

ГЕНЕРАЦИЯ И ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ СВЧ СВЕРХПРОВОДЯЩИМ ТОЧЕЧНЫМ КОНТАКТОМ ОЛОВЯННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

И.Я. Краснополи, М.С. Хайкин

В работах [1, 2] сообщалось о нелинейности сопротивления точечных металлических контактов при гелиевой температуре. Однако различие материалов электродов, образующих контакт (Ag и Bi (1), Pt и Sn(2)), делало неопределенным как физическое состояние, так и химический состав контакта.

В данной работе исследованы точечные контакты электродов из весьма чистого олова (ρ 300°K / ρ 4,2°K $\sim 10^5$). Контакты создавались в жидком гелии прикосновением оловянной проволоки ϕ 1–2 мм, механически заточенной на конце, к плоской поверхности массивного оловянного образца. В момент прикосновения препятствовавший электрическому контакту слой окисла на поверхности олова пробивался напряжением ~ 150 – 200 в через сопротивление 1 Мом. Сопротивление таких контактов составляло 0,1–0,01 ом. Точечный контакт находился внутри коаксиального резонатора (рис. 1), настроенного на частоту $f_p \approx 9,2$ Гц, так что электродами контакта служили центральная жила 1 и дно резонатора 2 (длина резонатора равна длине волны излучения СВЧ).

Изучались два явления: 1) влияние внешнего излучения СВЧ на статические вольтамперные характеристики контактов; 2) излучение СВЧ из объема контакта при пропускании через него постоянного тока. В первом случае ко входу одной из коаксиальных линий 4, связанных с резонатором, подключался клистронный генератор, во втором – супергетеродинный приемник 3-см диапазона (П-5-10).

При температуре контакта $T < T_{KM}$ (критическая температура массивного олова $T_{KM} = 3,73^\circ\text{K}$) полученные результаты совпадают с опубликованными в работах [3, 4]. Поведение сверхпроводящих точечных контактов аналогично поведению джозефсоновских туннельных переходов при $V \neq 0$. Облучение таких контактов излучением СВЧ с частотой f приводит к появлению ступенек на их вольтамперных характеристиках при напряжениях:

$$V = \frac{m}{n} \cdot \frac{h}{2e} \cdot f, \quad (1)$$

где e – заряд электрона, h – постоянная Планка, m, n – целые числа.

Сверхпроводящий точечный контакт, находящийся на ступеньке (1) характеристики, является чувствительным детектором излучения соответствующей частоты. В приборе, описанном в [2], с контактом Sn + Sn при $T = 2,95^\circ\text{K}$ была получена пороговая чувствительность видеодетектирования $\sim 10^{-12}$ вт на частоте $f = 40$ Гц. В [5] показано, что точечный контакт двух сверхпроводников может служить чувствительным детектором также в субмиллиметровом диапазоне.

Когда через контакт протекает постоянный ток, обеспечивающий выполнение условия:

$$V = \frac{h}{2e} \cdot \frac{f_p}{n}, \quad (2)$$

наблюдается излучение СВЧ. На рис. 1 приведена запись выходного сигнала приемника, настроенного на основную частоту резонатора f_p ; в не-

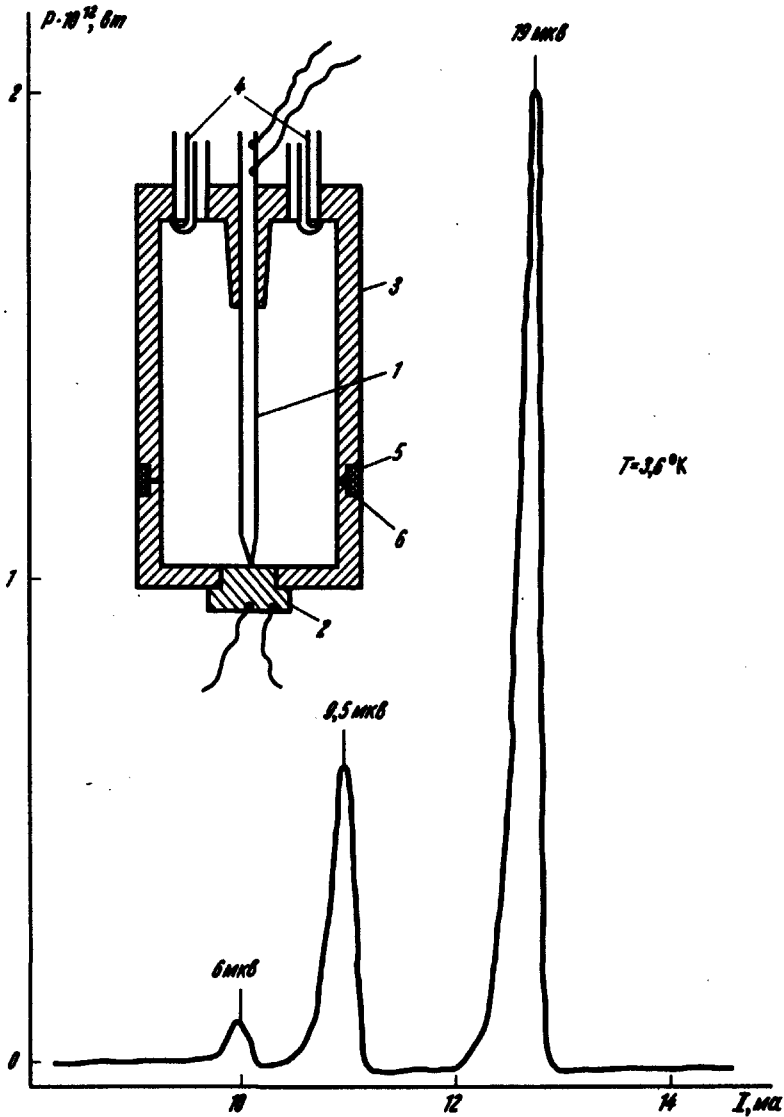


Рис.1. Схема устройства резонатора: 1 – центральная жила из олова, 2 – оловянное дно резонатора, 3 – медный корпус, 4 – коаксиальные линии связи, 5, 6 – изолирующие прокладки; кривая – запись излучения точечного контакта Sn + Sn

которых случаях наблюдалось до 10 таких пиков – до $n = 10$ – с убывающей амплитудой. Это свидетельствует о большом содержании гармоник в излучении контакта. Максимальная мощность излучения в наших опытах достигала $\sim 10^{-11}$ *вт* при токе через контакт $I \approx 20$ *ма*.

Обратимся теперь к исследованиям нелинейности сопротивления точечных контактов, обнаруженной в [2] при $T > T_{\text{КМ}}$. На рис. 2, кривая 1,

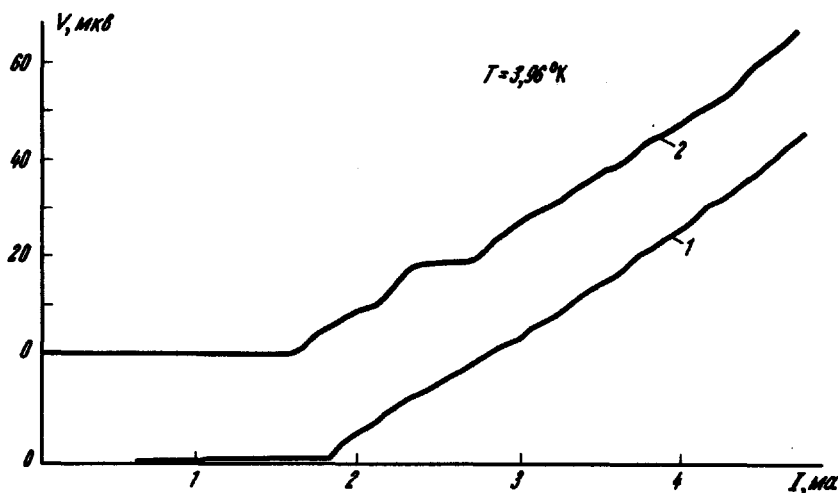


Рис.2. Вольтамперные характеристики точечного контакта Sn + Sn: 1 – без облучения, 2 – при облучении контакта мощностью СВЧ $\sim 10^{-7}$ *вт*

приведена типичная зависимость $V(I)$ для такого контакта при $T = 3,96^\circ\text{K}$. Эта зависимость имеет вид кривой разрушения сверхпроводимости током: при $I < 1,8$ *ма* $R \approx 0$. Отсутствие такого ярко выраженного участка с нулевым сопротивлением в характеристиках контактов, изучавшихся в работах [1, 2], объясняется, по-видимому, наличием в этих контактах металлов, не обнаруживающих сверхпроводимости (Ag, Bi в [1], Pt в [2]). На рис. 2 кривая 2 получена при облучении контакта мощностью СВЧ $\sim 10^{-7}$ *вт*. Отчетливо видны ступеньки при напряжениях $V \sim 20$ и 10 *мкв*, удовлетворяющих равенству (1) при $f = 9,2$ *Гц* и $m/n = 1, 1/2$.

На рис. 3 приведена запись излучения того же контакта, к которому относятся рис. 1 и 2, при $T = 3,96^\circ\text{K}$. Пик при $V = 19,5$ *мкв* соответствует излучаемой мощности $\sim 10^{-13}$ *вт*. Что касается излучения, наблюдаемого при 30 *мкв* и, вероятно, при 42 *мкв*, то можно заметить следующее. По-видимому, измеряемое напряжение в этой области уже не равно напряжению на излучающем участке сверхпроводящего контакта, а является суммой последнего с падением напряжения на участке металла, находящемся в нормальном состоянии. Подтверждением такому объяснению служит то, что при $T < T_{\text{КМ}}$, когда все измеряемое падение напряжения определяется "резистивным" состоянием точечного контакта, излучение наблюдается только при правильных значениях V (рис. 1).

Приведенные результаты исследования точечных контактов при $T > T_{\text{KM}}$ показывают, что такой контакт является сверхпроводящим. Как показывают измерения, его критическая температура $T_k \approx 4,17^\circ\text{K}$, а $dH_k/dT \approx 700 \text{ э}/^\circ\text{K}$ при $T \sim T_k$.

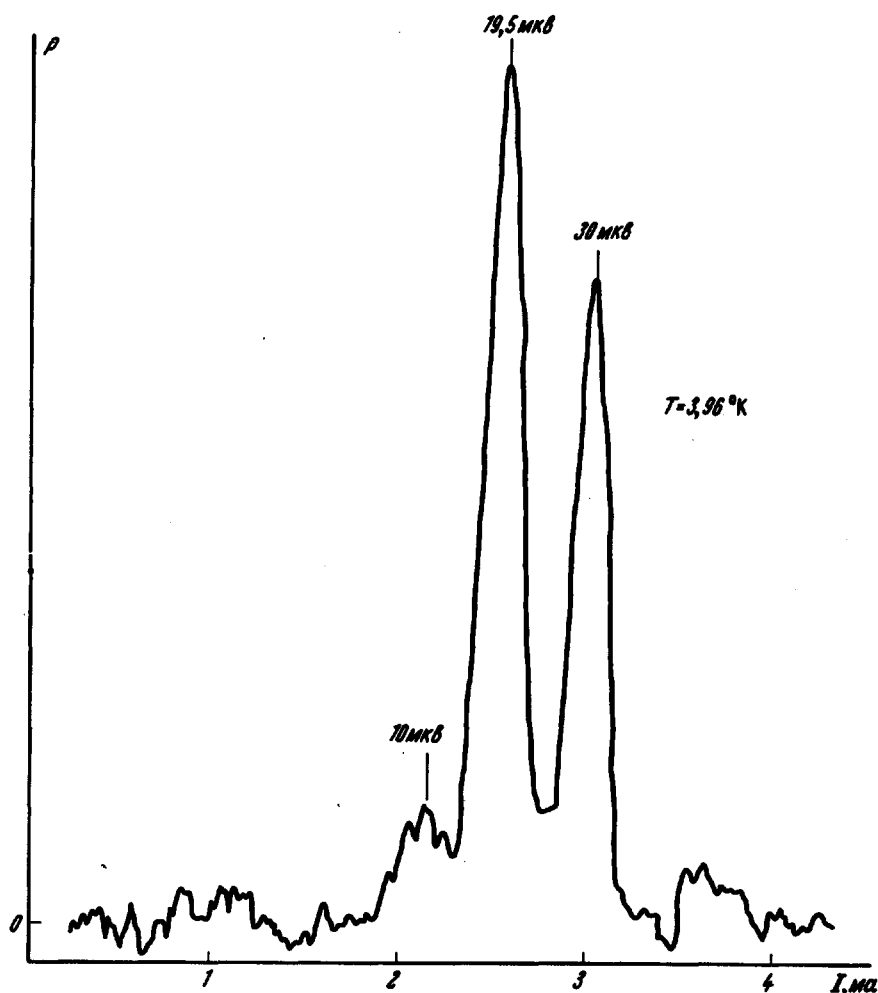


Рис.3. Запись излучения контакта Sn + Sn. Мощность излучения при $V = 19,5 \text{ мкВ}$ составляет $\sim 10^{-13} \text{ вт}$

Происхождение нелинейности в контактах Pt + Sn [2] также, по-видимому, объясняется их сверхпроводимостью: контрольные опыты показали, что эти контакты генерируют излучение СВЧ при

$$V = \frac{h}{2e} \frac{f_p}{2}$$

(излучение при $V = (h/2e) f_p$ не наблюдалось, так как необходимый

для создания такого падения напряжения ток переводит контакт в нормальное состояние).

Возникновение сверхпроводимости в точечном контакте при $T > T_{\text{KM}}$ можно, вероятно, объяснить сильной деформацией металла в области контакта, поскольку установление электрического контакта достигается нажимом, создающим разрушающее давление на металл, и пробоем слоя окисла электрическим разрядом. Как известно, значительное повышение T_{K} по сравнению с T_{KM} имеет место, например, для пленок, сконденсированных при низких температурах [6], а также для сверхпроводников, подвергнутых пластической деформации при низких температурах [7].

П.Л. Капице авторы благодарны за интерес и внимание к работе, Р.Т. Мина и В.С. Эдельману – за ее обсуждение, Г.С. Чернышеву и В.А. Юдину – за техническую помощь.

Институт физических проблем
Академии Наук СССР

Поступило в редакцию
21 июня 1967 г.

Литература

- [1] L. Esaki, P.J. Stiles. Phys. Rev. Lett., 15, 152, 1965.
- [2] М.С. Хайкин, И.Я. Краснополин. Письма ЖЭТФ, 4, 290, 1966.
- [3] A.H. Dayem, C.C. Grimes. Appl. Phys. Lett., 9, 47, 1966.
- [4] J.E. Zimmerman. J.A. Cowen, A.H. Silver. Appl. Phys. Lett., 9, 353, 1966.
- [5] C.C. Grimes, P.L. Richards, S. Shapiro. Phys. Rev. Lett., 17, 431, 1966.
- [6] А.И. Шальников. ЖЭТФ, 10, 630, 1940; Н.В. Заварицкий, А.Р. Ярошенко. Докл. на X Междунар. конф. по физике низких температур. М., 1966.
- [7] В.И. Хоткевич, В.Р. Голик. ЖЭТФ, 20, 427, 1950.