

ТЕРМОЭДС МОНОКРИСТАЛЛОВ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

И.Г.Горлова, С.Г.Зыбцев, Ю.И.Латышев

Измерена дифференциальная термоэдс S монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ в плоскости (ab) в интервале температур 400 – 90 К. Знак S соответствует положительному заряду носителей тока, а ее температурное поведение ниже ~ 300 К имеет аномальный характер, аналогичный температурной зависимости холловской ЭДС.

С появлением монокристаллов высокотемпературных сверхпроводников, как наиболее определенных физических объектов, значительно возрос интерес к исследованиям этих систем. В настоящей статье приводятся первые результаты исследований дифференциальной термоэдс S на монокристаллах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Предшествующие измерения на керамиках ¹⁻⁷ носили противоречивый характер как по знаку ^{1-3, 5} так по величине S ^{4, 6, 7} и виду температурной зависимости $S(T)$ ^{2, 4, 5}.

Термоэдс измерялась на образцах монокристаллов ромбического $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, ($\delta \leq 0,1$) синтезированных в Институте кристаллографии АН СССР ⁸. Образцы имели форму ограниченных плоскопараллельных пластинок прямоугольной формы с размером по оси c – 10 – 30 мкм, а в плоскости ab – 0,2 – 0,6 мм и обладали параметрами, близкими к описанным в ⁸: $T_c = 90 - 93$ К, ширина сверхпроводящего перехода $< 0,5$ К, ρ_{300} (в плоскости ab) ≈ 300 мк Ом·см, $\rho_{300}/\rho_{95} \approx 4$.

Ячейка для измерения термоэдс представляла собой пластинку из плавленного кварца, на которой были закреплены два блока из монокристаллов MgO , разделенные щелью в 300 мкм ¹). К этим блокам серебряной пастой крепился образец (см. вставку к рис. 1) и, в непосредственной близости от образца, спай калиброванной дифференциальной термопары медь–константан–медь. На одном из блоков располагался локальный нагреватель, менявший температуру одного блока относительно другого на $\Delta T = 0 - 1$ К. Контактное сопротивление к образцу при $T = 90 - 400$ К составляло ~ 1 Ом ($\sim 10^{-4}$ Ом·см²) ⁹. Потенциометрические выводы осуществлялись серебряной проволокой.

При заданной температуре изменялся ток через локальный нагреватель и на самописце регистрировалась величина термоэдс V в зависимости от напряжения на дифференциальной термопаре V_1 . При $T > T_c$ зависимости $V(V_1)$ имели линейный вид. Из их наклона определялась разность дифференциальных термоэдс Ag и $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ $V/\Delta T = S_{\text{Ag}} - S$, а затем из известных данных для S_{Ag} ¹⁰ вычислялось значение S ²).

Для трех измеренных образцов величина S имела положительный знак и воспроизводимую температурную зависимость, приведенную на рис. 1. При $T \gtrsim 300$ К $S(T)$ имела металлический характер, т. е. $S(T)$ примерно пропорциональна T . С понижением температуры ниже 280 – 300 К наблюдалось возрастание S , насыщение при $T \sim 140$ К ($S_{140}/S_{300} \approx 1,7$), затем плавный спад и резкое изменение до нуля в узком интервале $\sim 0,5$ К в области T_c .

1) Теплопроводность монокристаллов MgO в рабочем интервале температур более чем на два порядка выше, чем у плавленого кварца.

2) Соответствие разности температур ΔT , измеряемой по дифференциальной термопаре, реальной разности температур на концах образца проверялось при $T < T_c$, где измеряемая величина $V/\Delta T$ с точностью 0,03 мкВ/К соответствовала табличной величине S_{Ag} (0,8 мкВ/К), а при более высоких температурах также из специальных калибровочных измерений на образцах TaS_3 ($S_{\text{TaS}_3} \gg S_{\text{Ag}}$). Проверялось также, что термоэдс контура серебро–серебряная паста в исследованной температурной области была пренебрежимо мала.

В процессе измерений было замечено, что выдержка образца в течение нескольких часов при $T \sim 400$ К значительно сглаживает немонотонный ход $S(T)$ и смещает минимум $S(T)$ в область более высоких температур (рис. 2). По-видимому, это связано с частичной потерей кислорода образцом.

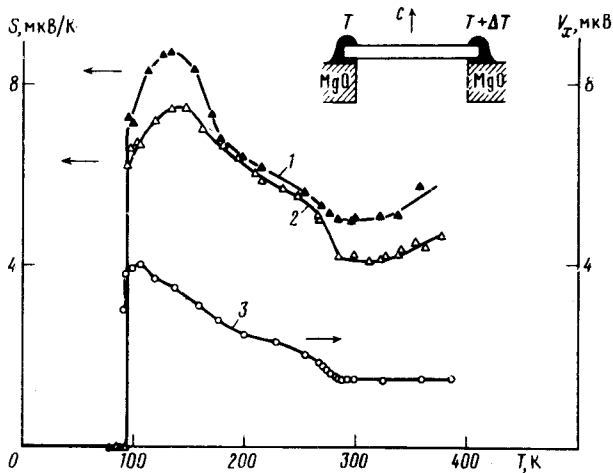


Рис. 1

Рис. 1. Температурные зависимости дифференциальной термоэдс S (кривые 1, 2) и холловской ЭДС V_x (кривая 3) монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Кривые 2, 3 соответствуют образцу № 1, кривая 1 — образцу № 2. Погрешность измерений $S(T)$ составляла 3%. На вставке схематически изображено расположение и ориентация образца в измерительной ячейке

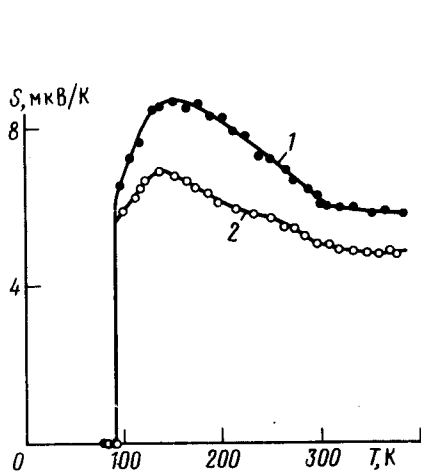


Рис. 2

Рис. 2. Температурные зависимости S монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ после продолжительной выдержки при 400 К в гелиевой атмосфере. Кривая 1 — соответствует образцу № 3, кривая 2 — образцу № 1

Одним из наиболее интересных моментов эксперимента является изменение характера $S(T)$ в области 280 – 300 К и увеличение S с понижением температуры ниже 280 К. Нарастание $S(T)$ в этой области имеет немонотонный характер. Наиболее резкое увеличение S происходит в интервале 260 – 280 К и 180 – 140 К. Характерно, что весь ход $S(T)$ в области 150 – 400 К, в том числе и немонотонный характер нарастания, подобен температурной зависимости холловской ЭДС $V_x(T)$, измеренной на этих же и подобных образцах в плоскости (ab) (кривая 3 на рис. 1). Отличие характера температурных зависимостей V_x и S с понижением температуры начинает сказываться при $T \lesssim 140 - 150$ К: величина $S(T)$ в этой области насыщается и начинает уменьшаться, тогда как $V_x(T)$ продолжает расти вплоть до $T \approx 105$ К.

Аналогичное поведение $S(T)$ и $V_x(T)$ в температурной области 140 – 400 К, по-видимому, позволяет исключить фоновое увлечение как возможный механизм аномального роста $S(T)$ в системе $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, поскольку холловские измерения проводились в изотермических условиях. Таким образом результаты по $S(T)$ и $V_x(T)$, по-видимому, независимо свидетельствуют о переходе системы $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ при $T < 280 - 300$ К из металлического в некоторое иное состояние по температуре задолго до сверхпроводящего перехода. В это состояние связывалось с развитием пайерлсовской неустойчивости, предшествующей сверхпроводящему состоянию. Ранее отмечалось¹¹, что именно развитие пайерлсовской неустойчивости может быть основной причиной, стимулирующей сверхпроводимость при высоких температурах. Полученные данные по $S(T)$ не противоречат этой гипотезе, т. к. структурному пайерлсовскому переходу обычно предшествует заметное увеличение термоэдс¹². В

пользу этих соображений свидетельствует недавнее обнаружение по электронной диффракции при $T < 300$ К дополнительных диффузных линий, отвечающих сверхпериоду $b^*/2$ ¹³, которые можно связывать с флуктуациями образующейся сверхрешетки с удвоенным периодом вдоль цепочек Cu — O, а также результаты наблюдения аномалий мессбауэровских спектров $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ в области температур ниже 250 К¹⁴. С результатами структурных измерений¹³ коррелируют наши данные по холловской концентрации носителей $p_{300} = 6 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$ ⁹, что близко концентрации $5,74 \cdot 10^{21} \text{ см}^{-3}$, отвечающей наполовину заполненной зоне $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ⁷.

Уменьшение $S(T)$ ниже 140 К, по-видимому, обусловлено близостью к сверхпроводящему переходу, хотя мы не обнаружили изменения $S(H)$ в магнитных полях H до 10 кГс ($H \parallel c$) при температурах $T - T_c \gtrsim 2$ К. Остается также непонятным различие поведения $S(T)$ и $V_x(T)$ в этой температурной области.

Мы признательны С.М.Стишову, И.Н.Макаренко, О.К.Мельникову за предоставление образцов и обсуждение работы, В.Н.Губанкову и Р.Н.Шефтало за поддержку этой работы, а также А.Ф.Волкову, Е.В.Ченскому, В.М.Яковенко за ценные замечания, высказанные в ходе обсуждения результатов.

Литература

1. *Khim Z.G., Lee S.C., Lee J.H. et al.* Phys. Rev., 1987, **B36**, 2305.
2. *Cheong S-W., Brown S.E., Fisk Z. et al.* Phys. Rev., 1987, **B36**, 3913.
3. *Mitra N., Trefny J., Yong M. et al.* Phys. Rev., 1987, **B6**, 5581.
4. *Uher C., Kaiser A.B.* Phys. Rev., 1987, **B36**, 5680.
5. *Yaozhong Ruan, Xuelong Hu, Yong Zhao et al.* Sol. St. Comm., 1987, **64**, 467.
6. *Кожевников В.Л., Лончаков А.Т., Цидильковский В.И. и др.* Тезисы докл. Всесоюзн. сов. Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Свердловск, 1987, ч. 2, с. 52.
7. *Henkie Z., Horyn R., Bukowski Z. et al.* Sol. St. Comm., 1987, **64**, 1285.
8. *Авдеев Л.З., Быков А.Б., Демьянец Л.Н. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1987, **46**, 196.
9. *Горлова И.Г., Зыбцев С.Г., Латышев Ю.И.* Письма в ЖЭТФ, 1988, **47**, 100.
10. *Блатт Ф.* Физика электронной проводимости в твердых телах. М.: Мир, 1971.
11. *Кораев Yu.V., Rusinov A.I.* Phys. Lett., 1987, **121A**, 300.
12. *Higgs A.W.* Lecture Notes in Physics, **217**, Springer-Verlag, 1985, **42**, 422.
13. *Tanaka M., Terauchi M., Tsuda K. et al.* Jap. J. Appl. Phys., 1987, **26**, L1237.
14. *Цурин В.А., Филиппова Н.П., Сорокин А.И. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1987, **46**, 364.