

## МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ПЛЕНКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ С ПЕРОВСКИТНОЙ СТРУКТУРОЙ

А.И.Головашкин, Е.В.Екимов, С.И.Красновободцев.  
Е.В.Печень

Получены монокристаллические пленки сверхпроводников  $M\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  ( $M = \text{Y}, \text{Eu}, \text{Ho}$ ) с  $T_K = 90,5 - 91$  К при ширине резистивного перехода  $0,5 - 1$  К. Резкий и полный диамагнитный переход наблюдается вблизи 90 К. Удельное сопротивление при 100 К составляет  $40 - 100$  мкОм·см. Критический ток в жидком азоте превышает  $10^6$  А/см<sup>2</sup>.

При проведении физических исследований, направленных на изучение природы высокотемпературной сверхпроводимости, с успехом используются массивные поликристаллические и монокристаллические образцы металлооксидных сверхпроводников <sup>1, 2</sup>. Однако решение целого ряда прикладных и фундаментальных физических проблем сталкивается с необходимостью создания пленочных образцов высокого качества, в том числе монокристаллических пленок этих соединений. В настоящей работе методом импульсного лазерного распыления получены монокристаллические пленки  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ,  $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  и  $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  с ориентацией направления  $[001]$  перпендикулярно их плоскости.

При получении пленок высокотемпературных сверхпроводников нами применялся разработанный в работах <sup>3, 4</sup> метод синтеза, особенностью которого является то, что при толщине пленок  $0,1 - 1$  мкм осаждение занимает от  $0,5$  до нескольких минут, причем дополнительная термообработка не требуется. Использовался твердотельный лазер с длительностью импульсов  $10$  нс и частотой следования  $50$  Гц. Пленки наносились на разогретые монокристаллические подложки  $\text{SrTiO}_3$ , поверхность которых перпендикулярна кристаллографической оси  $[100]$ .

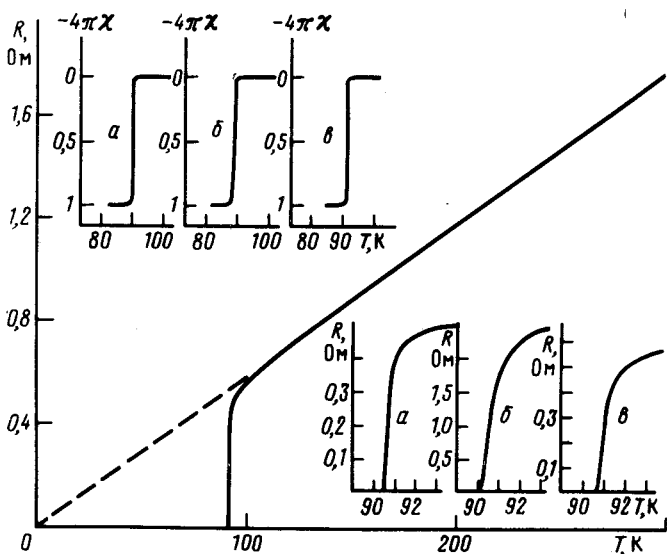


Рис. 1. Температурная зависимость сопротивления монокристаллической пленки  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ . На нижней вставке показаны кривые  $R(T)$  в области сверхпроводящего перехода для монокристаллических пленок  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  (а),  $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  (б) и  $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  (в). На верхней вставке приведены температурные зависимости магнитной восприимчивости для этих же образцов

На рис. 1 приведена температурная зависимость сопротивления  $R(T)$  одной из полученных монокристаллических пленок  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ , измеренная четырехконтактным методом. Измерительный ток величиной  $100$  мкА пропускался в направлении  $[110]$ . Как видно из рисунка, экстраполяция линейной зависимости  $R(T)$  в нормальном состоянии к значению  $T = 0$  дает  $R(T) = 0$ . Удельное сопротивление при  $T = 100$  К составляет  $40 - 60$  мкОм·см. Зависимость  $R(T)$  в области сверхпроводящего перехода показана в увеличенном масштабе на

нижней вставке к рис. 1 (кривая *a*). Полное исчезновение сопротивления наблюдается при 90,4 К. Критическая температура  $T_K$  составляет 90,7 К. Ширина перехода по уровням 10 – 90% сопротивления вблизи перехода не превышает 0,5 К. Температурная зависимость магнитной восприимчивости  $\chi(T)$  для этого же образца, измеренная в переменном магнитном поле амплитудой 6,5 мЭ и частотой 317 Гц, показана на верхней вставке к рис. 1 (кривая *a*). Образец переходит в диамагнитное состояние скачком при температуре 90 К.

Зависимости  $R(T)$  в области сверхпроводящего перехода для монокристаллических пленок  $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  и  $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  приведены на нижней вставке к рис. 1 (кривые *b* и *в*, соответственно), а  $\chi(T)$  для этих же образцов – на верхней вставке.  $T_K = 90,5$  К для европиевого соединения и 91 К для гольмиевого. Сопротивление исчезает при 90 К в первом случае и при 90,7 К во втором. Удельное сопротивление пленки  $\text{EuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  вблизи перехода – 100 мкОм·см, а  $\text{HoBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  – 70 мкОм·см. Резкий и полный диамагнитный переход происходит при температурах 89 – 91 К.

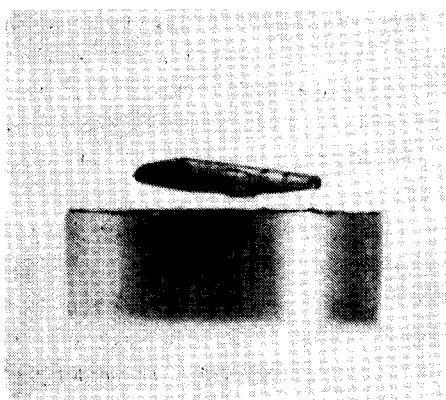


Рис. 2. Левитирующая над кольцевым магнитом монокристаллическая пленка  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ , осажденная на подложку титаната стронция. Температура близка к 90 К

Критический ток пленки  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ , измеренный по возникновению на узкой полоске напряжения 1 мкВ, составляет при температуре кипения жидкого азота  $1 \cdot 10^6$  А/см<sup>2</sup> (значение может быть несколько заниженным из-за выделения в токовых контактах мощности около 10 Вт). Охлажденная в жидком азоте и помещенная над магнитом в поле 0,1 – 1 кЭ, пленка левитирует с подложкой, масса которой в  $10^3$  –  $10^4$  раз превышает массу самой пленки. Фотоснимок, выполненный при проведении такого опыта, приведен на рис. 2. Пленка нанесена на нижнюю поверхность подложки. Снизу на образце видна капля сконденсировавшегося кислорода.

На рис. 3 показана рентгеновская дифрактограмма одного из образцов  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ , полученная с использованием излучения  $K_\alpha$  меди. На дифрактограмме присутствуют лишь отражения различных порядков от плоскостей (001) пленки и (100) подложки. Пленки являются монокристаллическими, причем при использовании подложек данной ориентации ось *c*, как было указано выше, направлена перпендикулярно плоскости образца. Присутствие следов посторонних фаз, а также включений кристаллитов с иной ориентацией не обнаружено.

В поликристаллических пленках, полученных нами на подложках из ниобата лития с использованием аналогичных режимов осаждения, критический ток и проводимость в нормальном состоянии были более низкими, чем в монокристаллических, выращенных на  $\text{SrTiO}_3$ . Однако в таких образцах удавалось достигать на 1 – 1,5 К более высоких значений  $T_K$  (ширина перехода – 1,5 К, полная сверхпроводимость – при 89 К). Это свидетельствует о сущест-

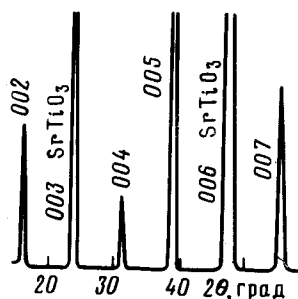


Рис. 3. Рентгеновская дифрактограмма монокристаллической пленки  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$

венном влиянии подложки  $\text{SrTiO}_3$  на структуру пленки, не ограничивающемся ее ориентирующим воздействием. В заключение отметим, что первые же опыты по синтезу пленок

$\text{LuBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  позволили получить монокристаллические образцы с  $T_K = 87,5$  К.

Таким образом, развитие метода импульсного лазерного распыления<sup>3, 4</sup> позволило осуществить эпитаксиальный рост монокристаллических пленок различных перовскитоподобных высокотемпературных сверхпроводящих соединений с низким удельным сопротивлением в нормальном состоянии и высокими критическими параметрами.

#### Литература

1. *Bednorz J.C., Müller K.A. Z. Phys., 1986, 64, 189.*
2. *Wu M.K. et al. Phys. Rev. Lett., 1987, 58, 908.*
3. *Головашкин А.И., Екимов Е.В., Красносвободцев С.И. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 46, Приложение, с. 200.*
4. *Головашкин А.И., Красносвободцев С.И., Печень Е.В., Родин В.В. КСФ, 1987, № 9, с. 39.*

Физический институт им. П.Н.Лебедева  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
17 декабря 1987 г.