

РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ НА СВЧ В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНКАХ НИОБИЯ

М.Е. Гершензон, В.Н. Губанков

Исследованы процессы разрушения СВЧ сигналом сверхпроводимости в ниобиевых пленках в условиях однородного распаривания Гинзбурга — Ландау и оценено время релаксации энергетической щели в ниобии.

В ряде теоретических работ последних лет [1 — 3] было показано, что процессы релаксации величины энергетической щели Δ к своему равновесному значению для большинства сверхпроводников обусловлены неупругим электрон-фононным взаимодействием с характерным временем τ_{e-ph} . В непосредственной близости от критической температуры T_c ($T/T_c > 0,98$) время релаксации энергетической щели τ_{Δ} из-за коллективных возбуждений растет как $T/\Delta \tau_{e-ph}$ при $T \rightarrow T_c$ [1, 2]. Именно к этой температурной области относятся результаты основных экспериментальных работ [4], выполненных на In, Sn и Al. При $T/T_c \lesssim 0,98$ τ_{Δ} должно определяться временами релаксаций квазичастиц, которые в интервале $T/T_c \approx 0,8 \div 0,97$ практически не зависят от температуры и близки по величине к τ_{e-ph} [3].

В настоящем сообщении с помощью новой экспериментальной методики впервые определено τ_{Δ} в ниобии при $T/T_c = 0,87 \div 0,97$ и получено подтверждение теоретических предсказаний о слабой температурной зависимости τ_{Δ} в этом диапазоне температур и малости τ_{e-ph} в Nb [3].

Время релаксации τ_{Δ} определялось при протекании по сверхпроводнику, в котором реализуется однородное распаривание Гинзбурга — Ландау, СВЧ токов, близких по величине к критическому току I_c^{GL} . Протекание тока через сверхпроводник должно незначительно увеличивать

величину τ_{Δ} — так, при $I \approx I_c^{ГЛ}$ $\tau_{\Delta}(I_c^{ГЛ}) \approx 1,2 \tau_{\Delta}(I = 0)$ [1]. В исследованном диапазоне температур измеренная зависимость $P_c(T)$, где P_c — критическая СВЧ мощность, разрушающая сверхпроводимость в образцах с однородной по сечению плотностью сверхпроводящего конденсата, имеет вид $P_c \sim (I - T/T_c)^k$, где $k = k(\omega)$. Определение частотнозависимого показателя степени k в интервале частот, включающем предельные случаи $\omega\tau_{\Delta} \ll 1$ и $\omega\tau_{\Delta} \gg 1$ позволяет получить величину τ_{Δ} .

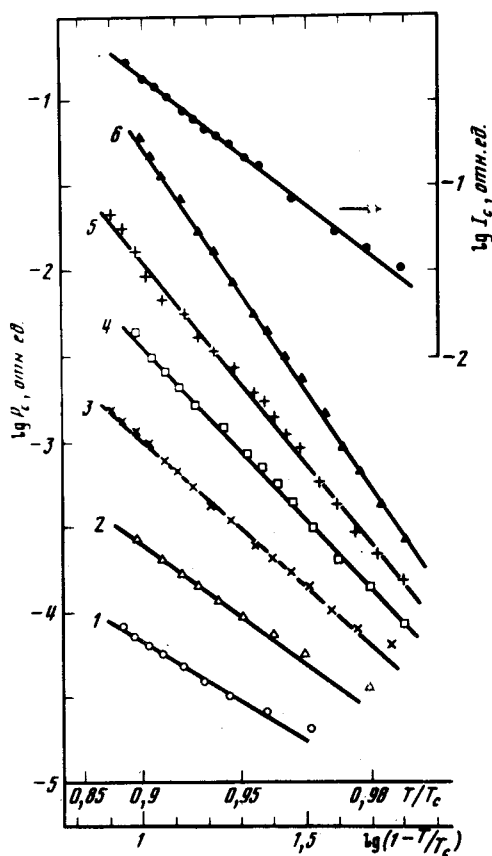


Рис. 1. Зависимости $P_c(T)$ и $I_c(T)$.
Частота СВЧ излучения: 1 — 23,3 ГГц, 2 — 8,5 ГГц, 3 — 7,5 ГГц, 4 — 4,0 ГГц, 5 — 2,56 ГГц, 6 — 1,2 ГГц

В качестве образцов использовались узкие (шириной 1 мкм) пленки ниобия, технология получения и методика определения параметров которых приведена в работе [5]. Выбор таких узких пленок диктуется требованием постоянства плотности конденсата по сечению образца и отсутствия других релаксационных механизмов (например, связанных с движением вихрей). Ниже приводятся параметры типичного образца: ширина 1 мкм, длина 348 мкм, толщина 520 Å, критическая температура 6,68 К, длина когерентности $\xi(0) = 86$ Å, эффективная глубина проникновения магнитного поля $\delta_{\perp}(0) = 0,52$ мкм. В таких образцах в широком диапазоне температур были реализованы токи распаривания Гинзбурга — Ландау [5]. Пленка, напыленная на ситалловую подложку, была включена в разрыв узкого проводника несимметричной полосковой линии, которая с помощью коаксиально-полоскового перехода соединялась с кабелем, выходящим из криостата. Такая кон-

струкция позволяет проводить измерения в широком диапазоне частот. Измерение температуры проводилось с помощью германиевого термометра, находящегося в хорошем тепловом контакте с образцом, мостовая схема позволяла стабилизировать температуру с точностью $\approx 0,01$ К.

В эксперименте регистрировалась критическая мощность P_c , соответствующая началу перехода образца в нормальное состояние. Сопротивление пленки определялось при пропускании через нее малого измерительного тока (≈ 1 мкА). На рис.1 приведены зависимости $P_c(T)$ для различных частот воздействия. На низких частотах ($f \lesssim 1$ ГГц) наблюдается температурная зависимость $P_c(T) \sim I_c^2(T) \sim (1 - T/T_c)^3$, что соответствует низкочастотному пределу. В области высоких частот ($f \gtrsim 25$ ГГц) выполняется соотношение $P_c \sim (T - T/T_c)$, теоретически предсказанное для случая $\omega\tau_\Delta \gg 1$ в работе [6], и наблюдавшееся в эксперименте на оловянных пленках [7]. В промежуточной области частот происходит плавное изменение показателя степени k зависимости $P_c \sim (1 - T/T_c)^k$, связанное с переходом от случая $\omega\tau_\Delta \ll 1$ к $\omega\tau_\Delta \gg 1$. Тот факт, что для широкого диапазона частот $\lg P_c \sim k \lg(1 - T/T_c)$ при $T/T_c = 0,87 \div 0,97$ свидетельствует о том, что в этом температурном интервале τ_Δ имеет слабую температурную зависимость, что согласуется с теоретическими представлениями [3]. На рис.2 показана зависимость k от частоты. Середине перехода, показанного пунктирной кривой, соответствует $\tau_\Delta = (3,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-11}$ сек.

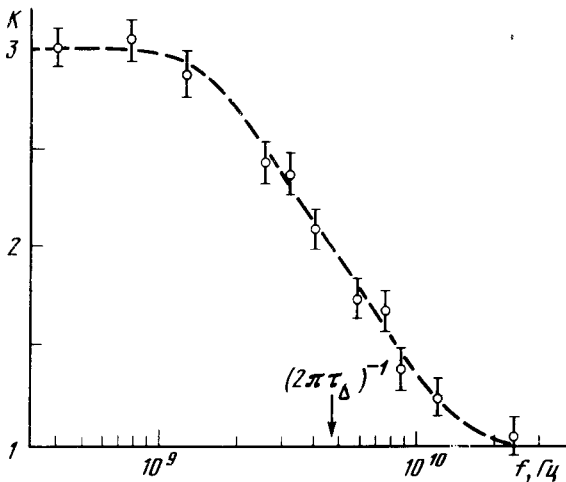


Рис.2. Зависимость k от частоты

Определенная таким образом величина τ_Δ позволяет оценить время неупругого рассеяния электронов на фононах τ_{e-ph} в ниобии. При $T/T_c \approx 0,8 \div 0,98$ должно выполняться соотношение $\tau_\Delta \approx \tau_{e-ph}$ [2, 3]. Экспериментальное значение величины τ_Δ находится в хорошем согласии с теоретической оценкой $\tau_{e-ph} = 3,6 \cdot 10^{-11}$ сек, приведенной в работе [3].

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о правильности теоретических предположений о слабой температурной зависимости τ_Δ в интервале температур $(0,87 \div 0,97) T/T_c$ и о том, что времена релаксации в ниобии примерно на порядок меньше, чем в Sn и In

Последнее обстоятельство представляет интерес для практического применения нелинейности Гинзбурга – Ландау для смешения и параметрического усиления СВЧ сигналов [8].

В заключение авторы благодарят А.Ф.Волкова, А.В.Зайцева и К.К.Лихарева за полезные обсуждения результатов.

Институт радиотехники
и электроники
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
3 января 1979 г.

Литература

- [1] A. Schmid. Phys. Rev., **186**, 420, 1969.
 - [2] A. Schmid, G. Schön. J. Low Temp. Phys., **20**, 207, 1975.
 - [3] S. B. Kaplan, C. C. Chi, D. N. Langenberg, J. J. Chang, S. Jafarey, D. J. Scalapino. Phys. Rev., **B14**, 4854, 1976.
 - [4] J. R. Leibowitz, M. S. Wilt. Phys. Rev. Lett., **38**, 1167, 1977; I. Schuller, K. E. Gray. Phys. Rev. Lett., **36**, 429, 1976; R. A. Peters, H. Meissner. Phys. Rev. Lett., **30**, 965, 1973.
 - [5] М.Е.Гершензон, В.Н.Губанков. ФТТ, **21**, №3, 1979.
 - [6] И.О.Кулик. ЖЭТФ, **57**, 600, 1969.
 - [7] В.М. Дмитриев, Г.Е.Чурилов. ФНТ, **2**, 1215, 1976.
 - [8] М.Е.Гершензон, В.Н.Губанков. Радиотехника и электроника, **24**, 653, 1979.
-