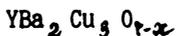


М. С. Маруня,  
Г. Г. Рывкина,  
Е. П. Набережная

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКОПЕРЕНОСА В ТОЛСТЫХ ВТСП-ПЛЕНКАХ



Экспериментальные данные по исследованию токонесящих характеристик толстопленочных ВТСП-покрытий необходимы для использования их в технических устройствах, а также при проведении теоретических расчетов. Измерение плотности критического тока  $j$  на постоянном токе сопряжено с омическим нагреванием образца и подводных к нему контактов. Исследования на импульсном токе позволяют снизить подводимую к образцу мощность и тем самым не только зафиксировать переход в сверхпроводящее состояние, но и дать информацию о так называемом "хвосте" перехода, отвечающем за величину внутризеренных токов в поликристаллических образцах.

Процессы токопередачи изучали на постоянном и импульсном токе в интервале температур 77–300 К с помощью модернизированной установки [1]. В схему установки введены дифференциальный помехозащищенный импульсный усилитель, пиковый детектор с запоминанием величины сигнала и устройство синхронизации. Амплитудно-частотная характеристика усилителя выбрана таким образом, чтобы сузить полосу пропускания до минимально возможной для точного измерения напряжения, улучшив шумовые характеристики усилителя. Устройство измерения импульсного напряжения имеет собственный шум не более 2 мкВ и позволяет измерять сигналы величиной более 5 мкВ. Коэффициент усиления выбран равным 1000, что дает возможность производить отсчет напряжения в непосредственной форме по вольтметру В7-16, показания которого в мВ соответствуют величине сигнала в мкВ.

Измерения импульсным методом проводили в двух режимах. Первый режим с постоянной амплитудой импульсов тока при медленном нагреве образца используется для изучения как основного перехода из сверхпроводящего состояния в нормальное, так и "хвоста" сопротивления при большой плотности тока. Второй режим, соответствующий снятию зависимости  $U(T)$  при постоянной температуре и увеличении амплитуды им-

пульсов тока, используется для определения момента появления сопротивления.

Синтез образцов осуществляли в кварцевой трубчатой печи, позволяющей производить обдув образцов кислородом, создавать поток инертного газа и автоматически поддерживать необходимый температурный режим [2].

В работе приводятся результаты изучения токовых характеристик двух серий ВТСП-пленок  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , полученных по различным технологиям. Пленка 1 получена путем отжига при температуре 980 С в атмосфере воздуха с последующим низкотемпературным (450–500 С) отжигом в атмосфере кислорода. Пленка 2 получена путем частичного плавления функционального материала в токе аргона (предельная температура отжига – 1025 С) с последующим охлаждением в токе кислорода.

Изучение морфологии пленок в оптическом микроскопе показало, что микроструктуры пленок различаются как по величине кристаллитов (таблица), так и по их форме. Для кристаллитов пленки 1 характерна форма дисков, а в пленке 2 кристаллиты имеют четкую огранку, форму вытянутых параллелепипедов, границы между зернами размыты. Общей для обеих пленок является беспорядочная ориентация зерен, благодаря чему наличие слабых связей между ними велико, что сказывается на величине межзеренного критического тока для обоих образцов.

Характеристики пленок ИБК состава 1-2-3, полученных по различным технологиям

Образец	Толщина d, мкм	Средний размер зерна, мкм	$T_c, K$	$\Delta T_c, K$	$I_{c1}, A/cm^2$	$I_{c2}, A/cm^2$	Кислородный индекс
1	30±20	5–10	91	1,5	35±2	1,2 · 10 <sup>3</sup>	6,89
2	40±5	2–3	90	2,0	500±25	1,5 · 10 <sup>4</sup>	6,96

На рисунке представлены температурные зависимости электросопротивления  $R/R_{100}$  ( $R_{100}$  – электросопротивление при 100К), полученные при разных значениях амплитуды импульсного тока для исследованных образцов.

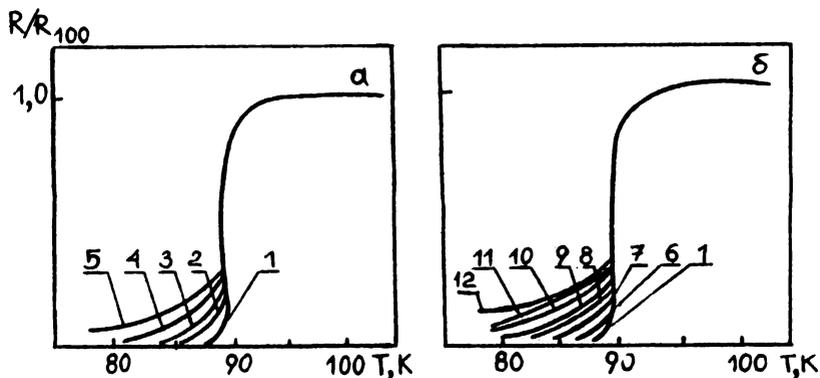


Рис. Политермы приведенного электросопротивления ( $R/R_{100}$ ) пленок 1(а) и 2(б) при различных плотностях токов:  
 5(1), 12(2), 18(3), 25(4), 35(5), 50(6), 55(7),  
 175(8), 270(9), 425(10), 600(11), 800(12)  $A/cm^2$

Как видно из рисунка, при увеличении амплитуды импульсного тока 1 растет "хвост" сопротивления, причем для пленки 1 это происходит уже при  $j = 12 A/cm^2$ , в то время как для пленки 2 данный эффект не наблюдается вплоть до  $j = 50 A/cm^2$ . Следует отметить, что для  $j = 5 A/cm$  кривые зависимости  $R/R_{100}(T)$  на постоянном и импульсном токе совпадают.

При достижении плотностью тока значения  $j=j_c$  джозефсоновские связи между зернами разрушаются, но ток в самих зернах продолжает существовать. Значение тока  $j$  определяется из пересечения кривых  $R/R(T)$  с осью температур. В таблице приведены плотности межзеренных критических токов при  $T=77 K$ .

Для описания температурной зависимости  $j$  используют теоретические модели, учитывающие наличие слабых джозефсоновских связей различных типов. При увеличении амплитуды импульсного тока  $j$  происходит постепенное разрушение сверхпроводимости в самих зернах пленок, что приводит к насыщению зависимости  $R/R_{100}(T)$ . При достижении амплитуды импульсного тока  $j=j_{c,ток}$  в сверхпроводящих зернах полностью разрушается, и образец переходит в нормальное состояние. Зна-

чение  $J_{св}$  оценивали по методу, предложенному в работе У. Макгинниса, Э. Джейкобса, К. Риза и Т. Джонса [3].

Среднюю точку перехода в сверхпроводящее состояние  $T_c^{\text{ср}}$  определяли по критерию  $(0,1-0,9) R/R_{100}$ . Смещение этой точки в сторону низких температур вызывается разрушением тока в сверхпроводящих зернах. Построив зависимости смещения средней точки перехода  $T_c^{\text{ср}}$  при разных плотностях тока и экстраполируя эту зависимость к  $T=77\text{K}$ , можно оценить  $J_{св}$  для пленок 1 и 2. Значения полученных величин внутризеренных токов приведены в таблице, они хорошо согласуются со значениями токов, полученных путем изучения магнитных характеристик этих образцов.

Таким образом, изучение явлений токопереноса позволяет сделать вывод об улучшении токовых характеристик в образцах, полученных путем расплавления пленки, за счет улучшения связей между зернами и сцепления с подложкой.

#### Литература

1. Маруня М.С., Набережнева Е.П., Зотов Ю.Н., Нагибин А.В. Методическое обеспечение синтеза и исследования ВТСП - керамик и пленок//Актуальные проблемы совершенствования подготовки инженеров-педагогов. Сб. науч. тр./Свердл. инж.-пед. ин-т. Свердловск, 1991. С.106-113.
2. Маруня М.С., Кузнецов Ю.С., Зотов Ю.Н. Цифровой блок управления разверткой температуры печи//Разработка и применение средств вычислительной техники: Тез. докл. конф. Свердловск, 1990, С.17.
3. Определение температуры перехода и критического тока в высокотемпературных сверхпроводниках методом импульсного тока/Макгиннис У., Джейкобс Э., Риз К., Джонс Т.// ПНИ. 1990 N 3. С.30-35.