

05.4  
©1995

## ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЕ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЕ СОЕДИНЕНИЕ $YBa_2Cu_3Se_7$ с $T_c = 371$ К

*В.Д.Шабетник, С.Ю.Бутузов, В.И.Плаксий*

Создание действительно высокотемпературных сверхпроводников, проявляющих сверхпроводящие свойства при температурах существенно выше комнатной, является насущной задачей.

Широко известно соединение  $YBa_2Cu_3O_7$  с температурой перехода в сверхпроводящее состояние порядка 90 К, относящееся к оксидному медьсодержащему сверхпроводнику на основе иттриево-бариевой керамики [1]. Данное соединение имеет кристаллическую структуру, которая близка к структуре перовскита. Невысокая температура перехода обусловлена появлением в кристаллической структуре кислород-пероксодной цепочки  $O_2^{-2}$ .

С целью повышения температуры перехода в сверхпроводящее состояние в соединение, содержащее в основе иттрий, барий и медь, введен селен при следующем соотношении ингредиентов (вес. %): иттрий — 7.7–8.0; барий — 15.4–16.0; медь — 23.1–24; селен — 52.3–53.9, т. е. химическая формула соединения  $YBa_2Cu_3Se_{7-x}$ , где  $x$  — нарушение стехиометрии Se, меняется от 0 до 0.5.

В синтезированном по оригинальной технологии соединении методами рентгеноструктурного анализа обнаружено, что элементарная ячейка относится к ромбической сингонии и в ней:

— атомы меди с координационным числом, равным 5, расположены в центре квадратов, образующих двумерные слои. Эти квадраты являются основанием пирамид, в вершинах которых расположены атомы селена;

— атомы меди с координационным числом 4 имеют селенидное окружение в виде плоского квадрата и образуют линейные цепочки вдоль оси "b" путем соединения таких квадратов вершинами. Атомы селена, входящие в цепочку и находящиеся в вершинах оси "c", являются одновременно вершинами пирамид;

— ионы бария, как и меди, расположены вдоль оси "c" с ориентацией по оси "b", при этом ионы бария локализованы внутри вышеуказанных слоев меди и селена;

— ионы иттрия расположены вдоль оси "c" с ориентацией по оси "b" между двумерными слоями меди и селена.

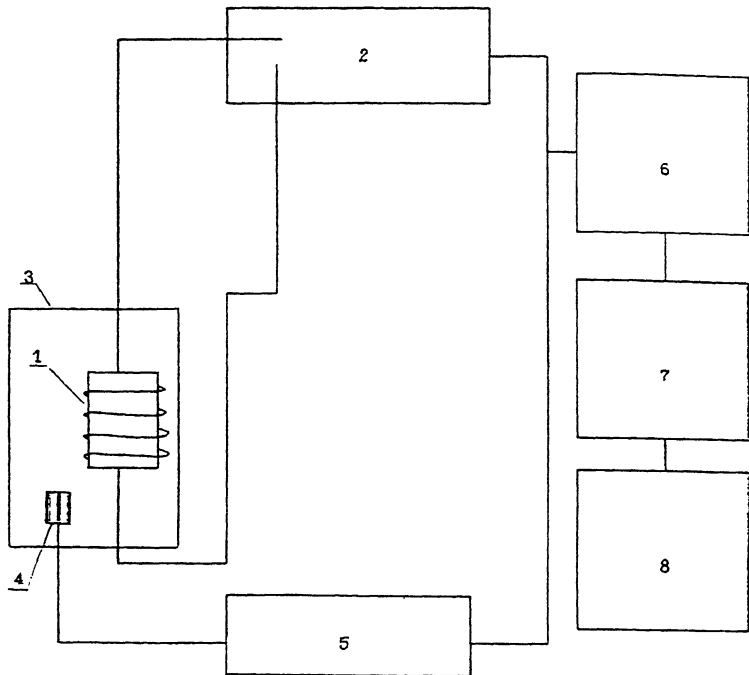


Рис. 1.

Для доказательства наличия сверхпроводящих свойств была разработана установка, позволяющая фиксировать температуру перехода в сверхпроводящее состояние  $T_c$  по изменению знака магнитной восприимчивости и скачку сопротивления исследуемого материала.

Структурная схема установки представлена на рис. 1. Полая катушка индуктивности 1 подключалась к измерителю сопротивления  $R$ , емкости  $C$  и индуктивности  $L$  типа Е7-12 2, включенному в режим измерения  $RL$ . При этом катушка стационарно устанавливается в термостат 3, куда также помещается термопара 4, подключенная к вольтметру В7-39 5. Через каналы общего пользования Е7-12 и В7-39 первичная измерительная информация подавалась на устройство управления и обработки данных специализированного типа Р-908 6.

Первоначально, при комнатной температуре было проведено измерение магнитной восприимчивости  $\chi$  соединения. Для этого были измерены индуктивность пустой катушки  $L_0$  и индуктивность катушки, заполненной исследуемым материалом,  $L_1$ , и  $\chi$  ( $\text{м}^3/\text{кг}$ ) рассчитывалась по формуле

$$\chi = -\frac{L_1 - L_0}{L_0} = -3 \cdot 10^{-8}.$$

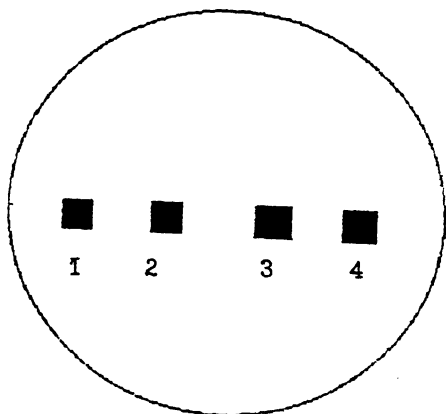


Рис. 2.

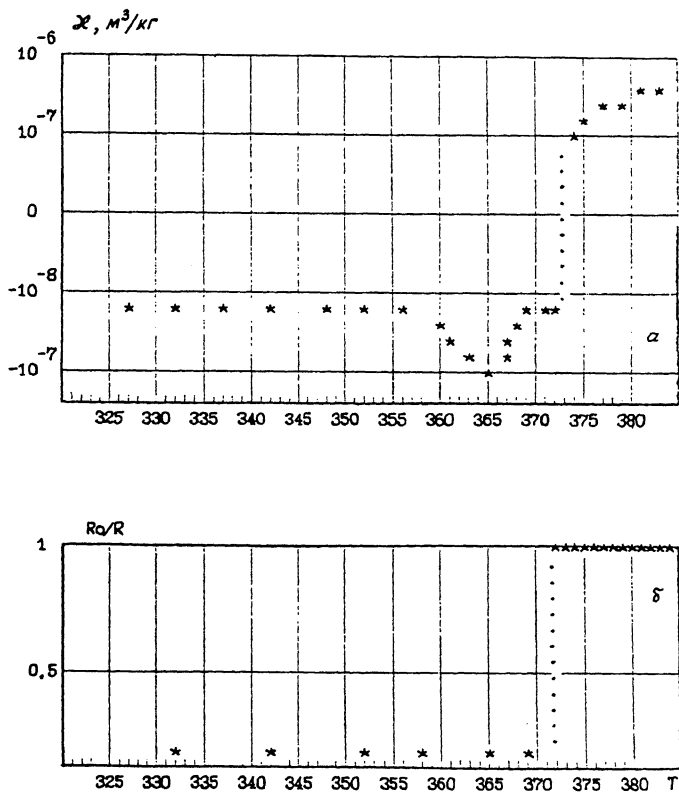


Рис. 3.

После этого включался нагрев термостата (скорость нагрева  $0.2^\circ/\text{мин}$ ) и на мониторе Р-908 выводился массив зависимости  $\chi = -(L^* - L_0)/L_0 = f(T)$ , (где  $L^*$  — индуктивность системы при фиксированной температуре). После фазового перехода магнитная восприимчивость системы становилась положительной величиной, что подтверждало совершение перехода “диамагнетик-парамагнетик”.

Массив через плату сопряжения подавался на ПЭВМ ЕС-1841, на мониторе которой зависимость  $\chi = f(T)$  выводилась в графическом виде и распечатывалась на печатающем устройстве STAR NX-1001 7.

Для изучения температурного характера сопротивления исследуемого материала в вышеописанной установке катушка индуктивности и измеритель  $R, C, L$  заменялись на выпрямитель ВСП-50 и универсальный вольтметр В7-46, включенный в режиме измерения постоянного тока. В объеме формировались четыре контакта (рис. 2), созданные на

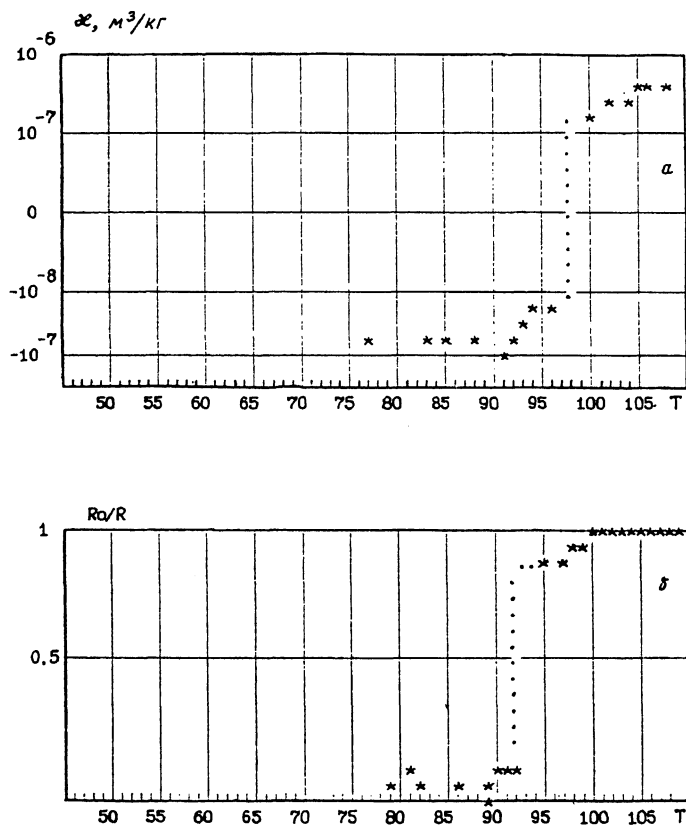


Рис. 4.

основе Fe с добавлением С, Ст и Zn. После формирования контактов исследуемые образцы отжигались в среде Se в течение 12 часов. На контакты 1, 4 подавалось напряжение от ВСП-50, сигнал от которого также шел на осциллограф С9-18, а к контактам 2, 3 подключался В7-46. Первичная измерительная информация от данных приборов поступала на устройство управления и обработки данных Р-908, а в дальнейшем массив направлялся в ПЭВМ ЕС-1841, на мониторе которого выводилась зависимость  $R_0/R = f(T)$  (где  $R_0, R$  — сопротивление исследуемого образца в сверхпроводящем и несверхпроводящем состоянии соответственно). На рис. 3, а, б приведены характерные графические зависимости магнитной восприимчивости и сопротивления для исследуемого соединения  $YBa_2Cu_3Se_7$ , а на рис. 4, а, б — для стандартного сверхпроводника  $YBa_2Cu_3O_7$ , из которых видно, что температура перехода в сверхпроводящее состояние составляет 93 К для стандартного и 371 К — для исследуемого, что обусловлено появлением в кристаллической решетке селенид-иона  $Se_2^{-2}$ . Для оценки величины объема, находящегося в сверхпроводящей фазе  $V_0$ , можно воспользоваться соотношением

$$V_0 = V \left( \frac{R_0}{R} \right)^2,$$

где  $V$  — общий объем исследуемого материала.

Использование данной зависимости показало, что количество сверхпроводящей фазы составляет 12%.

Таким образом, представленный материал по своим характеристикам может быть отнесен к разряду сверхпроводящих [2], проявляющих свойства сверхпроводников вплоть до температуры кипения воды.

#### Список литературы

- [1] Нортон М.Л. // Высокотемпературные сверхпроводники / Под ред. Д. Нельсона и др. М.: Мир, 1988. С. 76–86.  
 [2] Мюллер К., Беднорц Ж., Тарновски Д. // Физика за рубежом. Серия А (исследования). М.: Мир, 1989. С. 6–27.

Центральный  
 научно-исследовательский  
 испытательный институт МО РФ  
 Мытищи

Поступило в Редакцию  
 7 февраля 1995 г.