

УДК 537.312.62

©1994

ОСОБЕННОСТИ ЭФФЕКТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ВТСП-КЕРАМИКАХ

Б.И.Смирнов, Т.С.Орлова, Х.-Й.Кауфманн

Экспериментально изучалось влияние изменений в измерительной системе электрод-диэлектрик-сверхпроводник на эффект электрического поля в ВТСП-керамике $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$. Установлено, что эффект поля не является следствием наличия токов утечки и не определяется явлениями в тонком приповерхностном слое образца, примыкающем к электроду. При этом эффект качественно отличается от эффекта поля в тонких пленках и скорее всего связан с воздействием поля на слабые связи в границах зерен.

Начиная с 1991 г. все большее внимание уделяется изучению обратимого эффекта электрического поля в ВТСП в системе электрод-диэлектрик-сверхпроводник. При этом в подавляющем большинстве работ объектами исследования являются ВТСП-пленки малой толщины (см., например, первые работы [1-4], а также имеющиеся уже краткие обзоры [5,6]). Обусловлено это тем, что влияние электрического поля на проводимость ВТСП обычно связывается с изменением концентрации носителей (дырок), которое должно проявляться главным образом лишь в приповерхностном к электроду слое на расстояниях порядка глубины проникновения поля, т.е. примерно 5 \AA [4].

В то же время эффект поля наблюдается и в толстых ВТСП-керамиках и пленках [7-9]. При этом влияние поля на вольт-амперные характеристики (ВАХ) ВТСП-керамик и пленок отличается качественно [9]. Само наличие существенного эффекта поля в ВТСП-керамиках, его отличие от такового в тонких пленках, а также значительное уменьшение эффекта в тонких пленках с увеличением их толщины свидетельствуют о возможной разнице в природе наблюдаемых эффектов.

Кроме того, при изучении эффекта поля дополнительно может сказываться и разница в методике приготовления систем электрод-диэлектрик-сверхпроводник в разных исследованиях. Так, в случае тонких пленок указанные системы обычно получают путем последовательного напыления на электрод тонкого слоя диэлектрика и ВТСП-пленки, тогда как в случае керамики система электрод-диэлектрик-сверхпроводник образуется за счет взаимного поджатия элементов. Поэтому существенным является проверка наличия или отсутствия эффекта поля, а также его величины при вариации способа сборки этой системы.

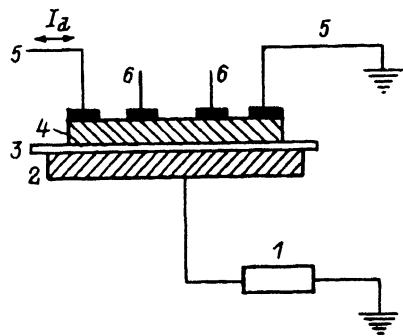


Рис. 1. Схема исследования эффекта электрического поля на ВАХ ВТСП-керамик.

1 — источник высокого напряжения, 2 — металлический электрод, 3 — диэлектрическая пленка, 4 — керамический образец, 5 — токовые, 6 — потенциальные контакты.

В настоящей работе¹ такая проверка производилась в двух вариантах, а именно: 1) при отсутствии диэлектрика в системе и 2) при наличии металлической прослойки между диэлектриком и ВТСП-образцом.

Исследовалась ВТСП-керамика $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ($x \approx 0.07$) с критической температурой $T_{co} \approx 91$ К, приготовленная по стандартной и описанной ранее технологии [10,11]. Использовались образцы с размерами $1.5 \times 2 \times 4$ мм, на боковую поверхность (2×4 мм) которых наносились четыре индиевых контакта для измерения ВАХ. Перед нанесением контактов с поверхности удалялся слой толщиной около 0.2 мм.

Обычный эксперимент по влиянию внешнего электрического поля на ВАХ образцов проводился в системе металлический электрод-диэлектрик-сверхпроводник (рис. 1) при 77 К, т.е. при $T > T_c$. Высокое отрицательное напряжение U от источника [1] прикладывалось к нулевому электроду [2], который был изолирован от образца [4] фторопла-

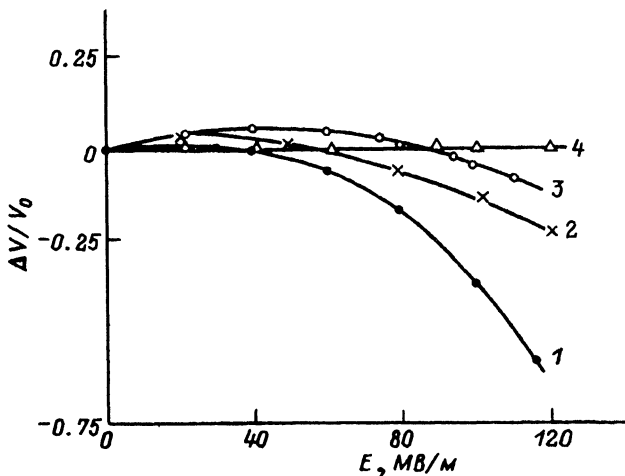


Рис. 2. Зависимости $(\Delta V/V)$ (E), полученные по схеме на рис. 1 для разных значений V_0 .

1 — 5, 2 — 75, 3 — 280, 4 — 700 мкВ.

¹ Результаты работы докладывались на Международной конференции по физике и химии молекулярных и оксидных сверхпроводников (27-31 июля 1993 г., г.Юджин, Орегон, США).

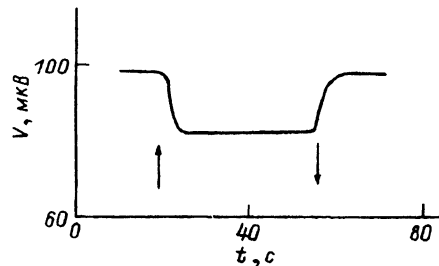


Рис. 3. Изменение величины V в результате включения и выключения электрического поля $E = 80$ МВ/м при наличии в схеме на рис. 1 металлической фольги между диэлектриком и образцом. Стрелками показаны моменты включения и выключения поля.

стовой пленкой [3] толщиной $t = 50$ мкм. Через токовые контакты [5] пропускаться постоянный транспортный ток I_d (больше критического I_c) и измерялось напряжение V на потенциальных контактах [6]. При этом один из токовых или потенциальных контактов был заземлен. Далее включалось электрическое поле и определялось изменение величины V в зависимости от напряженности поля $E = U/t$ до значений $E = 120$ МВ/м при $I_d = \text{const}$. Зависимости $V(E)$ получались для разных исходных значений V_0 , т.е. для разных транспортных токов I_d . Ток утечки I_g в системе электрод-диэлектрик-сверхпроводник при максимальном напряжении $U \approx 6$ кВ не превышал 3 нА, в то время как транспортный ток мог достигать сотен миллиампер.

На рис. 2 представлены зависимости относительного изменения напряжений $\Delta V/V_0$ от напряженности электрического поля одного из иттриевых образцов. Видно, что, как и в [7], для малых значений V_0 величина $\Delta V/V_0$ вначале с увеличением E несколько возрастает, а затем, проходя через максимум, уменьшается и становится отрицательной. При этом для некоторых образцов при $E \geq 100$ МВ/м возможно даже достижение значений $\Delta V/V_0 = -1$, т.е. образец в поле может вернуться в сверхпроводящее состояние [7]. При больших $V \gtrsim 500$ мкВ эффект поля на ВАХ практически пропадает.

Далее для проверки предположения о том, что наблюдаемые эффекты определяются токами утечки, возникающими при включении поля, были проведены специальные опыты, в которых диэлектрик 3 (рис. 1) из системы был удален, а высоковольтный источник заменен на источник постоянного тока. Затем были измерены зависимости напряжения V от величины тока утечки I_g для различных исходных значений V_0 при разных $I_d = \text{const}$. При этом величина I_g варьировалась в пре-

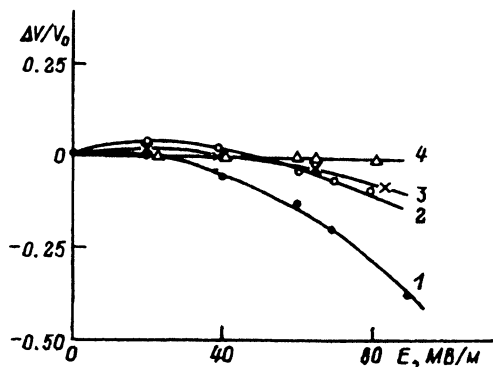


Рис. 4. Зависимости $(\Delta V/V_0)(E)$ при наличии в системе на рис. 1 металлической фольги для разных значений V_0 . 1 — 15, 2 — 140, 3 — 390, 4 — 600 мкВ.

делах $10^{-2} - 10^2$ мкА. В результате оказалось, что изменение I_g в указанных пределах не влияет на величину V при $I_d = \text{const}$. Иначе говоря, определенно можно утверждать, что наблюдаемый на опыте эффект поля не является результатом наличия тока утечки.

Следующий эксперимент был проведен в условиях, когда между диэлектриком [3] и ВТСП-образцом [4] (рис. 1) была проложена металлическая (алюминий) фольга толщиной 15 мкм. Изменение напряжения на потенциальных контактах при включении и выключении поля в этом случае показано на рис. 3. Как видно, включение достаточно большого поля приводит к понижению величины V , которая вновь восстанавливается при выключении поля. Иначе говоря, эффект поля наблюдается и при наличии тонкой металлической прослойки между диэлектриком и ВТСП-керамикой.

Зависимости $\Delta V/V_0 = f(E)$ в опыте с фольгой представлены на рис. 4. При этом использовался образец, аналогичный измерявшемуся ранее в опытах без прослойки (рис. 2). Из сопоставления рис. 2 и 4 видно, что представленные на них кривые подобны и практически не отличаются по величине эффекта.

Таким образом, на основании полученных результатов можно утверждать, что эффект поля в ВТСП-керамиках не является следствием наличия тока утечки и не определяется явлениями в тонком приповерхностном слое образца, примыкающем к электроду. При этом эффект наблюдается только для сверхпроводящих образцов при $T < T_c$ и качественно отличается от эффекта поля в тонких пленках [9].

Что касается природы эффекта поля в ВТСП-керамиках, то, как уже отмечалось в [9], он скорее всего связан с воздействием поля на слабые связи в границах зерен в виде диэлектрических или полупроводниковых прослоек, а также сверхпроводящих «включений» с пониженными значениями T_c . Специальные опыты [12] на тонких пленках, содержащих искусственно введенные слабые связи, действительно обнаруживают значительное увеличение эффекта поля в этом случае. В то же время возможный конкретный механизм воздействия поля на слабые связи остается до сих пор не ясным, и для его выяснения необходимо проведение дальнейших исследований.

Работа выполнена в рамках проекта № 92003 Государственной программы по высокотемпературной сверхпроводимости.

Список литературы

- [1] Mannhart J., Bednorz J.G., Müller K.A., Schlom D.G. // Z. Phys. 1991. V. B83. N 3. P. 307-311.
- [2] Mannhart J., Schlom D.G., Bednorz J.G., Müller K.A. // Phys. Rev. Lett. 1991. V. 67. N 15. P. 2099-2101.
- [3] Xi X.X., Li Q., Doughty C., Kwon C., Bhattachorya S., Findikoglu A.T., Venkatesan T. // Appl. Phys. Lett. 1991. V. 59. N 26. P. 3470-3472.
- [4] Xi X.X., Doughty C., Walkenhorst A., Kwon C., Li Q., Venkatesan T. // Phys. Rev. Lett. 1992. V. 68. N 8. P. 1240-1243.
- [5] Mannhart J. // Modern Physics Letters B. 1992. V. 6. N 10. P. 555-571.
- [6] Xi X.X., Venkatesan T. // Physics News in 1992 Ed. P.F.Schewe and B.P.Stein. American Institute of Physics, N.Y., 1993. P. 44-45.
- [7] Смирнов Б.И., Криштопов С.В., Орлова Т.С. // ФТТ. 1992. Т. 34. № 8. С. 2482-2486.
- [8] Леманов В.В., Холкин А.Л., Шерман А.В. // Письма в ЖЭТФ. 1992. Т. 56. № 11. С. 580-583.

- [9] Смирнов Б.И., Криштопов С.В., Орлова Т.С. // ФТТ. 1993. Т. 35. № 8. С. 2482-2487.
- [10] Орлова Т.С., Смирнов Б.И., Шпейзман В.В., Степанов Ю.П., Чернова С.П. // ФТТ. 1990. Т. 32. № 4. С. 1031-1037.
- [11] Shpeizman V.V., Orlova T.S., Smirnov B.I., Markov L.K., Engert J., Kaufmann H.-J., Rudolf K., Matz W. // Cryst. Res. Technol. 1990. V. 25. N 7. P. 827-831.
- [12] Mannhart J., Ströbel J., Bednorz J.G., Gerber Ch. // Appl. Phys. Lett. 1993. V. 62. N 6. P. 630-632.

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

Поступило в Редакцию
8 сентября 1993 г.

