

05.4; 09

© 1992

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТА ДЖОЗЕФСОНА В СЛАБОСВЯЗАННЫХ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ ПРИ ПОМОЩИ СВЧ-СКАНЕРА

В.Ф. Мастеров, А.В. Приходько,
Г.Г. Сельмиштрайтис, А.Н. Чурсинов

Исследование эффекта Джозефсона дифференциальными СВЧ-методами к настоящему времени не проводилось [1].

Цель настоящей работы – продемонстрировать возможности исследования ВТСП с использованием дифференциальной методики. В ее основе лежит принцип сканирования СВЧ-лепестком излучения диэлектрической антенны вдоль ХУ-плоскости образца. Сравнительно малый объем области сканирования позволяет, во-первых, избежать технологических трудностей, связанных с выбором контактов, и, во-вторых, проводить эксперименты, модулируя физические параметры на одном образце. Это может быть актуальным при проведении сравнительных исследований, например, по выяснению вопроса о существовании островков с повышенной критической температурой [2] или при исследовании образцов различной размерности.

Методика эксперимента (рис. 1, вставка) основана на специально разработанном в ИФП АН Литвы двухкоординатном сканирующем устройстве 1, управляемом от ЭВМ. Устройство включает в себя системы регистрации ВАХ и облучения образца СВЧ-мощностью. Для регистрации ВАХ использовались генератор 2 типа Г6-15, усилители 3, 4 типа *Unipan*-232В, трансформаторы 5, 6 – *Unipan*-233-7-1. Результаты фиксировались и обрабатывались при помощи ЭВМ Искра-226.

Трансформаторы 5 и 6 служат для развязки цепей питания образца и цепи измерения тока. При этом от генератора 2 через трансформатор 5 импульсное напряжение прикладывается к образцу. Усилитель 3 служит для измерения напряжения на образце, а усилитель 4 измеряет ток протекающий в цепи образца ($I_{дет}$).

Таким образом схема, приведенная на вставке рис. 1, позволяет измерять ВАХ образца в импульсном режиме. Частота следования импульсов и их длительность определяются частотными характеристиками трансформаторов и шириной полосы пропускания усилителей и могут варьироваться; в наших экспериментах составляла $f = 100$ Гц, $\tau \sim 10$ мс.

Дополнительно аппаратура позволяет исследовать влияние СВЧ электромагнитного поля на свойства ВТСП-образцов. При этом возможны два режима работы. Во-первых, изучение влияния СВЧ-

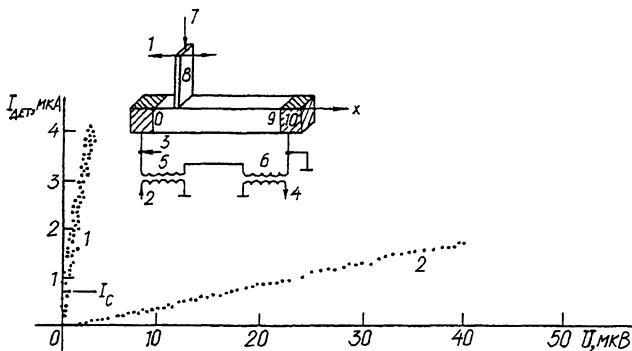


Рис. 1. ВАХ образца при 77 К (кривая 1) и 300 К (кривая 2 - цена деления по току умножается на 0.03). На вставке изображена схема измерительной установки.

поля на ВАХ образца, во-вторых, при отключенном от трансформатора 5 генератора 2 регистрируется импульсный ток, протекающий через образец, под воздействием импульсного СВЧ-поля; при этом модуляция СВЧ-мощность осуществляется от того же генератора 2. Второй режим можно условно назвать режимом измерений „без смещения“, т. е. на образец не подается импульсное напряжение через трансформатор 5. В качестве СВЧ-источника применен 88 мм-генератор 7 типа Г4-156. Антенной служил диэлектрический волновод 8 с торцевым размером 2.5 x 1.0 мм, соприкасающийся с поверхностью образца 9. В сверхпроводящем режиме работы в ближней зоне антенны устанавливаются стоячие волны с магнитными компонентами на поверхности образца [3].

В качестве слабосвязанной среды использована порошкообразная ВТСП-керамика $YBa_2Cu_3O_7$, полученная из тетрагонального полуфабриката (г. Пышма) $YBa_2Cu_3O_{6.5}$, отожженного при 940°C в течение 15 ч в O_2 и охлажденного $5^\circ/\text{мин}$ при выдержке 3-4 часа при 400°C . Средний размер зерна не более 10 мкм. Порошок помещается во фторопластовую капсулу диаметром 3 мм, толщиной стенок 0.1 мм и поджимался блоками (10 на вставке рис. 1) 3 x 3 x 1 мм³ из стеклотулера с зеркально отполированной поверхностью.

На рис. 1 показана зависимость ВАХ образца при 300 и 77 К, на рис. 2 - зависимость детектируемого образцом тока $I_{\text{дет}}$ от падающей на образец мощности P в отсутствии смещения в точке $x = 5$ мм (частота электромагнитного излучения 30 ГГц, частота модуляции СВЧ мощности 100 Гц. На вставке к рис. 2 представлено распределение $I_{\text{дет}}(x)$ по длине образца при $P/P_0 = 0.6$ ($P_0 = 3$ мВт) в отсутствии смещения.

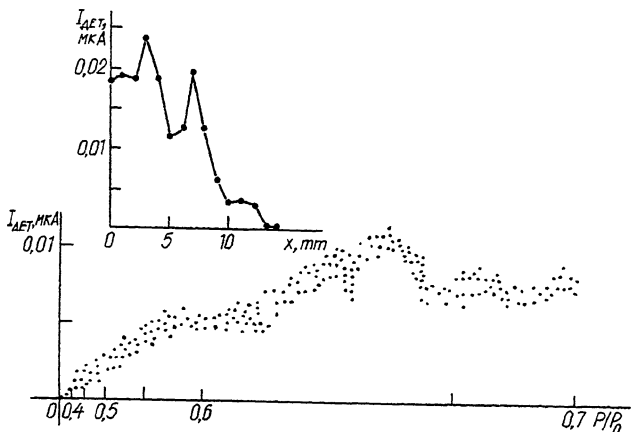


Рис. 2. Зависимость детектируемого образцом тока $I_{дет}$ от падающей на образец мощности P/P_0 в отсутствии смещения. $P_0 = 5$ мВт.

Как видно из рис. 1, при $T = 300$ К ВАХ имеет омический характер, в то время как при $T = 77$ К на вольт-амперной характеристике явно наблюдается участок джозефсоновского тока, что обычно не удается зарегистрировать при использовании стационарных методик [4]. Нам не удалось получить ступеньки Шапиро при дополнительном воздействии на образец СВЧ-излучения. Отсутствие ступенек Шапиро может быть обусловлено двумя причинами: во-первых, широким распределением параметров внутренних джозефсоновских переходов; во-вторых, тем, что СВЧ-излучение действует на малом участке образца, в то время как ток определяется всей совокупностью джозефсоновских контактов в образце.

В отсутствие внешнего напряжения и облучения СВЧ-полем при $T = 77$ К (рис. 2), очевидно, проявляется „обратный” эффект Джозефсона, т. е. детектирование СВЧ-излучения внутренними джозефсоновскими переходами. Обращает на себя внимание немонотонный характер зависимости $I_{дет} = f(P)$, аналогичный наблюдавшемуся ранее [5] при помещении образца ВТСП в объемный резонатор. В данном случае „активной” является небольшая часть образца, определяемая лепестком излучения антенны. Кроме того, в отличие от [5], где регистрировалось изменение добротности, в данном случае регистрируется непосредственно детектируемый ток. Тем не менее, как нам представляется, природа наблюдаемых эффектов в обоих случаях одинакова с тем отличием, что в одном случае регистрируются потери в джозефсоновской среде, а во втором – обратный эффект Джозефсона.

Особый интерес, с нашей точки зрения, представляет зависимость $I_{\text{дет}}$ от положения системы относительно заземленного конца образца (вставка рис. 2). В случае однородного образца должно наблюдаться монотонное уменьшение детектируемого тока по мере смещения антенны δ к заземленному концу образца. Имеющая место немонотонность зависимости $I_{\text{дет}}(x)$ (рис. 2, вставка) очевидно обусловлена неоднородностью образца. Таким образом, предлагаемый метод может быть использован для определения однородности множественной джозефсоновской среды, каковой является в первую очередь керамические и поликристаллические образцы ВТСП.

Выражаем благодарность Л.В. Книшевой за консультации по микроволновой технике. Работа поддержано научным Советом по проблеме "Высокотемпературная сверхпроводимость" в рамках проекта № 90418 "Композит".

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Куприянов М.Ю., Лихарев К.К. // УФН. 1990. Т. 160. В. 5. С. 49-87.
- [2] Cai X., Ioyntr R., Larbaletiere D.C. // Phys. Rev. Let. 1987. V. 58. No 26. P. 2798-2801.
- [3] Марков Г.Т., Петров Б.М., Грудинская Г.П. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Советское Радио, 1979. 376 с.
- [4] Рабухин А.А., Рябов Д.Е., Селезнев А.В., Семенов В.Н. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. В. 8. С. 37-41.
- [5] Мастеров В.Ф., Козырев С.В., Штельмах К.Ф., Федоров А.В. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 14. С. 1277-1280.

Поступило в Редакцию
16 декабря 1991 г.
В окончательной редакции
19 мая 1992 г.