

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРА КРС МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СВЕРХПРОВОДНИКА $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

Д.Н.Мирлич, И.И.Решина

Впервые измерена температурная зависимость частоты и ширины фононной линии в спектре КРС монокристаллического сверхпроводника $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Из ширины линии выделен температурно-независимый член, связанный с электрон-фононным взаимодействием и неоднородным уширением. Предположено, что уменьшение ширины линии при $T \ll T_c$ обусловлено попаданием частоты фонона в сверхпроводящую щель и выключением механизма электрон-фононного взаимодействия, откуда следует, что $2\Delta/kT_c \gg 5$.

Измерения температурных зависимостей частот и ширин фононных линий в спектрах комбинационного рассеяния света (КРС) новых высокотемпературных сверхпроводников представляет несомненный интерес для исследования механизма сверхпроводимости. Нами впервые проведены такие измерения на монокристалле $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ орторомбической структуры ($T_c = 94$ К). Монокристалл был выращен в Институте кристаллографии АН СССР в лаборатории С.М.Стишова. Образец представлял собой тонкую пластинку размером $1 \times 1,5$ мм² с осью c перпендикулярной плоскости. КРС регистрировалось на спектрометре ДФС-24 с двойным монохроматором, охлаждаемым фотоумножителем ФЭУ-79 и системой счета фотонов. Возбуждение осуществлялось линией 4880 Å Ar^+ -лазера с мощностью, не превышающей 60 мВт. Спектральная ширина щели S составляла $4 - 6$ см⁻¹. Истинная полуширина полосы определялась по измеренной полуширине $\Delta\nu_{\text{изм}}$ с помощью приближенной формулы $\Delta\nu = [(\Delta\nu_{\text{изм}})^2 - S^2]^{1/2}$, справедливой, когда $\Delta\nu_{\text{изм}}$ в несколько раз больше S .

На рис. 1 приведен спектр КРС при комнатной температуре – кривая 1, и для сравнения спектр керамического однофазного образца $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ – кривая 2. Поскольку в монокристалле регистрируется рассеяние от плоскости ab , могут проявляться только колебания с компонентами рамановского тензора XX , YY и XY . Полоса 505 см⁻¹ связана с колебанием A_{1g} -симметрии и проявляется в поляризации ZZ ¹⁻³. Поэтому она не наблюдалась при рассеянии от плоскости ab монокристалла. Полоса 336 см⁻¹, по нашему мнению, относится также к A_{1g} типу симметрии, но с компонентами тензора комбинационного рассеяния α_{aa} , $\alpha_{bb} \gg \alpha_{cc}$. Эта интерпретация согласуется с данными работы².

В спектре монокристалла нами подробно исследовалась температурная зависимость полосы $\nu = 336$ см⁻¹. Температурная зависимость частоты в диапазоне 1,6 – 296 К представлена на рис. 2 а. Она имеет немонотонный ход с широким максимумом в районе температуры сверхпроводящего перехода. Отметим, что подобная температурная зависимость этой полосы наблюдалась также в керамическом образце $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ⁴. На рис. 2 б приведена температурная зависимость полуширины этой полосы. Обращает на себя внимание очень

слабая зависимость от температуры выше 100 К. Для сравнения показана температурная зависимость полуширины полосы $\nu = 387 \text{ см}^{-1}$ (близкой по частоте), которая наблюдалась нами в спектре многофазного керамического образца¹⁾. Эта зависимость хорошо аппроксимируется ангармоническим процессом распада на два фонона одинаковой частоты, т. е. имеет вид:

$$\Delta\nu \sim 2\tilde{n} + 1,$$

где $\tilde{n} = (\exp(h\nu/2kT) - 1)^{-1}$. В то же время температурную зависимость полосы $\nu = 336 \text{ см}^{-1}$ в монокристалле $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ не удается описать ангармоническим процессом распада. Выше 100 К ее можно представить в виде суммы двух членов: ангармонического $\Delta\nu_a \sim 2\tilde{n} + 1$ и температурно-независимого $\Delta\nu_c$. Зависимость $\Delta\nu(T) = \Delta\nu_a(T) + \Delta\nu_c$ представлена на рис. 2 б сплошной линией. Мы полагаем, что в член $\Delta\nu_c$ может вносить

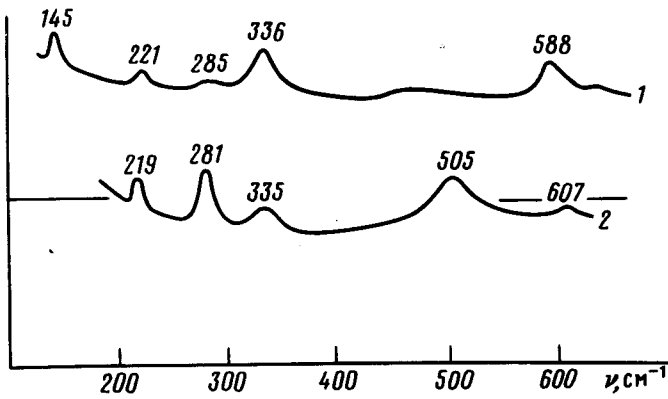


Рис. 1. Спектр КРС монокристалла $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ от плоскости ab — кривая 1. Спектр КРС однофазного керамического образца $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ — кривая 2, $T = 295 \text{ К}$

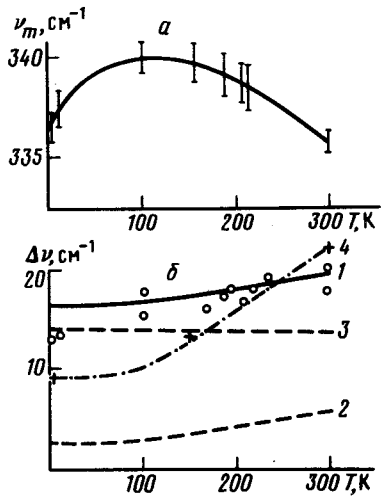


Рис. 2. а — Температурная зависимость частоты полосы 336 см^{-1} в монокристалле; б — температурная зависимость полуширины линии $\nu = 336 \text{ см}^{-1}$ в монокристалле $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (кружки — эксперимент, кривая 1 — расчетная зависимость $\Delta\nu(T) = \Delta\nu_a(T) + \Delta\nu_c$, кривая 2 — $\Delta\nu_a(T)$, штриховая прямая 3 — $\Delta\nu_c$, кривая 4 — температурная зависимость полуширины линии $\nu = 387 \text{ см}^{-1}$ неметаллической фазы (поликристаллический многофазный образец)

вклад как электрон-фононное взаимодействие, так и неоднородное уширение, связанное, скорее всего, с беспорядком по кислороду, свойственным этим соединениям.

Отметим, что в спектре КРС обычных металлов (Cd , Mg) также наблюдался температурно-независимый вклад в затухание фононов, который составлял 3 — 5% от частоты колебания⁵. Относительная величина температурно-независимого вклада в уширение у $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ составляет 4% от частоты колебания, и, таким образом, сравнима со значением, наблюдаемым в обычных металлах.

Ниже температуры сверхпроводящего перехода измеренная полуширина полосы 336 см^{-1} не укладывается на расчетную зависимость. Ее уменьшение может быть обусловлено умень-

¹⁾ Наши измерения показали, что этот спектр относится к фазе, не обладающей сверхпроводящим переходом, которая была идентифицирована как неметаллическая фаза Y_2BaCuO_5 в¹⁾.

шением электрон-фононного взаимодействия, если рассматриваемое колебание попадает в область сверхпроводящей щели. Это означало бы, что $2\Delta/kT_c \gtrsim 5$.

Авторы благодарны С.М.Стишову за предоставление монокристалла, М.Г.Семенченко — за предоставление керамических образцов. Мы признательны В.Ф.Сапеге и А.А.Сиренко за помощь в измерениях, Б.П.Захарчене и А.Г.Аронову — за полезное обсуждение результатов.

Литература

1. Hemley R.J., Mao H.K. Phys. Rev. Lett., 1987, **58**, 2340.
2. Yamanaka A., Minami F., Watanabe K. et al. J. Appl. Phys. Jap. 1987, **26**, L1404.
3. Кулаковский В.Д., Мисочко О.В., Тимофеев В.Б. и др. Письма в ЖЭТФ, **46**, 460.
4. Macfarlane R.M., Rosen H., Seki H. Sol. St. Comm., 1987, **63**, 831.
5. Grant W.B., Schulz H., Hufner S., Pelzl J. Phys. St. Sol. (b), 1973, **60**, 331.

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
2 февраля 1988 г.