

ЧАСТОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СТИМУЛИРОВАННОЙ ВЫСОКОЧАСТОТНЫМ ПОЛЕМ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ В ПЛЕНОЧНЫХ МОСТИКАХ

Ю.И.Латышев Ф.Я.Надь

Экспериментально установлено существование нижней и верхней частотных границ эффекта подрастания критического тока пленочных мостиков при действии высокочастотного излучения.

Ранее было обнаружено явление стимулирования высокочастотным полем сверхпроводимости в узких пленочных мостиках [1, 2]. В этих и последующих работах [3, 4] исследовано подрастание критического тока и температуры перехода мостика в зависимости от мощного излучения некоторых фиксированных частот ~ 10 Гц.

Нами подробно исследована зависимость подрастания критического тока мостика от частоты в области от 8 до 78 Гц при различных температурах и было обнаружено существование помимо нижней также и верхней частотной границы этого эффекта. При интерпретации полученных результатов мы сопоставляли свои экспериментальные данные с теорией стимулированной высокочастотным полем сверхпроводимости в тонких пленках, развитой Элиашбергом с сотрудниками [5, 6]. Выдвигавшиеся ранее объяснения этого эффекта [7, 8] являются недостаточными убедительными, основываются на чисто феноменологическом подходе и не позволяют провести сопоставление с экспериментом.

Центральная физическая идея, положенная в основу работ [5, 6], состоит в следующем. При действии СВЧ поля "центр тяжести" функции распределения квазичастиц смещается вверх по энергиям, что приводит к увеличению энергетической щели в сверхпроводнике. В этих работах получен ряд конкретных результатов, касающихся особенностей исследуемого эффекта, в частности, указано на наличие нижней частотной границы. Это дает возможность сопоставить (с определенными оговорками) наши экспериментальные данные с этими результатами.

Измерения проводились на оловянных мостиках, полученных ранее описанным методом [9]. Для улучшения теплоотвода в качестве подложек был использован сапфир. Ширина и длина перешейка мостиков ме-

нялась в пределах $0,3 + 2 \text{ мкм}$, толщина — $1000 + 1200 \text{ \AA}$. Мостик располагался в 3-сантиметровом волноводе в пучности поля, параллельного транспортному току в образце. Точность измерения и поддержания температуры составляла величину $0,003^\circ\text{K}$. Критический ток I_K измерялся осциллографически по вольт-амперной характеристике (ВАХ) образца (рис. 1).

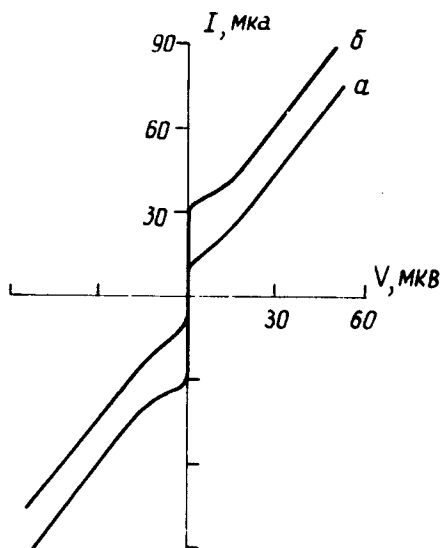


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика мостика из Sn на сапфировой подложке. Длина 1 мкм , ширина 2 мкм . $T_K = 3,82^\circ\text{K}$, $T_K - T = 0,017^\circ\text{K}$. *a* — ВАХ без излучения, *b* — ВАХ под действием излучения с частотой $27,2 \text{ ГГц}$, падающая мощность $\approx 2 \cdot 10^{-5} \text{ вт}$

Эксперимент проводился следующим образом. При фиксированной частоте генератора и фиксированной температуре ванны гелия измерялась зависимость I_K от мощности падающего излучения. Далее измерения повторялись при другой температуре и после прохождения всего температурного интервала вновь проводился цикл подобных измерений уже на другой частоте. Обозначим через η отношение величины I_K при действии СВЧ поля к его величине в нулевом поле $\eta = I_K(W)/I_K(0)$. При некоторой мощности η достигает своего максимального значения η_{max} . Тогда условием наличия подрастания I_K будет $\eta_{max} > 1$. Нами были измерены зависимости η_{max} от температуры в области $T_K - T \lesssim 0,8^\circ\text{K}$ при воздействии излучения с частотами от 8 до 78 ГГц (рис. 2).

Из рис. 2 видно, что при частотах $\omega \lesssim 30 \text{ ГГц}$ вблизи T_K кривые резко идут вверх, что связано с очень большим влиянием излучения на маленькие I_K мостиков при этих температурах. Эффекты стимулирования сверхпроводимости (возникновение сверхпроводящего состояния и соответствующего значения I_K) наблюдается также в некоторой области $T \gtrsim T_K (T - T_K \approx 0,01^\circ\text{K})$, где на линейной омической ВАХ при действии излучения с $\omega \lesssim 30 \text{ ГГц}$ появляется вертикальный участок. С понижением температуры ниже T_K подрастание I_K уменьшается и при некоторой температуре оно уже не наблюдается — кривая $\eta_{max}(T)$ пересекает

ось абсцисс. Эта точка пересечения и определяет границу существования эффекта.

При действии излучения с частотами более 30 Гц как видно из рис. 2, подрастание в непосредственной близости от T_K не наблюдается. Оно начинается только с некоторой температуры, зависящей от частоты, и не исчезает вплоть до самых низких измеренных нами температур $T_K - T \lesssim 0,8^\circ\text{K}$. Следует отметить, что с увеличением частоты величина эффекта уменьшается. Если нанести все эти граничные точки возникновения и исчезновения подрастания I_K на график, где абсциссой является температура $T_K - T$, а ординатой – частота (рис. 3), то мы получим две кривые, ограничивающие область существования эффекта подрастания критического тока в мостиках. Подрастание I_K наблюдается в полосе между этими кривыми и не наблюдается вне ее. Если взять какую-либо точку внутри этой полосы и провести оценки амплитуды поля в перешейке мостика, то оказывается, что значение поля, при котором начинается подрастание, по порядку величины согласуется с соответствующими теоретическими значениями [6].

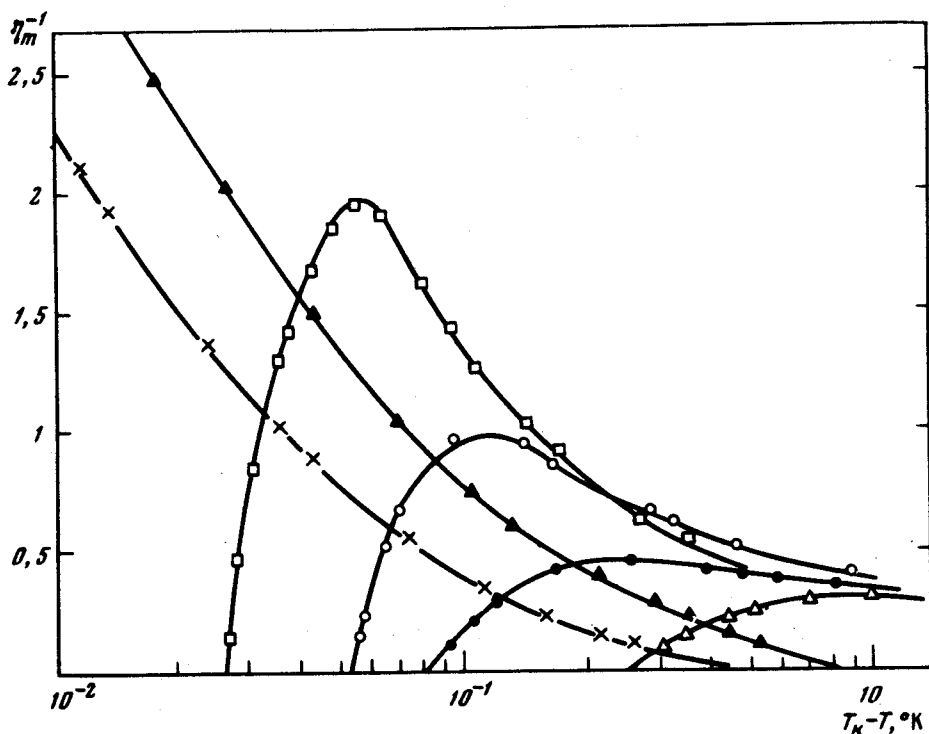


Рис. 2. Зависимость величины максимального подрастания критического тока мостика от температуры при действии СВЧ поля различных частот + 10,2 Гц; \blacktriangle – 23,1 Гц; \square – 48,7 Гц, \circ – 53,5 Гц; \bullet – 70,6 Гц; \blacktriangle – 76,9 Гц

В опубликованной ранее экспериментальной работе [4] имелись некоторые указания на существование нижней частотной границы и, если использовать данные этой работы, то мы получим несколько точек, ко-

торые хорошо согласуются с нашими экспериментальными данными (рис. 3, кривая *a*). Существование нижней границы следует также из теоретических работ [5, 6], в которых показано, что действие высокочастотного излучения приводит к увеличению энергетической щели Δ только в случае $\omega < \omega_c$, где ω_c определяется следующим соотношением:

$$\omega_c^2 \ln \frac{8\Delta}{\omega_c} = 2\pi\tau_0^{-1} \Delta. \quad (1)$$

Время τ_0 – наименьшее из двух времен релаксации возбуждений за счет электрон-электронного или электрон-фононного механизмов, и при $T \approx 4,2^\circ\text{K}$ оно имеет порядок 10^{-9} сек. Зависимость ω_c от $T_K - T$,

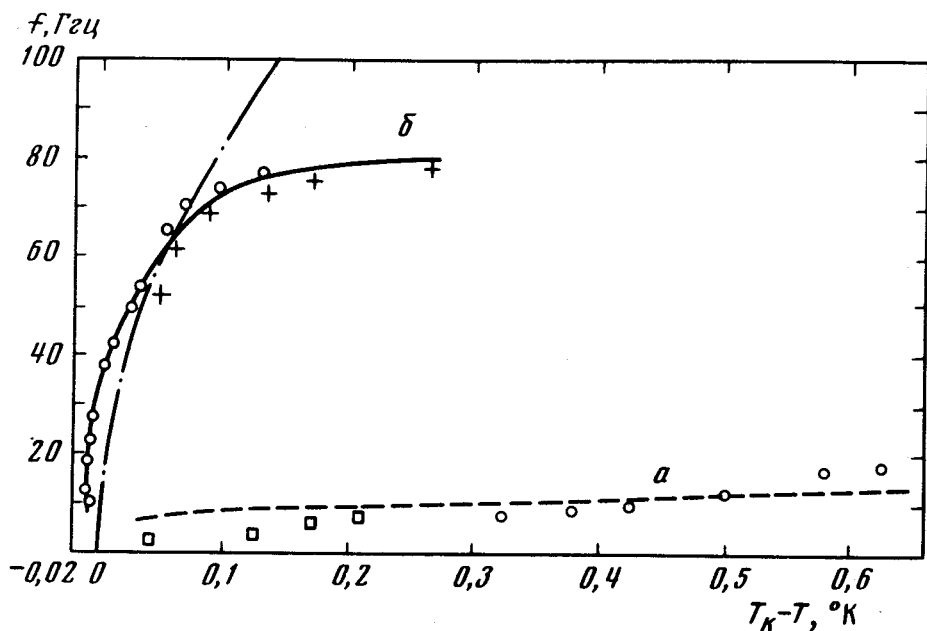


Рис. 3. Температурная зависимость граничных частот существования эффекта подроста критического тока. Точки на кривых соответствуют следующим образцам: $+ - T_K = 3,82^\circ\text{K}$, размеры перешейка $0,8 \times 2 \text{ мкм}^2$, $\circ - T_K = 3,83^\circ\text{K}$, $1 \times 1,2 \text{ мкм}^2$, \square – по данным работы [2]

вычисленная из (1) для $\tau_0 = 2 \cdot 10^{-10}$ сек изображена на рис. 3 пунктирной кривой. Учитывая отличие наших экспериментальных условий и объектов от теоретического рассмотрения (мостик, а не пленка; измерялось подростание I_K , а не T_K ; влияние тепловых эффектов), согласие экспериментальных данных и теоретической кривой можно признать удовлетворительным.

Положение меняется, когда мы переходим к обсуждению верхней частотной границы. Существование обнаруженной нами верхней частотной границы (рис. 3, кривая *б*) не следует из теории [5, 6]. Сопоставив нашу экспериментальную зависимость с зависимостью энергетической щели от температуры, мы обнаружили, что в области частот до 70 Гц они весьма близки друг к другу (штрих-пунктирная кривая на рис. 3). То есть, в этой области температур верхняя частотная граница по всей видимости определяется величиной энергетической щели сверхпроводника. Это может быть обусловлено тем, что при $\hbar\omega \gtrsim 2\Delta$ доминирующим процессом становится все же процесс разрыва пар, и увеличение числа квазичастиц должно приводить к уменьшению щели.

Отклонение экспериментальной кривой от температурной зависимости щели, происходящее при частотах более 70 Гц, по-видимому, связано с тем, что при этих частотах $\hbar\omega$ становится порядка kT . Как показывают проведенные нами на основании теоретической работы [6] оценки, в области частот $\hbar\omega \approx kT$ эффект стимулирования сверхпроводимости должен исчезать. Возможно, что различие между теоретическими и экспериментальными результатами, касающееся верхней частотной границы, обусловлено уже упоминавшимся выше отличием условий и объектов в эксперименте и теории.

В заключение авторы выражают благодарность за обсуждение и полезные советы Г.М.Элиашбергу, Ш.М.Когану, А.Ф.Волкову, Б.И.Ивлеву, С.Г.Лисицыну и Р.А.Варданяну.

Институт радиотехники и электроники
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
27 апреля 1974 г.

Литература

- [1] A.F.G.Wyatt et al. Phys. Rev. Lett., 46, 1166, 1966.
- [2] A.H.Dayem, J.J.Wiegand. Phys. Rev., 155, 419, 1967.
- [3] Е.В.Христенко, В.М.Дмитриев, А.В.Трубицын, Ф.Ф.Менде. Труды ФТИНТ вып. 8, 1970.
- [4] M.T.Levinsen. Rev. Phys. Appl., 9, 13, 1974.
- [5] Г.М.Элиашберг. Письма в ЖЭТФ, 11, 186, 1970.
- [6] B.I.Ivlev, S.G.Lisitsyn, G.M.Eliashberg. J.Low. Temp. Phys., 10, 449, 1973.
- [7] T.K.Hunt, J.E.Mercereau. Phys. Rev. Lett., 18, 551, 1967.
- [8] P.V.Christiansen, E.B.Hansen, C.J.Sjöstrom. J.Low. Temp. Phys., 4, 349, 1971.
- [9] P.E.Gregers-Hansen, M.T.Levinsen. Phys. Rev. Lett., 27, 847, 1971.