

СТУПЕНЧАТАЯ СТРУКТУРА НА СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ ПЕРЕХОДЕ ОЛОВЯННОЙ ПЛЁНКИ, ВЫЗВАННАЯ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Ю.И. Латышев, Ф.Я. Надь

Экспериментально обнаружена ступенчатая структура на кривой сверхпроводящего перехода пленки, обусловленная действием СВЧ излучения. Предполагается, что обнаруженная структура связана с неравновесностью и неоднородностью состояния пленки в СВЧ поле.

Известно, что в сверхпроводящих пленках под действием СВЧ излучения при некоторых условиях может увеличиваться критический ток I_c [1, 2], энергетическая щель Δ [3] и критическая температура T_c [2, 4]. На опыте наблюдается небольшое увеличение T_c на величину $\sim 0,62\text{K}$, тогда как теория предсказывала значительное увеличение T_c [5, 6]. Одной из причин ограничения роста T_c может являться нагрев решетки пленки излучением [7]. Другая возможная причина — неустойчивость неравновесного сверхпроводящего состояния, возникающего при действии СВЧ излучения, и как следствие этого переход сверхпроводника в нормальное или какое-либо иное резистивное состояние [8, 9]. В данной статье сообщается об обнаружении ступеней на кривой сверхпроводящего перехода оловянной пленки, образующихся при действии СВЧ излучения, и обсуждается связь этого явления с факторами, ограничивающими рост T_c .

Излучения с частотой $9,4\text{ ГГц}$ по стандартному волноводу поступало на исследуемый образец, располагавшийся либо в жидком, либо в газообразном He (для этого образец помещался в перевернутый кверху дном стеклянный стаканчик, погруженный в жидкий He). Образцы представляли собой узкие (шириной $1 - 2\text{ мм}$) полоски Sn, длиной $30 - 60\text{ мм}$ и толщиной $1000 - 2000\text{ \AA}$, осажженные при 77 K на подложки из кристаллического кварца. Температура образца измерялась Ge-термометром, смонтированным в подложку и защищенным от СВЧ излучения. Точность измерения абсолютной температуры $\approx 10\text{ мК}$, относительная точность $\approx 1\text{ мК}$. Измерения производились при токе через образец, равном 1 мка . На все 4 проводника, подходящие к образцу, были поставлены фильтры низких частот.

На рис. 1 представлена серия зависимостей сопротивления одного из образцов от температуры $R(T)$ при различных мощностях излучения W . Первоначальный небольшой скачок на $R(T)$ соответствует переходу широких электродов мостика ("берегов") в сверхпроводящее состояние. Как видно из рис. 1 при действии излучения сравнительно небольших мощностей (затухание $\sim 20\text{ дБ}$) происходит смещение перехода в область более высоких температур и уменьшение его ширины Θ , определяемой как разность температур между уровнями $0,9$ и $0,1 R_n$ (обычно $\Theta \lesssim 10\text{ мК}$). Величина сдви-

га сверхпроводящего перехода δT_c по уровню $0,1 R_n$ для образцов, находящихся в контакте с жидким He, примерно в 2 раза превосходит δT_c для образцов в газе и достигает значений 30 мК, что в свою очередь более чем в три раза превосходит ширину сверхпроводящего перехода Θ .

Оказывается также, что при заданной W обратный переход из сверхпроводящего состояния в нормальное имеет скачкообразный вид и происходит при более высоких температурах, чем из нормального в сверхпроводящее (рис. 1). Гистерезисный характер переходов обусловлен, по-видимому, процессами "перегрева" сверхпроводящего состояния в СВЧ поле [6, 10].

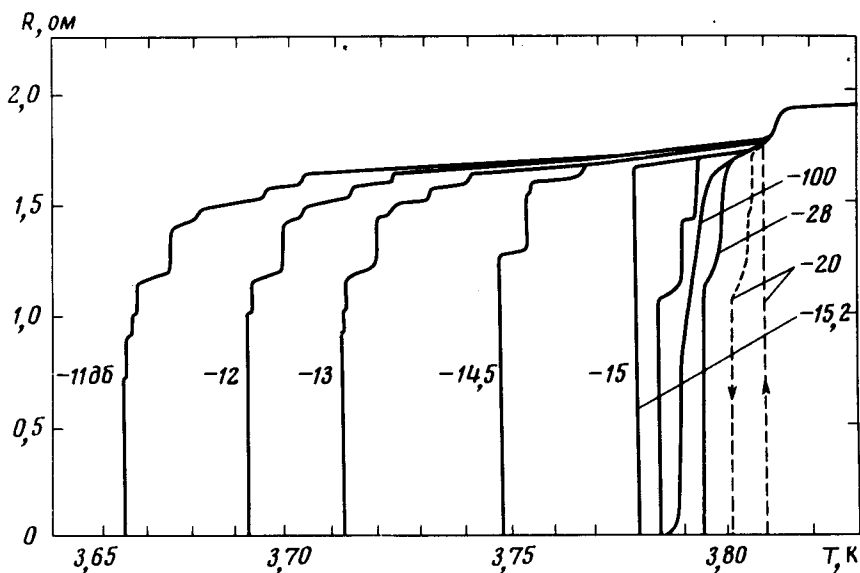


Рис.1. Зависимость сопротивления пленки №48-1 от температуры при некоторых фиксированных значениях мощности падающего излучения. Размеры пленки: $0,15 \times 1,5 \times 47$ мкм³

Начиная с некоторой W (на рис. 1 затухание 20 дб), сдвиг перехода в сторону высоких температур прекращается и начинается его обратное движение в область низких температур. Одновременно на кривой перехода начинает выявляться ступенчатая структура, которая при дальнейшем увеличении W становится более четко выраженной (кривая при 15,2 дб). Далее в узком интервале мощностей ($\approx 0,5$ дб) вблизи определенного ее значения (15 дб для рассматриваемого образца) происходит видоизменение ступенчатой структуры. Исчезает первоначальная система ступеней, соответствующая области малых W ; переход становится скачкообразным; после чего образуется другая система ступеней, качественно сохраняющая свой вид вплоть до самых больших W , при которых нами производились измерения (≈ 3 дб). В этой области W наименьшей ступени на кривой $R(T)$ соответствует переход в сверхпроводящее состояние участка мостика длиной ≈ 2 мкм. Состояния пленки на горизонтальных участках $R(T)$ являются устойчивыми. При этом часть мостика находится в нормальном, часть в сверхпроводящем состояниях.

Если из этого промежуточного состояния начать увеличивать температуру мостика, то для каждой ступеньки также наблюдаются "локальные" гистерезисные явления.

Зависимость δT_c от W относительно температуры перехода при $W=0$ приведена на рис. 2 для случая понижения и повышения температуры. Различие между кривыми связано с упоминавшимся ранее гистерезисным характером этих переходов. Причем, для переходов, когда исходным является сверхпроводящее состояние, пересечение с осью абсцисс наблюдается при больших мощностях излучения. Отметим подобие этих кривых зависимостям I_c мостиков от W , приведенным в работе [8], где было показано, что возможной причиной спада I_c является нагрев решетки мостика.

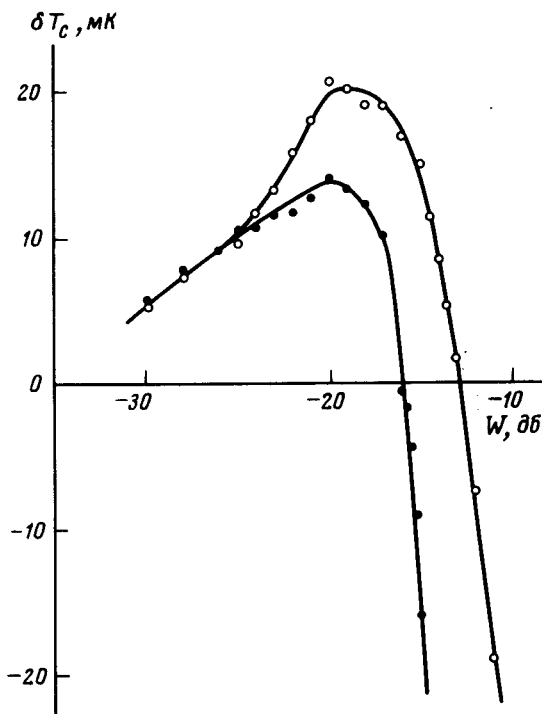


Рис. 2. Зависимость сдвига сверхпроводящего перехода пленки №48-1 от мощности падающего излучения. Точки \circ соответствуют увеличению температуры при заданной мощности, точки \bullet — понижению температуры

Измерения зависимостей $R(T)$ были проведены на 7 различных образцах и на всех получены качественно подобные результаты. Однако, число ступенек и их высота менялись от образца к образцу. Среди 7 образцов были две пары похожих по размерам мостиков. Парные мостики имели одинаковую ширину, толщину и приблизительно равную длину (разница в 1 — 2 мкм). Системы ступеней в этих близких по размерам образцах оказались количественно различными, что, по-видимому, указывает на связь наблюдаемой ступенчатой структуры с неоднородностями образцов. С другой стороны, как видно из рис. 1, на кривой сверхпроводящего перехода при $W = 0$ нет ступеней. При $W = 0$ на кривых переходов при больших измерительных токах вплоть до 1 ма нами также не наблюдалась ступенчатая структура, подобная структуре на рис. 1. Из всего этого, по-видимому, следует, что появление ступеней

на $R(T)$ при $W \neq 0$ и малых измерительных токах обусловлено действием СВЧ излучения и каким-то образом связано с неоднородностями образцов.

Можно высказать несколько предположений, касающихся механизма наблюдаемых явлений. Исследованные нами образцы, по всей видимости являются неоднородными, т.е. T_c их отдельных участков отличаются друг от друга на величину ~ 10 мк [11]. При воздействии на такие образцы излучения относительно малой мощности наблюдается стимулирование сверхпроводимости. Как показывает теория [6] и экспериментальные зависимости $I_c(W)$ [7], на участках мостика с меньшей T_c и соответственно меньшей Δ , действие излучения приводит к большому росту критических параметров (T_c , Δ и I_c), чем на участках с высоким T_c . Отсюда следует, что одновременно с возрастанием критических параметров всех участков должно происходить также их выравнивание. Этим процессам соответствует наблюдаемый на опыте сдвиг сверхпроводящего перехода в сторону больших T и его сужение. При дальнейшем увеличении W , по-видимому, начинают играть роль факторы, конкурирующие с механизмом стимулирования сверхпроводимости и ограничивающие сдвиг T_c — неустойчивость неравновесного сверхпроводящего состояния [8, 9] и тепловые эффекты. Оба эти фактора способствуют разбиению мостика на сверхпроводящие и нормальные участки, на формирование которых оказывает также влияние и неоднородности образца. Наблюдаемая ступенчатая структура на сверхпроводящем переходе, по-видимому, и является результатом существования такого неравновесного, неоднородного состояния мостика.

Авторы весьма признательны А.Ф.Волкову и Б.И.Ивлеву за полезное обсуждение результатов.

Институт радиотехники
и электроники
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
11 августа 1977 г.

Литература

- [1] A.F.G.Wyatt, V.M.Dmitriev, W.S.Moore, F.W.Sheard. Phys. Rev. Lett., 16, 1166, 1966.
- [2] A.H.Dayem, J.J.Wiegand. Phys. Rev., 155, 419, 1967.
- [3] T.Kommers, J. Clarke. Phys. Rev. Lett., 38, 1091, 1977.
- [4] В.М.Дмитриев, Е.В.Христенко, А.В.Трубицын, Ф.Ф.Менде. УФЖ, 15, 1611, 1970.
- [5] Г.М.Элиашберг. Письма в ЖЭТФ, 11, 186, 1970.
- [6] B.I.Ivlev, S.G.Lisitsyn, G.M.Elyashberg. J. Low Temp. Phys., 10, 449, 1973.
- [7] Ю.И.Латышев, Ф.Я.Надь. ЖЭТФ, 71, 2158, 1976.
- [8] Б.И.Ивлев. ЖЭТФ, 72, 1197, 1977.

[9] A.Schmid. Phys. Rev. Lett., 38, 922, 1977.

[10] T.M.Klapwijk, J.E.Mooij. Physica, 81B, 132, 1976.

[11] W.J.Skocpol, M.R.Beasley, M.Tinkham. J.Low. Temp. Phys, 16, 145,
1974.
