

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОБРАТИМЫЙ ЭФФЕКТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ВТСП КЕРАМИКЕ

Б.И.Смирнов, Т.С.Орлова, А.Н.Кудымов

Ранее нами [1-3] было обнаружено обратимое изменение вольт-амперных характеристик (ВАХ) керамических высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) типа $YBaCuO$ и $BiPbSrCaCuO$ во внешнем электростатическом поле. Как оказалось, под действием поля происходит изменение критического тока I_c , а также проводимости образцов при токах $I > I_c$. При этом эффект поля в ВТСП керамиках качественно отличается от такового в очень тонких ВТСП пленках (см. обзоры [4,5]), в которых он объясняется изменением концентрации носителей (дырок) в тонком приповерхностном слое толщиной порядка 5 \AA [6]. В [2,3] было высказано предположение, что эффект поля в ВТСП керамиках скорее всего связан с воздействием поля на слабые связи в границах зерен, однако возможный конкретный механизм этого воздействия остается неясным. Поскольку характеристики сверхпроводников со слабыми связями очень существенно зависят от магнитного поля, представляет интерес выяснение особенностей эффекта электрического поля при наличии последнего. Исходя из этого, в настоящей работе были поставлены эксперименты по влиянию магнитного поля на указанный эффект в $YBaCuO$ керамике.

В результате было установлено, что эффект электрического поля на критический ток и ВАХ по мере увеличения магнитного поля существенно уменьшается, а затем исчезает.

Исследовалась ВТСП керамика $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ($x \approx 0.07$) с критической температурой $T_{co} \approx 91\text{ K}$, приготовленная по стандартной и описанной ранее технологии [7]. Использовались образцы с размерами $1.5 \times 2 \times 4\text{ mm}$, на боковую поверхность ($2 \times 4\text{ mm}$) которых наносились четыре индиевых контакта для измерения ВАХ. Перед навесением контактов с поверхности образца обычно удалялся слой толщиной около 0.2 mm .

Эксперимент по влиянию внешнего электрического поля на I_c и ВАХ образцов проводился при 77 K в системе электрод-диэлектрик-сверхпроводник аналогично [1]. Высокое напряжение U прикладывалось к полевому электроду, который поджимался к широкой грани образца без контактов через фторопластовую пленку толщиной $t = 50\text{ \mu}$. Через токовые контакты, один из которых был заземлен, пропускаться постоянный ток I и измерялось напряжение на потенциальных контактах V . Критический ток I_c определялся по уровню 1 \mu V/mm .

Опыты с электрическим полем начинались с получения зависимости I_c от напряженности поля E , максимальные значения которой достигали 120 MV/m . Далее в принципе могли быть получены ВАХ для различных значений E , однако в большинстве случаев измерялись зависимости от E напряжений V при некоторых заданных значениях

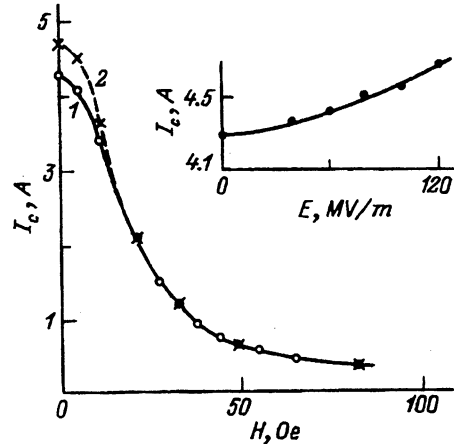


Рис. 1. Зависимости критического тока I_c от магнитного поля H для разных значений электрического поля. E (MV/m): 1 — 0, 2 — 120. На вставке — зависимость $I_c(E)$ при $H = 0$.

$I = \text{const}(I > I_c)^{[1-3]}$. После этого аналогичные исследования проводились в магнитном поле, которое было направлено параллельно электрическому полю и создавалось катушкой с током. Следует отметить, что ток утечки в системе электрод-диэлектрик-сверхпроводник при максимальном напряжении $U = 6$ kV не превышал 3 нА, в то время как транспортный ток мог достигать нескольких ампер.

Результаты по влиянию электрического E и магнитного H полей на критический ток представлены на рис. 1. Видно, что при $H = 0$ критический ток I_c возрастает по мере увеличения E (вставка на рис. 1) и при отрицательном потенциале на электроде $U = -6$ kV ($E = U/t = 120$ MV/m) изменение $\Delta I_c/I_c \approx 10\%$. При включении магнитного поля эффект электрического поля быстро уменьшается и при $H \gtrsim 20$ Oe практически пропадает. Следует отметить, что исчезновение эффекта не связано просто с понижением величины I_c в магнитном поле, так как на другом образце, у которого $I_c = 0.6$ А, эффект поля наблюдается и при $H = 0$.

Качественно аналогичный эффект магнитного поля проявляется и на зависимостях потенциального напряжения V на ВАХ от напряженности электрического поля. Примеры подобных зависимостей для исходного напряжения $V_0 = 50 \mu\text{V}$ и разных значений H показаны на рис. 2. При этом в процессе получения зависимости $V(E)$ в заданном магнитном поле $I = \text{const}$, хотя само значение I с ростом H , естествен-

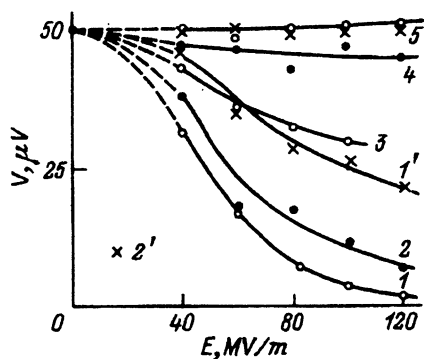


Рис. 2. Зависимости напряжений V от электрического поля E для двух образцов с различными критическими токами 4.3 (1-5) и 2.5 А (1', 2') при разных значениях магнитного поля и тока. H (Oe), I (A): 1 — 0, 4.9; 2 — 5.5, 4.8; 3 — 11, 4.0; 4 — 22, 3.1; 5 — 33, 2.3; 1' — 0, 3.3; 2' — 22, 2.5.

но, уменьшается. Как видно, при $H = 0$ (кривые 1 и 1') для образцов с разными I_c напряжение V существенно убывает с увеличением E , т.е. наблюдается типичный эффект электрического поля в керамике [1]. Включение уже небольшого магнитного поля (5.5 Ое) приводит к снижению этого эффекта, который быстро уменьшается с увеличением H и при $H \gtrsim 20$ Ое практически пропадает. Сопоставление кривых для образцов с разными I_c и примерно равными значениями $I \simeq 3$ А (кривые 4 и 1' на рис. 2) также свидетельствует о том, что эффект магнитного поля связан не с уменьшением величины I , а с наличием указанного поля. Существенно еще отметить, что качественно такое же влияние магнитного поля на эффект электрического поля наблюдается и при положительном потенциале на электроде.

Таким образом, из полученных результатов следует, что при $T < T_c$ в большом электростатическом поле критический ток ВТСП керамики $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ возрастает независимо от знака этого поля. В то же время при включении даже небольшого поля $H \simeq 20$ Ое указанный эффект поля пропадает. В магнитном поле исчезает и эффект электрического поля на ВАХ.

Наличие такого сильного влияния магнитного поля на эффект электростатического поля еще раз показывает, что физика последнего в ВТСП керамиках скорее всего определяется присутствием в них большого количества слабых связей. Более полное выяснение природы наблюдаемых эффектов требует, конечно, дальнейших исследований.

Список литературы

- [1] Смирнов В.И., Криштопов С.В., Орлова Т.С. // ФТТ. 1992. Т. 34. № 8. С. 2482–2486.
- [2] Смирнов В.И., Орлова Т.С., Криштопов С.В. // ФТТ. 1993. Т. 35. № 8. С. 2250–2255.
- [3] Смирнов В.И., Орлова Т.С., Кауфманн Х-Й. // ФТТ. 1994. Т. 36. № 2. С. 460–464.
- [4] Mannhart J. // Modern Physics Letters B. 1992. V. 6. N 10. P. 555–571.
- [5] Xi X.X., Venkatesan T. // Physics News in 1992 / Ed. P.F. Schewe. American Institute of Physics. N.Y., 1993. P. 44–45.
- [6] Xi X.X., Doughty C., Walkenhorst A., Kwon C., Li Q., Venkatesan T. // Phys. Rev. Lett. 1992. V. 68. N 8. P. 1240–1243.
- [7] Орлова Т.С., Смирнов В.И., Шпейзман В.В., Степанов Ю.П., Чернова С.П. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 4. С. 1031–1037.

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

Поступило в Редакцию
23 декабря 1993 г.