

ФЛУКТУАЦИИ В РТУТНЫХ НИТЯХ ПЯТИАТОМНОГО ДИАМЕТРА

В. Н. Богомолов, Ю. А. Кумзеров

Исследована температурная зависимость сопротивления и вольт-амперные характеристики нитей ртути диаметром в пять атомов в каналах хризотиловых асбестов.

Нами измерена температурная зависимость сопротивления пучка ртутных нитей диаметром $\sim 20 \text{ \AA}$ в области от 300 до 2 К. (Эти нити получались вдавливанием жидкого металла в каналы природных хризотиловых асбестов [1] и отличаются от изученных ранее нитей [2, 3] лишь меньшим диаметром. В [2] и [3] диаметр нитей 50 — 90 \AA , в нашем же случае он равен 20 \AA (разброс диаметров $\sim 20\%$). Измерения проводились контактным методом под давлением 13 кбар, что исключало разрывы нитей по длине каналов. Диаметры нитей определялись, как и в работе [1], по порограммам. В нашем случае проводимость у образцов появлялась при давлении 8 кбар, что соответствует диаметрам в 22,5 \AA . Столь малые диаметры металлических нитей (5 атомов на диаметре) привели к тому, что в температурном ходе сопротивления обнаружались следующие особенности.

1) Существенно снизилась температура плавления ртути в каналах асбестов по сравнению с массивной ртутью (см. рис. 1). (При использованном давлении (13 кбар) температура плавления массивной ртути равна 29°C . Нити с диаметром 50 — 90 \AA плавятся при температуре $\sim -30^\circ \text{C}$ [1]. Как видно из рис. 1, температура плавления нитей диаметром 20 \AA еще ниже ($-40 - 60^\circ \text{C}$). Кроме того, при затвердевании обнаружено значительное переохлаждение до температур $\sim -100^\circ \text{C}$ и некоторое увеличение сопротивления при переходе нитей ртути из жидкой фазы в твердую и обратно. Это увеличение возможно вызывается флуктуационным образованием новой фазы, которое может существенно изменить сопротивление у тонких нитей.

2) Ограничение длины свободного пробега электронов стенками каналов привело к уменьшению температурного хода сопротивления (рис 1). Так при изменении температуры от 77 до 15 К сопротивление образца меняется лишь \sim на 10%, а от комнатной температуры до 15 К примерно в 3,5 раза, что соответствует увеличению длины свободного пробега от 7 Å в жидкой ртути до \sim 25 Å при гелиевой температуре. Эта цифра близка к диаметру нитей.

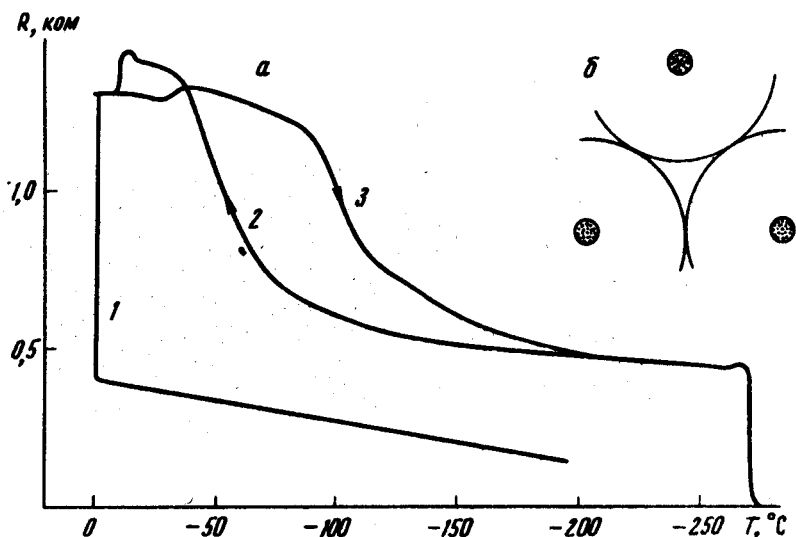


Рис. 1. Температурная зависимость сопротивления ртутных нитей пятиатомного диаметра: а- 1 – температурная зависимость сопротивления массивной ртути при давлении 7,5 кбар; 2, 3 – температурная зависимость сопротивления ртутных нитей в каналах асбестов; б – схематическое изображение сечения хризотил-овых волокон с каналами, заполненными ртутью

3) Сверхпроводящий переход ртути в каналах асбестов (рис. 2) размыт по температуре почти на 4 К, что, по всей вероятности, вызвано флуктуациями, существенными для таких тонких нитей. Для нитей с большими диаметрами [2] и ртутных пленок (см. например, [4]) размытие перехода составляет лишь десятые доли градуса. У наших образцов дополнительная проводимость за счет образования флуктуационных пар

в области от 4,2 до 6,5 К имеет вид $\sigma' = A \left(\frac{T_c}{T - T_c} \right)^{3/2} \sigma$ где σ – про-

водимость образца в нормальном состоянии, а $A \sim 10^2$, что соответствует результатам работы [5] по характеру температурной зависимости для нитей. Величина коэффициента A по порядку величины близка к теоретической оценке [9]. Ниже перехода флуктуации разрушают сверхпроводимость и флуктуационное сопротивление должно иметь вид

$$R \sim R_N \exp \left[B \left(\frac{T_c - T}{T_c} \right)^{3/2} \right], \text{ где } R_N \text{ сопротивление образца в нор-}$$

мальном состоянии [6]. Ртутные нити диаметром 20 \AA имеют такую температурную зависимость сопротивления в области $2,5 - 3,3 \text{ K}$ с коэффициентом $B \sim -4 \cdot 10^{-2}$, что также близко к теоретическим оценкам этого коэффициента, хотя и несколько хуже, чем для коэффициента A .

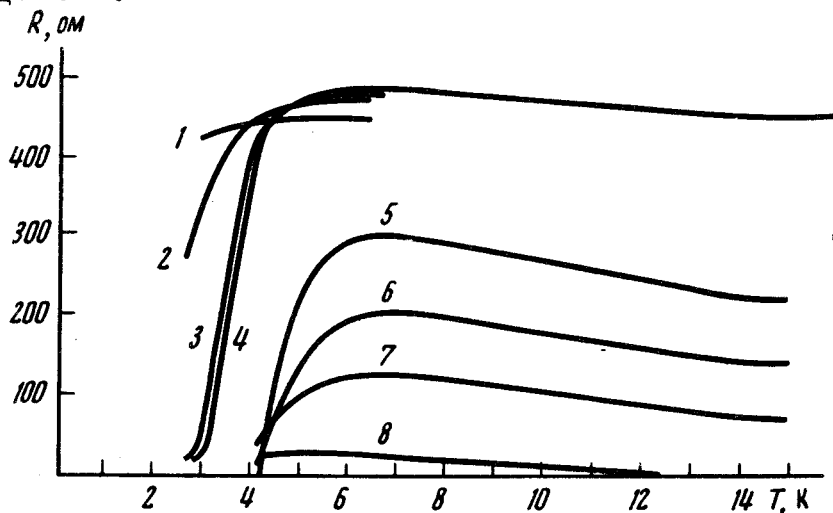


Рис. 2. Сверхпроводящий переход нитей ртути диаметром 20 \AA : 1 – ток $1,3 \text{ ма}$, 2 – 400 мка , 3 – 130 мка , 4 – 13 мка ; 5 – 8 – часть сверхпроводящего перехода в увеличенном масштабе (5 – ток 170 мка , 6 – 350 мка , 7 – 700 мка , 8 – $1,4 \text{ ма}$)

Критическая плотность тока для сверхпроводящего перехода составляет $\sim 10^5 \text{ а/см}^2$. Магнитное поле в 30 кэ сдвигает переход лишь на $\sim 0,3 \text{ K}$, что говорит о большом критическом поле таких образцов. Нити с диаметром $50 - 90 \text{ \AA}$ [3] имели критическое магнитное поле (при $T = 0 \text{ K}$) $\sim 70 \text{ кэ}$ с квадратичной зависимостью его от температуры. Если воспользоваться этой зависимостью для оценки поля наших образцов, то критическое магнитное поле при $T = 0 \text{ K}$ будет $\sim 200 \text{ кэ}$.

Нами были измерены вольт-амперные характеристики нитей ртути в каналах асбестов (рис. 3). В области от $4,2$ до $2,8 \text{ K}$ они качественно согласуются с результатами теории, предложенной в [7], но при более низких температурах появляются резкие скачки сопротивления. Эти результаты получены как на переменном токе частоты 400 гц , так и на постоянном токе. Более чувствительная схема в последнем случае позволила тщательнее измерить участок вольт-амперной характеристики до скачка (штриховая кривая). В этой области токов сопротивление и до скачка ведет себя нелинейно и даже при самых малых токах отличается от нуля. Вольт-амперные характеристики нитей ртути диаметра $60 - 90 \text{ \AA}$ имеют вид ступенчатых кривых, не похожих на кривые рис. 2 [2]. (Нити диаметра $30 - 40 \text{ \AA}$ имеют вольт-амперные характеристики похожие на кривые рис. 2, хотя их переход в сверхпроводящее состояние размыт гораздо меньше ($\sim 0,5 \text{ K}$)).

4) Исследованные нами образцы обладают необычным температурным ходом сопротивления вблизи сверхпроводящего перехода. Как видно из рис. 2, существует минимум сопротивления при $13 - 15 \text{ K}$.

Затем сопротивление увеличивается на $\sim 5\%$ и около $6,5\text{ К}$ начинается сверхпроводящий переход. Природа такого увеличения сопротивления остается неясной. Магнитных примесей, которые могли бы привести к минимуму сопротивления (эффект Кондо), нет ни в асбестах, ни в ртути, о чем говорит отсутствие подобного минимума в нитях ртути с диаметром $30 - 40$ и $50 - 90\text{ \AA}$ [2]. Это увеличение появляется только при переходе к очень тонким нитям с диаметром $\sim 20\text{ \AA}$. В этом случае существенным может оказаться только наличие парамагнитных свойств у поверхности. Возможно также, что в столь тонких, связанных только диэлектрической матрицей, нитях ($\sim 5 - 7$ атомов на диаметре) проявляется какая-то неустойчивость решетки перед фазовым переходом. При увеличении плотности тока кривая сглаживается за счет опускания горба (рис. 3).

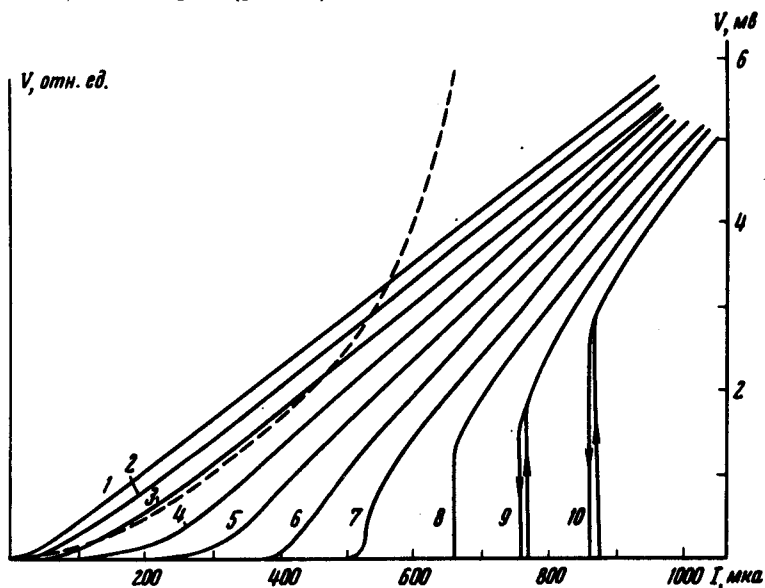


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики нитей ртути диаметром 20 \AA : 1 — температура $4,2\text{ К}$, 2 — $3,86\text{ К}$, 3 — $3,32\text{ К}$, 4 — $3,19\text{ К}$, 5 — $2,95\text{ К}$, 6 — $2,78\text{ К}$, 7 — $2,6\text{ К}$, 8 — $2,42\text{ К}$, 9 — $2,32\text{ К}$, 10 — $2,26\text{ К}$; штриховая кривая — участок вольт-амперной характеристики в увеличенном масштабе (правая шкала) при температуре $2,5\text{ К}$

В заключение нам хотелось бы подчеркнуть, что металлические нити в хризотиловых асбестах, вероятно, не представляют собой того объекта, модель которого рассматривалась в [8], так как не только сами нити металла еще велики по диаметру, но и велико расстояние между ними ($\sim 200 - 300\text{ \AA}$), хотя какие-то коллективные эффекты можно ожидать, конечно, и в такой системе параллельных проводников с током. Более перспективным является заполнение металлом матрицы типа морденита.

Авторы благодарят А. И. Ларкина за обсуждение результатов работы

Физико-технический институт
им. А. Ф. Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
14 февраля 1975 г.

Литература

- [1] В. Н. Богомолов. ФТТ, 13, 815, 1971.
 - [2] В. Н. Богомолов, В. К. Кривошеев, Ю. А. Кумзеров. ФТТ, 13, 3720, 1971.
 - [3] В. Н. Богомолов, В. К. Кривошеев. ФТТ, 14, 1238, 1972.
 - [4] В. Л. Цымбаленко, А. И. Шальников. ЖЭТФ, 65, 2086, 1973.
 - [5] Л. Г. Асламазов, А. И. Ларкин. ФТТ, 10, 1104, 1968.
 - [6] J. S. Langer, V. Ambegaokar, Phys. Rev., 164, 498, 1967.
 - [7] В. В. Шмидт. ЖЭТФ, 54, 263, 1968.
 - [8] К. Б. Ефетов, А. И. Ларкин. ЖЭТФ, 66, 2290, 1974.
 - [9] П. Хоэнберг. УФН, 102, 239, 1970.
-