

05.4;06.2;12

©1994

## ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР СВЕРХПРОВОДНИК—ДИЭЛЕКТРИК—МЕТАЛЛ (СВЕРХПРОВОДНИК)

*И.В.Грегов, Л.А.Делимова, И.А.Линийчук,  
А.Г.Люблинский, О.К.Семчинова*

Для создания активных и пассивных элементов с использованием ВТСП для микроэлектроники необходимо разработать технологию изготовления и провести исследования структур типа сверхпроводник ( $YBa_2Cu_3O_7$ )—изолятор—металл (СИМ) и сверхпроводник ( $YBa_2Cu_3O_7$ )—изолятор—сверхпроводник ( $YBa_2Cu_3O_2$ ) (СИС). Интенсивные работы в этом направлении ведутся с 1990 г. во многих исследовательских центрах [1–6].

В нашей работе [7] была показана возможность получения структур типа СИС и ИСИ, где в качестве изолятора применялась “зеленая фаза”  $Y_2BaCuO_5$ . Структуры изготавливались методом лазерного распыления на скрещенных пучках. В месте пересечения двух потоков плазмы от мишеней формировался плазменный факел с уменьшенным содержанием крупных частиц, направленный к подложке [8].

Полученные в этих условиях слои сверхпроводника имели обычный для  $YBa_2Cu_3O_7$  характер температурной зависимости проводимости, а слои изолятора имели соответствующие характеристики. Однако после напыления металлических контактов все структуры практически всегда оказывались закороченными, несмотря на малые (100..200 мкм) размеры контактов и большие (до 3000 Å) толщины изолятора. Это было связано с принципиальной особенностью процесса распыления керамических мишеней относительно невысокой плотности длинноволновым (1060 нм) лазерным излучением с большой глубиной поглощения. Прогрев больших объемов мишени приводит к выбросу в плазменный поток большого количества макрочастиц с характерным размером в единицы микрон; эти частицы присутствуют в меньшем количестве и в рабочем факеле, формируемом пересекающимися потоками. Поэтому в растущей пленке оказывается большое количество макрочастиц, характерный размер которых на порядок превышает толщину пленки. При напылении изолирующей пленки с толщиной, много меньшей размера микрочастиц, боковые

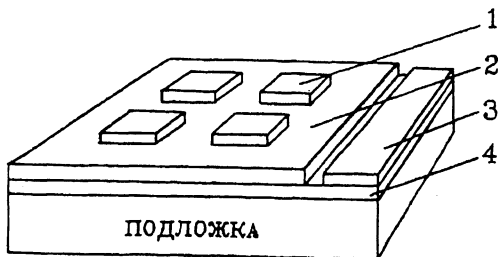


Рис. 1. Структура образцов, на которых измерялись ВАХ. 1 — слой металла (сверхпроводника),  $200 \times 200$  мкм,  $d = 2$  мкм ( $1500 \text{ \AA}$ ), 2 — слой  $\text{SrTiO}_3$   $d = 800 \text{ \AA}$ , 3 — слой серебра  $d = 2$  мкм, 4 — слой сверхпроводника  $d = 1500 \text{ \AA}$ .

границы их остаются открытыми и при последующем напылении металлических контактов толщиной порядка микрона образуют плотную сеть проводящих каналов.

Эффективный способ сепарации микрочастиц путем экранирования подложки от прямого потока эрозионной плазмы, непосредственно формируемого лазерным излучением, был предложен в [9]. Мы использовали этот способ при напылении пленок методом скрещенных пучков, помещая экран в рабочий факел, формируемый пересекающимися потоками плазмы.

СИМ и СИС структуры изготавливались путем синхронного распыления двух одинаковых цилиндрических мишеней скрещенными пучками от двух АИГ лазеров ( $\lambda = 1060$  нм энергии в импульсе 0.2 Дж, длительность 15 нс, частота 25 Гц, диаметр пучка на мишени  $\sim 1$  мм). Конструкция установки и технология изготовления  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  мишеней в основном аналогичны описанным в [7], но прессовка мишеней осуществлялась путем всестороннего гидростатического сжатия при давлении 4500 атм.

В качестве изолятора использовался  $\text{SrTiO}_3$ , наносимый лазерным напылением на той же установке. Мишени изготавливались из мелкодисперсного порошка  $\text{SrTiO}_3$  по той же технологической схеме, что и  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  мишени, но отжиг после прессовки проводился при температуре  $1350^\circ \text{C}$  на воздухе в течение 8 ч. В качестве подложки использовались полированные пластины  $\text{NdGaO}_3$  110, температура подложки при напылении всех слоев была  $\sim 650 \pm 10^\circ \text{C}$ .

Экраном служила медная пластина шириной 6 и толщиной 0.2 мм, укрепленная на нагревателе; пластина обычно

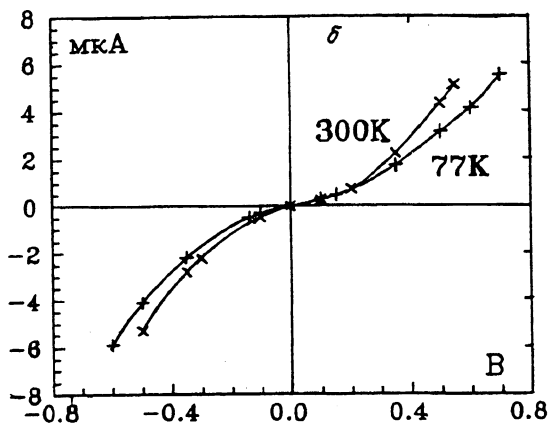
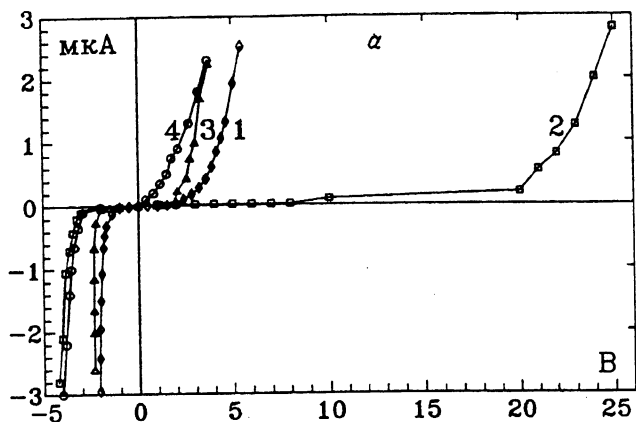


Рис. 2. ВАХ структуры СИМ (а) и СИС (б) при 300 и 77 К. Кривая 1 — Ag,  $d_{из} = 750 \text{ \AA}$ , 77 К; 2 — Ag,  $d_{из} = 1800 \text{ \AA}$ , 77 К; 3 — In,  $d_{из} = 750 \text{ \AA}$ , 77 К; 4 — Ag,  $d_{из} = 1800 \text{ \AA}$ , 300 К.

размещалась на расстоянии  $\sim 6 - 7$  мм от подложки в верхней трети плазменного факела.

Визуальные наблюдения в сканирующем электронном микроскопе показали, что пленка за пределами тени экрана содержит большое количество макрочастиц с размером до 2 мкм; на профилограмме также можно было видеть перепады на этой пленке вплоть до 6 мкм. Пленка, полученная в тени экрана и осажденная из тангенциальных диффузионных потоков плазмы, огибающих экран, имеет высококачественную зеркальную поверхность с очень редкими вкраплениями макрочастиц обычно  $(0..5) \text{ мм}^{-2}$  в зависимости от расстояния от края экрана. Скорость роста пленки под экраном существенно снижается — толщи-

на пленки вне тени  $\sim 1000$ , а в тени  $\sim 500$  Å. Количественный рентгено-спектральный микроанализ (КРСМА) пленок ВТСП и диэлектрика показал, что в тени экрана обе пленки имеют высокую степень гомогенности и соотношение элементов в них близко к стехиометрическому.

На рис. 1 показана конструкция исследуемых структур. Они изготавливались путем последовательного напыления слоев через смещенные кремниевые маски, полученные с помощью селективного анизотропного травления. Металлические контакты размером  $200 \times 200$  мкм для структур СИМ изготавливались из индия и серебра методом термического напыления через маски. Зависимость  $\rho(T)$   $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  слоев имела обычный характер с  $T_c \approx 91$  К и шириной перехода  $\sim 2$  К. Вольт-амперные характеристики (ВАХ) СИМ и СИС структур измерялись в импульсном режиме (длительность импульса 0.3...1 мс, частота 25 Гц) для уменьшения разогрева контактов.

Типичные ВАХ СИМ структур, расположенных в тени экрана при напылении, приведены на рис. 2, а (все структуры вне области тени всегда оказывались закороченными). При 77 К ВАХ имеют вид, аналогичный приведенному в [4,6]. Значение напряжения пробоя при положительном потенциале на металле значительно больше, чем при отрицательном, и для обеих полярностей сильно зависит от толщины пленки диэлектрика (кривая 1 для  $d = 750$  Å и кривая 2 — для  $d = 1800$  Å).

Величина работы выхода материала металлического контакта практически не сказывается на ВАХ (кривые 1 и 3 для серебряного и индиевого контактов с работой выхода 4.3 и 3.8 эВ соответственно). При комнатной температуре ВАХ почти симметрична, утечка начинается при малых напряжениях и очень резко растет при напряжении более 5 В.

ВАХ СИС структур (рис. 2, б) практически симметрична и почти не зависит от температуры, ток утечки начинается при очень малых напряжениях и резко растет при напряжении  $\sim 1.5$  В. Физическая природа явлений, определяющих такой характер ВАХ, неясна и требует специальных исследований. Возможно, такой характер ВАХ формируется процессами на контакте между металлом (или сверхпроводником в СИС структурах) и боковыми гранями больших частиц, внедренных в пленку  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  и выступающих из пленки  $\text{SrTiO}_3$ .

#### Список литературы

- [1] Hirata K. et al. // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 56. N 7. P. 683-685.
- [2] Furuyama M. et al. // Jap. J. Appl. Phys. 1990. V. 29. N 3. P. L459-L462.
- [3] Kingston J. et al. // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 56. N 2. P. 189-191.

- [4] *Xi X. et al.* // Appl. Phys. Lett. 1991. V. 59. N 26. P. 3470-3472.
- [5] *Xi X. et al.* // Phys. Rev. Lett. 1992. V. 68. N 8. P. 1240-1243.
- [6] *Fujii et al.* // Jap. J. Appl. Phys. 1992. V. 31. Pt 2. N 5B. P. L612-L615.
- [7] *Грегов И.В. и др.* // СФХТ. 1990. Т. 3. В. 8. Ч. 1. С. 1708-1711.
- [8] *Гапонов С.В. и др.* // ЖЭТФ. 1989. Т. 95. В. 3. С. 1086-1091.
- [9] *Иванов и др.* // СФХТ. 1992. Т. 5. В. 4. С. 724-731.

Физико-технический  
институт им.А.Ф.Иоффе РАН  
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию  
16 ноября 1993 г.

---