

05.1;05.4;12

©1995

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ И МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ КРИВЫЕ ВТСП КЕРАМИКИ $YBa_2Cu_3O_y$ С ДЕФИЦИТОМ КИСЛОРОДА ПОСЛЕ ВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКИ

Б.И.Смирнов, Ю.М.Байков, Л.К.Марков, Т.С.Орлова

Как известно, химический состав высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) керамик оказывает существенное влияние на их электрофизические свойства. Так, удаление кислорода из $YBa_2Cu_3O_y$ ($YBCO$) керамики приводит к орто-тетра переходу и исчезновению сверхпроводимости. В то же время сверхпроводящие свойства керамики с пониженным содержанием кислорода очень существенно зависят от способа извлечения последнего из исходной керамики с $y \simeq 7$ [1]. Например, при уменьшении содержания кислорода до $y \simeq 6.7$ путем водородной (низкотемпературной) обработки сохраняется критическая температура $T_c = 80-90$ К, тогда как после термовакуумного (высокотемпературного) способа извлечения $T_c \lesssim 60$ К. На возможность получения $YBCO$ керамик с новыми свойствами путем взаимодействия их с водородом впервые было указано в [2], и с тех пор интерес к этой проблеме все возрастает, а также расширяется круг изучаемых материалов и используемых методов исследования (см., например, обзор [1]).

В настоящей работе была поставлена задача экспериментально исследовать влияние механических напряжений и магнитного поля на вольт-амперные характеристики (ВАХ) ВТСП керамики $YBa_2Cu_3O_{6.7}$, полученной путем водородной обработки.

Образцы для испытаний были получены по методике, состоящей из двух этапов. Вначале стандартным способом, путем твердофазной реакции исходных реактивов Y_2O_3 , $BaCO_3$ и CuO получались керамики $YBa_2Cu_3O_y$ с $y = 6.93$ [3]. Далее образцы модифицировались путем водородной обработки. При этом режим обработки характеризовался следующими параметрами: начальное давление водорода в калиброванном объеме (1500 см^3) — 360 Ра, температура — 470 К. При этом ловушка, входящая в состав объема реактора, постоянно охлаждалась жидким азотом. Уменьшение содержания кислорода в образцах в результате водо-

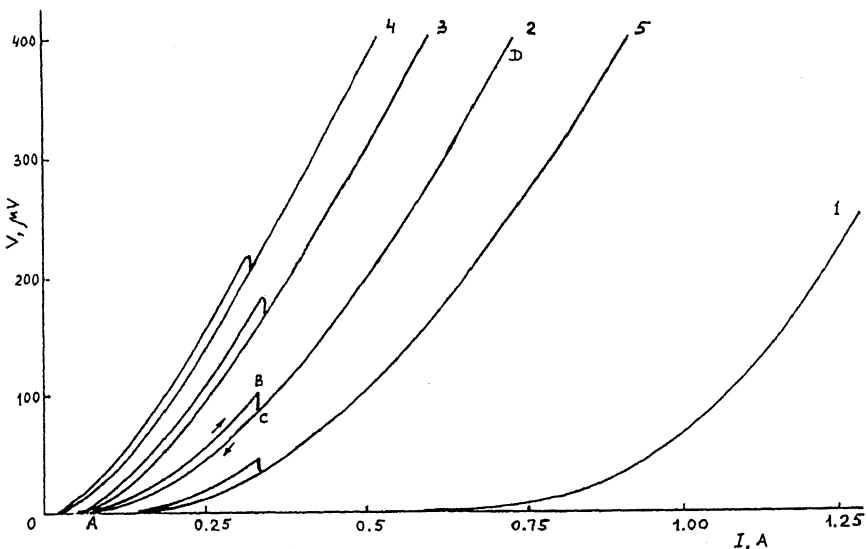


Рис. 1. Вольт-амперные кривые керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.7}$ для разных значений внешнего магнитного поля H , Oe: 1, 5 — 0; 2 — 10; 3 — 20; 4 — 40. 5 — после выдержки в магнитном поле $H = 80$ Oe.

родной обработки определялось по падению давления в реакторе, изменению веса образцов, а также по количеству воды, выделяемой из ловушки. Эксперименты проводились на образцах с изменением $\Delta y = -0.23 \pm 0.01$, т. е. $y = 6.70 \pm 0.02$.

Рабочие образцы имели начальные размеры примерно $2 \times 2 \times 4$ мм. Измерения ВАХ производились при 77 К четырехзондовым методом. При этом токовые контакты (индий) наносились на торцы образца, а потенциальные располагались вдоль его оси [3]. Величина критического тока определялась по критерию $1 \mu\text{V}/\text{mm}$. Для измерения ВАХ в магнитном поле H , параллельном транспортному току I , образцы помещались в катушку с током. Критическая температура T_c образцов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.7}$ была около 85 К, плотность критического тока без магнитного поля $j_{co} \approx 25 \text{ A}/\text{cm}^2$.

Нагружение образцов производилось сжатием вдоль наибольшего размера. При этом нагрузка P могла прикладываться как до начала эксперимента (снимались ВАХ при разных P), так при некотором значении транспортного тока $I \parallel P$. В последнем случае измерялось изменение напряжения ΔV на ВАХ в результате нагружения при $I = \text{const}$.

На рис. 1 представлены данные о влиянии магнитного поля на ВАХ образцов, обработанных водородом. Видно, что, во-первых, для таких образцов в магнитном поле наблюдается очень резкое смещение ВАХ влево, т. е. падение критического тока уже при малых H . Во-вторых, ВАХ образцов с $y = 6.7$ в магнитном поле демонстрируют гистерезис, аналогичный наблюдавшемуся ранее на охлажденных в магнитном поле YBCO керамиках [4], а также на композитах YBCO/Ag [5]. Указанный гистерезис проявляется в том, что в процессе увеличения транспортного тока при некотором значении $I > I_c(H)$ на вольт-амперной кривой происходит резкий спад напряжений V (точка B на кривой 2, рис. 1), после чего указанная кривая как бы переходит на новую (нижнюю) ветвь (участок CD). При убывании тока ВАХ является плавной и соответствует этой новой ветви (участок DCA). Если ток выключить, то после выдержки в течение некоторого времени гистерезис ВАХ наблюдается вновь. Если же ток снижается лишь до значений $I \simeq I_c(H)$, то при повторном испытании гистерезис отсутствует и ВАХ следует по пути ACD . Примечательно, что значение тока срыва I_f ($j_f \simeq 11$ А/см²) практически не зависит от величины H , хотя относительная величина скачка напряжений в магнитном поле убывает. Гистерезис ВАХ наблюдается при том же токе срыва I_f и в образце с захваченным магнитным потоком после выключения магнитного поля (кривая 5, рис. 1). В исходных образцах с $y = 6.93$ подобный гистерезис ВАХ не наблюдался [6].

Что касается изменения критического тока I_c в зависимости от магнитного поля для образцов с $y = 6.93$ и 6.67 , то в обработанных водородом образцах отношение $I_c(H)/I_{c0}$ уменьшается с увеличением H значительно быстрее, чем для исходных образцов. Зависимости обратных величин $I_{c0}/I_c(H)$ от H в первом приближении являются линейными и могут быть представлены выражением

$$I_{c0}/I_c(H) \simeq 1 + K(H - H'),$$

где $K = 0.15$ и 0.6 Ое⁻¹, а $H' = 14$ Ое и нулю соответственно для исходного и обработанного водородом образцов.

Изменение ВАХ обработанного водородом образца под действием сжимающих напряжений σ при $H = 0$ показано на рис. 2. Отчетливо видно смещение ВАХ в сторону больших токов по мере увеличения σ , однако эффект нагрузки нарастает не линейно (см. зависимость ΔI от σ при $V = \text{const}$ на вставке рис. 2). Для критического тока I_{c0} и $\sigma = 8$ МПа величина $\Delta I_c/(I_{c0} \cdot \sigma) \simeq 10$ ГПа⁻¹. Такой же характер изменения ВАХ наблюдается и при сжатии исходных образцов с $y = 6.93$ [6-8].

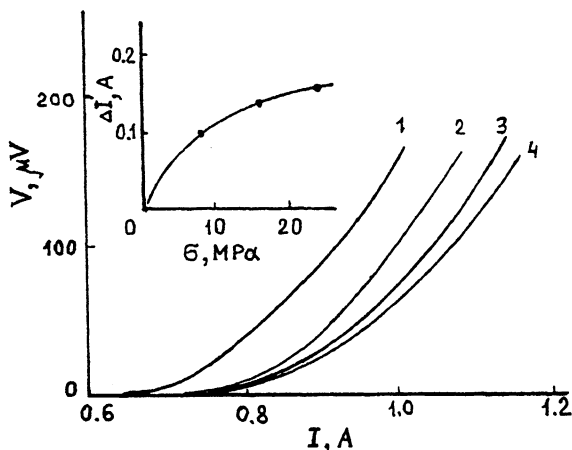


Рис. 2. Влияние сжимающих напряжений на ВАХ керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.7}$ при $H = 0$. σ , МПа: 1 — 0, 2 — 8, 3 — 16, 4 — 24. На вставке показана зависимость смещения ВАХ ΔI от σ при $V = 50$ μV .

Таким образом, эксперименты показывают, что влияние механических напряжений на ВАХ сохраняется и при понижении содержания кислорода в исходной YBCO керамике ($y = 6.93$) до значений $y = 6.7$ путем ее водородной обработки. В то же время на образцах с $y = 6.7$ резко возрастает чувствительность критического тока к магнитному полю. Кроме того, в магнитном поле появляется своеобразный гистерезис вольт-амперных кривых, которые состоят как бы из двух ветвей. Ранее подобный гистерезис наблюдался в композитах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y/\text{Ag}$ [5] и в чистых YBCO керамиках, охлажденных в магнитном поле [4].

Относительно природы появления гистерезиса ВАХ в композитах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.93}/\text{Ag}$ (10 вес.%) считается [5], что он связан с изменением при легировании серебром характера межгранульных слабых связей от $S-I-S$ типа преимущественно к типу $S-N-S$ [9] и резким перераспределением магнитного потока в образце под действием транспортного тока. Изменяется тип слабых связей и при удалении кислорода путем термовакуумной обработки бикристаллической YBCO пленки [10]. По-видимому, при водородной обработке образцов также возможно изменение характера слабых связей.

Что касается влияния механических напряжений (деформаций) на ВАХ, то оно скорее всего связано с воздействием указанных напряжений на мостики — микронные переемычки между гранулами [11]. Можно полагать, что при водородной обработке образцов характер этих мостиков существенно не изменяется и поэтому эффект механических напряжений сохраняется.

Список литературы

- [1] Шалкова Е.К., Байков Ю.М., Ушакова Т.А. // СФХТ. 1992. Т. 5. № 1. С. 24-45.
- [2] Reilly J.J., Suenaga M., Johnson J.R., Thompson P., Moodenbaugh A.R. // Phys. Rev. B. 1987. V. 36. N 10. P. 5694-5697.
- [3] Орлова Т.С., Смирнов Б.И., Шпейзман В.В., Степанов Ю.П., Чернова С.П. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 4. С. 1031-1037.
- [4] Марков Л.К., Шпейзман В.В. // ФТТ. 1991. Т. 33. № 11. С. 3308-3314.
- [5] Смирнов Б.И., Орлова Т.С. // ФТТ. 1994. Т. 36. № 12. С. 3542-3547.
- [6] Марков Л.К., Смирнов Б.И., Шпейзман В.В. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 9. С. 2818-2820.
- [7] Smirnov B.I., Orlova T.S., Shpeizman V.V. // J. Mech. Behavior of Materials. 1992. V. 3. N 4. P. 245-255.
- [8] Дамм Э., Орлова Т.С., Смирнов Б.И., Шпейзман В.В. // ФТТ. 1994. Т. 36. № 8. С. 2465-2471.
- [9] Jung J., Isaak I., Mohamed M.A.-K. // Phys. Rev. B. 1993. V. 48. N 10. P. 7526-7536.
- [10] Wu K.H., Fu C.M., Chen M.F., Jeng W.J., Juang J.I., Uen T.M., Gou Y.S. // Proc. 4-th, World Congress on Superconductivity (27 June-1 July 1994, Orlando, Fl., USA), in press.
- [11] Мейлихов Е.З. // СФХТ. 1991. Т. 4. № 12. С. 2297-2309.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе РАН
С.-Петербург

Поступило в Редакцию
16 февраля 1995 г.