

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ НИКЕЛЬ-КАДМИЕВЫХ ФЕРРИТОВ МЕССБАУЭРОВСКИМ И МАГНИТНЫМ МЕТОДАМИ

Ш.М.Алиев, К.И.Камилов

Институт физики Дагестанского научного центра РАН, Махачкала
Поступило в Редакцию 8 июля 1994 г.

Мессбауэровским и магнитным методами исследована система ферритов $Ni_{1-x}Cd_xFe_2O_4$ ($0 \leq x \leq 1$) в области температур 80–860 К. Ставилась цель сравнить температуры магнитного перехода, найденные из мессбауэровских T_M и магнитных T_N измерений. Поводом для этих исследований послужили работы [1,2], авторы которых обнаружили отсутствие магнитной сверхтонкой структуры (МСТС) ядер ^{57}Fe в ферритах с $X = 0.7$ и 0.8 в магнитоупорядоченной области температур. Поскольку для никелевого феррита ($x = 0$) $T_M = T_N$ [3], то должна существовать критическая концентрация диамагнитных ионов кадмия x_{cr} , начиная с которой $T_M \neq T_N$. Значение T_M определялось по мессбауэровским спектрам как температура, при которой полностью исчезает МСТС ядер ^{57}Fe , а температура Нееля T_N определялась из температурной зависимости самопроизвольной намагниченности феррита. На рис. 1 приведены полученные зависимости $T_M(x)$ и $T_N(x)$.

Видно, что начиная с концентрации $x_{cr} = 0.6$ наблюдается разница в значениях T_M и T_N , причем $T_M < T_N$. Эта разница сперва увеличивается, проходя через максимум для концентрации $x = 0.75$, затем она уменьшается, и для кадмиевого феррита ($x = 1$) снова $T_M = T_N$ [4].

В мессбауэровских спектрах магнитно-разбавленных ферритов при некоторой температуре $T_i < T_M$ вместе с МСТС обнаруживается квадрупольный дублет (КД), характерный для парамагнитного состояния ионов железа, интенсивность которого возрастает при приближении к T_M . Необходимо отметить, что такой КД обнаруживается и в спектрах ферритов с незначительной концентрацией ионов кадмия. На рис. 2 приведены мессбауэровские спектры феррита с $x = 0.2$, снятые при температурах ниже, чем T_N . В спектрах отчетливо виден КД вместе с МСТС. Это явление невозможно объяснить ни в рамках модели Гильо [5], ни на основе суперпарамагнитного эффекта [6]. Согласно статистической модели Гильо, в создании ферримагнитного упорядочения могут участвовать только те магнитные ионы, которые связаны обменными взаимодействиями по меньшей мере с двумя другими магнитными ионами из второй подрешетки. Магнитные ионы, связанные единственной обменной связью с другими, ведут себя как парамагнитные ионы. Вероятность размещения ионов железа в магнитно-неэквивалентных положениях можно задать с помощью биномиального распределения

$$P(n, x) = \binom{6}{n} x^{6-n} (1-x)^n, \quad (1)$$

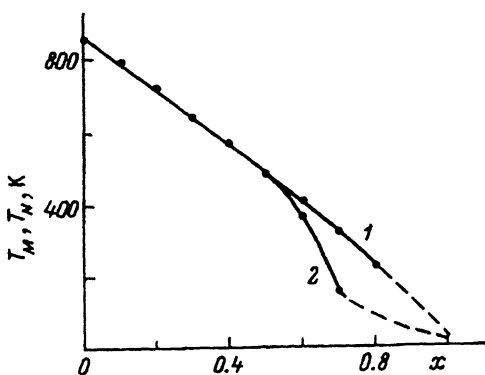


Рис. 1. Зависимости $T_N(x)$ (1) и $T_M(x)$ (2) для системы ферритов $Ni_{1-x}Cd_xFe_2O_4$.

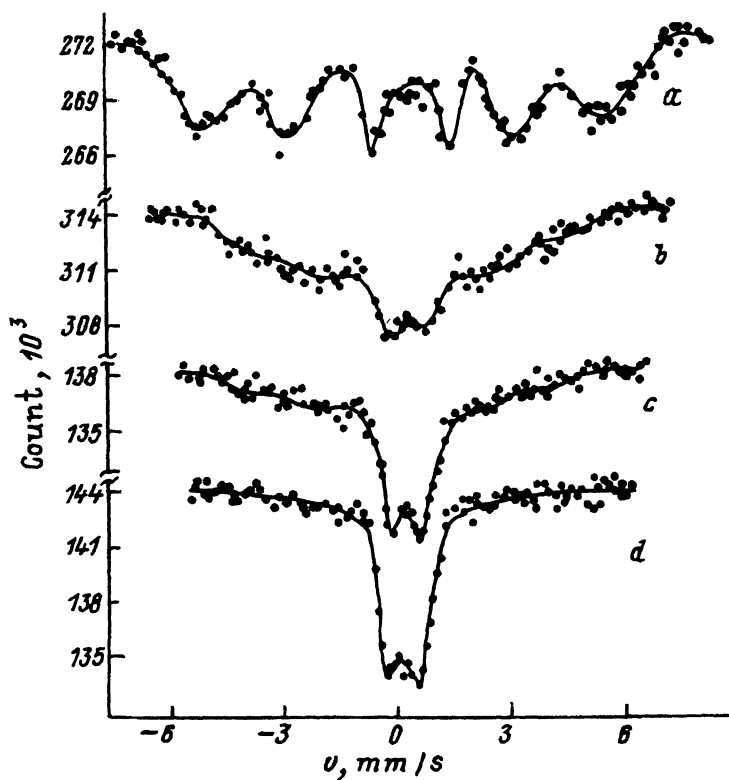


Рис. 2. Мессбауэровские спектры феррита $Ni_{0.8}Cd_{0.2}Fe_2O_4$ при разных значениях температуры: 560 (a), 620 (b), 660 (c) и 700 К (d); $T_N = 740$ К.

где x — концентрация ионов кадмия в составе феррита; n — число ионов железа в А-подрешетке, которые вместе с ионами кадмия входят в число шести ближайших соседей ионов железа в В-подрешетке ($n = 0, 1, \dots, 6$). Заметим, что в Ni-Cd-ферритах имеет место следующее катионное распределение: $(\text{Cd}_x^{2+}\text{Fe}_{1-x}^{3+})_A[\text{Ni}_{1-x}^{2+}\text{Fe}_{1+x}^{3+}]_B\text{O}_4$ [7]. Для феррита с $x = 0.2$ из (1) следует, что числа ионов железа в В-подрешетке, ближайшими соседями которых являются 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0 ионов железа в А-подрешетке, относятся как 0.262:0.393:0.246:0.082:0.015:0.002:0.000. Отсюда видно, что в данном феррите все ионы железа в В-подрешетке имеют в ближайшем окружении три и более трех ионов железа из А-подрешетки (поскольку последние три вероятности близки нулю). Поэтому в феррите, находящемся в парамагнитном состоянии, не может быть ионов железа. Вероятность возникновения суперпарамагнитных кластеров так же ничтожно мала в этом феррите.

Исследования показали, что появлению КД в спектре, как правило, предшествует возникновение релаксационной картины, т.е. уширение внешних линий МСТС по сравнению с внутренними (рис. 2). Это обстоятельство свидетельствует о том, что появление в спектре КД в магнитоупорядоченной области температур связано с релаксационным процессом спинов железа. Если учесть, что суперпарамагнитная релаксация маловероятна, то ответственной за явление может выступать ионная спиновая релаксация. Этот вывод подтверждается результатами работ [1,2]. Мы полагаем, что релаксационный процесс спинов железа в магнитно-разбавленных ферритах возникает вследствие конкуренции внутривидового обменного взаимодействия с междошрешеточным обменным взаимодействием, ответственным за ферромагнитное упорядочение, но ослабленным из-за магнитного разбавления.

Список литературы

- [1] Камиллов И.К., Алиев Ш.М., Алиев Х.К., Анохин Л.К. // Письма в ЖЭТФ. 1979. Т. 30. № 9. С. 582-585.
- [2] Алиев Ш.М., Камиллов И.К., Батырмурзаев А.С. // ФТТ. 1983. Т. 25. № 5. С. 1539-1542.
- [3] Sawatzky G.A., van der Woude F., Morrish A.H. // Phys. Rev. 1969. V. 187. N 2. P. 847-857.
- [4] Sawicki J. // Acta Phys. Polon. A.1974. V. 45. N 2. P. 225-230.
- [5] Gillo M.A. // J. Phys. Chem. Sol. 1960. V. 13. P. 33-39.
- [6] Bhargava S.C., Zeman N. // Phys. Rev. B. 1980. V. 21. N 5. P. 1717-1725.
- [7] Muthkumarasamy P., Nagarajan T., Narayanasamy A. // Phys. Stat. Sol. (a). 1981. V. 64. P. 747-754.