

# ДИАГНОСТИКА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДЯЩИХ ПЛЕНОК $YBa_2Cu_3O_x$ С ПОМОЩЬЮ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕЯНИЯ

В.Н. Баграташвили, В.Н. Буримов,  
 В.Н. Денисов, В.Б. Гинодман,  
 Л.Н. Жерихина, А.Н. Жерихин,  
 Б.Н. Маврин, В.Б. Подобедов,  
 М.М. Родин, А.П. Свиридов,  
 С.И. Цыпина, А.М. Цховребов

В настоящее время предложено несколько методов приготовления тонких пленок высокотемпературных сверхпроводников [1, 2]. Для практических приложений необходимо развитие диагностических методов дистанционного контроля сверхпроводящих свойств синтезируемых пленок. В настоящей работе для анализа сверхпроводящих свойств пленок  $YBa_2Cu_3O_x$ , полученных лазерным распылением керамического материала, предложено использовать метод комбинационного рассеяния света (КРС). Показано, что с помощью КРС можно получить информацию о фазовом составе и преимущественной ориентации пленок, а также найти оптимальные условия их синтеза. Существенной особенностью метода КРС является возможность неразрушающего дистанционного контроля и высокого пространственного разрешения (несколько микрон).

Напыление пленок осуществлялось в вакуумной камере с помощью эксимерного лазера ЕМС-203 ( $\lambda = 248$  нм,  $E = 0.35$  Дж). В камере располагались мишень из высокотемпературной сверхпроводящей керамики  $YBa_2Cu_3O_x$  и подложка ( $SrTiO_3$ ,  $BaF_2$ , фиабит). Для обеспечения равномерности выработки вещества мишень вращалась. Плотность сфокусированного на мишень излучения достигала  $10^9$  Вт/см<sup>2</sup>. С помощью печи подложка разогревалась до температур  $\sim 1000$  °С. Напыление производилось в атмосфере кислорода при давлении  $\sim 10^{-1}$  Торр. После окончания напыления подложка постепенно охлаждалась до комнатной температуры. Толщина пленок составляла  $\sim 1$  мкм. Измерения удельного сопротивления пленок производилось четырехконтактным методом. Лучшие из полученных пленок имели  $T_C \approx 90$  К и ширину перехода (по уровню 0.1–0.9)  $\Delta T_C \leq 1^\circ$ . Критические токи  $I_K$  пленок при  $T = 77$  К составляли  $\sim 10^5$  А/см<sup>2</sup>. Регистрация спектров КРС приготовленных пленок осуществлялась на многоканальном спектрометре, описанном в [3], при скользящем падении сфокусированного излучения лазера ( $\lambda = 514.5$  нм,  $P = 20$  мВт) в геометрии рассеяния „на отражение“.

Типичные спектры КРС монокристаллов ромбической фазы, керамики и различных пленок  $YBa_2Cu_3O_x$  в области  $300-700$  см<sup>-1</sup> приведены на рис. 1. Из поляризованных спектров монокристаллов (рис. 1, а, б) можно заключить, что если рассеивающая поверх-

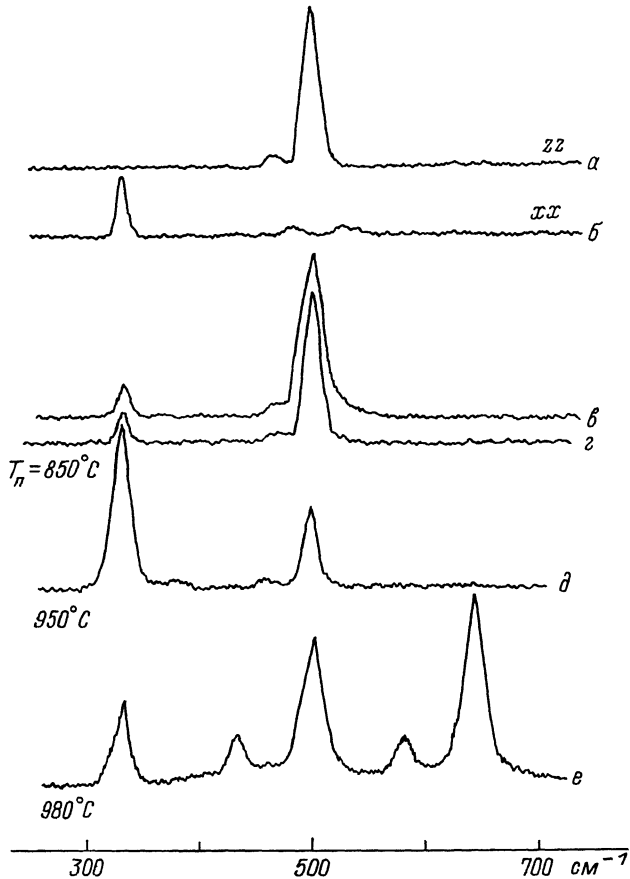


Рис. 1. Спектры КРС монокристаллов (а, б), керамики (в) и различных пленок (г-е)  $YBa_2Cu_3O_x$ . Для спектров монокристаллов указаны компоненты тензора КРС ( $zz$  и  $xx$ ).

ность параллельна плоскости  $Oxy$ , в спектре присутствует интенсивная полоса  $336\text{ см}^{-1}$  (рис. 1, б), если же эта поверхность содержит ось  $Oz$ , полоса  $336\text{ см}^{-1}$  в спектре отсутствует, но появляется более интенсивная полоса  $\sim 500\text{ см}^{-1}$  (рис. 1, а). В случае керамики ( $T_C \approx 90\text{ К}$ ), состоящей из мелкодисперсионных различно ориентированных микрокристаллов, в спектре (рис. 1, в) появляются обе полосы и соотношение интенсивностей этих полос  $N = I(500)/I(300) \approx 5$ . Мы предлагаем использовать отношение интенсивностей  $N$  в спектрах КРС пленок для оценки ориентированности пленок, а затем исследовать связь между ориентированностью пленки и ее сверхпроводящими свойствами. Из анализа спектров на рис. 1, а-в следует, что в случае полностью разупоря-

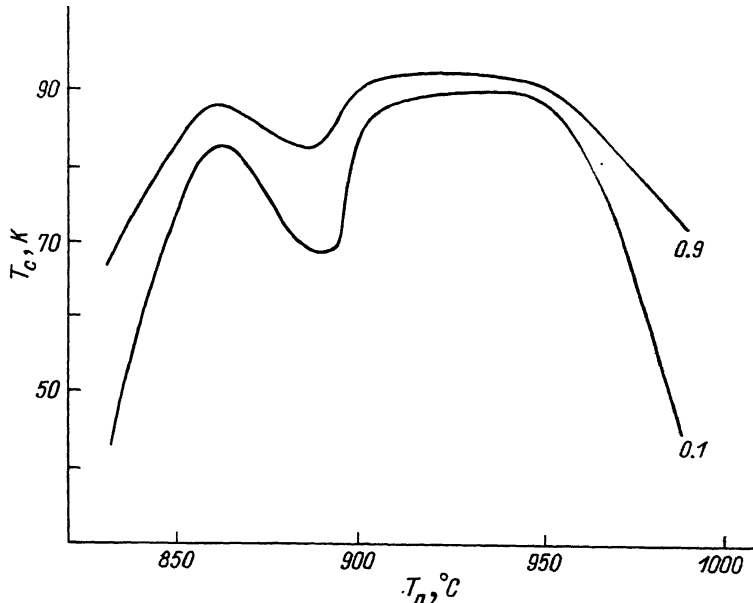


Рис. 2. Зависимость температуры сверхпроводящего перехода  $T_c$  (по уровню 0.1 и 0.9) от температуры подложки  $T_n$  при напылении.

доченной пленки можно ожидать  $N \approx 5$ . При преимущественной ориентации микросталлов так, что кристаллографическая плоскость  $Oxy$  в них параллельна поверхности пленки,  $N < 5$ , если же ось  $Oz$  большинства микросталлов ориентирована параллельно поверхности пленки,  $N > 5$ .

Мы исследовали спектры КРС 20 пленок, полученных при различных температурах  $T_n$  нагрева подложки (от 830 до 980 °C). При  $T_n < 960$  °C спектры пленок содержали полосы, близкие по частотам к полосам спектров керамики и ромбических монокристаллов, на основании чего можно сделать предположение о ромбической фазе кристаллитов в напыленных пленках. Положение высокочастотной полосы  $502 \text{ см}^{-1}$  характерно для ромбической фазы [4] и свидетельствует о высокой концентрации кислорода ( $x > 6.8$ ).

В пленках КРС исследованных пленок  $N$  изменялось от 0.5 до 5 (рис. 1, г-е), причем в большинстве случаев  $N$  было близким к 1, что указывает на преимущественную ориентацию данных пленок в плоскости  $Oxy$ . Например, по соотношению интенсивностей в спектре на рис. 1, д можно оценить долю кристаллитов  $\sim 90\%$  ( $N = 0.5$ ) с ориентацией  $Oxy$  параллельно поверхности пленки. Отметим также, что вращение пленок вокруг нормали к поверхности не изменяло величины  $N$ , что свидетельствует об изотропном распределении осей  $Ox$  и  $Oy$  кристаллитов в плоскости пленки.

Следует отметить корреляцию между величиной  $N$  в спектрах КРС и шириной сверхпроводящего перехода  $\Delta T_c$ . Мы обнаружи-

ли, что пленки с более узким переходом ( $\Delta T_C = 1-2^\circ$ ), как правило, характеризуются спектром КРС с  $N = 0.5-1$  (рис. 1, д). Образцы, у которых  $N \approx 5$  (рис. 1, г), т.е. по структуре близкие к мелкодисперсной керамике, имеют ширину перехода, достигающую десятков градусов.

Представляет интерес исследовать зависимость  $\Delta T_C$  и спектров КРС от температурных условий приготовления пленок. Оказалось (рис. 2), что наименьшая ширина  $\Delta T_C$  сверхпроводящего перехода достигается в пленках, приготовленных при  $T_{\text{п}} \approx 950^\circ\text{C}$ , и она увеличивается как при более низких, так и при более высоких температурах  $T_{\text{п}}$ . Как отмечалось выше, изменение  $\Delta T_C$  в зависимости от  $T_{\text{п}}$  однозначно отражается на спектрах КРС (рис. 1, г-е). При этом для  $T_{\text{п}} < 950^\circ\text{C}$  увеличение  $\Delta T_C$  можно связать с заметным уменьшением доли кристаллитов, имеющих ориентацию плоскости  $Oxy$  параллельно поверхности пленки, для пленок с  $T_{\text{п}} > 950^\circ\text{C}$  преимущественная ориентация уменьшается в меньшей степени ( $N = 1-1.5$ ). Однако в пленках с  $T_{\text{п}} > 950^\circ\text{C}$  в спектрах КРС появляются дополнительные полосы 430, 584 и  $640\text{ см}^{-1}$  (рис. 1, е), характерные для несверхпроводящей фазы  $BaCuO_2$  [5]. Поэтому увеличение  $\Delta T_C$ , т.е. ухудшение сверхпроводящих свойств для таких пленок, можно связать с образованием диэлектрической фазы  $BaCuO_2$  при высоких температурах  $T_{\text{п}}$ , которая располагается, как правило, на границах зерен  $YBa_2Cu_3O_x$  [6].

Таким образом, наилучшими параметрами (самая высокая  $T_C$  и самый узкий интервал  $\Delta T_C$ ) обладают пленки с преимущественной ориентацией плоскости  $Oxy$  кристаллитов параллельно поверхности. Показано, что спектроскопия КРС является эффективным неразрушающим диагностическим методом определения преимущественной ориентации пленок и фазового состава, а также зависимости этих свойств от технологических условий приготовления пленок.

## Л и т е р а т у р а

- [1] M o n g M., L i o n S.N., K w o J., D a v i d - s o n B.A. - Appl. Phys. Lett., 1987, v. 51, p. 694-697.
- [2] Головашкин А.И., Екимов Е.В., Красно- свободцев С.И., Печень Е.В. - Письма в ЖЭТФ, 1988, т. 47, в. 3, с. 157-159.
- [3] Денисов В.Н., Маврин Б.Н., Подобе- дов В.Б. - ЖЭТФ, 1987, т. 92, с. 1855-1867.
- [4] Александров И.В., Быков А.Б., Гонча- ров А.Ф., Денисов В.Н., Маврин Б.Н., Мельников О.К., Подобедов В.Б. - Письма в ЖЭТФ, 1987, т. 47, в. 4, с. 184-187.
- [5] R o s e n H., E n g l e r E.M., S t r a n d T.C., L e e V.Y., B e t h u n e D. - Phys. Rev., 1987, v. 36B, N 1, p. 726-728.

[6] Clark G.I., Legoues F.K., Marwick A.D., Laibowitz R.B., Koch R.- Appl. Phys. Lett., 1987, v. 51, N 18, p. 1462-1464.

Институт спектроскопии  
АН СССР

Поступило в Редакцию  
18 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 22

26 ноября 1988 г.

ДЕТЕКТИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА  
ДЖОЗЕФСОНОВСКОГО КОНТАКТА НА ОСНОВЕ  
 $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  ПРИ  $T = 4.2$  К

А.А. В е р е в к и н, И.Э. Г р а б о й,  
В.А. И л ь и н, А.Р. К а у л ь, В.С. Э т к и н

С появлением высокотемпературных сверхпроводящих (ВТСП) соединений возникает вопрос об их использовании в приемных устройствах СВЧ-диапазона на основе эффекта Джозефсона. В зависимости от того, что является приоритетным для конкретного устройства, — простота эксплуатации или предельно низкий уровень шумов, — должно применяться охлаждение контакта до азотных или гелиевых температур соответственно. В том и другом случаях преимуществом джозефсоновских контактов из высокотемпературных сверхпроводников, имеющих значения энергетической щели, более высокие, нежели у традиционных материалов [1], является увеличение высокочастотной границы детектирования.

Технологические трудности пока препятствуют изготовлению тонкопленочных интегральных джозефсоновских переходов на основе ВТСП-керамик, пригодных для применений в СВЧ-устройствах. Поэтому представляется целесообразным провести исследования детектирования электромагнитного излучения на точечных контактах из ВТСП-керамики, т.к. такие контакты из традиционных сверхпроводников успешно использовались в СВЧ-технике (см. [2]).

Детектирование СВЧ-излучения джозефсоновским контактом из  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  наблюдалось в [3], однако количественное изучение этого эффекта, насколько нам известно, не проводилось. Целью настоящей работы являлось исследование детектирующих свойств сверхпроводящего точечного контакта (СТК) из  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ , включенного в схему широкополосного детектора 8 мм диапазона волн.

Конструкция детекторной камеры аналогична описанной в [4]. СТК представлял собой контакт керамика-керамика, выполненный из материала с температурой перехода  $T_c = 92.5$  К и  $\Delta T_c \approx 2$  К, изготовленного по методике, описанной в [5]. Настройка контакта производилась при комнатной температуре, затем макет охлаждался до температуры жидкого гелия. Измерения проведены на контактах с сопротивлениями  $R = 100-300$  Ом. Согласование СТК с усилителем низкой частоты осуществлялось с помощью высокодобротного перестраи-