

НЕУПРУГИЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО
МЕТАЛЛОКСИДА $YBa_2Cu_3O_{7-x} + xZrO_2$

В.Г. Барьяхгар, В.Н. Варюхин,
С.Б. Стронгин

1. Образцы высокотемпературных сверхпроводников имеют повышенную хрупкость и низкие прочностные характеристики. Поэтому улучшение пластических и прочностных свойств высокотемпературных металлооксидов является одной из наиболее важных задач физического материаловедения. Проблема осложняется тем, что при улучшении механических характеристик образцов необходимо сохранить их сверхпроводящие свойства. Одним из путей решения этой проблемы является поиск необходимых добавок, вводимых в систему.

В настоящей работе приведены данные исследования неупругих и механических характеристик образцов системы $YBa_2Cu_3O_{7-x} + xZrO_2$ в температурном интервале 77–1200 К.

2. Образцы для исследований готовились следующим образом. К смеси компонентов Y_2O_3 , $BaCO_3$ и CuO , взятых в соотношении, необходимом для получения системы $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, добавлялся оксид циркония в количестве 0.1 – 30% вес. Синтез проводился при температурах 950–980 °С в течение 12 часов. Из полученного материала изготавливались с помощью гидростатического сжатия величиной $15 \cdot 10^2$ МПа пластины размерами $1 \cdot 15 \cdot 110$ мм. Спекание проводилось по тому же режиму, что и синтез, но в атмосфере кислорода. После охлаждения до комнатных температур ($T = 1$ К/мин) вырезались образцы размерами $1 \cdot 1 \cdot 110$ мм для изучения электрических и неупругих свойств.

Измерение температурных спектров динамического модуля сдвига и акустических потерь проводилось на полуавтоматической установке типа обратный крутильный маятник. Частота крутильных колебаний была близка к 1 Гц, амплитуда деформации $1 \cdot 10^{-5}$, скорость нагрева 2 К/мин. Температура и ширина перехода в сверхпроводящее состояние определялись из температурной зависимости электросопротивления.

3. Исследования показали, что введение оксида циркония в количестве до 15% вес. незначительно уменьшает температуру перехода (с 92 до 90 К). Ширина перехода составляла 1–2 К различных концентраций ZrO_2 . При $x > 20\%$ вес. в системе отсутствовал переход в сверхпроводящее состояние при температурах выше 77 К. Введение в систему $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ добавок ZrO_2 приводит к улучшению механических и упругих характеристик получаемых образцов. Для лучшего состава ($x=15\%$ вес.) увеличение модуля сдвига при комнатной температуре составило 50%, микротвердость

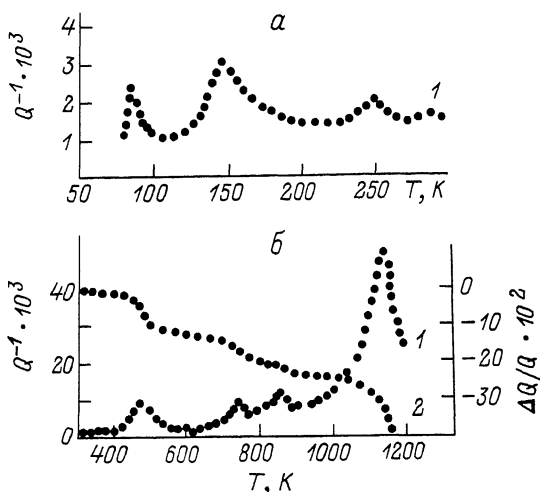


Рис. 1. Температурные спектры внутреннего трения (1) и модуля сдвига (2) образцов системы $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} + xZrO_2$ ($x = 15\%$ вес.).

увеличилась в 1.6 раза. Более того, образцы были устойчивы к воздействию влаги и длительное время (более полугодя) сохраняли хорошо воспроизводимые характеристики сверхпроводящего перехода. Температурный спектр акустических потерь и динамического модуля сдвига для системы $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} + xZrO_2$ ($x = 15\%$ вес.) приведен на рис. 1. Он характеризуется наличием большого количества максимумов, имеющих различную физическую природу. Обратим внимание на некоторые температурные интервалы. Прежде всего необходимо отметить, что вблизи температуры перехода в сверхпроводящее состояние наблюдается максимум, который расположен в сверхпроводящей фазе. Максимум внутреннего трения при температуре 1070 К связан с фазовым переходом из орторомбической решетки в тетрагональную. Введение Zr смещает этот переход в сторону высоких температур (на 120 К при $x = 15\%$ вес.). Этот факт свидетельствует о том, что атомы Zr входят в решетку $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

Существенными изменениями упругих и неупругих характеристик системы $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} + xZrO_2$ характеризуется температурный интервал 400–500 К. В этом интервале температур наблюдается достаточно широкий максимум внутреннего трения и существенное уменьшение динамического модуля сдвига. Выполненные в этом температурном интервале исследования зависимости акустических потерь от амплитуды приложенного напряжения показали, что при температурах, близких к 470 К, наблюдается немонотонное изме-

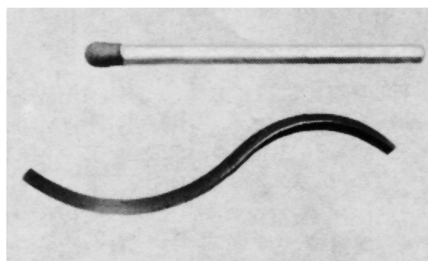
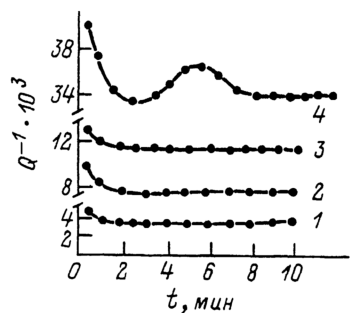


Рис. 2. Временные зависимости внутреннего трения образцов системы $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} + x ZrO_2$ ($x=5\%$ вес.) при различных температурах: 1 - 300, 2 - 370, 3 - 570, 4 - 480 К.

Рис. 3. Внешний вид образца системы $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} + x ZrO_2$ ($x=15\%$ вес.) после одноосного сжатия.

нение внутреннего трения и появляется значительный гистерезис при уменьшении амплитуды деформации. При этих температурах обнаружен необычный, осциллирующий характер временных зависимостей внутреннего трения (рис. 2). Временные зависимости внутреннего трения исследовались после 5-ти минутного воздействия упругих колебаний повышенной амплитуды ($5-8 \cdot 10^{-5}$), выводящих систему из состояния равновесия.

Характерной особенностью исследуемой системы является тот факт, что в области высоких температур (1000–1100 К) для определенных концентраций ZrO_2 ($x > 10\%$) появляется возможность пластического течения при небольших значениях деформирующего напряжения. Явление резкого увеличения пластичности при повышенных температурах позволяет производить целенаправленное формоизменение исследуемых образцов. В качестве примера на рис. 3 показан образец после пластической деформации путем одноосного сжатия вдоль оси образца. Температура, при которой производилась деформация, составляла 1100 К. Аналогичным образом можно было закрутить образец на десятки градусов без видимых нарушений сплошности материала. После охлаждения до комнатных температур деформированные образцы сохраняли полученную при деформации форму, а исследования температурных зависимостей электросопротивления показали, что сверхпроводящие свойства при этом нарушены не были. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о возможности изготовления изделий сложной формы из металлооксидного сверхпроводника системы $YBa_2Cu_3O_{7-\delta} + x ZrO_2$.