

05.4;09;12

©1993

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ ТОНКОПЛЕНОЧНЫМИ МОСТИКАМИ НА БИКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ПОДЛОЖКЕ

В.А.Куликов, А.Г.Маресов, Л.В.Матвеев, О.В.Снигирев

В последнее время достигнуты значительные успехи в технологии формирования джозефсоновских переходов из тонкопленочных высокотемпературных сверхпроводников на бикристаллической подложке [1-3]. Параметры таких переходов зависят от угла взаимной ориентации кристаллов в бикристаллической подложке, качества эпитаксиальной пленки и размеров сформированных микромостиков. Они сохраняют свои характеристики при многократном термодублировании.

Цель данной работы — исследование детектирования электромагнитного излучения миллиметрового диапазона тонкопленочными джозефсоновскими переходами из $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, сформированными на бикристаллических подложках из SrTiO_3 .

Подложка представляет собой пластину 9×9 мм, вырезанную из бикристалла титаната стронция, состоящего из двух сваренных между собой монокристаллических блоков, кристаллографические оси [100] которых развернуты друг относительно друга примерно на 36° . На этой подложке выращивалась с-ориентированная пленка толщиной 200–500 нм. Методика изготовления подложек и пленок подробно описана в работе [2].

Микромостики формировались стандартными методами оптической фотолитографии поперек шва бикристаллической подложки. На одной пластине располагалось четыре мостика шириной 1, 3, 6 и 10 мкм. Слабая связь, обладающая свойствами джозефсоновского перехода, возникает в месте пересечения мостиком шва бикристаллической подложки.

Исследование отклика джозефсоновских переходов на бикристаллических подложках производилось с помощью волноводного 8-мм приемника [4], на вход которого через систему аттенюаторов подавалось монохроматическое модулированное с частотой 3 кГц излучение от генератора Г4-141. Подключение перехода к системе регистрации вольтамперной характеристики (ВАХ) производилось по четырехзондовой схеме с помощью прижимных контактов.

Все измерения проводились при $T = 77$ К. Для уменьшения влияния магнитного поля Земли и внешних наводок на характеристики переходов дьюар с приемником помещался в двойной пермаллоевый экран.

Мостики имели следующие характеристики:

Ширина мостика, мк	Критический ток I_c , мкА	Сопротивление R_n , Ом	Ширина линии генерации ΔF , ГГц	
			эксперимент	теория
3	—	2.5	6.5 ± 0.5	7.8
6	2	2.5	6 ± 0.6	7.8
10	35	0.3	1.5 ± 0.5	1.0
16	35	0.5	1.8 ± 0.5	1.6

На рис. 1 приведены ВАХ и отклик на СВЧ излучение мостика шириной 10 мкм. Зависимость $V(I)$ близка к гиперболической, что соответствует модели резистивно-шунтированного перехода (RSJ), однако наблюдается небольшой избыточный ток $I_{ex} < I_c/2$, характерных для переходов SNS-типа. При малых величинах напряжения смещения V наблюдается широкополосный отклик, положение максимума которого не меняется при изменении частоты излучения, а при напряжениях, близких к $V = hf/2e$ — селективный отклик, имеющий характерную нечетно-резонансную форму и обусловленный нелинейным

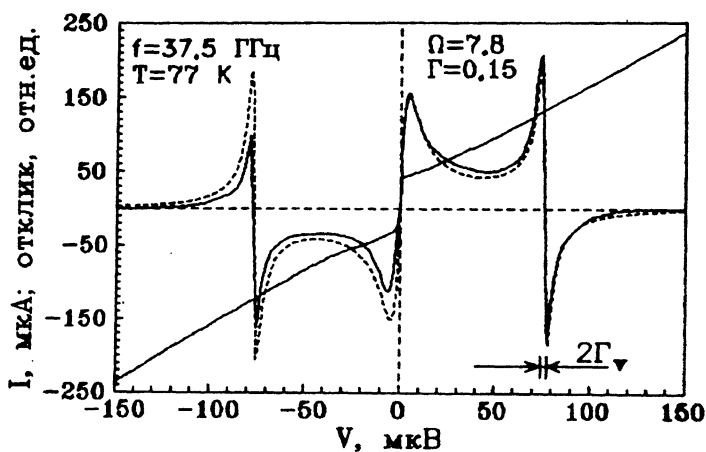


Рис. 1. ВАХ и отклик перехода с $R_n = 0.3$ Ом.

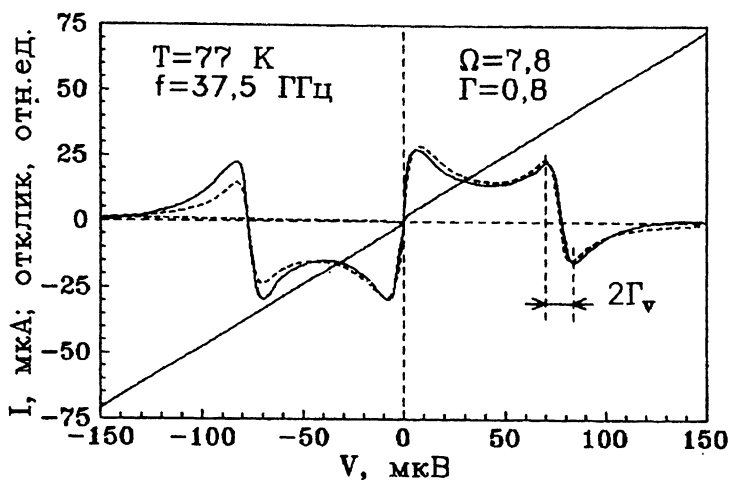


Рис. 2. ВАХ и отклик перехода с $R_n = 2.5$ Ом.

взаимодействием слабого СВЧ излучения частоты f с джозефсоновской генерацией перехода [5].

На рис. 2 приведены те же характеристики для мостика, имеющего ширину 3 мкм. Этот мостик не имеет явно выраженного критического тока, однако наблюдаются и широкополосный, и селективный отклики, причем последний расположен при напряжении, соответствующем первой ступеньке Шапиро одиночного джозефсоновского перехода, что указывает на отсутствие в мостике резистивных участков, включенных последовательно с переходом. Характеристики остальных мостиков аналогичны приведенным.

В рамках модели RSJ форма отклика перехода, $U(V)$, определяется нормированным значением частоты внешнего СВЧ сигнала $\Omega = f/f_c$, где $f_c = 2\pi 2eI_c R_n/h$ — характерная частота джозефсоновского перехода, и уровнем собственных тепловых флуктуаций, который характеризуется величиной $\Gamma = I_{fh}/2I_c = I_{fh}R_n/2V_c$, где I_{fh} — эффективный размах тока флуктуаций (при $T = 77$ К $I_{fh} = 6.4$ мкА), $V_c = I_c R_n$ [6]. При $\Gamma \geq 0.8$, т.е. $R_n \geq 1.6V_c/I_{fh}$, критический ток перехода полностью размывается тепловыми флуктуациями, уменьшается амплитуда селективного отклика по сравнению с широкополосным и увеличивается разность $2\Gamma v$ между напряжениями, при которых отклик достигает максимального и минимального значения, что и имеет место для второго мостика. Величина $2\Gamma v$ однозначно связана с шириной ΔF линии джозефсоновской генерации соотношением $2\Gamma v = \Delta F h/2e$. Экспериментальные значения ΔF находятся в хорошем соответствии с теоретическими

$\Delta F = 40.7 R_n T$ [ГГц], свидетельствуя о том, что ширина линии джозефсоновской генерации исследуемых переходов в основном определяется собственными тепловыми флуктуациями. Зависимость отклика от напряжения смещения, рассчитанная в рамках модели RSJ с учетом тепловых флуктуаций, показана на рисунках пунктирной линией.

Надо отметить, что амплитуды широкополосного и селективного откликов зависят от направления тока, подаваемого на переход. Результаты экспериментов по изучению влияния слабых магнитных полей на характеристики переходов, которые будут опубликованы позже, дают основания предполагать что это связано с захватом магнитного потока, либо самим переходом, либо неоднородностью пленки вблизи него. Это подтверждается асимметричным видом ВАХ первого перехода.

Амплитуды широкополосного и селективного откликов линейным образом зависят от мощности СВЧ излучения при ее увеличении на 30–35 дБ от минимальной регистрируемой величины. При дальнейшем увеличении мощности зависимость $U(V)$ перестает соответствовать теоретической, возникают субгармонические отклики. Вольтваттная чувствительность переходов низка вследствие невозможности хорошего согласования с СВЧ трактом четырех мостиков, расположенных на одной подложке.

Предварительные эксперименты по регистрации низкочастотного шума переходов в диапазоне частот от 1 до 20 кГц показывает, что уровень шума пропорционален дифференциальному сопротивлению перехода, его минимальная величина при $V = 30-100$ мкВ в 1.5–2 раза выше расчетной величины теплового шума. Так шум перехода с $R_n = 0.3$ Ом на частоте 3 кГц при $V \approx 40$ мкВ составляет $6 \cdot 10^{-12}$ В/Гц^{1/2}. При $V > 100$ мкВ шум растет пропорционально задаваемому току.

Таким образом, поведение отклика исследованных переходов соответствует отклику единичного джозефсоновского перехода, описываемого моделью RSJ, переходы имеют малый уровень низкочастотного шума, что делает их перспективными для использования в СВЧ приемниках.

Авторы благодарны В.В.Мигулину за постоянное внимание к работе и участие в обсуждении результатов работы.

Работа поддерживается Научным советом по проблеме ВТСП и выполняется в рамках проектов № 90297 и № 90463 Государственной программы "Высокотемпературная сверхпроводимость".

Список литературы

- [1] Gross R., Chaudhari P., Kawasaki M., Ketchen M.B. and Gupta A. // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 57. P. 727-729.
- [2] Венгрус И.И., Красносвободцев С.И., Куприянов М.Ю., Маресов А.Г., Пирогов В.Г., Снугирев О.В. // СФХТ. 1991. Т. 4. В. 10. С. 1942-1946.
- [3] Divin Yu. Ya., Mygind J., Pedersen N.F. // Appl. Phys. Lett. 1992. V. 61. N 25. P. 3053-3055.
- [4] Гудков А.Л., Куликов В.А., Лантеев В.Н., Матвеец Л.В., Махов В.И. // ЖТФ. 1988. Т. 58. В. 6. С. 1227-1229.
- [5] Литарев К.К., Ульрих Б.Т. Системы с джозефсоновскими контактами. Основы теории. М.: МГУ, 1978. С. 446.
- [6] Куликов В.А., Матвеец Л.В., Мигулин В.В. // СВЧ-отклик последовательно соединенных джозефсоновских переходов. Препринт № 46 (993) ИЗМИРАН, 1992.

Институт земного магнетизма,
ионосферы и распространения радиоволн
Троицк

Поступило в Редакцию
19 июля 1993 г.