

- [5] N ö l s c h e r C., S a e m a n n - I s c h e k o G. // Phys. Rev. B. 1985. V. 32. P. 1519-1531.
- [6] B u r b a n k R.D., D y n e s R.S., P o a t e J.M. // J. of Low Temp. Phys. 1979. V 39. P. 573-585.

Поступило в Редакцию
26 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 22 26 ноября 1989 г.
05.4; 0.9

СИГНАЛЬНЫЕ И ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОСТИКОВ $YBa_2Cu_3O_{7-x}/Al_2O_3$ В МИЛЛИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН

А.А. В е р ё в к и н, В.А. И л ь и н,
Ю.Н. И н к и н, В.Н. Л а п т е в,
В.И. М а х о в, В.М. Ш а м а е в,
В.С. Э т к и н

Для создания СВЧ устройств на основе высокотемпературных сверхпроводников необходимо получение структур на подложках из материала с малым значением диэлектрической проницаемости и их исследование в широком интервале температур и длин волн электромагнитного излучения. Целью настоящей работы является изучение отклика на монохроматический сигнал, а также шумов мостиков из $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ на подложках из Al_2O_3 .

Мостики были изготовлены с помощью магнетронного напыления на подложках из монокристаллического сапфира. Температура T_c сверхпроводящего перехода пленок $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, определенная по зависимости критического тока J_c от температуры, составляла 80-85 К. Размеры мостиков варьировались в пределах 10-50 мкм по ширине и 24-120 мкм по длине при толщине пленки ≈ 1 мкм. Плотность критического тока мостиков при 4.2 К составляла $j_c \approx \approx 10^3$ А/см², дифференциальное сопротивление в рабочей точке не превышало 10 Ом.

При изготовлении мостиков особое внимание уделялось качеству подводящих электродов. Они были выполнены в виде медных контактных площадок с малым переходным сопротивлением. Контактные площадки наносились через маску способом термического испарения при давлении в камере $\approx 5 \cdot 10^{-4}$ Па без нагрева подложки. Сразу после напыления сопротивление переходного слоя медь - $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ при 77 К составляло $\approx 3 \cdot 10^2$ Ом/см². После термической обработки в течение 1 часа оно снижалось до 10^{-3} - 10^{-4} Ом/см². При этом вольт-амперные характеристики (ВАХ) контактов симметричны по отношению к изменению направления протекающего через них тока.

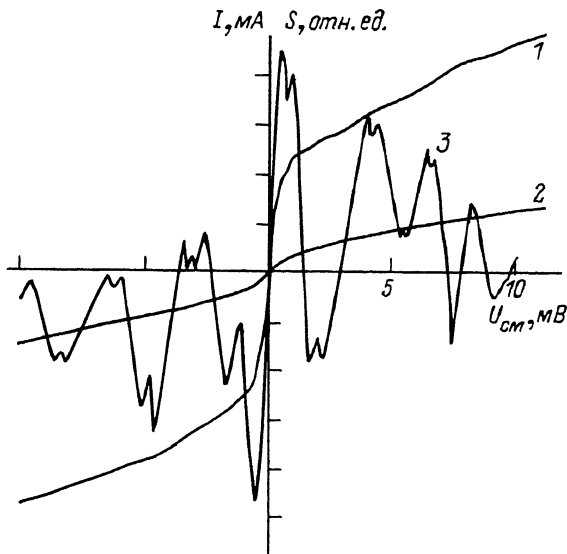


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики мостика, размерами $16 \times 24 \text{ мкм}^2$ при $T=4.2 \text{ К}$ (кривая 1) и $T=77 \text{ К}$ (кривая 2); зависимость отклика от напряжения смещения при $T=4.2 \text{ К}$ (кривая 3).

Изготовленные таким образом подводящие электроды устойчивы к термоциклированию; после 10 термоциклов ($4.2\text{--}300 \text{ К}$) сопротивление контактов при $T=4.2 \text{ К}$ составляло $\approx 0.1 \text{ Ом}$.

В работе исследовались ВАХ и шумовые характеристики мостиков, а также параметры СВЧ детекторов на их основе (вольт-ваттная чувствительность \mathcal{P} , минимальная обнаруживаемая мощность ρ_{\min}). В последнем случае переходы помещались в детекторную камеру, аналогичную описанной в [1]. Измерения проводились в 4 мм диапазоне волн с использованием монохроматического сигнала, модулированного по амплитуде с частотой 1 кГц . Протестированное напряжение подавалось непосредственно на вход измерительного усилителя „Унипан-233-7“ без согласующего трансформатора. Исследования проводились при температурах $T=4.2$ и 77 К .

На рис. 1 показаны ВАХ мостика размерами $16 \times 24 \text{ мкм}^2$ при 4.2 К (кривая 1) и 77 К (кривая 2). Они имеют вид, типичный для множественных джозефсоновских переходов [2]. Участок критического тока имеет некоторый наклон, т.к. измерения велись по двухпроводной схеме. На ВАХ, снятой при повышении температуры.

На том же рисунке приведена зависимость отклика S перехода от напряжения смещения $U_{\text{см}}$ на нем (кривая 3). Измерения проведены при частоте сигнала $f_c = 72 \text{ ГГц}$, мощности $\rho = 10^{-8} \text{ Вт}$ и $T=4.2 \text{ К}$. Экстремумы, наблюдающиеся на зависимости $S(U_{\text{см}})$, нельзя связать со ступеньками Шапиро, характерными для взаимодействия джозефсоновского перехода с СВЧ излучением. Положения

экстремумов на оси напряжений совпадают с особенностями, наблюдающимися на автономной ВАХ (кривая 1). В то же время вид $S(U_{CM})$ с переверотом фазы характерен для джозефсоновских переходов. Приведенные данные свидетельствуют о том, что в исследованных мостиках реализуется система множественных случайных джозефсоновских контактов, образующихся между гранулами материала, из которого они изготовлены. Аномалии, наблюдающиеся на ВАХ мостиков, возникают, по-видимому, из-за немонотонности функции распределения критических токов указанных контактов.

При $P \geq 10^{-7}$ Вт $S(U_{CM})$ имеет вид кривой с максимумом, который сдвигается в сторону больших значений U_{CM} с ростом P ; при этом переверот фазы отсутствует. Такое поведение отклика связано с синхронизацией межгранульных джозефсоновских переходов СВЧ мощностью [3, 4].

Величина вольт-ваттной чувствительности детектора на основе мостика, ВАХ которого показана на рис. 1, $\eta \approx 3 \cdot 10^3$ В/Вт при $P \leq 10^{-9}$ Вт и $T = 4.2$ К, $P_{min} \leq 2 \cdot 10^{-12}$ Вт/Гц^{1/2} при той же температуре. Отметим, что величина P_{min} определяется шумами усилителя низкой частоты и может быть уменьшена при улучшении его согласования с используемым мостиком. Динамический диапазон детектора при $T = 4.2$ К превышает 30 Дб. Приведенные значения типичны для всей группы исследованных мостиков. Наибольшее значение вольт-ваттной чувствительности детектора было получено при использовании мостика с размерами 24×36 мкм². Оно составило в указанных выше условиях $\eta = 7 \cdot 10^3$ В/Вт и близко к аналогичному параметру детектора на основе цепочки джозефсоновских переходов из Nb [5].

Повышение температуры до 77 К приводит, как видно из рис. 1 (кривая 2), к падению критического тока и нелинейности ВАХ. Вольт-ваттная чувствительность уменьшается при этом до значения $\eta \approx 50$ В/Вт ($P \leq 10^{-7}$ Вт).

Исследования шумов мостиков из $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ проведены при $T = 77$ К, т.к. только в этом случае они превышали собственные шумы входного усилителя. На рис. 2 показана спектральная плотность шумов мостика размерами 16×24 мкм² при напряжении, соответствующем первому максимуму отклика (рис. 1). Приведенную на рис. 2 кривую можно разделить на три характерных участка. В диапазоне частот $f = 2 \cdot 10^2 - 3 \cdot 10^4$ Гц выполняется известный закон для фликкер-шума $B \sim f^{-\alpha}$ ($\alpha \geq 1$), причем определенная из него частота среза $f_{ср} = (2-3) \cdot 10^4$ Гц.

На участке кривой, соответствующем $f \leq 200$ Гц, наблюдается избыточный „ключевой“ шум [6]. Он возникает при напряжениях смещения, соответствующих максимумам дифференциального сопротивления, и исчезает при подаче на мостик СВЧ излучения с $P = 10^{-8} - 10^{-7}$ Вт. Это указывает на релаксационную природу ключевого шума [7]. При этом, в отличие от релаксационных колебаний, наблюдаемых в цепочках джозефсоновских переходов, шум имеет нерегулярный характер, что связано, по-видимому, с множественностью джозефсоновских контактов в мостике. Не следует, одна-

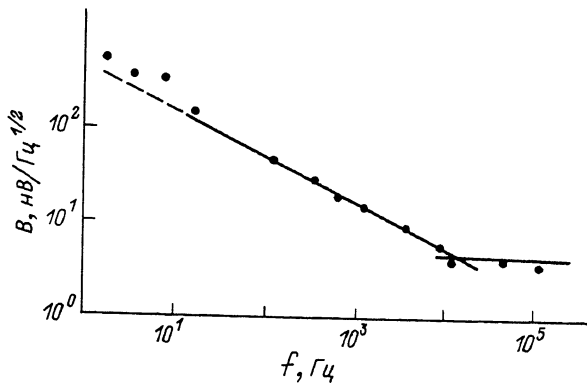


Рис. 2. Частотная зависимость шумов мостика размерами $16 \times 24 \text{ мкм}^2$ при $T=77 \text{ К}$.

ко, исключить возможности того, что ключевой шум связан со входом и выходом джозефсоновских вихрей из состояния пиннинга ϕ или с захватом и эмиссией электронов из локализованных состояний в туннельных барьерах [8]. Ответ на это должны дать дальнейшие исследования.

В заключение отметим, что характеристики исследовавшихся мостиков (T_c , ΔT_c , j_c при $T=4.2 \text{ К}$) заметно выше, чем у аналогичных структур [9], а вольт-ваттная чувствительность детекторов на их основе при той же температуре приближается к чувствительности интегральных джозефсоновских детекторов с переходами из Nb [5, 10].

Авторы признательны Е.М. Гершензону за полезные замечания.

Работа поддерживается Научным советом по проблеме ВТСП и выполняется в рамках проекта № 40 Государственной программы „Высокотемпературная сверхпроводимость“.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Гудков А.Л., Ильин В.А., Лаптев В.Н. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 9. С. 826-830.
- [2] Лихарев К.К., Ульрих Б.Т. Системы с джозефсоновскими контактами. М.: Изд. МГУ. 1978. 446 с.
- [3] Дробинин А.В., Лутовинов В.С. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. № 21. С. 1949-1952.
- [4] Yu M.L., Saxena A.M. // IEEE Trans. on Magn. 1975. V. MAG-11. N 2. P. 674-677.
- [5] Гудков А.Л., Ильин В.А., Лаптев В.Н. и др. // ЖТФ. 1988. Т. 58. № 11. С. 2261-2263.

- [6] Ono R.H., Beall J.A., Cromar M.W. et al. // Mat. Appl. Supercond. Conf., San-Francisco. 1988. P. 65-68.
- [7] Ильин И.А., Масленников Н.М., Семин И.А. // РТЭ. 1989. Т. 34. № 6.
- [8] Rogers C.T., Buhman R.A. // Phys. Rev. Lett. 1984. V. 53. P. 1279-1282.
- [9] Wiener-Awneer E., Cooper J.E., Kerner G.L. et al. // Mat. Appl. Supercond. Conf., San-Francisco. 1988. P. 210-213.
- [10] Гудков А.Л., Куликов И.Н., Лаптев В.Н. и др. // Препринт ИЗМИР АН СССР, № 9 (763). 26 с.

Московский государственный
педагогический институт
им. В.И. Ленина

Поступило в Редакцию
3 июня 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 22
05.4; 09

26 ноября 1989 г.

СВЕРХПРОВОДНИКОВЫЙ ПРИЕМНИК 8 ММ ДИАПАЗОНА С НИЗКИМ УРОВНЕМ ШУМА

А.В. Поладич, Л.П. Стрижко

Малый уровень имеющих дробовый характер собственных шумов туннельных переходов сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник (СИС) и высокая нелинейность их ВАХ позволили, несмотря на трудности согласования, снизить шумовую температуру T_R приемников мм диапазона до ~ 100 К [1]. Дальнейшее снижение T_R рассматривалось до настоящего времени в связи с возможностью в СИС-переходах усиления при преобразовании в квантовом режиме, в эксперименте получена $T_R = 24$ К на 34.5 ГГц [2]. Но условие работы в квантовом режиме $h\nu/e > V_G$, V_G - интервал нелинейности ВАХ, выполняется или на больших частотах, или в средне- и длинноволновой частях мм диапазона для переходов с очень высокой нелинейностью, часто лишь при $T < 2$ К, достигаемой откачкой паров гелия. Во многих случаях недостаточно широким остается и динамический диапазон квантового смесителя. В то же время в классическом режиме, где сохраняется описываемая ВАХ связь между мгновенными значениями тока и напряжения и отсутствует усиление, до настоящего времени не удавалось достичь столь же низких, как в квантовом, шумовых температур.

В этом письме мы сообщаем об исследовании приемника на СИС-переходах, работающих в классическом режиме смешения, по параметрам не уступающего квантовым СИС-приемникам, а также квантовым парамагнитным усилителям (мазерам).