

## ЗАТУХАНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЗВУКА В МЕТАЛЛОКЕРАМИКЕ $Y-Ba-Cu-O$

И. М. Голев, О. Н. Иванов, И. М. Шушлебин, С. А. Гриднев,  
В. Е. Милошенко

Исследовано поглощение звука в диапазоне частот  $10-10^3$  Гц в металлокерамике  $YBa_2Cu_3O_{7\pm\delta}$ . Обнаружены аномалии внутреннего трения  $Q^{-1}$  данного соединения с максимумами при 10, 30, 55, 82, 92 и 105 К. В области  $N-S$  перехода отмечается широкая аномалия  $Q^{-1}$ . Показано, что в присутствии внешних магнитных полей имеет место резкое увеличение  $Q^{-1}$  в сверхпроводящем состоянии, обусловленное воздействием индукционных токов.

В настоящее время проведены исследования упругоакустических свойств высокотемпературных сверхпроводников в ультразвуковом диапазоне частот (см., например, [1-3]). Однако известно, что особенности поглощения упругих колебаний в твердом теле существенно зависят от частоты. Нами изучалось влияние тепловых и магнитных полей на величину диссипации энергии в металлокерамике  $YBa_2Cu_3O_{7\pm\delta}$ .

Измерения затухания звука проводились методами изгибных [4] и крутильных [5] колебаний. В первом случае образец в виде пластины с характерными размерами  $12 \times 3 \times 0.3$  мм закреплялся консольно и совершал свободные колебания с частотой  $f \sim 10^3$  Гц. Измерения инфранизкочастотного  $Q^{-1}$  ( $f \sim 10$  Гц) выполнены с помощью обращенного крутильного маятника на образцах размерами  $20 \times 2 \times 2$  мм. Температурные зависимости  $Q^{-1}$  определялись в условиях непрерывного нагревания со скоростью  $\sim 0.005$  К/с. Изучались зависимости внутреннего трения от температуры или величины приложенного магнитного поля.

Образцы номинального состава  $YBa_2Cu_3O_{7\pm\delta}$  приготовлены по двухстадийной керамической технологии [6] из смеси порошков  $Y_2O_3$  (ч. д. а.),  $BaCO_3$  (ч. д. а.) и  $CuO$  (ч. д. а.), взятых в стехиометрическом соотношении. Исходная смесь отжигалась при температуре 1170 К на воздухе в течение 6 ч, после чего полученный продукт перемалывался и отпрессовывался в заготовки в форме дисков при давлении 800 КПа. Заключительный отжиг проводился при 1220 К в течение 15 ч также на воздухе. Дифрактометрические исследования показали, что 95 % объема образует фаза  $YBa_2Cu_3O_{7\pm\delta}$ . Измерения проводились на партии образцов в количестве не менее 10 шт. Полученные результаты хорошо воспроизводились.

Были определены температурные зависимости электросопротивления  $R$  (рис. 1, I) и магнитной проницаемости  $\mu$  (рис. 2, I). Резистивный переход начинается при 93 К, в интервале 89—91 К сопротивление уменьшилось на 60 %, нулевые значения  $R$  достигнуты в области 85 К (в отсутствие приложенного магнитного поля). Изменение  $\mu$  начинается при 90 К, в интервале температур 85—90 К последняя уменьшалась на 60 %, максимальный диамагнитный эффект достигнут только в области 50 К.

Как показали исследования внутреннего трения металлокерамики  $YBa_2Cu_3O_{7\pm\delta}$ , наблюдается довольно сложная его зависимость от температуры. В интервале температур 4.2—75 К обнаружены пики с максимальными значениями  $Q^{-1}$  вблизи 10, 30 и 55 К (рис. 3). Показано, что пики

в области 30 и 55 К не изменяют своего положения при увеличении частоты колебаний от 1200 до 3000 Гц, что характерно для аномалий  $Q^{-1}$ , обусловленных фазовыми переходами. Пик при 10 К смещается в область меньших температур. Ранее аномалии  $Q^{-1}$  подобного поведения были обнаружены в сверхпроводящем ниобии [7], их появление связывалось с изменением коэффициента торможения дислокаций и влиянием квантовых

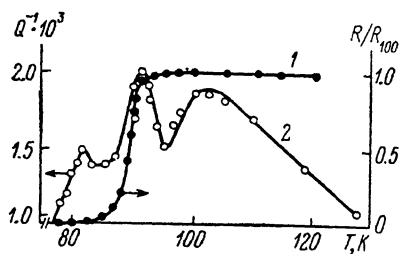


Рис. 1. Зависимость электросопротивления (1) и внутреннего трения (2) от температуры для металлокерамики  $YBa_2Cu_3O_{7\pm\delta}$ .  $f=1200$  Гц.

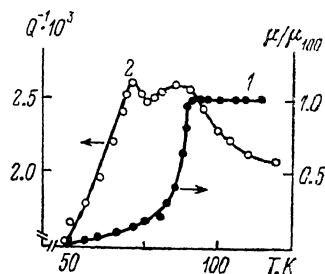


Рис. 2. Зависимость магнитной проницаемости (1) и внутреннего трения (2) от температуры металлокерамики  $YBa_4Cu_3O_{7\pm\delta}$ .  $f=14$  Гц.

флуктуаций на среднюю частоту открепления дислокационных сегментов при сверхпроводящем переходе.

В области температур 75—130 К наблюдается широкий пик  $Q^{-1}$  (рис. 1, 2). Отмечаются локальные максимумы  $Q^{-1}$  при 82, 92 и 105 К, последний из которых предшествует  $N-S$  переходу, первые приходятся на начало и окончание изменения  $R(T)$ .

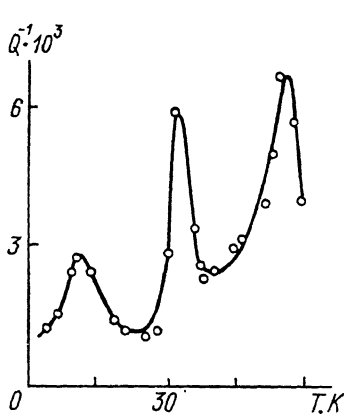


Рис. 3. Температурная зависимость внутреннего трения металлокерамики  $YBa_2Cu_3O_{7\pm\delta}$ .

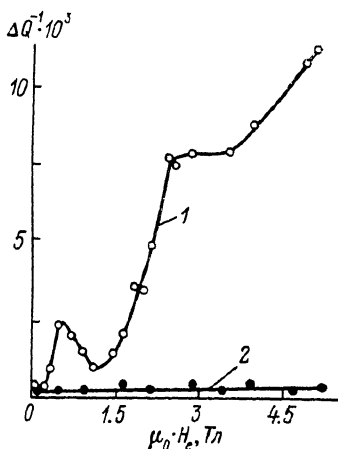


Рис. 4. Зависимость  $\Delta Q^{-1}$  от продольного магнитного поля.

$f=2600$  Гц. 1 — в сверхпроводящем состоянии, 5 К; 2 — в нормальном состоянии, 220 К.

В инфразвуковом диапазоне частот также наблюдается широкая аномалия  $Q^{-1}$  в интервале температур 50—130 К (рис. 2). Однако в этой области частот перед сверхпроводящим переходом наблюдается только рост  $Q^{-1}$ , а максимальные его значения при 75—85 К совпадают с изменением  $\mu(T)$ , окончание которого сопровождается уменьшением  $Q^{-1}$ .

Сравнение результатов эксперимента в различных частотных диапазонах показывает, что сверхпроводящий фазовый переход в металлокерамике  $YBa_2Cu_3O_{7\pm\delta}$  сопровождается значительными изменениями внутреннего трения данного соединения. Область изменения  $Q^{-1}$  шире области  $N-S$  перехода, и определение влияния последнего на величину  $Q^{-1}$  было затруднено из-за большого затухания вблизи локальных максимумов.

Известно, что магнитное поле оказывает заметное влияние на поведение сверхпроводника, в том числе и протекающие в нем диссипативные процессы. Металлокерамики являются в этом отношении интересными объектами исследований, так как сохраняют сверхпроводимость в очень большом диапазоне полей, начиная с их малых значений [8], где наблюдается смешанное состояние. В этой связи нами было исследовано влияние магнитного поля на величину затухания при постоянной температуре. Так, для сверхпроводника, находящегося в нормальном состоянии ( $T=220$  К; рис. 4, 2), наблюдается монотонное возрастание  $\Delta Q^{-1}$  с увеличением магнитного поля. Если же образец перевести в сверхпроводящее состояние, то затухание резко возрастает (кривая 1) и на зависимости  $\Delta Q^{-1}(H_e)$  наблюдаются пики в области 1 и 3 Тл.

Величина  $\Delta Q^{-1}(H_e)$  в рамках электродинамического подхода определяется средней мощностью джоулевых потерь индукционных токов  $\mathbf{j} = \sigma \mathbf{E}$ ,  $\mathbf{E} = 1/c \cdot [\mathbf{v} \cdot \mathbf{H}_e]$ , где  $\mathbf{v} = \mathbf{v}(x, t)$  — скорость какого-либо элемента пластины;  $\sigma(H_e)$  — динамическая проводимость сверхпроводника, введенная в [9]. Тогда

$$\Delta Q^{-1}(H_e) \approx \frac{\sigma(H_e) H_e^2}{\rho_M c^2 \omega_0^2},$$

где  $\omega_0$  — собственная частота колебаний пластины,  $\rho_M$  — плотность керамики. Оценка по формуле значений динамической проводимости в поле 5 Тл показывает, что  $\sigma$  в сверхпроводящем состоянии ( $T=5$  К) в 30 раз превышает проводимость в нормальном состоянии ( $T=220$  К). Пики на кривой  $\Delta Q^{-1}(H_e)$  в сверхпроводящем состоянии свидетельствуют о сложном характере зависимости  $\sigma$  от  $H_e$ .

Однако провести более детальное обсуждение полученных результатов на данном этапе затруднительно.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Барьяхтар В. Г., Пан В. М., Таборов В. Ф. и др. // ФНТ. 1987. Т. 13. № 8. С. 848—849.
- [2] Головашкин А. И., Данилов В. А., Иваненко О. М. и др. // Письма в ЖЭТФ. 1987. Т. 46. № 7. С. 273—275.
- [3] Варюхин В. Н., Резников А. В., Григуть О. В. и др. // Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Ч. 2. Свердловск, 1987. С. 199—200.
- [4] Милошенко В. Е., Золотухин И. В., Постников В. С. // ПТЭ. 1972. № 1. С. 218—220.
- [5] Гриднев С. А., Кудряш В. И., Шувалов Л. А. // Изв. АН СССР, сер. физ. 1979. Т. 43. С. 1718—1722.
- [6] Wu M. K., Ashburn J. R., Torrey C. J. et al. // Phys. Rev. Lett. 1987. V. 58. N 9. P. 908—910.
- [7] Милошенко В. Е. // ФТТ. 1987. Т. 29. № 8. С. 2545—2547.
- [8] Grand P. M., Beyers R. S., Engler E. M. et al. // Phys. Rev. B: Condens. Matter. 1987. V. 35. N 13. P. 7242—7244.
- [9] Золотухин И. В., Милошенко В. Е., Рощупкин А. М. и др. // ФНТ. 1980. Т. 6. № 2. С. 230—235.

Воронежский политехнический институт  
Воронеж

Поступило в Редакцию  
6 июня 1988 г.  
В окончательной редакции  
17 августа 1988 г.