

## КВАНТОВАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ НА ПЛЕНОЧНЫХ КОНТАКТАХ ИЗ $Nb_3Sn$ ПРИ ВОДОРОДНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

А.И.Головашкин, И.С.Левченко, А.Н.Лыков,  
Л.И.Махашвили

Экспериментально исследованы свойства сверхпроводящих мостиковых контактов из  $Nb_3Sn$ , приготовленных методом скрабирования напыленных пленок. Показано, что вольт-амперные характеристики контактов подчиняются параболическому закону  $V = C(I^2 - I_c^2)$ , где  $I_c$  — критический ток. Обнаружено, что параметр  $C \sim 1/I_c$ . Оценена скорость движения абрикосовских вихрей в контакте. Изготовлены квантовые интерферометры из  $Nb_3Sn$ , работающие при "водородных" температурах. Изучена температурная зависимость свойств интерферометров.

В последнее время сверхпроводящие мостиковые контакты, обладающие свойствами джозефсоновских переходов, а также сверхпроводящие контуры с такими контактами, включенными параллельно, являются объектом интенсивного исследования [1 — 7]. Мостиковые контакты из сверхпроводящих сплавов с решеткой A15 [8, 9] привлекают внимание из-за исключительно больших величин критических параметров этих сплавов. В настоящей работе исследовались свойства сверхпроводящих мостиковых контактов, изготовленных из пленок  $Nb_3Sn$ , и контуров из параллельных мостиков.

Сверхпроводящие пленки  $Nb_3Sn$  готовились одновременным испарением Nb и Sn из разных испарителей в вакууме  $3 \cdot 10^{-6} - 8 \cdot 10^{-6}$  мм рт.ст. Осаждение сплава проводилось на полированные рубиновые подложки, нагретые до температуры  $700 - 900^\circ C$ . Перед испарением компонент сплава на горячую подложку наносился слой ниобия, толщина которого составляла  $1000 \text{ \AA}$ . Такой подслой ниобия способствовал формированию решетки сплава, а при электрических измерениях он играл роль шунта. Скорость напыления пленок составляла  $20 - 30 \text{ \AA/сек}$ . Непосредственно после осаждения пленки отжигались в вакууме  $2 \cdot 10^{-6}$  мм рт.ст. при температуре  $900 - 1000^\circ C$  в течение  $5 - 10$  мин и при температуре  $700 - 750^\circ C$  в течение нескольких часов. Толщина использованных пленок была  $5000 - 7000 \text{ \AA}$ . Температура перехода в сверхпроводящее состояние —  $17,6 \div 18,1 K$ , ширина перехода  $\sim 0,2 K$ .

Мостики из пленок  $Nb_3Sn$  готовились методом скрабирования [4, 7, 9]. Сущность метода состоит в том, что на подложке предварительно алмазным резцом наносится одна или несколько параллельных канавок необходимого размера. После осаждения пленка перерезается поперек канавок, так что остаются лишь узкие проводящие мостики, соединяющие две части пленки. Нами приготовлены мостики шириной  $1 - 5$  мкм, длиной  $1 \div 2$  мкм и сверхпроводящие квантовые интерферометры (СКИ) из параллельных мостиков площадью  $10 - 200$  мкм<sup>2</sup>.

Изучались вольт-амперные характеристики (ВАХ) и вольт-полевые характеристики (ВПХ) контактов. Измерения выполнены при температу-

рах 13,96 – 20,3К в жидком водороде. Магнитное поле создавалось с помощью внешнего соленоида или небольшой катушкой, помещенной в криостате вблизи образца. Температура измерялась по давлению паров водорода и термометру Аллен – Бредли, находящемуся в тепловом контакте с медным держателем образцов.

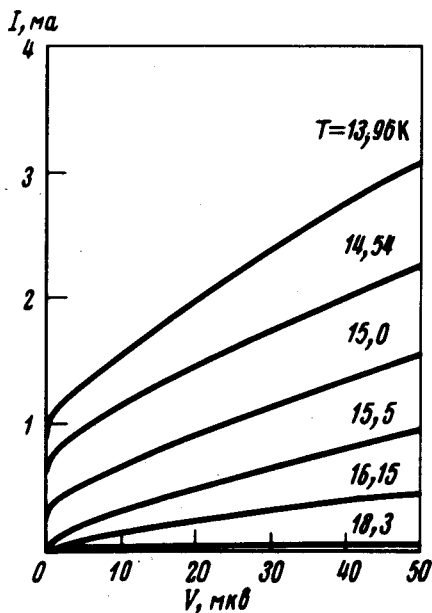


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики мостикового контакта из  $Nb_3Sn$  при различных температурах ( $T_c = 17,6K$ ). Около каждой кривой указана температура измерения

На рис. 1 приведены примеры ВАХ одного из образцов при различных температурах. Максимальная температура, при которой на ВАХ контактов наблюдался конечный ток при нулевом напряжении составляла  $\sim 17K$ .

Полученные в настоящей работе ВАХ мостиковых контактов из  $Nb_3Sn$  (рис. 1) значительно отличаются от гиперболической зависимости [1]  $V = R_H \sqrt{I^2 - I_c^2}$ , где  $R_H$  – сопротивление контакта в нормальном состоянии. Эта зависимость справедлива для узких мостиков с размером сужения  $a \ll \xi$  ( $\xi$  – длина когерентности). В нашем случае, из-за малости  $\xi$  в  $Nb_3Sn$  ( $\sim 100A$ ), выполняется обратное соотношение  $a \gg \xi$ . В таких контактах джозефсоновские свойства связаны с периодическим движением абрикосовских вихрей [2, 3]. Напряжение на контакте при этом возникает из-за диссипативного характера движения вихрей. Теория [2, 3] предсказывает, что ВАХ таких контактов при больших токах является квадратичной  $V \sim I^2$ . Указанная зависимость объясняется тем, что напряжение на контакте пропорционально полному числу вихрей в контакте (т. е. току) и обратно пропорционально времени движения вихря через контакт, которое обратно пропорционально току.

Наблюдаемые на эксперименте ВАХ наших контактов из  $Nb_3Sn$  при  $I \geq I_c$  описываются формулой

$$V = C(I^2 - I_c^2). \quad (1)$$

Из-за наличия параллельного нормального шунта реальные ВАХ более точно описываются выражением

$$I = V/R + \sqrt{V/C + I_c^2}, \quad (2)$$

где  $R$  – сопротивление шунта. Однако обычно  $R$  – велико и отличие реальной ВАХ от закона (1) сказывалось лишь при токах  $I \gg I_c$ . Экспериментальные ВАХ обрабатывались методом наименьших квадратов на ЭВМ. Для всех четырех семейств ВАХ, полученных для разных контактов, средне квадратичное отклонение экспериментальных кривых от теоретического вида в широком диапазоне токов не превышало 1%. Зависимость параметра  $C$  от  $I_c$  была проанализирована для всех исследований контактов. Оказалось, что  $C = r/I_c$ , где постоянная  $r$  – некоторое характерное сопротивление. На рис. 2 для одного из образцов приведена зависимость  $C$  от  $I_c$ , текущего через контакт при разных температурах.

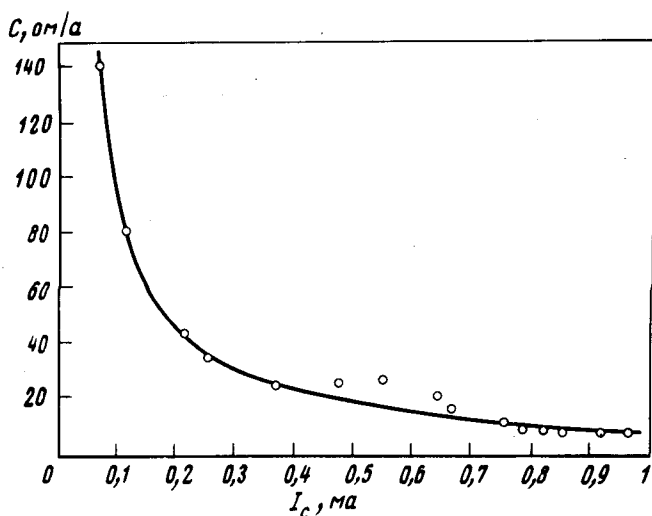


Рис. 2. Зависимость  $C$  от критического тока  $I_c$  для одного из контактов. Сплошная кривая соответствует закону  $C = r/I_c$ , где  $r = 8 \cdot 10^{-3}$  ом.

Используя результаты работы [2], можно оценить различные физические величины, связанные с движением вихрей в наших контактах.

Время движения пары вихрей через контакт  $t = \frac{\pi^2}{8} \frac{\hbar}{e} \sqrt{\frac{a}{\xi}} \frac{1}{CI_c^2} \approx 10^{-9}$  сек

при  $I_c \approx 1$  ма. Здесь  $2a$  – ширина контакта. Коэффициент вязкости

движения вихрей  $\eta = \frac{4}{\pi} \frac{\hbar}{e} \frac{I_e t}{a^2} \approx 10^{-12}$  г/сек. Пленочные мостики

из  $Nb_3Sn$  были использованы для создания СҚИ. На рис. 3 даны ВПХ интерферометра для различных транспортных токов при температуре тройной точки водорода 13,96К. (Эта температура удобна из-за ее

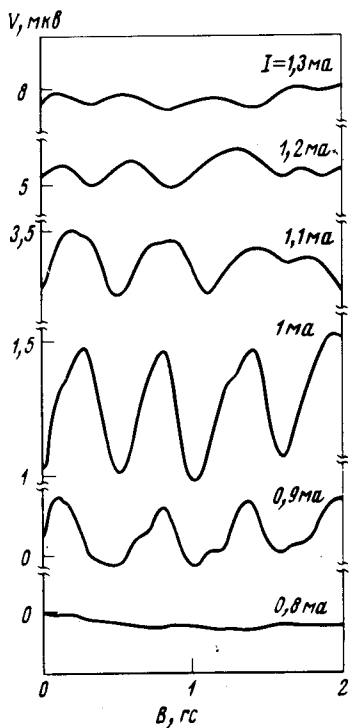


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики интерферометра при температуре 13,96К для разных транспортных токов. ( $B$  – магнитная индукция, ток указан около каждой кривой)

стабильности). Нижняя кривая ( $I = 0,8 \text{ ма}$ ) соответствует току, меньшему суммарного критического тока мостиков интерферометра. Следующая кривая ( $I = 0,9 \text{ ма}$ ) относится к случаю  $I \approx I_c$ . Квантовая интерференция на параллельных мостиках из  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  наблюдалась нами вплоть до температуры  $\sim 16,5\text{К}$ . Амплитуда осцилляций плавно уменьшалась с ростом температуры. СКИ из  $\text{Nb}_3\text{Sn}$  устойчивы к электрическим нагрузкам, практически не меняют характеристики при многократных заливках, могут работать с твердым водородом в качестве хладагента.

В заключение выражаем благодарность В.А.Дравину за помощь в приготовлении пленок.

Физический институт  
им. П.Н. Лебедева  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
18 октября 1976 г.

### Литература

- [ 1 ] А.Г.Асламазов, А.И.Ларкин. Письма в ЖЭТФ, 9, 150, 1969.
- [ 2 ] А.Г.Асламазов, А.И.Ларкин. ЖЭТФ, 68, 766, 1975.
- [ 3 ] К.К.Лихарев. ЖЭТФ, 61, 1700, 1971.
- [ 4 ] R.Y.Chiao, M.J.Feldman, H.Ohta, P.T.Parrish. Rev. Phys. Appl., 9, 183, 1974.
- [ 5 ] A.de Waele, R. de Bruyan Ouboter. Physica., 41, 225, 1969.
- [ 6 ] W.Richter, G.Albrecht. Phys. status solidi, 17, 531, 1973.

- [7] В.В.Кравченко, С.И.Бондаренко, К.Б.Лобанов, О.Е.Щастливец. ФНТ, 2, 200, 1976.
- [8] M.A.Ianoso, J.R.Gavaler, C.K.Jones, IEEE Transaction on Magnetics MAG-11, 880, 1975.
- [9] А.И.Головашкин, И.С.Левченко, А.Н.Лыков. ФТТ, 18, №12, 1976.
- [10] А.И.Головашкин, И.С.Левченко, Г.П.Мотулевич. ФММ, 33, 1213, 1972.
-