

СТРУКТУРНОЕ ПРЕВРАЩЕНИЕ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,9}$ ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ ДО 270 кбар

С.Ф.Кондаков, А.М.Подурец, В.М.Прокопенко, Н.С.Сидоров,
М.Р.Трунин, Р.Ф.Трунин

В результате воздействия на керамику $\text{Y} - \text{Ba} - \text{Cu} - \text{O}$ состава (1 : 2 : 3) ударного давления $p = 270$ кбар получена керамика того же состава, которая в нормальных условиях ($p = 0$, $T = 300$ К) имеет тетрагональную структуру с параметром решетки $c = 11,710$ Å и переходит в сверхпроводящее состояние при температуре $T_{c0} \approx 93$ К.

К настоящему времени известно, что в зависимости от режима термической обработки керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ может иметь орторомбическую или тетрагональную решетку¹⁻⁴. Керамика орторомбической структуры характеризуется кристаллографическим параметром $c < 11,70$ Å, дефицитом кислорода $x < 0,2$ и имеет температуру сверхпроводящего перехода $T_c \approx 90$ К. Отличительным элементом этой структуры являются линейные $\text{Cu} - \text{O}$ -цепочки. В тетрагональной фазе, где такие цепочки отсутствуют, сверхпроводимости либо нет вообще (при $c > 11,76$ Å)^{2, 3}, либо она возникает при более низкой температуре $T_c \approx 50 - 60$ К (при $11,72 \text{ Å} < c < 11,76 \text{ Å}$)^{5, 6}.

В данной работе сообщается о получении путем динамического сжатия⁷ керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,9}$ имеющей тетрагональную структуру и температуру сверхпроводящего перехода $T_{c0} \approx 93$ К.

Исходные образцы $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,9}$ имели рентгеновски однофазную орторомбическую симметрию: $a = 3,822$ Å, $b = 3,891$ Å; $c = 11,672$ Å. Они представляли собой диски диаметром 10 мм, толщиной $2,5 \div 4$ мм. Плотность образцов равнялась $4,7$ г/см³ ($\approx 74\%$ от кристаллографической плотности $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$). По измерениям зависимостей магнитной восприимчивости от температуры $\chi(T)$ сверхпроводящий переход начинался при $T_{c0} \approx 90$ К и в интервале $10 - 90\%$ изменения величины χ имел ширину $\lesssim 10$ К.

Ударное нагружение образцов проводилось в специальных ампулах, подобных описанным в^{7, 8}. Одно из взрывных устройств такого типа схематически показано на рис. 1, а. Вместе с образцом оно предварительно охлаждалось в жидком азоте (начальная температура образца составляла (90 ± 5) К). В заряде взрывчатого вещества формировалась плоская детонационная волна. Давление в контейнере 2, содержащем исходный образец 3, создавалось торможением разлетающихся продуктов взрыва. Воздушный зазор, разделяющий заряд и контейнер, обеспечивал постоянство давления за фронтом ударной волны. Размеры контейнера, стального стакана 5 и латунной подкладки 6 подбирались так, чтобы максимальные разрушающие напряжения концентрировались вне контейнера с образцом. В результате после опыта происходило полное разрушение блока, окружающего контейнер, а сам контейнер сохранялся. В большинстве случаев при расконсервации контейнера после нагружения не удавалось сохранить образец в первоначальной форме. Как правило, он раскалывался, и дальнейшие измерения проводились с порошком полученной таким образом керамики.

На рис. 1, б представлена зависимость давления в образце от времени. За время $\sim 0,4$ мкс образец многократно сжимается ударными волнами до давления, характерного для данного взрывного устройства. Максимальные давления в разных опытах составляли 90, 125, 135, 165, 185, 200, 225, 245, 270 кбар. При этом сжатый и нагретый ударными волнами образец выдерживался в течение $4 \div 5$ мкс, после чего за микросекунды давление спадало до атмосферного, и одновременно, примерно в 2 раза, уменьшалась температура образца.

Кристаллические структуры обжатых образцов исследовались при комнатной температуре в камере Дебая и на рентгеновском дифрактометре (Cu K_α -излучение, сканирование в интервале $10^\circ < 2\theta < 70^\circ$). Из-за напряженного состояния керамики после ударного нагру-

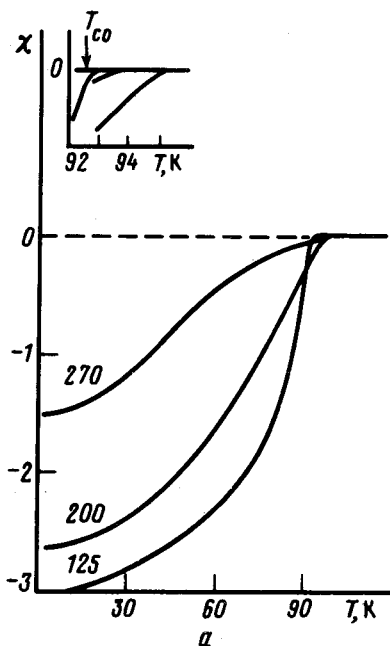
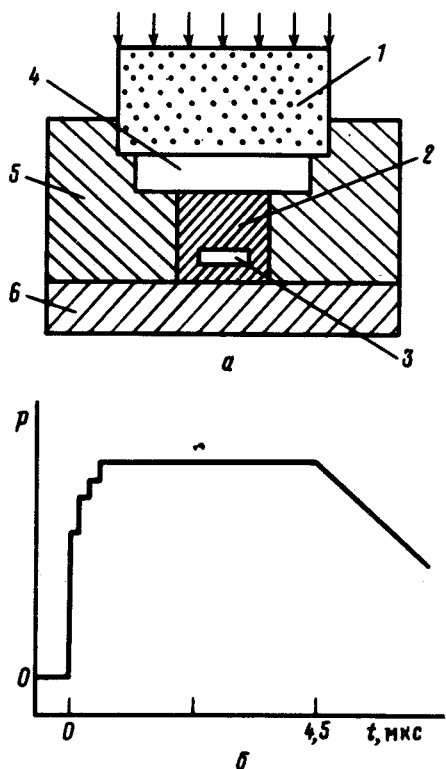


Рис. 1. Схема взрывного устройства (а), $p-t$ диаграмма нагружения образца (б)

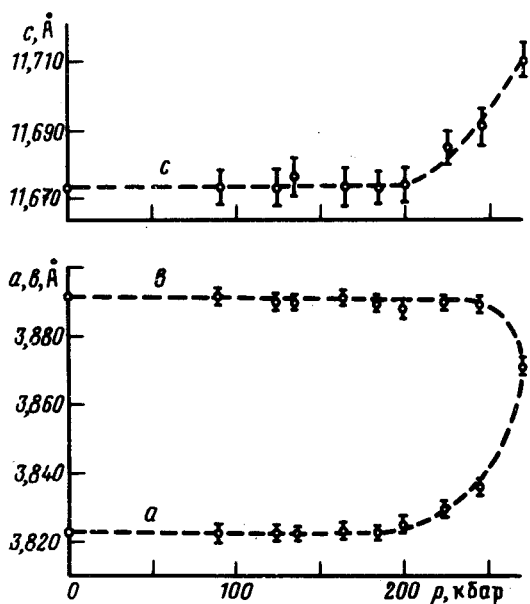


Рис. 2. Зависимость периодов решетки (а, б, с) от давления p

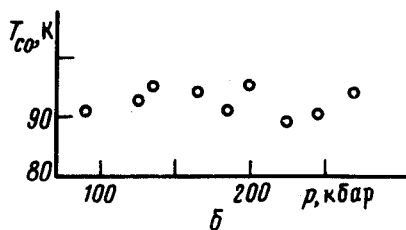


Рис. 3. а – примеры зависимостей $\chi(T)$ для порошкообразных образцов, полученных в результате ударного нагружения при давлениях 125, 200, 270 кбар (указаны слева от кривых); б – зависимость температуры начала перехода T_{c0} от давления

жения все дифракционные максимумы уширились, но отношения ширин на полувысоте разных максимумов изменялись слабо. Например, для линий 113 и 020 это отношение во всем диапазоне давлений составляло $0,6 \div 0,8$. На дифрактограммах отсутствовали какие-либо дополнительные линии, кроме соответствующих фазе (1 : 2 : 3)-керамики. Значения параметров решетки a , b и c в зависимости от давления p приведены на рис. 2. В интервале $200 \leq p \leq$

≤ 270 кбар наблюдается повышение симметрии решетки от ромбической до тетрагональной. Особенно интересно, что структурный переход сопровождается малым изменением параметра c , при $p = 270$ кбар $c = 11,710 \pm 0,005 \text{ \AA}$.

Заметим, что структурные изменения могут быть вызваны не только давлением как таковым, но и резким изменением температуры, которая может быть особенно высокой при ударном нагружении пористых образцов⁹.

Существует корреляция между содержанием кислорода в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ и значением параметра c . Анализ экспериментальных данных, проведенный в^{10, 11}, приводит к линейной зависимости c от x : $x = 5,16c - 60,08$. Если это соотношение справедливо и в данном случае, то окажется, что получаемая в результате ударного сжатия при $p = 270$ кбар керамика, обладая тетрагональной структурой, имеет приблизительный состав $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,7}$ с достаточно большим количеством кислорода.

На рис. 3, а представлены зависимости χ в относительных единицах от T , сделанных в одинаковых условиях (частота переменного поля 80 Гц, амплитуда 1 Э, чувствительность измерительной схемы не менялась) для порошков $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, полученных под давлениями 125, 200 и 270 кбар. Кривые $\chi(T)$ были обратимыми и многократно воспроизводились. Сверхпроводящий переход ударно обжатой керамики заметно уширен по сравнению с исходным. Кроме того, с увеличением давления наклон диамагнитной части $\chi(T)$ становится менее резким, а при $p = 270$ кбар в районе 60 К имеется дополнительный перегиб кривой $\chi(T)$. Вместе с тем начальная температура перехода T_{c0} , измеряемая как показано на вставке рис. 3, а, для всех исследованных образцов изменялась слабо: $89 < T_{c0} < 95 \text{ К}$ (рис. 3, б).

Таким образом, в результате ударного сжатия давлениями $p > 200$ кбар исходной керамики $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,9}$ возникает тетрагональная фаза с меньшим, чем обычно, параметром c . При этом, по-видимому, теряется лишь малая часть кислорода. Полученная при $p = 270$ кбар керамика сохраняет сверхпроводящие свойства ($T_{c0} \approx 93 \text{ К}$), что свидетельствует о том, что в механизме высокотемпературной сверхпроводимости наличие цепочек $\text{Cu} - \text{O}$ не играет критической роли.

Авторы благодарны Аптекарю И.Л., Тимофееву В.Б., Щеголеву И.Ф. за полезные обсуждения, Дегтяревой В.Ф. за дополнительные рентгеновские измерения.

Литература

1. Соменков В.А., Глазков В.П., Иванов А.С. и др. 1987, 46, ЖЭТФ, 1987, 46, 359.
2. Jorgensen J.D., Veal B.W., Kwok W.K. et al. Phys. Rev. B, 1987, 36, 5731.
3. Tarascon J.M. et al. Novel Superconductivity, Ed. Wolf S., Kresin V.: N.-Y.: Plenum Press, 1987, p. 705.
4. Cava R.J., Batlogg B., Chen C.H. et al. Phys. Rev. B, 1987, 36, 5719.
5. Топников В.Н., Симонов В.И., Мурадян Л.А. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 46, 457.
6. Kini A.M., Geiser U., Kao H. et al. Inorg. Chem., 1987, 26, 1834.
7. Герман В.Н., Орлова Н.Н., Тарасова Л.А., Трунин Р.Ф. Изв. АН СССР. Физика Земли, 1975, 7, 50.
8. Дулин И.Н., Альтшулер Л.В., Ващенко В.Я., Зубарева В.Н. ФТТ, 1966, 11, 1252.
9. Кормер С.Б., Фунтиков А.И., Урлин В.Д., Колесникова А.Н. ЖЭТФ, 1962, 42, 686.
10. Whangbo M., Evain M., Beno M.A. et al. Inorg. Chem., 1988, 27, 467.
11. Ono A., Ishizawa Y. Jpn. J. Appl. Phys., 1987, 26, L1043.