

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ШИРИНЫ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЩЕЛИ ПЛЕНОК НИТРИДА НИОБИЯ

Д.Р. Джураев

УДК 537.312.62

Методом электронного туннелирования измерена температурная зависимость сверхпроводящей энергетической щели $\Delta(T)$ пленок нитрида ниобия. Использовались туннельные контакты NbN - окись NbN - Pb и NbN - окись NbN - In. Полученные результаты сопоставлены с теорией БКШ.

Как известно, метод электронного туннелирования в сверхпроводниках является богатым источником информации, касающейся энергетической сверхпроводящей щели Δ (см., напр., /1/). Сопоставление экспериментальной зависимости Δ/Δ_0 от T/T_c с теоретической, полученной из теории БКШ, позволяет сделать некоторые заключения о механизме сверхпроводимости. (Здесь $\Delta_0 = \Delta(T=0)$, T_c - температура сверхпроводящего перехода.)

В работе методом электронного туннелирования измерена энергетическая щель Δ_{NbN} пленок нитрида ниобия и ее зависимость от температуры. Измерения выполнены на туннельных переходах (ТП) NbN - окись NbN-Pb и NbN - окись NbN-In в интервале температур 1,8 - 14,5 К. Для изготовления ТП использовались пленки нитрида ниобия, обладающие столбчатой структурой. Пленки NbN готовились методом геттерного реактивного катодного распыления. Ниобиевая мишень распылялась в тлеющем разряде на постоянном токе в атмосфере аргона и азота /2/. Подложками служили полированные кварцевые пластины размерами 2 x 10 x 15 мм³ или 1 x 6 x 12 мм³. Температура подложек при осаждении пленок составляла 700 °С.

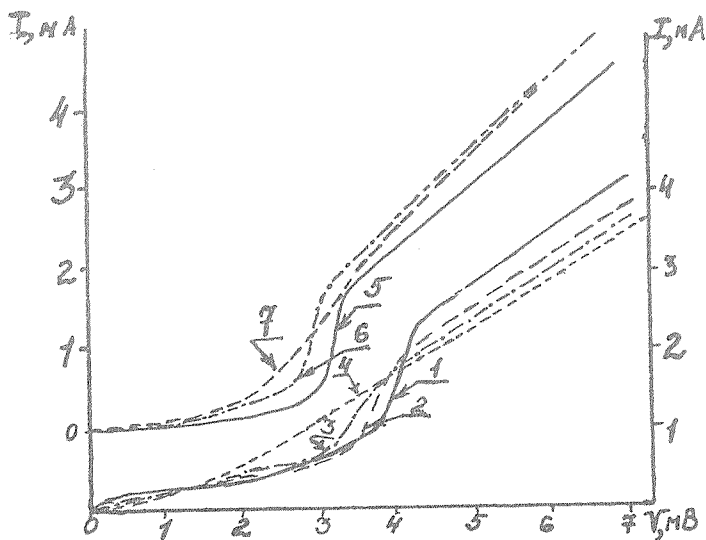
Характеристики четырех исследованных пленок приведены в табл. 1. Здесь T_c^H - температура начала сверхпроводящего перехода, R_{300}/R_{25} - отношение сопротивлений при 300 К и 25 К. Из таблицы видно, что для всех четырех

Таблица 1. Сверхпроводящие характеристики образцов нитрида ниобия

Номер образца	T_c^H , К	T_c , К	$\Delta(0)$, мэВ	$\frac{R_{300}}{R_{25}}$	R_T , Ом	Туннельный контакт
23	16,30	16,15	$2,46 \pm 0,02$	0,97	0,27	NbN/Pb
55	17,25	16,6	$2,84 \pm 0,02$	0,97	0,80	NbN/Pb
66	17,00	15,6	$2,75 \pm 0,02$	0,93	2,2	NbN/Pb
88	15,10	14,70	$2,50 \pm 0,02$	0,97	1,5	NbN/In

пленок $R_{300}/R_{25} < 1$, т.е. зависимость $R(T)$ при $T > T_c$ имеет полупроводниковый характер.

В качестве туннельного барьера использовалась окись нитрида ниобия, которая образовывалась на воздухе при комнатной температуре. Сопротивления использованных ТП приведены в той же табл. 1. Наилучшие резуль-

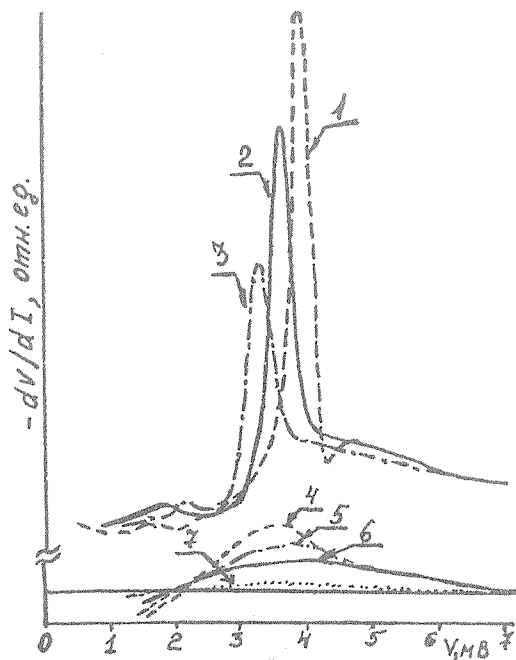


Р и с. 1. Вольтамперные характеристики туннельных переходов NbN/Pb (образец 66) при $T = 4,2$ К (1); 5,8 К (2); 6,7 К (3); 9,8 К (4) и NbN/In (образец 88) при $T = 1,8$ К (5); 2,8 К (6); 4,2 К (7)

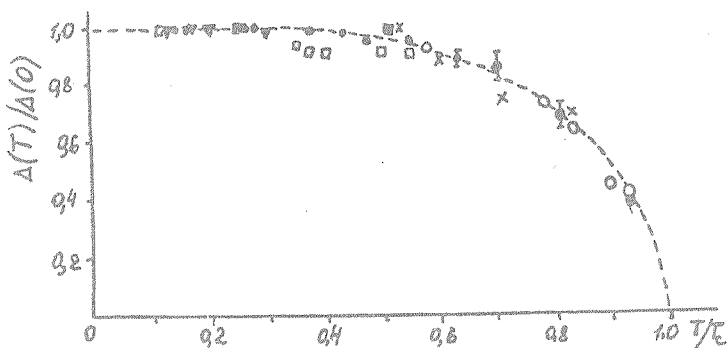
таты были получены на образце 66 с $R_T = 2,2$ Ом. Время окисления в этом случае составляло 5 час. С этим ТП удалось измерить зависимость $\Delta(T)$ до 14,5 К (соответствующее $T/T_c = 0,93$). После окисления NbN через специально приготовленные маски напылялись полоски свинца или индия. Площадь ТП составляла 0,1 - 0,2 мм².

В эксперименте измерялись вольтамперные характеристики (ВАХ) исследуемых ТП NbN/Pb (образец 66) и NbN/In (образец 88) при различных температурах (рис. 1). На рис. 2 для примера приведены зависимости dV/dI от V для ТП NbN/Pb, полученные путем численной обработки экспериментальных ВАХ.

Рассмотрим ТП типа сверхпроводник 1 - изолятор - сверхпроводник 2 (S_1/S_2). Будем считать, что $T_{c1} > T_{c2}$, тогда в интервале температур $T^* < T < T_{c2}$ наблюдаются две особенности. Положения максимумов dV/dI от V равны $(\Delta_1 + \Delta_2)/e$ и $(\Delta_1 - \Delta_2)/e$, где Δ_1 и Δ_2 - энергетические сверх-



Р и с. 2. Зависимости $-dV/dI$ от V для ТП NbN/Pb при $T = 4,2$ К (1); 5,8 К (2); 6,7 К (3); 7,3 К (4); 8,5 К (5); 11 К (6); 14,5 К (7)



Р и с. 3. Экспериментальные и теоретические зависимости $\Delta(T)/\Delta(0)$ от приведенной температуры T/T_c для пленок NbN, Pb и In: x – NbN/Pb (образец 23); ■ - NbN/Pb (образец 55); ● – NbN/Pb (образец 66); ▲ – NbN/In (образец 88); ○ – Pb; □ – In; пунктир – теория БКШ.

проводящие щели первого и второго сверхпроводника. Для $T < T^*$ наблюдается только один максимум при $V = (\Delta_1 + \Delta_2)/e$. Для ТП NbN/Pb $T^* \lesssim 4,2$ К, для ТП NbN/In $T^* \lesssim 1,8$ К.

В интервале $T_{c1} > T > T_{c2}$ мы имеем ТП типа сверхпроводник – изолятор - нормальный металл (S/N). В этом случае наблюдается только один максимум, положение которого V_m смещено от значения Δ_1/e в сторону больших энергий. Связь между V_m и Δ получена в работе /4/

$$\Delta = [(V_m - akT)^h - (bkT)^h]^{1/h},$$

где $a = 1,113$; $b = 2,107$; $h = 2,138$; k – постоянная Больцмана. С использованием положения максимумов dV/dI для ТП типов S_1/S_2 и S/N определены величины Δ_{NbN} для различных T . Полученная зависимость приведенной щели $\Delta_{NbN}(T)/\Delta_{NbN}(0)$ от T/T_c показана на рис. 3. Здесь также приведены данные для свинца и индия.

ТП NbN/Pb были также исследованы в работе /5/. Однако пленки NbN имели относительно низкие T_c , и измерения в /5/ выполнены в интервале температур 2,8 - 6,8 К. Полученная зависимость $\Delta(T)$ совпадала с теорией БКШ. С другой стороны, в работе /6/, где исследовались ТП NbN/Pb с $R_T \approx 0,8$ Ом, обнаружено отклонение зависимости $\Delta(T)$ от теории БКШ.

Результаты настоящей работы, полученные на ТП с $R_T < 1$ Ом, согласуются с выводами работы /6/. При $R_T > 1$ Ом измеренные в настоящей работе зависимости $\Delta(T)$ отвечают теории БКШ. Наблюдаемые различия в поведении $\Delta(T)$, возможно, связаны с локальным разогревом, который может иметь место в ТП с малыми R_T .

В заключение выражаю благодарность Г.П. Мотулевич за ценные советы, помощь и поддержку в работе, В.А. Сухову за предоставление установки для напыления пленок NbN и обучение методу их изготовления, С.И. Веденееву и К.В. Мицену за обсуждения работы.

Поступила в редакцию 27 мая 1983 г.

После переработки 30 ноября 1983 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Туннельные явления в твердых телах, под ред. Э. Бурштейна и С. Лундквиста, "Мир", М., 1973 г.
2. Е.А. Антонова, В. А. Сухов, ФНТ, 7, 1002 (1981).
3. Д.Р. Джураев, Препринт ФИАН, № 105, М., 1983 г.
4. G. Pike, J. Appl. Phys., 42, 883 (1971).
5. K. Komenou, T. Yamashita, Y. Onodera, Phys. Lett., 28A, 335 (1968).
6. V.M. Pan et al., Cryogenics, 23, 258 (1983).