

05.4

© 1993

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ДЖОЗЕФССОНОВСКИХ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПЕРЕХОДОВ
ИЗ $YBaCuO$ НА БИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОДЛОЖКАХА.С. Катков, С.В. Козырев,
В.И. Кржиновский, С.И. Красносвободцев,
А.Г. Маресов, О.В. Снигирев

Формирование джозефсоновских переходов с высокими метрологическими свойствами на однородных ВТСП пленках весьма затруднено из-за ряда противоречивых требований.

Во-первых, для существования эффекта Джозефсона и возможности регистрации связанных с ним процессов критический ток I_c на таком участке должен превышать так называемый „флуктуационный предел“ I_f , который при температуре кипения жидкого азота составляет примерно 6.5 мкА.

Во-вторых, плотность криттока j_c не должна быть велика (меньше 1000 A/cm^2) с тем, чтобы наблюдался именно эффект Джозефсона, а не движение вихревых структур и джозефсоновская глубина проникновения $\lambda_j \propto j_c^{1/2}$ оставалась заведомо больше поперечных размеров участка слабой сверхпроводимости.

Более того, при формировании мостиков дайемовского типа на однородных пленках с типичным средним размером сверхпроводящих гранул в единицы микрон, в областях концентрации тока вблизи мостиков оказываются большое число несверхпроводящих межзеренных границ, являющихся естественными центрами пиннинга.

В переходах же, сформированных из пленок высокого качества с малым числом межзеренных границ в области мостиков, чаще всего отсутствует эффект Джозефсона из-за чрезмерно высокой плотности критического тока [1].

При этом малость длины когерентности (в $YBCO$ материале $\xi \approx 10 \text{ \AA}$) и, следовательно, такого же порядка максимальная длина слабой связи ($l = 3-5 \xi$) не позволяют применять для формирования джозефсоновских переходов методы стандартной оптической литографии.

Для выхода из этой ситуации был предложен и реализован способ, в котором „хорошая“ (с высоким T_c и j_c) монокристаллическая пленка напыляется на подложку с заранее созданным участком с сильной поверхностной неоднородностью; именно в этом месте впоследствии формируется переход типа мостика Дайема.

Одним из наиболее эффективных методов создания неоднородности является использование бикристаллической подложки, шов которой разделяет монокристаллические области с различной ориентацией кристаллографических осей [2]. Этот метод в наших экспери-

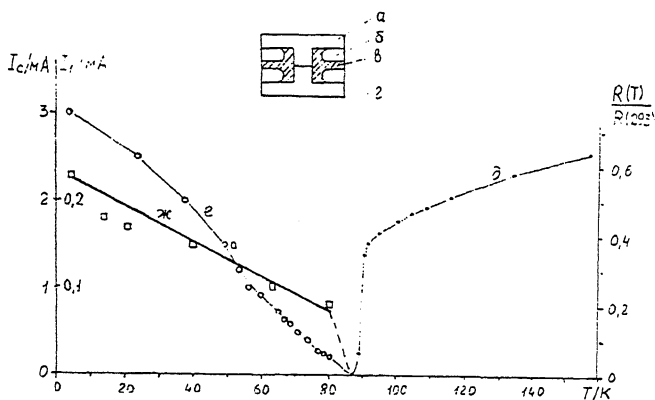


Рис. 1. На вставке схематическое изображение перехода: а – бикристаллическая подложка, б – серебряные контакты, в – пленка $YBaCuO$, г – мостик. Температурные зависимости параметров джозефсоновского перехода: д – нормального сопротивления, е – критического тока, ж – максимальной ширины первой ступеньки.

ментах с отечественными материалами, имеющими довольно высокий уровень примесей в исходных компонентах подложек и пленок, продемонстрировал устойчивую повторяемость, вполне приемлемую технологичность и, главное, позволил задавать и варьировать электродинамические параметры джозефсоновских переходов в широких пределах.

В наших экспериментах применялись сварные бикристаллические подложки из $SrTiO_3$, кристаллографические оси $[100]$ разных половин, которых были развернуты вокруг оси $[001]$ на $35-40^\circ$ друг относительно друга. Сами оси $[001]$ оставались при этом сонаправленными в пределах $0.5-1.5^\circ$.

$YBCO$ пленки выращивались с толщинами от 250 нм до 1 мкм, с $T_c = 92-96$ К и удельным сопротивлением при 300 К порядка 300 мкОм·см. Критическая температура мостика, пересекающего шов бикристалла, была меньше на 2–5 К; плотность криттока через шов составляла несколько сотен А/см². Ширина резистивного перехода как собственно пленки, так и мостика не превышала 1 К (рис. 1). Полученные пленки имели зеркальную поверхность с прослеживаемой линией спая между двумя частями пленки по шву подложки.

Анализ пленок на рентгеновском дифрактометре Rigaki в геометрии Брэгга-Брентана и при скользящем падении пучка свидетельствует об их хорошей с-ориентации.

Метрологические характеристики перехода Джозефсона, сформированного в мостике, исследовали на аппаратуре Государственного эталона вольты [3]. Подложку с переходом (рис. 1) размещали в зонде внутри охлаждаемого пермаллового экрана (диаметр 20 мм,

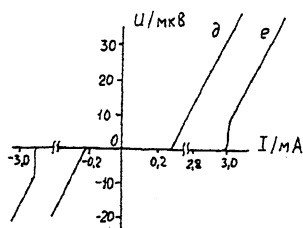
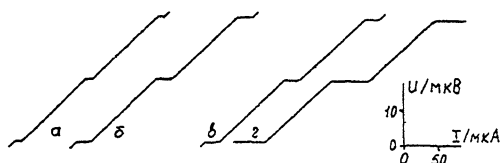


Рис. 2. ВАХ перехода при внешнем СВЧ облучении частотой 8 Гц при 77 К: а - 3 мВ, б - 1 мВ, при 4.2 К: в - 8.5 мВ, г - мВ. ВАХ перехода без СВЧ облучения: д - при 77 К, е - при 4.2 К.

длина 200). Для включения в цепи постоянного тока на поверхность пленки напылены четыре серебряных контакта с сопротивлением менее 0.01 Ом. Согласование с коаксиальным трактом СВЧ осуществлялось микрополосковым трансформатором импедансов с экспоненциальной характеристикой [4]. Температуру подложки измеряли с помощью угольного терморезистора. Аппаратура размещалась в экранированной камере.

Температурные зависимости критического тока I_c и нормального сопротивления R перехода приведены на рис. 1. Дифференциальное сопротивление боковой ветви ВАХ в диапазоне температур 4.2-77 К изменялось в пределах 0.23-0.21 Ом. Сопоставление полученных результатов с теоретическими зависимостями приводит к выводу, что слабая связь по типу близка к SNS-мостику переменной толщины, т.е. связь образуется на границе между гранулами сверхпроводящей фазы, поверхность которых вследствие естественной потери атомов кислорода обладает нормальным (металлическим) типом проводимости [2].

Как видно из рис. 1, ж, ширина первой ступеньки Шапиро I_i плавно уменьшается при изменении температуры от 4.2 К вплоть до 80 К, после чего резко спадает до нуля при T_c .

Вольт-амперные характеристики (ВАХ) слабой связи исследовались при 4.2 и 77 К. ВАХ стационарного эффекта, как видно из рис. 2, д, е, асимметричны относительно оси напряжения. Механизм возникновения асимметрии объяснен в [5] на основе петлевой модели джозефсоновской среды. Показано, что в системе, содержащей асимметричные сверхпроводящие петли со слабыми связями, воздействие магнитных и СВЧ полей приводит к сдвигу ВАХ перехода по оси токов.

Различные участки ВАХ нестационарного эффекта Джозефсона, исследованного в диапазоне частот 7–10 ГГц, показаны на рис. 2. При 4.2 К ширина ступенек с напряжением 1 мВ достигала 60 мкА при мощности СВЧ на входе зонда 0.4 мВт. Ступеньки Шапиро шириной порядка 25 мкА наблюдались вплоть до 8.5 мВ при мощности СВЧ до 25 мВт.

При 77 К ширина ступенек, соответствующих напряжению 1 мВ, составляла 25 мкА при мощности СВЧ 6 мВт. Наблюдалась ступенька шириной 10 мкА вплоть до напряжения 3 мВ. При этой же температуре оценены основные метрологические параметры перехода, а именно, наклон ступенек и соответствие их напряжения уравнению Джозефсона: $\mathcal{U} = n\Phi_0 f$ (где n – целое число, $\Phi_0 = 2.067833$ мкВ/Гц – квант магнитного потока, f – частота облучения). Расчетное значение \mathcal{U} при частоте 7.866285 ГГц для $n = 74$ составило 1.203696 мВ. Среднее значение напряжения на переходе, измеренное при двух направлениях тока смещения равно 1.203690 мВ. Совпадение в пределах погрешности эксперимента (10 ppm) расчетного и экспериментального значений напряжения свидетельствует об отсутствии наклона ступеней и существенного влияния других факторов (таких как, например, термоэлектрические эффекты).

Полученные результаты указывают на перспективность применения пленочных переходов Джозефсона на бикристаллической подложке для создания новой элементной базы в области измерительной техники, в том числе „азотных“ квантовых эталонов вольты.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] K o v a l e v A.S., K r a s n o s v o b o t s e v S.I., M a r e s o v A.G. et al. // Extend. Abstr. of ISEC'89. Tokyo. 1989. P. 538–541.
- [2] В е н г р у с И.И., К р а с н о с в о б о д ц е в С.И., К у п р и я н о в М.Ю., М а р е с о в А.Г., П и р о г о в В.Г., С н и г и р е в О.В. // СФХТ. 1991. Т. 4. № 10. С. 1942.
- [3] К р ж и м о в с к и й В.И., К а т к о в А.С. и др. // Измерительная техника. 1990. № 11. С. 6–7.
- [4] Г е р а с и м о в Н.П., К р ж и м о в с к и й В.И., К а т к о в А.С. и др. // Письма в ЖТФ. Т. 14. В. 18. С. 1683–1686.
- [5] К р ж и м о в с к и й В.И., К а т к о в А.С., З е л и к м а н М.А., К о з ы р е в С.В. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 23. С. 14–18.

Физико-технический
институт им. А.Ф. Иоффе
РАН, С.-Петербург

Поступило в Редакцию
10 февраля 1993 г.