

05.4;06.2;11;12

©1994

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЗАСТРУКТУР С ВТСП СЛОЕМ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

*М.Э.Гаевский, Д.М.Демидов, Д.В.Денисов, С.Г.Конников,  
М.М.Кулагина, О.В.Смольский, В.П.Чалый*

Одной из актуальных задач современной электроники является разработка новых методов формирования структур на основе ВТСП материалов. Это необходимо для создания таких приборов, как приемники ИК излучения, резонаторы и антенные усилители СВЧ диапазона. Кроме того, изготовление мостиков микронных размеров позволяет получить более полную информацию об электрофизических свойствах ВТСП материалов. Решение такой задачи методами традиционной фотолитографии, основанными на обработке образцов в водных растворах и органических растворителях, затруднено из-за сильной деградации ВТСП свойств  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  (YBCO) пленок. Поэтому, наиболее перспективны новые нетрадиционные способы изготовления ВТСП структур с заданной геометрией.

В настоящей работе использован оригинальный метод формирования структур на кремниевой подложке, так как данный материал перспективен с точки зрения интеграции ВТСП и полупроводниковых схем, работающих при температуре жидкого азота. Основная идея заключается в том, что рисунок вытравливается в буферном слое диоксида циркония, и уже после этого осуществляется напыление и отжиг YBCO слоя. Там, где поверхность кремния не закрыта  $ZrO_2$ , не происходит эпитаксиального роста YBCO из-за взаимодействия Si с напыляемыми компонентами (Y,  $BaF_2$ , Cu) в среде кислорода. В то же время в местах, где сохранился  $ZrO_2$ , формируется ВТСП пленка необходимой конфигурации. Таким образом осуществляется пространственное ограничение тока, протекающего через структуру. Кроме того, поскольку ВТСП пленка не подвергалась дополнительной обработке и имеет чистую поверхность, она представляет интерес как для проведения дальнейших диагностических исследований, так и с точки зрения возможности получения более сложных многослойных структур.

Для реализации этого способа на подложку Si(100) методом молекулярно-лучевой эпитаксии осаждался диоксид циркония. Фотолитографически на поверхность наносился рисунок из фоторезиста. Травление осуществлялось коллимированным нейтрализованным пучком аргона с энергией

до 1 КэВ. Выращивание YBCO осуществлялось на установке для молекулярно-лучевой эпитаксии "Supra-32" (ISA Ribet, Франция) с использованием  $BaF_2$  источника и последующим двухступенчатым отжигом [1].

Вольт-амперная характеристика и температурная зависимость удельного сопротивления полученной структуры измерялись стандартным четырехзондовым методом на постоянном токе. Образец исследовался на автоматизированном измерительном комплексе, аппаратная часть и программное обеспечение которого позволяли проверять омичность контактов зонды — поверхность образца, задавать значение тока через образец в пределах от 1 мкА до 10 мА, производить измерения зависимости  $\rho(T)$  с шагом до 0.3 К в диапазоне температур от 77 до 300 К.

Результаты измерения зависимости удельного сопротивления от температуры приведены на рис. 1, а. Температура перехода в сверхпроводящее состояние 85, ширина перехода 3.5 К. Измерения проводились при величине тока через образец в 10 мкА, что значительно меньше величины критического тока для данного образца. Значение критического тока считалось равным току, при котором падение напряжения на мостике превышало нижний предел измерения системы (10 мкВ). Из графика на рис. 1, б видно, что при температуре 77 К критический ток равен 550 мкА, критическая плотность тока при этом составляет  $1.3 \cdot 10^4$  А/см<sup>2</sup>. Относительно большая ширина сверхпроводящего перехода, нелинейность вольт-амперной характеристики (рис. 1, б) говорят о наличии слабых связей в ВТСП пленке [2].

Полученные структуры были исследованы методом низкотемпературной растровой микроскопии в режиме напряжения, индуцированного электронным зондом (НИЭЗ) на электронном микроскопе фирмы GamScan [3,4]. В этой методике сопротивление мостика изменяется за счет нагрева локального участка на  $\Delta T$  электронным зондом. Температура всей структуры либо фиксируется при определенном значении, либо медленно изменяется в заданном интервале. Для выделения информативной составляющей сигнала ток электронного зонда модулировался с частотой 10 кГц. Регистрируемая синхронным детектором переменная составляющая напряжения на потенциальных контактах исследуемой структуры  $U \sim j \cdot (dR/dT)$ , где  $j$  — плотность тока,  $dR/dT$  — производная сопротивления по температуре для нагреваемого участка. Данная методика позволяет исследовать особенности протекания тока с пространственным разрешением  $\sim 1$  мкм.

Пример зависимости НИЭЗ сигнала от положения нагреваемого участка при сканировании электронным зондом поперек мостика показан на рис. 2, а. Падение интенсив-

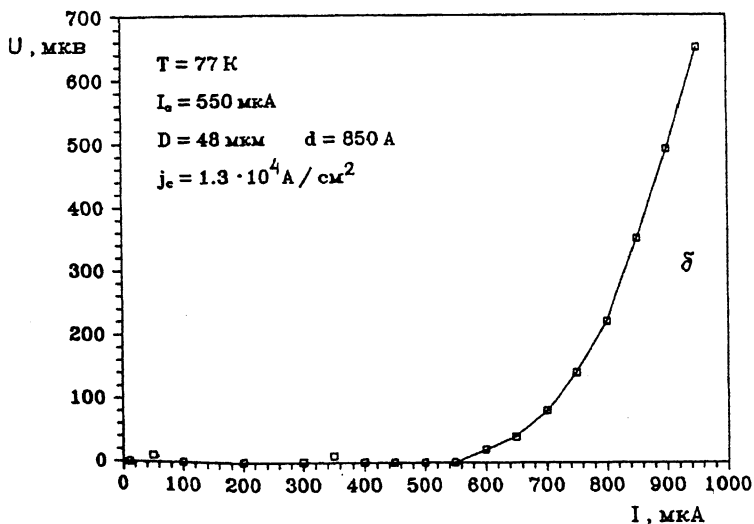
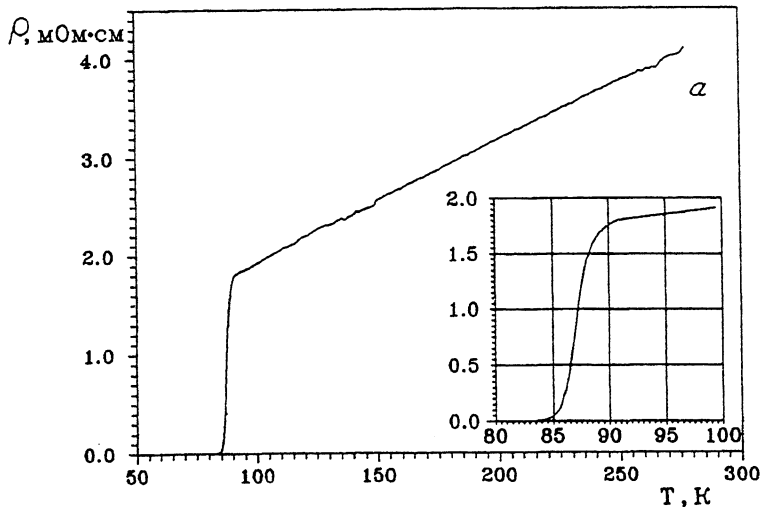
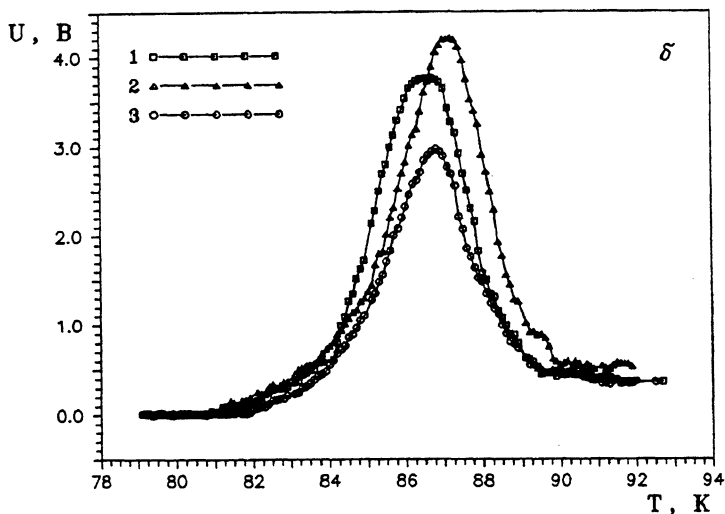
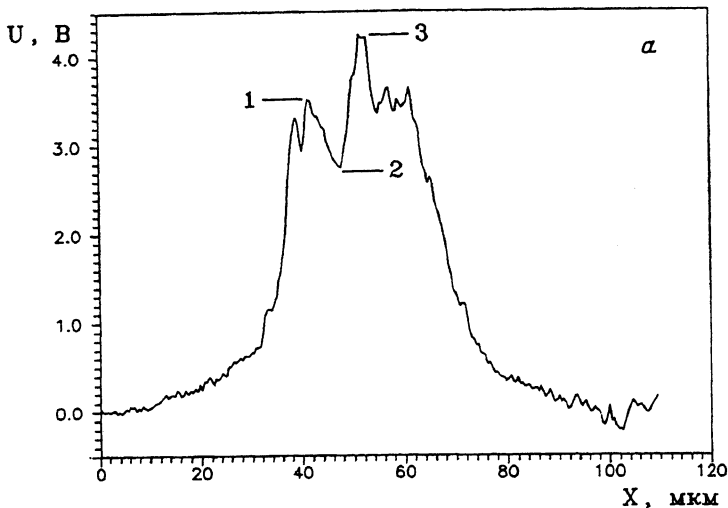


Рис. 1. а — температурная зависимость удельного сопротивления структуры, ток измерения 10 мкА; б — вольт-амперная характеристика мостика с шириной 48 мкм и толщиной ВТСП слоя 850 Å при  $T = 77$  К.

ности регистрируемого сигнала на расстоянии 2 — 4 мкм от края мостика, по-видимому, связано с повышенной дефектностью кристаллической структуры слоя  $ZrO_2$  на этих участках. Сверхпроводимость наблюдалась при  $T > 77$  К



**Рис. 2.** *a* — зависимость величины сигнала НИЭЗ от координаты электронного зонда  $X$  при сканировании поперек мостика ( $T = 87$  К), *б* — локальные температурные зависимости сигнала НИЭЗ для трех характерных точек мостика. Положение точек 1-3 показано на рис. 2, *a*.

только на мостике. Разброс полуширин пиков и значений максимумов зависимостей сигнала НИЭЗ от температуры для различных участков мостика составлял не более 0.6 К

(рис. 2, б). Такое поведение НИЭЗ сигнала объясняется наличием границ между разориентированными блоками в ВТСП пленке [5]. Сигнал НИЭЗ также наблюдался при возбуждении областей за пределами структуры. Это свидетельствует о том, что поглощенный ток зонда стекает не через подложку, а по ее поверхности и через ВТСП пленку.

На основании проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Результаты микрозондовых исследований YBCO слоев, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках  $\text{Si}/\text{ZrO}_2$ , показывают, что ширина перехода в сверхпроводящее состояние в различных областях пленки варьируется в пределах 3.5 – 4.0 К, а температура перехода различается не более чем на 0.6 К.

2. Новая методика получения ВТСП структур позволяет организовать эффективное ограничение тока в активных слоях и является перспективной для изготовления различных типов ВТС приборов.

3. ВТСП структуры, сформированные по такой технологии, имеют чистую кристаллическую поверхность, что является важным условием для исследования и дальнейшего технологического использования таких структур.

#### Список литературы

- [1] Смольский О.В., Шмаев А.Л., Синяевский Д.В., Васильев В.Н., Денисов Д.В., Третьяков В.В. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 20. С. 85.
- [2] Frenkel A., Clausen E., Chang C.C., Venkatesan T., Lin P.S., Wu X.D., Inam A., Lalevic B. // Appl. Phys. Lett. 1989. V. 55. N 9. P. 911–913.
- [3] Clem J.R., Huebener R.P. // J. Appl. Phys. 1980. V. 51. N 5. P. 2764–2773.
- [4] Конников С.Г., Соловьев С.А., Соловьев В.А., Гаевский М.Э. // Письма в ЖТФ. 1992. Т. 18. В. 21. С. 20–23.
- [5] Koelle D., Kober F., Gross K., Huebener R.P. et al. // Superc. Sc. and Techn. 1991. V. 4. N 1s. P. 115–117.

Физико-технический институт  
им. А.Ф. Иоффе РАН  
Санкт-Петербург  
АО "Полупроводниковые приборы"  
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию  
24 ноября 1993 г.