

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ МАКСИМУМЫ ПЛОТНОСТИ СОСТОЯНИЙ ФОНОНОВ, ГАРМОНИКИ И СУБГАРМОНИКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЩЕЛИ Nb_3Sn

С. И. Веденеев, А. И. Головашкин, Г. Ц. Мотулевич

1. Подробные туннельные исследования энергетической щели пленок Nb_3Sn выполнены в работе [1], в которой получено четыре значения щели 2Δ равные 4,70; 2,24; 1,50 и 0,36 мэв. Основному максимуму туннельной плотности состояний (область второй и третьей щели) соответствует энергия $2\Delta_{эфф} = 1,9$ мэв; здесь $\Delta_{эфф}$ – эффективное значение щели в Nb_3Sn .

Ранее было показано [3, 4], что использование контактов малого сопротивления с микрозакоротками позволяет отчетливо наблюдать все особенности туннельных характеристик.

В настоящей работе проведено подробное исследование дифференциальной проводимости (dI/dV) и ее производной (d^2I/dV^2) как в области напряжений $V < 2\Delta$, так и в области $V > 2\Delta$ для туннельных контактов $Nb_3Sn - Pb$, $Nb_3Sn - Sn$ и $Nb_3Sn - Al$ с микрозакоротками. Использовались контакты с сопротивлением $10^{-2} - 1$ ом/мм².

2. В области малых напряжений наблюдались максимумы дифференциальной проводимости (субгармоники щели) при напряжениях $V_n = (\Delta_{эфф} + \Delta_M) / n$, где n – целое число, Δ_M – энергетическая щель второго металла. Как правило, амплитуда четных субгармоник была больше амплитуды нечетных. На кривых дифференциальной проводимости некоторых контактов наблюдались субгармоники, соответствующие только четным значениям n .

На рис. 1, а и б приведена зависимость дифференциальной проводимости от напряжения для двух контактов $Nb_3Sn - Pb$. В первом случае (рис. 1, а) видны как четные, так и нечетные субгармоники. Во втором случае (рис. 1, б) проявляются только четные субгармоники щели. Из рисунков отчетливо видно, что амплитуда наблюдаемых максимумов падает очень медленно. Благодаря этому мы могли наблюдать субгармоники высоких порядков. Следует отметить, что при увеличении амплитуды субгармоник основной максимум проводимости соответствующий $\Delta_{эфф} + \Delta_M$ падает.

Помимо субгармоник эффективной щели, составляющих основную структуру, наблюдаются также несколько первых субгармоник других щелей (на рисунках эти субгармоники обозначены стрелками без надписей).

Ранее в туннельных экспериментах наблюдались субгармоники щелей первых порядков для простых металлов Pb , Sn , Hg [2 – 5]. Указанные субгармоники обычно связываются с многочастичным туннелированием [2, 6]. Возможно также объяснение, связанное с джозефсоновским излучением [7]. Однако, оба механизма должны приводить к значительному уменьшению амплитуды субгармоники с ростом ее номера, что не наблюдается.

3. При напряжениях $V > 2\Delta$ исследована производная дифференциальной проводимости. На всех туннельных контактах Nb_3Sn с другими металлами наблюдался отчетливый скачок d^2I/dV^2 в области напряжения $V_{\Phi} = \Delta_{\Phi} + \Delta_{\text{эфф}} + \Delta_M$, где $\Delta_{\Phi} = 6,2 \pm 0,6$ мэв. (Величина V_{Φ} соответствует напряжению середины скачка d^2I/dV^2). В качестве второго металла использовался либо РЬ ($\Delta_M = 1,33$ мэв), либо АІ ($\Delta_M = 0$). Величина $\Delta_{\text{эфф}} = 1,9$ мэв. Мы полагаем, что наблюдаемый скачок d^2I/dV^2 связан с максимумом фононной плотности состояний Nb_3Sn . Указанный скачок приведен на рис. 2.

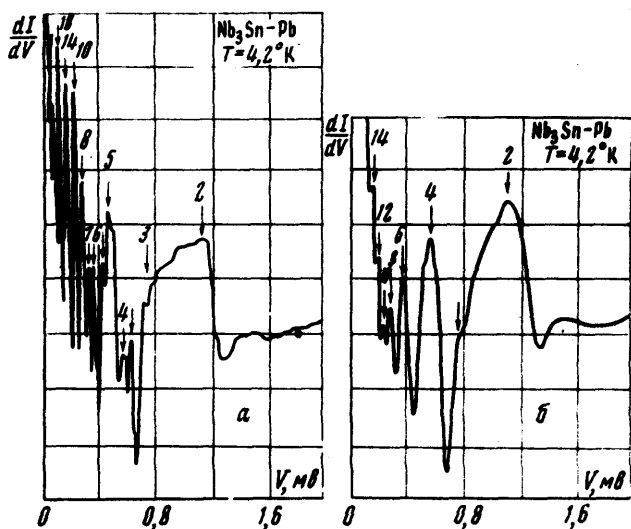


Рис. 1. Субгармоники двух туннельных контактов $Nb_3Sn - Pb$. Числами над стрелками обозначены номера субгармоник суммы ($\Delta_{\text{эфф}} + \Delta_{Pb}$). Стрелками без надписей обозначены субгармоники, связанные с другими щелями Nb_3Sn

Следует отметить, что в Nb_3Sn скачок d^2I/dV^2 значительно больше по амплитуде и резче, чем скачок соответствующий продольным фононам свинца¹⁾. При исследовании температурной зависимости статического сопротивления $R(T)$ для Nb_3Sn в $R(T)$ наблюдается член $\sim \exp(-T_0/T)$ [8, 9], который может быть связан с рассеянием электронов на "оптических" фононах с энергетической целью в спектре равной kT_0 . Для Nb_3Sn $kT_0 = 6,7$ мэв, что хорошо согласуется с величиной Δ_{Φ} , полученной в туннельных экспериментах настоящей работы.

Кроме указанного скачка d^2I/dV^2 подробные исследования, выполненные на многих контактах, заставляют предполагать наличие второго небольшого скачка d^2I/dV^2 в области $\Delta'_{\Phi} \approx 3,5$ мэв. Амплитуда его значительно меньше и он отчетливо проявляется только в тех случаях, когда амплитуда гармоник щели невелика. Мы полагаем, что этот второй скачок d^2I/dV^2 также связан с максимумом фононной плотности состояний в Nb_3Sn .

¹⁾ На рис. 2 особенности, связанные с фононным спектром свинца, практически не заметны. Для их выделения проводились специальные измерения туннельных контактов АІ - РЬ.

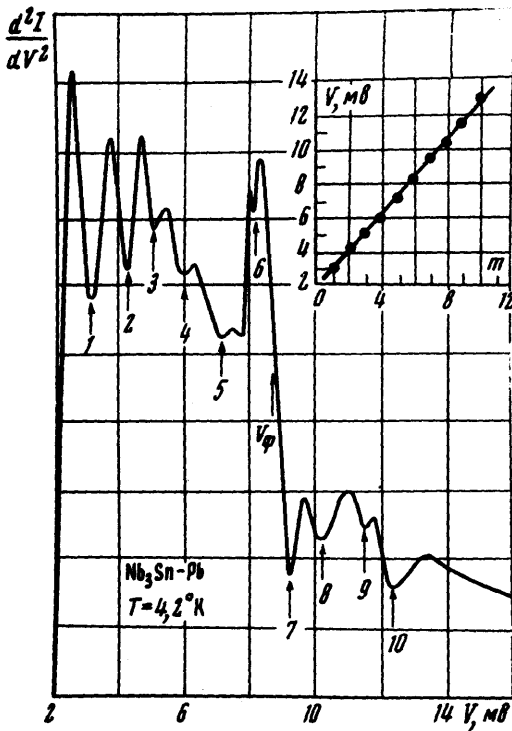


Рис. 2. Зависимость d^2I/dV^2 от V для контакта $Nb_3Sn - Pb$ при напряжении $V > (\Delta_{\text{эфф}} + \Delta_{Pb})$. Числами обозначены номера гармоник $\Delta_{\text{эфф}} V_\phi = \Delta_\phi + \Delta_{\text{эфф}} + \Delta_{Pb}$. На вставке приведена зависимость положений минимумов d^2I/dV^2 от номера гармоники

4. При напряжениях $V > 2\Delta$ в ряде случаев на контактах $Nb_3Sn - Pt$ проявлялись гармоники $V_m = m\Delta_{\text{эфф}}$. На рис. 2 эти гармоники обозначены стрелками. Мы наблюдали указанные гармоники до $m = 10$. Все минимумы на кривой d^2I/dV^2 хорошо описываются вышеуказанной линейной зависимостью. Возможно, что они связаны с неупругим взаимодействием пары туннелирующих электронов со сверхпроводящими парами.

В заключение считаем своим приятным долгом выразить благодарность В.Л.Финзбургу, И.Ф.Кулику, Е.Ф.Максимову и Д.И.Хомскому за обсуждение результатов настоящей работы и И.С.Левченко за приготовление пленок Nb_3Sn .

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
4 июля 1972 г.

Литература

- [1] С.И.Веденеев, А.И.Головашкин, М.С.Левченко, Г.П.Мотулевич. ЖЭТФ, 63, № 9, 1972.
- [2] E.Burstein, S.Lundqvist. Tunneling Phenomena in Solids, New York 1969.
- [3] G.I.Rochlin. Phys. Rev., 153, 513, 1967.
- [4] С.И.Веденеев, А.И.Головашкин, Г.П.Мотулевич. Краткие сообщения по физике (ФИАН), № 4, 15, 1972.

- [5] S. Vermon, R.M. Mesak. Sol. Stat. Comm., 9, 2143, 1971.
- [6] Дж. Шриффер. Теория сверхпроводимости, М., изд. Наука, 1970.
- [7] I. Giaever, H.R. Zeller. Physica, 55, 455, 1971.
- [8] А.И. Головашкин, С.И. Левченко, Г.П. Мотулевич. ФММ, 33, 1213, 1972.
- [9] Сб. "Сверхпроводящее соединение ниобий-олово" под ред. В.В. Шмидта, стр. 77, М., изд. "Металлургия", 1970.
-