

СВЧ ПОВЕРХНОСТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ
СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК $Y-Ba-Cu-O$

О.Г. Вендик, М.М. Гайдук,
С.Ф. Карманенко, А. Карпюк,
Л. Ковалевич, А.Б. Козырев,
Ю.В. Лихолетов, А.П. Митрофанов,
В.Н. Назаров

Ориентированные пленки высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) представляют большой интерес для фундаментальных исследований и практических применений. Одним из перспективных направлений технологии получения пленок $Y-Ba-Cu-O$ является метод магнетронного распыления (МР). Вместе с тем в литературе СВЧ свойства таких пленок не описаны. В настоящей работе приведены результаты измерений СВЧ поверхностного сопротивления в сверхпроводящем и нормальном состояниях пленок $Y-Ba-Cu-O$, полученных методом МР на постоянном токе.

В качестве мишени использовалась дисковая керамическая пластина состава $Y-Ba-Cu-O$, имевшая $T_c \approx 91$ К. Магнетронная распылительная система обеспечивала на поверхности мишени индукцию магнитного поля $\bar{B} \approx 0.08$ Тл и размещалась в дополнительной геттерной камере. Распыление производилось в газовой смеси аргона и кислорода (30%) на нагретые подложки $SrTiO_3$ ориентации [100] и [111]. Применялись два основных технологических режима получения пленок $Y-Ba-Cu-O$. Один из них, режим А, характеризуется высокой скоростью роста V_p пленки (~ 20 нм/мин) при сравнительно низкой температуре подложки $T_{\text{п}} = (200..400)^\circ\text{C}$. После нанесения пленки характеризовались аморфной структурой и обладали высокими значениями удельного сопротивления при температуре ~ 300 К ($\rho_{300} \geq 10^3$ мк·Ом·см). Для формирования кристаллической структуры применялся отжиг пленок в потоке кислорода при температуре $\sim 900^\circ\text{C}$ в течение ~ 1 часа с медленным нагревом и охлаждением ($\sim 150^\circ\text{C}/\text{час}$). Температура, соответствующая полному исчезновению сопротивления — $T_{\text{св}}$, для пленок, полученных в режиме А (№ 1 и № 2 на рис. 1), составляла 65...75 К.

Технологический режим В отличается относительно высокой температурой $T_{\text{п}} = 650...700^\circ\text{C}$ и низкой скоростью роста пленок 8...12 нм/мин. После нанесения пленки охлаждались в среде кислорода без извлечения из вакуумной камеры со скоростью 15...20 $^\circ\text{C}/\text{мин}$. Критические параметры пленок, полученных в режиме В — №№ 3...6, приведены на рис. 1. В режиме В осуществляется эпитаксиальный механизм роста пленки, что проявляется при электронографических и рентгеноструктурных исследованиях. Рентгенограммы пленок $Y-Ba-Cu-O$, полученных на подложках $SrTiO_3$ [100], содержали рефлексы только типа {00К}, где К — 2, 3, 4 и т.д., свидетельствующие о перпендикулярном направлении оси с

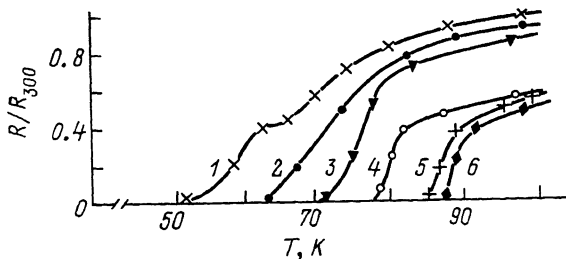


Рис. 1. Температурные зависимости сопротивления пленок $Y-Ba-Cu-O$ на постоянном токе. Образцы 1, 2 – режим А, образцы 3–6 – режим В.

орторомбической кристаллической решетки к поверхности подложки. Пленки, полученные на подложках $SrTiO_3$ [111], имели ось c , наклоненную к поверхности подложки, причем в плоскость подложки выходило межплоскостное направление пленки [112] или [113]. Исследования пленок методами электронной микроскопии и комбинационного рассеяния света свидетельствуют о различной степени блочности пленок $Y-Ba-Cu-O$, полученных в режиме В. Границами блоков являются микротрещины, дислокации, границы двойникования кристаллов. Характерные размеры блоков ориентированных пленок $Y-Ba-Cu-O$ определяются рядом причин, связанных с состоянием поверхности подложки $SrTiO_3$ и температурным режимом формирования пленок, и составляют $10^2 \dots 10^3$ мкм.

Пленки, полученные в режиме А, имеют удельное сопротивление $600 \dots 1200$ мк·Ом·см, отношение $R/R_{300} = (1 \dots 1.5)$, тогда как для пленок 3–6 значение R_{300} составляет $200 \dots 400$ мкОм·см, а $R/R_{300} = 2 \dots 3,2$. Температурные зависимости сопротивления пленок на постоянном токе (дающие информацию о T_c) приведены на рис. 1, а аналогичные зависимости поверхностного сопротивления R_{Π} на частоте 60 ГГц для тех же пленок – на рис. 2. Величина R_{Π} рассчитывалась по измерению собственной добротности цилиндрического резонатора с типом колебаний H_{011} [1]. При гелиевом уровне температур использовался сверхпроводниковый резонатор из ниобия (добротность $Q_0 \approx 7 \cdot 10^4$ при $T = 4.2$ К), а в диапазоне температур $10 \dots 30$ К резонатор из меди ($Q_0 \approx 1.5 \cdot 10^4$ при $T = 78$ К и $Q \approx 7 \cdot 10^3$ при $T = 300$ К). При измерениях одно из оснований резонатора заменялось исследуемой пленкой.

Сравнение приведенных на рис. 1 и 2 зависимостей на постоянном токе и на СВЧ показывает хорошую корреляцию результатов. Все пленки режима А с малым T_c и размытым переходом из нормального в сверхпроводящее состояние, высокими значениями и малым отношением R/R_{300} незначительно отличаются по величине поверхностного сопротивления в сверхпроводящем и нормальном состоянии. По сравнению с пленками режима А пленки, полученные

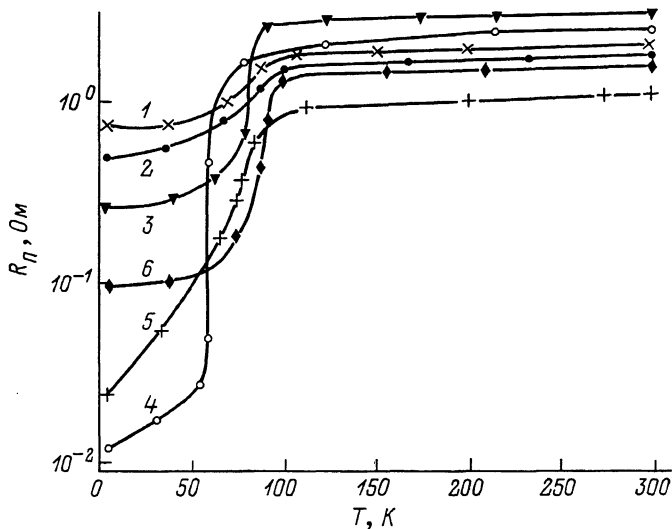


Рис. 2. Температурные зависимости поверхностного сопротивления пленок $Y-Ba-Cu-O$ на частоте $f = 60$ ГГц. Номера образцов соответствуют приведенным на рис. 1.

в режиме В, имели значительно меньшее значение R_n в сверхпроводящем состоянии.

Сравнение СВЧ поверхностного сопротивления моно- и поликристаллических пленок и сверхпроводящей керамики $Y-Ba-Cu-O$ с $R_{300} \sim 10^3$ мкОм·см [2] позволяет сделать вывод о том, что СВЧ потери в поликристаллических пленках определяются в основном потерями в межгранульных контактах. Ориентированные пленки (3-6) содержат гораздо меньшее количество границ зерен и дефектов структуры, чем поликристаллические образцы (1, 2), что и определяет их значения R_n . Интерес представляет образец № 4, имеющий наименьшее значение $R_n \sim 10^{-2}$ Ом при $T = 4.2$ К, что в несколько раз меньше R_n электротехнической меди при тех же температуре и частоте. То, что пленка № 4 с относительно низкой T_c имеет наименьшее значение R_n , обусловлено наиболее совершенной структурой образца по сравнению с остальными, представленными в работе. Поверхностное сопротивление является интегральной характеристикой, на которую определяющее влияние оказывает структура образца.

Таким образом, для практических применений на СВЧ следует использовать сверхпроводящие пленки не только с высокой T_c , но и с совершенной кристаллической структурой.

- [1] Б е л ь с к и М., В е н д и к О.Г., Г а й д у к о в М.М., К а р м а н е н к о С.Ф., К о з ы р е в А.Б. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 10. С. 2953-2958.
- [2] Б е л ь с к и М., В е н д и к О.Г., Г а й д у к о в М.М. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. Приложение. С. 172-175.

Ленинградский электротехнический институт им. В.И. Ульянова (Ленина)

Поступило в Редакцию 9 января 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 7

12 марта 1989 г.

05.4

ТЕРМОДЕСОРБЦИЯ КИСЛОРОДА
ИЗ ОБРАЗЦОВ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КЕРАМИКИ
СОСТАВА $YBa_2Cu_3O_{7-x}$

В.В. С е м и н, А.В. Н а з а р е н к о,
С.Э. Х а б а р о в

К настоящему времени установлено, что прокалка керамики на воздухе в интервале температур 673-1073 К приводит к обратимому выделению кислорода, и следовательно, к изменению стехиометрии их состава по O_2 [1-2]. Варьируя условия прокалки и последующего охлаждения, можно легко менять значения X , входящие в формулу $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, в пределах $0 \leq x \leq 1$. Изменение содержания кислорода в указанном выше интервале значений X сильно влияет на физические свойства керамики, и особенно на температуру перехода в сверхпроводящее состояние [3, 4]. Можно полагать, что наличие лабильного кислорода в составе ВТСП-керамики в значительной степени определяет их сверхпроводящие свойства. Для технического применения керамик в устройствах микроэлектроники представляет интерес изучение процесса десорбции лабильного кислорода из $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ керамики в вакуум.

Образцы были синтезированы по стандартной керамической технологии. Температура перехода в сверхпроводящее состояние была определена из температурной зависимости электропроводности, измеренной четырехзондовым методом, и равнялась 93 К.

Спектры термодесорбции измерялись на экспериментальной установке, изготовленной на базе масс-спектрометра МХ-1303. Температура образца в интервале 297-1123 К изменялась по линейному закону, скорость нагрева образца варьировалась от 0.1 К/сек до 0.5 К/сек.

Спектр термодесорбции кислорода образца, обезгаженного в вакууме $p \sim 1 \cdot 10^{-7}$ торр при температуре 297 К, представлен на рис. 1, причем до проведения измерения спектра образец не нагре-