

## АНОМАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ КРИТИЧЕСКОГО ТОКА ДЖОЗЕФСОНОВСКОГО ПЕРЕХОДА НА МЕЖЗЕРЕННОЙ ГРАНИЦЕ В ОБЪЕМНЫХ БИКРИСТАЛЛАХ (Ba, K)BiO<sub>3</sub>

*И.В.Рощин, В.Н.Степанкин, Ю.П.Яковец, М.А.Баранов, А.В.Кузнецов\*,  
Д.И.Жигунов<sup>1</sup>, С.В.Ширяев<sup>1</sup>*

*Институт общей физики РАН  
117942 Москва, Россия*

*\*Московский инженерно-физический институт  
115409 Москва, Россия*

*<sup>1</sup>Институт физики твердого тела и полупроводников АН Беларуси  
Минск, Беларусь*

Поступила в редакцию 12 ноября 1993 г.

Исследованы электрические транспортные свойства межзеренной границы в объемных бикристаллах оксидного сверхпроводника  $Ba_{0,55}K_{0,45}BiO_3$ . Показано, что межзеренная граница в этих бикристаллах представляет собой джозефсоновский барьер, характеризующийся вблизи критической температуры степенной температурной зависимостью критического тока с критическим показателем  $3/2$ . Обнаружено немонотонное поведение критического тока межзеренной границы при понижении температуры, возможная природа которого обсуждается.

### 1. Введение

Объемные бикристаллы оксидного сверхпроводника  $Ba(Pb, Bi)_O_3$  были первым объектом, с помощью которого была продемонстрирована возможность использования макроскопического планарного дефекта типа межзеренной границы (МГ) в качестве джозефсоновского барьера, разделяющего сверхпроводящие монокристаллические блоки [1]. Подобный подход, примененный после открытия ВТСП к созданию джозефсоновских переходов в тонкопленочных ВТСП бикристаллах, привел к значительным успехам в исследовании эффекта Джозефсона в ВТСП материалах [2-4]. До сих пор, однако, отсутствуют сообщения о создании и исследовании джозефсоновских переходов на основе бикристаллов весьма интересного "безмедного" ВТСП  $Ba_{0,55}K_{0,45}BiO_3$  с температурой перехода выше 30 К.

### 2. Детали эксперимента

Бикристаллы были получены по технологии, основанной на применении метода электрохимического осаждения, развитого в [5]. Исследованные образцы представляли собой систему из двух монокристаллических блоков (МБ), каждый из которых имел кубическую огранку, характерную для совершенных кубических кристаллов  $(Ba,K)BiO_3$  [6]. Лауэграммы бикристаллов, снятые методом широкого луча, позволили зарегистрировать две смещенные системы дифракционных максимумов, каждая из которых соответствовала монокристаллу с кубической симметрией. Относительный сдвиг систем максимумов на лауэграмме был использован для определения пространственного угла разориентации МБ. В настоящей работе были использованы бикристаллы с разориентацией по каждой компоненте угла более  $15^\circ$ . Результаты детального исследования влияния величины угла разориентации и свойств малоугловых границ зерен (разориентация менее  $15^\circ$ ) будут опубликованы позднее. Характерный размер МБ в исследованных образцах составлял около 1 мм, поперечное сечение МГ порядка  $0,5\text{мм}^2$ .

Изучение транспортных электрических свойств бикристаллов проводилось в режиме заданного постоянного тока, протекающего в направлении, перпендикулярном МГ. Сравнительные измерения сопротивления в нормальном состоянии и критического тока в сверхпроводящем состоянии для МБ и МГ соответственно показали, что вклад МБ в сопротивление бикристалла не превышает 0,1%, а критический ток МБ по меньшей мере в  $10^4$  раз больше, чем для МГ. В связи с этим дополнительная обработка образцов с целью создания сужений при измерениях критического тока МГ не проводилась, пары измерительных контактов устанавливались непосредственно на поверхности каждого из МБ. При исследованиях влияния магнитного поля на транспортные свойства был использован образец с МГ в виде плоскости, параллельно которой прикладывалось внешнее поле. Измерения магнитного момента выполнены с помощью вибромагнетометра с чувствительностью  $10^{-5}$  в измерительном поле 5Э.

### 3. Результаты и обсуждение

#### 3.1. Джозефсоновский переход в бикристаллах $\text{Ba}_{0,55}\text{K}_{0,45}\text{BiO}_3$

На рис.1 приведены температурные зависимости сопротивления бикристалла и его магнитного момента. Измерения проведены при плотности измерительного тока  $I$  через МГ  $0,2 \text{ А/см}^2$ . Наличие четкого резистивного перехода с температурой начала  $T_c = 31,2 \text{ К}$  шириной не более  $2,7 \text{ К}$  (по критерию падения сопротивления ниже  $3 \cdot 10^{-6} \text{ Ом}$ ) и монотонное возрастание диамагнитного отклика ниже  $T_c$  свидетельствует о достаточно высоком качестве сверхпроводящих МБ и бездиссипативном переносе тока через МГ ниже  $28,5 \text{ К}$ .

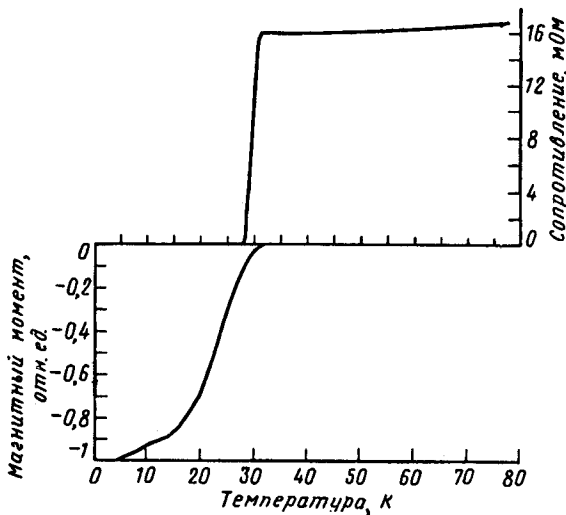


Рис.1. Температурные зависимости магнитного момента и сопротивления границ зерен бикристалла  $\text{Ba}_{0,55}\text{K}_{0,45}\text{BiO}_3$

ВАХ бикристалла  $\text{Ba}_{0,55}\text{K}_{0,45}\text{BiO}_3$ , приведенная на вставке на рис.2, также свидетельствует о наличии бездиссипативного состояния, критический ток  $I_c$  разрушения которого, определенный по критерию возникновения напряжения  $V = 1 \text{ мкВ}$ , приведен, как функция температуры, на рис.2. Весьма важно при этом, что этот критический ток, достигающий  $22 \text{ А/см}^2$  при  $13 \text{ К}$  составлял не более  $10^{-4}$  от значения критического тока МБ, определенного по результатам измерения кривой намагничивания при той же температуре. Таким образом, наличие МГ приводит к значительному ослаблению критического тока.

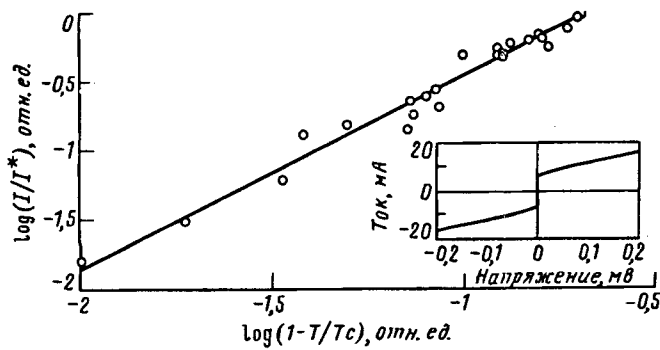


Рис.2. Вольт-амперная характеристика при  $T = 26\text{K}$  и температурная зависимость критического тока  $I^*$  границы зерен бикристалла  $\text{Ba}_{0,55}\text{K}_{0,45}\text{BiO}_3$  вблизи критической температуры

Сплошной линией на рис.2 показана зависимость вида  $(1 - T/T_c)^\alpha$ , приближающая экспериментальные данные наилучшим образом при значениях  $T_c^* = 30$  и  $\alpha = 1,5 \pm 0,2$ . Отметим также, что во всем диапазоне температур, где обнаружено удовлетворительное согласие данных с указанной степенной функцией, на ВАХ МГ наблюдался избыточный ток. Полевая зависимость критического тока сильно промодулирована с характерным масштабом периодического изменения тока около  $0,1\text{Э}$ . Модуляционные зависимости проявляли нерегулярный характер осцилляций критического тока и гистерезис положения максимумов при изменении внешнего магнитного поля. Ранее подобное поведение наблюдалось для джозефсоновских переходов на МГ в бикристаллах  $\text{Ba}(\text{Pb},\text{Bi})\text{O}_3$  [7], для которых было показано, что периодическая "дифракционная" зависимость критического тока от поля для джозефсоновского перехода существенно осложняется неоднородностью перехода и сложным характером намагничивания объемных МБ. Более детальный анализ полученных полевых зависимостей критического тока бикристаллов  $\text{Ba}_{0,55}\text{K}_{0,45}\text{BiO}_3$  будет проделан в последующих работах.

Описанная совокупность экспериментальных результатов исследований транспортных свойств МГ позволяет по аналогии с бикристаллами  $\text{Ba}(\text{Pb},\text{Bi})\text{O}_3$  предположить наличие джозефсоновского перехода в объемных бикристаллах  $(\text{Ba},\text{K})\text{BiO}_3$ . При этом образование джозефсоновского барьера связано с наличием МГ.

### 3.2. Аномальное поведение критического тока МГ

Результаты измерений температурной зависимости критического тока  $I^*$  в диапазоне температур до  $7\text{K}$  приведены на рис.3. Полученная зависимость носит немонотонный характер при понижении температуры, с четко выраженным максимумом критического тока МГ вблизи  $13\text{K}$ . Максимальное обнаруженное значение плотности критического тока составило  $22\text{A}/\text{см}^2$ . Характеристическое напряжение переходов, рассчитанное по максимальному значению критического тока, не превышает  $I_c R_N \leq 2\text{mV}$ . Такое поведение качественно напоминает зависимости критического тока джозефсоновского перехода на МГ в бикристаллах  $\text{Ba}(\text{Pb},\text{Bi})\text{O}_3$  [7]. Аномальное поведение критического тока в бикристаллах этого родственного сверхпроводника было связано с полупроводниковыми свойствами барьера на МГ в бикристаллах  $\text{Ba}(\text{Pb},\text{Bi})\text{O}_3$  и качественно объяснено в рамках теории джозефсоновских переходов с полупроводниковым барьером [8]. Этими же причинами объяснено и недавнее наблюдение аномального поведения критического тока в тонкопленочных бикристаллах  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  [9].

Таким образом, исследованные в настоящей работе объемные бикристаллы  $\text{Ba}_{0,55}\text{K}_{0,45}\text{BiO}_3$  являются третьим из известных на сегодня классом джозефсоновских переходов в бикристаллах, проявляющих аномальное поведение критического тока МГ. Это позволяет сделать предположение об универсальности аномального поведения критического тока МГ, возможно, связанного с проявлением полупроводниковых свойств джозефсоновских барьеров на границе зерен в этих материалах. Более детальное исследование природы такого аномального поведения, а также условий, в которых оно проявляется, является направлением дальнейшей работы.

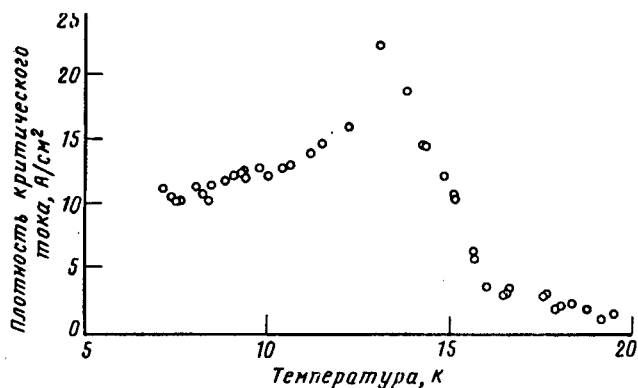


Рис.3. Температурная зависимость плотности тока границы зерен бикристалла  $\text{Ba}_{0,55}\text{K}_{0,45}\text{BiO}_3$

#### 4. Выводы

В сверхпроводящих объемных бикристаллах  $\text{Ba}_{0,55}\text{K}_{0,45}\text{BiO}_3$  на МГ формируется джозефсоновский барьер, характеризующийся вблизи критической температуры степенной зависимостью критического тока с критическим показателем  $\alpha = 3/2$  и наличием избыточного тока, то есть проявляющий свойства барьера с непосредственной проводимостью. Джозефсоновские переходы в исследованных бикристаллах проявляют значительную неоднородность в пространственном распределении критического тока и низкие значения  $J_c$ , не превышающие  $22 \text{ А/см}^2$ . Джозефсоновский переход в бикристаллах  $\text{Ba}_{0,55}\text{K}_{0,45}\text{BiO}_3$  проявляет аномальное поведение критического тока при понижении температуры. Такое поведение, наблюдавшееся также в бикристаллах оксидных сверхпроводников  $\text{Ba}(\text{Pb},\text{Bi})\text{O}_3$  и  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ , возможно, связано с полупроводниковыми свойствами джозефсоновского барьера на МГ в этих материалах.

1. В.Н.Степанкин, А.В.Кузнецов, С.В.Зайцев-Зотов, Е.А.Протасов, Письма в ЖЭТФ, 41, 23 (1985).
2. D.Dimos, P.Chaudhari, and J.Mannhart, Phys. Rev. B41, 4038 (1990).
3. R.Gross, Grain Boundary Josephson Junction in the High Temperature Superconductors in "Interfaces in Superconducting systems", ed. by S.L.Shinde and D.Rudman, Springer Verlag, New York, 1992.
4. Z.G.Ivanov, P.A.Nilsson, D.Winkler et al., Appl. Phys. Lett. 59, 3030 (1991).
5. С.Н.Барило, Д.И.Жигунов, Л.А.Куручкин и др., СФХТ 5, 1084 (1992).
6. V.Stepankin and A.Kuznetsov, Cryogenics 33, 321 (1993).
7. V.Stepankin and A.Kuznetsov, Appl. Supercond. 1, 947 (1993).
8. V.Stepankin and A.Kuznetsov, Supercond Sci. Technol. 5, 34 (1992).
9. Z.G.Ivanov, E.A.Stepantsov, A.Ya.Tzalenchuk et al., IEEE Trans. on Appl. Supercond. 3, 2925 (1993).