ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 537.622.6

ВЛИЯНИЕ ИОНОВ Cr^{3+} НА НАМАГНИЧЕННОСТЬ ГЕКСАФЕРРИТОВ СО СТРУКТУРОЙ Y

Л. Г. Антошина, Е. Г. Кондратьева

(кафедра общей физики для естественных факультетов)

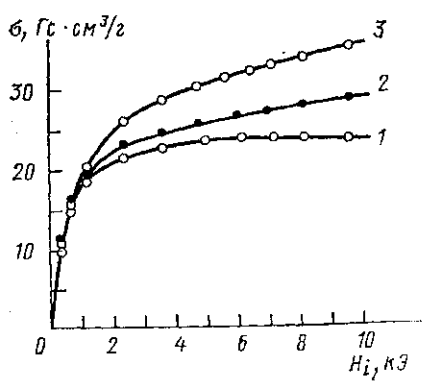
Изучена намагниченность образцов системы $Ba_2Ni_2Fe_{12-x}Cr_xO_{22}$ ($x=0{,}0$; 1,5 и 3,0). Установлено, что намагниченность сложным образом зависит от содержания хрома. Сделано предположение, что в хром-замещенных гексаферритах имеется неколлинеарное магнитное упорядочение.

Целью настоящей работы является исследование магнитных свойств системы никелевых гексаферритов $Ba_2Ni_2Fe_{12-x}Cr_xO_{22}$. В литературе нет сведений о поведении магнитных свойств образцов Ni_2Y, легированных хромом. Так как ионы Cr^{3+} имеют большое предпочтение к октаэдрическим узлам, то следует ожидать, что при замещении ионов Fe^{3+} ионами Cr^{3+} в гексаферрите $Ba_2Ni_2Fe_{12}O_{22}$ последние будут занимать только октаэдрические узлы, подобно тому как это происходит в системе ферритов $NiFe_{2-x}Cr_xO_4$ со структурой шпинели. При этом магнитный момент системы $NiFe_{2-x}Cr_xO_4$ линейно убывает с ростом x вплоть до составов с $x\leqslant 0{,}75$ [1]. Поэтому представляло интерес произвести замещение ионов Fe^{3+} ионами Cr^{3+} в гексаферрите $Ba_2Ni_2Fe_{12}O_{22}$ с тем, чтобы сравнить магнитные свойства гексаферритов и ферритов со структурой шпинели.

Нами были приготовлены поликристаллические образцы системы гексаферритов $Ba_2Ni_2Fe_{12-x}Cr_xO_{22}$ с $x=0{,}0$; 1,5; 3,0 по керамической технологии. Оба отжига проводились при температуре 1300° С в течение 10 ч. Однофазность образцов контролировалась рентгеновским методом.

Намагниченность σ в полях до 10 кЭ и коэрцитивная сила H_c полученных образцов измерялись баллистическим методом в интервале температур 80÷700 К.

На рисунке приведены изотермы намагниченности $\sigma(H_i)$ для всех образцов, измеренные при температуре 80 К. Видно, что кривая $\sigma(H_i)$ для незамещенного никелевого гексаферрита Ni_2Y имеет насыщение, в то время как для хром-замещенных гексаферритов на кривых $\sigma(H_i)$ насыщение отсутствует. Следует отметить, что величина H_c возрастает с ростом концентрации x ионов Cr^{3+}. Например, при температуре жидкого азота для Ni_2Y коэрцитивная сила составляет ~35 Э, для образца с $x=1{,}5$ $H_c\approx 100$ Э, а для состава с $x=3{,}0$ H_c становится уже ~850 Э. Из



Изотермы намагниченности $\sigma(H_i)$ образцов системы $Ba_2Ni_2Fe_{12-x}Cr_xO_{22}$, измеренные при $T=80$ К: $x=0{,}0$ (*1*); 1,5 (*2*) и 3,0 (*3*)

измерений при $T=80$ К петли гистерезиса феррита $Ba_2Ni_2Fe_9Cr_3O_{22}$, имеющего максимальную H_c, было обнаружено, что в полях выше 6 кЭ процесс технического намагничивания заканчивается. Подтверждением этого является изотропный характер изотерм продольной $\lambda_{\parallel}(H)$ и поперечной $\lambda_{\perp}(H)$ магнитострикции в полях $H\geqslant 6$ кЭ, измеренных для всех образцов. Таким образом, мы считаем, что у исследованных нами ферритов в полях до 10 кЭ энергия магнитной анизотропии преодолена, и отсутствие насыщения на кривых $\sigma(H_i)$ для хром-замещенных гексаферритов связано только с парапроцессом.

Восприимчивость парапроцесса $\chi=\Delta\sigma/\Delta H$ также возрастает с увеличением x. Так, при $T=80$ К для состава с $x=1{,}5$ $\chi=8\cdot 10^{-4}$ Гс·см³/(г·Э), а для образца с $x=3{,}0$ $\chi=12\cdot 10^{-4}$ Гс·см³/(г·Э). Рост восприимчивости парапроцесса при замещении ионов

Fe^{3+} ионами Cr^{3+} может быть связан с отрицательным обменным взаимодействием ионов Cr^{3+} в октаэдрических узлах.

В соединениях со структурой шпинели прямой отрицательный обмен между ионами Cr^{3+}—Cr^{3+} в октаэдрических узлах значительно превышает положительный косвенный обмен Cr^{3+}—O^{2-}—Cr^{3+} [2], в результате чего в ферритах с большим содержанием хрома возникает неколлинеарное магнитное упорядочение. Например, в никелевом феррите-хромите $NiFe_{0,6}Cr_{1,4}O_4$ ниже 260—280 К было установлено существование сильного прямого отрицательного обменного взаимодействия между ионами Cr^{3+}—Cr^{3+} [3].

На основании этого мы предполагаем, что в системе никелевых гексаферритов $Ba_2Ni_2Fe_{12-x}Cr_xO_{22}$ с $x=1,5$ и 3,0 существует неколлинеарное магнитное упорядочение, обусловленное прямым отрицательным обменным взаимодействием между ионами Cr^{3+}—Cr^{3+} в октаэдрических узлах.

Уменьшение магнитного момента в никелевых ферритах-хромитах со структурой шпинели, наблюдаемое при увеличении концентрации ионов Cr^{3+}, становится понятным уже из того, что в октаэдрических узлах происходит замещение ионов Fe^{3+} с бо́льшим магнитным моментом ($5\mu_Б$) на ионы Cr^{3+} с меньшим магнитным моментом ($3\mu_Б$).

Температурные зависимости самопроизвольной намагниченности $\sigma_s(T)$ исследованных гексаферритов носят сложный характер. Так, при $T=80$ К для незамещенного феррита Ni_2Y $\sigma_s=(24,0\pm0,5)$ Гс·см³/г, для хром-замещенного гексаферрита с $x=1,5$ $\sigma_s=(23,0\pm0,7)$ Гс·см³/г, а при дальнейшем увеличении хрома для состава с $x=3,0$ намагниченность возрастает: $\sigma_s=(26,0\pm0,7)$ Гс·см³/г. (Температуры Кюри всех исследованных гексаферритов $\Theta_f \geqslant 700$ К.) Таким образом, в отличие от зависимости $\sigma_s(x)$ для системы $NiFe_{2-x}Cr_xO_4$ намагниченность образцов системы $Ba_2Ni_2Fe_{12-x}Cr_xO_{22}$ не убывает линейно при увеличении x.

Такое сложное поведение намагниченности σ_s в зависимости от состава x мы объясняем следующим образом. Известно [4], что если в гексаферритах со структурой Y ионы двухвалентных металлов располагаются в шпинельных S-блоках, а ионы Fe^{3+} помещаются как в S-, так и в T-блоках, то блоки T в таком гексаферрите не имеют результирующего магнитного момента, т. е. являются «антиферромагнитными», и за магнитный момент ответственны только шпинельные блоки S (блок S содержит 2 молярные единицы структуры шпинели). Например, намагниченность гексаферрита Ni_2Y составляет почти половину от намагниченности феррита $NiFe_2O_4$ со структурой шпинели: если для Ni_2Y $\sigma_s=24$ Гс·см³/г [4], то для $NiFe_2O_4$ $\sigma_s=50$ Гс·см³/г [5] при комнатной температуре. Так как в гексаферритах со структурой Y октаэдрические узлы присутствуют как в S-, так и в T-блоках, то мы предполагаем, что при замещении ионов Fe^{3+} ионами Cr^{3+} последние будут статистически распределяться по блокам S и T. При этом в блоках S должно происходить уменьшение магнитного момента, как и в ферритах-хромитах со структурой шпинели. Тогда как в блоках T, которые были до замещения «антиферромагнитными», появится нескомпенсированный магнитный момент. Таким образом, суммарный магнитный момент хром-замещенных гексаферритов может возрасти.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность профессору К. П. Белову за полезные замечания при обсуждении результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] McGuire T. R., Greenwald S. W.//Solid State Phys. in Electronic and Telecommunication. 1960. 3 (1). P. 50—71. [2] Гуденаф Д. Магнетизм и химическая связь. М., 1968. [3] Белов К. П., Горяга А. Н., Антошина Л. Г., Попов Ю. Ф.//ФТТ. 1973. 15, № 2. С. 580—582. [4] Смит Я., Вейн Х. Ферриты. М., 1962. [5] Pauthenet R.//Comp. Rend. 1950. 230, N 21. P. 1842—1843.

Поступила в редакцию
20.05.87