

ТЕПЛОЕМКОСТЬ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ Y-Ba-Cu-O, ИЗМЕРЕННАЯ
УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ПОД
ГИДРОСТАТИЧЕСКИМ ДАВЛЕНИЕМ.

Добрнянский В.М., Магер Е.Л., Малишевский В.Ф., Межелич З.В.
Белорусский аграрный технический университет.
Белорусский медицинский институт.

В данной работе восстановлена низкочастотная часть фоновнного спектра $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ по экспериментальным барическим зависимостям скоростей распространения ультразвуковых волн в интервале температур 77...273К.

Были исследованы поликристаллические $YBa_2Cu_3O_{7-x}$, изготовленные по методике твердофазной реакции соответствующих стехиометрических количеств оксидов $YO_{1.5}$, BaO и CuO при температуре $t=950^\circ\text{C}$ с последующими отжигом и медленным охлаждением [1]. Непосредственно измеренная плотность полученных образцов $\rho=6015\text{кг/м}^3$. По рентгендифрактометрическим исследованиям образцы орторомбически однофазные.

Упругие свойства керамики $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ исследовались путем измерений в ней скоростей распространения продольной v_l и поперечной v_t акустических ультразвуковых волн частотой 5МГц в диапазоне температур 77...273К и гидростатического давления до 10^9Па . Температурный диапазон исследования включает температуру сверхпроводящего перехода керамики $T_c=91.3\text{К}$. Рентгеновские исследования полированных поверхностей и контрольные измерения скоростей распространения акустических волн вдоль различных направлений позволяют считать поликристаллические материалы упругоизотропной средой, обладающей двумя независимыми компонентами тензора упругих модулей второго порядка. В этом случае имеются только две скорости v_l и v_t , связанные с коэффициентами Ламе λ и μ соотношениями:

$$v_l = \left(\frac{\lambda + 2\mu}{\rho} \right)^{1/2} \quad \text{и} \quad v_t = \left(\frac{\mu}{\rho} \right)^{1/2} .$$

Экспериментально измеренные абсолютные значения скоростей при различных температурах и давлениях позволили рассчитать упругие модули:

При $T_1=273\text{К}$ и $P_1=1 \cdot 10^5\text{Па}$

$v_l=3977.3\text{м/с}$, $v_t=2481.8\text{м/с}$, $\lambda+2\mu=95.15\text{ГПа}$, $\mu=37.05\text{ГПа}$.

При $T_2=77.4\text{К}$ и $P_1=1 \cdot 10^5\text{Па}$

$v_l=4073.6\text{м/с}$, $v_t=2542.1\text{м/с}$, $\lambda+2\mu=99.81\text{ГПа}$, $\mu=38.87\text{ГПа}$.

При $T_1=273\text{К}$ и $P_2=9388 \cdot 10^5\text{Па}$

$v_l=4342.7\text{м/с}$, $v_t=2569.1\text{м/с}$, $\lambda+2\mu=113.44\text{ГПа}$, $\mu=39.70\text{ГПа}$

При $T_2=77.4$ и $P_2=9388 \cdot 10^5\text{Па}$

$v_l=4428.7\text{м/с}$, $v_t=2634.1\text{м/с}$, $\lambda+2\mu=117.97\text{ГПа}$, $\mu=41.73\text{ГПа}$.

Используя известное приближение Андерсона и экспериментально определенные значения v_l и v_t , можно оценить температуру Дебая исследуемого материала

$$\theta_D = \frac{h}{k_B} \left(\frac{9nN_A \rho}{4\pi\mu} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{1}{v_l^3} + \frac{2}{v_t^3} \right)^{-1/3}$$

где h – постоянная Планка, k_B – постоянная Больцмана, n – число атомов в ячейке, N_A – число Авогадро, μ – молекулярный вес.

Температура Дебая имеет значения:

$$\theta_D(T_1, P_1) = 336.5\text{K}, \theta_D(T_2, P_1) = 344.8\text{K}, \theta_D(T_1, P_2) = 350.3\text{K}, \theta_D(T_2, P_2) = 350.3\text{K}.$$

На основании полученных значений $\theta_D(T, P)$ рассчитаны значения теплоемкости $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ при различных значениях температуры и давления. Теплоемкость рассчитывалась в дебаевском приближении из соотношения:

$$C_V = \frac{12}{5} \pi^4 R \left(\frac{T}{\theta_D} \right)^3, \text{ где } R = 8.3147 \text{ Дж/моль К}$$

При $T=77.4\text{K}$ значения теплоемкости $C_V(T_2, P_1) = 21.99 \text{ Дж/моль К}$, $C_V(T_2, P_2) = 19.48 \text{ Дж/моль К}$, т.е. при увеличении давления теплоемкость уменьшается.

Теория Дебая позволяет найти фоннный спектр:

$$g(\nu) = \frac{dn_\nu}{d\nu} = \frac{9N_A \left(\frac{h}{k_B} \right)^3}{\theta_D^3} \nu^3$$

для области низких температур, представляющий собой параболу с граничной частотой фоннных колебаний $\nu_m = \frac{k_B \theta_D}{h}$.

При $T=77.4\text{K}$: $g(\nu) = 7.545 \cdot 10^{11}$, $\nu_m = 7.185 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$, при увеличении давления до $P_2 = 9388 \cdot 10^5 \text{ Па}$ – $g(\nu) = 7.246 \cdot 10^{11}$, $\nu_m = 7.481 \cdot 10^{12} \text{ с}^{-1}$.

В результате проведенных исследований установлено, что с увеличением давления до 10^5 Па плотность фоннных состояний $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ в области низких частот уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

І.В.М. Добрянский, Е.Л. Магер, В.Ф. Малишевский, Г.М. Чобот, В.П. Яруничев "Исследование процесса синтеза керамики Y-Ba-Cu-O методом ТГА" // Вестн. Белорус.ун-та. Сер.І.1998.№3.с.68-69.