

## Кинетические свойства сверхпроводящего композиата Ag–Bi2223

Б. А. Мерисов, Г. Я. Хаджай, М. А. Оболенский

Харьковский государственный университет, Украина, 310077, Харьков, пл. Свободы, 4  
E-mail: boris.a.merisov@univer.kharkov.ua

Н. Т. Черпак

Институт радиофизики и электроники НАН Украины, Украина, 310085, Харьков, ул. Ак. Проскуры, 12

P. Haldar and D. Hazelton

Intermagnetics General Corporation, Latham, NY12110, USA

Статья поступила в редакцию 27 января 1999 г.

В сверхпроводящей (СП) двухфазной системе Ag–Bi2223 ( $T_c \cong 107$  К,  $\Delta T_c \cong 2$  К) производства Intermagnetics General Corporation (USA) исследованы теплопроводность  $\lambda(T)$  в интервале 4,2–300 К и электросопротивление  $\rho(T)$  в интервале  $T_c$ –300 К. Вдали от СП перехода  $\lambda(T)$  и  $\rho(T)$  имеют вид, типичный для серебра. При  $T > 60$  К на фоне такой зависимости  $\lambda(T)$  наблюдаются нерегулярные осцилляции теплопроводности. Термоциклирование не влияет на положение и размер осцилляций. При  $T_c$  обнаружен резкий минимум  $\lambda(T)$ , глубина которого значительно превышает оценочный вклад теплопроводности Bi2223 в теплопроводность системы.

В надпровідній (НП) двофазній системі Ag–Bi2223 ( $T_c \cong 107$  К,  $\Delta T_c \cong 2$  К) виробництва Intermagnetics General Corporation (USA) досліджено теплопровідність  $\lambda(T)$  в інтервалі 4,2–300 К та електричний опір  $\rho(T)$  в інтервалі  $T_c$ –300 К. Далеко від НП переходу  $\lambda(T)$  і  $\rho(T)$  мають вигляд, типовий для срібла. При  $T > 60$  К на фоні такої залежності  $\lambda(T)$  спостерігаються нерегулярні осциляції теплопровідності. Термічне циклювання не впливає на положення та розмір осциляцій. При  $T_c$  знайдено різкий мінімум  $\lambda(T)$ , глибина якого значно перевищує оціночний внесок теплопровідності Bi2223 в теплопровідність системи.

PACS: 74.72.Hs, 44.30.+v

Исследованы температурные зависимости теплопроводности  $\lambda$  и удельного электросопротивления  $\rho$  сверхпроводящего композиционного материала Ag–ВТСП.

Материал представлял собой ленту сечением 3,68×0,206 мм производства фирмы Intermagnetics General Corporation (USA). Внутри серебряной оболочки находилась смесь порошкообразного серебра и высокотемпературного сверхпроводника Bi2223, объемные доли которых составляли соответственно 70 и 30%. Чистота исходного серебра была 99,95%; длина образца около 5 см;  $\rho(T)$  измеряли четырехзондовым методом;  $\lambda(T)$  — методом одноосного стационарного теплового потока. Потоки заряда и тепла направ-

лялись вдоль ленты. Места крепления термометров на образце при измерении  $\lambda(T)$  использовали также для крепления потенциальных отводов при измерении  $\rho(T)$ , в связи с чем геометрические факторы в обоих случаях совпадали. Зависимость  $\rho(T)$  измеряли в интервале от температуры сверхпроводящего перехода  $T_c$  до 300 К со средней погрешностью 0,5%;  $\lambda(T)$  измеряли в интервале 4,2–300 К со средней погрешностью 2%. Температура  $T_c$ , определенная по положению максимума  $d\rho/dT$ , равна 107 К при ширине перехода около 2 К. Зависимость  $\rho(T)$  композиата является линейной функцией температуры в интервале 108–300 К;  $\rho(300$  К) =  $3,87 \cdot 10^{-8}$  Ом·м, что примерно в два ра-

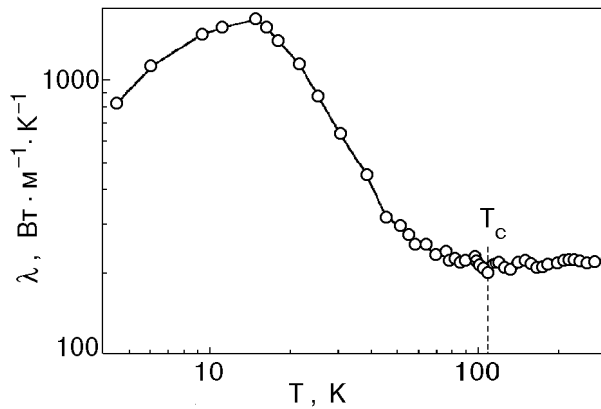


Рис. 1. Температурная зависимость теплопроводности композита Ag-Bi2223.

за превосходит литературные данные для чистого серебра [1].

Поведение  $\lambda(T)$  композита в исследованном интервале температур типично для теплопроводности чистого серебра (рис. 1). Максимум теплопроводности расположен при 15 К, что совпадает с данными [2,3], но по абсолютной величине  $\lambda$  примерно вдвое ниже, чем в [2,3]. Выше 100 К теплопроводность композита слабо зависит от температуры и составляет примерно 210 Вт/(м·К). В этой области теплопроводность образцов серебра различной степени чистоты близка к 430 Вт/(м·К) (см., например, [4]), что примерно вдвое превышает наши данные. Таким образом, характерные величины  $1/\rho$  и  $\lambda$  композита примерно вдвое меньше литературных, относящихся к чистому серебру. Полученные значения указывают на то, что на внешнюю серебряную оболочку в среднем приходится около половины площади поперечного сечения ленты. Остальное серебро находится в виде прослоек между частицами ВТСП.

Для обсуждения полученных результатов удобно использовать функцию Лоренца

$$L(T) = \lambda(T) \rho(T) / T. \quad (1)$$

На рис. 2 приведены значения  $L(T)$  для серебра различной чистоты, рассчитанные по данным [1-4], и исследованного композита. Видно, что кривые  $L(T)$  для серебра различной чистоты близки друг к другу и с повышением температуры стремятся к зоммерфельдовскому значению  $L_0 = 2,45 \cdot 10^{-8}$  Вт·Ом/К<sup>2</sup>, что типично для металлической проводимости при температурах выше дебаевской. Для композита  $L(T) > L_0$  и растет с увеличением температуры. Это связано, вероятно, с дополнительным вкладом в  $\rho(T)$  (1), обуслов-

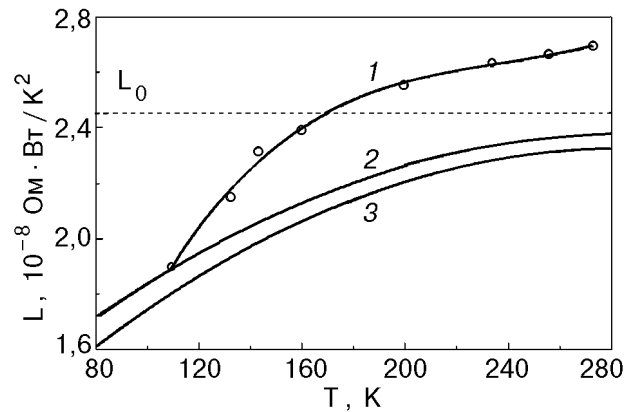


Рис. 2. Температурная зависимость функции Лоренца композита Ag-Bi2223 (1) и серебра различной чистоты [1,3] (2,3).

ленным наличием двух компонентов, в частности с рассеянием на межфазных границах.

При низких температурах теплопроводность достаточно чистых металлов описывается формулой Вильсона [5]

$$T/\lambda(T) = \rho_0 / L_0 + aT^3, \quad (2)$$

которая оказалась применимой и к исследованному композиту в интервале 4,2–46 К. В (2)  $\rho_0$  — остаточное удельное электросопротивление композита,  $a$  — константа. Полученное из (2) значение  $\rho_0$  равно  $1,14 \cdot 10^{10}$  Ом·м. Таким образом, отношение  $\rho(300 \text{ К})/\rho(4,2 \text{ К})$ , характеризующее чистоту серебряной матрицы, близко к 300.

При  $T > 60$  К на фоне типичной для чистых металлов в этой области температур зависимости  $\lambda(T)$  наблюдаются нерегулярные осцилляции теплопроводности композита (рис. 3). Амплитуда осцилляций составляет около 10% значения теплопроводности в этой области температур, т.е. в несколько раз превышает характерные для ВТСП на основе висмута значения теплопроводности

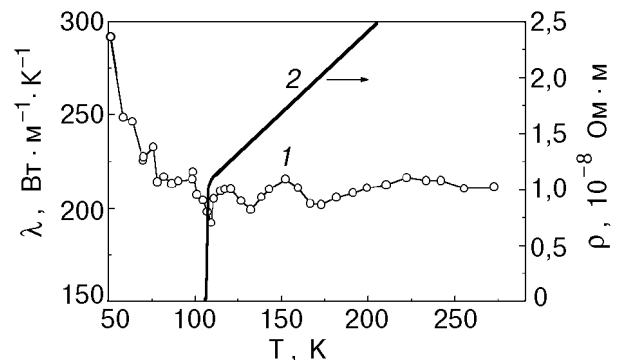


Рис. 3. Теплопроводность (1) и электросопротивление (2) композита Ag-Bi2223 в окрестности сверхпроводящего перехода.

(см., например, [6,7]). Многократное термоциклирование (от 4,2 К до 300 К) не влияет на полученные результаты.

Можно предположить, что такое поведение теплопроводности является проявлением эффекта андреевского отражения квазичастиц в мезоскопической системе контактов несверхпроводник–сверхпроводник в исследованной гетерофазной системе.

Наиболее глубокий и острый минимум теплопроводности совпадает по температуре с  $T_c$ . Такое уменьшение теплопроводности и электросопротивления свидетельствует о выключении сверхпроводящих электронов из процесса переноса тепла. Подобное поведение  $\lambda(T)$  и  $\rho(T)$  вблизи  $T_c$  мы наблюдали ранее [8].

Аналогичное поведение некоторых физических характеристик отмечалось в различных сверхпроводящих композитах, включая ВТСП. В [9,10] такое поведение теплоемкости, коэффициента линейного расширения и теплопроводности ВТСП на основе Y вблизи сверхпроводящего перехода авторы связали с неустойчивостью решетки вследствие миграции сверхстехиометрического кислорода. В сверхпроводящем композите Nb–Cu [11] такое поведение теплопроводности мы наблюдали при 50–60 К, что далеко от сверхпроводящего перехода ( $T_c = 9,1$  К). Одновременно в этой области обнаружено уменьшение внутреннего трения и расщепление собственной частоты изгибных колебаний образца на три компонента при понижении температуры.

По-видимому, подобные структурные неустойчивости характерны для пространственно неоднородных материалов, включая высокотемпературные сверхпроводники и композиты, и могут проявляться как вблизи, так и вдали от сверхпроводящего перехода.

Отметим, что тепловое расширение ВТСП на основе висмута обладает значительной анизотропией [12,13], а величина коэффициента теплового расширения примерно вдвое меньше, чем в серебре. По данным работ [12–15], можно весьма грубо оценить напряжения, возникающие в композиционном образце при охлаждении от 300 до 100 К. Такая оценка дает величину порядка  $10^8$  Па. Эти анизотропные напряжения могут стимулировать возникновение структурных неустойчивостей в исследованном двухфазном композите, что также, вероятно, приводит к наблю-

даемому немонотонному поведению теплопроводности.

1. F. Pawlek and D. Hogalla, *Cryogenics* **6**, 14 (1966).
2. H. M. Rosenberg, *Philos. Trans. R. Soc. (London)* **A247**, 441 (1955).
3. G. K. White, *Proc. Phys. Soc. (London)* **A66**, 844 (1953).
4. C. Y. Ho, R. W. Powell, and P. E. Liley, *J. Phys. and Chem. Ref. Data*, **3**, suppl. No 1 (1974).
5. J. M. Ziman, *Electrons and Phonons*, Oxford Press (1960).
6. S. D. Peacor and C. Uher, *Phys. Rev.* **B39**, 11559 (1989).
7. M. F. Crommie and A. Zettl, *Phys. Rev.* **B41**, 10978 (1990); *Phys. Rev.* **B43**, 408 (1991).
8. Б. А. Мерисов, Г. Я. Хаджай, М. А. Оболенский, О. А. Гавренко, *ФНТ* **14**, 643 (1988).
9. Б. Я. Сухаревский, Е. О. Цыбульский, Н. Е. Письменова, А. М. Быков, Ф. А. Бойко, Г. Ю. Бочковая, Г. Е. Шаталова, *ФНТ* **14**, 1108 (1988).
10. Б. А. Мерисов, Г. Я. Хаджай, О. А. Гавренко, А. П. Воронов, *ФНТ* **16**, 389 (1990).
11. О. А. Гавренко, Б. А. Мерисов, Г. Я. Хаджай, *Металлофизика и новейшие технологии* **15**, 1215 (1996).
12. И. А. Господарев, А. П. Исакина, А. И. Прохвятилов, Е. С. Сыркин, С. В. Феодосьев, *ФНТ* **16**, 673 (1990).
13. R. H. Arendt, M. F. Garbaskas, C. A. Meyer, F. J. Rotella, J. D. Jorgensen, and R. L. Hitterman, *Physica* **C182**, 73 (1991).
14. *Tables of Physical and Chemical Constants*, G. W. Kaye and T. H. Laby (eds.), Longmans, Green and Co. London, New York, Toronto (1962).
15. J. Dominec, C. Laermans, A. Vanelstraete, and V. Plechacek, *High- $T_c$  Superconductor Materials*, H.-U. Habermeier, E. Kaldis, and J. Schoenes (eds.), *Symposia Proc.* **14A**, EMRS, North-Holland (1990), part A, p. 568.

#### Some kinetic properties of HTSC compound Ag–Bi2223

B. A. Merisov, G. Ya. Khadjai, M. A. Obolensky, N. T. Cherpak, P. Haldar, and D. Hazelton

The heat conductivity,  $\lambda(T)$ , in the range 4.2–300 K and the electrical resistivity,  $\rho(T)$ , in the range  $T_c$ –300 K were measured for the HTSC two phase system Ag–Bi2223 ( $T_c \cong 107$  K,  $\Delta T_c \cong 2$  K) produced by the Intermagnetics General Corporation (USA). Away from the SC transition  $\lambda(T)$  and  $\rho(T)$  are determined by silver. At  $T > 60$  K irregular oscillations in the heat conductivity are observed on the background of the dependence  $\lambda(T)$  typical of silver. The temperature cycling does not influence the position and the dimension of the oscillations. At  $T_c$  a sharp minimum of  $\lambda(T)$  is observed. The depth of the minimum exceeds the estimated contribution of Bi2223 to the heat conductivity of the system.