

кости раствора и соответственно должно наблюдаться смещение резонансной частоты. Однако в эксперименте подобное не наблюдается (рис. 1). По-видимому, смещение ΔF происходит в пределах широкого максимума при $F = 100-120$ кГц, обусловленного низкой добротностью контура.

Возрастание амплитуды напряжения при увеличении концентрации хлорида натрия в воде, по-видимому, обусловлено эволюцией структурного упорядочения солевых растворов. Упорядоченность структурирования молекулами соли воды подтверждается и уменьшением темпа прироста пьезоэффекта при достижении концентраций насыщенного раствора.

Данное положение подтверждается также дрейфом амплитуды сигнала при анализе чистого дистиллята, поскольку вода в данном случае практически не структурирована (все измерения проведены при $T = 300$ К). Дрейф сигнала был отмечен также в работе [1] при исследовании подвижности в воде микробов. В данном контексте логично и идентичное поведение амплитудно-частотных характеристик водных и спиртовых растворов лецитина, при малых концентрациях не способного связывать молекулы воды в значительном количестве.

Следовательно, пьезоэлектрические комплексы твердотельных пьезорезонаторов и химрастворов позволяют однозначно идентифицировать состав и структуру анализируемых жидкостей.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] О к а h a t a Y., Е b a t o H., T a g u c h i K. // J. Chem. Soc., Chem. Commun. 1987. N 28. P. 1363-1365.
- [2] M u r a m a t s u H., D i c k s J.M., T a m i y a E. and K a r u b e I. // Anal. Chem. 1987. V. 59. N 23. P. 2760-2763.

Поступило в Редакцию
8 августа 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 3

12 февраля 1991 г.

05.4

© 1991

СВЧ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВТСП МЕЖГРАНУЛЬНЫХ ДЖОЗЕФСОНОВСКИХ ПЕРЕХОДОВ

А.Н. Т а в х е л и д з е, Л.С. К у з ь м и н,
Е.С. С о л д а т о в, В.Н. О х р и м е н к о

В последнее время интенсивно изучается вопрос о применимости ВТСП материалов для формирования джозефсоновских переходов

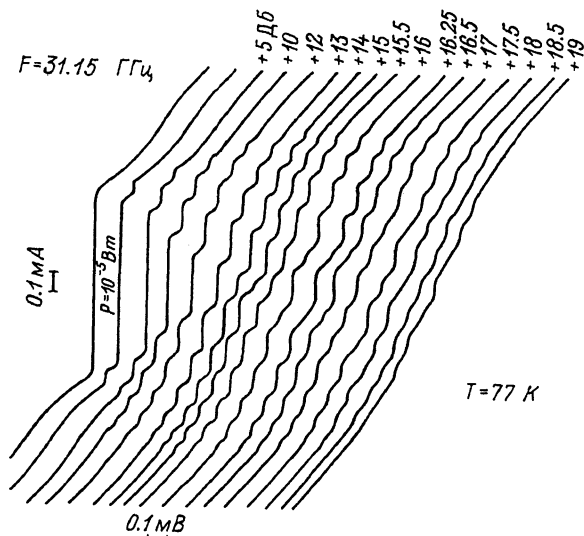


Рис. 1. ВАХ при различных мощностях СВЧ сигнала.

[1]. Наиболее важным является исследование тех характеристик переходов, которые определяют возможность их применимости для создания измерительных приборов, работающих при $T = 77$ К [2]. С этой точки зрения большой интерес представляет выяснение вопросов о достижимом в таких переходах значении характерного напряжения V_C и уровне собственных шумов перехода. Данная работа посвящена изучению основных для приемных СВЧ устройств характеристик межгранульного перехода из $YBaCuO$ при $T = 77$.

На рис. 1 показаны вольтамперные характеристики (ВАХ) образца 1. ВАХ снимались при различных уровнях мощности СВЧ сигнала. Ступени Шапиро, расположенные на соответствующих соотношении Джозефсона напряжениях, осциллируют в зависимости от величины СВЧ тока, что является косвенным свидетельством наличия в мостике одиночного слабого контакта. Для проверки применимости резистивной модели к исследуемым мостикам вычислялось V_C перехода с использованием α -критерия [3]. Экспериментальным путем определялись α_0 и α_1 :

$$\alpha_n = \left[A \frac{(1)}{(n)} / \frac{(2)}{(n)} \right] - 1,$$

где $A_n^{(k)}$ – величина нормированного на I_C СВЧ тока, при котором n -я ступень тока обращается в ноль в k -й раз. По известным зависимостям $\alpha_n(\omega)$, где $\omega = \Omega/\Omega_C$, справедливым только в резистивной модели, рассчитывались величины $\omega_0(\alpha_0)$ и $\omega_1(\alpha_1)$. По ним определялись два значения характерного напряжения $V_{C0,1} = \hbar \cdot (\Omega/\omega_{0,1})/2e$. В результате получились значения

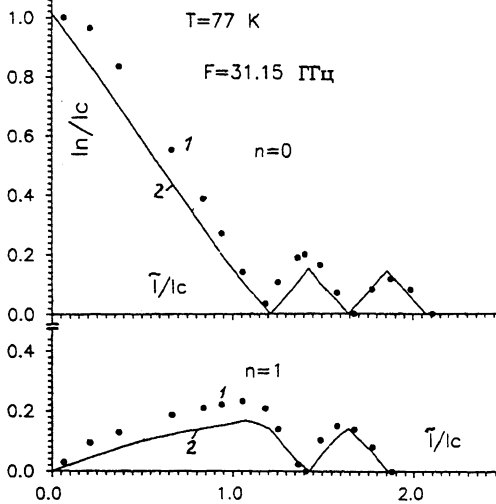


Рис. 2. Зависимость величин ступеней Шапиро от СВЧ тока: 1 – эксперимент; 2 – теория.

$V_{CO} = 340 \pm 50$ мкВ и $V_{C1} = 370 \pm 50$ мкВ. Ошибка измерений определялась ошибкой измерения мощности и не зависела от степени рассогласования импедансов контакта и СВЧ тракта, так как в выражении для α входит отношение амплитуд токов. Ошибка измерения мощности находилась в пределах 0,05 дБ. Произведение $I_C R_N$ определенное по ВАХ равняется 400 мкВ и незначительно превышает V_C , определенное по СВЧ измерениям. На рис. 2 представлены экспериментальные значения длин нулевой и первой ступеней Шапиро и теоретические кривые, полученные в рамках резистивной модели для значения нормированной частоты $\omega = 0,18$, вычисленной по α -критерию.

На рис. 3, а показана зависимость СВЧ отклика от напряжения смещения. На зависимости видна селективная особенность, которая обусловлена взаимодействием внешнего СВЧ излучения с собственной джозефсоновской генерацией, вызванной наличием постоянного напряжения на переходе. Взаимодействие возникает при напряжениях, близких к $V = \hbar\Omega/2e$ [3], где Ω – частота сигнала.

С целью определения уровня собственных шумов по ширине селективной особенности экспериментальная кривая сравнивалась с результатом расчета в рамках резистивной модели. В пределах этой модели справедлива формула [4]

$$resp = r_d/4i(\omega^2 - v^2), \quad (1)$$

которая с учетом собственных шумов перехода принимает вид [3]

$$resp = (r_d/8i\omega) \left(-\frac{s}{s^2 + \gamma^2} + \frac{\sum \gamma^2}{\sum \gamma^2 + \gamma^2} \right), \quad (2)$$

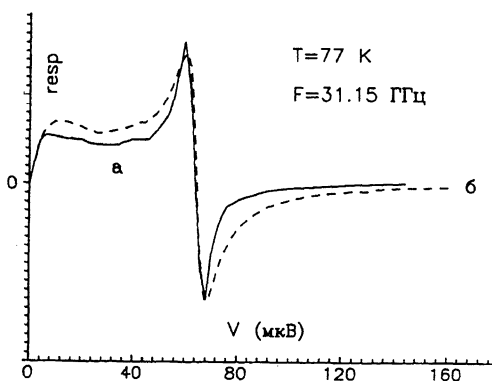


Рис. 3. Зависимость отклика от постоянного напряжения на контакте: а - эксперимент, б - расчет в рамках резистивной модели.

где $\delta = \omega - \nu$, $\Sigma = \omega + \nu$; $\omega = \Omega / R_c$, $\nu = V_0 / V_c$, ω и ν - нормированные значения частоты облучения и постоянного напряжения на переходе; $i = I / I_c$; γ - шумовой параметр, описываемый формулой

$$\gamma = (2e/\hbar)^2 (1/\omega_c R_N) K_B T R_d^2 (1 + 1/2 i^2) k, \quad (3)$$

где ω_c - характерная частота; R_N - нормальное сопротивление; R_d - дифференциальное сопротивление перехода. Коэффициент k вводится для учета превышения уровня реальных флуктуаций над тепловыми.

Результат расчета по формулам (2), (3) показан на рис. 3, б. В качестве всех переменных в этих формулах представлялись экспериментальные значения. Исключение составлял коэффициент $k = 1,5$, который подбирался для совпадения ширины расчетной селективной особенности с шириной экспериментальной кривой.

В межгранульных переходах ВТСП наблюдался эффект Джозефсона. Джозефсоновские ступени тока осциллировали при изменении СВЧ мощности. Зависимость амплитуд ступеней Шапиро от СВЧ тока близка по форме к теоретической зависимости, рассчитанной способом, предложенным в работе [5] для случая $\Omega < 2eV_c/\hbar$. Значения V_c , определенные из зависимости ступеней Шапиро от мощности по \mathcal{E} -критерию для ступеней с различными номерами, совпадали между собой в пределах экспериментальной ошибки, что свидетельствует о применимости резистивной модели в случае этого перехода. Характерные напряжения, определенные из СВЧ измерений и из измерений на постоянном токе имели близкие значения. Величина $I_c R_N$ составляла сотни микровольт при $T = 77$ К, что несколько ниже ожидаемого теоретического значения, полученного в работе [6] для структур типа S-N-S.

Оценки ширины линии джозефсоновской генерации проводилась по форме селективной особенности. Ширина линии генерации, оп-

ределяемая суммарным вкладом шумов всех частот в интервале 0–2 ГГц, превышала тепловое значение в 1.5 раза при $T = 77$ К. Причиной этого превышения может быть крип магнитного потока, а также дополнительный шум с широким спектром порядка 2 ГГц.

Авторы благодарны К.К. Лихареву, М.Ю. Куприянову, Е.В. Лопатиной, А.С. Ковалеву, Б.В. Селезневу, В.Г. Пирогову за помощь, оказанную в процессе работы.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] К у р р и у а н о в М.Ю., Л и х а р е в К.К. Intern. Conf. on Superconductivity (ICSC). Bangalore-India, Jan. 10-14. 1990.
- [2] Л и х а р е в К.К., С е м е н о в В.К., З о р и н А.Б. // Итоги науки и техники. Сер. „Сверхпроводимость“. 1988. Т. 1.
- [3] Л и х а р е в К.К. Введение в динамику джозефсоновских переходов. М.: Наука, 1985. С. 183.
- [4] К а n t e r Н., V e r n o n Е.Л. // J. Appl. Phys. 1972. N 43. P. 3174.
- [5] Л и х а р е в К.К., С е м е н о в В.К. Радиотехника и электроника. 1971. Т. 16. № 11. С. 2167.
- [6] К у р р и у а н о в М.Ю. Critical current of SNS junction with high T_c superconductor electrodes. ISEC'89. P. 534.

Московский государственный
университет им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
10 ноября 1990 г.

Письма в ЖТФ, том 17, вып. 3

12 февраля 1991 г.

05.4

© 1991

ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМА СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ФАЗЫ ВТСП МАТЕРИАЛОВ ВЧ МЕТОДОМ

А.И. П о л ь с к и й, В.М. П о п е л

В работе [1] отмечалось, что вносимые сопротивление и индуктивность при использовании метода накладной катушки определяются, в основном, сопротивлением для индукционных токов (макротоков). Аналогичное утверждение имеется также, например, в работе [2].

Чтобы исключить влияние макротоков, необходимо разорвать электрические связи между зернами ВТСП керамик, или, с той же