

05.4

© 1992

## ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ ТЕПЛОВЫХ АВТОВОЛН ПРИ НАГРУЖЕНИИ ТОКОМ ТОНКИХ ВТСП-ПЛЕНОК

В.Н. С к о к о в, В.П. К о в е р д а, В.Б. И в а к и н

Разрушение сверхпроводящего состояния транспортным током часто носит локальный характер. Оно начинается на участках сверхпроводника с пониженными критическими параметрами. В этих местах могут возникать температурно-электрические (резистивные) домены – области конечного размера, находящиеся в нормальном или резистивном состоянии за счет джоулева разогрева [1, 2]. В условиях саморазогрева возникает тепловая бистабильность сверхпроводника, при которой при заданном значении внешнего управляющего параметра (в данном случае транспортного тока) существуют два устойчивых состояния. При локальном характере разрушения сверхпроводимости и образовании резистивных доменов переход между двумя устойчивыми состояниями представляет собой автоволновую процесс неизотермического самоподдерживающегося распространения фронта фазового превращения. Исследования свойств тепловых автоволн представляют интерес как с точки зрения развития общих представлений о динамике нелинейных волновых процессов в бистабильных системах, так и с точки зрения прикладных задач криостаблизации сверхпроводящих токонесущих систем.

В теоретических работах [3–5] указано на специфику теплового разрушения сверхпроводящего состояния в ВТСП системах по сравнению с традиционными низкотемпературными сверхпроводниками. В связи с этим представляет интерес экспериментальное исследование теплового разрушения сверхпроводимости в ВТСП. В работе [6] экспериментально продемонстрирована возможность возникновения в тонких пленках  $Y-Ba-Cu-O$  тепловой бистабильности. Настоящее сообщение посвящено результатам экспериментального наблюдения возможности возникновения в тонких ВТСП пленках локализованных резистивных доменов и особенностей вольтамперных характеристик пленок, погруженных непосредственно в жидкий азот.

Тонкие пленки  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  получали *in situ* методом магнетронного распыления на постоянном токе мишени стехиометрического состава на подложки  $SrTiO_3$  (100). Температуры сверхпроводящего перехода составляли  $T_c = 85-90$  К с шириной перехода 1–2 К и плотностью критического тока  $j_c = 10^5-10^6$  А/см<sup>2</sup> при 77 К. Толщины пленок составляли 0.2–1 мкм. В полученных пленках вытравливали мостики длиной 5 мм и шириной 0.5–1 мм.

Вольтамперные характеристики (ВАХ) пленок снимали стандартным 4-х зондовым методом как в режиме фиксации тока, так и в

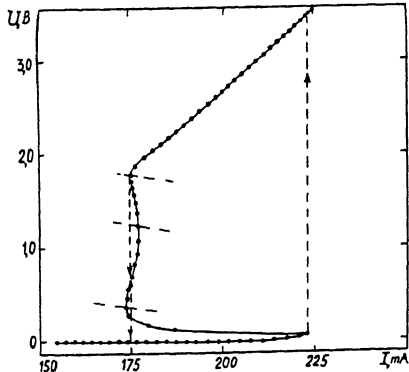


Рис. 1. Вольтамперная характеристика пленочного мостика в газовом криостате.

режиме фиксации напряжения. На рис. 1 приведена ВАХ одного из образцов, помещенного в газовой криостат. Неустойчивый участок ВАХ с отрицательным дифференциальным сопротивлением снят в режиме фиксации напряжения (штрих-пунктирные линии на рис. 1 соответствуют нагрузочным кривым электрической схемы). Устойчивые участки ВАХ с положительным дифференциальным сопротивлением, снятые в режимах фиксации напряжения и фиксации тока, эквивалентны. Неустойчивые участки с отрицательным дифференциальным сопротивлением при измерениях в режиме фиксации тока не реализуются и на ВАХ наблюдаются скачки напряжения. Если в процессе измерения при фиксированном напряжении на неустойчивом участке ВАХ перейти в режим фиксации тока, то система релаксирует к одному из устойчивых состояний с положительным дифференциальным сопротивлением. Полученная ВАХ качественно согласуется с теоретической схемой возникновения и развития локализованного резистивного домена в тонкой пленке [1, 2, 7].

Если при проведении измерений в режиме фиксации напряжения нагрузочные кривые были касательными к ВАХ пленки, то вблизи неустойчивых участков ВАХ наблюдались осцилляции падения напряжения и транспортного тока. Такие осцилляции связаны, по-видимому, с особенностями динамики диссипативной структуры, фиксируемой на неустойчивом участке ВАХ, и имеют аналогию с критическими флуктуациями при фазовых переходах.

На рис. 2 приведена ВАХ одного из образцов, погруженного непосредственно в жидкий азот. При транспортных токах, больших критического, на участке АВ возникает резистивное состояние, устойчивое в режиме фиксации тока. При дальнейшем увеличении нагрузки возникает неустойчивый резистивный домен (участок ВС). На этом участке теплообмен осуществляется за счет конвекции. Визуальные наблюдения показывают, что вскипания азота на пленке не происходит – жидкий азот на участке ВС находится в перегретом

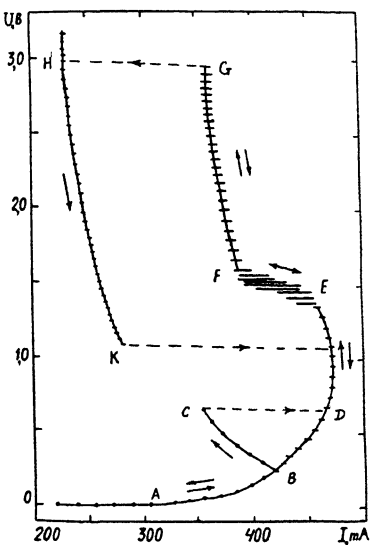


Рис. 2. Вольтамперная характеристика образца, погруженного непосредственно в жидкий азот.

состоянии. В точке С происходит локальное вскипание азота. При этом перегрев азота снимается, теплоотдача в среднем увеличивается, и система скачком вдоль нагрузочной кривой переходит в точку D. Участок DE соответствует существованию резистивного домена, локализованного на точечной неоднородности, вызванной локальным кипением азота на „слабом“ месте. На этом участке ВАХ наблюдались осцилляции вдоль нагрузочных кривых, частота которых соответствует частоте отрыва пузырьков. Эти осцилляции вызваны колебаниями теплоотдачи от пленки при пузырьковом кипении. На участке EF наблюдалось резкое усиление амплитуды осцилляций и происходили случайные скачки из точки E в точку F и обратно (вдоль нагрузочной кривой). Такое поведение на участке EF связано, по-видимому, с теми же причинами, что и описанные выше осцилляции на ВАХ, снятой в газовом криостате, когда наклон нагрузочной кривой близок к наклону ВАХ. В данном случае шум, связанный с динамикой диссипативной структуры на неустойчивом участке, индуцируется внешними колебаниями теплоотвода, обусловленными кипением азота. Визуально на участке EF наблюдалось увеличение отрывного диаметра паровых пузырьков. На участке FG при увеличении нагрузки размер резистивного домена слабо увеличивался и лимитировался отрывным диаметром пузырей. Осцилляции ВАХ на участке FG такие же, как и на участке DE. При некоторой нагрузке (точка G) происходил переход от пузырькового к пленочному кипению (кризис кипения). Кризис кипения хорошо наблюдался визуально. Граница домена резко перемещалась вдоль

мостика с образованием сплошной паровой пленки. Скорость волны переключения при переходе от пузырькового к пленочному кипению, согласно визуальным наблюдениям, составляла порядка сантиметров в секунду. Обратный переход от пленочного к пузырьковому кипению происходили при других нагрузках (точка К), т. е. на ВАХ наблюдался гистерезис.

Таким образом, изменения режима теплоотдачи в жидком азоте приводят к существенному отличию ВАХ, снятых в газовом и жидкостном криостатах. Кипение азота оказывает существенное влияние на локализацию и динамику резистивных доменов в тонких ВТСП-пленках.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Г у р е в и ч А.В., М и н ц Р.Г. Тепловые автоволны в нормальных металлах и сверхпроводниках. М.: ИВТАН, 1987, 165 с.
- [2] Г у р е в и ч А.В., М и н ц Р.Г. // УФН. 1984. Т. 142. В. 1. С. 61-98.
- [3] Г у р е в и ч А.В., М и н ц Р.Г., Р а х м а н и н о в А.Л. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 6. С. 561-564.
- [4] А л ь т о в В.А., А х м е т о в А.А., С ы ч е в В.В. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 14. С. 1307-1310.
- [5] L v o v s k y Yu. M. // Cryogenics. 1990. V. 30. N 9. P. 754-764.
- [6] С к о к о в В.Н., К о в е р д а В.П., Б о г д а н о в Н.М., Д и к А.А. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 16. С. 70-73.
- [7] И в а н ч е н к о Ю.М., М и х е е н к о П.Н. // ЖЭТФ. 1982. Т. 82. В. 2. С. 488-497.

Поступило в Редакцию  
30 января 1991 г.