

## АНОМАЛИИ СКОРОСТИ ЗВУКА И УПРУГИХ МОДУЛЕЙ В ОКРЕСТНОСТИ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ПЕРЕХОДА КЕРАМИКИ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$

А.И.Головашкин, В.А.Данилов, О.М.Иваненко,  
К.В.Мицен, И.И.Перепечко

Измерена скорость продольных и поперечных ультразвуковых волн (2,4 МГц) в сверхпроводящей керамике  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  в интервале температур 4,2 – 300 К. В окрестности сверхпроводящего перехода (93 К) наблюдалась аномалия в поведении скорости ультразвука как для продольных, так и для сдвиговых волн. Обнаружено также возрастание скорости продольных волн при росте температуры от 40 до 65 К. Результаты измерений использованы для расчета температурных зависимостей модулей упругости и дебаевской температуры.

Для выяснения механизма, ответственного за сверхпроводимость высокотемпературных керамик и аномальное поведение их характеристик в окрестности перехода в сверхпроводящее состояние, большое значение имеет изучение упругих свойств. В настоящей работе измерена температурная зависимость скорости ультразвука в однофазных образцах керамики  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  и рассчитаны ее различные упругие характеристики.

Образцы готовились по технологии <sup>1</sup>. В качестве исходных компонент брались тонко размолотые порошки  $\text{Y}_2\text{O}_3$ , BaO и CuO. Исходная смесь необходимого состава спрессовывалась в таблетки при давлении 2 – 5 кбар и отжигалась в потоке кислорода при температуре 900°С в течение 12 ч с промежуточным перетирианием. Методика обеспечивала отсутствие примеси углерода в материале. Образцы для исследования упругих характеристик представляли собой цилиндры диаметром 15 мм разной высоты. Плотность образцов 5,3 г/см<sup>3</sup>. Рентгеновский анализ показал наличие лишь одной фазы  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ .

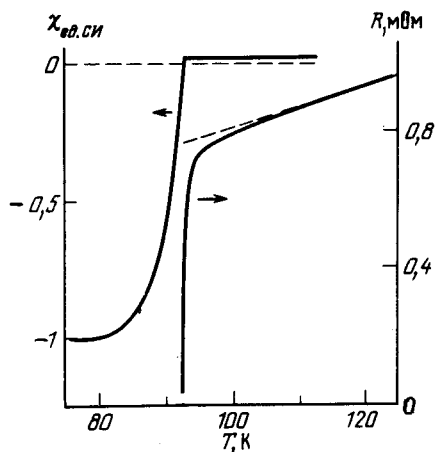


Рис. 1. Температурные зависимости магнитной восприимчивости  $\chi(T)$  в поле 5 Э и сопротивления образца  $R(T)$

На рис. 1 приведены температурные зависимости восприимчивости  $\chi(T)$  и сопротивления  $R(T)$  одного из образцов  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  в районе перехода в сверхпроводящее состояние. Величина  $\chi$  при  $T = 77,4$  К практически равна  $-1$  (единиц СИ). Значение температуры перехода в сверхпроводящее состояние (по середине перехода)  $T_c = 93$  К. Полная сверхпроводимость наблюдалась при  $T = 92$  К. Отклонение зависимости  $R(T)$  от линейного хода начинается при  $T = 113$  К.

Измерения скорости продольных  $C_l$  и поперечных  $C_t$  ультразвуковых волн проводились на установке <sup>2</sup> на частоте 2,4 МГц. В качестве пьезопреобразователей использовались пластинки  $\text{LiNbO}_3$ . Точность измерения скоростей ультразвука была лучше 1%. Измерения

проводились в интервале температур от 4,2 до 300 К. Термостатирование образца осуществлялось с точностью 0,1 К.

На рис. 2 показаны температурные зависимости  $C_l$  и  $C_t$ . Величина  $C_l$  растет с понижением температуры от комнатной до 120 К примерно на 30%. Такое возрастание скорости звука при понижении температуры является необычным. В области 100 – 115 К величина  $C_l$  практически постоянна. Интересная особенность на зависимости как  $C_l$ , так и  $C_t$  наблюдается в окрестности  $T_c$ . Величина осцилляций скорости звука в этой области существенно превосходит ошибку измерений и является аномально большой (5%). В области низких ( $T < 65$  К) температур наблюдается еще одна аномалия – немонотонная зависимость  $C_l(T)$ . Для сдвиговых волн увеличение скорости с понижением температуры от комнатной до 130 К менее выражено. Плато начинается при  $T = 130$  К.

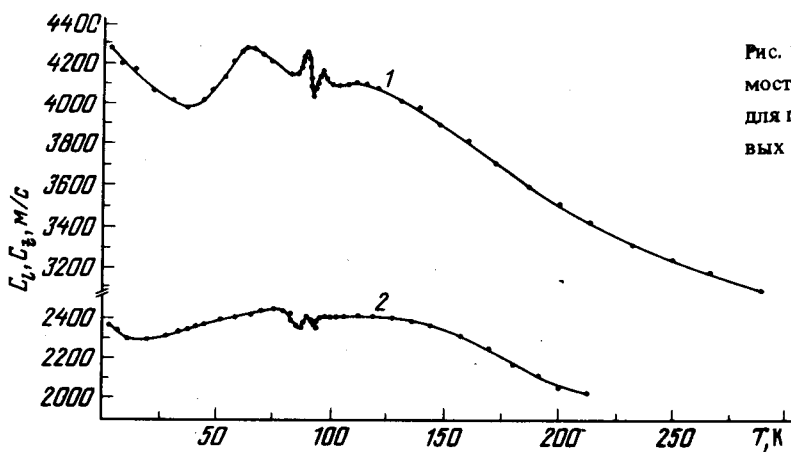


Рис. 2. Температурные зависимости скорости ультразвука для продольных (1) и сдвиговых (2) волн

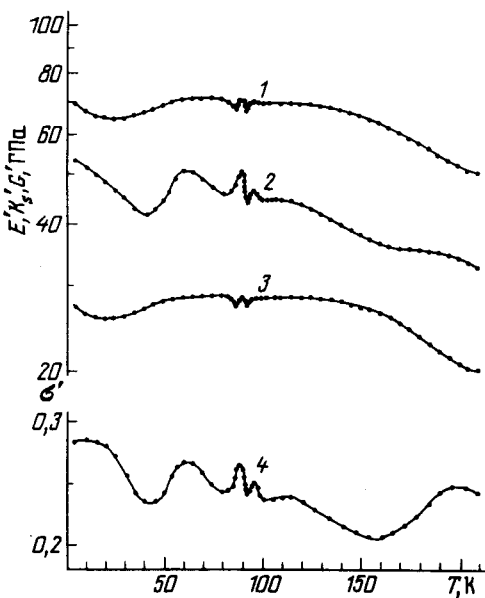


Рис. 3

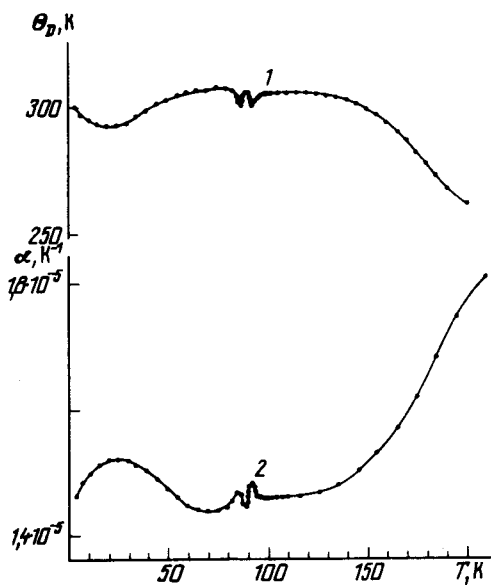


Рис. 4

Рис. 3. Температурные зависимости динамических модулей: Юнга (1), модуля всестороннего сжатия (2), модуля сдвига (3), коэффициента Пуассона (4)

Рис. 4. Температурные зависимости температуры  $\Theta_D$  (1), коэффициента линейного расширения  $\alpha$  (2)

На основе экспериментальных данных о скоростях ультразвука (в приближении постоянной плотности) рассчитаны <sup>3</sup> температурные зависимости динамических модулей: Юнга  $E'$ , всестороннего сжатия  $K'_s$ , сдвига  $G'$  и коэффициента Пуассона  $\sigma'$  (рис. 3). Некоторые из указанных зависимостей ( $K'_s$ ,  $\sigma'$ ) обнаруживают ряд дополнительных особенностей например, при  $T \approx 200$  К.

Полученные результаты позволили рассчитать также дебаевскую температуру  $\Theta_D$  и коэффициент линейного расширения  $\alpha$  (рис. 4). Величина  $\Theta_D \approx 300$  К и несколько меняется с температурой увеличиваясь на 10 – 15% при понижении  $T$  от комнатной до 100 К. Величина  $\alpha$  рассчитана по эмпирической формуле Баркера  $E' \cdot \alpha^2 = \text{const}$ . Величина и зависимость  $\alpha(T)$  в окрестности  $T_c$  согласуются с прямыми независимыми измерениями коэффициента расширения.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что переход в сверхпроводящее состояние иттриевой керамики  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  сопровождается целым рядом аномалий в поведении упругих, структурных и других характеристик. Изменение соответствующих параметров в узком температурном интервале на несколько порядков величины превышает аналогичные изменения в обычных сверхпроводниках. Наблюдаемые аномалии упругих характеристик в области перехода, по нашему мнению, отражают структурные изменения в системе. Это предполагает определенную неустойчивость кристаллической решетки данного соединения в окрестности  $T_c$ . Такая неустойчивость "снимается" сверхпроводящим переходом. Структурные изменения, которые начинаются в районе 100 К, приводят систему в особое состояние (возможно с нефононным типом межэлектронного взаимодействия), где и осуществляется высокотемпературная сверхпроводимость. Одним из возможных механизмов, которые могли бы приводить к такой перестройке структуры и электронного спектра, является переход металл – диэлектрик, при котором вблизи поверхности Ферми образуются не электрон-электронные или электрон-дырочные пары, а четверки частиц <sup>4</sup>.

#### Литература

1. Wu M.K., Ashburn J.R., Torng C.J., Hor P.H., Meng R.L., Gao L., Huang L.J., Wang Y.Q., Chu C.W. Phys. Rev. Lett., 1987, 58, 908.
2. Перепечко И.И., Голубь П.Д. ПТЭ, 1972, №6, с. 216.
3. Перепечко И.И. Свойства полимеров при низких температурах. М.: Химия, 1977 г.
4. Конаев Ю.В. Труды ФИАН, 1986, 86, 3.