

О НАБЛЮДЕНИИ ЦЕНТРОВ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ ФАЗЫ В ВТСП-МОСТИКАХ

P.Б.Акопян, С.Г.Геворгян

Экспериментально исследованы вольт-амперные характеристики (ВАХ) тонкопленочных 1-2-3 ВТСП-мостиков. Обнаруженные на ВАХ мостиков ступенчатые особенности связываются с образованием динамической пространственной структуры центров проскальзывания фазы.

За время развития высокотемпературной сверхпроводимости накоплен определенный экспериментальный материал, который, в частности, используется для выяснения микроскопической картины сверхпроводимости в ВТСП веществах. В этом плане представляют особый интерес исследования тех неравновесных свойств новых сверхпроводников, которые имеют аналоги в традиционных сверхпроводниках и объяснены в рамках микроскопической теории. В плане такого подхода полезны исследования ВАХ длинных тонких мостиков (ширины W , сравнимой с длиной когерентности ζ и глубиной проникновения λ слабого магнитного поля), которые могли бы позволить воспроизвести не обнаруженные до сих пор в ВТСП особенности на ВАХ, характерные для центров проскальзывания фазы, наблюдавшихся ранее на мостиках из традиционных сверхпроводников.

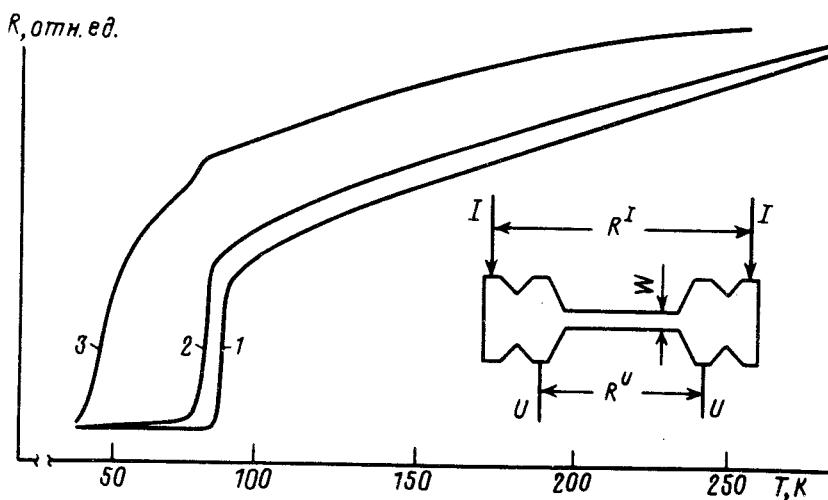


Рис. 1. Температурная зависимость сопротивления на постоянном токе образцов: 1 - пленка, $T_c = 87\text{ K}$, $R_{300\text{K}}^U = 49 \Omega$, $R_{300\text{K}}^I = 97 \Omega$; 2 - мостик, $W \sim 200 - 300 \mu\text{m}$, $R_{300\text{K}}^U = 166 \Omega$, $R_{300\text{K}}^I = 210 \Omega$; 3 - мостик после обработки тбковым ударом $I \sim 100\text{mA}$, $R_{300\text{K}}^U = 507 \Omega$, $R_{300\text{K}}^I = 1445 \Omega$. На вставке - конфигурация образца

До настоящего времени этот вопрос был подробно исследован экспериментально и теоретически для гелиевых сверхпроводников в случае одномерных (ссылки имеются в ¹ и ²) и двумерных ^{3,4} длинных мостиков. Отсутствие экспериментальных работ на ВТСП образцах, по-видимому, связано с трудностью приготовления узких ($W \leq 1\text{мкм}$) мостиков из этих материалов.

На наш взгляд есть пути преодоления этих трудностей. Во-первых, видимо, не совсем обязательно иметь дело с узкими мостиками. Так совсем недавно в работе ⁴ интересующая нас особенность на ВАХ обнаруживается не только на узких, но и на широких традиционных мостиках. Во-вторых, работая с реально достижимыми широкими пленочными ВТСП-мостиками, можно искусственно "ухудшить" их параметры с целью получения узких токонесущих

каналов в них. Как сообщалось нами в работе ⁵ (см. также ⁶), в ВТСП-материалах имеет место "эффект опережения", заключающийся в опережении диамагнитного перехода переходом в состояние с нулевым сопротивлением по температуре. Этот эффект дает основание предположить, что в непосредственной окрестности T_c переход в сверхпроводящее состояние, по-видимому, имеет место в нитеобразных структурах. Поэтому, на наш взгляд, условия возможного наблюдения интересующих нас особенностей на ВАХ широких ВТСП-мостиков являются не совсем безнадежными. Как показали наши исследования, ВТСП материалы не составляют исключения в плане возможности наблюдения в них ЦПФ.

Для решения поставленной задачи из поликристаллических пленок состава 1-2-3 толщиной $0,5 \div 1\text{мкм}$, удельным сопротивлением $0,1\text{мОм} \cdot \text{см}$, полученных нами по технологии, описанной в работах ^{5,7} на подложках из ZrO_2 , лазерным травлением, были изготовлены мостики длиной $L \sim 1 - 4\text{мм}$. Методика изготовления мостиков ^{8,9} позволила подбором мощности и длительности экспозиции излучения осуществить "мягкий" режим травления, частично нарушив сверхпроводящие параметры пленок, и получить мостики шириной $W = 200 \div 500\text{мкм}$.

Качество ВТСП - мостиков и пленок, использованных для их приготовления, иллюстрирует рис. 1. Из рисунка видно, что параметры мостиков в сравнении с пленками несколько ухудшаются. Мостик может приобретать некоторое остаточное сопротивление, которое тем больше, чем меньше его ширина. Именно по этой причине мы остановили выбор на мостиках шириной $\sim 200\text{мкм}$ хотя, в принципе, лазерным травлением возможно приготовление мостиков с шириной $\sim 30\text{мкм}$ ⁹. На рис. 2 приведены ВАХ пленок и изготовленных из них мостиков при одних и тех же температурах. Вольт-амперные характеристики записывались в режиме развертки тока по стандартной четырехзондовой схеме. Линейный ход кривой 2 (рис. 2) вблизи нуля координат характеризует остаточное омическое сопротивление мостиков, возникшее в процессе их изготовления. Оно в некоторых образцах исчезает в процессе охлаждения, а в остальных сохраняется вплоть до очень низких температур. На рис. 3 приведена ВАХ образца из первой серии ($T_c = 30\text{K}$), которая имеет ступенчатый вид. Ступеньки на ВАХ практически исчезали при отогреве мостика выше 50K . Приведенные на рисунке кривые воспроизводились многократно, причем интервал между измерениями мог составлять более суток. Аналогичные особенности на ВАХ других мостиков были обнаружены после того, как параметры мостиков (сверхпроводящих после лазерного травления при температурах ниже 70K и имевших обычные ВАХ (см. кривую 1 на рис. 2)) специально были ухудшены легким токовым ударом ($I \leq 50\text{mA}$ в течение секунды). При этом они быстро переходили в нормальное состояние и перегревались. Такая процедура с мостиками уменьшала T_c и на ВАХ некоторых из них появлялись ступеньки. Если после записи ВАХ мостики специально подвергались сильному токовому удару порядка 100mA в течение примерно секунды, то образцы перегревались и полностью переходили в нормальное состояние. На рис. 1 (кривая 3) приведена зависимость $R(T)$ мостика, подвергнутого такому токовому удару, что стало причиной исчезновения ступенек на ВАХ.

Рассмотрим детальнее особенности ВАХ исследованных образцов, дающие основание говорить об обнаружении на них центров проскальзывания фазы. Характерным свойством приведенных на рис. 3 ступенек напряжения исследованных мостиков является пересечение касательных к соответствующим участкам кривых после скачков напряжений в одной точке на оси токов, что является отличительной чертой центров проскальзывания фазы. Обратим также внимание на вторую особенность серии ступенек: упомянутые выше участки на ВАХ, которые следуют за скачками напряжения, и отвечают разным температурам, находятся на одной прямой, проходящей через начало координат. Для сравнения на вс-

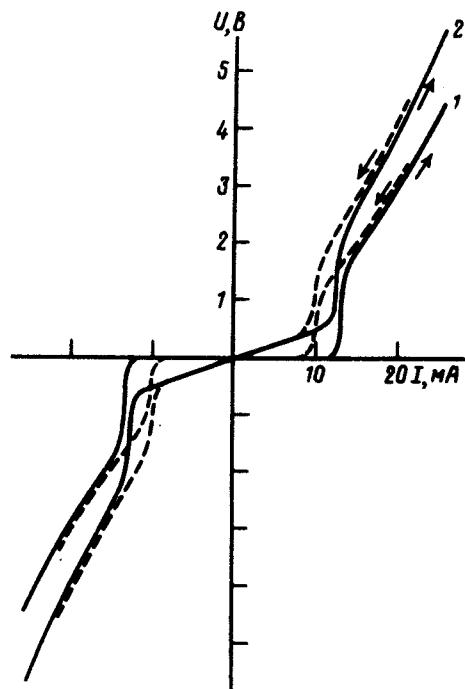


Рис. 2. ВАХ объектов исследования при $T = 72\text{K}$: 1 - пленка; 2 - мостик. Гистерезис на рисунках обусловлен тепловым перегревом образцов

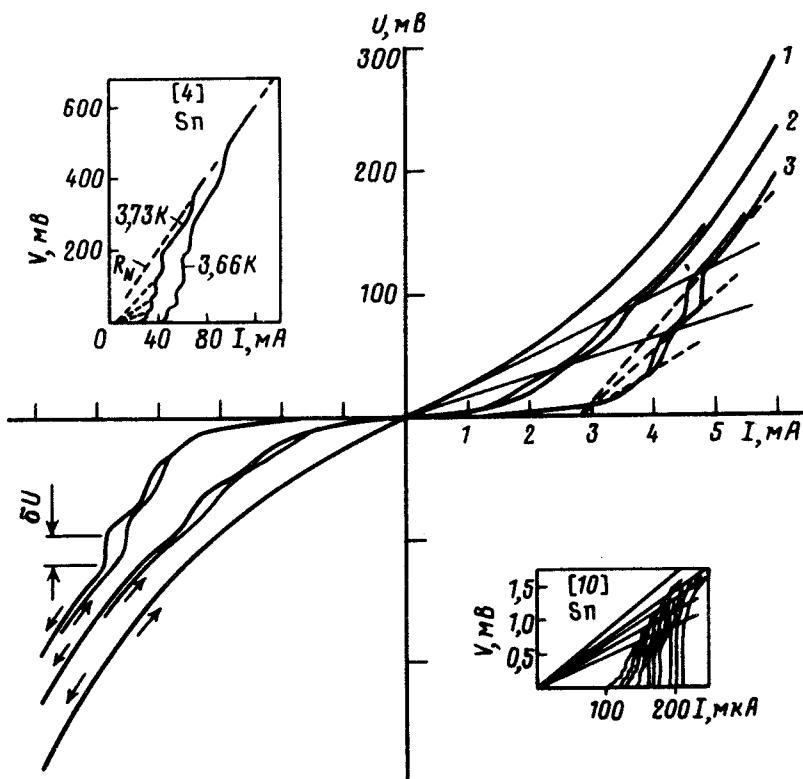


Рис. 3. ВАХ мостика при $T = 66\text{K}$ (1) $T = 42\text{K}$ (2) и $T = 22\text{K}$ (3) в интервале тока $-6\text{mA} \leq I \leq +6\text{mA}$. На вставках - кривые из работ ⁴ и ¹⁰

тавках к рис. 3 приведены соответствующие кривые из работ ⁴ и ¹⁰. Кроме этого отметим, что гистерезис по току наблюдаемых на рис. 3 особенностей имеет нетепловую природу, в пользу чего, как это следует из рис. 2, говорит

обратимость ВАХ исследованных мостиков в интервале тока $-8\text{mA} \leq I \leq +8\text{mA}$ и их воспроизводимость.

По величине скачков напряжений на ВАХ была также оценена (как это обычно делается, ср. ⁴⁾) величина энергетической щели мостика по формуле $\Delta = \delta U \approx 20$ мВ (см. рис. 3). Она составляет примерно половину значения щели при $T=0\text{K}$ для сверхпроводника 1-2-3 ¹¹⁾. Такое значение величины щели, возможно, связано с ее температурной зависимостью, а также изменениями параметров пленки в процессе приготовления мостиков по данной технологии. В частности, токонесущие нити образцов в наших экспериментах могли быть обусловлены низкотемпературной фазой с меньшим значением Δ . Этот вопрос нуждается в дальнейшем исследовании.

Таким образом, на наш взгляд, есть основания считать, что путем искусственного уменьшения количества сверхпроводящих токовых путей при лазерном травлении высококачественных пленок состава 1-2-3 в процессе изготовления мостиков, или ухудшением параметров широких мостиков токовым ударом можно превратить широкие мостики в узкоканальные. Именно на таких образцах и удалось зарегистрировать ступенчатые особенности на ВАХ, аналогичные тем, которые получаются на гелиевых сверхпроводниках и связаны с образованием пространственной структуры центров проскальзываивания фазы.

Авторы признательны М.Л.Тер-Микаеляну за поддержку работы, А.М.Гуляну за плодотворные обсуждения, а также В.Т.Татояну и Ж.К.Акопян за всестороннюю помощь.

Работа выполнена в рамках проектов N79 и N: П-51 Государственной программы по ВТСП и поддерживается ее Научным советом.

Литература

1. Гулян А.М., Жарков Г.Ф. Сверхпроводники во внешних полях. Москва.: Наука, 1990, глава II.
2. Ивлев Б.И., Копнин Н.Б. УФН, 1984, 142, 435.
3. Лемпицкий С.В. ЖЭТФ, 1986, 90, 793.
4. Мальцев В.А., Куликовский А.В. и др. СФХТ, 1990, 3, 937.
5. Авагян А.А., Акопян Р.Б. и др. СФХТ, 1990, 3, 93.
6. Инюшкин А.В., Ожогин В.И. Изотопический эффект в высокотемпературных сверхпроводниках, МЦНТИ, 1989.
7. Абрамян П.Б., Геворкян А.В. и др. 7-ая Всесоюзная конференция по росту кристаллов, 1988, 11, 374.
8. Ganapetyan V.M., Gevorgyan S.G. et al. Progress in High-Tc Superconductivity, 1989, 22, 394.
9. Avagyan A.A., Akopyan R.B. et al. Progress in High-Tc Superconductivity, 1989, 24, 737.
10. Smith L.N.J. Low. Temp. Phys., 1980, 38, 553.
11. Iguchi Jenari et al. Physica B, 1987, 148, 322

Институт физических исследований
Академии наук Армянской ССР

Поступила в редакцию
2 октября 1990 г.
После переработки
15 ноября 1990 г.