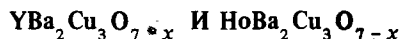


ЭФФЕКТ ХОЛЛА И ТЕРМОЭДС В МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ



А.И.Головашкин, С.И.Красносвободцев, И.В.Кучеренко,

Е.В.Печень

Исследованы температурные зависимости коэффициента Холла R_H , подвижности носителей тока μ и термоэдс α в монокристаллических пленках $\text{Y}(\text{Ho})\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, а также зависимость R_H от напряженности магнитного поля. R_H и α имеют положительный знак. Число носителей на ячейку равно 0,9 (120 К) - 1,7 (300 К).

Изучению кинетических явлений в высокотемпературных сверхпроводниках посвящен ряд работ ¹⁻⁶. Однако, большинство из них выполнено на керамических образцах, что обуславливает большой разброс в значениях μ и α , вплоть до расхождения в знаке термоэдс. Проведение таких исследований на монокристаллических объектах позволяет получить дополнительную информацию о свойствах электронного газа, необходимую для выяснения природы высокотемпературной сверхпроводимости. В настоящей работе проведены измерения температурных зависимостей коэффициентов Холла R_H и термоэдс α в монокристаллических пленках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ и $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, имеющих ориентацию оси [001] перпендикулярно плоскости подложки.

Пленки толщиной 0,2 - 1,3 мкм, выращенные на монокристаллических подложках SrTiO_3 по методу, описанному в ⁷, имели критическую температуру сверхпроводящего перехода T_c от 87 до 91 К при ширине перехода 0,5 К. Удельное сопротивление при температуре $T = 100$ К составляло 60 - 150 мкОм·см. ЭДС Холла и термоэдс измерялись по компенсационной методике с точностью 50 нВ. Термоэдс измерялась между медными ветвями термопар медь-константан при градиенте температур 1 - 3 К. Абсолютные значения α образцов определялись с учетом аддитивного вклада термоэдс меди, зависящей от температуры ⁸.

На рис. 1 показаны полученные зависимости коэффициента Холла от напряженности магнитного поля H при $T = 300$ К. В пределах ошибки измерений R_H не зависит от H , положителен и равен $6 \cdot 10^{-4}$ см³/Кл ($\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$) и $6,5 \cdot 10^{-4}$ см³/Кл ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$). Концентрация носителей $p = r/R_H e$ при $T = 300$ К в предположении, что "холл-фактор" $r = 1$, составляет $1 \cdot 10^{22}$ см⁻³ и $9,6 \cdot 10^{21}$ см⁻³, соответственно. Температурная зависимость R_H в поле $H = 10$ кЭ пленки $\text{HoBaCu}_3\text{O}_{7-x}$ приведена на рис. 2. Видно, что R_H возрастает при понижении T с 300 К до 120 К примерно вдвое (с 0,9 до 1,7 дырки на ячейку). Этот результат хорошо согласуется с данными работ, выполненных на керамических образцах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ ³. На этом же рисунке показана температурная зависимость холловской подвижности $\mu = R_H \sigma$, где σ - удельная электропроводность образца $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. При увеличении температуры μ уменьшается с 6,5 до 1,4 см²/В·с по закону $\mu \sim T^{-1,7}$.

При столь малых значениях μ возникает вопрос о применимости для высокотемпературных сверхпроводников кинетического уравнения Больцмана. Линейный характер температурного изменения удельного сопротивления лантановых и иттриевых сверхпроводников, сохраняющийся вплоть до 1000 К и 600 К ⁴, соответственно, дает основание полагать, что при температурах ниже 300 К длина свободного пробега больше расстояния между ближайшими атомами Cu - O. В пользу применимости кинетического уравнения свидетельствует также и качественное согласие с экспериментом рассчитанных кинетических коэффициентов для лантановых сверхпроводников ⁹.

Для надежного определения знака носителей заряда, который может не соответствовать знаку коэффициента Холла при сравнимой с постоянной решетки длине свободного пробега ¹⁰, дополнительно проводились измерения термоэдс. Исследования пленок $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ и $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ показали, что знак α положителен в интервале температур от T_c до 300 К

Вблизи T_c термоэдс резко уменьшается и при $T \leq T_c$ обращается в нуль, что является критерием отсутствия паразитных термоэдс в цепи. Для наиболее совершенных образцов обоих соединений ($\rho \approx 60$ мкОм·см) с ростом температуры наблюдалось уменьшение α (рис. 3, кривая 1). В образцах с большими значениями ρ отмечался иной характер $\alpha(T)$, вплоть до роста α при увеличении T (рис. 3, кривая 2).

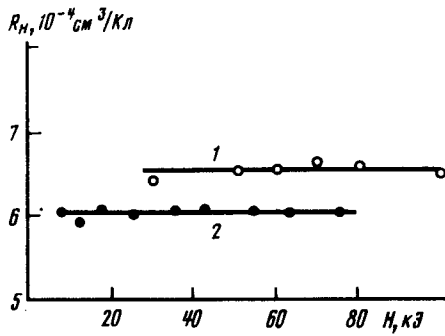


Рис. 1. Зависимости коэффициента Холла от магнитного поля для монокристаллических пленок: 1 — $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$; 2 — $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

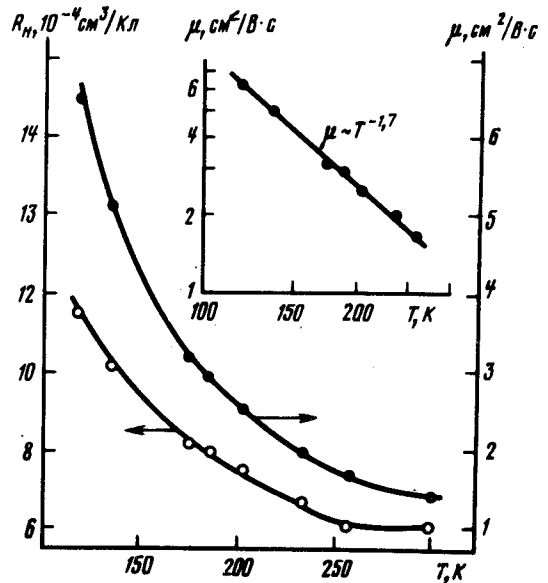


Рис. 2. Температурные зависимости коэффициента Холла и подвижности носителей тока для монокристаллической пленки $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

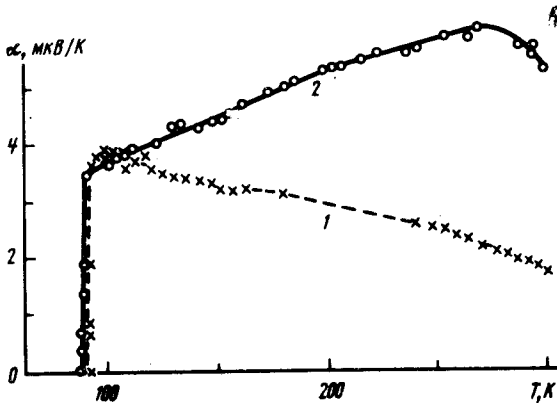


Рис. 3. Температурные зависимости коэффициента термоэдс монокристаллических пленок: 1 — $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$; 2 — $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

Термоэдс металлов без учета эффекта фононного увлечения равна

$$\alpha = \frac{\pi^2 k^2 T}{3e} \left[\frac{N(E)}{p} + \frac{d \ln \mu(E)}{dE} \right]_{E=E_F} \quad (1)$$

Здесь $N(E)$ — плотность состояний носителей тока, k — постоянная Больцмана, E_F — энергия Ферми. Поскольку второй член в скобках существенно меньше первого, им можно пренебречь, и в этом случае

$$\alpha(T) \sim TN(E_F) / p. \quad (2)$$

Значительно отличающиеся от (2) зависимости $\alpha(T)$, наблюдаемые на эксперименте, указывают на то, что вплоть до $T \sim 300$ К для высокотемпературных сверхпроводящих металлооксидов характерно существенное фононное увлечение, обусловленное высокими значениями дебаевской температуры и сильным электрон-фононным взаимодействием. На ход кривой $\alpha(T)$ может оказывать влияние и изменение $N(E_F)$, связанное с температурной зависимостью электрон-фононной перенормировки этой величины. Чувствительность величины α и ее зави-

симости от температуры к структурному совершенству образцов может быть обусловлена частичным подавлением эффекта фононного увлечения при снижении длины свободного пробега фононов. Следует учитывать также изменение концентрации носителей p с температурой. На уменьшение p при понижении температуры указывает наблюдаемое увеличение R_H . Одна из возможных причин роста R_H связана с уменьшением концентрации дырок в результате их термической активации в дополнительную узкую зону, расположенную вблизи E_F . Это предположение согласуется с данными работы ³, где наблюдалась слабая зависимость R_H от x в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ при $0,1 \leq x \leq 0,5$ и резкая зависимость $R_H(x)$ при $x > 0,5$, что объяснялось стабилизацией уровня Ферми узкой зоной локализованных состояний, совпадающей с E_F при $x \approx 0,4$. К аналогичному выводу приходят авторы работ ^{11, 12}. Однозначное объяснение этого явления возможно при получении дополнительных данных о зонной структуре и форме ферми-поверхности в таких сверхпроводниках.

Литература

1. *Khim Z.G., Lee S.C., Lee J.H. et al.* Phys. Rev. B, 1987, **36**, 2305.
2. *Кожевников В.Л., Лончаков А.Т., Цидильковский и др.* Информационные материалы Рабочего совещания по проблемам высокотемпературной сверхпроводимости, ч. 2. Свердловск: изд. УРО АН СССР, 1987, с. 82.
3. *Ong N.P., Wang Z.Z., Clayhold J. et al.* Proc. International Workshop on Novel Mechanisim of Superconductivity. Ed. V.Kresin. Berkeley USA: Plenus Press, 1987. p. 1061.
4. *Gurvitch M., Fiory A.T.* In ³, p. 663.
5. *Laughlin R.B.* In ³, p. 553.
6. *Suzuki M., Murakami T.* Jpn. J. of Appl. Phys., 1987, **26**, L524.
7. *Головашкин А.И., Екимов Е.В., Красносвободцев С. И., Печень Е.В.* Письма в ЖЭТФ, 1988, **47**, 157.
8. Таблицы физических величин. Справочник. Под ред. Кикоина И.К., М.: Атомиздат, 1976, с. 462.
9. *Allen P.B., Pickett W.E., Krakauer H.* Phys. Rev., 1987, **36**,
10. *Mott T., Жэвис Э.* Электронные процессы в некристаллических веществах М.: Мир, 1982.
11. *Kapitulnik A.* Proc. Int. Conf. on HTSMMS, Interlaken 1988, Eds. J. Müller.
12. *Ferro L. et al.* In ¹¹.