

НЕКОТОРЫЕ ТУННЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК Pb, Sn И Nb,
ПОЛУЧЕННЫЕ НА КОНТАКТАХ С МАЛЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

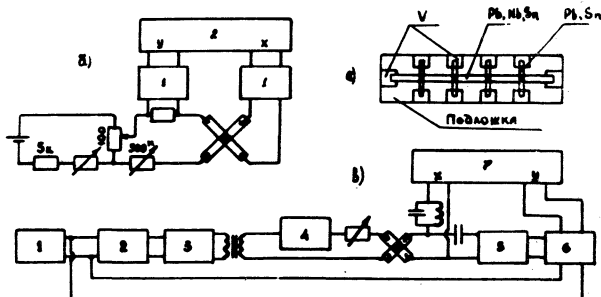
С. И. Веденеев, А. И. Головашкин, Г. П. Мотулерич

1. Туннельные исследования сверхпроводников позволяют получать ряд их электронных и акустических характеристик /1-3/. Обычно такие исследования проводятся на контактах с сопротивлением 1-10 ом/мм². При этом для ряда металлов получается известная, совпадающая с теорией, форма вольтамперной (I-V) характеристики. Вопрос получения значения энергетической щели сверхпроводника из особенностей указанной характеристики хорошо изучен /2/. Однако, "классическая" форма I-V характеристики получается далеко не во всех случаях. В частности, для металлов с высокими критическими параметрами (Nb, Nb₃Sn и др.), представляющими в настоящее время наибольший интерес для сверхпроводимости, форма характеристики получается иной. Одной из основных причин этого является наличие микроразоротов между металлами через слой диэлектрика, связанных с особенностями таких металлов. В этом случае обычные туннельные контакты имеют сопротивление $\sim 0,01$ ом/мм².

В настоящей работе проведено экспериментальное изучение туннельных контактов пленок известных металлов с микроразоротками и исследован вопрос о связи особенностей I-V характеристик с энергетическими щелями.

2. При изготовлении туннельных контактов (рис. 1а) пленки исследуемых металлов наносились с помощью испарения в вакууме $2 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. на полированные подложки из кварца или рубина. При осаждении нитрида температура подложек составляла 700-800°C. Туннельный барьер представлял собой тонкую пленку окиси на поверхности исследуемого металла. Окисление производилось несколь-

кими способами: на воздухе при комнатной температуре, на воздухе при температуре 100°C и в разряде кислорода. Исследовались туннельные контакты Pb-Sn, Pb-Pb, Sn-Sn, Nb-Pb и Nb-Sn. Площадь туннельного контакта составляла $\sim 1 \text{ мм}^2$ и



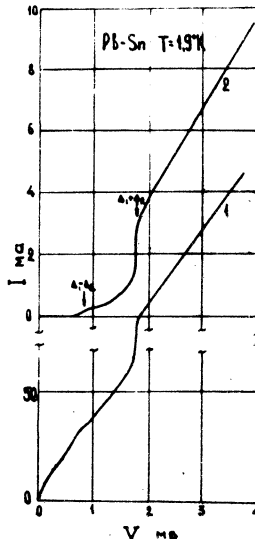
Р и с. 1. а) туннельные контакты; б) схема для записи I-V характеристик туннельных контактов: 1 - усилитель ФИ16/1, 2 - двухкоординатный самописец ПДС-021М. в) Схема для записи dV/dI туннельных контактов: 1 - генератор ГЗ-33, 2 - фильтр второй гармоники генератора, 3 - вольтметр, 4 - источник плавно меняющегося постоянного напряжения (рис. 1б), 5 - резонансный усилитель У2-6, 6 - синхронный детектор СД-1, 7 - двухкоординатный самописец ПДС-021М.

меньше. Сопротивление изучаемых контактов выбиралось около 0,01 ома. Указанное сопротивление контактов, подобранное экспериментально, является оптимальным для площадей контакта $\sim 1 \text{ мм}^2$. При увеличении сопротивления контактов уменьшается роль микрозакоротов. При уменьшении же толщины слоя окисла сопротивление контакта резко падает и появляются макрозакоротки, полностью шунтирующие ток через другие участки контакта. Предварительно, до нанесения рабочих пленок на горячие подложки в вакууме наносились ванадиевые слои (см. рис. 1 а), которые служили токовыми и потенциальными контактами. Метод нанесения таких пленок описан ранее /4/. Изготовленные таким способом ванадиевые пленки очень прочны и могли использоваться многократно.

3. Эксперименты проводились на установках, показанных на рис. 1 б, в. Измерялись как вольтамперные характеристики тун-

нельных контактов, так и производные dV/dI . При снятии $I-V$ характеристик образцов величина тока через туннельный контакт изменялась непрерывно с помощью реохорда, связанного с синхронным мотором. Скорость развертки могла изменяться от 10 сек до 3 мин. Сигнал с образца записывался на двухкоординатном само-

Р и с. 2. 1 - $I-V$ характеристика туннельного контакта Pb-Sn с сопротивлением $\sim 0,02$ ом, 2 - $I-V$ характеристика для туннельного контакта Pb-Sn с сопротивлением $\sim 0,5$ ома.



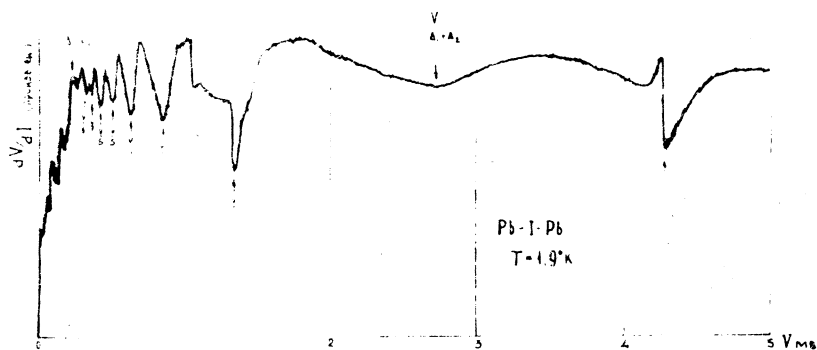
писце, при необходимости применялись усилители. Для измерения dV/dI использовалась обычная модуляционная методика. Модуляционный сигнал на туннельном контакте частотой 121 гц составлял $5+15$ мкв. Сигнал с образца усиливался резонансным усилителем с синхронным детектором и подавался на двухкоординатный самописец. Установки подобного типа описаны в литературе /1,3,5/.

4. Полученные результаты показывают, что во всех исследованных случаях величины энергетических щелей можно определять по особенностям $I-V$ характеристик контактов с микроразоротками так же, как и обычных контактов. Этот вывод следует, во-первых, из совпадения положения особенностей двух типов характеристик, во-вторых, из совпадения полученных нами значений энергетических щелей с литературными данными.

На рис. 2 приведены $I-V$ характеристики туннельного контакта Pb-Sn для пленок толщиной $\sim 1000 \text{ \AA}$. Кривая 1 относится

к контакту с сопротивлением $\sim 0,02$ ома, кривая 2 - к контакту с сопротивлением 0,5 ома.

Кривая 1 отличается от "классической" тем, что ток через туннельный контакт течет уже при напряжениях $V < \Delta_{Pb} - \Delta_{Sn}$. Та-



Р и с. 3. dV/dI как функция V для туннельного контакта Pb-Pb с сопротивлением $\sim 0,01$ ома.

кое поведение контакта связано с наличием микроскороток между двумя металлами. Микроконтакт играет роль потенциального барьера, через который может протекать туннельный ток квазичастиц /6/. Видно, что и на такой "искаженной" $I-V$ характеристике отчетливо выражены особенности, связанные с разностью и суммой энергетических щелей Pb и Sn. Для таких контактов найдено $2\Delta_{Sn} = 1,00 \pm 0,05$ мВ и $2\Delta_{Pb} = 2,70 \pm 0,05$ мВ, что хорошо совпадает с результатами других работ /7,8/. Кривая 2 имеет "классическую" форму. Хорошо видно совпадение основных особенностей двух кривых.

Для контактов Pb-Pb с тонкими слоями положения особенностей на двух типах характеристик также совпадают, а значения энергетических щелей совпадают с известными из литературы. Для толстых слоев свинца толщиной 3000-5000 Å наблюдаются две щели. Аналогичный результат был получен на образцах большей толщины в работах /9,10/. На рис. 3 показана производная dV/dI как функция V для туннельного контакта Pb-Pb с "толстыми" слоями

(сопротивление контакта $\sim 0,01$ ома). Видно, что имеются грубые особенности, связанные как с суммой, так и разностью двух щелей. При этом $2\Delta_1 = 2,93 \pm 0,05$ мВ и $2\Delta_2 = 2,44 \pm 0,05$ мВ. В работе /9/ для пленок Рь толщиной 5000 - 6000 Å наблюдались $2\Delta_1 = 2,44$ мВ и $2\Delta_2 = 2,97$ мВ, что хорошо совпадает с нашими результатами.

Из того же рис. 3 видно, что для туннельного контакта Рь-Рь наблюдается тонкая структура. Положение особенностей с высокой точностью укладывается на зависимость $V = (\Delta_1 + \Delta_2)/m$, где $m = 1, 2, 3, \dots$. Мы полагаем, что наблюдаемые нами для Рь субгармоники энергетической щели связаны с многочастичным туннелированием /9/. Полученные результаты для туннельного контакта Рь-Рь показывают, что наличие микрозакоротов позволяет наблюдать дополнительное явление - субгармоники щели. По-видимому, наличие нормального участка в микрозакоротке усиливает особенность при $m = 2$ по сравнению с особенностью при $m = 1$. Кроме того, увеличение доли нормальных областей с ростом напряжения "проявляет" особенности с большими значениями m , что позволяет видеть гармоники вплоть до $m = 8$. Использование субгармоник повышает точность определения значений энергетических щелей. Особенность, наблюдаемая для этого контакта при $V = 4,25$ мВ, соответствует энергии поперечных фононов свинца, это совпадает с результатами работ /3/.

Туннельные контакты Nb-Sn и Nb-Pb имели сопротивление несколько сотых ома. Несмотря на то, что I-V характеристики таких контактов сильно отличаются от теоретической, на них хорошо видна особенность, связанная с суммой щелей $\Delta_{Nb} + \Delta_{Sn}$ или $\Delta_{Nb} + \Delta_{Pb}$. Для исследованных контактов получено $2\Delta_{Nb}/kT_c = 3,6$, что также хорошо совпадает с другими результатами для Nb /11/.

Из приведенных результатов следует, что изучение туннельных контактов с микрозакоротками и малым сопротивлением позволяет получить все особенности, связанные с энергетической щелью исследуемого сверхпроводника. Кроме того, только на таких контактах можно наблюдать дополнительные интересные явления, как, например, субгармоники щели.

Поступила в редакцию
21 декабря 1971 г.

Л и т е р а т у р а

1. I. Giaever, K. Megerle. Phys. Rev., 122, 1101 (1961).
2. „Tunneling Phenomena in Solids” ed. by E. Burstein. New York, 1969.
3. Н. В. Заварицкий. ЖЭТФ, 57, 752 (1969).
4. А. И. Головашкин, А. А. Шубин. Препринт ФИАН № 65, 1965 г.
5. W. L. McMillan, J. M. Rowell. „Superconductivity” ed. by Parks, v. 1, 1969.
6. Н. О. Кулик, И. К. Янсон. Эффект Джозефсона в сверхпроводящих туннельных структурах. Москва, 1970 г.
7. I. Giaever, H. R. Hart, K. Megerle. Phys. Rev., 126, 941 (1962).
8. Н. В. Заварицкий. ЖЭТФ, 45, 1839 (1963).
9. G. I. Rochlin. Phys. Rev., 152, 513 (1967).
10. C. K. Campbell, P. G. Walmsley. Canad. Journ. of Phys., 45, 159 (1967).
11. P. Townsend, J. Sutton. Phys. Rev., 128, 591 (1962).