

05.2; 05.4

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОНТАКТА
 $Ag - YBa_2Cu_3O_{7-x}$ В ОБЛАСТИ ТЕМПЕРАТУР 20–800 °С

В.Г. Б е с с е р г е н е в, В.Я. Д и к о в с к и й

Для многих практических приложений высокотемпературных сверхпроводящих керамик важное значение имеют физические характеристики электрических контактов металл–керамика. В настоящее время наибольшее распространение получили электрические контакты, выполненные из благородных металлов [1, 2].

В данной работе изучались электрические характеристики серебряных контактов в интервале температур 20–800 °С. Исследовалась температурная и временная стабильность контакта, а также зависимость его токонесущей способности от величины и направления тока. Исследования проводились на образцах $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, приготовленных по обычной керамической технологии. Используемые образцы были рентгеновски однофазны с температурой сверхпроводящего перехода $T_C = 92.9$ К (температура обращения электросопротивления R в ноль) и шириной перехода $\Delta T_C \approx 1$ К. Образцы имели форму параллелепипеда с размерами $2 \times 2 \times 10$ мм³. Электрические контакты выполнялись из серебра высокой чистоты и цементировались серебряной пастой с последующим отжигом в течении трех часов при температуре ~ 800 °С. В каждый образец было вмонтировано по четыре контакта. Площадь каждого контакта по оценкам составляла ≈ 2 мм². В процессе измерений образцы подвешивались в печи и не касались ее стенок. Для изучения свойств контактов металл–керамика проводилось измерение электросопротивления образцов на постоянном токе как в четырехзондовой, так и в двухзондовой схемах. В последнем случае состояние контактов контролировалось по стабильности величины тока, задаваемого источником напряжения.

В процессе исследования было установлено, что при протекании тока электрические свойства контакта могут изменяться. Эти изменения сводятся к следующему. При длительном пропускании тока плотности ~ 5 А/см² в одном направлении, проводимость контакта в этом направлении становится преимущественной. При перемене полярности тока его величина уменьшается на 2–3%. Это уменьшение, начиная с некоторого момента, сопровождается значительной нестабильностью, броски тока достигают 10% от первоначальной величины. На рис. 1 представлены записанные на самописец характерные зависимости тока от времени (начало кривой соответствует моменту изменения полярности тока). Из полученных данных следует, что при протекании тока контактные области приобретают в некоторой степени свойства р–п переходов. Сопоставляя распределение потенциала между токовыми и потенциальными контактами

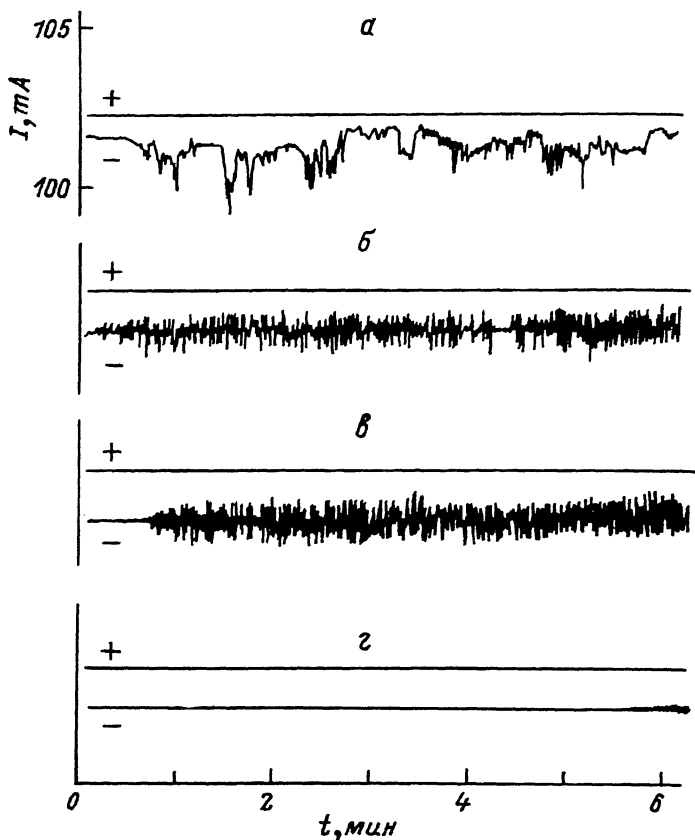


Рис. 1. Временные зависимости тока через образец, измеренные в двух направлениях при температурах: а - $T = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$; б - $T = 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$; в - $T = 500 \text{ }^{\circ}\text{C}$; г - $T = 700 \text{ }^{\circ}\text{C}$. На кривых а - постоянная и переменная составляющие тока. На кривых б, в, г - только переменные составляющие тока.

образцов, при пропускании тока мы установили, что описанные эффекты локализованы всегда вблизи положительного токового электрода. Именно в этой области происходит увеличение сопротивления образца для тока противоположной полярности. Характерно также, что после выключения тока и разрыва внешней цепи положительной токовый электрод сохранял относительно остальных контактов остаточный потенциал, достигающий 30 мкВ. Величина этого напряжения сильно зависела от температуры. Между остальными электродами остаточное напряжение было существенно меньше и могло быть связано с термоэлектрическими эффектами.

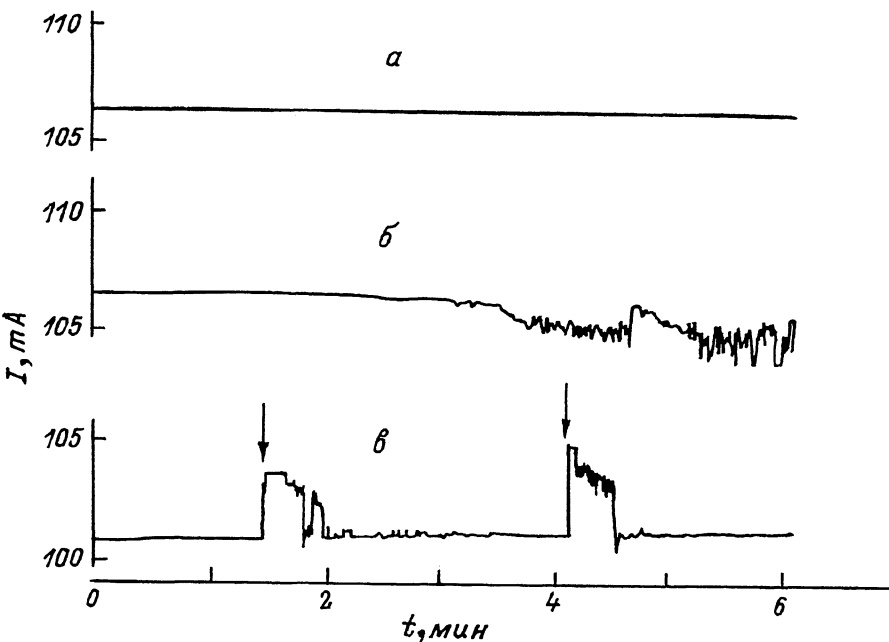


Рис. 2. Зависимость постоянного тока от времени при наличии воздействия импульсного напряжения на образец.

Наличие остаточного напряжения и увеличение сопротивления контакта может указывать на возникновение запирающего слоя вблизи положительного электрода. Отметим, что описанные эффекты наблюдаются во всей исследованной температурной области, т.е. как в орторомбической, так и в тетрагональной кристаллической модификации образца. Характерной особенностью кривых, показанных на рис. 1, является также то, что нестабильность тока может возникать не сразу, а с запаздыванием. Время запаздывания варьируется в широких пределах и может достигать 5–10 минут.

По-видимому, существует несколько параметров, существенно влияющих на развитие нестабильности, таких например, как амплитуда и время нарастания тока при переключении. Поэтому представляет интерес изучение динамики токовой нестабильности при импульсном воздействии тока на образец. Для проведения такого исследования одновременно с постоянным током на образец подавались импульсы напряжения с амплитудой до 1 В длительностью от 0,5 до 1 мкс. В эксперименте варьировалась частота следования импульсов от 40 до 100 Гц, их полярность и амплитуда. Было установлено, что существует пороговое значение напряжения импульса на образце $U_{пор} \approx 0.7$ В, выше которого свойства запирающего слоя начинают изменяться под действием импульсного напряжения. Из рис. 2, а видно, что при импульсном воздействии на образец, когда амплитуда им-

пульса $U_{имп}$ превышает пороговое значение $U_{пор}$, постоянный ток через образец одинаков в обоих направлениях и нестабильности не наблюдается. После окончания действия импульсного напряжения на образец асимметрия проводимости контактов восстанавливается. На рис. 2, б показан процесс восстановления асимметрии – импульсное напряжение отключено в начале кривой. Видно, что электрический ток через контакт со временем уменьшается и появляются нестабильности тока. Время восстановления асимметрии существенно изменяется с температурой (при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t \approx 40$ мин, при $T = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t \approx 2$ мин и при $T = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ $t \approx 30$ с. При амплитуде импульса $U_{имп} > 1$ В к аналогичным результатам приводит и однократное импульсное воздействие. На рис. 2, в показана релаксация тока, протекающего в „трудном“ направлении после воздействия однократного импульса, когда $U_{имп} > U_{пор}$ и длительность импульса 1 мкс. Импульсный ток при этом противоположен постоянному. Моменты приложения однократного импульса отмечены на рисунке стрелками. В случае, когда импульсный и постоянный ток протекают в „легком“ направлении, изменений не происходит.

Описанные эффекты свидетельствуют об образовании в некоторой приконтактной области запорного слоя под действием постоянного электрического тока достаточной плотности. Запорный слой легче образуется при высоких температурах. Однако после возникновения он существует и проявляет описанные свойства во всей исследованной температурной области от 20° до $800\text{ }^{\circ}\text{C}$. На наш взгляд, причиной возникновения такого слоя является электродиффузия кислорода, который в системе $Y-Va-Cu-O$ характеризуется высокой подвижностью [3, 4].

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] S a t o n R., S e l i m R., B u o n c r i s t i a n i A.M., B y v i k C.E. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 52. N 12. P. 1014-1016.
- [2] E k i n J.W., P a r s o n A.J., B l a n k e n s h i p B.A. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 52. N 4. P. 331-333.
- [3] M u n a k a t a F. et al. // Jap. J. of Appl. Phys. 1987. V. 26. N 8. L. 1292-1293.
- [4] Г о л о в а ш к и н А.И., И в а н е н к о О.М. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. В. 8. С. 325-327.

Институт неорганической
химии СО АН СССР,
Новосибирск

Поступило в Редакцию
25 июля 1988 г.
В окончательной редакции
13 марта 1989 г.