

СВЕРХПРОВОДЯЩИЙ ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТОКА В ГРАНУЛИРОВАННЫХ ПЛЕНКАХ NbN

Г.П. Мотулевич, М.В. Тиханский, Е.А. Антонова, О.В. Конник, В.А. Сухов

УДК 537.312.62

В результате измерений вольтамперных характеристик сверхпроводящих гранулированных пленок нитрида ниобия обнаружен ряд особенностей, которые связаны со сверхпроводящим фазовым переходом под действием тока. Дана интерпретация полученных результатов.

В настоящее время большой интерес вызывают исследования природы фазовых переходов в сверхпроводящих гранулированных структурах. Теория Костерлица-Таулесса /1/ и Березинского /2/ предсказывает, что пленка, состоящая из сверхпроводящих гранул, связанных джозефсоновским туннелированием, будет испытывать топологический фазовый переход при достижении температуры $T = T_{2D}$ ($T_{2D} < T_c$), где T_c – критическая температура гранул. В температурной области $T_{2D} < T < T_c$ сверхпроводящая гранулированная пленка находится в некотором резистивном состоянии. Экспериментальные результаты, полученные для гранулированных пленок Al /3/, Nb /4/ и NbN /5/, показали, что действительно имеет место топологический фазовый переход при $T = T_{2D}$, после чего исследуемые гранулированные структуры переходят в резистивное состояние с образованием термически активированных флюксоидов.

Настоящая работа посвящена более детальному изучению резистивного состояния сверхпроводящих гранулированных пленок NbN. Целью работы являлось исследование перехода из резистивного состояния пленок в нормальное под действием транспортного тока с помощью измерений вольтамперных характеристик пленок.

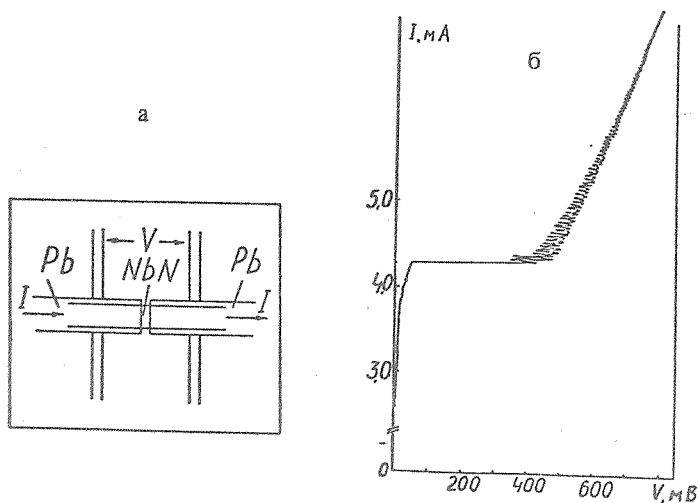
Пленки NbN готовились методом реактивного катодного распыления /6/. Толщина пленок составляла $\sim 2000-3000 \text{ \AA}$, ширина $\sim 0,5 \text{ мм}$. Полученные таким методом структуры представляют собой двумерную систему металлических гранул с характерным диаметром зерен $\sim 1000 \text{ \AA}$, разделенных слоем изолятора толщиной $\sim 20-50 \text{ \AA}$. Удельное сопротивление пленок нитрида ниобия, которые были отобраны для исследования фазовых переходов, составляло $\sim 10^3 - 10^4 \text{ мкОм}\cdot\text{см}$. Такое аномально высокое удельное

сопротивление обусловлено большим потенциальным барьером, разделяющим гранулы. Следовательно, когда пленка находится в сверхпроводящем состоянии, джозефсоновские связи между гранулами будут слабыми.

Измерение вольтамперных характеристик пленок связано с трудностями из-за их высокого сопротивления в нормальном состоянии. Во-первых, технически сложно собрать измерительную схему, работающую в режиме источника тока. Во-вторых, при переходе пленки NbN в нормальное состояние под действием тока образец разогревается за счет мощности, выделяемой по всей длине пленки. Поэтому в настоящей работе измерялись вольтамперные характеристики участков пленок NbN с характерной длиной ~ 10 мкм.

Исследуемые образцы имели следующую форму (рис. 1а). Свеженанесенная пленка NbN покрывалась слоем свинца, который шунтирует сопротивление пленки. Затем методом скрайбирования поперек этой двуслойной структуры наносили штрих, удаляющий Pb и оставляющий пленку NbN неповрежденной из-за ее высокой механической прочности. Ширина штриха составляла ~ 10 мкм. Таким образом были получены широкие ($\sim 0,5$ мм) и короткие (~ 10 мкм) мостики переменной ширины.

Измерения ВАХ мостиков проводились четырехконтактным методом с использованием токовой схемы. Ток, линейно меняющийся во времени, про-



Р и с. 1. а) Геометрия и способ подключения образцов. б) Вольтамперная характеристика мостика переменной толщины на основе NbN

текал вдоль двуслойной структуры NbN–Pb. Критический ток пленки Pb намного превышал критический ток пленки нитрида ниобия. При измерении ВАХ мостика сверхпроводящая пленка Pb шунтирует пленку NbN, за исключением области штриха т.е. участка, где свинец удален. Измерения проводились в жидком гелии при температуре 4,2 К.

Вольтамперная характеристика одного из образцов приведена на рис. 1б. В области малых токов ($I < 2,6$ мА) мостик находится в сверхпроводящем состоянии. При достижении тока $I \approx 2,6$ мА наблюдается плавный переход пленки NbN в области штриха в резистивное состояние с характерным сопротивлением ~ 10 Ом, а при токе $I \approx 4,2$ мА мостик испытывает скачкообразный переход в нормальное состояние с характерным сопротивлением ~ 100 Ом. Похожие по форме вольтамперные характеристики гранулированных пленок Nb и NbN наблюдались в работах [4,5].

На рис. 2 показан участок ВАХ другого образца, где пленка NbN находится в резистивном состоянии ($5,8 < I < 12,2$ мА). В верхнем участке вольтамперной характеристики наблюдаются колебания напряжения на мостике. Амплитуда колебаний растет с ростом тока, при достижении некоторой максимальной величины амплитуды осцилляций напряжение мостик испытывает переход в нормальное состояние (горизонтальный участок ВАХ). Наблюдаемые осцилляции напряжения имеют шумовой характер, при многократной записи ВАХ ее форма не повторяется, однако значения тока, при котором начинаются шумовые колебания и при котором они исчезают, одни и те же. Когда через образец течет не линейно меняющийся во времени, а постоянный ток, характер шумовых колебаний такой же.

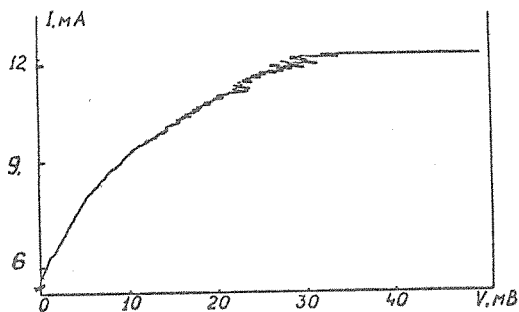


Рис. 2. Участок ВАХ мостика в резистивном состоянии

После перехода пленки NbN в нормальное состояние (рис. 1б) дальнейшее увеличение тока сопровождается низкочастотными нешумовыми осцилляциями напряжения на мостике. На самом деле осцилляции напряжения не связаны с ростом тока, а напряжение изменяется во времени. Частота колебаний составляла ~ 3 Гц, а максимальная амплитуда была на два порядка больше амплитуды шумовых колебаний в резистивном состоянии и составляла ~ 100 мВ. С ростом тока уменьшается амплитуда осцилляций напряжения до полного их исчезновения. При обратной записи наблюдается такая же форма ВАХ мостика без какого-нибудь гистерезиса. Насколько нам известно, в работах [4,5] не наблюдалось ни шумовых осцилляций напряжения в резистивном состоянии пленок, ни осцилляций нешумового характера после перехода пленок в нормальное состояние.

Наблюдаемые особенности на вольтамперных характеристиках пленок NbN можно объяснить следующим образом. При температуре $T > T_{2D}$ в сверхпроводящей гранулированной пленке образуются термически возбужденные пары вихрь-антивихрь. Такие пары взаимодействуют с транспортным током и, когда взаимодействие превышает силу пиннинга, имеет место движение флюксоидов. Движение флюксоидов приводит к шумовым осцилляциям напряжения на мостике в резистивном состоянии. Переход в нормальное состояние пленки и нешумовые колебания напряжения можно объяснить локальным нагревом пленки движущимися флюксоидами и хорошим отводом тепла жидким гелием.

Поступила в редакцию 16 марта 1984 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. J.M. Kosterlitz, D.J. Thouless, J. Phys., C 6, 1181 (1973).
2. В.Л. Березинский, ЖЭТФ, 61, 1144 (1971).
3. В.Ю. Таренков, А.И. Дьяченко, В.В. Ступаков, ФТТ, 24, 2569 (1982).
4. А.П. Демянчук, Е.В. Коваленко, Н.В. Стульчикова, ФТТ, 24, 2403 (1982).
5. S.A. Wolf et al., Phys. Rev. Lett., 47, 1071 (1981).
6. Е.А. Антонова, В.А. Сухов, ФНТ, 7, 1002 (1981).