

Аномалия магнитной восприимчивости твердых растворов $Mg_{1-x}Cu_xO$ с $0.01 \leq x \leq 0.20$

© А.А. Самохвалов, Т.И. Арбузова, Н.А. Виглин, С.В. Наумов, И.Б. Смоляк,
А.В. Королев, Н.И. Лобачевская*

Институт физики металлов Уральского отделения Российской академии наук,
620219 Екатеринбург, Россия

* Институт химии твердого тела,
620219 Екатеринбург, Россия

E-mail: magsemi@ifm.e-burg.su

(Поступила в Редакцию 21 июля 1999 г.)

В связи с проблемой локализованной сверхпроводимости синтезированы твердые растворы $Mg_{1-x}Cu_xO$ со структурой NaCl при $0.01 \leq x \leq 0.20$ и исследованы намагниченность и магнитная восприимчивость χ в области температур 2–400 К и в магнитных полях до 5 Т. Температурная зависимость χ для всех составов описывается законом Кюри–Вейсса $\chi = C/(T - \theta)$, где постоянная C близка к рассчитанной для каждого состава величине при $\mu_{\text{eff}} = 1.7\text{--}1.9 \mu_B$, а величина θ близка к нулю. В области $T < 30$ К для всех составов $\chi(T)$ отклоняется в сторону меньших значений χ , что можно было связать с магнитным упорядочением обменно-взаимодействующих кластеров в твердом растворе. При $T \sim 320\text{--}330$ К для всех составов на фоне в целом парамагнитной $\chi(T)$ обнаружена аномалия "диамагнитного" типа — уменьшение χ на 6–30% от парамагнитной величины χ . Обсуждены альтернативные причины этой аномалии и ее возможная связь с локализованной сверхпроводимостью.

Работа поддержана Федеральной программой "Поверхностные атомные структуры" (проект № 2.4.99).

Для выяснения возможности повышения T_c высоко-температурных сверхпроводников определенный интерес представляют исследования локализованной (примесной) сверхпроводимости [1]. Такая сверхпроводимость с T_c до 200–300 К нередко наблюдается не только в известных купратных сверхпроводниках [2], но и в ряде других соединений переходных металлов, в частности в гетерофазных системах на основе монооксида меди [3–5]. В работе [5], например, было показано, что в гетероструктуре $Cu\text{-}Mg_{1-x}Cu_xO$ при $x = 0.15$ и 0.20 обнаружено магнитное экранирование, возможно, имеющее связь со сверхпроводимостью интерфейсного типа. Начало магнитного экранирования при охлаждении вблизи 320–330 К совпадает с началом магнитной аномалии (диамагнитного типа) на этих же составах. Настоящая работа проведена для получения более полной и детальной информации об указанной аномалии и особенностях магнитных свойств твердых растворов $Mg_{1-x}Cu_xO$ с благоприятной для ВТСП кристаллической структурой NaCl в более широкой области температур и магнитных полей.

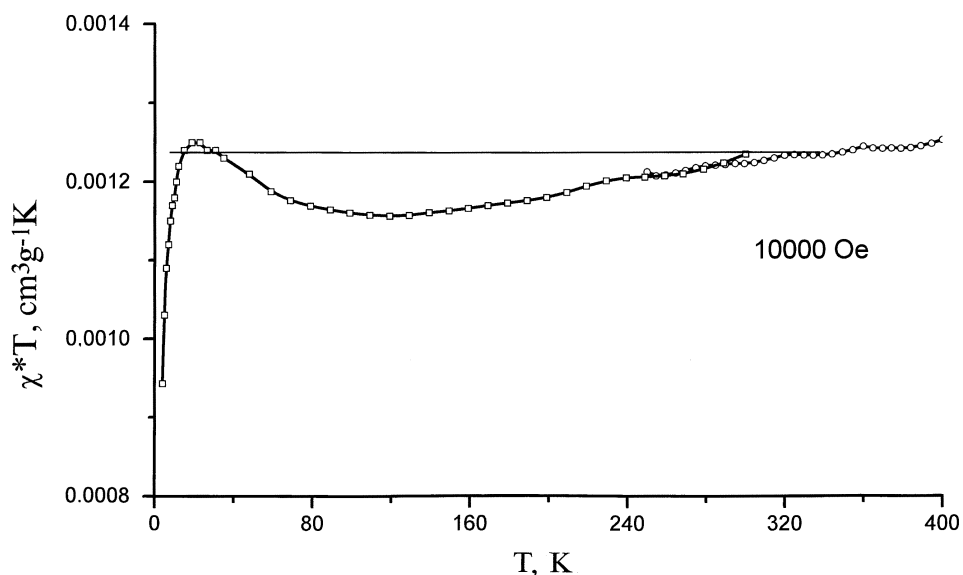
1. Образцы и методика измерений

Поликристаллические образцы твердых растворов $Mg_{1-x}Cu_xO$ были приготовлены путем реакции в твердой фазе в области составов $0.01 \leq x \leq 0.20$ (подробнее см. в [5]). Исходные компоненты и твердые растворы подвергались рентгеновским структурным и фазовым анализам, а также исследовались их спектры ЭПР для выявления присутствия возможных магнитных примесей. Согласно рентгенографическим анализам, образцы были

однофазными, а параметр их кристаллической решетки типа NaCl линейно увеличивался с x от 4.212 ± 0.001 для $x = 0$ до 4.218 ± 0.001 Å для $x = 0.20$. Измерения ЭПР при 300 К, а также магнитной восприимчивости при низкой температуре показали в MgO , который использовался для приготовления твердых растворов $Mg_{1-x}Cu_xO$, наличие небольшого количества примесей ионов Cu^{2+} , Mn^{2+} и Cr^{3+} ($\leq 0.1\%$). Измерения магнитной восприимчивости проводились на двух установках: в температурной области 2–400 К в магнитных полях напряженностью до 5 Т на SQUID-магнитометре и в области 50–600 К при H до 1.5 Т на магнитных весах Фарадея. Чувствительность установок была приблизительно одинакова — $5 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{g}$.

2. Результаты

В работе [5] было показано, что температурные зависимости магнитной восприимчивости твердых растворов $Mg_{1-x}Cu_xO$ $\chi(T)$ и $\chi^{-1}(T)$ имеют парамагнитный характер и следуют закону Кюри–Вейсса $\chi = C/(T - \theta)$ и θ , близкой к нулю. Однако более тщательное рассмотрение этих зависимостей позволило сделать вывод о наличии на парамагнитных зависимостях $\chi(T)$ аномалии "диамагнитного" характера. Для четкого выявления таких аномалий экспериментальные результаты целесообразно рассматривать в координатах $\chi \cdot T = f(T)$. В этом случае экспериментальные точки должны укладываться на не зависящую от температуры линию, равную постоянной закона Кюри $\chi = C/T$ в случае чисто парамагнитной зависимости $\chi(T)$ при θ , равной нулю. На рисунке изображена типичная для всех исследованных твердых рас-



Температурная зависимость постоянной Кюри $C = \chi \cdot T$ для твердого раствора $\text{Mg}_{0.85}\text{Cu}_{0.15}\text{O}$ в магнитном поле 1 Т.

творов зависимость $\chi \cdot T = f(T)$ для состава с $x = 0.15$. Видно, что выше 320–330 К экспериментальные точки совпадают с не зависящей от температуры прямой линией $C = 1.217 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{K/g}$, рассчитанной для состава с $x = 0.15$. Ниже $T = 320\text{--}330$ К экспериментальные точки лежат ниже рассчитанного значения C . Подобный результат получен и для других составов с $x = 0.04, 0.05, 0.10$ и 0.20 . Относительная величина аномалии $\Delta\chi/\chi$ равна $\sim 6\%$ для состава с $x = 0.15$ и находится в пределах 20–30% для составов с $x = 0.05$ и 0.10 .

Как видно из рисунка, при понижении температуры до 20 К экспериментальные значения χ приближаются к линии C , а далее резко уменьшаются вплоть до 2 К. Подобный результат для низкотемпературной части $\chi \cdot T = f(T)$ показали и другие исследованные составы, однако температура T' начала уменьшения $\chi \cdot T$ была ориентировочно пропорциональна значению x — содержанию ионов Cu^{2+} в растворе. Так, T' для $x = 0.20$ была 30 К, для $x = 0.10$ $T' = 14$ К.

Следует заметить, что температурные зависимости $\chi(T)$ были измерены в магнитных полях $H = 0.5$ Т, а для некоторых образцов — при 4.5 Т. Результаты измерений для всех этих значений магнитного поля были практически идентичными. Заметной зависимости величины аномалии от H обнаружено не было. Была также предпринята попытка обнаружения гистерезисных явлений "диамагнитной" восприимчивости, характерных для жестких сверхпроводников второго рода. Для этого образец охлаждался в нулевом (ZFC) и в магнитном полях $H = 80$ Ое (FC) ниже 320–330 К. В пределах погрешности измерений температурные зависимости намагниченности ZFC и FC совпадали, что может быть связано как с малой величиной диамагнитной восприимчивости областей локализованной сверхпроводимости, так и с обратимым характером кривых намагниченности $M(H)$ из-за слабого пиннинга магнитных вихрей.

Были также измерены полевые зависимости намагниченности твердых растворов при фиксированных температурах 2, 100 и 300 К. $M(H)$ для $T = 100$ и 300 К имели практически линейный вид. Зависимость $M(H)$ при 2 К для состава с $x = 0.2$ удовлетворительно описывается бриллюэновской функцией, однако с эффективным магнитным моментом, значительно меньшим теоретического значения $1.73 \mu_B$ для иона Cu^{2+} со спином 1/2. Такое уменьшение M , по-видимому, связано с наличием части антиферромагнитно связанных комплексов из ионов Cu^{2+} при низких температурах.

3. Обсуждение

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что на фоне парамагнитной температурной зависимости магнитной восприимчивости твердых растворов $\text{Mg}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}$ ($0.01 \leq x \leq 0.20$) имеет место аномалия "диамагнитного" характера при $T \leq 320\text{--}330$ К. Отсутствие наблюдаемой разницы между ZFC - и FC -намагниченностями $M(T)$ может быть вызвано малым объемом областей локализованной сверхпроводимости и особенностями их процесса намагничивания в этом случае. Поэтому вероятность образования областей локализованной сверхпроводимости в твердых растворах $\text{Mg}_{1-x}\text{Cu}_x\text{O}$ ($x \leq 0.20$) не исключена. Известные трудности исследования локализованной сверхпроводимости связаны именно с относительно малой долей областей (фрагментов) локализованной сверхпроводимости в общем объеме парамагнитной фазы (см. [1]). Основным доводом в пользу предположения о сверхпроводящей природе обнаруженной аномалии является совпадение температуры начала этой аномалии (при охлаждении) при 320–330 К с началом ранее обнаруженного на этих же образцах твердых растворов эффекта магнитного экранирования (см. [5]).

Анализ этого эффекта позволил предположить, что его природа связана локализованной сверхпроводимостью интерфейсного типа [3–5]. Следует также отметить, что обнаруженные аномалии имеют метастабильный характер, что обычно для локализованной (примесной) сверхпроводимости с высокой критической температурой [2].

Менее вероятным кажется предположение о возможности наблюдаемой аномалии $\chi(T)$ за счет магнитных примесей. При таком предположении какие-либо ферро- или антиферромагнитные неконтролируемые примеси должны давать аномалию, противоположную по знаку обнаруженной "диамагнитной" аномалии, т.е. их присутствие должно соответствовать не уменьшению, а увеличению χ на фоне парамагнитной $\chi(T)$ при охлаждении. Такая ситуация в наших экспериментах не наблюдалась. Во всех случаях и для всех образцов твердых растворов, в том числе приготовленных из различных оксидов и солей Mg^{2+} и Cu^{2+} , аномалия имела "диамагнитный" характер. Таким образом, предположение о сверхпроводящей природе обнаруженной магнитной аномалии в исследованных твердых растворах представляется более вероятным.

Авторы благодарны А.В. Митину за внимание к работе и советы.

Список литературы

- [1] А.В. Митин. Перспективные технологии **3**, 17, 7 (1996).
- [2] C.Y. Huang, M. Rabinowiz. *Modern Phys. Lett.* **4**, 567 (1990).
- [3] А.А. Самохвалов, Т.И. Арбузова, В.В. Осипов, Н.А. Виглин, С.В. Наумов, Н.И. Солин, Б.А. Гижевский, И.Б. Смоляк. *ФТТ* **38**, 11, 3277 (1996).
- [4] А.А. Самохвалов, Т.И. Арбузова, Н.А. Виглин, С.В. Наумов, В.Р. Галахов, Д.А. Зацепин, Ю.А. Котов, О.М. Саматов, Д.Г. Клещев. *ФТТ* **40**, 2, 295 (1998).
- [5] А.А. Самохвалов, Т.И. Арбузова, Н.А. Виглин, В.В. Осипов, Н.И. Солин, С.В. Наумов, В.Г. Бамбуров, Н.И. Лобачевская, О.Г. Резницких. *ФТТ* **41**, 2, 293 (1999).