

05.4; 12

© 1992

ЗАЩИТА СИЛЬНОТОЧНЫХ КОНТАКТОВ
ВТСП-МЕТАЛЛ С ПОМОЩЬЮ УПРАВЛЯЕМОГО
ТЕКСТУРИРОВАНИЯ ТОКОНЕСУЩЕГО ЭЛЕМЕНТАА.Ю. В о л к о в, А.А. Б у ш,
С.Н. Г о р д е е в

Разработка технологии низкоомных механически прочных токовых контактов в ВТСП элементах имеет важное значение как для практических применений, так и для проведения исследовательских работ. В частности, неоднократно отмечалось, что качество токовых контактов и их нагрев измерительным током оказывают значительное влияние на результаты измерений различных параметров сверхпроводников [1, 2].

Как известно, именно приконтактные участки сильноточных токонесящих элементов являются наиболее слабыми местами и первыми выходят из строя от тепловых нагрузок [3, 4]. Это связано с тем, что на сегодняшний день не существует сверхпроводящих контактов к ВТСП. Из известных авторов работ, наиболее низкоомные контакты при 77 К имеют удельное поверхностное сопротивление $\sim 10^{-9} - 10^{-12}$ Ом·см² [5-7]. Однако даже при малых контактных сопротивлениях имеет место разогрев приконтактных участков джоулевым теплом, что вызывает уменьшение плотности критического тока j_c на этих участках, причем это снижение продолжается по мере увеличения времени протекания тока через контакты [7]. В результате развития этого процесса слой, непосредственно примыкающий к границе раздела металл-сверхпроводник, первым переходит в нормальное состояние. Поскольку удельное сопротивление металлокерамики довольно велико (~ 1.0 Ом·Ом \times см), тепловыделение в нормальном участке резко возрастает и нормальная зона за счет саморазогрева начинает распространяться по образцу [9]. Этот скачок тепловыделения приводит к отгоранию и разрушению контактов [4].

Кроме того, в несверхпроводящих приконтактных участках, особенно в области положительного электрода, под действием постоянного тока происходит электролиз керамики. Процесс сопровождается изменением состава ВТСП и понижением j_c [3, 8].

Итак, тепловые и связанные с ними электрохимические процессы ведут к порче контактов. Учитывая, что все перечисленные факторы накладывают серьезные ограничения на эксплуатационные характеристики и надежность сильноточных ВТСП элементов, легко понять необходимость разработки способа защиты токовых контактов. Это особенно важно для ВТСП устройств, элементы которых

подвергаются длительным воздействиям транспортного тока и внешнего магнитного поля (мощные криотроны, выключатели и ограничители тока, индуктивные накопители энергии и т.п.). Особую остроту проблема контактов приобретет в случае использования и исследования токонесущих ВТСП элементов в режимах, близких к критическим по магнитному полю и/или по плотности тока. Заметим, что разрушение контактов нежелательно еще и потому, что изготовление их зачастую основано на специальной (иногда длительной и трудоемкой) обработке материала и требует применения ценных благородных металлов (Au , Ag , Pt) [7]. Вообще говоря, для сильноточных устройств (например, выключателей) на основе низкотемпературных сверхпроводников разработаны способы защиты токонесущего элемента от перегорания в месте появления нормальной зоны путем компенсации рабочего тока. За появлением этой зоны следят потенциальные контакты, расположенные между токовыми. Однако в случае использования токонесущих элементов из ВТСП этот способ защиты не работает, так как области тепловыделения у них возникают именно на токовых контактах, вне пределов чувствительности потенциальных.

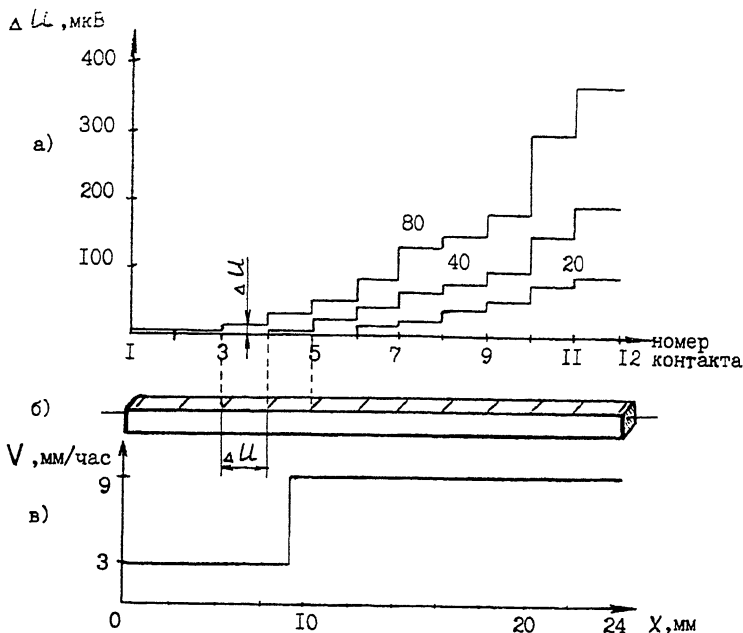
Таким образом, проблема защиты сильноточных контактов к ВТСП элементам требует специального подхода, учитывающего особенности этого материала.

Для решения этой задачи нами предложено в процессе изготовления токонесущего элемента формировать его приконтактные участки из ВТСП с более высокими критическими параметрами. В этом случае при нарастании тока через образец, его переход в нормальное состояние начнется в удаленных от контактов участках, имеющих более низкие значения j_c , что позволяет принять меры по ограничению тока до разрушения контактов. В основе данного способа защиты лежит изученная ранее зависимость критических параметров ВТСП от направления оси и степени текстурирования при получении образцов методом бестигельной зонной плавки с оптическим нагревом (ОЗП) [10–12].

Для изучения эффективности защиты контактов по нашей технологии управляемого текстурирования с помощью ОЗП изготовлен токонесущий элемент в виде параллелепипеда размерами $1 \times 2 \times 24$ мм. Один из концов образца выращивался со скоростью 3 мм/ч, остальные участки – 9 мм/ч. Полученный текстурированный образец содержал кристаллиты с ориентированными параллельно направлению тока плоскостями (a , b), причем участок со скоростью роста 3 мм/ч имел повышенную степень текстурирования. Указанная структура образца обеспечивает максимальное значение j_c , а также минимальное удельное сопротивление и тепловыделение в нормальном состоянии в приконтактном участке.

С помощью серебряной пасты на торцы параллелепипеда были нанесены токовые контакты, а на одну из боковых граней – параллельные полоски потенциальных контактов с шагом 2 мм.

Все потенциальные контакты соединялись с коммутационным устройством, позволяющим измерять разность потенциалов ΔU



а) Распределение разности потенциалов ΔU между парами потенциальных контактов 1-12 при разных транспортных токах (A/cm^2) через образец; б) расположение на образце потенциальных и токовых контактов; в) скорость роста, V участков при изготовлении образца (метод ОЗП) в зависимости от текущей координаты x .

между любой парой соседних контактов. Сопротивление обоих токовых контактов ~ 0.2 Ом. Использование токонесущего элемента с повышенной j_c в области одного контакта и традиционным изготовлением второго контакта на однородно текстурированном участке дает возможность сравнения условий работы и степени защищенности двух контактов.

На рисунке в виде гистограммы представлено изменение величины ΔU вдоль образца при протекании по нему разных по силе транспортных токов - 0.4, 0.8 и 1.6 А (20, 40 и 80 A/cm^2 соответственно). Все измерения проводились в жидком азоте, в магнитном поле 8 кЭ, ориентированном перпендикулярно направлению тока. Как видно из гистограммы, ток 0.4 А (20 A/cm^2) является критическим для правой части образца и вызывает заметный разогрев незащищенного правого контакта. Приконтактный левый участок (потенциальные контакты 1-4) начинает переходить в нормальное состояние только при токе 1.6 А (80 A/cm^2), когда правый „традиционный“ контакт уже работает в режиме перегрева. Эффект

защиты достигается благодаря тому, что даже „подогретая” тепло-выделением на ненулевом контактном сопротивлении текстура левого приконтактного участка имеет более высокие критические параметры, чем середина образца.

Таким образом, использование метода управляемого текстурирования позволяет защитить от перегрева контакты сильноточного ВТСП-элемента, который по условиям работы должен переходить в нормальное состояние (например, клапан криотрона или ключа типа [13]).

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] C 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] Т а р а н и н Д.А., Ф и л и п ъ е в В.С. В сб.: Проблемы ВТСП. Изд. Ростовского университета, 1990. Ч. 1. С. 122-127.
- [3] Т а р а н и н Д.А., Ф и л и п ъ е в В.С., К о з а - к о в А.Т., Ф е с е н к о Е.Г. В сб.: Проблемы ВТСП. Изд. Ростовского университета, 1990. Ч. 1. С. 128-134.
- [4] Ш п а к В.Г., Я л а н д и н М.И. // Материалы совещания „Проблемы ВТСП”. 1987. Свердловск. Ч. 11. С. 246-247.
- [5] J i n S., D a v i s M., T i e f e l T.H. et al. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54. N 25. P. 2605-2607.
- [6] E k i n J.W., L a r s o n T.M., B e r - g r e n N.F. et al. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 52. N 21. P. 1819-1821.
- [7] Г о г а в а Л.А., Д ж а п а р и д з е Е.Г., К а н - д е л а к и А.К., Н а к а и д з е Дж.М., Н а к а - ш и д з е Г.А., Х е л а и а Л.Т. // СФХТ. 1991. Т. 4. № 5. С. 983-986.
- [8] Н е ф е д о в В.И., С о к о л о в А.Н., Б е л ь - с к и й Н.К., О ч е р т я н о в а Л.И., К о з а - к о в А.Т., Д е м ь я н ч е н к о А.В., Р а м е н - д и к Г.И. // СФХТ. 1991. Т. 4. № 5. С. 987-990.
- [9] С и в а к о в А.Г., Т у р у т а н о в О.Г., В о л о ц - к а я В.Г., Д м и т р и е н к о И.М. В сб.: Тез. докл. II Всес. конф. по ВТСП. 1988. Киев. Т. 11. С. 48-49.
- [10] Б у ш А.А., С и р о т и н к и н В.П., Г о р д е - е в С.Н., Д у б е н к о И.С., Т и т о в Ю.В. // СФХТ. 1989. Т. 2. № 5. С. 71-75.

- [11] Буш А.А., Дубенко И.С., Мрост С.Э., Романов Б.Н., Титов Ю.В. // СФХТ. 1990. Т. 3. № 3. С. 432-441.
- [12] Laptev A.G., Bush A.A., Romanov B.N. // Abstr. Intern. Conf. on Superconductivity and Localisation Phenomena. 1991. Moscow. P. M30.
- [13] Tzeng Y., Cutshaw C., Roper T. et al. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 54. N 10. P. 949-950.

Обнинский институт
атомной энергетики

Поступило в Редакцию
24 апреля 1992 г.

Московский институт
радиотехники, электроники
и автоматики