

стигает для продольной УЗВ. Появление температурного гистерезиса может быть обусловлено возможным перераспределением ионов кислорода по вакансиям при охлаждении образца. Кроме того, при измерении температурной зависимости изменения скорости распространения поперечной УЗВ (для продольных УЗВ этот эффект менее заметен) ниже 130 К на экране осциллографа появляется нерегулярная серия дополнительных импульсов. При понижении температуры от 130 до 90 К амплитуды их изменяются, а максимальные значения амплитуд возрастают. При этом импульсы смещаются друг относительно друга. Подобное явление можно объяснить возникновением в образце ниже 130 К областей, в которых скорость поперечной УЗВ различна либо они разделены границами, способными изменять скорость УЗВ. При понижении температуры различие скоростей УЗВ возрастает и приводит к интерференции упругих волн.

Л и т е р а т у р а

- [1] *Wu M. K., Ashburn J. R. et al. Phys. Rev. Lett.*, 1987, vol. 58, N 9, p. 908—910.
 [2] *Кузнецов Ю. С., Бабушкин А. Н., Печерский В. И.* В сб.: Физика металлов и их соединений. Свердловск, 1979, с. 149—152.

Уральский государственный
 университет им. А. М. Горького
 Свердловск

Поступило в Редакцию
 10 сентября 1987 г.
 В окончательной редакции
 24 ноября 1987 г.

УДК 538.245

Физика твердого тела, том 30, в. 4, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 4, 1988

ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ СУРЬМЫ НА МАГНИТНУЮ АНИЗОТРОПИЮ КОБАЛЬТОВОГО ФЕРРИТА

К. П. Белов, А. Н. Горяга, А. Н. Лямзин

Несмотря на то что ферриты-шпинели открыты давно и получили широкое применение в технике, многие их магнитные и структурные свойства остаются до сих пор невыясненными. Это особенно относится к ферритам, в которые входят двухвалентные ионы кобальта. Среди ферритов-шпинелей наибольшей константой анизотропии обладает феррит CoFe_2O_4 [1]. Это объясняется тем, что ион Co^{2+} ($3d^7$), находящийся в октаэдрическом комплексе, по модели одноионной анизотропии дает самый большой вклад в величину K_1 порядка 50 см^{-1} [1], тогда как вклады от ионов Fe^{3+} в тетраэдрических (A) и октаэдрических (B) комплексах соответственно составляют $+0.03$ и -0.05 см^{-1} . В данной работе была поставлена задача выяснить, как введение немагнитных ионов Sb^{5+} отразится на характере магнитной анизотропии кобальтового феррита, поскольку оно приводит к увеличению содержания ионов Co^{2+} . Таких сведений в литературе не имеется, по-видимому, из-за трудностей в получении монокристаллов ферритов системы $\text{Co}_{1+2x}\text{Sb}_x\text{Fe}_{2-3x}\text{O}_4$. Однако, зная величины спонтанной намагниченности I_s и коэрцитивной силы H_c поликристаллических образцов, можно вычислить их эффективную константу магнитной анизотропии по формуле $K_{\text{эфф}} = 4\pi I_s H_c$. В случае отсутствия внутренних напряжений $K_{\text{эфф}} \approx K_1$.

В данной работе синтез поликристаллических образцов системы $\text{Co}_{1+2x}\text{Sb}_x\text{Fe}_{2-3x}\text{O}_4$ ($x=0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5$) был проведен при тех же условиях, которые были применены в [2]. Согласно рентгеновским исследованиям, проведенным при комнатной температуре, все образцы представляли собой однофазные кубические шпинели. Измерения удельной

x	Катионное распределение	n_0, μ_B (4.2 K)	ρ , г/см ³	I_s , Гс	H_c , кЭ
0.0	Fe[CoFe]O ₄	3.41	4.62	369.6	4.25
0.1	Co _{0.36} Fe _{0.64} [Co _{0.86} Fe _{1.06} Sb _{0.1}]O ₄	3.86	3.98	342.3	1.80
0.2	Co _{0.41} Fe _{0.59} [Co _{0.99} Fe _{0.81} Sb _{0.2}]O ₄	3.22	4.40	334.4	1.05
0.3	Co _{0.53} Fe _{0.47} [Co _{1.07} Fe _{0.63} Sb _{0.3}]O ₄	2.85	4.10	258.3	1.10
0.4	Co _{0.64} Fe _{0.36} [Co _{1.16} Fe _{0.44} Sb _{0.4}]O ₄	2.41	4.00	204.0	2.00
0.5	Co _{0.67} Fe _{0.33} [Co _{1.33} Fe _{0.17} Sb _{0.5}]O ₄	1.70	3.30	115.5	4.65

намагниченности σ и коэрцитивной силы H_c проводились в вибрационном магнитометре при 4.2 K в магнитных полях до 50 кЭ.

Из рис. 1, где приведены изотермы $\sigma(H)$, видно, что в сильных полях для всех образцов отсутствует насыщение, что, по-видимому, свидетельствует о наличии у них неколлинеарной магнитной структуры при 4.2 K. Путем экстраполяции линейной части изотерм к $H=0$ были определены

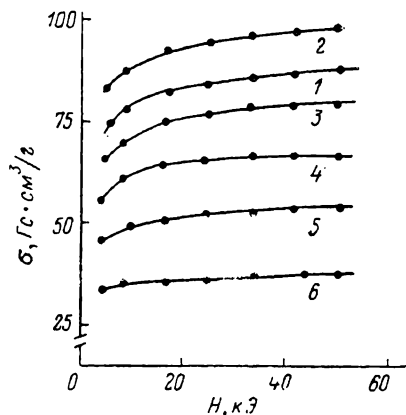


Рис. 1. Изотермы удельной намагниченности системы $Co_{1+2x}Sb_xFe_{2-3x}O_4$ при 4.2 K.

1 — $x=0.0$, 2 — 0.1, 3 — 0.2, 4 — 0.3, 5 — 0.4, 6 — 0.5.

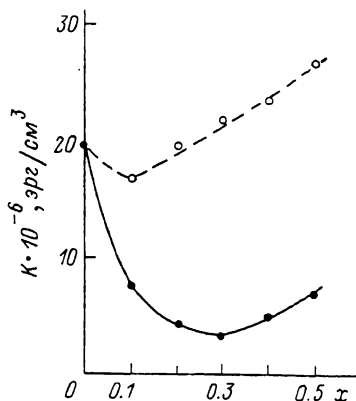


Рис. 2. Зависимость константы магнитной анизотропии от содержания ионов Sb^{5+} при 4.2 K.

Сплошная линия — $K_{эфф}(x)$, штриховая линия — рассчитанная $K_1(x)$.

значения σ_s , из которых вычислены магнитные моменты n_0 (см. таблицу). Видно, что при увеличении x от 0.0 до 0.1 значение n_0 несколько возрастает, а далее следует только уменьшение.

Для определения по данным n_0 катионного распределения в феррите со структурой шпинели необходимо знать величины магнитных моментов входящих в него ионов. У ионов Fe^{3+} ($3d^5$) как в A -, так и в B -узлах и у ионов Co^{2+} в A -узлах магнитные моменты чисто спиновые и равны соответственно $5\mu_B$ и $3\mu_B$. У иона Co^{2+} в B -узлах магнитный момент зависит как от спинового, так и от не полностью замороженного орбитального момента и лежит в пределах $3.3 \div 3.94\mu_B$ [1]. Используя для кобальтового феррита катионное распределение $Fe^{3+}[Co^{2+}Fe^{3+}]O_4$ и полученное значение n_0 (см. таблицу), мы определили, что магнитный момент иона Co_B^{2+} составляет $3.4\mu_B$.

Применяя соотношение $Co_xFe_{1-x}[Co_{1+2x-t}Fe_{1-3x+t}Sb_x]$, установленное в [2], мы определили катионное распределение для образцов данной системы (см. таблицу). В [3] из мессбауровских данных было найдено, что у феррита $Co_2Sb_{0.5}Fe_{0.5}O_4$ ионы Fe^{3+} занимают позиции A и B в соотношении 2/1, что хорошо согласуется с нашими данными.

В таблице приведены полученные величины плотностей ρ , I_s и H_c для наших образцов. По этим данным были определены значения их $K_{эфф}$. Для кобальтового феррита ($X=0$) полученная величина $K_{эфф}=1.97 \cdot 10^7$ эрг/см³

хорошо согласуется с экспериментальным значением $K_1 = 1.95 \cdot 10^7$ эрг/см³ [1], на основании чего мы считаем, что зависимость $K_{эфф}(x)$ (рис. 2) заслуживает внимания.

Величина K_1 должна прямо пропорционально зависеть от содержания ионов Co^{2+} в B -узлах, так как вкладом от других ионов в магнитную анизотропию можно пренебречь. Для того чтобы иметь возможность произвести сравнение экспериментальной зависимости $K_{эфф}(x)$ с рассчитанной $K_1(x)$, мы считали, что величина $+50$ см⁻¹ соответствует величине K_1 $CoFe_2O_4$, так как в нем количество ионов Co^{2+} в B -узлах равно единице. Сравнивая зависимость $K_{эфф}(x)$ с рассчитанной зависимостью $K_1(x)$, показанной на рис. 2 штриховой линией, видно, что они имеют почти одинаковый характер, но сильно отличаются по величине. Например, для образца с $x=0.5$ величина K_1 больше $K_{эфф}$ приблизительно в три раза.

Таким образом, в результате проведенных исследований нами установлено, что увеличение содержания в B -узлах ионов Co^{2+} путем введения ионов Sb^{5+} не приводит к росту магнитной анизотропии, как это следует из модели одноионной анизотропии. По-видимому, одной из причин этого может быть перенос спиновой плотности от магнитных катионов в пустую $5s$ -оболочку ионов Sb^{5+} , так как, согласно мессбауэровским исследованиям, в шпинелях на ядрах октаэдрических ионов Sb^{5+} наблюдаются сравнительно большие эффективные магнитные поля ($H_{эфф} \approx 250$ кЭ) [4]. Не исключено, что перенос спиновой плотности от ионов Co_B^{2+} приводит к такому изменению их орбитального состояния, что их вклад в магнитную анизотропию уменьшается.

Л и т е р а т у р а

- [1] Круничка С. Физика ферритов и родственных им магнитных окислов. М.: Мир, 1976. 504 с.
- [2] Бляссе Ж. Кристаллохимия феррошпинелей. М.: Металлургия, 1968. 184 с.
- [3] Gerard A., Grandjean F. et al. J. Phys. (France), 1979, vol. 40, N 3, colloq N 2, p. 339—341.
- [4] Ryby S. L., Evanse B. J., Hafner S. S. Sol. St. Commun., 1968, vol. 6, p. 277—279.

Московский государственный
университет им. М. В. Ломоносова
Москва

Поступило в Редакцию
16 октября 1987 г.
В окончательной редакции
25 ноября 1987 г.

МАГНИТОПРИМЕСНЫЕ ВОЛНЫ В МЕТАЛЛАХ С АНИЗОТРОПНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ФЕРМИ

А. М. Ермолаев

Локализация электронов на примесных атомах в магнитном поле способствует распространению электромагнитных волн в металлах [1-3]. Вблизи частот резонансных переходов электронов между магнитопримесными уровнями и уровнями Ландау возникают новые ветви спектра бозевских возбуждений металла, названные магнитопримесными волнами. В [1-3] исследованы свойства этих волн в изотропных проводниках со сферической поверхностью Ферми. Между тем анизотропия спектра носителей играет в физике волн принципиальную роль [4, 5]. Поэтому естественно рассмотреть магнитопримесные волны в металлах с анизотропной поверхностью Ферми.