

УДК 537.622.5

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА КВАЗИОДНОМЕРНОГО ПОЛИКРИСТАЛЛА $\text{NaFeGe}_2\text{O}_6$

© 2009 г. Т. В. Дрокина¹, О. А. Баюков^{1,2}, Г. А. Петраковский^{1,2}, Д. А. Великанов^{1,2}

E-mail: tvd@iph.krasn.ru

Проведены синтез и исследование магнитных свойств диэлектрического поликристалла $\text{NaFeGe}_2\text{O}_6$. Установлено, что данное соединение имеет антиферромагнитное упорядочение при температурах ниже 15 К. Мёссбауэровский спектр при 300 К представляет собой квадрупольный дублет и характеризуется величинами изомерного сдвига, характерного для высокоспинового иона Fe^{3+} в октаэдрической координации, и квадрупольного расщепления, свидетельствующего об искажении кислородного октаэдра вокруг катиона железа. Доказана квазиодномерность магнитной структуры образца.

Исследование свойств низкоразмерных магнетиков — важная задача современной физики твердого тела [1]. К квазиодномерным материалам, содержащим цепочки магнитных атомов с малым межцепочечным обменом, можно отнести и соединение $\text{NaFeGe}_2\text{O}_6$. Материал характеризуется общей формулой $M_1M_2\text{Si}(\text{Ge})_2\text{O}_6$ (M_1 — катион щелочного металла, M_2 — катион переходного $3d$ -металла). Интерес к соединениям со структурой пироксена вызван также тем, что они представляют собой новый класс мультиферроиков — материалов, которые обладают магнитными, ферроэлектрическими и ферроупругими свойствами, что важно для фундаментальной физики и прикладных аспектов спинтроники [2].

Поликристаллический NaFe -германат синтезирован с помощью твердотельной реакции при нормальном давлении. Образцы приготовлены из шихты, содержащей 16% Na_2CO_3 , 23% Fe_2O_3 и 61% GeO_2 с последующим помолом, формованием и прессованием полидисперсного порошка. Спрессованные под давлением ~ 10 кбар таблетки диаметром $d = 12$ мм и толщиной $h = 4$ мм подвергали высокотемпературной обработке. Предварительный отжиг осуществляли при $t = 800^\circ\text{C}$ в течение 25 ч. Последующий отжиг предварительно перетертых и вновь сформованных образцов осуществляли при $t = 820^\circ\text{C}$ в течение 24 ч.

Магнитные измерения выполнены на СКВИД-магнитометре в интервале температур 4.2–300 К на образце весом 195 мг. На рис. 1 представлена зависимость обратной магнитной восприимчивости от температуры образца $\text{NaFeGe}_2\text{O}_6$.

При охлаждении поликристалла $\text{NaFeGe}_2\text{O}_6$ наблюдается аномалия магнитной восприимчиво-

сти, что свидетельствует о магнитном фазовом переходе из парамагнитной фазы в антиферромагнитную при температуре ~ 15 К (рис. 1).

Мёссбауэровские исследования проведены при комнатной температуре с источником $\text{Co}^{57}(\text{Cr})$ на порошках толщиной 5–10 мг/см² по естественному содержанию железа ^{57}Fe . Мёссбауэровский спектр при 300 К представляет собой квадрупольный дублет (рис. 2). Величина изомерного сдвига 0.40 мм/с, что характерно для высокоспинового иона Fe^{3+} , находящегося в октаэдрической координации. Величина квадрупольного расщепления 0.34 мм/с, она свидетельствует об искажении кислородного октаэдра вокруг катиона железа.

Соединение $\text{NaFeGe}_2\text{O}_6$ в парамагнитной фазе имеет моноклинную сингонию, пространственную группу $C2/c$. Характерная особенность структуры $\text{NaFeGe}_2\text{O}_6$ — ионы железа расположены в цепочках, удаленных друг от друга на расстояние $\cong 7.60$ Å [3]. Такая структура позволяет предполагать, что внутрицепочечное взаимодействие, происходящее по коротким связям $\text{Fe}-\text{O}-\text{Fe}$ ($\cong 4.12$ Å),

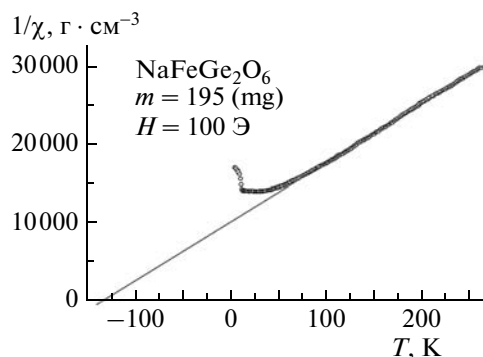


Рис. 1. Температурная зависимость обратной магнитной восприимчивости $\text{NaFeGe}_2\text{O}_6$. Эффективный магнитный момент $\mu_{\text{эф}} = 5.89 \mu_B$. Температура Нееля $T_N = 15$ К. Асимптотическая температура Нееля $\theta = -135$ К.

¹ Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск.

² Сибирский федеральный университет, Красноярск.

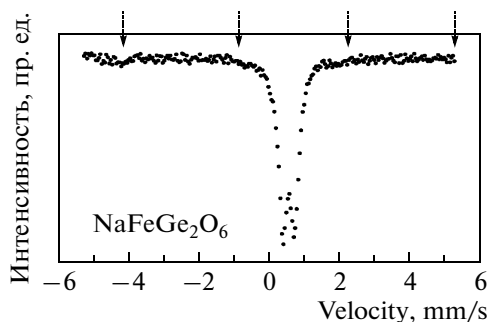


Рис. 2. Мёссбауэровский спектр $\text{NaFeGe}_2\text{O}_6$.

намного больше, чем междоузельное. В этом случае, в соответствии с выводами теории молекулярного поля, можно оценить силу внутримолекулярных обменных взаимодействий, используя связь асимптотической температуры Нееля с интегралом максимального обмена, действующего в системе [4]

$$k\Theta_C = \frac{2}{3}S(S+1)zJ_1, \quad (1)$$

где S – суммарный спин (для иона Fe^{3+} $S = 5/2$), k – константа Больцмана, z – число ближайших соседей в цепочке ($z = 2$). Оценка приводит к $J_1 = -11.5$ К при экспериментальной величине $\Theta_C = -135$ К, определенной из измерений магнитной восприимчивости (рис. 1).

Температура магнитного упорядочения зависит от междоузельных взаимодействий [5]:

$$kT_N = \frac{4}{3}S(S+1)J_1 \frac{1}{I}, \quad (2)$$

где $I = 0.64(J_1/J_{2a})^{1/2}[1+0.253 \ln(J_{2a}/J_{2b})]$, $J_{2a,2b}$ – определяющие междоузельные взаимодействия интегралы обмена в направлениях a , b , перпендикулярных цепочке. Для структуры диопсида $J_{2a} = J_{2b}$, так что предыдущая формула упрощается до $I = 0.64(J_1/J_{2a})^{1/2}$. Оценка, проведенная согласно этим формулам, дает величину междоузельного взаимодействия $J_2 = -0.072$ К при экспериментальном значении $T_N = 15$ К. Таким образом, отношение $J_2/J_1 \cong 0.006$, что характерно для квазиодномерных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Катанин А.А., Ирхин В.Ю. // Успехи физ. наук. 2007. Т. 177. С. 639.
2. Jodlauk S., Becker P. et al. // J. Phys.: Condens. Matter. 2007. V. 19. 432201.
3. Соловьева Л.П., Бакакин В.В. // Кристаллография. 1967. Т. 12. С. 591.
4. Смит Дж. Эффективное поле в теории магнетизма. М.: Мир, 1968.
5. Hennessy M.J., McElwee C.D., Richards P.M. // Phys. Rev. B. 1973. V. 7. P. 930.