Письма в ЖЭТФ, том 38, вып. 6, стр. 272 – 274 *25 сентября 1983 г.*

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ПЕРЕХОДА В СИСТЕМЕ $Cu_{1,8-x}Ni_xMo_6S_8$

Н.Е.Алексеевский, Н.А.Тихонова, Е.П.Хлыбов

Было исследовано влияние примеси Ni на температуру сверхпроводящего перехода T_c $Cu_{1,8}Mo_6S_8$ в системе $Cu_{1,8-x}Ni_xMo_6S_8$. В отличие от зависимости $T_c(X)$ для соединений $SnMo_6S_8$ с Fe, зависимость $T_c(X)$ для $Cu_{1,8-x}Ni_xMo_6S_8$ сильно отличается от теоретической зависимости Абрикосова – Горькова. Полученные результаты обсуждаются.

Ранне уже сообщалось, что ферромагнитные примеси понижают критическую температуру T_c сверхпроводящих сульфидов молибдена, имеющих структуру фазы Шевреля [1]. В [2] было рассмотрено влияние примеси железа на T_c $SnMo_6S_8$. При этом было обнаружено, что зависимость $T_c(X)$ для $Fe_xSnMo_6S_8$ может быть удовлетворительно описана формулой Абрикосова – Горькова (АГ), а критическая концентрация оказывается равна $X_{кр} = 0{,}06$. При введении небольших количеств железа наблюдалось усиление влияния давления на T_c. Критическая концентрация, определенная из опытов по уменьшению T_c с давлением, также была примерно равна $X_{кр} = 0{,}06$, а зависимость $T_c(P)$ была подобна $T_c(X)$.

Представляло интерес исследовать изменение T_c при легировании сверхпроводящих фаз Шевреля никелем. Для этой цели было выбрано соединение $Cu_{1,8}Mo_6S_8$, образующее с $Ni_{1,8}Mo_6S_8$ непрерывный ряд твердых растворов. Зависимость $T_c(X)$ для $Fe_xCu_{1,8}Mo_6S_8$ была нами рассмотрена ранее (см., например, [3]). В этом случае величина $(\partial/\partial X)(T_{cx}/T_{c0})$ составляла 5,0.

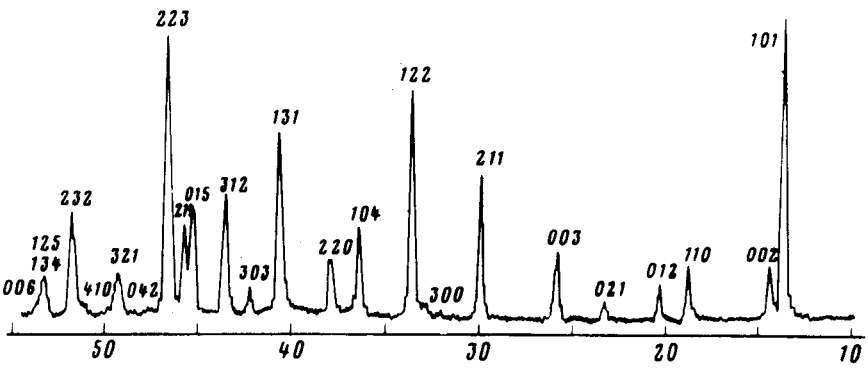

Рис. 1. Дифрактограмма образца $Cu_{1,1}Ni_{0,7}Mo_6S_8$ (излучение CuK_α, $\lambda = 1{,}541$ Å)

Синтез образцов проводился обычным методом, применявшимся нами ранее (см., например, [4]). Отжиг образцов после синтеза проводился при 1000° С. В том случае, если температура отжига равнялась 900° С, на рентгенограмме присутствовали линии MoS_2, то время как образцы, отжигавшиеся при 1000° С, были практически однофазными. На рис. 1 приведена дифрактограмма, полученная на образце $X = 0{,}70$. Съемка проводилась на дифрактометре "Гейгерфлекс" (излучения CuK_α, $\lambda = 1{,}541$ Å). Образцы имели форму дисков диаметром 9 мм и толщиной ~ 1 мм, и паралеллепипедов размером 0,5 × 1,5 × 4,5 мм^3. Для измерения T_c использовались как индуктивный, так и потенциометрический метод, при этом образцы монтировались в держатель, который при работе в области температур выше 4,2 вставлялся в транспортный дьюар. Для измерений в области температур ниже 1,4К

использовался прибор с адиабатическим размагничиванием эрбий-итрий алюминиевого граната, подобный описанному в [5]. В этом случае, измерения T_c велись по изменению сопротивления, а температура определялась по магнитной восприимчивости граната.

На рис. 2 приведена зависимость $T_c(X)$. Из приведенного рисунка видно, что зависимость T_c от концентрации никеля отличается от зависимости АГ. С другой стороны, для исследованной системы нами обнаружено уменьшение объема гексагональной ячейки V_H при увеличении X, подобное наблюдавшемуся ранее для образцов $Cu_{1,8}Mo_6S_8$, полученных при синтезе в камере высокого давления [6]. В связи с этим можно допустить, что на зависимость $T_c(X)$ могут влиять два фактора: рассеяние куперовских пар на атомах никеля и уменьшение V_H. Если считать, что оба эти фактора действуют независимо, то T_c можно представить в виде $T_c = f(X) + f(V_H)$. Оценивая влияние V_H на T_c из данных [6] по зависимости $T_c(V_H)$ для $Cu_{1,8}Mo_6S_8$, можно из экспериментальной кривой $T_c(X)$ вычесть увеличение T_c, которое могло бы происходить за счет уменьшения V_H, и тогда $T_c(X)$ можно аппроксимировать кривой *2* на рис. 2. Эта кривая проходит несколько ближе от зависимости АГ, однако, и в этом случае она сильно отличается от последней. При исследовании температурной зависимости сопротивления обнаружено, что уже при $X = 0{,}15$ максимум, связанный со структурным переходом $Cu_{1,8}Mo_6S_8$, на кривой $\rho(T)$ смещается в область низких температур. Он, однако, не исчезает вплоть до самых больших значений X, т. е. до $X = 1{,}8$.

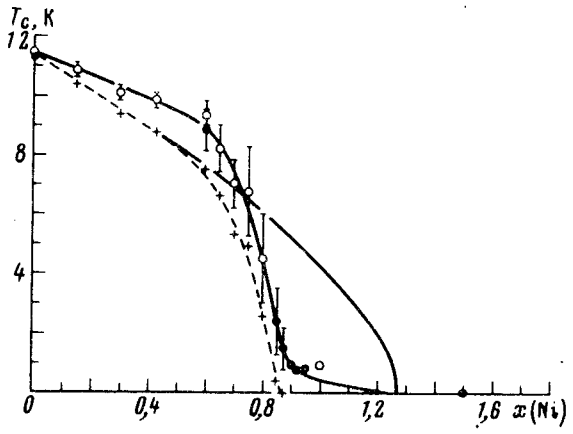

Рис. 2. Зависимость температуры сверхпроводящего перехода T_c от концентрации Ni: *1* – экспериментальная кривая (вертикальные отрезки определяют ширину сверхпроводящего перехода), *2* – зависимость $T_c(X)$ с учетом корреляции между T_c и объемом гексагональной ячейки V_H, *3* – теоертическая зависимость Абрикосова – Горькова

Как видно из кривой *1* рис. 2 в области $X = 0{,}6 \div 0{,}8$ ширина кривых перехода в сверхпроводящее состояние составляет $\approx$ 2К, т. е. существенно превышает значения этой величины при $X < 0{,}3$ и $X > 0{,}8$, где она, как правило, не превышает 0,1 К.

Следует заметить, что уширение кривых перехода в области этих концентраций наблюдалось на трех сериях образцов. При этом дифрактограммы, полученные на таких образцах, не дают основания предполагать, что существуют какие-либо перестройки в решетках этих систем в области концентраций $X = 0{,}7 \div 0{,}9$ (линии достаточно узкие и ширина дифракционных линий не коррелирует с шириной перехода). При увеличении концентрации выше 0,9, ширина кривых перехода, снятых в области сверхнизких температур, получаемых методом адиабатического размагничивания [5], вновь уменьшается. К сожалению, дать однозначного объяснения такому поведению образцов в этой области концентраций ($X = 0{,}7 \div 0{,}9$) пока не представляется возможным.

Если сравнить зависимость $T_c(X)$, полученную в данной работе, с соответствующей зависимостью, полученной для образцов $SnMo_6S_8$ и $Cu_{1,8}Mo_6S_8$ с примесью Fe [2, 3], то следует отметить, что если в случае примеси Fe в $SnMo_6S_8$ и $Cu_{1,8}Mo_6S_8$ величина $\partial T_c/\partial X$

весьма велика[1)], то для концентраций $X < 0{,}6$ в случае Ni в $Cu_{1,8}Mo_6S_8$ эта величина почти на порядок меньше. Ход зависимости $T_c(X)$, как отмечалось выше, в случае примеси Fe в $SnMo_6S_8$, может быть достаточно хорошо согласован с формулой АГ, в то время как в случае примеси Ni в $Cu_{1,8}Mo_6S_8$, кривая зависимости $T_c(X)$ не только существенно сдвинута в область больших по сравнению с Fe концентраций, но и по своему характеру весьма сильно отличается от зависимости АГ.

Не исключено, что в случае легирования $Cu_{1,8}Mo_6S_8$ никелем, основное влияние на изменение T_c оказывает немагнитное рассеяние (рассеяние без переворота спина), и примесь Ni в данном случае ведет себя так же, как дефекты в пленках некоторых соединений (см., например, [7]). Это подтверждается характером зависимости $T_c(\rho_{300}/\rho_{ост})$. Нельзя однако полностью исключить, что в случае примеси Ni влияние слабого "магнитного" рассеяния[2)] может усиливаться за счет суперпозиций с немагнитным рассеянием. Такое немагнитное рассеяние могло бы, уменьшая длину свободного пробега, увеличить эффективность взаимодействия с магнитными примесями. Если построить зависимость $\rho_{ост}(X)$, то оказывается, что эта зависимость является существенно нелинейной функцией X. В случае $Cu_{1,8-x}Ni_xMo_6S_8$ мы находимся в области относительно больших концентраций примеси, в отличие от соединений $SnMo_6S_8$ с примесью Fe.

Дальнейшие исследования позволят, вероятно, найти более точное объяснение полученной зависимости $T_c(X)$ для системы $Cu_{1,8-x}Ni_xMo_6S_8$, особенно для области концентраций $X = 0{,}7 \div 0{,}9$, где наблюдается довольно резкий спад T_c с ростом X.

Литература

1. *Fisher Ø.* Appl. Phys., 1978, **16**, 1; *Alekseevskii N.E.* Cryogenics, 1980, **20**, 257.
2. *Алексеевский Н.Е., Нарожный В.Н., Хлыбов Е.П.* ЖЭТФ, 1983, **84**, 1538.
3. *Алексеевский Н.Е., Вольф Г., Добровольский Н.М., Ельцев Ю.Ф., Закосаренко В.М., Цебро В.И.* Письма в ЖЭТФ, 1979, **29**, 138.
4. *Алексеевский Н.Е., Добровольский Н.М., Цебро В.И.* Письма в ЖЭТФ, 1974, **20**, 59.
5. *Alekseevskii N.E., Dodokin A.P., Bazan C., Bagdasarov Kh.S., Fedorov E.A., Belyaev L.M.* Cryogenics, 1981, **10**, 598.
6. *Alekseevskii N.E., Khlybov E.P., Novokshonov V.I., Evdokimova V.V. Kozintzev V.M., Mitin A.V.* J. Low Temp. Phys., 1982, **47**, 169.
7. *Testardi L.R., Poate J.M., Levinstein H.J.* Phys. Rev., 1977, **B15**, 2570.

Институт физических проблем
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
24 июня 1983 г.

---

1) Как отмечено в [3], $\partial T_c/\partial X$ для примеси Fe зависит от величины электронной теплоемкости, и для $Fe_xSnMo_6S_8$ $\partial T_c/\partial X$ почти в четыре раза больше, чем для $Fe_xCu_{1,8}Mo_6S_8$.

2) Небольшая часть атомов Ni может сохранять свой магнитный момент, что приводит лишь к незначительному росту восприимчивости образца.