

ПЕРЕХОД В РЕЗИСТИВНОЕ СОСТОЯНИЕ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ШИРОКИХ МОСТИКОВ ИЗ NbN

М.В. Тиханский

Исследованы особенности перехода сверхпроводящих мостиковых контактов (ширина мостиков ~ 200 мкм, длина ~ 1 мкм) из пленок NbN в резистивное состояние под действием транспортного тока. Обнаружено, что зависимость критического тока таких мостиков от температуры состоит из двух линейных участков. Полученные результаты объясняются с помощью вихревой модели.

В работе /1/ показано, что если для сверхпроводящего пленочного контакта типа S-c-S выполняются условия $\xi(T) \ll a \ll \lambda_{\perp}$ (a — характерный размер сужения, $\xi(T)$ — длина когерентности сверхпроводника, λ_{\perp} — эффективная глубина проникновения перпендикулярного магнитного поля в пленку), то он проявляет некоторые джозефсоновские свойства. Данные свойства обусловлены когерентным движением вихрей Абрикосова в мостике, когда через него проходит транспортный ток, больший критического тока I_c . Представляет интерес исследование свойств мостикового контакта, если один его размер — длина $l \ll \lambda_{\perp}$, а второй — ширина $w \gg \lambda_{\perp}$. Здесь длина мостика — размер контакта вдоль направления транспортного тока, ширина — размер в перпендикулярном направлении.

В данной работе исследовались сверхпроводящие широкие ($w \gg \lambda_{\perp}$) мостиковые контакты на основе тонких пленок нитрида ниобия. Интерес к этому сверхпроводнику вызван его высокими критическими параметрами, аномально большой величиной λ_{\perp} , гранулированностью структуры пленок и др. В эксперименте измерялись вольтамперные характеристики (ВАХ) мостиков в температурном диапазоне $4,2 \leq T \leq 16$ К. Исследовалось также влияние внешнего магнитного поля на характеристики контактов.

Пленки NbN изготавливались методом реактивного катодного распыления /2/. В качестве подложек служили полированные пластинки плавного кварца. Толщина пленок составляла ~ 1500 – 2000 Å, ширина — 3 мм, температура перехода в сверхпроводящее состояние $T_c = 13$ – 16 К (по середине перехода) при ширине перехода 0,3–1 К. Удельное сопротивление пленок менялось в диапазоне 500–3000 мкОм·см. Оценки эффективной глубины проникновения поля λ_{\perp} по формуле /1/ $\lambda_{\perp}(T) = 0,83 (\rho/d) (T_c - T)^{-1}$ мкм (ρ — удельное сопротивление пленки, d — толщина пленки) показали, что в области температур $T_c - T \sim T_c/2$ величина λ_{\perp} для использованных пленок была ~ 10 мкм. Проведенные исследования структуры пленок NbN с помощью электронного микроскопа /2/ показали, что они представляют собой систему гранул с характерным размером ~ 500 – 1000 Å, разделенных границами толщиной ~ 10 – 20 Å. Мостиковые контакты готовились с помощью однократного скрайбирования. Ширина мостиков w равнялась 200 мкм, длина l — 0,5–2 мкм. Таким образом, можно считать, что в области температур вдали от T_c для мостиковых контактов выполнялись условия $l \ll \lambda_{\perp} \ll w$.

Измерения ВАХ мостиков проводились четырехконтактным методом с использованием источника тока. Напряжение на контакте регистрировалось с помощью нановольтметра Р341 и потенциометра ПДП-004. Внешнее магнитное поле создавалось сверхпроводящим соленоидом из Nb-Ti и было направлено перпендикулярно к плоскости исследуемых образцов. Его величина могла меняться в диапазоне от -700 до $+700$ Э. Во время измерений ток в соленоиде изменялся не более чем на 0,1%.

На рис. 1 приведены ВАХ одного из мостиковых контактов с T_c пленки 13,3 К при различных температурах. Видно, что когда величина транспортного тока через мостик достигает критического значения I_c , контакт испытывает переход из сверхпроводящего в резистивное состояние. При этом напряжение на мостике устанавливается не скачкообразно, а плавно. Когда величина напряжения достигает ~ 5 – 15 мкВ, плавный рост напряжения с увеличением тока меняется на скачкообразный (скачки напряжения на ВАХ не показаны), что приводит к сильному перегреву как области мостика, так и всей пленки.

По измеренным вольтамперным характеристикам мостиковых контактов построена температурная зависимость критического тока I_c . Величина I_c определялась как значение тока, при котором на контакте

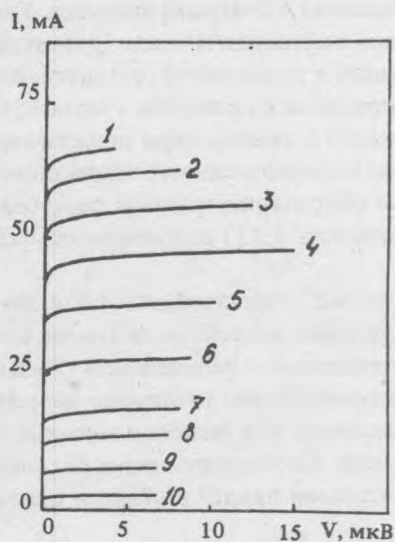


Рис. 1. ВАХ контакта при различных температурах (К): 4,2 (1); 5,0 (2); 6,0 (3); 7,0 (4); 8,0 (5); 9,0 (6); 10,0 (7); 10,5 (8); 11,0 (9); 11,5 (10).

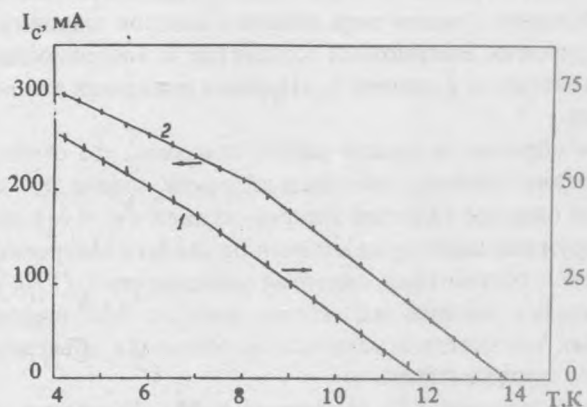


Рис. 2. Температурная зависимость критического тока контакта I_c для двух образцов. Отрезками указана ошибка измерений (~ 1 мА для кривой 1 и ~ 3 мА для кривой 2).

появлялось напряжение $\sim 0,1$ мкВ. На рис. 2 приведены зависимости $I_c(T)$ для двух образцов. Кривая 1 соответствует мостиковому контакту с T_c пленки 13,3 К, кривая 2 — мостиковому контакту с T_c пленки 15,3 К. Оказалось, что зависимость $I_c(T)$ можно описать с помощью двух линейных участков с различным наклоном к оси температур. Характерная температура, при которой меняется наклон, 7 К для первого образца и 8,5 К для второго.

При измерениях ВАХ широких мостиковых контактов во внешнем магнитном поле не наблюдалось никаких изменений характеристик мостиков во всем диапазоне изменения величины поля (до 700 Э). Отметим, что в случае мостиковых контактов микронных размеров ($w, l \ll \lambda_J$) из NbN наблюдалось небольшое ($\sim 15\%$) уменьшение I_c при увеличении магнитного поля от 0 до 700 Э/3/.

Перейдем к анализу полученных экспериментальных результатов. В отсутствие внешнего магнитного поля, когда величина транспортного тока в мостиковом контакте достигает некоторого значения, на границах мостика образуется пара вихрей Абрикосова /4/. Преодолев краевой барьер, вихри входят в мостик под действием силы Лоренца и могут закрепляться на центрах пиннинга. В случае мостиковых контактов на основе пленок NbN центрами пиннинга могут служить межзеренные границы. При этом мостик находится в бездиссипативном состоянии.

Дальнейшее увеличение транспортного тока может приводить к срыву вихрей с центров пиннинга и их движению в области мостика, либо к вхождению новых пар вихрей и их накоплению в области контакта. Первый механизм, по-видимому, имеет место в случае микромостиков, ширина которых намного меньше λ_J . Из-за малости размеров вихри Абрикосова, вошедшие в область мостика, будут сильно взаимодействовать с границами контакта. Как было показано в работе /4/, для вхождения в мостик новой пары вихрей существует потенциальный барьер, обусловленный наличием вихрей в контакте. Такое представление согласуется с результатами, полученными для микромостиков из NbN /5/ и других сверхпроводников с решеткой A15 /6,7/.

Иная ситуация имеет место в мостиковом контакте, ширина которого намного больше λ_{\perp} . Вихри в мостике слабо взаимодействуют друг с другом и с границами. Бездиссипативное состояние $S-c-S$ контакта будет в основном определяться взаимодействием вихрей Абрикосова с центрами пиннинга. Увеличение тока может приводить к вхождению новых вихрей и их накоплению в области контакта. При некотором значении тока (I_c) на контакте появляется напряжение, т.е. он переходит в резистивное состояние. Как было показано в работе /8/, возникновение экспоненциально малого напряжения на контакте связано с термически активным крипом потока. Лавинообразное увеличение напряжения и температуры области мостика можно объяснить срывом всех вихрей с центров пиннинга. Различное влияние внешнего магнитного поля на ВАХ широких мостиковых контактов и микромоостиков также обусловлено разным соотношением ширины контакта и величины λ_{\perp} . Причина появления излома на зависимости $I_c(T)$ для широких мостиков нам не ясна.

Таким образом, в данной работе показано, что свойства мостиковых контактов из NbN с шириной $w \geq \lambda_{\perp}$ можно описать с помощью вихревой модели /1,4/ с учетом пиннинга вихрей /8/, на основе которой ранее были описаны свойства микромоостиков ($w \ll \lambda_{\perp}$) из сверхпроводников с решетками A15 и B1. При этом обнаружены некоторые отличия от свойств микромоостиков: скачкообразное увеличение напряжения на контакте с ростом тока, линейная зависимость $I_c(T)$ с разным наклоном при низких и высоких температурах, слабое влияние магнитного поля на ВАХ широких мостиков. Особенности перехода широких мостиковых контактов в резистивное состояние объясняются накоплением вихрей в области контакта и их срывом с центров пиннинга.

Автор благодарен Г.П. Мотулевич и А.Н. Лыкову за обсуждение результатов работы, В.А. Сухову за помощь в приготовлении образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лихарев К. К. ЖЭТФ, 61, 1700 (1971).
2. Антонова Е. А., Сухов В. А. ФНТ, 7, 1002 (1981),
3. Лыков А. Н. и др. Тезисы конференции "Металлофизика сверхпроводников". Киев, 1986, с. 82.
4. Асламазов Л. Г., Ларкин А. И. ЖЭТФ, 68, 766 (1975).
5. Лыков А. Н. и др. Тезисы конференции "Металлофизика сверхпроводников". Киев, 1986, с. 84.
6. Головашкин А. И., Лыков А. Н., Прищепа С. Л. ЖЭТФ, 76, 1316 (1979).
7. Kuriki S., Yoshida A., Konishi H. J. Low Temp. Phys., 51, 149 (1983).
8. Лыков А. Н., Прищепа С. Л. ФТТ, 26, 961 (1984).

Поступила в редакцию 20 ноября 1985 г.
После переработки 24 апреля 1986 г.