших экспериментов с приведенными оценочными данными.

Если принять, что параметры молекулярного поля и магнито-механическое отношение не зависят от температуры, а в области температур, далеких от точки Кюри, пренебречь температурной зависимостью намагниченностей отдельных подрешеток, то единственным параметром, входящим в формулу (5), который может зависеть от температуры, остается угол ψ . Исходя из факта, что с увеличением температуры резонансные поля возрастают, можно сделать вывод, что с увеличением температуры происходит незначительное увеличение угла скоса между соседними спинами.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. Rosencwaig. Canadian Journal of Physics, 48, 2857 (1970).
2. S. Galler, et al. Phys. Chem. Solids, 12, 111 (1960).
3. С. А. Мнацаканян, А. М. Майсурян. Изв. АН АрмССР, Физика, 23, вып. 3, 164 (1988).
4. С. А. Мнацаканян, В. П. Калантарян. Изв. НАН Армении, Физика, 28, № 4—6, 163 (1993).
5. E. E. Anderson, Phys. Rev., 134, 1581 (1964).

**ԽԱՌՆՈՒՐԴԱՅԻՆ ՖԵՐԻՏ-ՆՈՆԱՔԱՐԵՐԻ ՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՌԵԶՈՆԱՆՍԻ
ՍՊԵԿՏՐՆԵՐԻ ԶԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԱՅԻՆ ԿԱԽՈՒՄԸ**

Վ. Պ. ԲԱՆԱՔԱՐՅԱՆ, ՅՈՒ. Հ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ս. Ա. ՄՆԱՏԱԿԱՆՅԱՆ

Կատարված է խառնուրդային ֆերիտ-նոնաքարերի՝ a - և d - ենթալattice-ներում հնարավոր առկայությունը սպինային կառուցվածքով երկու համակարգերի մագնիսական ռեզոնանսային հերմաստիճանային կախման փորձնական հետազոտությունը: Հաշտարված է մագնիսական ռեզոնանսի կորի աղավաղումը չեղման հերմաստիճանային որոշակի արտաբերված, որ վերագրվում է սպինային համակարգի ու-կոլինեարությունը պայմանավորված լրացուցիչ ռեզոնանսային գծի առաջացմանը: Տրված է հարևան սպինների միջև միջին անկյան չեղման հերմաստիճանային կախման պնդատականը:

**TEMPERATURE DEPENDENCE OF MAGNETIC RESONANCE
IN MIXED FERRITE-GARNETS**

V. P. KALANTARIAN, Y. H. AVETISSIAN, S. A. MNATSAKIAN

Temperature dependence of magnetic resonance spectra in two systems of mixed ferrite-garnets with the possible canted spin configuration in the a - and d -sublattices has been investigated.