

Вновь обнаруженный физический эффект может быть назван эффектом „каталитической сублимации“. Детали его механизма будут уточняться в дальнейших исследованиях.

## Л и т е р а т у р а

- [1] Беспалов В.Л., Залогин Г.Н., Лунев В.В. и др. – Тез. докл. УШ Всесоюз. конф. по динамике разреженных газов. Москва, 24–26 сентября 1985 г., М.: МАИ, 1985, т. 1, с. 78.
- [2] Анфимов Н.А., Беспалов В.Л., Воронкин В.Г., Залогин Г.Н. и др. Гагаринские научные чтения по космонавтике и авиации 1983 г., 1984 г. М.: Наука, 1985. с. 181.
- [3] Анфимов Н.А., Итин П.Г., Копятевич Р.М. Сюсин А.В. Гагаринские научные чтения по космонавтике и авиации 1981 г., М.: Наука, 1983, с. 154.
- [4] Воронкин В.Г., Залогин Г.Н. – Изв. АН СССР, МЖГ, 1980, № 3, с. 156–158.

Поступило в Редакцию  
19 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 22

26 ноября 1988 г.

## УПРУГАЯ РЕЛАКСАЦИЯ

### В СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КЕРАМИКЕ $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$

З о н и н а ш в и л и В.В., И.А. Н а с к и д а ш в и л и

Существующие в настоящее время данные об упругих свойствах сверхпроводящих керамик на основе редкоземельных элементов получены в основном из акустических измерений, которые проводились в диапазоне частот  $5 \cdot 10^4 - 10^7$  Гц [1–3]. Расширение диапазона акустических исследований в область более низких частот может, с одной стороны, привести к более четкому пониманию тех аномалий, которые уже обнаружены в температурном спектре акустических свойств сверхпроводящих керамик, а с другой – к выявлению новых.

В настоящей работе представлены результаты исследований температурной зависимости поглощения звука и динамического модуля упругости в сверхпроводящей керамике  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  на частотах 1.4 и 2.6 кГц в интервале температур 70–130 К.

Измерения проводились на образцах, полученных по обычной технологии синтеза соединений  $Y_2O_3$ ,  $BaCO_3$  и  $CuO$  при 1220 К с последующим прессованием и отжигом в кислородной атмосфере. Температура сверхпроводящего перехода  $T_c$ , измеренная индукци-

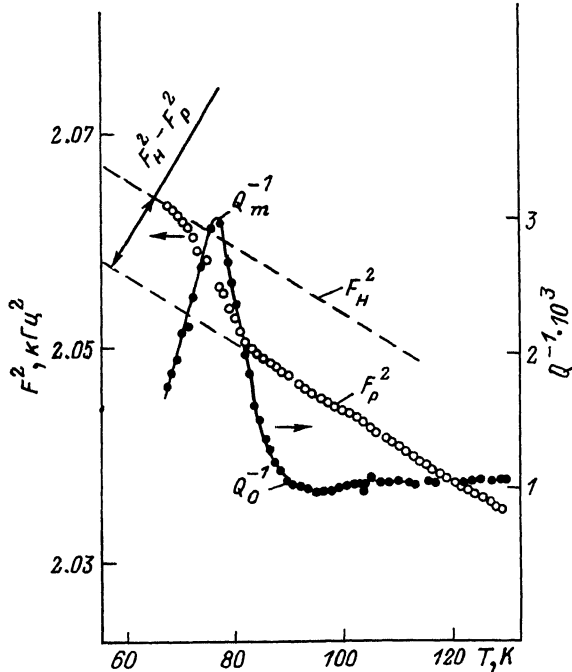


Рис. 1. Зависимость динамического модуля упругости (○) и поглощения звука (●) от температуры в  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  (частота звуковых колебаний  $\sim 1430$  Гц).

онным методом, составляла 92.5 К, ширина перехода 2.5 К. Образцы представляли собой четвертьволновой вибратор, изгибные колебания в котором возбуждались электростатическим методом на его резонансной частоте [4]. Поглощение звука (в единицах обратной добротности вибратора  $Q^{-1}$ ) определялось по декременту затухания свободных колебаний образца, а динамический модуль упругости  $M$  по квадрату его резонансной частоты  $F^2$  (для акустического вибратора  $M \propto F^2$ ).

На рис. 1 представлены температурные зависимости  $Q^{-1}$  и  $F^2$ , полученные на частоте 1.4 кГц в процессе нагрева образца. Как видно из рисунка, при температуре  $T \sim 77$  К наблюдается максимум поглощения звука, сопровождающийся аномалией модуля упругости. Увеличение частоты колебаний до 2.4 кГц (путем уменьшения длины образца) не изменило характера температурных спектров  $Q^{-1}$  и  $F^2$ , представленных на рис. 1, а привело только к смещению положений максимума  $Q^{-1}$  и аномалии  $F^2$  в сторону более высоких значений температур ( $T \sim 81$  К). Такое поведение  $Q^{-1}$  и  $F^2$  при увеличении частоты звуковых колебаний, а также характер аномалии  $F^2$  в области максимума  $Q^{-1}$  позволяют заключить, что в

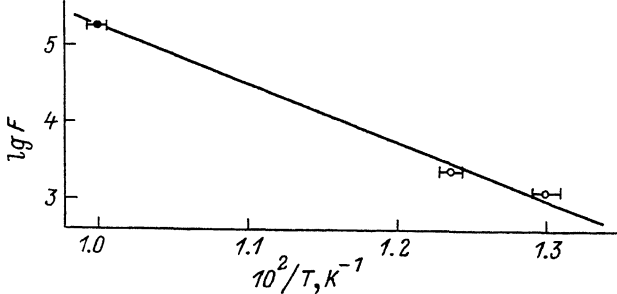


Рис. 2. Зависимость  $\lg F$  от обратной температуры максимума  $Q^{-1}$ :  $\circ$  – результаты настоящей работы;  $\bullet$  – результаты работы [3]

области 77–81 К на частотах  $\sim 10^3$  Гц в иттриевой керамике имеет место упругий релаксационный процесс.

Как известно, для монорелаксационного процесса отношение степени релаксации  $S = (M_H - M_P)/M_P$  к величине максимума поглощения звука за вычетом фона  $Q_m^{-1} - Q_0^{-1}$ , должно равняться двум [5] ( $M_H$  и  $M_P$  – нерелаксированный и релаксированный модули, соответственно). Для результатов, представленных на рис. 1,  $S = (F_H^2 - F_P^2)/F_P^2 \sim 4.1 \cdot 10^{-3}$ ,  $Q_m^{-1} - Q_0^{-1} \sim 2 \cdot 10^{-3}$ , т.е.  $S/(Q^{-1} - Q_0^{-1}) \sim 2.05$ , и, следовательно, наблюдаемый процесс характеризуется одним временем релаксации. В этом случае, считая, что время релаксации  $\tau$  экспоненциально зависит от температуры (что очень часто наблюдается в твердых телах), можно по полуширине максимума  $Q^{-1}$  определить энергию активации  $H$ , которая в данном случае оказалась равной  $0.10 \pm 0.02$  эВ.

Ранее [3] в  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-8}$  на частотах  $\sim 200$  кГц при  $T \sim 100$  К был обнаружен максимум затухания звука, сопровождающийся аномалией модуля упругости, характерной для релаксационного процесса. Хотя в [3] ничего не говорится о том, что обнаруженные аномалии акустических свойств могут быть обусловлены релаксационным процессом, тем не менее величина максимума  $Q^{-1}$ , его температурное положение и характерное поведение модуля позволяют предположить, что природа аномалий акустических свойств иттриевой керамики, полученных в [3] и в настоящей работе, одна и та же. В этом случае из зависимости  $\lg F$  от  $1/T_M$  ( $F$  – частота звуковых колебаний,  $T_M$  – температура максимума  $Q^{-1}$ ), представленной на рис. 2, можно также определить энергию активации процесса  $H$ . Полученное таким способом значение  $H = 0.15 \pm \pm 0.025$  эВ в полтора раза превышает значение энергии активации, определенное по полуширине максимума  $Q^{-1}$  ( $H = 0.10 \pm 0.02$  эВ). Такое расхождение может быть связано, с одной стороны, с узостью частотного диапазона исследований, а с другой – с тем, что в [3] и в настоящей работе использовались образцы разного происхождения. Из рис. 2 можно оценить и частотный фактор данного процесса –  $\tau_0 \sim 10^{14}$  с $^{-1}$ .

Таким образом, результаты данной работы позволяют заключить, что в  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  вблизи температуры перехода в сверхпроводящее состояние наблюдается монорелаксационный процесс с энергией активации 0,10–0,15 эВ, частотным фактором  $\sim 10^{14}$  Гц и степенью релаксации  $\sim 4 \cdot 10^{-3}$ . Природа данного процесса в настоящее время неясна. Тем не менее хотелось бы отметить, что несмотря на близость к температуре сверхпроводящего перехода, наблюдаемый процесс непосредственно с переходом скорее всего никак не связан.

В заключение авторы выражают благодарность В.А. Кочерову, Л.А. Бениной, В.Л. Хмиадашвили, И.А. Баглаенко за приготовление образцов, и Л.М. Колесниковой за помощь в проведении экспериментов.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Vishop D.J., Ramirez A.P., Gam-mel P.L., Batlogg B., Rietman E.A., Cava R.J., and Millis A.J. – Phys. Rev. B, 1987, v. 36, N 4, p. 2408–2410.
- [2] Головашкин А.И., Иваненко И.М., Мицен К.В., Данилов В.А., Перепечко И.И., Лейтус Г.М., Карпинский О.Г., Шамрай В.Ф. В сб.: Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Свердловск, 1987, ч. 11, с. 180–181.
- [3] Аншук Н.В., Головашкин А.И., Иваненко О.М., Кадомцева А.М., Казей З.А., Крынецкий И.Б., Левитин Р.З., Милль Б.В., Мицен К.В., Снегирев В.В. В сб.: Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Свердловск, 1987, ч. II, с. 182–183.
- [4] Мелик-Шахназаров В.А., Наскидашвили И.А. – ПТЭ, 1967, № 1, с. 181–184.
- [5] Физическая акустика / Под ред. У. Мезона. М.: Мир, 1969, т. 111 А.

Поступило в Редакцию  
4 августа 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 22

26 ноября 1988 г.

### ИНВЕРСИЯ НАСЕЛЕННОСТЕЙ НА МЕЖЗОННЫХ ПЕРЕХОДАХ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ В ПОСТОЯННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Г.М. Генкин, А.В. Окомельков

1. Интерес к созданию инверсии населенностей на межзонных переходах в полупроводниках сильным электрическим полем возник давно (см., например, [1]). Предполагалось, что в сильном поле благодаря ударной ионизации создастся достаточно много носителей