

05.4;11;12

## Многочастичное туннелирование при полевой электронной эмиссии из $\text{Bi}_2\text{CaSr}_2\text{Cu}_2\text{O}_8$

© В.И. Маслов

С.-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Поступило в Редакцию 28 сентября 2000 г.

Рассмотрены результаты исследования статистики полевой электронной эмиссии (ПЭЭ) из оксидного сверхпроводника  $\text{Bi}_2\text{CaSr}_2\text{Cu}_2\text{O}_8$ . Обнаружено многоэлектронное туннелирование при ПЭЭ. Проведен анализ спектральных кривых и зависимостей статистики ПЭЭ от условий эксперимента. Обсуждается возможный механизм многочастичного эффекта.

Физика туннельных явлений в сверхпроводниках дает уникальную информацию о различных свойствах как сверхпроводящего, так и нормального состояний исследуемых объектов. Это обусловлено, в частности, тем, что при полевой электронной эмиссии (ПЭЭ) электроны туннелируют в вакуум без внешнего возбуждения.

В настоящей работе исследования корреляционных эффектов при ПЭЭ проводились путем измерения численности элементарных актов ПЭЭ и распределения актов по их численности, т.е. статистики ПЭЭ [1,2]. Ранее на установке, описанной в работе [1], были проведены исследования статистики ПЭЭ из вольфрама и "классического" сверхпроводника — ниобия при температуре жидкого гелия [3]. В этих экспериментах как из нормального, так и из сверхпроводящего состояния были зарегистрированы только одноэлектронные акты эмиссии (с точностью 99.9%). В цикле работ показано, что одночастичный характер ПЭЭ присущ обычным (несверхпроводящим) металлам в широком диапазоне температур и плотности тока [4].

С открытием высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) вероятность наблюдения скоррелированных электронов, туннелирующих из сверхпроводящего конденсата, возрастает, во-первых, из-за уменьшения длины когерентности и, во-вторых, благодаря большей величине

энергетической щели [5]. Впервые результаты по исследованию статистики ПЭЭ из ВТСП-металлокерамики Y-Ba-Cu-O опубликованы в работе [6], в которой обсуждаются результаты по многочастичному туннелированию из оксидного сверхпроводника.

В настоящей работе использовались эмиттеры из соединения на основе висмута —  $\text{Bi}_2\text{CaSr}_2\text{Cu}_2\text{O}_8$  с критической температурой 110 К; острия эмиттеров получались путем механического затачивания, сам образец закреплялся в катодном узле с помощью поджима.

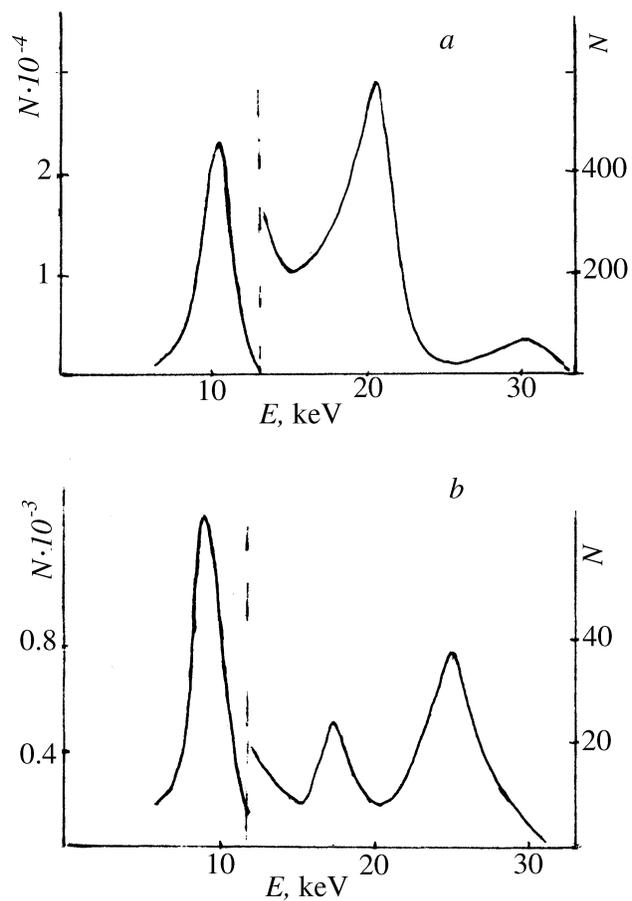
Эксперименты проводились на установке, аналогичной описанной в статье [1], вначале с применением многоканального анализатора импульсов, а затем вместо него использовался персональный компьютер с аналого-цифровым преобразователем. Применение компьютера позволило автоматизировать эксперимент и улучшить качество обработки данных.

Вакуум в экспериментальном стеклянном приборе был не хуже  $5 \cdot 10^{-7}$  Па. Зондовый ток или, что то же самое, поток электронов, поступающий на полупроводниковый детектор, варьировался в интервале (100–7000) e/s. Ему соответствовал диапазон полного тока ПЭЭ от  $10^{-16}$  до  $10^{-10}$  А, так как в зондовое отверстие выводился электронный пучок как со слабоэмитирующей области, так и с сильноэмитирующей.

Эмиссионная картина имела бесструктурный характер в виде отдельных пятен разного размера. Отличительная особенность ПЭЭ из Bi-Ca-Sr-Cu-O эмиттеров — значительное, более чем на порядок, уменьшение флуктуаций тока при понижении температуры ниже критической. При температуре выше критической флуктуации тока достигали десятков процентов.

С большей части поверхности ВТСП-образца ПЭЭ имела одно-электронный характер. В отличие от соединения Y-Ba-Cu-O много-электронное туннелирование в нашем случае наблюдалось не только со слабоэмитирующих участков, но и с ярких областей. Характерные спектры статистики ПЭЭ из соединения  $\text{Bi}_2\text{CaSr}_2\text{Cu}_2\text{O}_8$  приведены на рисунке.

Группы из двух электронов составляли в общем потоке величину до нескольких процентов, что превышает величину пуассоновских наложений на два порядка. Группы из трех электронов составляли десятые доли процента; четырехэлектронные корреляции регистрировались значительно реже и не превышали величины 0.01%, что тем не менее



Спектры статистики ПЭЭ из  $\text{Bi}_2\text{CaSr}_2\text{Cu}_2\text{O}_8$ : *a* — со слабоэмитирующего участка; *b* — с границы сильноэмитирующего участка.

в 100 раз больше чувствительности методики к четырехэлектронным элементарным актам эмиссии.

Наиболее часто в наших исследованиях интенсивность многочастичной эмиссии монотонно уменьшалась при увеличении численности группы, но с некоторых мест эмиттера наблюдались исключения: на

рисунке, *b* представлен спектр статистики ПЭЭ, при которой интенсивность трехчастичного потока больше двухчастичного.

Анализ спектров показывает, что форма кратных пиков близка к гауссовой. Из этого можно сделать важный вывод, что время корреляции электронов в группе много меньше длительности рабочего импульса регистрации, равного  $4 \mu\text{s}$ . С некоторых участков эмиттеров зарегистрированы многочастичные акты с формой кратных пиков типа "ступеньки", что соответствует времени корреляции, сравнимому с длительностью рабочего импульса.

При переходе ВТСП-эмиттера из нормального в сверхпроводящее состояние и обратно характер статистики не менялся (при указанных параметрах регистрации). Это указывает на то, что многочастичное туннелирование обусловлено исходными свойствами ВТСП-соединения.

В статье [6] в качестве основного объяснения многочастичного эффекта предлагалось явление лавинного размножения свободных электронов в диэлектрических слоях металлокерамики под действием проникающего в них электрического поля. Анализ результатов настоящей работы и работы [6] исключает этот механизм как маловероятный: во-первых, в случае "горячих" электронов при напряжениях, далеких от предпробойной величины, должна наблюдаться обратная зависимость тока от температуры [7], тогда как реально такой зависимости не наблюдалось или же имела место противоположная зависимость; во-вторых, на это указывает немонокотный характер спектра (см. рисунок, *b*).

Учитывая, что иттриевый и висмутый оксидные сверхпроводники имеют дырочную проводимость, можно предположить, что к многочастичному эффекту приводит рассеяние электронов на дырке. Возможно также многоэлектронное туннелирование из сильно локализованных состояний.

Корректная интерпретация многоэлектронного туннелирования представляется возможной после дополнительных экспериментов, в первую очередь с использованием режекции электронного пучка [2].

В заключение автор искренне благодарит В.В. Монахова за разработку программного обеспечения и Т.Ю. Чемякову за предоставленные образцы.

## Список литературы

- [1] Маслов В.И., Фурсей Г.Н., Кочерыженков А.В., Афанасьева Н.П. // ПТЭ. 1987. № 5. С. 133–135.
- [2] Маслов В.И., Фурсей Г.Н., Кочерыженков А.В. // ПТЭ. 1990. № 2. С. 145–149.
- [3] Кочерыженков А.В., Маслов В.И., Фурсей Г.Н. // ФТТ. 1987. Т. 29. В. 8. С. 2471–2472.
- [4] Fursey G.N., Kocheryzhenkov A.V., Maslov V.I. // Surf. Sci. 1991. V. 246. P. 365–372.
- [5] Плакида Н.М. Высокотемпературные сверхпроводники. М.: 1996. С. 288.
- [6] Фурсей Г.Н., Кочерыженков А.В., Маслов В.И., Смирнов А.П. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 20. С. 1853–1856.
- [7] Ненакаливаемые катоды / Под ред. М.И. Елинсона. М.: Сов. радио, 1974. С. 336.