

УДК 539.7

© 1993

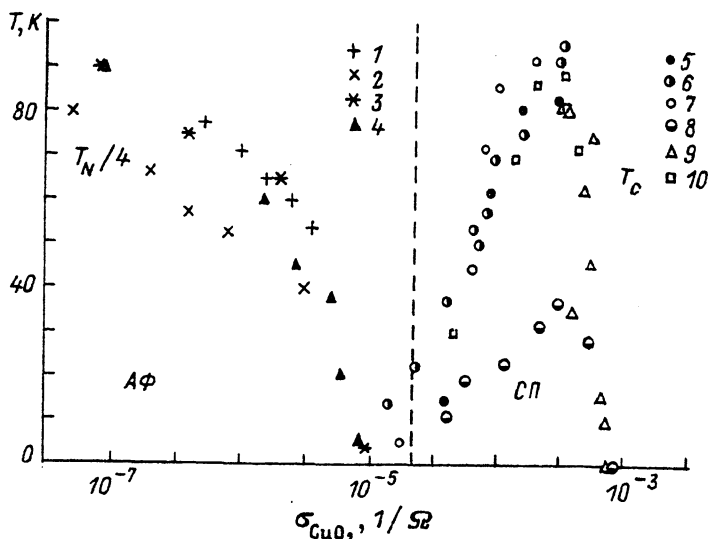
О КОРРЕЛЯЦИИ T_N И T_C ВТСП КУПРАТОВ С 2D ПРОВОДИМОСТЬЮ ПЛОСКОСТЕЙ CuO_2

О. Е. Парфенов

При анализе литературных данных для ряда ВТСП систем обнаружена универсальная зависимость температур Нееля и критической сверхпроводящего перехода от 2D проводимости плоскостей CuO_2 этих соединений.

Несмотря на очень высокую интенсивность работ в области высокотемпературной сверхпроводимости, вопрос о ее механизме остается открытым. Сложность этой проблемы заключается во взаимодействии различных физических параметров, из-за чего трудно выделить решающий фактор для возникновения сверхпроводимости. Одним из путей преодоления указанной трудности является поиск общих черт у различных ВТСП систем с выделением их роли в формировании сверхпроводимости. Так, многих исследователей, экспериментаторов [1-3] и теоретиков [4, 5] привлекает важный вопрос: существует ли для ВТСП купратов универсальная зависимость температуры сверхпроводящего перехода T_c от числа носителей? Экспериментально [1-3] показана корреляция между T_c и концентрацией дырок в нескольких ВТСП соединениях, но в основном такая корреляция наблюдается только в рамках одной структурной группы купратов. Этот факт, как мы считаем, связан не с природой сверхпроводящих купратов, а с недостатками существующих методов определения концентрации носителей. Так, два из наиболее распространенных методов определения концентрации дырок в ВТСП [1, 2] — эффект Холла и химический метод — технически сложны. Тем более что определение числа носителей по эффекту Холла требует знания электронной структуры вблизи уровня Ферми, а химический метод дает полное число дырок на кислороде, как свободных, так и локализованных. Существует еще одна физическая величина, прямо пропорциональная концентрации носителей, — электронная проводимость, измерение которой общедоступно. Поиску корреляции проводимости σ с температурой сверхпроводящего перехода T_c , а также и с температурой Нееля T_N посвящена данная работа.

Поиск корреляций происходил путем сравнения опубликованных данных об изменениях T_c и T_N с σ при варьировании степени допирования различных ВТСП систем. В анализе результатов в основном использовались данные для монокристаллов [6-14] при ограниченном привлечении данных о керамических образцах [15-19]. Причем рассматривались только те работы, где не происходило изменения атомного состава плоскостей CuO_2 при допировании. Для поликристаллических образцов учитывались анизотропия проводимости и их плотность (которая обычно составляет около 90% от теоретической) в соответствии с работой [20], что увеличивало измеренную проводимость в 2.2 раза. Как показывают результаты, при такой коррекции



Зависимости температур Нееля T_N и сверхпроводящего перехода T_c от двумерной проводимости слоя CuO_2 при комнатной температуре для ряда ВТСП систем с различной степенью допирования.

Обозначения T_N : 1 — $\text{La}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ [6], 2 — $\text{La}_2\text{CuO}_{4+\delta}$ [14], 3 — $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{Y}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+y}$ [18], 4 — $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ (получено сопоставлением работ [8] и [19]). Обозначения T_c : 5 — $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8-x}$ [7], 6 — $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+x}$ [9, 19], 7 — $\text{Y}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ [10], 8 — $\text{La}_{2-y}\text{Sr}_y\text{CuO}_4$ [13, 16], 9 — $\text{Tl}_2\text{Ba}_2\text{CuO}_{6+\delta}$ [11, 12, 17], 10 — $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{1-x}\text{La}_x\text{Cu}_2\text{O}_{8+\delta}$ [15]. Штриховой линией показано значение минимальной металлической проводимости для двумерных систем [22].

проводимость керамических образцов при комнатной температуре по величине близка к проводимости в плоскости ab соответствующих монокристаллов. Анизотропия проводимости в плоскости ab мала; так, например, ее максимальное значение ≈ 2 (для $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ [21]), и она в анализе не учитывалась.

Ранее при построении зависимости T_c от числа носителей n (так называемая «master curve») для разных систем [1, 2] в качестве n брали количество дырок в одной плоскости CuO_2 элементарной ячейки, учитывая, таким образом, квазидвумерный характер проводимости и исключая несверхпроводящие слои ВТСП структуры. Аналогичным способом проводимость σ_{ab} , измеряемая в эксперименте, нами приводилась к одной плоскости CuO_2 в соответствии с выражением

$$\sigma_{\text{CuO}_2} = \sigma_{ab} (c/z) [\text{Ом}^{-1}], \quad (1)$$

где c — параметр решетки, z — число плоскостей CuO_2 в элементарной ячейке. Согласно (1), величина σ_{CuO_2} представляет собой двумерную проводимость одного слоя CuO_2 .

Используя данные работ [6–19], нами были построены зависимости T_c и T_N от σ_{CuO_2} (см. рисунок). Как видно из этого рисунка, для всех рассматриваемых здесь систем существует универсальная (по форме) кривая для T_c и T_N от двумерной проводимости плоскости CuO_2 . Мы считаем, что данный факт свидетельствует в общем смысле об определяющей роли купратного слоя CuO_2 в формировании сверхпроводимости и антиферромагнетизма ВТСП купратов, а влияние других элементов структуры на механизм этих явлений носит вторичный

характер. Более конкретно общие зависимости T_c и T_N от σ_{CuO_2} , взятая при фиксированной температуре, для разных соединений определяются числом дырок n , приходящихся на один слой CuO_2 элементарной ячейки. Действительно,

$$\sigma_{\text{CuO}_2} = e \mu n,$$

где μ — подвижность, которая, согласно холловским измерениям, при комнатной температуре для ряда ВТСП соединений [6, 7, 17, 19] при допировании варьируется слабо вблизи значения $\approx 3 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$. Иными словами, на рисунке отражена неявная зависимость T_N и T_c от n , так как коэффициент пропорциональности между σ_{CuO_2} и n для разных соединений примерно одинаков.

Обсуждение формы кривых на рисунке находится вне рамок данной короткой заметки, однако отметим, что область сверхпроводимости близка к переходу металл—диэлектрик, который происходит в соответствии с критерием минимальной проводимости для двумерных систем $\sigma_{\text{min}} \approx 0.1 e^2/h$ [22].

Таким образом, обнаружено, что для соединений ВТСП, в которых купратный слой не искажен, наблюдается универсальная зависимость температур сверхпроводящего перехода и Нееля от двумерной проводимости слоя CuO_2 при комнатной температуре. Это еще раз подчеркивает определяющую роль купратного слоя в формировании высокотемпературной сверхпроводимости, в то время как роль других элементов структуры состоит в поддержании слоев CuO_2 и оптимизация числа дырок в них.

Список литературы

- [1] Shafer M. W., Pennev T., Olsen B. // *Solid State Ionics*. 1990. V. 39. N 1/2. P. 63—67.
- [2] Rao C. N. R., Gopalakrishnan J., Santra A. K., Manivannan V. // *Physica C*. 1991. V. 174. N 1/3. P. 11—13.
- [3] Murayama C., Iye Y., Enomoto T., Mori N., Yamada Y., Matsumoto T., Kubo Y., Shimakawa Y., Manako T. // *Physica C*. 1991. V. 183. N 4/6. P. 277—285.
- [4] Kresin V. Z., Morawitz H. // *Sol. St. Comm.* 1990. V. 74. N 11. P. 1203—1206.
- [5] Blumenfeld R. // *Physica C*. 1991. V. 178. N 1/3. P. 119—124.
- [6] Preyer N. W., Birgeneau R. J., Chen C. Y., Gabbe D. R., Janssen H. P., Kastner M. A., Picone P. J., Tineke Thio. // *Phys. Rev. B*. 1989. V. 39. N 16. P. 11563—11569.
- [7] Briceno G., Zettl A. // *Phys. Rev. B*. 1989. V. 40. N 16. P. 11352—11354.
- [8] Rossat-Mignod J., Regnault L. P., Jurgens M. J., Vettier C., Burllet P., Henry J. Y., Lapertot G. // *Physica B*. 1990. V. 163. P. 4—8.
- [9] Костылев В. А., Чеботаев Н. М., Наумов С. В., Самохвалов А. А. // *ФНТ*. 1991. Т. 17. № 9. С. 1062—1064.
- [10] Jia Y. X., Liv J. Z., Lan M. D., Lavins P. K., Shelton R. N., Radousky H. B. // *Physica C*. 1991. V. 185/189. P. 769—770.
- [11] Duan H. M., Yandrofski R. M., Kaplan T. S., Dlugoch B., Wang J., Hermann A. M. // *Physica C*. 1991. V. 185/189. P. 1283—1284.
- [12] Manako T., Shimakawa Y., Kubo Y., Igarashi H. // *Physica C*. 1991. V. 185/189. P. 1327—1328.
- [13] Nakamura Y., Uchida S., Kimura T., Motohira M., Kishio K., Kitazawa K. // *Physica C*. 1991. V. 185—189. P. 1409—1410.
- [14] Захаров А. А., Цетлин М. Б., Барило С. Н., Грицков П. Н. // *Письма в СФХТ*. 1992. Т. 5. № 1. С. 198—202.
- [15] Koike Y., Iwabuchi Y., Hosoya S., Kobayashi N., Fukuse T. // *Physica C*. 1989. V. 159. N 1/3. P. 105—109.
- [16] Ellman B., Jaeger H. M., Katz D. P., Rosenbaum T. F., Cooper A. S., Espinosa G. P. // *Phys. Rev. B*. 1989. V. 39. N 13. P. 9012—9016.
- [17] Kubo Y., Shimakawa Y., Manako T., Kondo T., Igarashi H. // *Physica C*. 1991. V. 185/189. P. 1253—1254.
- [18] Quitmann C., Fleuster M., Jarchow C., Andrich D., Paulse P. L., Guntherodt G. // *Physica C*. 1991. V. 185—189. P. 1337—1338.
- [19] Парфенов О. Е. // *СФХТ*. 1992. Т. 5. № 2. С. 319—325.
- [20] Gurvitch M., Fiory A. T. // *Phys. Rev. Lett.* 1987. V. 59. N 12. P. 1337—1340.

- [21] Rice J. P., Giapintzakis J., Ginsberg D. M., Mochel J. M. // Phys. Rev. B. 1991. V. 44. N 18. P. 10158—10166.
- [22] Licciardello D. C., Thouless D. J. // J. Phys. C: Sol. St. Phys. 1975. V. 8. N 12. P. 4157—4163.

Институт атомной энергии РАН
Москва

Поступило в Редакцию
27 июля 1992 г.
