

ОСОБЕННОСТИ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНЫХ ТУННЕЛЬНЫХ СТРУКТУР С БОЛЬШОЙ ПРОЗРАЧНОСТЬЮ ТУННЕЛЬНЫХ БАРЬЕРОВ

И.П.Невишковец

На ВАХ двойной туннельной сверхпроводниковой структуры Sn–I–Sn–I–Pb с большой прозрачностью туннельных барьеров обнаружены особенности при напряжениях $(\Delta_{Pb} - \Delta_{Sn})/e$, $2\Delta_{Sn}/e$, $(\Delta_{Sn} + \Delta_{Pb})/e$, которые свидетельствуют о неаддитивном вкладе одночастичного туннелирования через отдельные переходы в суммарную ВАХ.

Многослойные структуры и сверхрешетки вызывают возрастающий интерес исследователей в связи с многообразием новых физических свойств этих объектов ¹. В работе ² были получены многослойные сверхпроводниковые туннельные структуры на основе олова, содержащие пять туннельных барьеров, а недавно появились сообщения о создании подобных структур на основе тугоплавких материалов ^{3, 4}. Квазичастичные характеристики многослойных структур сверхпроводник–изолятор в настоящее время практически не изучены.

В данной работе при исследовании структур Pb–I–Pb–I–Sn–I–Sn–I–Pb, с большой прозрачностью туннельных барьеров было обнаружено, что цепочка последовательно расположенных один над другим тонкопленочных SIS-переходов может проявлять свойства, которые не описываются простым сложением характеристик одиночных туннельных переходов.

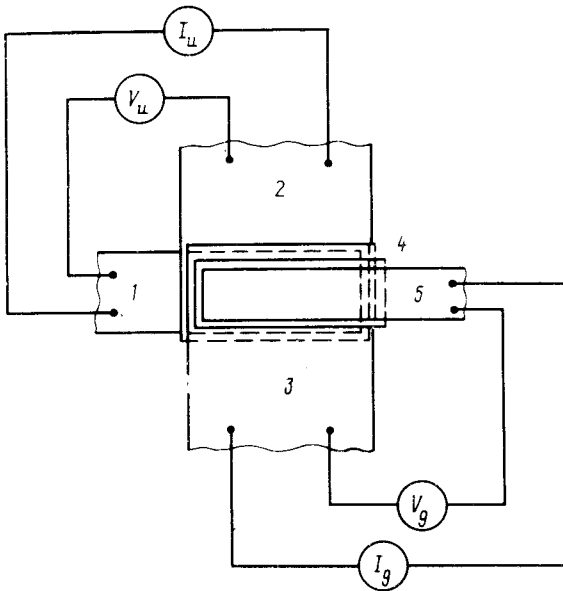


Рис. 1. Схематическое изображение туннельной структуры Pb–I–Pb–I–Sn–I–Sn–I–Pb в плане и схема ее подключения. Пленки 1, 2, 5 – свинец, 3, 4 – олово; пленки 1, 2 составляют инжектор, 3 – 5 – детектор

Туннельные переходы создавались по обычной технологии термического распыления в вакууме и окисления пленок соответствующих материалов, нанесенных на подложку из сапфира. Конфигурация туннельной структуры и схема измерения показаны на рис. 1. Пленки 1, 2 образуют туннельный переход Pb–I–Pb, который играл роль источника внешнего возмущения, или "инжектора" фононов для создания в пленках олова повышенной концентрации квазичастиц, а пленки 3 – 5 – соответственно двойной туннельный переход Sn–I–Sn–I–Pb (детектор). Толщина пленок олова 3, 4 составляла 30 – 50 нм, толщина пленок свинца 1, 2, 5 – 100 – 150 нм. Пленки 1 – 4 имели ширину соответственно 0, 2, 0,3, 0,3, 0,2 мм. Для предотвращения параллельного соединения переходов по постоянному току соответствующим

щие края пленок смешались относительно друг друга на величину около 10 мкм. Переходы Sn-I-Sn и Sn-I-Pb, составляющие детектор, имели близкие удельные туннельные сопротивления порядка 10^{-5} Ом·см². Удельные туннельные сопротивления перехода Pb-I-Pb и перехода инжектор-детектор имели тот же порядок величины.

Исследовались вольт-амперные характеристики (ВАХ) двойного туннельного перехода Sn-I-Sn-I-Pb. При записи ВАХ прикладывалось внешнее параллельное магнитное поле величиной $60 \div 80$ Э для подавления стационарного и постоянной составляющей переменного тока Джозефсона. Измерения проводились при температуре $T = 1,8$ К в режиме источника тока. Как видно из рис. 1, переходы, составляющие детектор, включены электрически последовательно, так что результирующая ВАХ должна была бы быть равна просто сумме отдельных ВАХ каждого из переходов. Это оказалось справедливым только для переходов с более высокими, чем у исследуемых образцов, удельными туннельными сопротивлениями. В рассматриваемом случае ситуация оказалась более сложной.

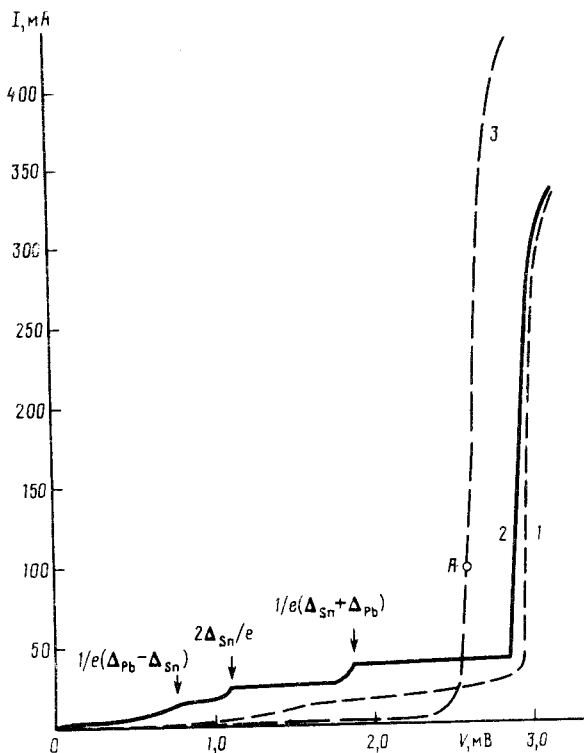


Рис. 2. ВАХ туннельной структуры Sn-I-Sn-I-Pb, равная сумме ВАХ отдельных переходов в отсутствие внешнего облучения (1), и ее модификация (2) при облучении фононами, соответствующем точке А на ВАХ инжектора (3)

Можно было различить два четко выраженных типа ВАХ двойной туннельной структуры, представленных на рис. 2, 3. Первый тип в отсутствие тока смещения на инжекторе и генерации фононов соответствует последовательному включению обоих переходов (кривая 1 на рис. 2). Введение тока через инжекторный переход Pb-I-Pb (точка А на ВАХ, кривая 3, рис. 2), имеющее результатом облучение фононами с энергией больше $2\Delta_{Sn}$ детекторного перехода и увеличение концентрации квазичастиц в пленках олова при уменьшении величины энергетической щели, приводило к появлению на ВАХ (рис. 2, кривая 2) особенностей при напряжениях $V = 2\Delta_{Sn}/e$, $(\Delta_{Sn} + \Delta_{Pb})/e$, а также слабо выраженной особенности при $V = (\Delta_{Pb} - \Delta_{Sn})/e$ (Δ_{Sn} и Δ_{Pb} — величины энергетических щелей соответственно Sn и Pb).

Другой тип ВАХ характеризуется наличием ярко выраженных особенностей при напряжениях $2\Delta_{Sn}/e$ и $(\Delta_{Sn} + \Delta_{Pb})/e$ в отсутствие внешнего возмущения (рис. 3, кривая 1). Воздействие фононного облучения приводит к появлению на ВАХ также особенности при на-

пряжениях $(\Delta_{Pb} - \Delta_{Sn})/e$ (кривая 2), очень чувствительной к концентрации квазичастиц. Обращает на себя внимание также возрастание начального почти линейного участка, проявляющегося для данного типа ВАХ.

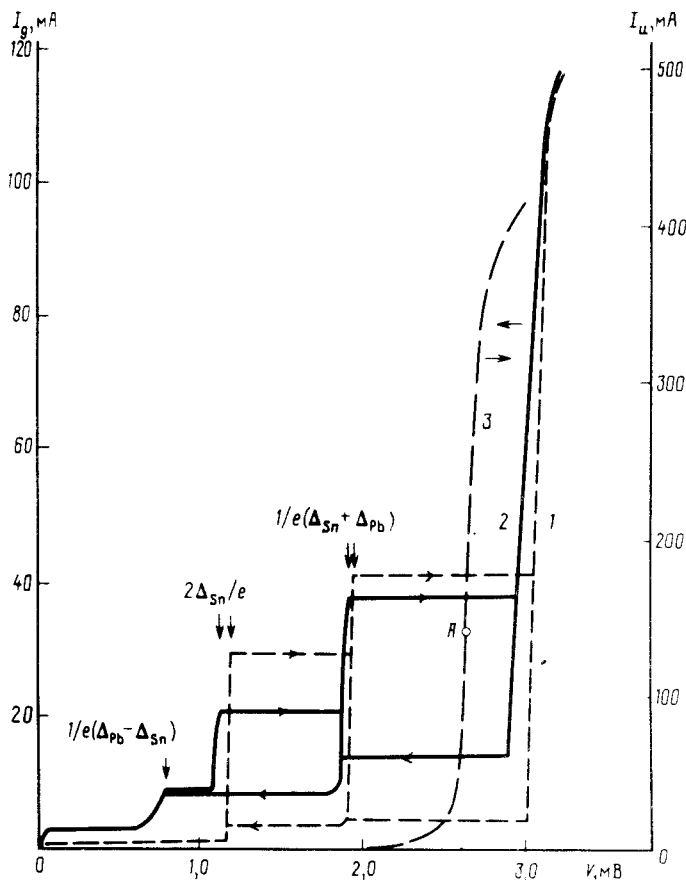


Рис. 3. ВАХ туннельной структуры $SN-I-Sn-I-Pb$ с особенностями при $V = 2\Delta_{Sn}/e$, $(\Delta_{Sn} + \Delta_{Pb})/e$ в отсутствие облучения (1); 2 – ВАХ той же структуры при облучении фонами, демонстрирующая появление особенности при $V = (\Delta_{Pb} - \Delta_{Sn})/e$. Смещение инжектора при этом соответствует точке А на его ВАХ (кривая 3)

Появление на ВАХ двойного туннельного перехода $Sn-I-S-I-Pb$ особенностей при напряжениях $(\Delta_{Pb} - \Delta_{Sn})/e$, $2\Delta_{Sn}/e$ и $(\Delta_{Sn} + \Delta_{Pb})/e$ свидетельствует о качественно новом поведении многослойной туннельной структуры с большой прозрачностью туннельных барьеров по сравнению со свойствами обычной системы последовательно соединенных переходов. Для последней указанные особенности не должны проявляться при данных напряжениях в тех условиях, в которых проводился эксперимент (приблизительное равенство удельных туннельных сопротивлений отдельных переходов; малость токов нетуннельной природы, что видно из представленных ВАХ; подавление токов Джозефсона наложением магнитного поля).

Поскольку длина свободного пробега квазичастиц для наших пленок олова ($l \sim 50$ нм) порядка их толщины, можно предполагать, что исследуемая многослойная структура ведет себя как единая квантовомеханическая система, в которой процессы одночастичного туннелирования через отдельные переходы могут происходить когерентно. Для более детального выяснения природы указанных особенностей необходимо проведение дополнительных исследований.

Автор выражает благодарность Э.М.Руденко за постоянный интерес и внимание к работе и А.Л.Касаткину за обсуждение результатов и ценные замечания.

Литература

1. *Schuller I.K.* Phys. fabrication and applicat. of Multilayered struct., Plenum Publishing Corporation, 1988, 139.
2. *Невирковец И.П.* Диссертация канд. физ. мат. наук. Киев, 1984.
3. *Blamire M.G. et al.* IEEE Trans., 1989, MAG-25, 1135.
4. *Hedbabny H.-J., Rogalla H.* Ibid., 1231.

Институт металлофизики
Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
30 октября 1989 г.
После переработки
24 ноября 1989 г.