

ИССЛЕДОВАНИЕ СЖИМАЕМОСТИ $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ МЕТОДОМ ДИФРАКЦИИ НЕЙТРОНОВ

В. П. Глазков, И. Н. Гончаренко, В. А. Соменков

К настоящему времени выполнен ряд работ, в которых изучалась зависимость температуры сверхпроводящего перехода от давления для La—Sr, La—Ba и Y—Ba керамик [1-4]. Для понимания природы наблюдавшегося барического эффекта необходимо знать зависимость от давления параметров элементарной ячейки. Кроме того, определение возможной анизотропии сжимаемости для этих слоистых соединений при различных содержаниях кислорода может дать информацию о распределении кислородных вакансий и их влиянии на структуру.

Сжимаемость $La_{1-x}Sr_xCuO_{4-y}$ и $YBa_2Cu_3O_{7-y}$ уже была исследована в работах [5, 6] рентгеноструктурным методом с помощью алмазных наковален, но полученные результаты не согласуются между собой. В [5] определены значения объемной сжимаемости $-(\Delta V/\Delta P)/\Delta V \approx 9.7 \times 10^{-3} \text{ ГПа}^{-1}$ для Y—Ba-керамики и $7.4 \cdot 10^{-3} \text{ ГПа}^{-1}$ для La—Sr-керамики, тогда как в [6] получены значения $5.9 \cdot 10^{-3}$ и $6.2 \cdot 10^{-3} \text{ ГПа}^{-1}$ соответственно. Последнее значение близко к приведенному в [7] для $La_{1.4}Sr_{0.6}CuO_{4-y}$ $-(\Delta V/\Delta P)/\Delta V \approx 6.0 \cdot 10^{-3} \text{ ГПа}^{-1}$, где кристаллическая структура исследовалась при гидростатическом давлении с помощью СИ излучения.

В данной работе была исследована сжимаемость соединения $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ в ромбической ($x=0.1$) и тетрагональной ($x=0.6$) фазах методом нейтронной дифракции до давлений 6.7 и 4.5 ГПа соответственно.

Исследовались изученные ранее при нормальных условиях однофазные образцы — ромбический $YBa_2Cu_3O_{6.9}$ с $T \approx 90 \text{ К}$ и полупроводниковый тетрагональный $YBa_2Cu_3O_{6.4}$, полученный закалкой из высокотемпературной фазы. Содержание кислорода определялось методом сжигания в водороде. Период a тетрагональной фазы близок к среднему между периодами a и b ромбической, параметр c увеличен на $\approx 1 \%$ [8, 9].

Для создания давления использовалась ячейка с сапфировыми наковальнями. Диаметр рабочей поверхности сапфиров 3.5 мм. Образец в виде порошка помещался в отверстие диаметром 1.5 мм в медной прокладке толщиной 0.35 мм. Использование формы сапфиров типа «бедел» и медной прокладки позволило достичь давлений до 6.7 ГПа при относительно большом по сравнению с алмазными наковальнями объеме образца (0.5 мм^3). Давление определялось рубин-флюоресцентным методом [10], для контроля распределения давления в образец помещалось несколько рубинов. Кроме того, часть измерений проводилась с использованием внутреннего стандарта — Рь. Среднее давление, определенное по смещению линий Рь в соответствии с уравнением состояния [11], в пределах экспериментальной ошибки совпадало с измеренным с помощью рубиновой методики. Добавка в образец Рь позволила также уменьшить неоднородность давления по образцу, которая при отсутствии внутреннего стандарта достигала 10—30 %, и обеспечить квазигидростатические условия сжатия.

Съемка нейтронограмм осуществлялась на многодетекторном дифрактометре ДИСК, позволяющем исследовать малые количества вещества [12]. Пучок нейтронов проходил через коллиматор, расположенный в канале поршня камеры, через один из сапфиров и рассеивался на образце. Подобная схема съемки позволила исключить присутствие на дифрактограммах сильных линий меди. Длина волны 1.71 \AA , геометрия камеры позволяла регистрировать картину рассеяния в диапазоне углов от 30 до 120° (рис. 1).

Изменение параметров решетки определялось по сдвигу дифракционных пиков. Относительно низкое разрешение установки ($\Delta d/d=2\%$), связанное с необходимостью обеспечения большой светосилы, не позволило наблюдать различие в сжимаемости по осям a и b для ромбической фазы. Зависимость объема элементарной ячейки и отношения c/a от давления приведена на рис. 2.

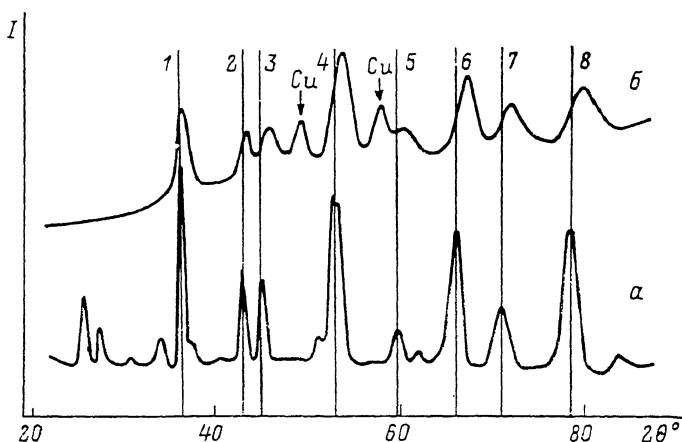
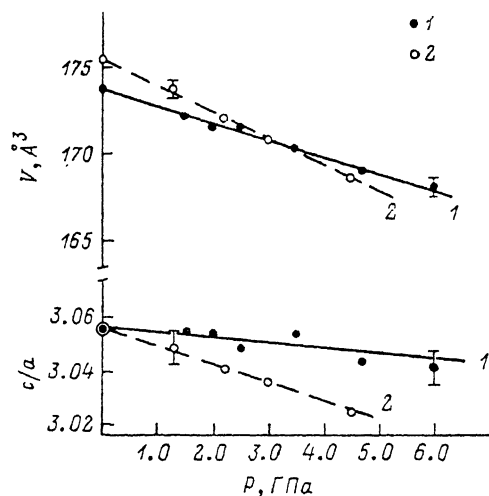


Рис. 1. Нейтронограммы $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.9}$ при нормальном давлении (а) и $P=6.0$ ГПа (б). 1 — (110), (103), (013); 2 — (005), (104), (014); 3 — (113); 4 — (200), (020), (006); 5 — (023), (203), (106), (016); 6 — (116), (123), (213); 7 — (205), (025); 8 — (206), (026), (220).

Во всем диапазоне давлений как для ромбической, так и для тетрагональной фазы не обнаружено отклонений от исходной симметрии структуры. Наблюдалась линейная зависимость параметров решетки от давления, причем сжимаемость по оси c для обеих фаз выше, чем по оси a (см. таблицу). Полученные значения объемной сжимаемости типичны для оксидов металлов. Так, например, для MgO — $(\Delta V/\Delta P)/V \approx 6.3 \cdot 10^{-3} \text{ ГПа}^{-1}$ [13].



Сравнение приведенных данных по зависимости удельного объема сверхпроводящего $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.9}$ с измеренной в работах [3, 4] зависимостью T_c от давления показывает, что в диапазоне до 2.0 ГПа $-\Delta \ln T_c / \Delta \ln V = 1.5 \div 2$.

Рис. 2. Зависимость объема элементарной ячейки и отношения c/a от давления для ромбической $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.9}$ (1) и тетрагональной $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.4}$ (2) фаз.

Если принять константу Грюнайзена ≈ 2 , то подобное поведение в рамках теории БКШ означает, что константа электрон-фононного взаимодействия λ слабо зависит от изменения объема $|(1/\lambda) \Delta \ln \lambda / \Delta \ln V| \ll 1$.

Обращает на себя внимание резко усиливающаяся анизотропия сжатия по оси c при потере кислорода в тетрагональной фазе. Это может быть связано с преимущественным ослаблением кислородных связей по оси c и согласуется с увеличением параметра c при переходе от ромбической к тетрагональной фазе.

Полученные результаты для объемной сжимаемости ромбической фазы соответствуют приведенным в [6], тогда как различия между нашими дан-

Сжимаемость $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ в ромбической ($x=0.1$)
и тетрагональной ($x=0.6$) фазах

Фаза	$-\frac{1}{c} \frac{\Delta c}{\Delta P}, 10^{-3} \text{ ГПа}^{-1}$	$-\frac{1}{a} \frac{\Delta a}{\Delta P}, 10^{-3} \text{ ГПа}^{-1}$	$-\frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta P}, 10^{-3} \text{ ГПа}^{-1}$
Ромбическая	2.3 ± 0.3	1.7 ± 0.2	5.7 ± 0.6
Тетрагональная	4.5 ± 0.5	2.2 ± 0.3	8.9 ± 1.1

ными и данными [5] выходят за пределы экспериментальной ошибки. Учитывая, что по нашим результатам сжимаемость сильно зависит от содержания кислорода, не исключено, что расхождения экспериментальных данных связаны с различием кислородного состава.

Таким образом, полученные результаты указывают на определяющее влияние кислородного каркаса на сжимаемость оксидных керамик.

Л и т е р а т у р а

- [1] Wu M. K., Ashburn J. R., Torgn C. J. et al. Phys. Rev. Lett., 1987, vol. 58, N 9, p. 908—910.
- [2] Hor P. H., Gao L., Meng R. L. et al. Phys. Rev. Lett., 1987, vol. 58, N 9, p. 911—912.
- [3] Kamarad J., Arnold Z., Pollert E. Phys. St. Sol. (b), 1987, vol. 144, p. K39—K43.
- [4] Borges H. A., Kwok R., Thompson J. D. et al. Phys. Rev. B, 1987, vol. 36, N 4, p. 2404—2407.
- [5] Takahashi H., Murayama C., Yomo S. et al. Proc. 18th Int. Conf. on Low Temp. Phys., Kyoto, 1987, pt 2, p. 1109—1110.
- [6] Dietrich M. R., Fietz W. H., Eche J., Politis C. Ibid., p. 1113—1115.
- [7] Terada N., Jhara H., Hirabayashi M. et al. Jap. J. Appl. Phys., 1987, vol. 26, N 4, p. L510—L511.
- [8] Соменков В. А., Глазков В. П., Иванов А. С. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, т. 46, № 9, с. 359—362.
- [9] Yukino K., Sato T., Ooba S. et al. J. Appl. Phys., 1987, vol. 26, N 5, p. L869—L871.
- [10] Jayraman A. Rev. Modern Physics, 1983, vol. 55, N 1, p. 65—108.
- [11] Жарков В. Н., Калинин В. А. Уравнения состояния твердых тел при высоких давлениях и температурах. М., 1968. 311 с.
- [12] Наумов И. В., Глазков В. П., Иродова А. В. и др. Препринт ИАЭ-4204. М., 1985. 25 с.
- [13] Mao H. K., Veu P. M. Carnegie Institution, Annual Report of the Director Geophysical Laboratory, 1977, p. 519—522.

Институт атомной энергии
им. И. В. Курчатова
Москва

Поступило в Редакцию
18 мая 1988 г.

УДК 539.293 : 537; 539.293 : 538

Физика твердого тела, том 30, в. 12, 1988
Solid State Physics, vol. 30, № 12, 1988

МАГНИТОСТРИКЦИЯ И КИНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В МАНГАНИТАХ

Е. П. Свирина, Л. П. Шляхина, Ф. Ф. Шакирова

В манганитах $La_{0.6}Pb_{0.4}MnO_3$ с замещением ионов Mn ионами 3d-металлов (Fe, Co, Ni) существует сильная взаимосвязь между магнитными и электрическими свойствами. Например, имеют место переход металл—полупроводник в районе температуры Кюри, а также резкие аномалии температурной зависимости электросопротивления ρ , коэффициента термоэдс α и четного гальваномагнитного эффекта $\Delta \rho / \rho$ при переходе из ферромагнитной области в парамагнитную [1-3].