

05.4; 11

© 1992

ОСТРИЙНЫЕ ЭМИТТЕРЫ ИЗ МОНОКРИСТАЛЛОВ ВТСП:
ПРИГОТОВЛЕНИЕ И СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯС.Н. Ш и л и м а н о в, С.И. Ш к у р а т о в,
С.Н. И в а н о в

Полевая электронная спектроскопия является одним из методов изучения электронного строения и эмиссионных свойств металлов и сплавов в непосредственной взаимосвязи с кристаллической структурой.

Исследования распределения по полным энергиям автоэлектронной (РПЭ) проводились в сверхвысоковакуумной установке УСУ-1, содержащей полевую эмиссионный спектрометр дисперсионного типа и полевую эмиссионный микроскоп (ПИМ) [1]. Исследовались монокристаллы ВТСП типа 1-2-3, выращенные методом раствор в расплаве [2]. Все образцы были аттестованы на сверхпроводящие свойства резистивным или магнитным методами. Исследовались монокристаллы $YBa_2Cu_3O_{6.90}$, $SrBa_2Cu_3O_{6.90}$ с температурой сверхпроводящего перехода $T_C=92$ К ($\Delta T_C=0.1$ К), и $YBa_2Cu_3O_{6.10}$ с $T_C < 10$ К.

Для изготовления монокристаллических образцов-острий использовался метод электрохимического травления [3]. После вытравливания образец помещался в экспериментальную установку, где формировалась атомно-гладкая поверхность острия путем последовательного полевого испарения атомов материала с наиболее выступающих мест вершины эмиттера. В качестве изображающего газа в режиме ПИМ применялся молекулярный азот [4].

В первой серии экспериментов острия-осколки приклеивались к вольфрамовой проволоке-подложке проводящим эпоксидным клеем, как описано в [3]. Полевая электронная спектроскопия показала: 1) вид энергораспределения эмитирующих электронов подобен энергораспределению электронов эмитирующих из металла; 2) максимум электронного спектра $YBa_2Cu_3O_{6.90}$ сдвинут по шкале энергий относительно максимума спектра вольфрамового эмиттера на 3-7 эВ; 3) электронный спектр $YBa_2Cu_3O_{6.90}$ нестабилен во времени, что отражается в сдвиге положения максимума при неизменных значениях величины тока эмиссии и электрического поля, а также в шумовых выбросах положения максимума спектра.

Одним из возможных объяснений наблюдаемого нами необычного поведения электронных спектров $YBa_2Cu_3O_{6.90}$ может быть влияние электросопротивления контакта между острием-подложкой и образцом-осколком. В связи с этим была разработана и опробована

вана отличная от предложенной в [3] технология крепления монокристаллического ВТСП осколка к острию-подложке - технология припаивания.

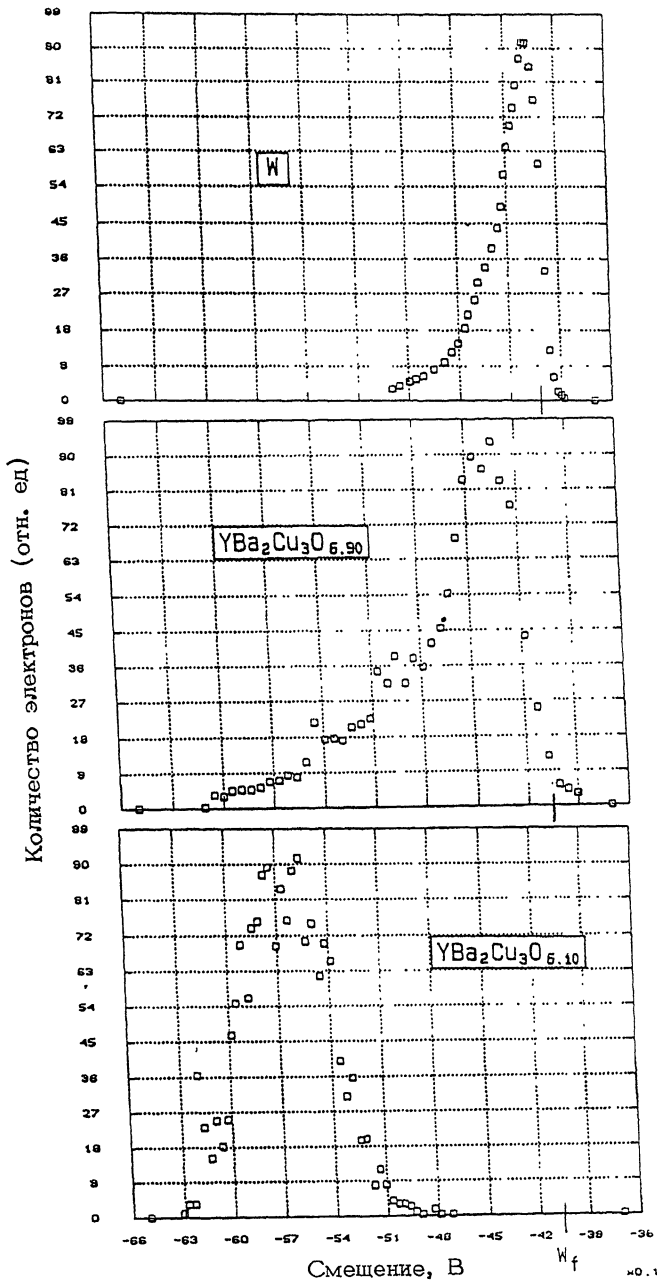
В качестве подложки использовалась вольфрамовая проволока диаметром 100 мкм. Индий-галлиевый припой (температура плавления - чуть выше комнатной) наносится на кончик вольфрамовой проволоки-подложки. Затем под объективом оптического микроскопа отобранный заранее монокристаллический осколок осторожно вводится задней частью в расплавленную индий-галлиевую эвтектику. Припой обволакивает заднюю часть осколка и после затвердевания прочно удерживает его на проволоке-подложке. Место пайки защищалось эпоксидным клеем и осколок подвергался электрохимическому травлению [3].

Электронные спектры, измеренные с таких острий, были стабильны и воспроизводимы (см. рисунок). Максимумы спектров были сдвинуты не более чем на 0,2-1,4 В относительно максимума спектра вольфрама. При увеличении электрического поля максимум энергораспределения электронов смещается в сторону более высоких энергий (порядка 0,1 эВ при увеличении поля на 20%). Для вольфрама с изменением поля максимум спектра остается практически на месте. Сдвиг спектра в случае ВТСП может быть объяснен сильным проникновением поля в материал образца вследствие относительно большой работы выхода и низкой концентрации носителей.

Чтобы убедиться, что смещение максимума происходит под влиянием именно поля, а не контактного сопротивления, как в случае с эпоксидной смолой, на нескольких остриях были проведены следующие тестовые измерения. Выдержка ВТСП эмиттера в вакууме без очистки полевой десорбцией более пяти минут ведет к загрязнению вершины острия. При этом работа выхода, как правило, уменьшается и при неизменном анодном напряжении эмиссионный ток возрастает. Было установлено, что при 2-10-кратном увеличении тока максимум РПЭ остается на месте. Т.е. омическое сопротивление контакта не влияет на положение максимума энергораспределения.

Для анализа экспериментальных данных мы воспользовались методом идентификации параметров модели путем минимизации разницы между экспериментальными данными и моделью [1]. Предполагалось, что распределение электронов по энергиям описывается функцией Ферми-Дирака. Сходимость экспериментальных РПЭ и модели для $YBa_2Cu_3O_{6,90}$ монокристаллов наблюдалась при следующих параметрах модели: работа выхода $\phi = 6.4 \pm 0.4$ эВ; концентрация носителей $n_0 = (1-4) \cdot 10^{21}$ см⁻³; температура инверсии эффекта Ноттинггама $T_i = 900-1100$ К; глубина проникновения электрического поля $D_F = 0.8-1.2$ Å;

Работа выхода, рассчитанная по наклону линии ВАХ эмиссионного тока в координатах Фаулера-Нордгейма с учетом коэффициента усиления поля, составляет 6.3 ± 0.3 эВ.



Электронные спектры $YBa_2Cu_3O_{6.90}$ и $YBa_2Cu_3O_{6.10}$ монокристаллических эмиттеров в сравнении с электронным спектром вольфрамового эмиттера (W_f - уровень Ферми).

Кроме образцов с оптимальным содержанием кислорода (температура сверхпроводящего перехода $T = 92$ К), были также исследованы монокристаллы $YBa_2Cu_3O_{6.10}$ с $T_c \leq 10$ К. Исследования показали: 1) ширина на полувысоте РПЭ составляет 0.5–0.7 эВ (см. рисунок); 2) спектры сдвинуты относительно спектров вольфрама на 1.2–2.2 эВ.

Подобные РПЭ характерны для полупроводников. Оценка концентрации и глубины проникновения электрического поля в приповерхностную область катода для экспериментальных РПЭ $YBa_2Cu_3O_{6.1}$ монокристаллов дает соответственно $n_0 = 10^{17}$ см⁻³ и $D_E = 5 - 6$ Å.

Оценки работы выхода из ВАХ дают величину 4.0 ± 0.3 эВ.

Существенно большая глубина проникновения электрического поля в поверхность $YBa_2Cu_3O_{6.1}$ монокристаллических образцов, в сравнении с $YBa_2Cu_3O_{6.90}$, приводит к снижению работы выхода на 2–2.5 эВ при полевой электронной эмиссии. Сравнительный анализ экспериментальных $FESs$ $YBa_2Cu_3O_{6.90}$ и $YBa_2Cu_3O_{6.1}$ показывает, что уход кислорода ведет не только к деградации сверхпроводящих свойств, но и к кардинальному изменению электронного строения $YBa_2Cu_3O_x$.

Авторы благодарят Н.Н. Сюткина за поддержку работы и Е.Ф.Таланцева за полезные советы.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Шкуратов С.И., Месяц В.Г., Иванов С.Н., Чернышев Ю.В. и Юмагузин Ю.М. // Сверхпроводимость. 1990. Т. 3. № 6. С. 1214–1221.
- [2] Костылев В.А., Чеботаев Н.М., Наумов С.В., Самохвалов А.А. // Сверхпроводимость. Т. 3. № 7. С. 1385–1387.
- [3] Talantsev E.F., Ivchenko V.A., Sutykin N.N. // Journal of Micromechanics & Microengineering, 1992, Issue 5, in press.
- [4] Таланцев Е.Ф., Ивченко В.А. и Сюткин Н.Н. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 16. № 18. С. 76.

Поступило в Редакцию
29 ноября 1991 г.