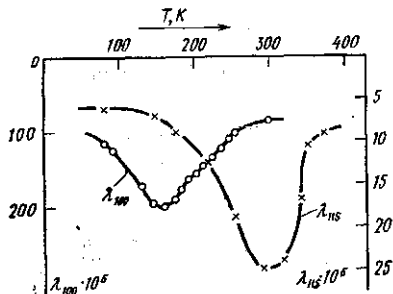


УДК 538.245

К. П. БЕЛОВ, А. Н. ГОРЯГА, Л. Г. АНТОШИНА

## О ПОВЕДЕНИИ МАГНИТОСТРИКЦИИ МЕДНОГО ФЕРРИТА В НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Ранее нами были проведены достаточно подробные исследования намагниченности в слабых и сильных полях коэрцитивной силы, магнитострикции и магнетосопротивления тетрагонально-искаженного медного феррита  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  [1, 2]. Наряду с другими интересными свойствами у данного образца было обнаружено, что температурная зависимость самопроизвольной магнитострикции  $\lambda_s$  носит сложный характер (см. рисунок). В этих работах было сделано предположение, что ниже  $\approx 350\text{K}$  у ионов  $\text{Cu}_B^{2+}$  возникает спин-орбитальное взаимодействие, вследствие чего растет величина  $\lambda_s$  и изменяется характер магнитной анизотропии. Что касается уменьшения величины  $\lambda_{\parallel s}$  при  $T < 200\text{K}$ , то, основываясь на результатах работы [3], мы предполагали, что такой вид зависимости  $\lambda_{\parallel s}$  у тетрагонально-искаженного медного фер-



Температурные зависимости продольной самопроизвольной магнитострикции  $\lambda_{\parallel s}$  тетрагонально-искаженного медного феррита и константы магнитострикции  $\lambda_{100}$  медного феррита в кубической фазе

рита обусловлен тем, что у него константа магнитострикции  $\lambda_{111}$  имеет положительный знак и ее величина резко увеличивается в интервале температур (80—200) К.

Недавно появилась работа Арай и Тсуя [4], в которой авторы установили, что для кубического монокристалла  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  в интервале температур (80—293) К константа магнитострикции  $\lambda_{100} < 0$  и ее температурная зависимость аналогична полученной нами  $\lambda_{\parallel s}(T)$ , в то время как константа магнитострикции  $\lambda_{111}$  имеет положительный знак и ее величина на порядок меньше величины  $\lambda_{100}$  (см. рисунок). Из этого рисунка видно, что рост константы  $\lambda_{100}$  у кубического образца начинается с той же температуры, что и рост величины  $\lambda_{\parallel s}$  у тетрагонально-искаженного образца. Следовательно, из одинакового характера зависимостей  $\lambda_{100}(T)$  и  $\lambda_{\parallel s}(T)$  для кубического и тетрагонально-искаженного образцов можно сделать вывод о том, что аномальное поведение магнитострикции медного феррита в низких температурах обусловлено одной и той же причиной и не связано с ян-теллеровским эффектом ионов

$\text{Cu}_B^{2+}$ . Поэтому представляло интерес выяснить, какими же причинами обусловлен такой характер поведения магнитострикций  $\lambda_{100}$  и  $\lambda_{||}$  в зависимости от температуры.

В феррите  $\text{Fe}[\text{CuFe}]\text{O}_4$  влияние на магнитострикцию будут оказывать в основном ионы  $\text{Cu}_B^{2+}$  так как у них орбитальный момент не полностью заморожен кристаллическим полем [5]. Можно предположить, что резкое уменьшение величины константы магнитострикции  $\lambda_{100}$  может быть вызвано лишь замораживанием орбитального момента у ионов  $\text{Cu}_B^{2+}$ . А это явление возможно только в случае усиления кристаллического поля в октаэдрических узлах.

В соединениях, содержащих ионы переходных 3d-металлов, в низких температурах кроме ян-теллеровского эффекта и спин-орбитального взаимодействия существенную роль на изменение кристаллической структуры может оказывать прямое обменное взаимодействие между катионами, возникающее вследствие непосредственного перекрытия  $t_{2g}$ -орбиталей у этих катионов. В ферритах со структурой шпинели такое перекрытие может иметь место только между магнитными катионами, находящимися в В-узлах, так как там расстояние между катионами  $R_{VV}$  близко к критическому  $R_{кр}$ .

В медном феррите образование пар будет между следующими ионами  $\text{Fe}_B^{3+} - \text{Fe}_B^{3+}$  и  $\text{Cu}_B^{2+} - \text{Fe}_B^{3+}$ . Согласно правилам Гуденафа [6] прямой обмен  $\text{Fe}_B^{3+} - \text{Fe}_B^{3+}$  является отрицательным и сильным, а обмен  $\text{Cu}_B^{2+} - \text{Fe}_B^{3+}$  положительным и слабым. Следовательно, появление прямого обмена  $\text{Fe}_B^{3+} - \text{Fe}_B^{3+}$  должно отразиться не только на изменении величин электросопротивления и энергии активации, но и на изменении характера магнитной структуры. Поэтому нами были проведены подробные исследования поведения удельного электросопротивления в зависимости от температуры. Оказалось, что в области приблизительно 230 К, где начинается резкое уменьшение магнитострикции, имеется изменение энергии активации с 0,25 до 0,20 эВ. Вместе с тем согласно результатам, полученным в работе [7], в области температуры 230 К имеет место значительный парапроцесс намагниченности, магнитострикции и гальваномангнитного эффектов.

Таким образом, на основании полученных результатов мы считаем, что в области этой температуры происходит непосредственное перекрытие  $t_{2g}$ -орбиталей у ионов  $\text{Fe}_B^{3+}$ , в результате которого анионы  $\text{O}^{2-}$ , лежащие в плоскости взаимодействующих катионов, отодвигаются друг от друга, создавая локальное искажение решетки. В свою очередь, эти кристаллографические искажения приводят к тому, что поле лигандов, действующее на катионы  $\text{Cu}_B^{2+}$ , усиливается, следствием чего является еще большее замораживание орбитального магнитного момента у этих ионов.

Следовательно, уменьшение магнитострикции в районе области около 230 К как у кубического, так и у тетрагонально-искаженного медного ферритов обусловлено появлением прямого обмена между ионами  $\text{Fe}_B^{3+}$ , находящимися в октаэдрических узлах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов К. П., Горяга А. Н., Антошина Л. Г. «Физика твердого тела», 1973, 15, 2895.

2. Белов К. П., Горяга А. Н., Антошина Л. Г. «Физика твердого тела», 1974, 16, 2446.
3. Gyorgy E. M., Krause J. I. et al. «J. Appl. Phys.», 1967, 38, 1226.
4. Arai K. I., Tsuya N. «Phys. stat. sol. (b)», 1974, 66, 547.
5. Абрагам А., Блинн Б. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов, т. 1. М., 1972.
6. Гуденаф Д. Магнетизм и химическая связь. М., 1968.
7. Антошина Л. Г. Реферат канд. дис. М., 1975.

Кафедра  
общей физики для естественных фак-тов

Поступила в редакцию  
09.11.78