

ФАЗОВОЕ РАССЛОЕНИЕ ОДНОРОДНОГО СВЕРХПРОВОДНИКА В ПОЛЕ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ

В.М.Дмитриев, Е.В.Христенко

Экспериментально обнаружено, что при некоторой критической мощности СВЧ излучения сверхпроводник из неравновесного однородного состояния при температуре ниже критической переходит в неравновесное неоднородное резистивное состояние, характеризующееся образованием и развитием с увеличением мощности регулярной $N-S$ структуры.

В настоящее время возникновение токового фазового расслоения в однородном сверхпроводнике при токе большем критического [1] яв-

ляется установленным фактом и изучены различные аспекты этого расслоения. В работе [2] теоретически обсуждалась также возможность перехода однородного сверхпроводника в пространственно-неоднородное состояние в поле СВЧ излучения. Экспериментальное исследование такой возможности и составляет содержание настоящей работы.

Нами исследовались тонкие ($\sim 1000 \text{ \AA}$), узкие ($\sim 1 - 2 \text{ мкм}$) и длинные ($\sim 100 \text{ мкм}$) оловянные образцы, подобные тем, которые описаны в [3]. На рис. 1 приведены вольт-амперные характеристики (ВАХ) одного из образцов, типичные для наших образцов, при различной мощности СВЧ излучения. Прежде всего видно, что в отсутствие излучения (-55 дБ) хорошо наблюдается токовое расслоение, длина нормальных участков которого [4] составляет величину $L_n \approx 2\delta_E \approx 18 \text{ мкм}$ (длина образца $L = 62 \text{ мкм}$, $R_{4,2} = 4,2 \text{ Ом}$). При увеличении мощности излучения критический ток растет и образец становится более однородным по параметру сверхпроводящего упорядочения. При мощности -22 дБ стимулирование сверхпроводимости достигает наибольшей величины, а затем уменьшается при дальнейшем увеличении мощности излучения. Затем в очень узком интервале мощностей ($0,05 \text{ дБ}$ на уровне $-19,3 \text{ дБ}$) значение критического тока практически скачком обращается в нуль. Характерным является то, что это не есть тепловой срыв в нормальное состояние. Как видно из рис. 1, сопротивление образца в

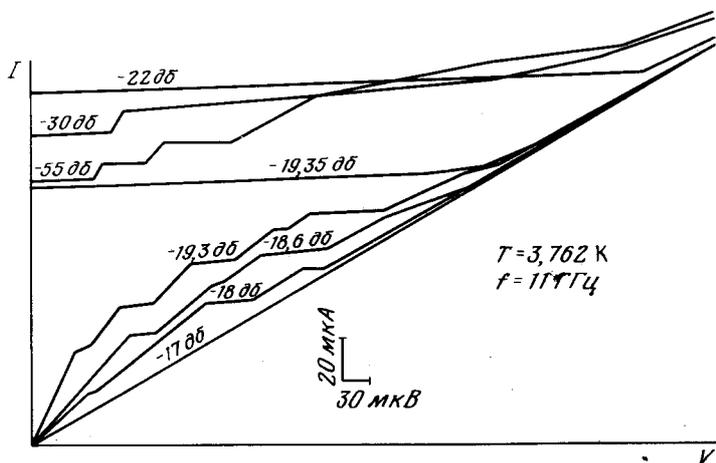


Рис. 1

этом новом состоянии меньше сопротивления его нормального состояния и составляет величину $R_{g1} \approx 0,9 \text{ Ом}$. С ростом постоянного тока в образце в нем развивается структура, характерная для фазового расслоения (наблюдается пять областей с динамическим сопротивлением примерно кратным $0,9 \text{ Ом}$). При достижении мощностью излучения значения $-18,6 \text{ дБ}$ образец скачком изменяет свое состояние таким образом, что его сопротивление удваивается и становится равным $1,8 \text{ Ом}$ в отсутствие постоянного тока. При его нарастании пространственная

структура развивается за счет кратного увеличения сопротивления образца на 0,9 Ом. При $P = -18$ дБ сопротивление образца при нулевом постоянном токе равно 0,27 Ом, т. е. составляет утроенную величину от сопротивления первоначально образованной пространственной структуры в образце. В дальнейшем образец переходит в нормальное состояние при $P = -17$ дБ.

Таким образом, в поле СВЧ излучения сверхпроводник переходит в нормальное состояние при некоторой мощности P_2 в то время, как резистивность в нем развивается скачком при некоторой мощности P_1 . Последняя несколько больше мощности, при которой в образце реализуется максимальное стимулирование сверхпроводимости. При значениях $P_1 \leq P \leq P_2$ образец находится в резистивном состоянии, характеризующемся образованием и развитием при увеличении P или I пространственно-неоднородной структуры. Оценки для L_n в этом случае дают величину ≈ 13 мкм, что заметно меньше по сравнению с L_n в случае токового расслоения при $P = 0$. Это различие может быть связано с динамикой развития структуры при $\omega \neq 0$, и в этом случае усредненные по времени значения δ_E могут быть меньше. Выяснение связи δ_E с частотой возбуждающего структуру тока требует проведения специальных исследований.

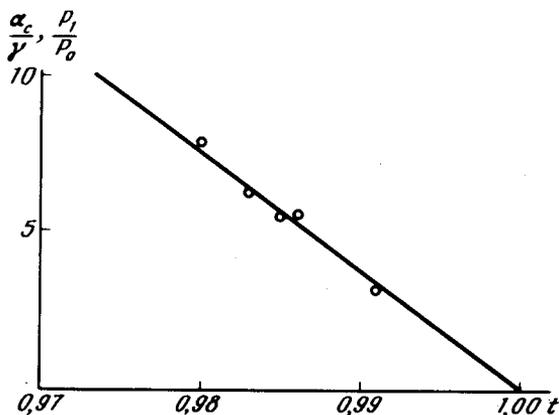


Рис. 2

В [2] относительная величина мощности излучения, при которой наступает срыв однородного сверхпроводника в пространственно-неоднородное состояние, имеет вид

$$\frac{\alpha_c}{\gamma} = \frac{14\zeta(3)}{\pi^2 f_0} \frac{\Delta^2}{\hbar \omega kT}, \quad (1)$$

где $f_0 \sim 1$, γ — обратное время энергетической релаксации. При температурах не очень близких к T_c температурная зависимость $\Delta(T)$ близка к зависимости от температуры для равновесной щели [3]. В связи с этим, на рис. 2 представлена сплошной линией зависимость α_c/γ от температуры и здесь же нанесены экспериментальные значения для P_1 в относительных единицах. Углы наклона этих зависимостей совмещены, так как измерялся относительный уровень мощности.

Таким образом, описанная экспериментальная картина вполне соответствует теоретическим предсказаниям работы [2] и можно говорить об экспериментальном обнаружении регулярной пространственной структуры в однородном сверхпроводнике, возникающей под воздействием СВЧ излучения. В этой связи необходимо отметить также результаты работы [5], в которой наблюдалась ступенчатая структура на сверхпроводящем переходе оловянной пленки, вызванная СВЧ излучением. Анализ температурной зависимости мощности появления первой ступеньки на переходе (см. рис. 1 [5]) при температурах не очень близких к T_c дает также линейную от температуры зависимость этой мощности.

Следует обратить внимание на то, что в отсутствие стимуляции сверхпроводимости переход в резистивное состояние наступает при $P_c \sim E_c^2 \sim \omega^2$ ($E_c = \hbar\omega/\sqrt{2} e\zeta(T)$) [6, 7], а в случае (1), $\alpha_c \sim \omega^{-1}$. Кроме того, учитывая неравновесное значение Δ в (1) (по крайней мере вблизи T_c) следует ожидать и различных температурных зависимостей для P_c и α_c в достаточно широком температурном интервале.

Таким образом, переход однородного квазиодномерного сверхпроводника в пространственно неоднородное резистивное состояние, характеризующееся $N-S$ -расслоением, имеет характерные частотные и температурные особенности в зависимости от того, осуществляется ли он из однородного равновесного или неравновесного состояния под воздействием внешних токов различных частот. Эти особенности являются предметом дальнейших исследований.

Физико-технический институт
низких температур
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
30 апреля 1979 г.

Литература

- [1] В.П.Галайко, В.М.Дмитриев, Г.Е.Чурилов. Письма в ЖЭТФ, **18**, 363, 1973.
- [2] Б.И.Ивлев. ЖЭТФ, **72**, 1197, 1977.
- [3] В.М.Дмитриев, Е.В.Христенко. ФНТ, **4**, 821, 1978.
- [4] В.М.Дмитриев, Е.В.Христенко. ФНТ, **3**, 1210, 1977.
- [5] Ю.И.Латышев, Ф.Я.Надь. Письма в ЖЭТФ, **26**, 488, 1977.
- [6] И.О.Кулик. ЖЭТФ, **57**, 600, 1969.
- [7] В.М.Дмитриев, Г.Е.Чурилов. ФНТ, **2**, 1215, 1976.