

ватостях, расширяющих слой, на потенциальных „впадинах“; прямая - результат расчета в борновском приближении.

Характер зависимости подвижности от энергии определяет вид вольт-амперной характеристики в условиях разогрева. Согласно борновскому приближению, разогрев не влияет на подвижность. Расчет методом фаз показывает, что при разогреве подвижность за счет рассеяния на потенциальных „горбах“ должна уменьшаться (ВАХ сублинейна).

Автор признателен В.И. Перелю за внимание к работе и полезные обсуждения.

Л и т е р а т у р а

- [1] Stern F., Howard W.E. - Phys. Rev., 1967, v. 163, N 3, p. 816-835.
[2] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. Нерелятивистская теория, М.: Наука, 1974. 752 с.

Физико-технический институт
им. А.Ф. Иоффе АН СССР,
Ленинград

Поступило в Редакцию
14 апреля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 14

26 июля 1988 г.

ЭФФЕКТ ДЖОЗЕФСОНА В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ ПРИ $T=77\text{ K}$

А.И. Головашкин, А.Л. Гудков,
С.И. Красносвободцев, Л.С. Кузьмин,
К.К. Лихарев, Ю.В. Масленников,
Ю.А. Пашкин, Е.В. Печень,
О.В. Снигирев

Сразу после обнаружения эффекта Джозефсона в слабых связях высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) [1, 2] начались интенсивные работы по созданию на их основе тонкопленочных джозефсоновских переходов. Традиционные типы таких структур воспроизвести пока не удалось. Однако было обнаружено [3-5], что почти „классическими“ джозефсоновскими свойствами могут обладать тонкопленочные микромостики относительно больших размеров - порядка нескольких микрон, т.е. гораздо больше длины когерентности ξ . По всей вероятности, это связано с эффектом Джозефсона в одной из коротких ($d \sim \xi$) слабых связей между гранулами пленки микромостика.

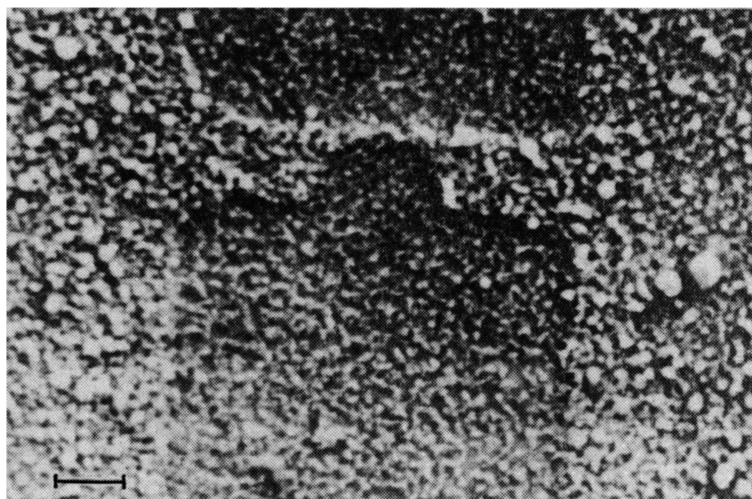


Рис. 1. Общий вид пленочной микромостиковой структуры шириной 2 мкм и длиной 10 мкм.

Однако до сих пор полезные параметры таких слабых связей, в частности их критическая температура T_c и характерное напряжение $V_c = I_c R_N$, были недостаточно высоки, а методы изготовления — иногда чрезмерно сложны. Целью настоящей работы было исследование возможности получения слабых связей с высокими значениями параметров в тонких пленках ВТСП материалов с использованием обычных фотолитографических методов.

Пленки состава $YBa_2Cu_3O_x$ толщиной 0,5–1 мкм наносились на подложки из $LiNbO_3$ с помощью лазерного распыления мишени по методике, близкой к [6], они показывали переход в сверхпроводящее состояние шириной $\Delta T = 4$ К при температуре середины перехода $T_{CO} = 91$ К. Характерный размер кристаллитов в структуре пленки составлял ~ 1 мкм.

Для формирования слабых связей использовались пленки с относительно высокими значениями плотности критического тока j_c (10^4 – 10^5 А/см² при $T=77$ К). Формирование микромостиков с размерами от 10×10 мкм² до 2×10 мкм² (рис. 1) проводилось обычными литографическими методами с сушкой резиста ФП 51 МК при 70 °С в течение часа, проявлением резиста в 1% растворе КОН с последующим травлением ВТСП – пленки в 1% растворе HNO_3 . Критическая температура мостиков T_c была ниже T_{CO} на 2–3 К.

На рис. 2 показаны вольт–амперные характеристики (ВАХ) одного из образцов (10×10 мкм²) при $T=4.8$ К, в том числе их изменение при воздействии СВЧ облучения с частотой $f=8.0$ ГГц.

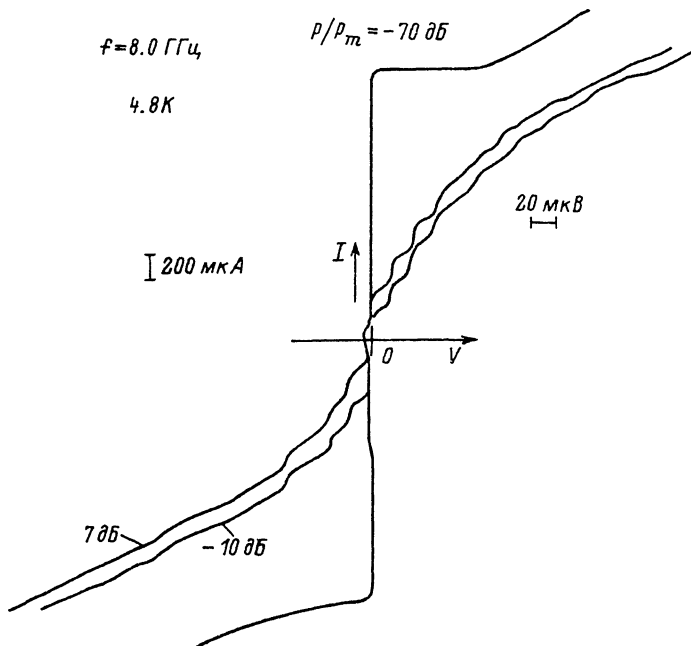


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики микромостика при $T=4.8$ К при различной мощности СВЧ-облучения. Излом кривых при $V=0$ связан с аппаратурным эффектом.

В отсутствие облучения значение характерного напряжения V_C было порядка 500 мкВ, что близко к лучшим значениям, полученным на массивных ВТСП керамиках [1]. Вид ВАХ при этом типичен для джозефсоновских слабых связей с непосредственной проводимостью (безгистерезисный характер ВАХ и значительный избыточный ток $I_{ex} \sim I_C$). При СВЧ воздействии четко наблюдаются ступеньки напряжения с шагом $\Delta V = (h/2e)f \simeq 1.7$ мкВ. Характер зависимости высоты ступенек от СВЧ мощности свидетельствует о „классическом” эффекте Джозефсона с зависимостью $I_3(\varphi)$, близкой к синусоидальной [7].

На рис. 3 приведены вольт-амперные характеристики того же образца при температуре 77 К. Несмотря на уменьшение критического тока с 2 мА до 200 мкА, ясно наблюдается первая ступенька тока. Ее размытие, однако, больше, чем следует из стандартной теории воздействия термических флуктуаций [7] при теоретическом значении „флуктуационного тока” $I_T = (2e/\hbar)kT \simeq 3$ мкА. Характерное напряжение V_C составляет ~ 80 мкВ, т.е. примерно на порядок превосходит лучшее значение, известное из литературы [5].

Для уточнения структуры слабой связи мы измеряли зависимость ее критического тока I_C от магнитного поля H , ориентированного

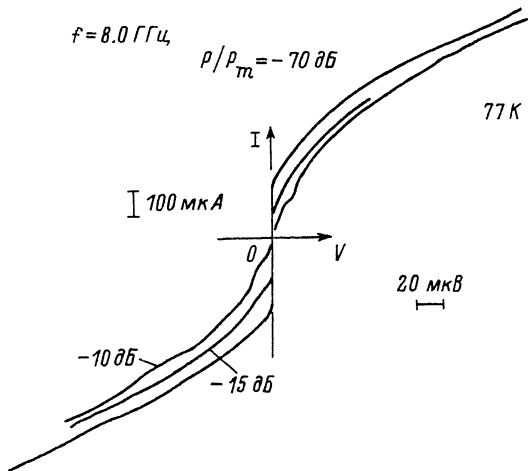


Рис. 3. Вольтамперные характеристики микромостика при $T=77$ К и различных мощностях СВЧ-облучения.

параллельно плоскости пленки и перпендикулярно линиям тока в микромостике. Эта зависимость для данного образца оказалась близкой к интерференционной с периодом по полю $\Delta H=225$ Э и со значением критического тока в минимуме $(I_C)_{min}$, близком к $0.2(I_C)_{max}$. Такая зависимость естественно объясняется, если считать, что кристаллиты пленок контактируют не по всей ширине микромостика, а на двух относительно малых участках, разделенных расстоянием в несколько микрон.

Таким образом, наши эксперименты показывают, что используя тонкие пленки высокотемпературных сверхпроводников с относительно высокими значениями плотности критического тока и обычные методы прямой литографии можно получать джозефсоновские переходы с относительно большими значениями V_C (по крайней мере до 0.1 мВ при $T=77$ К). Такие переходы могут с успехом использоваться в устройствах малой степени интеграции, включая сквиды и СВЧ приемники.

Л и т е р а т у р а

- [1] Tsai J.S. et al. - Jap. J. Appl. Phys., 1987, v. 26, No. 5, p. L701-L703.
- [2] Головашкин А.И. и др. "Высокотемпер. сверхпровод". - Информ. материалы, 1987, Свердлов.: Ур. Отд. АН СССР, часть II, с. 62-64.
- [3] Koch R.H. et al. - Appl. Phys. Lett., 1987, v. 51, No. 3, p. 200-202.

- [4] C u i G.J. et al. - Sol. St. Comm., 1987, v. 26, No 3, p. 321-323.
- [5] T a n a b e H. et al. - Jap. J. Appl. Phys., 1987, v. 26, No. 12, p. L1961-L1962.
- [6] Г о л о в а ш к и н А.И. и др. - Письма в ЖЭТФ, 1988, т. 47, в. 3, с. 157-160.
- [7] Л и х а р е в К.К. - УФН, 1979, т. 127, № 2, с. 185-220.

Поступило в Редакцию
14 апреля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 14

26 июля 1988 г.

ДИФРАКЦИЯ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ

А.В. А н д р е е в, Ю.В. П о н о м а р е в,
А.А. С м о л и н

1. Предметом настоящей статьи является обсуждение результатов экспериментов по наблюдению дифракции на поверхностных акустических волнах (ПАВ) рентгеновских лучей, падающих на кристалл под скользящими углами. Показана возможность определения характеристик ПАВ по угловым спектрам упруго рассеянного излучения. Дана теоретическая интерпретация и приведены расчетные формулы, позволяющие определить указанные характеристики.

2. Проведенные до сих пор эксперименты по исследованию влияния акустических волн (АВ) на дифракцию рентгеновских лучей [1] были основаны на высокой чувствительности дифракции рентгеновских лучей в симметричной Брэгг- и Лауэ-геометрии к искажениям кристаллической решетки. Сверхрешетка, возникающая при распространении АВ, приводит при выполнении условия $\alpha_s / \alpha \geq \Delta$ (где α_s , α - волновые вектора АВ и рентгеновской волны, $\Delta \sim 10^{-5}$ рад - угловая ширина дифракционного максимума) к появлению сателлитов, положение и амплитуда которых несут информацию о длине волны и амплитуде АВ. Другая возможность регистрации АВ в условиях $\alpha_s / \alpha \leq 10^{-5}$ рад, экспериментально реализованная и теоретически обоснованная в настоящей статье, связана с использованием полного внешнего отражения рентгеновских лучей [2-4].

3. Эксперименты проводились по схеме, описанной нами ранее в [4]. В качестве образцов использовались пластины X-Y среза LiNbO_3 с нанесенными на них парами встречно-штыревых преобразователей (ВШП) для возбуждения стоячих или бегущих ПАВ в диапазоне 20-80 МГц. Использовался импульсный режим возбуждения ПАВ. Система регистрации на базе рентгеновского координатного детектора (РКД) и анализатора импульсов с использованием режимов совпадения и антисовпадения обеспечивала регистрацию угловых