

Переход антиферромагнетизм–ферромагнетизм в системе $Zn_{1-x}Cu_xCr_2S_4$

© Р.З. Садыхов, Д.А. Гусейнов, А.И. Ахмедов

Институт физики Академии наук Азербайджана,
370143 Баку, Азербайджан

(Поступила в Редакцию 11 июля 1997 г.)

Исследована намагненность и парамагнитная восприимчивость системы составов $Zn_{1-x}Cu_xCr_2S_4$ ($0 < x \leq 1$) при низких температурах. Показано, что с увеличением содержания Cu в системе происходит переход из антиферромагнитного состояния в ферромагнитное.

В работах [1,2] исследованы магнитные свойства системы составов $Zn_{1-x}Me_xCr_2S_4$ ($Me = Fe, Co$) при низких температурах. Отклонение от линейности в концентрационной зависимости магнитного момента при 4.2 К в обеих системах авторы связывают с переориентацией спиновых магнитных моментов ионов Cr в октаэдрической подрешетке, в результате чего осуществляется концентрационный магнитный фазовый переход антиферромагнетизм–ферромагнетизм.

С целью дальнейшего изучения влияния заполненности 3d-оболочки замещаемых ионов на магнитные свойства в настоящей работе исследованы намагненность и парамагнитная восприимчивость системы составов $Zn_{1-x}Cu_xCr_2S_4$. Интерес к исследованию этой системы связан также с возможностью проследить динамику перехода из антиферромагнитного состояния ($ZnCr_2S_4$) в ферромагнитное ($CuCr_2S_4$) в процессе полного замещения ионов Zn ионами Cu.

Образцы для исследований получены твердофазным методом в кварцевых ампулах непосредственным взаимодействием исходных компонентов высокой чистоты. Синтез производился при 850°C в течение 10 суток. Полученные в результате синтеза порошкообразные образцы вновь размельчались, спрессовывались под высоким давлением и отжигались в вакууме в течение 7 суток. Рентгенографический анализ позволил установить однофазность образцов и определить параметры их кристаллической решетки. Оказалось, что все составы, как и крайние соединения [3], кристаллизуются в кубической решетке с параметрами 0.9976 ($x = 0.1$), 0.9942 ($x = 0.3$), 0.9910 ($x = 0.5$), 0.9878 ($x = 0.7$), 0.9849 ($x = 0.9$), 0.9820 nm ($x = 1.0$), что удовлетворяет закону Вегарда.

Намагненность σ измерена на маятниковом магнитометре Доменикалли, парамагнитная восприимчивость χ — методом Фарадея на магнитоэлектрических весах. Спонтанная намагненность при данной температуре определена экстраполяцией намагненности, измеренной при различных магнитных полях, на нулевом поле.

На рис. 1 приведена зависимость удельной намагненности составов $Zn_{1-x}Cu_xCr_2S_4$ с $x \geq 0.3$ от магнитного поля при 4.2 К. Видно, что зависимость $\sigma(H)$ имеет обычный для ферромагнетиков вид. Довольно широкий интервал технического намагничивания образца

с $x = 0.3$ с увеличением содержания Cu уменьшается, и завершение процесса технического намагничивания осуществляется в основном путем вращения магнитных моментов.

Для состава с $x = 0.1$ зависимость $\sigma(H)$ имеет линейный характер, что является признаком антиферромагнетизма. Об антиферромагнитном упорядочении в этом составе свидетельствует температурная зависимость магнитной восприимчивости (см. вставку на рис. 2). Как видно из этого рисунка, с повышением температуры, начиная от 4.2 К, восприимчивость растет до некоторого максимального значения в области $T = 25$ К, после чего линейно уменьшается.

Температура 25 К, при которой восприимчивость в зависимости $\chi(T)$ достигает максимального значения, соответствует температуре Нееля состава с $x = 0.1$. Отметим, что температура Нееля исходного соединения $ZnCr_2S_4$ равна 18 К [4].

Обработкой экспериментальных результатов по температурной зависимости намагненности (рис. 2) в области магнитного превращения методом термодинамических коэффициентов определены температуры Кюри исследованных составов, которые оказались равными 325 ($x = 0.3$), 371 ($x = 0.5$), 380 ($x = 0.7$), 390 ($x = 0.9$) и 420 К ($x = 1.0$). Высокое значение температуры Кюри уже при $x = 0.3$, по-видимому, является результатом обменного взаимодействия через носители тока, которое

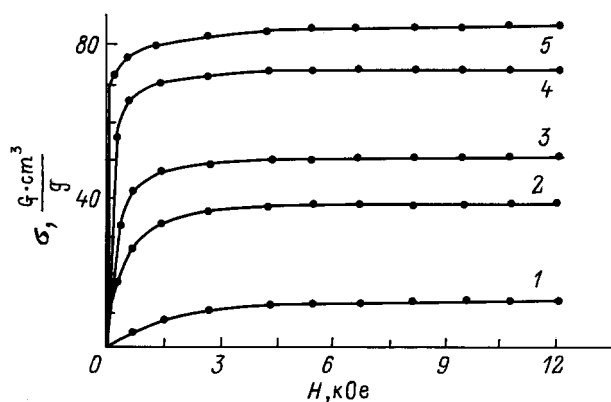


Рис. 1. Зависимость удельной намагненности составов системы $Zn_{1-x}Cu_xCr_2S_4$ от магнитного поля при 4.2 К. x : 1 — 0.3, 2 — 0.5, 3 — 0.7, 4 — 0.9, 5 — 1.0.

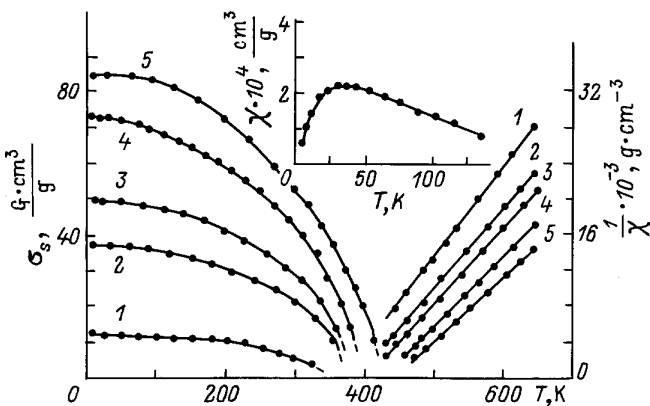


Рис. 2. Температурная зависимость спонтанной намагниченности и обратной парамагнитной восприимчивости составов $Zn_{1-x}Cu_xCr_2S_4$. x : 1 — 0.3, 2 — 0.5, 3 — 0.7, 4 — 0.9, 5 — 1.0. На вставке — температурная зависимость магнитной восприимчивости $Zn_{0.9}Cu_{0.1}Cr_2S_4$.

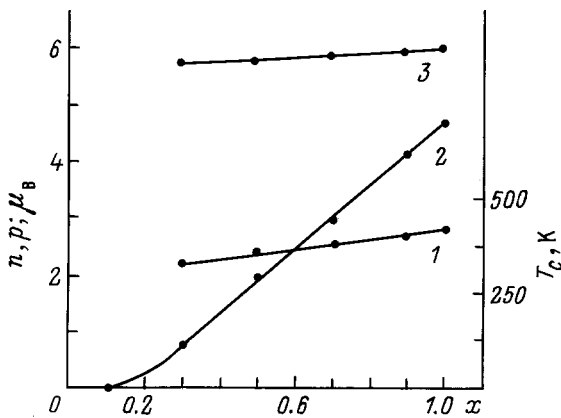


Рис. 3. Концентрационные зависимости температуры Кюри (1), магнитного момента при 4.2 К (2) и эффективного магнитного момента (3) составов системы $Zn_{1-x}Cu_xCr_2S_4$.

возникло за счет достижения определенной концентрации ионов Cu.

Рассчитанные экспериментальные значения магнитного момента n при 4.2 К для составов с $0.3 \leq x \leq 1$ равны 0.7 ($x = 0.3$), 1.9 ($x = 0.5$), 3.0 ($x = 0.7$), 4.1 ($x = 0.9$) и $4.6 \mu_B$ ($x = 1.0$).

Концентрационные зависимости температуры Кюри и магнитного момента приведены на рис. 3. Как видно из этого рисунка, концентрационная зависимость магнитного момента состоит в основном из трех участков, каждый из которых характеризует различный тип магнитного упорядочения: 1) участок, представляющий антиферромагнитное упорядочение ($0 \leq x \leq 0.1$); 2) переходный участок ($0.1 < x < 0.3$), где, по-видимому, одновременно сосуществуют антиферро- и ферромагнитное упорядочения; 3) участок, характеризующий ферромагнитное упорядочение ($0.3 \leq x \leq 1$).

Температурная зависимость обратной парамагнитной восприимчивости образцов с $0.3 \leq x \leq 1$ (рис. 2) имеет вид, характерный для ферромагнитных материалов. Из зависимости $1/\chi(T)$ рассчитан эффективный магнитный момент P , который оказался равным 5.7 ($x = 0.3$), 5.75 ($x = 0.5$), 5.8 ($x = 0.7$), 5.9 ($x = 0.9$), $6 \mu_B$ ($x = 1.0$).

Концентрационная зависимость эффективного магнитного момента p приведена на рис. 3. Как видно, с увеличением содержания Cu наблюдается некоторое увеличение эффективного магнитного момента. Подобная зависимость эффективного магнитного момента от концентрации Cu, а также его численные значения удовлетворительно согласуются с рассчитанными с учетом чисто спиновых значений магнитных моментов трехвалентного Cr^{3+} и двухвалентного Cu^{2+} . Так, при указанных состояниях ионов Cr и Cu ожидаемое по расчету значение эффективного магнитного момента увеличивается от 5.55 ($x = 0.3$) до $5.75 \mu_B$ ($x = 1.0$).

Таким образом, при замещении ионов Zn ионами Cu в системе $Zn_{1-x}Cu_xCr_2S_4$ происходит переход из антиферромагнитного состояния в ферромагнитное: до $x = 0.1$ реализуется антиферромагнитное состояние, в области $0.1 < x < 0.3$ антиферромагнитное упорядочение сосуществует с ферромагнитным, при $x \geq 0.3$ составы обладают ферромагнитной структурой.

Список литературы

- [1] Р.З. Садыхов, Л.М. Валиев, Д.А. Гусейнов, А.О. Исмаилов. ФТТ **26**, 4, 1206 (1984).
- [2] Р.З. Садыхов, А.Д. Намазов. ФТТ **31**, 1, 314 (1989).
- [3] З. Метфессель, Д. Маттис. Магнитные полупроводники. М. (1972). С. 405.
- [4] E. Agostinelli, P. Filaci, D. Fiorani, E. Paparazzo. Solid State Commum. **56**, 6, 541 (1985).