

Влияние продольного магнитного поля на андреевскую проводимость структуры сверхпроводник–изолятор–нормальный металл

А. В. Селиверстов^{+,*}, М. А. Тарасов[×], В. С. Эдельман⁺¹⁾

⁺Институт физических проблем им. Капицы РАН, 119334 Москва, Россия

^{*}Московский физико-технический институт, 141700 Долгопрудный, Россия

[×]Институт радиотехники и электроники им. Котельникова РАН, 125009 Москва, Россия

Поступила в редакцию 12 января 2016 г.

После переработки 26 февраля 2016 г.

В туннельных структурах сверхпроводник (алюминий) – изолятор (окись алюминия) – нормальный металл (медь) при малых напряжениях наряду с одночастичным туннелированием наблюдалась ярко выраженная проводимость за счет электронов, испытывающих андреевское отражение от сверхпроводящего конденсата. Экспериментально обнаружено, что в магнитном поле, параллельном плоскости туннельного перехода, коллективный ток подавляется и андреевская проводимость уменьшается примерно вдвое в поле ~ 20 – 30 мТ.

DOI: 10.7868/S0370274X16070110

1. Введение. Изучению проводимости туннельных структур сверхпроводник–изолятор–нормальный металл (SIN) посвящено громадное количество работ. Вызвано это перспективами их использования в качестве чувствительных приемников излучения, приборов электронного охлаждения, низкотемпературных термометров. В качестве основного механизма переноса туннельного тока в них и сопровождающих тепловых процессов (нагрева и электронного охлаждения) рассматривается одночастичное туннелирование электронов (дырок) из нормального металла в сверхпроводник на свободные состояния в сверхпроводнике выше (ниже) энергетической щели Δ_c .

Андреевское отражение, определяющее проводимость S–N-контакта, в туннельных структурах обычно не наблюдается на фоне одночастичного туннелирования. Для случая большой длины свободного пробега электронов вероятность подщелевого туннелирования мала [1]. Однако при температурах $T \ll \ll T_c = \Delta_c/1.76$ К (где T_c – температура сверхпроводящего перехода) при малых напряжениях на туннельном переходе, $U \ll \Delta_c/e$, ток нормальных электронов экспоненциально падает и подщелевой ток может стать доминирующим. Последнее экспериментально наблюдалось в ряде работ (см., например, [2–5]). При этом в [5] подщелевой ток намного превышал

одночастичный ток. Его относительному усилению способствует то, что в реальных плоскостных SIN-структурах с малой толщиной нормального электрода и малыми длинами свободного пробега при упругих столкновениях τ_{el} электронно-дырочная андреевская пара многократно падает на границу раздела за время сбоя фазы из-за неупругих столкновений с $\tau_\varphi \gg \tau_{el}$, пропорционально увеличивая вероятность туннелирования (см., например, [6]). Андреевский ток, рассчитанный в [2–5] на основе теории, учитывающей мезоскопические свойства нормального металла [6], вполне удовлетворительно согласуется с экспериментом для образцов SIN, сильно различающихся как площадью S туннельных электродов (от 0.023 [2] до 16 мкм² [5]), так и прозрачностью туннельного барьера, характеризуемого параметром $R_n \cdot S$, где R_n – сопротивление перехода в нормальном состоянии (от 30 [2, 5] до 390 [3, 4] и 560 Ом в этой работе).

Из общих соображений можно ожидать, что андреевский ток должен зависеть от магнитного поля. Так, в работе [2], в которой исследовался интерферометр из сверхпроводящего контура, замкнутого короткой полоской нормального металла, образующей SINIS-переход, наблюдались, как и в SQUID, вариации тока при изменении магнитного поля, перпендикулярного плоскости структуры. Эти вариации связаны с изменением фазы волновой функции в сверхпроводнике, но не зависят от расфазирова-

¹⁾e-mail: vsedelman@yandex.ru