

**ДЖОЗЕФСОНОВСКОЕ И ОДНОЧАСТИЧНОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ  
В СВЕРХПРОВОДЯЩИХ БИКРИСТАЛЛАХ  $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$**

*В.Н.Степанкин, Е.А.Протасов, А.В.Кузнецов, С.В.Зайцев-Зотов*

В работе наблюдались туннельные эффекты на барьере, образованном поверхностью сращения сверхпроводящих бикристаллов  $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ . Определено отношение  $2\Delta(0)/kT_c = 3,6 \pm 0,1$  для этого соединения. Обнаружена дублетная структура пика дифференциальной проводимости.

Проведено исследование проводимости бикристаллов  $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$  при протекании тока между монокристаллическими блоками (МБ) в направлении, перпендикулярном слоям краевых атомов, образованным при сечении атомных плоскостей поверхностью срастания (ПС). Были исследованы бикристаллы, вновь полученные спонтанной кристаллизацией в расплаве  $\text{PbO} - \text{Bi}_2\text{O}_3 - \text{BaCO}_3$ , ПС которых определялась по входящим углам и представляла собой плоскость. Размеры МБ составляли  $0,7 \times 1 \times 1 \text{ мм}^3$ , химический состав соответствовал формуле  $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$ ,  $x = 0,27 \pm 0,03$ . Точечные контакты для 4-х точечных измерений изготавливались на каждом из двух МБ впавлением золотых проволок.

Были изучены зависимости проводимости приготовленных образцов от температуры  $T$  и магнитного поля напряженностью  $H$ . Наблюдался резистивный сверхпроводящий переход с началом  $T_{c1} = 11 \text{ К}$  и концом  $T_{c2} = 9,6 \text{ К}$ , подавлявшийся увеличением плотности транспортного тока до  $j \sim 0,1 \text{ А/см}^2$  или приложением магнитного поля  $H \sim 60 \text{ Э}$ . В этих случаях сопротивление образцов, составляющее в нормальном состоянии  $0,1 - 0,2 \text{ Ом}$ , росло с понижением температуры при  $T < T_{c2}$ , увеличиваясь на порядок при  $T = 4,2 \text{ К}$ . Описанное поведение бикристаллов отличалось от поведения монокристаллов  $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$  того же состава, в которых сверхпроводящие переходы наблюдались в полях до  $40 \text{ кЭ}$  при плотности тока  $j = 0,5 \text{ А/см}^2$ .

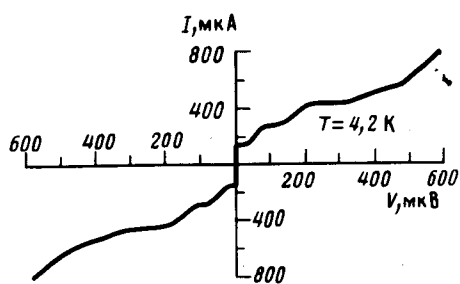


Рис. 1

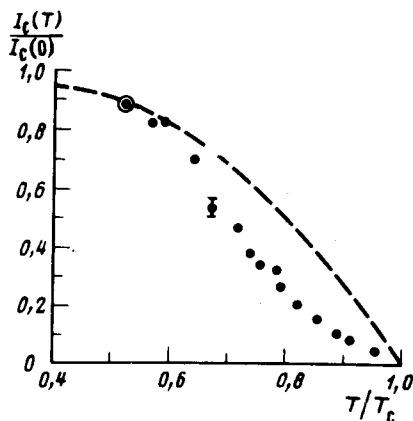


Рис. 2

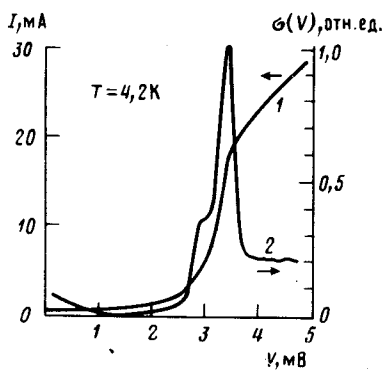


Рис. 3

Рис. 1. Начальный участок ВАХ бикристалла

Рис. 2. Температурная зависимость критического джозефсоновского тока образцов  $I_c(T)$ . Пунктирная кривая – теоретическая зависимость Амбегаокара – Баратова

Рис. 3. ВАХ (1) и зависимость дифференциальной проводимости от напряжения  $G(V)$  (2) туннельного перехода в бикристалле  $\text{BaPb}_{1-x}\text{Bi}_x\text{O}_3$

Установлено, что вольт-амперная характеристика (ВАХ) образцов имеет вид, характерный для туннельного перехода между сверхпроводниками. На начальном участке ВАХ, представленном на рис. 1, кроме сверхпроводящего туннельного тока отчетливо видны токовые резонансы, возникающие в магнитном поле Земли. При компенсации этого поля были проведены измерения критического джозефсоновского тока образцов  $I_c$ . На зависимости  $I_c(H)$ , где поле  $H$  прикладывалось параллельно ПС, наблюдались осцилляции  $I_c$  с периодом  $\Delta H = 60 \pm 2 \text{ мЭ}$  при  $T = 4,2 \text{ К}$ , причем амплитуда сверхпроводящего туннельного тока уменьшалась с ростом  $H$  и обращалась в ноль в полях около  $60 \text{ Э}$ . Приведенные экспериментальные

данные, на наш взгляд, свидетельствуют о том, что ПС в бикристаллах  $\text{VaNb}_{1-x}\text{V}_x\text{O}_3$  является барьером, на котором возникают туннельные эффекты, при протекании тока между МБ.

Одним из возможных объяснений возникновения туннельного барьера в бикристаллах  $\text{VaNb}_{1-x}\text{V}_x\text{O}_3$  может быть гипотеза о локальном изменении химического состава растущего кристалла вблизи ПС. Известно, что  $\text{VaNb}_{1-x}\text{V}_x\text{O}_3$  является сверхпроводником при  $x < 0,35$  и полупроводником при больших  $x$ . Если допустить, что вблизи ПС, где скапливаются дефекты кристаллической решетки при росте, происходит увеличение концентрации атомов висмута, замещающих атомы свинца в этом твердом растворе, можно ожидать возникновения тонкого слоя полупроводника, разделяющего два сверхпроводящих МБ и служащего туннельным барьером. Предположение о возникновении полупроводникового барьера качественно подтверждается отклонением полученной температурной зависимости критического тока  $I_c(T)$  от поведения, рассчитанного Амбегаокаром и Баратовым для случая диэлектрического барьера, рис. 2.

Наличие ПС в исследованных образцах позволило наблюдать ВАХ одночастичного туннелирования, представленную на рис. 3. Численной обработкой ВАХ получена зависимость дифференциальной проводимости от напряжения  $\sigma(V)$ , также изображенная на рис. 3, и имеющая характерный пик.

Как видно из этого рисунка пик  $\sigma(V)$  имеет дублетную структуру, обнаруженную при измерениях во всех  $T < T_c$  и пока не нашедшую своего объяснения. По положению вершины пика  $\sigma(V)$  была определена зависимость параметра энергетической щели  $\Delta$  от температуры в диапазоне  $2,1 \leq T \leq 4,2$  К. Это позволило определить экстраполированное значение  $2\Delta(0) = 3,42 \pm 0,05$  мэВ и вычислить  $2\Delta(0)/kT_c = 3,6 \pm 0,1$  для  $\text{VaNb}_{1-x}\text{V}_x\text{O}_3$  (здесь  $T_c = 10,9 \pm 0,3$  К определялась индуктивным методом по началу перехода).

В заключение необходимо отметить, что измерения величины энергетической щели для  $\text{VaNb}_{1-x}\text{V}_x\text{O}_3$ , проведение которых стало возможным благодаря существованию туннельного барьера в бикристаллах этого соединения, также как и наблюдение особенностей дифференциальной проводимости представляют значительный интерес, поскольку имеются предположения об альтернативном теории БКШ механизме сверхпроводимости в этом веществе<sup>3</sup>.

#### Литература

1. Зайцев-Зотов С.В., Кузнецов А.В., Протасов Е.А., Степанкин В.Н. Физика твердого тела, 1984, 26, № 10.
2. Khan Y., Nahm K., Rosenberg M., Willner H. Phys. Stat. Sol. (a), 1977, 39, 79.
3. Rice T.M., Sneddon L. Phys. Rev. Lett., 1981, 47, 689.