

ОСОБЕННОСТИ ОДНОЧАСТИЧНОГО ТУННЕЛИРОВАНИЯ СКВОЗЬ EuS -БАРЬЕР

А.С.Борухович, В.А.Сухов

*Институт химии УрО АН СССР
620219, Свердловск*

Поступила в редакцию 20 марта 1991 г.

На дифференциальной ВАХ туннельной структуры $\text{NbN} - \text{EuS} - \text{Pb}$ обнаружены особенности, связанные с наличием неаддитивных вкладов одночастичного туннелирования сквозь ферромагнитный полупроводниковый (ФП) барьер. Их происхождение может быть связано с механизмом фононной генерации на границе $S - \text{ФП}$.

Возможность наблюдения неаддитивных вкладов процессов одночастичного туннелирования в ВАХ многослойной структуры с большой прозрачностью туннельных барьеров продемонстрирована в работе ¹: наряду с обычно ожидаемыми щелевыми особенностями берегов и их суммарных вкладов ВАХ структуры $\text{Sn} - \text{I} - \text{Sn} - \text{I} - \text{Pb}$ обладала особенностью типа разности ($\Delta_{\text{Pb}} - \Delta_{\text{Sn}}$). Такая особенность появлялась, правда, только в случае инъекции фононов от базового перехода $\text{Pb} - \text{I} - \text{Pb}$, на котором были сформированы все последующие перечисленные слои. Указанный результат интересен не столько фактом установления неаддитивного вклада в ВАХ многослойной структуры, сколько выявлением его механизма, связанного, по-видимому, с просветлением туннельного барьера. До него о возможности просветления барьера свидетельствовали лишь данные туннельных исследований сверхрешеточных структур ², а также созданное трехуровневое туннельное устройство - квинтерон ³, обладающее свойством усиления.

О наблюдении неаддитивного вклада в ВАХ туннельной структуры, содержащей барьерную прослойку, выполненную из ферромагнитного

полупроводника (ФП) $\text{EuO: NbN} - \text{EuO} - \text{Pb}$, - видимо, впервые сообщалось в публикации ⁴, однако механизм его появления не конкретизировался. Тем не менее еще в работе ⁵ показано, что ожидаемое на границе S - ФП такой структуры явление спинового распаривания квазичастиц будет сопровождаться возрастающей прозрачностью ФП-барьера для той части туннелирующих электронов, спиновая ориентация которых соответствует намагниченности барьера. Поскольку указанное явление также должно сопровождаться фоновой генерацией, то, очевидно, что в конечном итоге происхождение разностных щелевых особенностей ВАХ ($\Delta_1 - \Delta_2$) в работах ¹ и ⁴ обусловлено одним и тем же механизмом.

Настоящим сообщением данное положение подтверждается результатами исследования дифференциальной ВАХ ($R_D \equiv \partial V / \partial J(V)$) туннельной структуры $\text{NbN} - \text{EuS} - \text{Pb}$, которые ранее не находили приемлемого объяснения и не публиковались.

Туннельная структура формировалась на монокристаллической кремниевой подложке послойным напылением соответствующих сверхпроводящих слоев толщиной до 0,5 мкм и EuS -барьера между ними. Толщина последнего была меньше, более, чем на порядок. Структура содержала несколько туннельных переходов, площадь каждого составляла $< 1 \text{ мм}^2$. Нормальное сопротивление переходов варьировалось в пределах нескольких десятков Ом. Измерения ВАХ выполнялись по четырехзондовой схеме методом детектирования гармоник при температуре 4,2 К. В данных условиях барьерная прослойка обладала спонтанной намагниченностью, ее температура Кюри составляла $T_K \cong 16 \text{ К}$ ⁶.

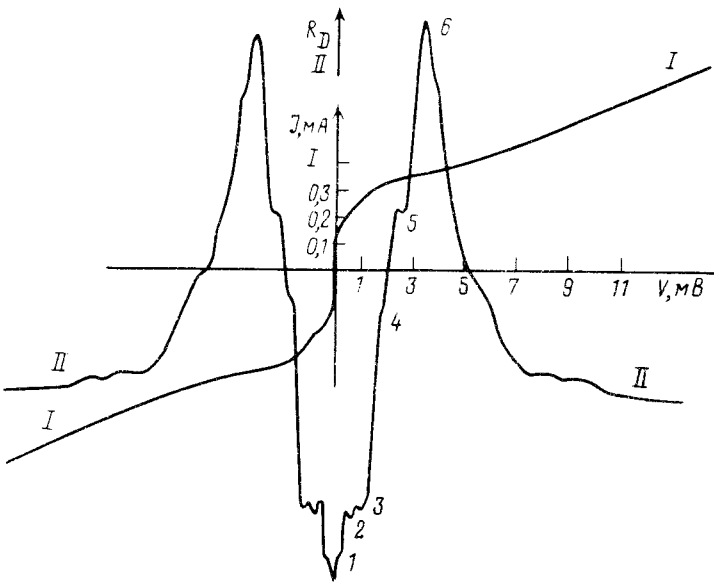


Рис. 1. Вид ВАХ туннельного перехода $\text{NbN} - \text{EuS} - \text{Pb}$ (I) и ее производной $\partial V / \partial J$ (II) при $T = 4,2 \text{ К}$ (начало координат зависимости $R_D(V)$ смещено по ординате)

Представленные на рис.1 экспериментальные результаты свидетельствуют о существовании на зависимости $R_D(V)$ созданного перехода ряда особенностей, отмеченных цифрами 1÷ 6. Численное сопоставление соответствующих им величин смещений с известными щелевыми параметрами базовых сверхпроводящих берегов (см. таблицу) указывает на то, что наряду с традиционно наблюдаемыми особенностями ВАХ переходов типа $S_1 - I - S_2$, в данном случае

Численные значения величин смещений аномальных точек ВАХ туннельного перехода NbN - EuS - Pb и их соответствие щелевым особенностям (по данным рис.1)

точки на ВАХ величина смещения и соответствие щелевым особен- ностям	1	2	3	4	5	6
МВ	0,35	0,75	1,25	1,80	2,10	3, 3 ÷ 3,4
МВ	$\frac{\Delta_{NbN} - \Delta_{Pb}}{2}$	$\Delta_{NbN} - \Delta_{Pb}$	Δ_{Pb}	$\frac{\Delta_{NbN} + \Delta_{Pb}}{2}$	Δ_{NbN}	$\Delta_{NbN} + \Delta_{Pb}$

относящимся к $e^{-1}\Delta_{Pb}$ (точка 3), $e^{-1}\Delta_{NьN}$ (т.5) и $e^{-1}(\Delta_{Pb} + \Delta_{NьN})$ (т.6), на ней присутствуют особенности, равная полусумме щелей (т.4), а также соответствующие неаддитивным вкладам $e^{-1}(\Delta_{NьN} - \Delta_{Pb})$ (т.2) и их полуразности (т.1). Наложение внешнего продольного магнитного поля к переходу (рис.2) изменяет вид его ВАХ, приводя к сглаживанию особенностей, связанных с $e^{-1}\Delta_{Pb}$ (в области полей до 1 кЭ) и к изменению знака крутизны ВАХ при нулевом смещении на переходе (в полях > 1 кЭ).

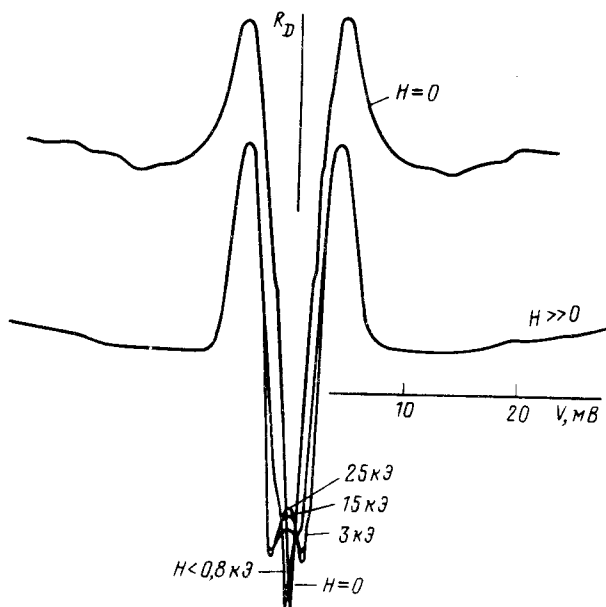


Рис. 2. Вариации ВАХ перехода во внешнем магнитном поле, $T = 4,2$ К

Наконец, еще одной характерной особенностью приводимой ВАХ, замеченой и в работе ⁴, является отсутствие на ней гистерезисных явлений при инверсии знака смещения на структуре, в том числе и в магнитном поле.

Таким образом, представленные здесь и в работе ⁴ результаты свидетельствуют о том, что, действительно, наличие барьерной прослойки, выполненной из ферромагнитного полупроводника, в сверхпроводящем туннельном переходе сопровождается появлением на его ВАХ особенностей, соответствующих неаддитивным вкладам процессов одночастичного туннелирования сквозь такой барьер. Механизм появления подобных вкладов в согласии с данными ¹ может быть связан с фоновой инжекцией (генерацией), происхождение которой, в данном случае, должно отражать наличие в самом переходе S - ФП-границы и связанных с ней явлений спиновой ориентации квазичастиц. Отметим, что существование указанных явлений на границе ФП - П и их вкладов, в частности, в процесс магнитоплазменного поглощения продемонстрировано недавно в работе ⁷. Поскольку степень такой спиновой ориентации определяется величиной магнитной энергии барьера, равной $AS/2$, где A - обменный параметр, S - спин магнитного иона, то расчетная частота предполагаемой фоновой генерации от названной границы должна составлять $\omega_0 \cong 10^{14} \div 10^{15} \text{ с}^{-1}$. Эта область частот охватывает ближний ИК диапазон и представляет практический интерес на стыке диапазонов СВЧ и оптики,

что составляет одно из возможных направлений дальнейших исследований подобных туннельных структур, в том числе с берегами, выполненными из ВТСП.

Литература

1. Невирковец И.П. Письма в ЖЭТФ, 1990, 51, 50.
 2. Yang Q.S., Falco C.M., Schuller J.K. Phys. Rev. B, 27, 3867.
 3. Фарис С.М. Зарубежная радиоэлектроника, 1984, N2, 95.
 4. Борухович А.С., Бамбуров В.Г., Дякина В.П., Ефимова Л.В., Сухов В.А. ДАН СССР, 1987, 296, 332.
 5. Ефимова Л.В., Борухович А.С. Магнитные примеси в сверхпроводящем туннельном переходе. Деп. ВИНТИ, N7968-В, 32 с.
 6. Борухович А.С., Бамбуров В.Г., Антонова Е.А., Сухов В.А., Хрусталеv Б.П. Письма в ЖЭТФ, 1987, 46, 447.
 7. Осипов В.В., Виглин Н.А., Кочев И.В., Самохвалов А.А. Письма в ЖЭТФ, 1990, 52, 996.
-