

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОНКИХ ПЛЕНОК $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ В ИК ОБЛАСТИ СПЕКТРА

В.Л.Константинов, С.Ю.Старк, И.М.Цидильковский

Исследованы ИК спектры отражения сверхпроводящих пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, нанесенных на подложки из различных материалов. Определенное из эксперимента значение параметра $2\Delta/kT_c$ составляет примерно 9,5.

В работе исследовано ИК отражение от тонких пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, нанесенных на подложки из поликристалла Al_2O_3 и монокристаллов SrTiO_3 , ZrO_2 и MgO методом магнетронного напыления. Проводимость, измеренная на постоянном токе, показала наличие резкого сверхпроводящего перехода шириной 1,5 – 2 К с $T_c = 84$ К для пленок на подложках SrTiO_3 и ZrO_2 и с $T_c = 78$ К для пленок на подложке MgO . Пленка, напыленная на Al_2O_3 имела широкий переход, начинающийся при 80 К и заканчивающийся при 60 К. На всех пленках в нормальной фазе наблюдается линейный ход сопротивления с температурой.

Температурная зависимость спектров отражения пленок относительно серебряного эталона сравнения измерялась на фурье-спектрометре АФС-01 с помощью охлаждаемой приставки отражения с углом падения 45° . Температура образца стабилизировалась с точностью не хуже 0,2 К. Спектры снимались с разрешением $1,9 \text{ см}^{-1}$ с погрешностью определения коэффициента отражения не превышающей 1%.

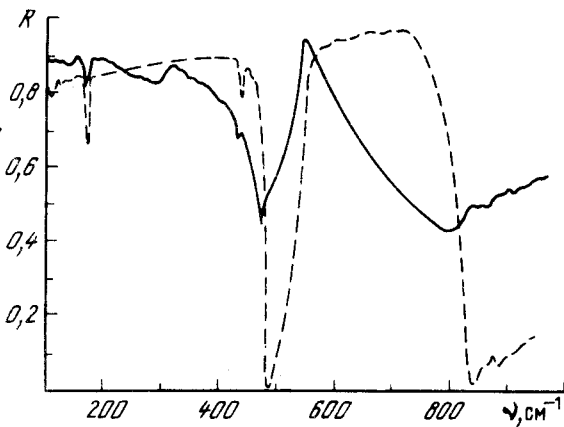


Рис. 1. Спектры отражения при 4,2 К пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ — сплошная линия и подложки SrTiO_3 — пунктир

На рис. 1 приведен для примера спектр отражения при 4,2 К пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ толщиной 1500 Å на подложке из SrTiO_3 . Там же представлен спектр отражения подложки при 4,2 К. Как видно из рис. 1 пленка полупрозрачна, поскольку в ее спектре отражения проявляются особенности, связанные с селективным отражением подложки в области остаточных лучей. Следует отметить, что и в спектрах отражения остальных пленок такой же толщины тоже наблюдаются особенности, связанные с отражением подложек.

В спектрах всех пленок, кроме пленки напыленной на MgO , (см. рис. 2, 3) отчетливо проявляется максимум отражения при 570 см^{-1} , который наблюдается также в спектрах керамик и связан с фоновой модой, обусловленной колебаниями Cu-O -связей вдоль оси c . В спектре пленки на ZrO_2 (см. рис. 3) наблюдаются также максимумы отражения при 150, 280 и 320 см^{-1} из которых в спектре пленки на подложке SrTiO_3 проявляется только максимум при 320 см^{-1} . Эти максимумы хорошо коррелируют с особенностями ИК и КР спектров керамик^{1, 2} и связаны, по-видимому, с колебаниями связей Ba-O и Cu-O в плоскости ab . Все указанные особенности присутствуют также в спектрах пленок, напыленных на Al_2O_3 , но не наблюдаются в спектрах пленок на подложке из MgO .

Данные рентгеноструктурного анализа пленки на подложке SrTiO_3 , свидетельствуют о том, что пленка монокристаллическая и ось c направлена практически по нормали к поверхности подложки. Наличие фоновой структуры в спектрах пленок, напыленных на ZrO_2 и Al_2O_3 можно, по-видимому, объяснить тем, что на этих подложках, в отличие от SrTiO_3 и MgO , не удается вырастить эпитаксиальные пленки, и отражение ИК излучения происходит от разориентированных монокристаллических областей, в которых ось c отклонена от нормали к поверхности подложки.

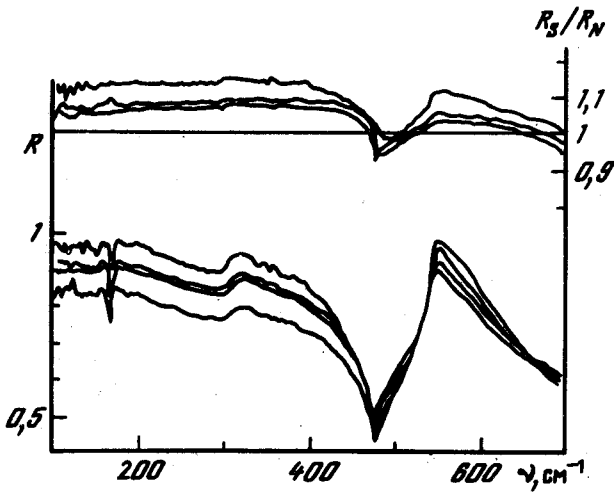


Рис. 2. Спектры отражения пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ на подложке SrTiO_3 при различных температурах. Сверху вниз: $T = 4,2 \text{ К}$, $T = 28 \text{ К}$, $T = 70 \text{ К}$, $T = 92 \text{ К}$. Вверху — частотная зависимость отношения R_S/R_N . R_N снято при $T = 92 \text{ К}$. Сверху вниз: $T = 4,2 \text{ К}$, $T = 28 \text{ К}$, $T = 70 \text{ К}$

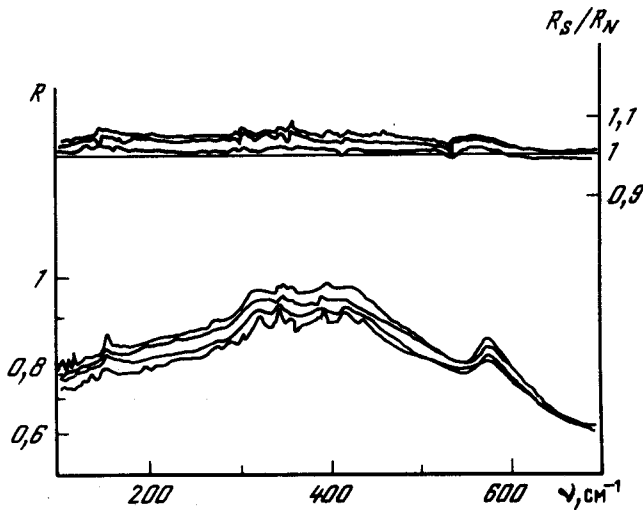


Рис. 3. Спектры отражения пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ на подложке ZrO_2 при различных температурах. Сверху вниз: $T = 4,2 \text{ К}$, $T = 29 \text{ К}$, $T = 57 \text{ К}$, $T = 93 \text{ К}$. Вверху — частотная зависимость отношения R_S/R_N . R_N снято при 93 К . Сверху вниз: $T = 4,2 \text{ К}$, $T = 29 \text{ К}$, $T = 57 \text{ К}$

В верхней части рис. 2 и 3 приведены спектральные зависимости отношения коэффициентов отражения пленок на подложках SrTiO_3 и ZrO_2 в сверхпроводящем и нормальном состояниях. Как видно из рисунков, имеется две спектральные области, в которых $R_S/R_N > 1$: от 80 до 450 — 500 см^{-1} без выраженного максимума (отсутствует также пересечение $R_S = R_N$ в длинноволновой части спектра) и от 500 — 520 см^{-1} до 650 — 700 см^{-1} . Коэффициент отражения пленок на подложках Al_2O_3 и MgO в сверхпроводящем состоянии во всей исследованной области спектра от 80 до 1000 см^{-1} превышает коэффициент отражения пленок в нормальном состоянии, причем частотная зависимость R_S/R_N не имеет никаких особенностей. При изменении температуры не обнаружено заметного сдвига максимума при 550 см^{-1} по частоте, но на всех пленках увеличение температуры вплоть до T_c приводит к приближению коэффициента отражения R_S к R_N таким образом, что частотная зависимость

R_S/R_N исчезает и $(R_S/R_N) \sim 1$ во всей исследованной области. Спектры R_N были сняты при температуре 92–93 К. Дальнейшее повышение температуры от 93 К до 150 К не меняет результатов.

Полагая, что максимум R_S/R_N в области 550 см^{-1} , наблюдаемый в спектрах пленок на подложках SrTiO_3 и ZrO_2 обусловлен поглощением ИК излучения при возбуждении носителей заряда через сверхпроводящую щель^{3,4}, получим для параметра $2\Delta/kT_c$ пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ значение $9,5 \pm 0,5$.

Заметим, что аналогичный максимум в зависимости R_S/R_N от частоты наблюдался нами на одном из керамических образцов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ с $T_c = 93 \text{ К}$ при 540 см^{-1} . Наряду с этим максимумом наблюдались также максимумы при 180 и 320 см^{-1} , отмеченные ранее⁵. Однако, в отличие от данных⁵ все наблюдавшиеся нами максимумы R_S/R_N не сдвигались по частоте при увеличении температуры вплоть до T_c . Оценка параметра $2\Delta/kT_c$ в этом случае дает значение $8,2 \pm 0,5$, которое хорошо согласуется с данными работы⁶, где приводится значение $2\Delta/kT_c = 8$ для монокристалла.

Значение параметра $2\Delta/kT_c$, определенное нами из ИК отражения пленок, превышает значения $2\Delta/kT_c$, определенные другими методами на пленках $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ^{7,8}, равные соответственно 3,5 и 4,5. Однако, найденные нами величины не превосходят теоретически возможного верхнего предела $2\Delta/kT_c = 11$ для случая экстремально сильной электрон-фононной связи⁹.

Данные наших оптических исследований тонких пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ позволяют оценить глубину проникновения ИК излучения в сверхпроводник. Как уже отмечалось, пленки толщиной 1500 \AA полупрозрачны в области $100 - 600 \text{ см}^{-1}$, так как в спектрах их отражения наблюдаются фоновые пики подложек. В спектре отражения пленки толщиной 2700 \AA ; нанесенной на подложку SrTiO_3 не обнаружено никаких особенностей, связанных с селективным отражением подложки. Таким образом, можно заключить, что глубина проникновения ИК излучения в сверхпроводящую пленку составляет от 1500 до 2700 \AA .

Литература

1. Tomsen C., Liu R. et al. Sol. St. Comm., 1987, **65**, 219.
2. Bonn D.A., Greedan J.E. et al. Phys. Rev. Lett., 1987, **58**, 2243.
3. Mattis D.C., Bardeen J. Phys. Rev., 1958, **111**, 412.
4. Richards P.L., Tinkham M. Phys. Rev., 1960, **119**, 575.
5. Абель Е.В., Багаев В.С. и др. Письма в ЖЭТФ, 1988, **47**, 144.
6. Schlesinger Z., Collins R.T. et al. Phys. Rev. Lett., 1987, **59**, 1958.
7. Hoevers H.F.C., Van Bentum P.J.M. et al. Physica C, 1988, **152**, 105.
8. Chaudhari P., Collins R.T. et al. Phys. Rev. B., 1987, **36**, 8903.
9. Marsiglio F., Akis R., Corbette J.R. Phys. Rev. B., 1987, **36**, 5245.

Институт физики металлов
Уральское отделение Академии наук СССР

Поступила в редакцию
5 сентября 1988 г.