

[4] В i e g e l s e n D.K., S t r e e t R.A. // Phys. Rev. Lett. 1980. V. 44. N 12. P. 803-805.

[5] Л и х о л и т И.Л., Л ю б и н В.М., М а с т е р о в В.Ф., Ф е д о р о в В.А. // ФТТ. 1988. Т. 30. В. 5. С. 1500-1502.

Поступило в Редакцию  
7 августа 1983 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 20

26 октября 1989 г.

05.4

### ДЕТЕКТИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МОСТИКОВ ИЗ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

В.А. К у п и к о в, Л.В. М а т в е е ц,  
А.Ю. С е р е б р я к о в, В.Н. Л а п т е в,  
В.И. М а х о в, Д.Г. Е м е л ь я н е н к о в,  
Ю.Н. И н к и н

Наблюдение нестационарного эффекта Джозефсона в структурах из высокотемпературных сверхпроводников указывает на возможность их применения в качестве детекторов СВЧ-излучения. В работах [1, 2] сообщалось о детектировании электромагнитного излучения миллиметрового диапазона точечными контактами и широкими пленками из высокотемпературных материалов.

В данной работе приводятся результаты исследования детектирующих свойств тонкопленочных мостиков из  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  при воздействии 8-мм СВЧ-излучения.

Мостики формировались методами фотолитографии из пленок  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ , напыленных на сапфировые подложки с ориентирующим слоем из  $ZrO_2 + Y_2O_3$ . Температуры перехода мостиков в сверхпроводящее состояние составляли 80-85 К. Размеры гранул - порядка 1 мкм.

Подложка со сформированной структурой вставлялась в прорезь в широкой стенке детекторной камеры 8 мм макета приемника СВЧ-излучения [3], изготовленной из волновода основного сечения. Подключение мостиков к измерительной схеме осуществлялось четырьмя упругими прижимными контактами через напыленные площадки из меди.

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) трех мостиков с указанными в таблице размерами, записанные при  $T = 77$  К, представлены на рис. 1. Сопротивления мостиков, измеренные при напряжениях 10-15 мВ, составляли 67, 150 и 425 Ом. Критический ток  $I_c \sim 10$  мкА наблюдался лишь у мостика с наименьшим сопротивлением. ВАХ двух других мостиков имели нелинейный вид без явно выраженного критического тока. Такой характер ВАХ и наличие избыточного тока

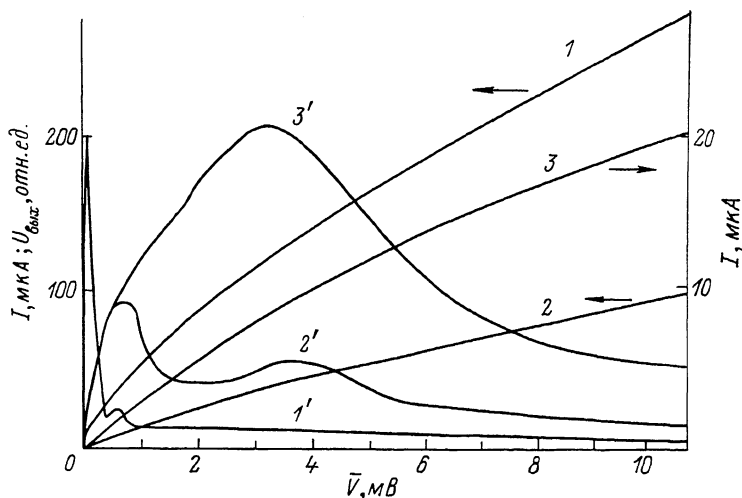


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики и зависимости отклика мостиков с сопротивлениями  $R = 67 \text{ Ом} - 1, 1'$ ,  $R = 150 \text{ Ом} - 2, 2'$ ,  $R = 425 \text{ Ом} - 3, 3'$ .

на всех характеристиках связан с тем, что исследуемые структуры представляют собой систему слабосвязанных сверхпроводящих гранул. При этом отсутствие критического тока для образцов с большими сопротивлениями (малыми размерами мостиков) можно объяснить либо его размытием тепловыми флуктуациями, либо наличием резистивных участков на пути протекания тока в мостике.

На этом же рисунке представлены зависимости величины отклика  $U_{\text{вых}}(\bar{V})$  при мощности СВЧ-излучения  $P = 10^{-10}$  Вт. Для образца с критическим током эта зависимость имеет ярко выраженный узкий пик в области перехода мостика в состояние с  $\bar{V} \neq 0$  аналогично одиночному джозефсоновскому переходу.

С увеличением сопротивления мостиков происходит уширение отклика и смещение его максимума в область больших напряжений, соответствующих наибольшей кривизне ВАХ, что характерно для классического детектирования.

Параметры мостиков и величины вольт-ваттной чувствительности при измерениях мощности на входе приемника представлены в таблице.

$N$	Размеры, $\text{мкм}^2$	$T, \text{ К}$	$R, \text{ Ом}$	$I_c, \text{ мкА}$	$\mathcal{Z}, \text{ В/Вт}$
Zh 3	26x64	4.2	28	500	$5 \cdot 10^5$
Zh 3	" "	77	67	10	$3 \cdot 10^3$
Zh 4	16x48	77	150	-	$8.3 \cdot 10^2$
Zh 5	" "	77	425	-	$1.1 \cdot 10^3$

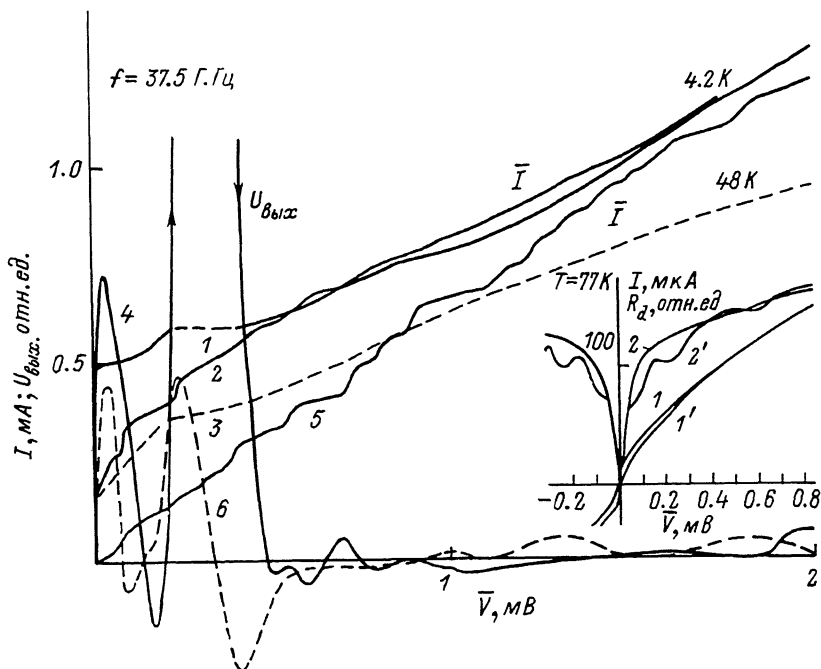


Рис. 2. ВАХ мостика  $Zh3$  под действием СВЧ излучения ( $T = 4.2$ ),  $\rho = 0-1$ ,  $\rho = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Вт}$  - 2,  $\rho = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}$  - 3; зависимость  $U_{\text{вых}}(\bar{V})$  при  $T = 4.2 \text{ K}$  - 4; ВАХ мостика при  $T = 48 \text{ K}$  - 5; зависимость  $U_{\text{вых}}(\bar{V})$  при  $T = 48 \text{ K}$  - 6. На вставке: ВАХ и зависимость  $R_d(\bar{V})$  мостика при  $T = 77 \text{ K}$  при  $\rho = 0-1, 1'$ , при  $\rho = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Вт}$  - 2, 2'.

Была измерена величина шума мостика  $Zh3$  при напряжении, соответствующем максимальному отклику. На частоте модуляции  $5 \text{ кГц}$  она составила  $2 \cdot 10^{-8} \text{ В/Гц}^{1/2}$ , что соответствует  $NEP \sim 7 \cdot 10^{-12} \text{ Вт/Гц}^{1/2}$ .

При воздействии относительно сильного СВЧ сигнала ( $\rho \sim 10^{-7} \text{ Вт}$ ) с частотой  $37.5 \text{ ГГц}$  при  $T = 77 \text{ K}$  на ВАХ мостика  $Zh3$  появлялись слабо выраженные ступеньки тока, более четко выявляющиеся на записи  $R_d(\bar{V})$  (см. вставку к рис. 2). Напряжения смещения, при которых наблюдаются три первые ступеньки, соотносятся как  $\bar{V}_1 : \bar{V}_2 : \bar{V}_3 = 1 : 3 : 8$ , причем  $\bar{V}_1 = \frac{\hbar}{2e\rho}$ .

Характеристики мостика  $Zh3$  исследовались и при более низких температурах. При  $T = 4.2 \text{ K}$  на ВАХ наблюдались области высокого дифференциального сопротивления, которые можно связать с наличием в мостике последовательно соединенных переходов с различными критическими токами (рис. 2). Под действием СВЧ-излучения происходит уменьшение критического тока и появление ступе-

нек тока. Первая ступенька возникает при напряжении, соответствующем соотношению Джозефсона для нестационарного эффекта  $\bar{V}_j = \frac{\hbar}{2e} f$ . Далее расстояние между ступеньками варьируется между  $\Delta\bar{V}=\bar{V}_j$  и  $\Delta\bar{V}=2\bar{V}_j$ . Возможно, это связано с частичной синхронизацией джозефсоновских переходов.

На зависимости величины отклика  $U_{\text{вых}}(\bar{V})$  при  $T = 4.2$  К имеются два больших максимума в начальном участке с перебросами фазы и некоторое количество незначительных максимумов при больших напряжениях. При промежуточной температуре  $T = 48$  К происходит уменьшение максимальных значений  $U_{\text{вых}}(\bar{V})$  при сохранении вида отклика. Величина вольт-ваттной чувствительности при  $T = 48$  К составляла  $1.6 \cdot 10^4$  В/Вт.

Таким образом, тонкопленочные мостики из  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ , представляющие собой систему слабых связей, демонстрируют нестационарный эффект Джозефсона и синхронизацию слабых связей, находящихся в объеме мостика.

Высокие значения вольт-ваттной чувствительности тонкопленочных мостиков при температуре жидкого азота могут обеспечить реализацию чувствительных приемников СВЧ-излучения при дальнейшей оптимизации параметров пленок и электродинамического согласования.

Авторы благодарны В.В. Мигулину за постоянное внимание в работе и обсуждение результатов и В.М. Шомаеву за изготовление контактов из меди к ВТСП пленкам.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] В е р е в к и н А.А., Г р а б о й И.Э., И л ь и н В.А. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 22. С. 2075-2077.
- [2] Г у б а н к о в В.Н., Д и в и н Ю.Я., З ы б ц е в С.Г. и др. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 8. С. 753-756.
- [3] Г у д к о в Л.А., К у л и к о в В.А., Л а п т е в В.Н., М а т в е е ц Л.В., М а х о в В.И. // ЖТФ. 1988. Т. 58. В. 6. С. 1227-1229.

Институт земного магнетизма,  
ионосферы и распространения  
радиоволн АН СССР,  
Троицк

Поступило в Редакцию  
17 мая 1989 г.