

**ЭФФЕКТ ХОЛЛА НА МОНОКРИСТАЛАХ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ В ПЛОСКОСТИ,
ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ ОСИ *c***

И.Г.Горлова, С.Г.Зыбцев, Ю.И.Латышев

Впервые исследована величина, знак и температурная зависимость ($95 \text{ K} < T < 400 \text{ K}$) холловской ЭДС монокристаллов высокотемпературного сверхпроводника $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ в плоскости слоев Cu – O (\perp оси *c*).

Интерес к исследованиям высокотемпературных сверхпроводников значительно возрос с получением монокристаллов этих соединений. Была установлена сильная анизотропия кинетических и сверхпроводящих характеристик вдоль (\parallel) и поперек (\perp) слоев Cu – O. Так на

монокристаллах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ отношение $\rho_{\perp}/\rho_{\parallel}$ при 300 К составляло ~ 30 ¹. Кроме того, при $T \leq 300$ К ρ_{\parallel} и ρ_{\perp} имели различный температурный ход: ρ_{\parallel} падало, а ρ_{\perp} росло с понижением температуры. Первые холловские измерения на монокристаллах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ были выполнены в плоскости, параллельной оси c , поперек слоев Cu – O ($H \parallel b$)¹. Был установлен отрицательный знак холловской ЭДС V_x , константа Холла R_x не зависела от температуры в области 300 – 200 К и на 20% возрастала вблизи T_c . В настоящей работе холловские измерения были проведены в плоскости, перпендикулярной оси c и установлен положительный знак и иной чем в¹ температурный ход $V_x(T)$.

Монокристаллы $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ были синтезированы в Институте кристаллографии АН СССР². Образцы имели форму ограненных плоскопараллельных пластинок $0,8 \times 0,2 \text{ мм}^2$ с размером вдоль оси c 10 – 40 мкм. Контакты приготавливались с помощью серебряной пасты и последующего отжига до 400 – 500°C. Контактное сопротивление, приведенное к площади контакта, в интервале температур 90 – 400 К составляло $\sim 10^{-4} \Omega/\text{см}^2$. Измерения $V_x(T)$ и $\rho_{\parallel}(T)$ проводились по пятизондовой схеме. Зависимость $\rho_{\parallel}(T)$ в области 400–250К была близка к линейной, а при $T < 250$ К, как и в², наблюдался более быстрый спад $\rho_{\parallel}(T)$. T_c составляло 93 К, ширина сверхпроводящего перехода $< 0,5$ К, $\rho_{\parallel 300}/\rho_{\parallel 95} \approx 4$, $\rho_{\parallel 300} \approx 300 \text{ мк}\Omega \cdot \text{см}$.

Холловская ЭДС измерялась в полях H до 8 кЭ ($H \parallel c$), в плоскости (ab). Во всем исследованном температурном интервале она линейно зависела от H и от величины измерительного тока (0,3 – 60 мА). Для определения знака V_x проводились калибровочные измерения на образцах Ge n -типа при 300 К. Для двух исследованных монокристаллов холловская ЭДС имела положительный знак и характерную температурную зависимость, приведенную на рис. 1. В области 400 – 280 К V_x не зависела от температуры, ниже 280 К наблюдался рост, насыщение при $T = 100$ – 110 К ($V_{x100}/V_{x300} \approx 3$) и резкий спад в окрестности T_c .

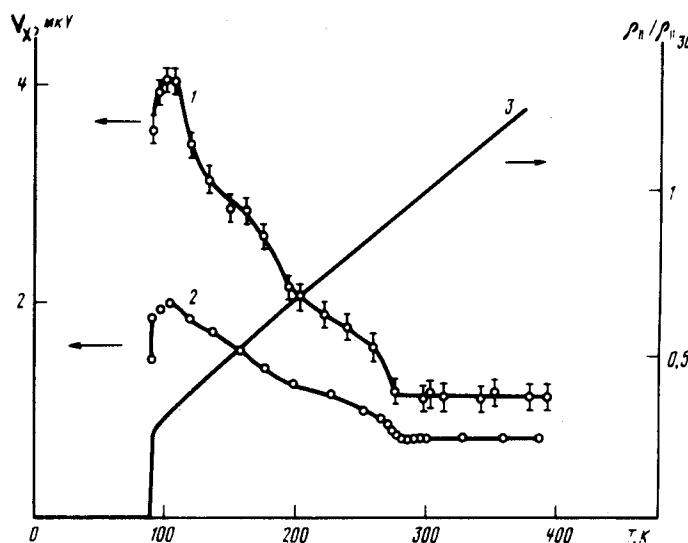


Рис. 1. Температурные зависимости холловской ЭДС (кривые 1, 2) и удельного электросопротивления (кривая 3) для монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. Кривые 2, 3 соответствуют образцу с $d = 10$ мкм, кривая 1 – образцу с $d = 40$ мкм. $H = 8$ кЭ, $I = 58$ мА (для кривой 1) и 12 мА (для кривой 2). Погрешность при измерениях V_x , соответствующих кривой 2 не превышала размеров кружков

Общий характер и знак $V_x(T)$ при $T < 300$ К согласовывался с измерениями, проведенными нами ранее на поликристаллических пленках Y – Ba – Cu – O, полученных методом лазерного напыления³ (рис. 2). Холловские измерения на керамиках Y – Ba – Cu – O также давали положительный знак константы Холла⁴. Полученные значения R_{x300} для двух

моноцикристаллов разной толщины ($R_{x300} = 8,2 \cdot 10^{-4}$ см³/Кл для $d = 10$ мкм, $R_{x300} = 1,1 \cdot 10^{-3}$ см³/Кл для $d = 40$ мкм) и для пленок ($R_{x300} = 9,3 \cdot 10^{-4}$ см³/Кл для $d = 0,2$ мкм) были близки и соответствовали концентрации $p \approx 6 \cdot 10^{21}$ см⁻³.

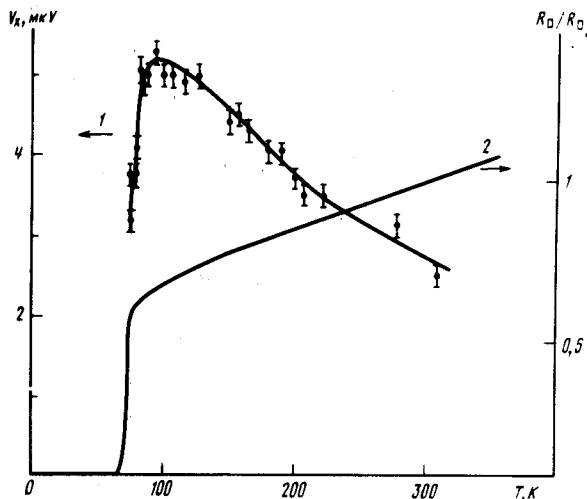


Рис. 2. Температурные зависимости холловской ЭДС и сопротивления R_D для поликристаллической пленки Y–Ba–Cu–O на подложке из MgO. $H = 8$ кЭ, $I = 0,7$ мА

При $T > 280$ К поведение $V_x(T)$ имеет обычный металлический характер. В работе⁵ на однофазной керамике Y–Ba–Cu–O при этих температурах наблюдался также металлический характер температурной зависимости термоэдс $s(T)$. Наблюдавший нами в области 100–280 К рост $R_x(T)$ коррелирует с увеличением $\rho_{\perp}(T)^{-1}$ и аномальным ростом $s(T)$ ⁵ в этой температурной области.

Уменьшение концентрации носителей с понижением температуры, предшествующее сверхпроводящему состоянию и не наблюдаемое при температурах выше критической в обычных сверхпроводниках (типа олова, индия и др.) может быть связано с развитием пайерлсовской неустойчивости. Действительно, очень похожее на $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ поведение ρ_{\parallel} , ρ_{\perp} , $V_x(T)$ наблюдалось на монокристаллах TaSe_3 при $150 \text{ K} < T < 250$ К, где оно связывалось с не законченным пайерлсовским переходом⁶. Косвенно это предположение подтверждается и тем, что монокристаллы $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ имеют слоистую структуру, а интервал 100–280 К соответствует масштабу температуры пайерлсовского перехода. Различный ход $\rho_{\perp}(T)$ и $\rho_{\parallel}(T)$ может быть объяснен тем, что при смягчении фононного спектра, вызванного пайерлсовской неустойчивостью, как правило, сильно возрастает рассеяние в направлении, перпендикулярном направлению проводящих цепочек (или елоев)⁶, т. е. структурному пайерлсовскому переходу обычно предшествует значительное возрастание анизотропии проводимости. При этом $\rho_{\perp}(T)$ с понижением температуры может возрастать, а $\rho_{\parallel}(T)$ иметь обычный металлический характер.

Другая возможность объяснить состояние ниже 280 К может быть связана с существованием антиферромагнетизма, хотя антиферромагнитное состояние, наблюдавшееся при температурах ниже 240 К в системе $\text{La}_2\text{CuO}_{4-x}$ ⁷ в системе Y–Ba–Cu–O пока не обнаружено.

Насыщение и резкий спад $V_x(T)$ с понижением температуры вблизи T_c (рис. 1, 2) наблюдались ранее также на монокристаллических пленках $(\text{La}_{1-x}\text{Sr}_{2x})_2\text{CuO}_4$ ⁸ и вероятнее всего определяются переходом системы в сверхпроводящее состояние.

Причина противоположного знака холловской ЭДС в плоскостях, параллельных и перпендикулярных оси c еще не ясна. Тем не менее возможность противоположного знака R_x обсуждалась в работе¹, где на основании еще не опубликованных расчетов она связывалась с сильной анизотропией электронного спектра и непарabolичностью зонной структуры $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$.

В заключение отметим, что развитие пайерлсовской неустойчивости может сопровождаться появлением линий диффузного рассеяния от флуктуаций образующейся сверхрешетки при $T > T_p$ ⁹, которые могут быть выявлены с помощью структурных исследований. Интересным остается также вопрос о роли состояния при $T < 280$ К в формировании высокотемпературной сверхпроводимости: стимулирует ли оно сверхпроводимость или препятствует ее еще более высокотемпературному проявлению?

Авторы признательны С.М.Стишову, О.К.Мельникову, И.Н.Макаренко за предоставление образцов и обсуждение результатов работы, а также Р.Н.Шефталию и В.Н.Губанкову за ценные замечания, внесенные при прочтении рукописи статьи.

Литература

1. Tozer S.W., Kleinsasser A.W., Penney T. et al. Phys. Rev. Lett., 1987, **59**, 1768.
2. Аведеев Л.З., Быков А.Б., Демьянец Л.Н. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, **46**, 196.
3. Шефтали Р.Н., Зыбцев С.Г., Латышев Ю.И., Горлова И.Г. Тезисы докл. Всесоюzn. совещания по высокотемпературной сверхпроводимости. 1987, ч. II, с. 224, Свердловск.
4. Penney T., Shafer M.W., Olsen B.L., Plaskett T.S. Adv. Ceramic Mater. 1987, **2**, 577.
5. Khim Z.G., Lee S.C., Lee J.H. et al. Phys. Rev., 1987, **B36**, 2305.
6. Долгов Е.Н., Латышев Ю.И., Минакова В.Е. ФТТ, 1984, **26**, 3472.
7. Freltoft T., Fischer J.E., Shirane G. et al. Phys. Rev., 1987, **B36**, 826.
8. Suzuki M., Murakami T. Jap. J. Appl. Phys., 1987, **26**, L524.
9. Roucau C., Ayroles R., Monceau P. et al. Phys. stat. sol. 1980, **62a**, 483.

Институт радиотехники и электроники
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
30 ноября 1987 г.