

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА ПРОВОДИМОСТИ МОНОКРИСТАЛЛОВ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

*А.А. Самохвалов, Н.М. Чеботаев, Н.Н. Лошкарева, Ю.П. Сухоруков,
В.А. Костылев, Б.А. Гижевский, С.В. Наумов*

Исследованы спектры отражения и поглощения монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. На фоне друдеской зависимости световой проводимости $\alpha(\omega)$ обнаружен максимум при $\sim 0,3$ эВ. Результаты интерпретированы в предположении взаимодействия света со свободными и локализованными носителями заряда.

Для понимания природы высокотемпературной сверхпроводимости представляет интерес выяснение особенностей коллектива носителей заряда в нормальном состоянии. Такая информация может быть получена из оптических спектров в области взаимодействия света с носителями заряда. С этой целью исследовались спектры отражения и поглощения монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ в области 0,7 – 14 мкм. Измерения проводились на автоматизированном спектрометре ИКС-21 при комнатной температуре.

Монокристаллы выращивались методом кристаллизации из раствора в расплаве и представляли собой пластинки площадью до 4×4 мм² и толщиной $20 \div 200$ мкм. Образцы, закаленные от 900 С, имеют тетрагональную симметрию с параметрами $a = 3,863$ Å и $c = 11,785$ Å; симметрия монокристаллов, закаленных от температур ниже 800 С – ромбическая. Наиболее проводящие монокристаллы имели параметры $c = 11,705$ Å, $a = 3,843$ Å и $b = 3,883$ Å. Отметим, что поликристаллы с таким же параметром c имеют $a = 3,830$ Å, $b = 3,885$ Å, содержание кислорода $\delta = 0,3$ и $T_c = 60 - 70$ К¹.

На монокристаллах $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ измерялось удельное сопротивление ρ , оценивалась анизотропия ρ и эффект Холла. Сопротивление в плоскости образца при комнатной температуре $\rho_{\parallel} = 10^{-3} - 10^{-1}$ Ом·см. Анизотропия $\rho_{\parallel} / \rho_{\perp}$ составляет 20 – 30; холловская подвижность $\mu \lesssim 0,1$ см²/В·с. По данным измерения сопротивления монокристаллы тетрагональной симметрии в сверхпроводящее состояние не переходят. Часть монокристаллов ромбической симметрии испытывает переход с $T_c = 60 - 70$ К. Сопротивление таких образцов при понижении температуры уменьшается, вблизи T_c наблюдается небольшой горб $\rho(T)$.

Характерной особенностью спектров отражения всех ромбических монокристаллов является резкое возрастание коэффициента отражения R при увеличении длины волны падающего излучения от 0,9 мкм (рис. 1). Такой вид спектра подобен спектрам отражения горячепрессованных образцов с различной степенью окисления, для которых рост R также начинается при одной и той же длине волны независимо от их удельного сопротивления². Подобный вид дисперсии отражения был получен на сверхпроводящей системе $\text{La} - \text{Sr} - \text{Cu} - \text{O}$ ³ при различных концентрациях Sr (разных значениях проводимости) и был объяснен плазменным краем свободных носителей заряда. Однако, в этом случае положение минимума отражения должно было бы существенно зависеть от электропроводности образца. Следует отметить, что наблюдаемая особенность дисперсии R для образцов с различной величиной электропроводности является характерной для соединения с малой подвижностью носителей заряда, таких как BaTiO_3 ⁴, ферриты – шпинели⁵.

В спектрах поглощения монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ толщиной 20 мкм с различным содержанием кислорода (рис. 2) наблюдается максимум, положение которого зависит от содержания кислорода, характеризуемого величиной параметра c . Смещение максимума поглощения и увеличение его интенсивности при увеличении содержания кислорода, т. е. при уменьшении дефектности свидетельствует о том, что данный максимум не является вентриальным переходом, и не связан с дефектностью по кислороду. По-видимому, он свя-

зан с локальными возбуждениями в системе носителей заряда. После длительного отжига в кислороде монокристаллы становятся непрозрачными.

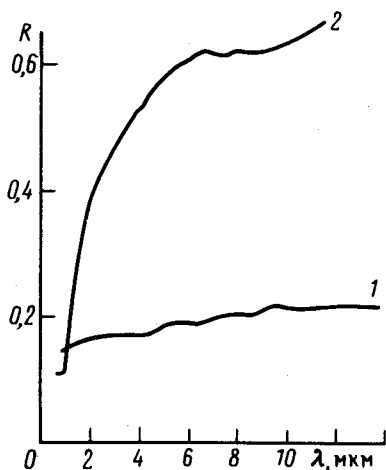


Рис. 1

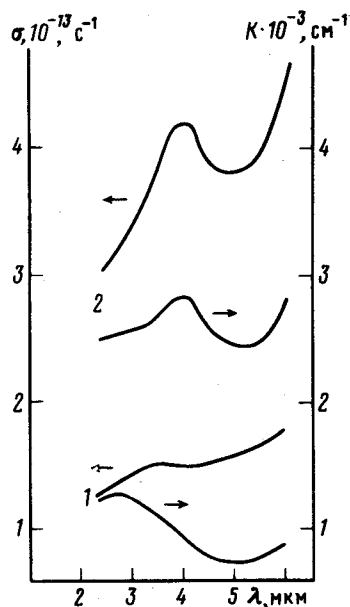


Рис. 2

Рис. 1. Спектры отражения монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ тетрагональной (1) и ромбической (2) симметрии

Рис. 2. Дисперсии коэффициента поглощения (с учетом отражения) и световой проводимости монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ с различным содержанием кислорода (1 - $c = 11,750\text{A}$, 2 - $c = 11,705\text{A}$)

По спектрам отражения и поглощения рассчитаны оптические константы: показатели поглощения k и преломления n , действительная ϵ_1 и мнимая ϵ_2 части диэлектрической проницаемости, световая проводимость σ . Показатели поглощения и преломления растут при увеличении длины волны, причем n изменяется от 4,5 до 8,0 в области от 2 до 6 мкм; действительная часть диэлектрической проницаемости ϵ_1 при этом увеличивается от 20 до 60. Приведенная на рис. 2 световая проводимость σ в исследуемом спектральном диапазоне обусловлена по крайней мере двумя вкладками — друдевским вкладом свободных носителей и поглощением света локализованными носителями.

В ряде работ по оптическим свойствам поликристаллических оксидных сверхпроводников $\text{BaPb}_x\text{Bi}_{1-x}\text{O}_3$, $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ⁶, $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$, $\text{PZBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ⁷ отмечается наличие в области 0,3 – 0,7 эВ максимума световой проводимости. Заметен он и в спектрах $\sigma(\omega)$ мозаики из монокристаллов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ⁸. В статье⁶ делается предположение, что этот максимум связан с электронными возбуждениями, ответственными за сверхпроводимость в этом соединении. Однако в нашем случае подобный максимум наблюдался и в несверхпроводящих образцах. В спектрах пропускания ориентированных тонких пленок с высокой проводимостью ($10^4 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$)⁹ он не наблюдается, что позволяет авторам утверждать об отсутствии в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ каких-либо возбуждений в системе носителей заряда. Возможно, что в этом случае вклад локальных возбуждений не заметен на фоне сильного друдевского вклада. Таким образом, максимум $\sigma(\omega)$ в области взаимодействия света с носителями заряда является типичным для оксидных сверхпроводников. Следует отметить, что подобный максимум $\sigma(\omega)$ обнаружен и в других оксидных несверхпроводящих

соединениях с малой подвижностью носителей заряда, например, в ферритах, где он связывался с поглощенным локализованными состояниями поляронного типа⁵. Учитывая общее сходство оптических спектров в области взаимодействия света с носителями заряда $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ и $3d$ -оксидных соединений с поляронной проводимостью, а также малую подвижность носителей заряда в этих соединениях можно предположить существование поляронов и в $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Оцененный по положению максимума $\sigma(\omega)$ и предельной частоте продольных оптических колебаний $\omega_0 = 600 \text{ см}^{-1}$ параметр электрон-фононной связи $\gamma = 2$. Роль поляронов в механизмах высокотемпературной сверхпроводимости рассматривается в ряде теоретических работ, например, в¹⁰.

Литература

1. Чеботаев Н.М., Самохвалов А.А., Наумов С.В. и др. В сб.: Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Информ. материалы. Часть I. Свердловск: УрО АН СССР, 1987, с. 103.
2. Самохвалов А.А., Чеботаев Н.М., Показиньева Г.К. и др. В сб.: Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Информ. материалы. Часть II. Свердловск: УрО АН СССР, 1987, с. 56.
3. Tajima S., Uchido S., Tanaka S. et al. Jap. J. Appl. Phys., Lett., 1987, 26, L432.
4. Поляроны. М.: Наука, 1975, с. 424.
5. Klinger M.I., Samohkvalov A.A. Phys. St. Sol. (b), 1977, 79, 9.
6. Kamaras K., Porter C.D., Doss M.G. et al. Phys. Rev. Lett., 1987, 59, 919.
7. Номерованная Л.В., Кириллова М.М., Кожевников В.Л. и др. В сб.: Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Информ. материалы. Часть II. Свердловск: УрО АН СССР, 1987, с. 26.
8. Schlesinger S., Collins R.T., Kaiser D.L., Holtzberg F. Phys. Rev. Lett., 1987, 59, 1958.
9. Borovic I., Kirillov D., Kapitulnik A. et al. Phys. Rev. Lett., 1987, 59, 2219.
10. Александров А.С. Письма в ЖЭТФ, 1987, 46, Приложение, с. 128.

Институт физики металлов
Уральское отделение Академии наук

Поступила в редакцию
10 февраля 1988 г.