

## ЭФФЕКТ ДЖОЗЕФСОНА МЕЖДУ МОНОКРИСТАЛЛОМ $\text{Eu}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ И $\text{Nb}$ .

С.И.Веденеев, И.П.Казаков, А.П.Кирьянов,

С.Н.Максимовский

Исследованы джозефсоновские свойства сверхпроводящих контактов между ниобиевой иглой и монокристаллом  $\text{Eu}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ . Вольт-амперные характеристики и зависимости индуцированных СВЧ излучением ступенек тока на них от мощности излучения по-видимому могут служить указанием на обычный механизм спаривания сверхпроводящих электронов в новых сверхпроводниках.

Надавно в ряде работ (см., например, <sup>1 – 3</sup>) сообщалось о наблюдении эффектов Джозефсона в новых высокотемпературных сверхпроводниках – металлооксидных керамиках (МОК). Результаты однозначно показали, что сверхпроводящий ток в них связан с электронными парами. В <sup>1 – 3</sup> исследовались поликристаллические образцы La- и Y-керамик с мелкозернистой структурой и джозефсоновское туннелирование происходило между отдельными внутренними гранулами керамики. Даже в тех случаях, когда вторым электродом в контактах служил ниобий <sup>1</sup> или свинец <sup>3</sup>, по всей вероятности, имело место туннелирование также между отдельными зернами МОК, разделенными слоем полупроводника или нормального металла. (На это указывает характер температурной зависимости критического тока  $I_c$ ). Представляло интерес изучить джозефсоновские эффекты на МОК иного состава чем в <sup>1 – 3</sup> и наблюдать туннелирование сверхпроводящих пар из обычного сверхпроводника с фононным механизмом спаривания электронов в МОК, где механизм сверхпроводимости может быть другим.

В данной работе исследовались точечные контакты между заостренной ниобиевой иглой и монокристаллом  $\text{Eu}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ . Использование монокристалла давало возможность получить однозначные результаты и практически исключало влияние внутренних областей образ-

ца МОК. Монокристаллы имели размеры в несколько десятых мм. Их внешний вид был различен, но преобладали формы с ярко выраженным габитусом в виде прямоугольных призм и пластинок. Монокристаллическая структура образцов определялась по данным рентгеновских и электронно-микроскопических исследований. Температура сверхпроводящего перехода образцов составляла 83 – 90 К. Приведенные ниже результаты были получены на образце размером  $0,6 \times 0,6$  мм<sup>2</sup> и толщиной 0,1 мм. Ось С была ориентирована перпендикулярно плоскости образца. На рис. 1 приведена электронно-микроскопическая фотография поверхности

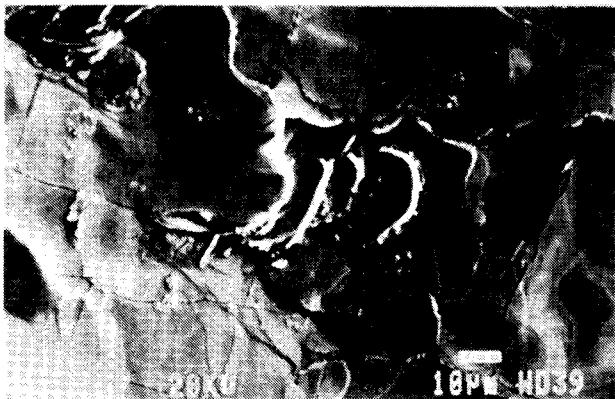


Рис. 1. Электронно-микроскопическая фотография поверхности исследованного монокристалла

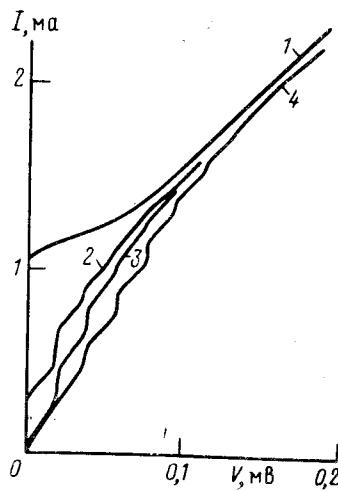
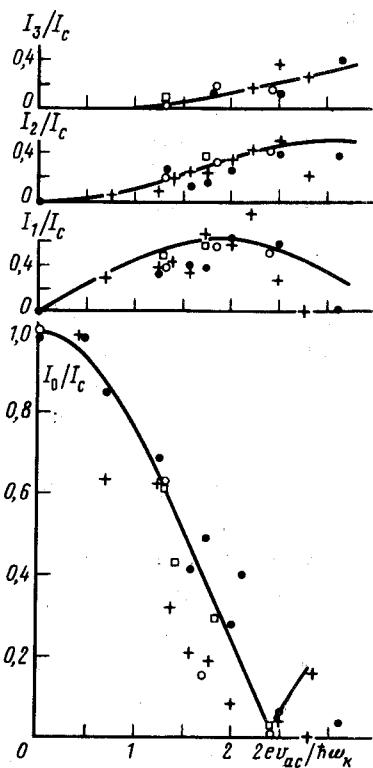


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики сверхпроводящего точечного контакта  $\text{Eu}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y - \text{Nb}$  при нулевой (1) и возрастающей (2 – 4) СВЧ мощности

Рис. 3. Зависимость высоты индуцированных ступенек тока от нормированного переменного напряжения на контакте

исследованного образца. Наряду с фигурами роста видна сетка микротреций с преимущественной ориентацией по кристаллографическим направлениям *A* и *B*. Образование микротреций может быть обусловлено как размерным эффектом при полиморфном превращении, так и высокими термическими напряжениями в процессе роста и охлаждения монокристалла.

Электроды регулируемого точечного контакта крепились в волноводе. Контакт настраивался и исследовался в жидком гелии ( $T = 4,2 \text{ K}$ ). При изучении нестационарного эффекта он облучался излучением с частотой  $\nu_k = 9,1 \text{ ГГц}$ . Как известно, с увеличением давления между электродами контакта его сопротивления уменьшается и вольт-амперные характеристики (ВАХ) изменяются от типичной для одночастичного туннелирования до джозефсоновской. В данных экспериментах, когда сопротивление контактов достигало величины  $\sim 1 \text{ Ом}$ , ВАХ в области напряжений  $0 - 10 \text{ мВ}$  имели обычный вид для туннельных переходов типа  $N-I-S$  с ярко выраженной щелевой особенностью в области  $1 - 2 \text{ мВ}$ . Эта особенность давала значение энергетической щели ниобия  $1,4 - 1,5 \text{ мэВ}$ . При напряжениях  $V > 10 \text{ мВ}$  с ростом тока проводимость контактов уменьшалась, что указывало на плохое качество туннельного барьера. Это не позволяло однозначно интерпретировать имеющиеся особенности на ВАХ при  $V > 10 \text{ мВ}$ .

Характеристики одного из сверхпроводящих джозефсоновских контактов при разных мощностях СВЧ излучения приведены на рис. 2 (кривая 1 записана при нулевой СВЧ мощности). На рис. 3 показаны зависимости критического тока  $I_c (n=0)$  и высоты индуцированных ступенек тока с  $n = 1, 2, 3$  от переменного напряжения на контакте  $v_{ac}$ . Разные символы относятся к различным kontaktам Nb—МОК. Сплошными линиями приведены функции Бесселя 0, 1, 2 и 3-го порядков, которым должны соответствовать зависимости  $I_n(v_{ac})$  для сверхпроводящих контактов Джозефсона<sup>4</sup>.

Из рис. 2, 3 следует, что характеристики и свойства исследованных контактов не отличаются от свойств обычных контактов Джозефсона Nb—Nb, электроды которых изготовлены из материала с очень малой длиной свободного пробега электронов. Вместе с тем, хорошо известно, что в джозефсоновской структуре, состоящей из двух сверхпроводников, происходит обмен электронными парами ( дальний порядок "передается" через туннельный барьер и слабую связь) и вся система ведет себя до некоторой степени как единый сверхпроводник. Взаимодействие между двумя сверхпроводниками в теории описывается туннельным гамильтонианом, в который входят произведения операторов рождения и уничтожения электронов с одинаковыми спинами, находящимися по обе стороны барьера<sup>4</sup>. Можно говорить, что внутри джозефсоновского контакта происходит интерференция двух волновых функций сверхпроводников, образующих контакт. Трудно ожидать, чтобы контакты с электродами, в которых механизмы спаривания существенно различаются, имели типичные джозефсоновские характеристики. По всей вероятности, механизм спаривания сверхпроводящих электронов в исследованном монокристалле  $\text{Eu}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  близок к обычному.

#### Литература

1. Tsai J.S., Kubo Y., Tabuchi J. Phys. Rev. Lett., 1987, **58**, 1979.
2. Mozeland J., Goodrich L.F., Ekin J.W. at al. J. J. of Appl. Phys., 1987, **26**, 999.
3. Yamashita T., Kawakami A., Nishihara T., Takata M. J. J. of Appl. Phys., 1987, **26**, 1149.
- 4 Бароне А., Патерно Дж. Эффект Джозефсона, физика и применение. М.: Мир, 1984.