

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ДИССИПАТИВНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ МЕТАЛЛООКСИДНОЙ КЕРАМИКИ $YBa_2Cu_3O_x$

А. К. Асадов, П. Н. Михеенко

Выделены элементарные диссипативные образования (ЭДО) иттриевой металлооксидной керамики $YBa_2Cu_3O_x$. По характерным особенностям на их вольт-амперных характеристиках (ВАХ) восстановлено значение энергетической щели сверхпроводника. Показано, что оно находится в соответствии с величиной, полученной из теории БКШ. В образцах с высоким содержанием кислорода $x \approx 7$ обнаружено последовательное зарождение нескольких ЭДО. Из анализа температурных зависимостей критического тока и энергии щели ЭДО сделан вывод о наличии в межзеренной области керамики тонких несверхпроводящих металлических прослоек.

Ранее [1, 2] было показано, что разрушение сверхпроводящего состояния гранулированных пленок с размером зерна, превышающим длину когерентности $\bar{a} > \xi$, происходит с помощью магнитных вихрей, не имеющих нормального кора с размером, зависящим от периода гранулированной структуры. Их центр располагается в межгранульной области пониженной толщины, а сверхпроводящие токи протекают через ближайшие, связанные друг с другом зерна — перколяционные окна. Движение таких вихрей поперек транспортного тока сопровождается разрушением сверхпроводимости межзеренных связей. В случае, если эти связи являются слабыми, на ВАХ образцов возможно проявление особенностей щелевого типа [3, 4].

В работе [4] был продемонстрирован способ выделения в тонких гранулированных пленках индия элементарных диссипативных образований (ЭДО), представляющих собой одну створку движущихся вихрей. Так как ЭДО состоит из цепочки возбужденных слабых связей, то характерной чертой его ВАХ является особенность при напряжении $U = 2\Delta/e$. Щелевые особенности отдельных связей суммируются, формируя туннельную аномалию ЭДО громадной амплитуды.

В настоящей работе сообщается о выделении стабильных ЭДО высокотемпературной металлооксидной керамики $YBa_2Cu_3O_x$. Используемая процедура может применяться как простой нестандартный метод определения величины энергетической щели сверхпроводника; кроме того, она может быть использована для получения важной информации о динамике разрушения сверхпроводящего состояния высокотемпературных металлооксидных систем.

В качестве исходных образцов для выделения ЭДО исследовалась металлооксидная керамика $YBa_2Cu_3O_x$. Они представляли собой бруски размерами $15 \times 3 \times 0.5$ мм, наклеенные на жесткую диэлектрическую основу.

С помощью специального приспособления в средней части образца, между потенциальными выводами, делался прямоугольный пропил поперек всего бруска шириной ≈ 0.1 мм. Глубина его подбиралась таким образом, чтобы снизить критический ток I_c выделенного участка на 2—3 порядка.

Основное условие выделения ЭДО состоит в равенстве ширины прорези w размеру окна перколяционной ячейки L . В этом случае в резистивном

состоянии при $U \leq 2\Delta/e$ на участке пониженной толщины движется только одна строчка вихрей и диссипативное состояние будет являться элементарным. Хотя в ячейках возможно существование нескольких квантов потока, их движение через возбужденные межзеренные связи из одного окна в соседнее будет происходить подобно движению одноквантовой строчки вихрей.

На рис. 1 приведены зависимости $(dU/dI)(U)$ при $T \approx T_c$ одного из образцов с $x=6.7$. Эти кривые достаточно устойчивы и хорошо воспроизводимы. Максимум на производной отражает проявление щелевой особенности на ВАХ, что свидетельствует о зарождении ЭДО.

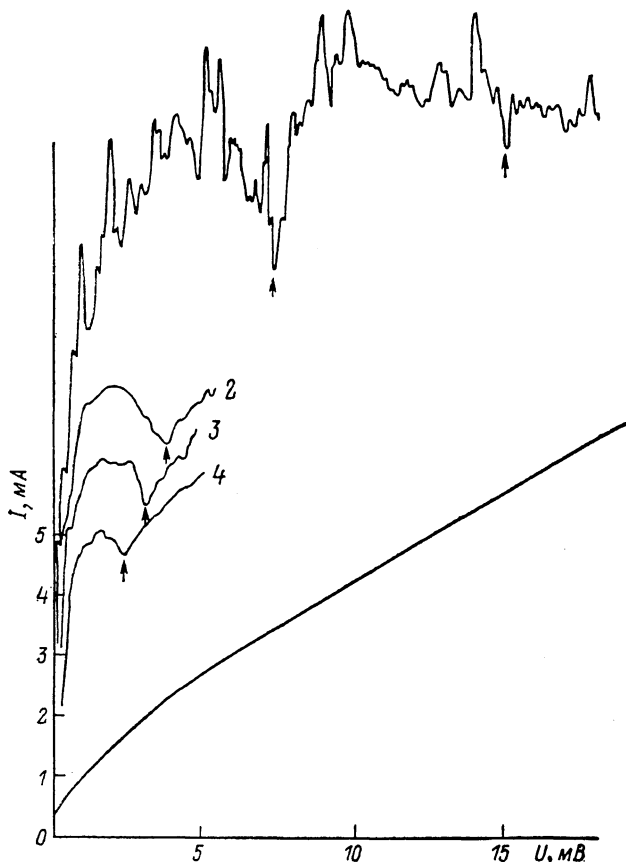


Рис. 1. ВАХ образца с выделенным каналом при температуре 9.5 К и ее производные $(dU/dI)(U)$, записанные при $T=9.5$ (1), 42 (2), 43.5 (3) и 45 К (4).

Стрелками на кривых указано положение щелевых особенностей.

При понижении температуры размер перколяционной ячейки, занятой вихрем, становится меньше выделенного канала. Появляется неопределенность движения квантов потока и возможность ветвления строчки вихрей. В этом случае производная ВАХ представляет собой систему неупорядоченных пиков (рис. 1, 1), на фоне которых выделить имеющиеся щелевые особенности довольно трудно.

Исследование металлооксидной керамики $YBa_2Cu_3O_x$ с различным содержанием кислорода показало, что при одной и той же технике прорезания каналов наиболее просто выделить ЭДО в сверхпроводнике с пониженным значением x .

На рис. 2 показана температурная зависимость щелевой особенности образца $YBa_2Cu_3O_{6.7}$, имеющего критическую температуру, найденную по середине резистивного перехода, $T_c^* = 50$ К. Точками 3 отмечена сопровождающая ее дополнительная особенность при напряжении, равном поло-

вине щелевого, которая может являться субгармоникой основной [4]. Как видно из рис. 2, при низких температурах экспериментальные точки выходят на кривую теории БКШ с отношением $2\Delta/kT_c^* = 3.53$. В широком

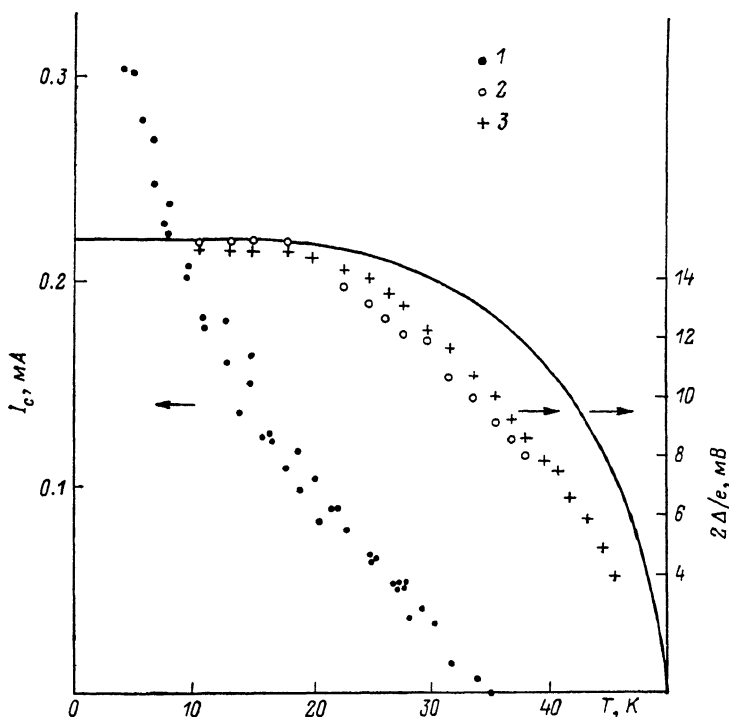


Рис. 2. Зависимости критического тока (1) и щелевых напряжений $2\Delta/e$ (2), Δ/e (3) от температуры.

Сплошная линия — зависимость, построенная в соответствии с теорией БКШ.

интервале температур наблюдается отклонение от теоретических данных, и при T , близких T_c^* , экспериментальные значения вновь близки к зависимости БКШ. Такое поведение свойственно переходам с эффектом близости [5].

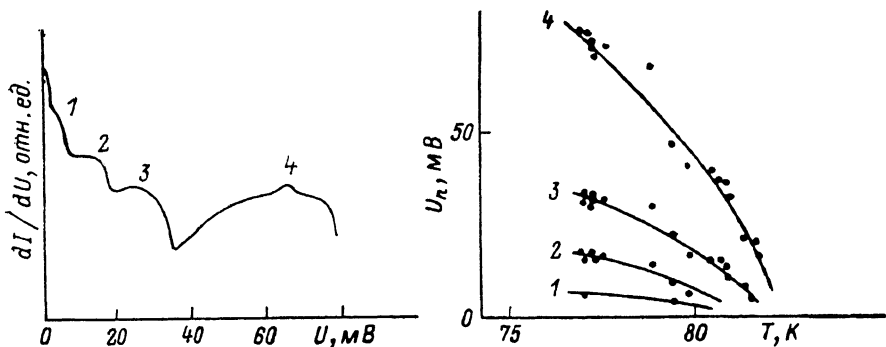


Рис. 3. Зависимости напряжения всплесков проводимости на производной ВАХ образца $YBa_2Cu_3O_7$ от температуры.

На вставке — кривая $(dI/dU)(U)$, полученная при $T=78$ К. Номера пиков соответствуют номерам кривых $U_n(T)$.

Этот вывод подтверждается также зависимостью $I_c(T)$, имеющей вид, характерный для $S-N-I-S$ контактов. Это следует из того, что вблизи T_c $I_c \sim (T_c - T)^\alpha$, где α больше единицы ($\alpha=1.34$) и имеет место экспоненциальный рост I_c при более низких температурах.

В образцах с высоким содержанием слабосвязанного кислорода $YBa_2Cu_3O_7$ щелевые особенности прослеживались только при температурах, близких к критическим. Очевидно, это связано с большей однородностью и, как следствие, с меньшим размером перколяционной ячейки керамических сверхпроводников. Более высокая однородность означает близость энергий связи межзеренных контактов. В эксперименте это обусловило появление нового эффекта — возникновение на производной ВАХ ЭДО множественных щелевых всплесков при напряжениях U_n , приблизительно равных $n \cdot 2\Delta/e$, где $n=1, 2, \dots$. Их появление, видимо, связано со сбросом магнитного потока одновременно через несколько слабых связей токовой петли.

На рис. 3 показаны зависимости $U_n(T)$ и форма производной $(dI/dU)(U)$ одного из образцов с критической температурой по середине перехода 86.5 К.

Таким образом, выделение ЭДО демонстрирует возможности простого нетрадиционного способа определения средней величины энергетической щели сверхпроводника, основанного на использовании внутренних свойств керамики. Кроме того, исследование ЭДО позволяет сделать важные заключения о структуре и динамике разрушения сверхпроводящего состояния металлоксидных систем. Необходимо также отметить факт существования в металлоксидных образцах геометрического эффекта. Температура появления сверхтока T_{c0} являлась функцией глубины канала, а следовательно, и критического тока при $T=0$ (I_0^0). В некоторых экспериментах T_{c0} уменьшалась на 30—40° от начального значения.

Такая зависимость может быть объяснена наличием в керамике широкого набора межзеренных барьеров разной прозрачности. Сокращение числа протекательных путей уменьшает вероятность связанности берегов по обе стороны прорези при данной температуре. Зависимость $I_0^0(T_{c0})$ отражает закон распределения джозефсоновских связей образца по их энергиям.

Список литературы

- [1] Alexander S. // Physica. 1984. V. 126B. N 1—3. P. 294—297.
- [2] Entin-Wohlman O., Kapitulnik A., Alexander S., Deutsher G. // Phys. Rev. B. 1984. V. 30. N 5. P. 2617—2620.
- [3] Suzuki M., Enomoto Y., Murakami T. // Appl. Phys. 1984. V. 56. N 7. P. 2083—2092.
- [4] Асадов А. К., Михеенко П. Н. // ФТТ. 1986. Т. 28. № 12. С. 3699—3708.
- [5] Бертель К.-Х., Келер Х.-И., Зайдель П., Блютнер К., Вебер П. // ФНТ. 1981. Т. 7. № 2. С. 154—162.

Донецкий физико-технический
институт АН УССР
Донецк

Поступило в Редакцию
19 сентября 1988 г.