

СТИМУЛИРОВАНИЕ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ В МНОГОСЛОЙНЫХ НИОБИЕВЫХ СТРУКТУРАХ

В.И.Дедю, А.Н.Лыков

Обнаружен рост критической температуры с увеличением количества слоев в многослойной сверхпроводящей структуре на основе ниобия. На температурной зависимости параллельного критического магнитного поля наблюдается отклонение от корнёвого закона. Результаты объясняются увеличением амплитуды параметра порядка в слоях за счет слабого джозефсоновского взаимодействия между ними.

В последние годы появился ряд работ, посвященных изучению искусственно созданных сверхпроводящих структур¹. При этом основное внимание уделено структурам с сильной связью между слоями, т.е. со слабой модуляцией параметра порядка. Сверхпроводящие структуры с сильной модуляцией практически не изучались.

Нами исследовались структуры с сильной модуляцией параметра порядка, состоящие из слоев ниобия, разделенных тонкими оксидными прослойками. Напыление ниобия проводилось с помощью магнетрона на полированные сапфировые подложки при комнатной температуре. Толщины слоев d менялись в диапазоне 100 – 400 Å, их количество N от 1 до 20. Взаимодействие между слоями варьировалось за счет изменения режима окисления. Характеристикой взаимодействия является произведение удельного сопротивления оксидного слоя ρ_i на его толщину d_i . Оно определялось нами из измерений туннельных контактов Nb – NbO_x – Nb, приготовленных с заданным режимом окисления. Оже-анализ подтвердил наличие периодической структуры. Более подробно технологический процесс описан в ².

Мы измерили зависимости критического магнитного поля H_{c2} от температуры и критической температуры T_c от количества N слоев. На рис. 1 представлена зависимость $T_c(N)$ для образцов с $N = 1 - 10$. Обнаружено стимулирование критической температуры с ростом количества слоев на $\Delta T_c \approx 0,7$ К, которое мы связываем с наличием взаимодействия между слоями. На рис. 1 также приведена зависимость $\gamma(N)$, где $\gamma = \rho_{300}/\rho_{10}$ – отношение удельных сопротивлений при $T = 300$ К и $T = 10$ К. Постоянство γ указывает на то, что рост критической температуры не является следствием изменения качества слоев с ростом N .

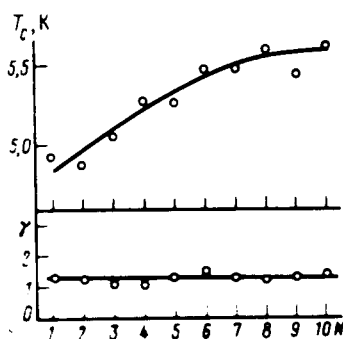
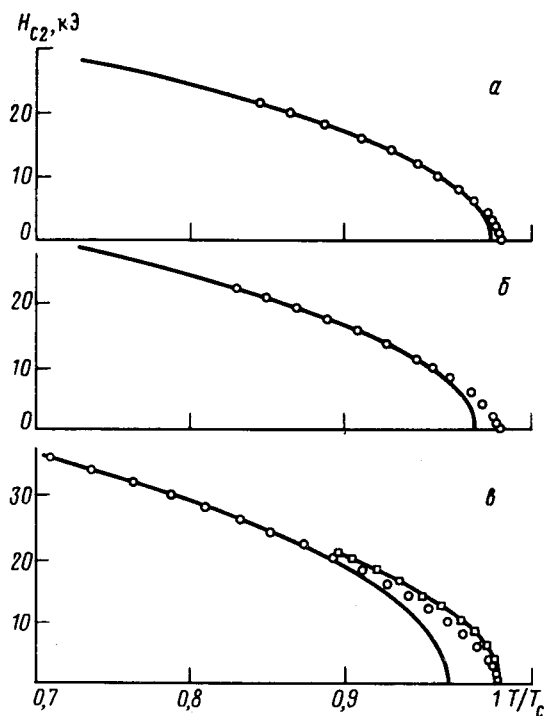


Рис. 1. Зависимости $T_c(N)$ и $\gamma(N)$

Рис. 2. Зависимости $H_{c2}''(T)$ для образцов с разной связью между слоями: а – $\rho_i d_i = 10^{-6}$ Ом \times см²; б – $\rho_i d_i = 2 \cdot 10^{-6}$ Ом \cdot см²; в – точки – $\rho_i d_i = 10^{-6}$ Ом \cdot см², квадраты – $\rho_i d_i = \infty$ (пленка)



Стимулирование критической температуры в слоистой структуре проявляется также на зависимостях $H_{c2}(T)$ в параллельном поле. Измерения проводились на образцах с разными толщинами слоев и при трех разных значениях $\rho_i d_i$. Для двух режимов окисления $\rho_i d_i$ были 10^{-5} Ом \cdot см² и $2 \cdot 10^{-6}$ Ом \cdot см². Эти значения являются типичными для туннельных джозефсоновских контактов. Третий режим окисления задавался таким образом, что $\rho_i d_i < 10^6$ Ом \times см². Зависимость $H_{c2}''(T)$ для однослойной пленки толщиной $d < \xi(T)$ дается корневым законом $H_{c2}'' \sim (T_c - T)^{0,5}$. На рис. 2 приводятся зависимости $H_{c2}''(T)$ для пленки с $d = 300$ Å и для трех многослойных структур с $d = 300$ Å, $N = 10$, но с разными $\rho_i d_i$. Экспериментальные точки для однослойной пленки хорошо ложатся на корневую зависимость (сплошная кривая). В многослойных структурах наблюдается отклонение от корневого закона в слабых магнитных полях в сторону увеличения T . Эту зависимость можно объяснить также наличием добавки ΔT_c за счет взаимодействия, которое, однако, подавляется в сильных магнитных полях.

Величина магнитного поля H^* , при которой начинается отклонение, растет при уменьшении $\rho_i d_i$, т.е. при усилении взаимодействия между слоями. Зависимости перпендикулярного критического поля для всех исследованных образцов описываются обычным линейным законом $H_{c2}^{\perp} \sim (T_c - T)$.

Стимулирование сверхпроводимости в тонких слоях за счет взаимодействия между ними можно объяснить на основе следующей качественной модели. Критическая температура пленки толщиной d , рассчитанная из уравнений Гинзбурга – Ландау, дается формулой ³:

$$T_c = T_{c0} \left(1 - \frac{d_m}{d} \right),$$

где T_{c0} – критическая температура массивного сверхпроводника, d_m – эффективная толщина, на которой подавляется параметр порядка вблизи границы пленки. Для ниобиевых пленок $d_m \approx 40 \text{ \AA}$ ³. В слоистых структурах граничные условия видоизменяются, так как имеется отличный от нуля ток в направлении перпендикулярном слою. Величина d_m уменьшается, причем для внутренних слоев это изменение больше. При увеличении N вклад двух граничных слоев уменьшается, что приводит к росту T_c . В параллельном магнитном поле парная корреляционная функция в слоистой структуре убывает вдоль слоя степенным образом, а поперек – экспоненциально ⁴. Сильное магнитное поле подавляет ΔT – добавку к T_c за счет взаимодействия при $H = 0$, причем чем сильнее связь между слоями (чем меньше $\rho_i d_i$), тем более сильное поле необходимо для подавления.

Таким образом, нами показано, что слабое джозефсоновское взаимодействие между слоями оказывает существенное влияние не только на фазу, но и на амплитуду параметра порядка.

Авторы благодарят Л.Н.Булаевского и К.Б.Ефетова за полезное обсуждение работы.

Литература

1. *Banerjee I. et al.* Phys. Rev. B, 1983, 28, 5037.
2. Дедю В.И., Лыков А.И. КСФ, 1987, № 2, 11.
3. *Simonin J.* Phys. Rev. B, 1986, 33, 7830.
4. *Ефетов К.Б.* ЖЭТФ, 1979, 76, 1781.