

[8] Бенгус В. З. // Элементарные процессы пластической деформации кристаллов. Киев, 1978. С. 113—130.

[9] Yoshida K. // Jap. J. Appl. Phys. 1966. V. 5. N 5. P. 405—413.

Кузбасский политехнический институт
Кемерово

Поступило в Редакцию
21 июля 1989 г.

УДК 538.67

© Физика твердого тела, том 32, № 4, 1990
Solid State Physics, vol. 32, N 4, 1990

МАГНИТНАЯ ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА ПЕРОВСКИТОВ

$\text{Ca}(\text{Mn}_{3-x}\text{Cu}_x)\text{Mn}_4\text{O}_{12}$

И. О. Троянчук, А. В. Мазовко

В перовскитах $\text{Ca}(\text{Mn}_{3-x}\text{Cu}_x)\text{Mn}_4\text{O}_{12}$ при замещении ионов Mn^{3+} на ионы Cu^{2+} наблюдался переход от антиферромагнетизма ($x < 0.2$) к ферримагнетизму ($x > 0.7$) [1, 2]. Переход обусловлен существованием сильного отрицательного обмена между ионами меди и марганца. В $\text{CaMn}_3(\text{Mn}^{3+}\text{Mn}^{4+})\text{O}_{12}$ ($x=0$) при 450 К обнаружен фазовый переход с повышением симметрии от ромбоэдрической до кубической [3]. Ниже 450 К происходит упорядочение ионов Mn^{3+} и Mn^{4+} и электронных орбиталей $d_{x^2-y^2}$ ионов Mn^{3+} . В настоящей работе сообщаются результаты исследования упругих свойств и магнитной восприимчивости составов $0.7 \leq x \leq 1.3$. Статические и динамические магнитные свойства образцов $0 \leq x \leq 0.6$ подробно исследованы в [2, 3].

Условия получения образцов изложены в работах [1-3]. Модуль Юнга измерялся методом резонансных колебаний, намагниченность измерялась на вибрационном магнитометре, динамическая магнитная восприимчивость — мостом взаимной индукции.

В $\text{CaMn}_3(\text{Mn}^{3+}\text{Mn}^{4+})\text{O}_{12}$ при кристаллоструктурном переходе наблюдался резкий минимум модуля Юнга (рис. 1). В упорядоченной фазе жесткость решетки при повышении температуры постепенно уменьшается, что характерно для фазовых переходов II рода. В составе $x = 0.2$ переход несколько размыт по температуре и происходит в интервале 370—375 К. В составах $x > 0.2$ макроскопического искажения кристаллической решетки не зафиксировано [3]. Однако размытые аномалии на температурной зависимости модуля Юнга наблюдались во всех образцах $0.3 \leq x \leq 1.1$ (рис. 1). В этих составах температура максимального размягчения модуля Юнга почти не зависит от концентрации меди, а величина аномалий плавно уменьшается с ростом концентрации меди. Воспроизводимость результатов измерений полностью достигается после предварительного цикла охлаждения и нагрева.

Исследование динамической магнитной восприимчивости и статической намагниченности в слабых полях ($H = 20$ Э) составов $0.7 \leq x \leq 1.3$ выявило фазовый переход в районе 100 К (рис. 2). Температура превращения не зависит от концентрации меди. С ростом концентрации меди наблюдалось постепенное уменьшение величин аномалий магнитных свойств при 100 К. Незначительные аномалии восприимчивости зафиксированы даже в составе $x = 1.3$. Ниже 100 К статическая намагниченность в слабых магнитных полях зависит от магнитной предыстории. Переход очень узок по температуре. Его ширина не превышает 2° , что необычно для магнетиков вблизи порога протекания. В $x = 0.7$ выше перехода восприимчивость резко уменьшается до значений, соответствующих парамагнитному состоянию. В составах $x = 0.8$ и с большим содержанием меди выше 100 К наблюдался еще один, размытый по температуре, переход из магнитоупорядоченного в парамагнитное состояние (рис. 2). Темпера-

тура перехода резко увеличивается с увеличением содержания меди от 120 ($x=0.8$) до 220 К ($x=1.3$).

На основании нейтроннографических [1, 2] и магнитных исследований мы построили магнитную фазовую диаграмму системы $\text{Ca}(\text{Mn}_{3-x}\text{Cu}_x)\text{Mn}_4\text{O}_{12}$ (рис. 3). Магнитные свойства и изменение кристаллической

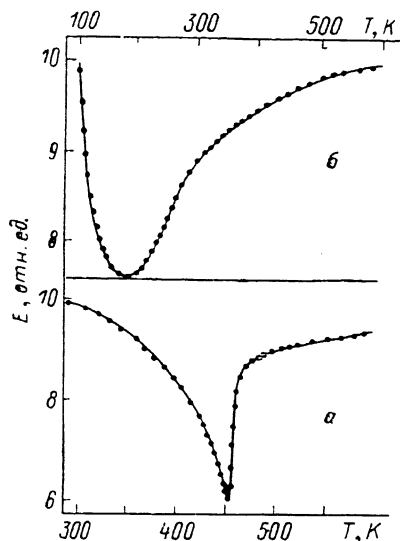


Рис. 1. Зависимость модуля Юнга от температуры для $\text{CaMn}_3(\text{Mn}^{3+}\text{Mn}^{4+})\text{O}_{12}$ (а) и $\text{Ca}(\text{Mn}_{2.6}\text{Cu}_{0.4})(\text{Mn}_{3.6}^{3+}\text{Mn}_{1.4}^{4+})\text{O}_{12}$ (б).

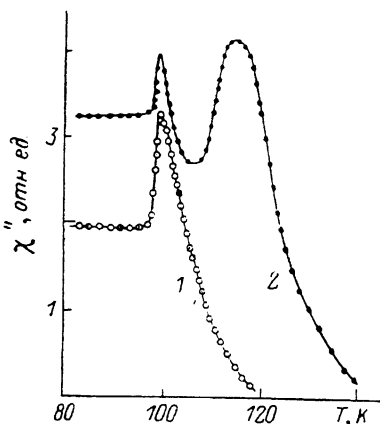


Рис. 2. Зависимость мнимой части динамической восприимчивости ($\nu=1000$ Гц, $H=0.5$ Э) от температуры составов $x=0.7$ (1) и 0.8 (2).

структуры можно объяснить из предположения, что твердые растворы $\text{Ca}(\text{Mn}_{3-x}\text{Cu}_x)\text{Mn}_4\text{O}_{12}$ при $0.2 \leq x \leq 0.8$ ниже 450 К термодинамически неустойчивы. В этой области возможен спинодальный распад твердых растворов с образованием микродоменов различных фаз [4]. Основываясь на концепции микродоменов, проведем интерпретацию свойств.

Будем рассматривать четыре концентрационных интервала (рис. 3). При $0 \leq x \leq 0.2$ (интервал 1) наблюдались когерентное магнитное рассеяние нейтронов [2] и расщепление рефлексов на рентгенограммах [3]. В этой области ниже 40 К основное состояние антиферромагнитное с незначительной примесью ферримагнитных кластеров. Ферримагнитные кластеры, вероятно, обусловлены областями с повышенным содержанием меди и характеризуются неупорядоченным расположением ионов Mn^{3+} и Mn^{4+} . В составах $x=0.4$ и 0.6 когерентного магнитного рассеяния нейтронов не наблюдалось, рефлексы на рентгенограммах не расщеплены [3]. При 40 К зафиксированы резкие аномалии магнитных свойств, ниже 40 К — зависимость от магнитной предыстории [3]. Мы предполагаем, что при $0.3 \leq x \leq 0.6$ (интервал 2) твердые растворы распадаются на микродомены фазы $\text{CaMn}_3(\text{Mn}^{3+}\text{Mn}^{4+})\text{O}_{12}$ и кластеры с повышенным содержанием меди. Так как когерентного рассеяния нейтронов от микродоменов не наблюдалось, можно предположить, что характерные размеры доменов порядка 10 нм. Переход микродоменов из антиферромагнитного в парамагнитное состояние обуславливает аномалии свойств при 40 К.

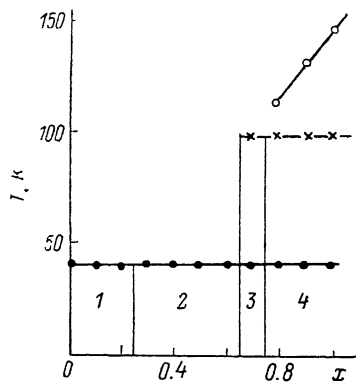


Рис. 3. Магнитная фазовая диаграмма перовскитов $\text{Ca}(\text{Mn}_{3-x}\text{Cu}_x)\text{Mn}_4\text{O}_{12}$ в области $0 \leq x \leq 1$.

При 40 К зафиксированы резкие аномалии магнитных свойств, ниже 40 К — зависимость от магнитной предыстории [3]. Мы предполагаем, что при $0.3 \leq x \leq 0.6$ (интервал 2) твердые растворы распадаются на микродомены фазы $\text{CaMn}_3(\text{Mn}^{3+}\text{Mn}^{4+})\text{O}_{12}$ и кластеры с повышенным содержанием меди. Так как когерентного рассеяния нейтронов от микродоменов не наблюдалось, можно предположить, что характерные размеры доменов порядка 10 нм. Переход микродоменов из антиферромагнитного в парамагнитное состояние обуславливает аномалии свойств при 40 К.

В составе $x = 0.7$ (интервал 3), по-видимому, происходит образование микродоменов другого типа, имеющих спонтанную намагниченность. На нейтронограммах этого состава при 4.2 К не выявлено магнитного рассеяния нейтронов [2], однако магнитные измерения четко указывают на фазовый переход (рис. 2). По-видимому, при 100 К микродомены переходят в парамагнитное состояние. Переход очень резкий, что может быть в случае высокой степени упорядочения ионов меди и марганца в микродоменах. В $x = 0.8$ (интервал 4) кластеры с неупорядоченным расположением ионов меди и марганца достигают критических размеров и обуславливают второй размытый фазовый переход, температура которого сильно зависит от концентрации меди (рис. 3). В составе $x = 1$ наблюдалось когерентное магнитное рассеяние нейтронов [1], обусловленное фазой с неупорядоченным расположением ионов в подрешетках. Величины аномалии магнитных свойств в образцах $0.8 \leq x \leq 1.3$ при 40 и 100 К резко уменьшаются с ростом концентрации меди, однако остаются заметными в $x = 1.3$.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Troyanchuk I. O., Bashkirov L. A., Balyko L. V. // Phys. St. Sol. (a). 1985. V. 89. N 2. P. 601—609.
 [2] Troyanchuk I. O., Chernyi A. S., Shapovalova E. F. // Phys. St. Sol. (a). 1989. V. 112. N 1. P. 155—160.
 [3] Троянчук И. О., Черный А. С., Зонов Ю. Г. // ФТТ. 1989. Т. 31. № 2. С. 193—197.
 [4] Коллонг Р. Нестехиометрия. М.: Мир, 1974. 288 с.

Институт физики твердого тела и полупроводников
 АН БССР
 Минск

Поступило в Редакцию
 25 июля 1989 г.

УДК 538.224

© Физика твердого тела, том 32, № 4, 1990
 Solid State Physics, vol. 32, N 4, 1990

ЭФФЕКТИВНЫЕ УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ И ДОМЕННЫЕ ГРАНИЦЫ В La_2CuO_4

В. Г. Барьяхтар, А. Л. Сукстанский, Д. А. Яблонский

В последнее время резко возрос интерес к исследованию магнитных свойств кристаллов типа La_2CuO_4 , $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$ и т. д., которые при некоторой вариации химического состава проявляют свойства высокотемпературной сверхпроводимости. В работах [1-3] на основе симметричных соображений была построена свободная энергия магнитной подсистемы в La_2CuO_4 и подробно изучены различные однородные фазы, которые могут реализоваться в магнетике при тех или иных значениях его параметров и внешнего магнитного поля. Кроме того, в [2, 3] были рассмотрены линейные возбуждения в La_2CuO_4 и найдены частоты и поляризации различных ветвей спектра спиновых волн.

В настоящей работе анализируются более сложные, нелинейные возбуждения магнитной подсистемы в La_2CuO_4 — доменные границы (ДГ). В частности, предсказывается существование так называемых обменных ДГ (см. ниже).

La_2CuO_4 представляет собой четырехподрешеточный антиферромагнетик (АФМ) с резкой пространственной анизотропией обменного и релятивистских взаимодействий: все взаимодействия внутри CuO_2 -плоскостей значительно превышают соответствующие взаимодействия между плоскостями. Поэтому для описания такого АФМ удобно ввести вектор слабого ферромагнетизма ($\mathbf{m}_1, \mathbf{e}_2$) и антиферромагнетизма ($\mathbf{l}_1, \mathbf{e}_2$) внутри CuO_2 -слоев [2, 3]