

ОПТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОНКИХ ПЛЕНОК $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ СИНХРОТРОННЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ В ОБЛАСТИ $4 \div 30$ эВ

В.Г.Станкевич, Н.Ю.Свечников, К.В.Казначеев,
Р.А.Кинк, Х.Э.Низдраис, В.Н.Голубев,
В.Я.Косыев, Ю.Н.Симирский, М.Б.Цетлин

Для сверхпроводящей пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ с помощью синхротронного излучения впервые измерены спектры отражения, излучения и возбуждения люминесценции. Обнаружена широкая полоса люминесценции экситонного типа при $E \sim 2,8$ эВ, интенсивность которой имеет особенность при температуре сверхпроводящего перехода и затухает при дальнейшем повышении температуры.

В большом числе публикаций, посвященных исследованию свойств высокотемпературных сверхпроводников, оптические спектры этих объектов изучены, в основном, в инфракрасной и видимой областях, например ^{1, 2}. Лишь в работе ³ исследован спектр возбуждения люминесценции в ближней ВУФ-области (до 10 эВ). Нами исследованы спектры отражения, возбуждения люминесценции, спектр излучения, а также его температурный ход. В экспериментах использовалась пленка толщиной 1500 ± 200 Å, изготовленная на подложке из SrTiO_3 методом импульсного лазерного напыления в кислородной среде. Температура сверхпроводящего перехода пленки $T_c = 85,7$ К, ширина перехода 1,6 К. Критическая плотность тока свежееосажденной пленки при $T = 77$ К составила величину порядка 10^6 А/см².

Измерения проводились на ВУФ-спектрометре источника СИ "СИБИРЬ-1" ⁴. Спектры люминесценции измерялись с помощью анализирующего монохроматора МДР-23 в режиме счета фотонов.

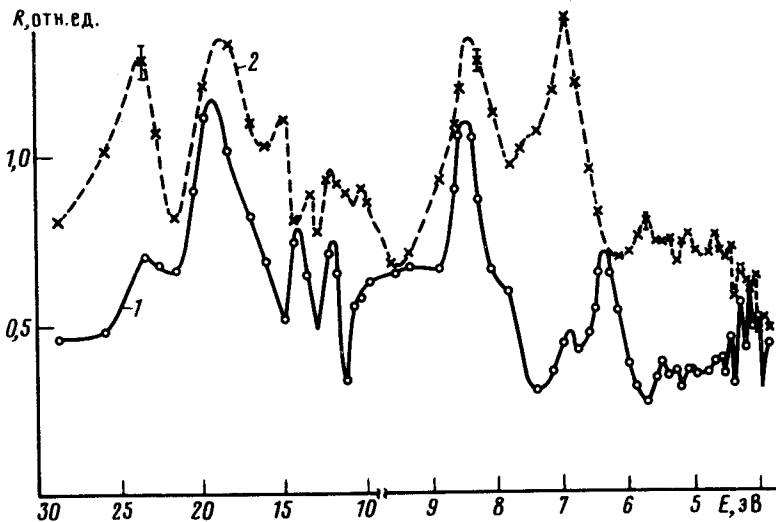


Рис. 1. Спектры отражения иттриевой пленки

Образец помещался в вакуум $\sim 10^{-8}$ торр без предварительного прогрева установки. Диапазон исследуемых температур ($9 \div 200$) К. В экспериментах с пленкой ее сопротивление контролировалось по четырехпроводной схеме непосредственно под пучком СИ.

На рис. 1 представлены спектры отражения под углом 45° пленки при температурах 30 К, полученные при первом облучении СИ (1), и через два часа предварительного облучения (2). Коэффициент отражения нашего образца составил величину $R \sim 10^{-3}$, что позволяет

сделать лишь общие выводы о спектре отражения: его структура состоит из целого ряда максимумов, часть которых изменяется под облучением. Однако положение пиков при энергиях 7,0; 8,5; 19,0 и 24 эВ изменяется слабо. Недавно в работе ⁵ опубликованы расчеты ϵ_2 для иттриевого сверхпроводника в области до 8 эВ. При энергии 7 эВ в этой зависимости имеется широкий максимум, который совпадает с пиком 7,0 эВ нашего спектра отражения.

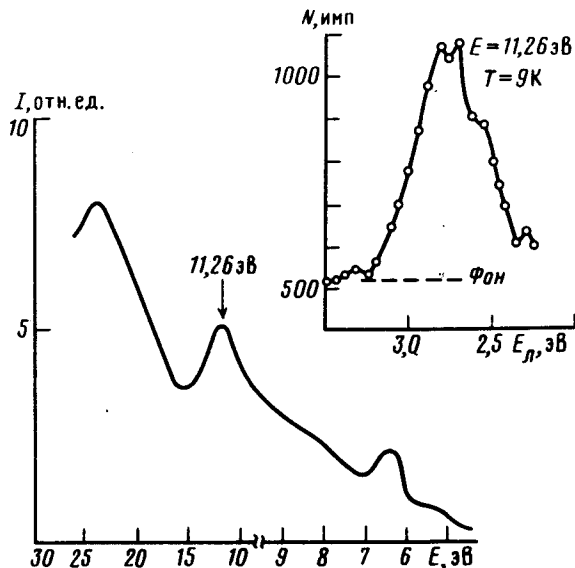


Рис. 2. Спектр возбуждения люминесценции пленки. На врезке спектр свечения пленки при возбуждении пучком СИ с энергией 11,26 эВ

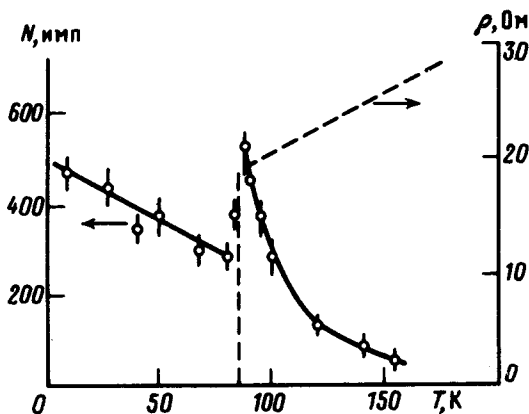


Рис. 3. Температурные зависимости интенсивности люминесценции и сопротивления иттриевой пленки

На рис. 2 представлен спектр возбуждения люминесценции пленки, измеренный через фильтр СЗС-22 (полоса 2,2 ÷ 3,6 эВ). Как видно из рисунка в области энергий возбуждения выше 10 эВ наблюдается относительно высокий ($\sim 10^{-2}$) выход люминесценции. Эти спектры также как и спектры отражения, изменяются под облучением, но менее чувствительны к нему. Изменения заключаются, в основном, в уменьшении величины пика при $E \sim 12$ эВ.

Как видно из рисунка начиная с энергии возбуждения 6 ÷ 7 эВ начинается рост интенсивности люминесценции, который связан, вероятно, с размножением электронных возбуждений в кристалле (фотонное умножение). На врезке того же рис. 2 представлен спектр люминесценции пленки, полученный при $T \sim 9$ К и энергии возбуждения 11,26 эВ. Аналогичный спектр был получен и при энергии возбуждения ~ 22 эВ.

На рис. 3 представлена температурная зависимость интенсивности люминесценции вблизи максимума спектра ($E_{\text{л}} = 2,7$ эВ) при той же энергии возбуждения 11,26 эВ. Здесь же показана зависимость $\rho(T)$, измеренная одновременно с интенсивностью люминесценции. Как видно из рисунка, интенсивность люминесценции с повышением температуры сначала слабо изменяется, в области сверхпроводящего перехода имеет особенность, а в области металлической проводимости быстро падает.

Таким образом интенсивность свечения коррелирует с положением сверхпроводящего перехода. Этот экспериментальный факт, а также то, что спектры люминесценции совпадают при разных энергиях возбуждения, по нашему мнению свидетельствует о том, что наблюдаемая люминесценция принадлежит соединению $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$.

Временные измерения люминесценции показали, что время высвечивания в области максимума спектра рис. 2 $\approx 10^{-6}$ с.

Перечисленные выше экспериментальные данные позволяют сделать следующие заключения:

1. Наличие люминесценции с $E \sim 2,8$ эВ и начало фотонного умножения при энергии $6 \div 7$ эВ указывают на существование в иттриевом сверхпроводнике запрещенной зоны диэлектрического типа. Если интерпретировать наблюдаемую люминесценцию как непрямые межзонные переходы, то дно зоны проводимости отстоит от уровня Ферми на ~ 3 эВ, (следует из положения высокочастотного края спектра). Эта оценка согласуется с большинством зонных расчетов (см., например, ⁶).

2. Однако относительно большая ($\approx 0,1$ эВ) ширина пиков люминесценции, а также большое время ее формирования ($\approx 10^{-6}$ с) позволяют также предположить, что наблюдаемая люминесценция связана со свечением экситонного типа (автолокализованные или локализованные на дефектах экситоны).

3. Температурный ход зависимости интенсивности люминесценции указывает на возможную связь этого типа возбуждений с механизмом высокотемпературной сверхпроводимости.

Планируемые нами детальные исследования спектров люминесценции позволят, возможно, получить информацию о температурной зависимости структуры электронных и дырочных состояний вблизи уровня Ферми и тем самым подойти к решению вопроса о механизме ВТСП.

В заключение авторы благодарят Ч.Б.Лущика за полезные дискуссии.

Литература

1. Скорняков Л.Г. и др. Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости. Информационные материалы, ч. II, Свердловск, УРО АН СССР 1987, 24.
2. Bozovic I. et al. Phys. Rev. Lett., 1987, 59, 2219.
3. Лущик Ч.Б. и др. Письма в ЖЭТФ, 1987, 46, 122.
4. Kink R. et al. Nucl. Instr. Meth., 1987, A261, 82.
5. Guang Lin Zhao et al. Phys. Rev. B, 1987, 36, 7203.
6. Ching W. Y. et al. Phys. Rev. Lett., 1987, 59, 1333.

Институт атомной энергии им. И.В.Курчатова

Институт физики Академии наук Эстонской ССР

Институт прикладной физики Академии наук СССР

Поступила в редакцию

12 февраля 1988 г.