

Переключения и гистерезис на вольт-амперных характеристиках субмикронных мостиков BSCCO

С.Г. Зыбцев, В.Я. Покровский, И.Г. Горлова и Ю.И. Латышев
Институт радиотехники и электроники РАН, 125009 Москва, Россия

На ВАХ (суб)микронных мостиков, изготовленных на основе вискеро-в BSCCO (2212), при определённых значениях тока I наблюдаются переключения напряжения V типа случайного телеграфного сигнала (СТС). Показано, что переключения связаны со спонтанным рождением-уничтожением единичных строчек абрикосовских вихрей. Снижение средней частоты переключений и появление гистерезиса $V(I)$ при понижении температуры отражают влияние краевого барьера на вхождение вихрей в мостик.

В сверхпроводящих образцах, если хотя бы один из размеров превышает длину когерентности, подавление сверхпроводящего состояния током происходит пространственно неоднородно. Особый случай представляют собой плёнки толщиной $d < \lambda$, где λ - лондоновская длина проникновения и шириной $w \leq \lambda_{\perp}$, $\lambda_{\perp} = \lambda^2/d$. Подавление щели происходит посредством вхождения пар абрикосовских вихрей с краёв плёнки с образованием строчек вихрей [1]. На эксперименте рождение каждой новой строчки выражается в появлении ступеньки напряжения на ВАХ [2]. Такие ступеньки наблюдались и на вискерах ВТСП шириной ≤ 1 мкм [3].

Как известно, движение вихрей – один из источников шума, характерных для сверхпроводников. В частности, с прыжками вихрей связан шум типа СТС, наблюдаемый как в виде скачков напряжения, так и с помощью микроСКВИДов, улавливающих локальное изменение магнитного потока (см. обзор [4]). С этой точки зрения, было бы интересно рассмотреть строчки абрикосовских вихрей как возможный источник флуктуаций напряжения.

В нашем докладе мы приводим ВАХ сверхпроводящих мостиков на основе вискеро-в BSCCO (2212), снятые с разрешением во времени. Наши данные свидетельствуют, что при достаточно высоких температурах существуют интервалы токов, в которых строчки вихрей нестабильны, и при фиксированном токе осциллограмма напряжения имеет вид СТС. При понижении температуры среднее время жизни в каждом из состояний растёт, и возникает гистерезис $V(I)$. Мы связываем СТС с нестабильностью строчек, а возникновение гистерезиса – с их стабилизацией: барьер для вхождения вихря понижается под влиянием следа предыдущего вихря.

Микромостики шириной 0.2-1 мкм и длиной в 2-3 раза больше были приготовлены из тонких ($d=0.13-0.2$ мкм) бездефектных монокристаллических вискеро-в BSCCO (2212) методом лазерного микротравления [3], либо с помощью фокусирован-

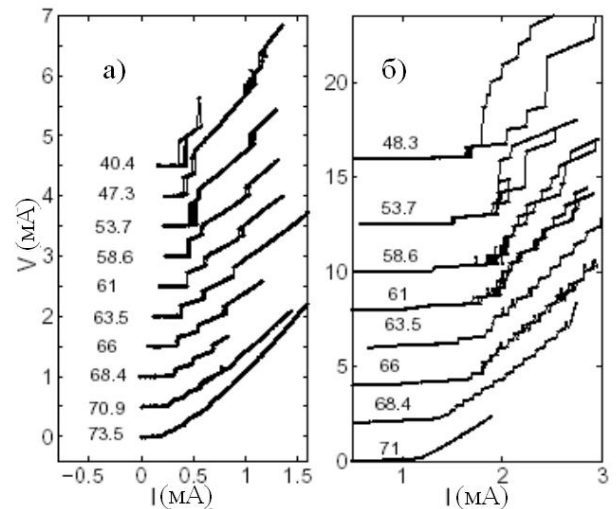


Рис. 1. Набор ВАХ мостиков No 1 (а) и No 5 (б) при разных температурах.

ного ионного луча (FIB). Для таких мостиков $\lambda_{\perp} \sim 1$ мкм, т.е. больше или порядка w .

На Рис. 1 приведён набор ВАХ одного из мостиков при разных температурах ниже $T_c \approx 78$ К. На ВАХ ниже 70 К отчётливо видны ступеньки, связанные с рождением единичных строчек вихрей: n -я ступенька соответствует состоянию с n строчками вихрей [3]. Как видно из рисунка, в интервале температур 55-70 К рождение каждой $n+1$ -ой строчки при возрастании тока происходит не как единичное событие, а после многократных переключений между состояниями “ n ” и “ $n+1$ ”. Отметим, что вид ВАХ зависит от постоянной времени прибора, фиксирующего V : при больших временах мы видели плавные переходы вместо многократных переключений.

Переключения не связаны с развёрткой тока или его нестабильностью, но являются стационарным шумовым процессом. Это хорошо видно из осциллограмм $V(t)$, снятых при фиксированных значениях I (вставка к Рис. 2). Здесь же приведён участок ВАХ, снятой одновременно. Видно, что с ростом I время жизни в нижнем состоянии уменьшается, а в верхнем – растёт, до тех пор пока переключения в нижнее состояние не исчезают вовсе. В некоторых случаях мы наблюдали переключения между большим числом состояний, а также взаимодействие (например “частотную модуляцию” [5]) разных двухуровневых систем.

Интересно, что характерное время жизни τ в каждом из состояний между переключениями составляет $\sim 10^{-2}$ с, хотя оно и зависит от температуры. На

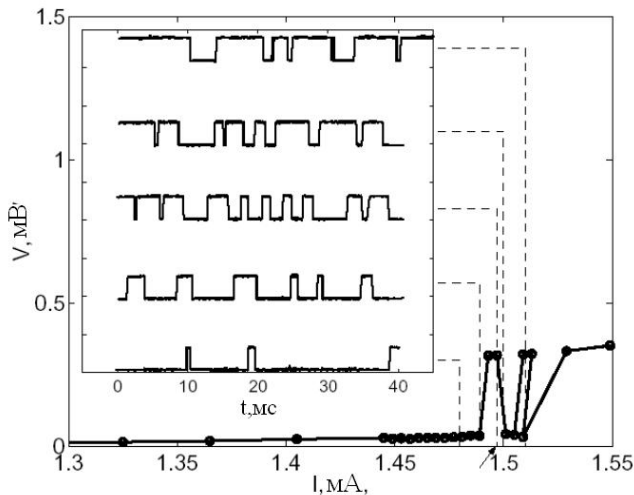


Рис. 2. Фрагмент ВАХ мостика No 2 в области первой ступени при $T=53.7$ К. На вставке показаны осциллограммы напряжения при 5 фиксированных значениях I , указанных пунктирными линиями.

Рис. 3 приведены зависимости $\tau(T)$, полученные из усреднения осциллограмм, типа приведённых на Рис. 2. При каждой температуре значение тока подбиралось так, чтобы времена жизни в обоих состояниях были равны. Как и следовало ожидать, с понижением температуры τ растёт. Однако зависимость нельзя назвать плавной: участки резкого роста τ разделены плато с $\tau \sim 10^{-2}$ с. Плато наблюдается на всех исследованных образцах, хотя ширина его зависит от образца и номера ступеньки, изменяясь в диапазоне 1-20 К. Резкий рост $\tau(T)$ при низких T фактически означает исчезновение переключений. При этом на ВАХ появляется гистерезис (Рис. 1).

Природа наблюдаемого нами шума в общем ясна, поскольку, как было показано в [3], ступеньки на ВАХ связаны с рождением строчек вихрей. Следовательно, СТС связан со спонтанным рождением-исчезновением такой строчки. Как показано в [6], стабильность движения вихрей в строчке связана с тем, что каждый вихрь оставляет за собой след – область подавленного параметра порядка. Это облегчает вхождение следующего вихря. Однако, поскольку между вихрями одного знака действует сила отталкивания, новый вихрь входит только после аннигиляции предыдущего [6]. Из соотношения Джозефсона можно оценить интервал между соседними вихрями $\sim 10^{-12}$ с. Время релаксации параметра порядка τ , существенно меньше, но резко растёт с понижением T и при низких T превышает 10^{-12} с [7]. Это значит, что при низких температурах к моменту вхождения вихря параметр порядка ещё не успевает до конца восстановиться после вхождения предыдущего. Этим можно объяснить стабильность строчек и гистерезис при низких T , и переключения – при высоких.

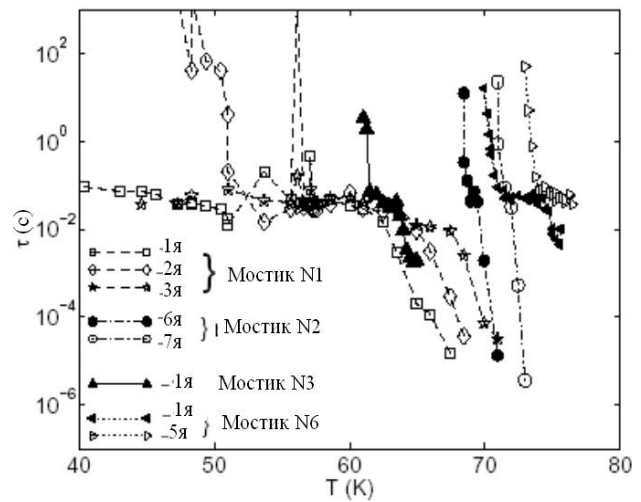


Рис. 3. Зависимости $\tau(T)$, отслезенные для нескольких ступеней, наблюдавшихся в 4-х мостиках.

Наиболее удивительный результат – плато $\tau(T)$ на уровне $\tau \sim 10^{-2}$ с. Возможно, зависимость $\tau(T)$ отражает зависимость $\tau_c(T)$. Слабую зависимость от T можно было бы также объяснить, если предположить, что время формирования строчки определяется вязким движением вихрей, однако при скорости вихрей $\sim 10^5$ см/с трудно объяснить $\tau \sim 10^{-2}$ с.

В заключении, подчеркнём, что мы наблюдали новый источник флуктуаций напряжения в сверхпроводниках. Флуктуации наблюдаются только при определённых дискретных значениях тока и связаны со спонтанным процессом рождения-уничтожения отдельных строчек магнитных вихрей.

Работа проводилась при поддержке РФФИ (грант 02-02-17301), ИЦНИ+РФФИ (грант 03-02-22001) и Государственной программы «Сверхпроводимость» (г/к № 40.012.1.1.1356).

1. К.К. Лихарев, ЖЭТФ 61, 1700 (1971).
2. В.Н. Губанков, В.П. Кошелец, К.К. Лихарев, Г.А. Овсянников, письма ЖЭТФ 18, 292 (1973).
3. С.Г. Зыбцев, В.Я. Покровский, И.Г.Горлова, письма ЖЭТФ 74, 168 (2001).
4. L.B Kiss and P. Svedlindh, *IEEE Trans. on Electron Devices* 41, 2112 (1994).
5. K.S. Ralls and R.A. Buhrman, *Phys. Rev. Lett.* 60, 2434 (1988).
6. С.Г. Зыбцев, В.Я. Покровский, И.Г.Горлова, Ю.И. Латышев, «Природа фазового расслоения в субмикронных мостиках на основе Bi2212 монокристаллических вискерев», доклад на этой конференции.
7. S.G. Doettinger, R.P. Huebener R. Gerdemann *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 73, 1691 (1994).