

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КРИТИЧЕСКИЙ ТОК КЕРАМИКИ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$

А. Д. Кижин, А. В. Колесников, Ю. С. Каримов

Плотность критического тока J_c керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ обнаруживает ряд особенностей. Во-первых, сильное (в 10^2 — 10^3 раз) падение J_c при наложении сравнительно слабых магнитных полей $H \leq 5$ кЭ [1]. Во-вторых, плотность транспортного критического тока, определенная по ВАХ, в сотни раз меньше J_c , рассчитанной из данных по намагничиванию в предположении однородного распределения тока [2]. Эти особенности объясняются наличием слабых связей, которые соединяют области с высоким J_c [3]. В настоящей работе исследовались зависимости плотности критического тока от магнитного поля H и температуры T керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, что позволило получить информацию о природе этих слабых связей.

Для этой цели были синтезированы две партии образцов. Первая партия образцов готовилась по обычной керамической технологии. Вторая отличалась тем, что с целью улучшения контактов между зернами материала проводилась дополнительная термообработка, в результате которой их пористость уменьшалась на 15—20 %, резко возрастала плотность критического тока.

Характеристики сверхпроводящих переходов образцов, типичные для первой партии (образец I) и второй партии (образец II), следующие. По измерению магнитной восприимчивости на переменном токе температура перехода по уровню 0.5: $T_c = 87.8$ (I) и 90.0 К (II). Ширина перехода по уровню 0.1—0.9: $\Delta T = 4.3$ (I) и 2.5 К (II). По измерению удельного электросопротивления ρ температура перехода по уровню 0.5: $T_c = 92.5$ (I) и 89.5 К (II). Ширина перехода по уровню 0.1—0.9: $\Delta T = 1.6$ (I) и 0.7 К (II). При комнатной температуре $\rho = 3$ (I) и 8 мОм·см (II).

Плотность критического тока определялась индуктивным методом измерения полного потока, описанным Кемпбеллом [4]. На рис. 1 приведены зависимости плотности критического тока от магнитного поля H для образцов I, II. Кроме того, представлены данные $J_c(H)$ для образца I, полученные в результате исследования ВАХ. Результаты двух методов измерений J_c совпадают с точностью 15 %. Несмотря на огромное отличие в величине J_c исследуемых образцов: при 4.2 К в магнитном поле $H = 25$ кЭ $J_c = 16$ А/см² (I) и $3.3 \cdot 10^4$ А/см² (II), характер зависимости $J_c(H)$ одинаков для обоих образцов — в магнитных полях $H \geq 5$ кЭ J_c очень слабо зависит от магнитного поля. В то же время зависимости $J_c(T)$ совершенно различны для этих образцов.

На рис. 2 приведены результаты измерений величины плотности критического тока в относительных единицах от температуры $J_c(T)/J_c(4.2 \text{ К})$ в магнитном поле $H = 25$ кЭ для образцов I (1) и II (2). Так, если для образца I $d^2J_c/dT^2 < 0$, то для образца II $J_c \sim T^{-1}$ и, следовательно, $d^2J_c/dT^2 > 0$.

Зависимости $J_c(H)$ (рис. 1) и $J_c(T)$ (рис. 2) можно объяснить, если рассматривать керамику как совокупность большого числа джозефсоновских переходов. Механизм образования таких переходов, возможно, связан с тем, что в результате произвольного распределения вакансий кислорода в областях, прилегающих к границам гранул, при $T < T_c$ сосуществуют сверхпроводящая S , металлическая N и диэлектрическая I фазы. Различные комбинации этих фаз могут быть причиной возникновения разных типов джозефсоновских переходов.

Различного типа контакты вносят различные вклады в величину J_c . Протекание тока по сверхпроводящим S — S контактам между гранулами

может объяснить существование J_c при $H \geq 5$ кЭ, который слабо зависит от магнитного поля. Однако вклад $S-S$ контактов не является основным, поскольку величина J_c для двух исследованных керамики по-разному зависит от температуры (рис. 2), в то время как для одного типа контактов эти зависимости должны быть одинаковы.

Джозефсоновские переходы вносят основной вклад в величину J_c при $H \leq 5$ кЭ и объясняют сильное падение J_c в слабых полях. Но и в больших полях джозефсоновские контакты, по-видимому, играют основную роль. Действительно, контакты между отдельными гранулами имеют

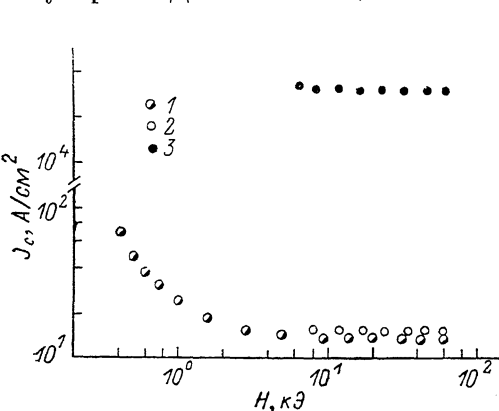


Рис. 1. Зависимости плотности критического тока J_c от магнитного поля при 4.2 К для образцов I (1, 2) и II (3).

1 — резистивный метод; 2, 3 — индуктивный.

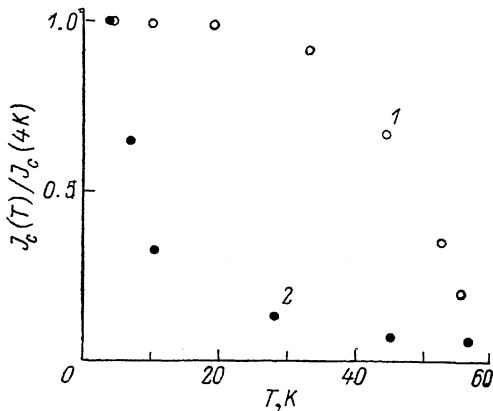


Рис. 2.

большую по сравнению с размерами гранул площадь и весьма неоднородны по сечению. Для неупорядоченного джозефсоновского контакта, как показано в работе [5], сверхпроводящий ток при увеличении магнитного поля стремится не к нулю, а к постоянной, не зависящей от поля, величине.

Для образца I $d^2J_c/dT^2 < 0$, характер поведения $J_c(T)$ соответствует частному случаю джозефсоновских переходов $S-I-S$ типа, который описывается теорией Амбегаокара—Баратова [6]. Для образца II в области температур от 4.2 до 60 К $J_c \sim T^{-1}$. Зависимость $J_c \sim T^{-1/2}$ наблюдалась на поликристаллических пленках $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ [7] и удовлетворительно описывается моделью де Жена для переходов типа $S-I-N-S$ [8]. В нашем случае более сильная зависимость $J_c(T)$ соответствует, по-видимому, формированию переходов $S-N-S$ типа. Этот вывод находится в соответствии с результатами работы [9], где экспериментально исследовалось влияние N - и I -прослоек на зависимость $J_c(T)$ джозефсоновских переходов.

Л и т е р а т у р а

- [1] Kumakura H., Uehara M., Yoshida Y., Togano K. // Phys. Lett. A. 1987. V. 124. N 6—7. P. 367—369.
- [2] Ekin J. W., Braginski A. I., Panson A. J. et al. // J. Appl. Phys. 1987. V. 62. N 12. P. 4821—4828.
- [3] Küpfer H., Green S. M., Jiang C. et al. // Phys. B. Condensed Matter. 1988. V. 71. N 1. P. 63—67.
- [4] Campbell A. M. // J. Phys. C2. 1969. V. 2. N 10. P. 1492—1501.
- [5] Асламазов Л. Г., Фистуль М. В. // ЖЭТФ. 1987. Т. 93. № 3 (9). С. 1081—1087.
- [6] Ambegaokar V., Baratoff R. // Phys. Rev. Lett. 1963. V. 10. N 11. P. 489—491.
- [7] Ogale S. B., Dijkkamp D., Venkatesan T. et al. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. N 14, P. 7210—7213.
- [8] Gennes P. G. // Rev. Mod. Phys. 1964. V. 36. N 1. P. 225—234.
- [9] Rowell N. L., Smith H. J. T. // Can. J. Phys. 1976. V. 54. N 3. P. 223—226.

Институт структурной
макрোকINETИКИ АН СССР
Черноголовка
Московская область

Поступило в Редакцию
25 августа 1988 г.