

РАЗОГРЕВ КВАЗИЧАСТИЦ В СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ПЛЕНКЕ, НАХОДЯЩЕЙСЯ В РЕЗИСТИВНОМ СОСТОЯНИИ

*Е.М.Гершензон, М.Е.Гершензон, Г.Н.Гольцман,
А.Д.Семенов, А.В.Сергеев*

Обнаружен эффект воздействия электромагнитного излучения на сверхпроводящую пленку в резистивном состоянии. Измерения, выполненные в широком диапазоне частот, соответствующих окрестности энергетической щели, свидетельствуют, что он обязан разогреву квазичастиц.

К настоящему времени теоретически и экспериментально исследованы явления в однородном сверхпроводнике, связанные с изменением функции распределения квазичастиц под действием излучения [1]. Рассмотрено также влияние разогрева электронов в нормальном металле на его переход в сверхпроводящее состояние [2]. Значительно меньше

изучено воздействие излучения на резистивное (т. е. неоднородное) состояние сверхпроводника, которое реализуется при наличии вихрей [3], центров проскальзывания фазы [4], расслоения, вызванного избыточными квазичастицами [5].

Нами обнаружен новый эффект воздействия электромагнитного излучения на сверхпроводник, находящийся в резистивном состоянии.

В эксперименте использовались пленки ниобия толщиной $d = 100 \text{ \AA}$, шириной $W = 1 + 10 \text{ мкм}$ и длиной $L \geq 5 \text{ мм}$, нанесенные на сапфировые или кремниевые подложки высокочастотным распылением; геометрия образцов формировалась с помощью фотолитографии. Измерения проводились в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах длин волн ($\lambda = 0,25 - 8 \text{ мм}$) с применением генераторов, допускающих плавную перестройку в широкой области частот ν и высокочастотную амплитудную модуляцию — ламп обратной волны (ЛОВ). Частота модуляции f до 10^9 Гц достигалась изменением анодного напряжения ЛОВ и использованием биений интенсивности излучения двух сдвинутых по частоте генерации ЛОВ [6]. Отдельные измерения были выполнены и на более длинных волнах ($\lambda \geq 3 \text{ см}$) с помощью клистронов.

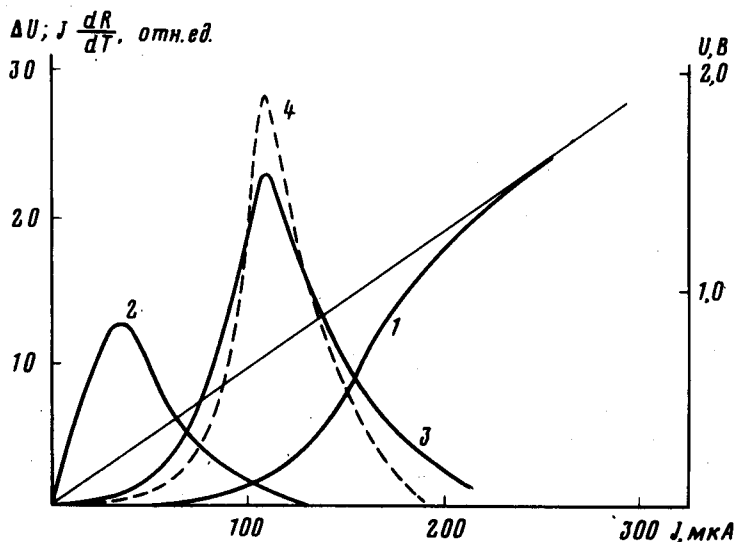


Рис. 1. Вольт-амперная характеристика образца и зависимости $\Delta U(J)$ и $JdR/dT(J)$ при $T = 0,3T_K$ и $H = 0,8H_{k2}(T)$: 1 — ВАХ, 2 — ΔU при $\nu = 2 \cdot 10^8 \text{ Гц}$, 3 — ΔU при $\nu = 3 \cdot 10^{11} \text{ Гц}$, 4 — JdR/dT

На рис. 1 представлена вольт-амперная характеристика (ВАХ) ниобиевой пленки, а также изменение напряжения на образце под действием излучения ΔU для двух частот излучения от тока J . В интервале температур $0,8 \leq T/T_K \leq 1$ (T_K — критическая температура), а также в достаточно сильном магнитном поле H при любых T пленки имели плавные ВАХ; при $T \leq 0,8 T_K$ в отсутствие поля появлялся вертикальный участок ВАХ и гистерезис критических токов. Следует отметить, что для исследованных пленок во всем температурном диапазоне выполняется соот-

ношение $W < \delta_{\perp}(T)$, где δ_{\perp} — эффективная глубина проникновения магнитного поля, и вблизи T_K реализуются токи распаривания [7]. Представляющий интерес для дальнейшего широкий резистивный участок ВАХ, по-видимому, связан с микроскопическим "фазовым" расслоением — центрами проскальзывания фазы (ЦПФ) [4]. Из рис. 1 видно, что максимум ΔU при $\nu \gg 10^{10}$ Гц соответствует максимуму зависимости $JdR/dT(J)$, а с уменьшением частоты ($\nu < 10^{10}$ Гц) — сдвигается в область меньших значений J .

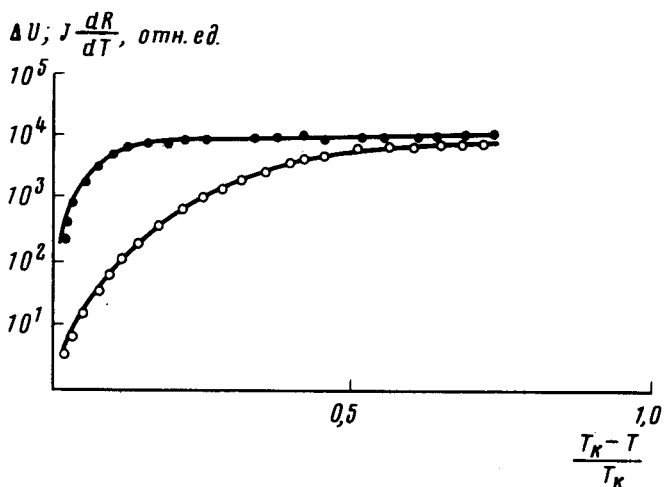


Рис. 2. Температурные зависимости $\Delta U(\circ)$ и $JdR/dT(\bullet)$

На рис. 2 показана типичная температурная зависимость ΔU , соответствующая абсолютному максимуму двухпараметрической зависимости $\Delta U(J, H)$ для фиксированной мощности излучения. Величина эффекта практически не зависит от ν , однако сильно изменяется с T . Зависимость $JdR/dT(T)$, приведенная на рис. 2, получена при тех же значениях J и H , что и $\Delta U(T)$.

Измерения инерционности эффекта воздействия излучения на сопротивление пленки, т. е. зависимости ΔU от f при любых фиксированных J , H , T и ν , показывают, что значение ΔU не меняется вплоть до $f \approx 2 \cdot 10^8$ Гц; спаду на более высоких частотах соответствует постоянная времени $\tau = 8 \cdot 10^{-10}$ сек.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что обнаруженный эффект воздействия излучения на сверхпроводящую пленку не сводится к наблюдавшимся ранее. Действительно, оценка болометрического эффекта (связанного с изменением температуры кристаллической решетки) из измерений теплового сопротивления на границах пленки с подложкой и жидким гелием дает значения ΔU на три — четыре порядка меньше наблюдаемых при $T = 1,5 + 3$ К. Кроме того, температурная зависимость ΔU сильно отличается от зависимости $JdR/dT(T)$ (рис. 2), хотя для болометрического эффекта эти зависимости должны совпадать. Следует отметить, что на пленках с $d = 300 - 500$ Å, наряду с ослабленным изучаемым эффектом, удается наблюдать болометрический,

характеристики которого полностью соответствуют литературным данным [8]. Возможность наблюдения эффекта в области температур вблизи T_K , где реализуется однородное распаривание, указывает на то, что эффект не связан с диссипацией энергии при движении вихрей. Неселективность эффекта — в частности, отсутствие особенностей на щели, — свидетельствует о том, что исследуемое явление не объясняется разрывом пар излучением и не обусловлено нелинейностью ВАХ.

Наблюдаемый эффект, по-видимому, объясняется разогревом излучением квазичастиц в сверхпроводящей пленке, находящейся в резистивном состоянии. В пользу этого объяснения, кроме частотной неселективности, свидетельствуют полученные значения характерных времен. Значение постоянной времени τ хорошо согласуется с оценками времени остывания электронной подсистемы в нормальных областях и квази-частичной подсистемы — в сверхпроводящих [9]. Помимо этого, частоте $\nu \approx 10^{10}$ Гц, начиная с которой совпадают максимумы $\Delta U(J)$ и $JdR/dT(J)$ (рис. 1), соответствует характерное для сверхпроводника время энергетической релаксации τ_c [10]. Однако, сложность процессов, реализующихся в резистивном состоянии сверхпроводника, не позволяет пока детально описать наблюдаемые явления.

Московский
государственный педагогический институт
им. В.И.Ленина

Поступила в редакцию
17 июля 1981 г.

Институт радиотехники и электроники
Академии наук СССР

Литература

- [1] Аронов А.Г., Спивак Б.З. ФНТ, 1978, 4, №11.
- [2] Shklovsky V. A. J. Low Temp. Phys., 1980, 41, №3/4; Еру И.И., Кащей В.А., Песковацкий С.А., Сулима В.С. ФТТ, 1974, 16, 3133.
- [3] Горьков Л.П., Копкин Н.Б. УФН, 1975, 116, 413.
- [4] Галайко В.П., Дмитриев В.П., Чурилов Г.Е. ФНТ, 1976, 2, №3.
- [5] Елесин В.Ф., Копяев Ю.В. УФН, 1981, 133, №2.
- [6] Гершензон Е.М., Гольцман Г.Н., Семенов А.Д. Труды III Всесоюзного симпозиума по миллиметровым и субмиллиметровым волнам. 1980, 76,

[7] Гершензон М.Е., Губанков В.Н. ФТТ, 1979, 21, №3.

[8] Зайцев Г.А., Хребтов И.А. ПТЭ, 1979, №2.

[9] Сб. Физика фононов больших энергий. Новости физики твердого тела. М.: Мир, 1976, вып. 5.

[10] Гершензон М.Е., Губанков В.Н. Письма в ЖЭТФ, 1979, 29, 189.
