

УДК 536.21
 © 1991

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ,
 ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ И ТЕРМОЭДС
 СИСТЕМ $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$ И $\text{Bi}_{1.82}\text{Sr}_{1.73}\text{Ca}_{1.25}\text{Cu}_{2.2}\text{O}_x$

Т. Б. Жукова, Л. С. Парфеньева, В. В. Попов,
 Б. Т. Мелех, И. А. Смирнов, Х. М. Холмедов

Определены фазовые составы и измерены температурные зависимости теплопроводности κ , удельного электросопротивления ρ и термоэдс α поликристаллических, многофазных, литых, сильно текстурированных ВТСП образцов $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$ и $\text{Bi}_{1.82}\text{Sr}_{1.73}\text{Ca}_{1.25}\text{Cu}_{2.2}\text{O}_x$, полученных методом прямого индукционного плавления на воздухе в холодном контейнере. Обнаружено «старение» образцов после хранения в вакууме и на воздухе, приводящее к уменьшению количества посторонних фаз и увеличению содержания основной фазы, а также к изменению коэффициентов κ , ρ и α . Измерена анизотропия ρ и α .

Наибольшее число работ по измерению теплопроводности κ ВТСП, опубликованных в литературе, относится к $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ [1, 2]. Исследованию ВТСП системы Bi-Sr-Ca-Cu-O посвящено относительно небольшое число работ (табл. 1).

Таблица 1
 Составы в системе Bi-Sr-Ca-Cu-O ,
 у которых измерена теплопроводность

Состав	T_c , К	Литературная ссылка
Bi-Sr-Ca-Cu-O	76	[3]
$\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$	85	[4]
$\text{Bi}_2\text{Sr}_{1.5}\text{Ca}_{1.5}\text{Cu}_2\text{O}_x$	85, 110	[5-8]
$\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$	—	[9]
$\text{BiSr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$	90	[4]

T_c — температура сверхпроводящего перехода.

Нами в интервале 3—300 К были измерены теплопроводность, удельное электросопротивление ρ и термоэдс α $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$ (образцы группы А) и $\text{Bi}_{1.82}\text{Sr}_{1.73}\text{Ca}_{1.25}\text{Cu}_{2.2}\text{O}_x$ (образцы группы В).

Исследовались литые сильно текстурированные образцы, полученные методом прямого индукционного плавления на воздухе в холодном контейнере [10]. Использовались исходные материалы: Bi_2O_3 , CuO , SrCO_3 , CaCO_3 марки «ОСЧ». Затвердевание расплава в холодном тигле происходило в режиме спонтанной кристаллизации (при выключенном генераторе). Полученный плавный материал не обладал сверхпроводящими свойствами вплоть до температур жидкого гелия. Из слитка вырезались образцы размером $2.5 \times 4 \times 8$ мм. Плотность образцов составляла 6.2 г/см^3 . Образцы проходили дополнительную термообработку на воздухе в течение 60 ч при 830°C и становились сверхпроводящими. Оба состава имели

Таблица 2

Фазовый состав образцов (кроме основной орторомбической фазы)

Тип образца	Дополнительная фаза (кроме основной орторомбической)	
Группа А $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$	Образец А' CuO (~25%) $\text{Sr}_2\text{CuO}_3 + \text{Ca}_5\text{Bi}_{11}\text{O}_{26}$ (в сумме ~20%)	Образец А'' CuO (~20%)
Группа В $\text{Bi}_{1.82}\text{Sr}_{1.73}\text{Ca}_{1.25}\text{Cu}_{2.2}\text{O}_x$	Образец В' CuO + орторомбическая фаза с $c = 24.6 \text{ \AA}$ (в сумме ~10%)	Образец В'' Орторомбическая фаза с $c \sim 24.6 \text{ \AA}$

$T_c \sim 86 \text{ K}$ (T_c определялось из измерений ρ , α и магнитной восприимчивости).

Измерения α , ρ и χ проводились на «свежих», только что приготовленных образцах (образцы А' и В'), и на этих же образцах после хранения в течение четырех месяцев в вакууме (образец А'') и одного года на воздухе (образец В'').¹

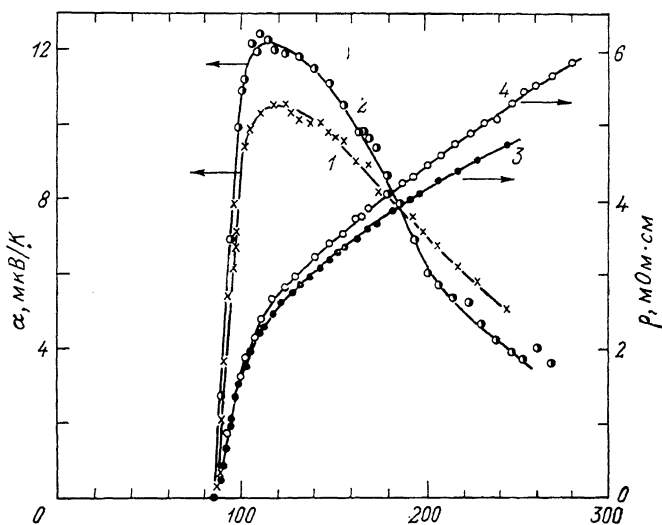


Рис. 1. $\alpha(T)$ (1, 2) и $\rho(T)$ (3, 4) $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$ образцы А' (1, 3) и А'' (2, 4).

Образцы были неоднородны (табл. 2). Основную фазу составляла орторомбическая фаза. Ее параметры для образцов групп А и В следующие. Образец А': $a = 5.416 \text{ \AA}$, $b = 5.434 \text{ \AA}$, $c = 30.88 \text{ \AA}$; образец А'': $a = 5.430 \text{ \AA}$, $b = 5.440 \text{ \AA}$, $c = 30.98 \text{ \AA}$; образец В', образец В'': $a = 5.428 \text{ \AA}$, $b = 5.433 \text{ \AA}$, $c = 31.0 \text{ \AA}$.

Полученные слитки имели заметную текстуру. Бóльший размер вырезанных из этих слитков образцов был перпендикулярен преимущественному направлению оси C кристаллитов. $\rho(T)$ измерялось четырехзондовым методом на постоянном токе (~2 мА). Для исследования $\chi(T)$ использовалась стандартная методика стационарного теплового потока. Температура в интервале 3—60 К измерялась угольными термометрами сопротив-

¹ Как отмечалось выше, образцы А' и А'' относятся к системе $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$, а В' и В'' к системе $\text{Bi}_{1.82}\text{Sr}_{1.73}\text{Ca}_{1.25}\text{Cu}_{2.2}\text{O}_x$.

ления, а при 50—300 К с помощью медь-константановых термопар. $\chi(T)$, $\alpha(T)$ и $\rho(T)$ измерялись одновременно на одном и том же образце. Электрические и тепловые контакты формировались с помощью нанесения индия и серебряной пасты.

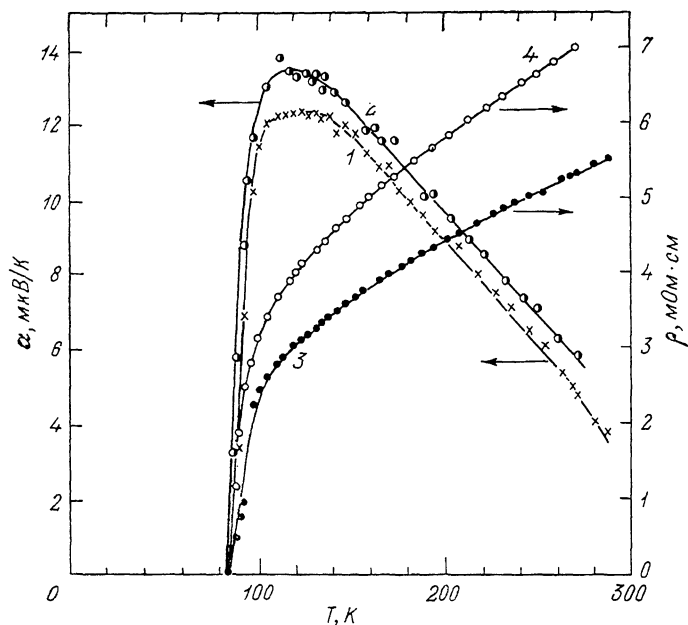


Рис. 2. $\alpha(T)$ (1, 2) и $\rho(T)$ (3, 4) $\text{Bi}_{1.82}\text{Sr}_{1.73}\text{Ca}_{1.25}\text{Cu}_{2.2}\text{O}_x$. Образцы В' (1, 3) и В'' (2, 4).

Основной целью работы было: 1) определение величины $\chi(T)$; 2) определение влияния «старения» образцов на их фазовый состав, абсолютную величину и температурную зависимость χ , α , ρ , а также на величину T_c ; 3) оценка величины анизотропии α и ρ в текстурированных образцах.

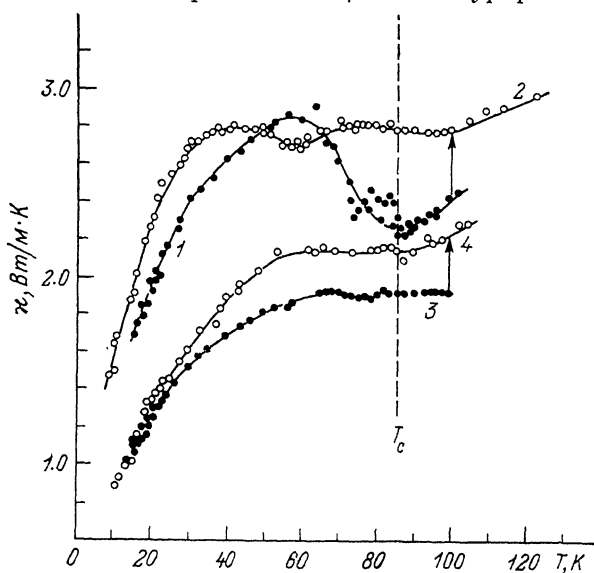


Рис. 3. $\chi(T)$ для $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$ (1, 2) и $\text{Bi}_{1.82}\text{Sr}_{1.73}\text{Ca}_{1.25}\text{Cu}_{2.2}\text{O}_x$ (3, 4). Образцы А' (1), А'' (2) и В' (3), В'' (4).

На рис. 1—3 представлены полученные нами экспериментальные данные для $\alpha(T)$, $\rho(T)$ и $\chi(T)$. Поведение $\alpha(T)$ и $\rho(T)$ для исследованных составов характерно для висмутовых систем ВТСП. Можно отметить, что α

для обоих составов во всем исследованном интервале температур положительна. Экспериментальные значения $\kappa(T)$ (рис. 3) в основном относятся к решеточной составляющей теплопроводности.

На рис. 4 представлены имеющиеся в литературе данные для $\kappa(T)$ висмутовых систем ВТСП и измеренного нами образца А'. Как видно

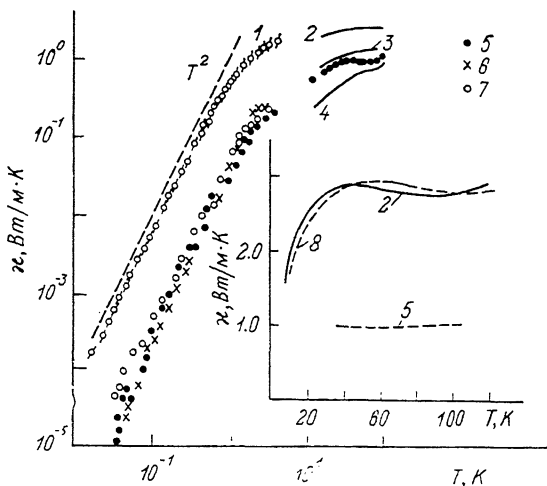


Рис. 4. Теплопроводность Bi-содержащих ВТСП [1].

1 — [1], 2 — наст. раб. (для $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$), 3 — [2], 4 — [3], 5—7 — [4], 8 — [5]. 1, 8 — монокристаллы, 2 — текстурированный образец; 3—7 — керамика.

из этого рисунка, абсолютная величина κ текстурированного образца $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$ близка к абсолютной величине κ монокристаллов висмутовых систем ВТСП (для случая, когда направление теплового потока было направлено перпендикулярно оси C).

Нами была измерена анизотропия $\alpha(T)$ и $\rho(T)$ сильно текстурированного образца состава $\text{Bi}_{1.82}\text{Sr}_{1.73}\text{Ca}_{1.25}\text{Cu}_{2.2}\text{O}_x$ (рис. 5). Исследовались

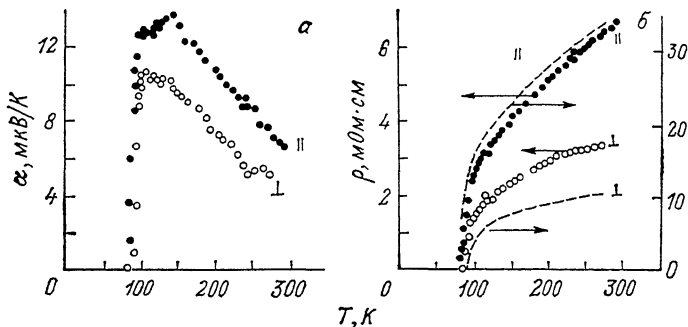


Рис. 5. $\alpha(T)$ (а), $\rho(T)$ (б) для текстурированного образца.

Тепловой поток и электрический ток направлены параллельно (||) или перпендикулярно (\perp) оси C кристалла. Штрихи — данные [11] для монокристалла $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ ($T_c \sim 82+84$ К).

образцы, вырезанные параллельно и перпендикулярно оси C . Анизотропия α составила ~ 1.4 , а $\rho \sim 1.8$, что достаточно хорошо совпало с аналогичными измерениями анизотропии α и ρ для монокристаллов $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8$ [11].

На основании проведенного эксперимента можно сделать следующие заключения.

1. Абсолютная величина теплопроводности текстурированных образцов $\text{BiSrCaCu}_2\text{O}_x$ (при измерениях, когда тепловой поток направляется перпендикулярно оси C) оказалась близкой к абсолютной величине κ монокристаллов висмутовых ВТСП (рис. 4).

2. При «старении» образцов (хранении их в течение месяцев при различных внешних условиях) происходит заметное изменение их фазового состава (табл. 2), что оказывает большое влияние на абсолютную величину и температурную зависимость κ (рис. 3), незначительно изменяет абсолютную величину α и ρ и совсем не оказывает влияния на их температурные зависимости (рис. 1, 2).

3. $\alpha(T)$ и $\rho(T)$, измеренные вдоль и поперек оси C , в сильно текстурированном образце $\text{Bi}_{1.82}\text{Sr}_{1.73}\text{Ca}_{1.25}\text{Cu}_{2.2}\text{O}_x$ обнаруживают значительную анизотропию (рис. 5).

Список литературы

- [1] Кириченко Ю. А., Русанов К. В., Тюрина Е. Г. // СФХТ. 1990. Т. 3. № 7. С. 1385—1409.
- [2] Jezowski A., Klamut J. // Studies of high temperature superconductors / Ed. A. Narwkav. Nove Science Publ. N. Y., 1990. P. 263—309.
- [3] Kopte T., Hegenbarth E. // Phys. Stat. Sol. (a). 1989. V. 114. N 1. P. K67—K70.
- [4] Peacor S. D., Uner C. // Phys. Rev. B. 1989. V. 39. N 16A. P. 11559—11562.
- [5] Алиев Ф. Г., Мошальков В. В., Прядин В. В. // Тез. докл. II Всес. конф. по ВТСП. Киев, 1989. Т. 3. С. 210.
- [6] Алиев Ф. Г., Прядин В. В., Леонюк Л. И. // Препринт МГУ, 1989. № 26.
- [7] Алиев Ф. Г., Брандт Н. Б., Мошальков В. В., Прядин В. В., Чесноков Г. А., Акимов А. И., Гапальская В. И., Стрибук Е. К. // СФХТ. 1989. Т. 2. № 5. С. 29—31.
- [8] Aliev F. G., Moshalkov V. V., Pryadun V. V. // Proc. Intern. Conf. on Highly Correlated Electron Systems. USA, Santa-Fe, 1989.
- [9] De-Ming Zhu, Anderson A. C., Bukowski E. D., Ginsberg D. M. // Phys. Rev. B. 1989. V. 40. N 1. P. 841—843.
- [10] Мелех Б. Т., Андреев А. А., Картенко Н. Ф., Коркин И. В., Смирнов В. В., Филин Ю. Н. // Изв. АН СССР, неорган. матер. 1982. Т. 18. № 1. С. 98—101.
- [11] Цидильковский И. М., Константинов В. Л., Крылов К. Р., Пономарев А. И., Космына М. Б., Левин А. В., Гарикова Т. Б. // СФХТ. 1989. Т. 2. № 1. С. 45—51.

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе
Ленинград

Поступило в Редакцию
11 декабря 1990 г.