

УДК 535.37

© 1990

## ПОЛЯРИЗОВАННЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ МОНОКРИСТАЛЛОВ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

Я. О. Довгий, Л. Т. Карплюк, И. В. Китык, Р. В. Луцив,  
В. В. Ткачук, Р. В. Ясницкий

Проведены исследования поляризованных спектров поглощения и отражения монокристаллов  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\delta=0.25$ ) для двух поляризаций света ( $\mathbf{E} \parallel \mathbf{a}$  и  $\mathbf{E} \parallel \mathbf{b}$ ). Установлена слабая анизотропия спектров. На основе соотношений Крамерса—Кронига из спектров отражения рассчитаны диэлектрические функции  $\epsilon_1(E)$  и  $\epsilon_2(E)$ . Сделана попытка идентификации полученных спектров. При этом наиболее чувствительными к параметру стехиометрии  $\delta$  оказались экситонные пики 1.77 и 4.08 эВ.

Для понимания физических механизмов, ответственных за возникновение ВТСП, ключевым является вопрос о тонкой структуре их электронных спектров. В этом плане наиболее информативными являются оптические измерения, позволяющие безконтактным способом получать информацию о количественных параметрах зонной структуры. Судя по публикациям последних двух лет, большинство исследователей главное внимание уделяют изучению фононных спектров в инфракрасной области, в особенности спектрам комбинационного рассеяния. На сегодняшний день имеется всего несколько работ, посвященных изучению структуры оптических спектров в электронной области, в частности [1–3], работы по эллипсометрии  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  в спектральной области 2–6 эВ. Однако все они проведены без учета анизотропии образцов (измерены в неполяризованном свете). Кроме того, спектральное разрешение недостаточно для уверенной идентификации квантовых переходов.

Исследуемые монокристаллы выращивались методом раствора—расплава. Контроль дефектности по кислороду проводился с использованием рентгеновского дифрактометра ДРОН-2.0. Кроме того, осуществлялся контроль  $T_c$  по измерениям электропроводности.

Измерения в области 360–850 нм проводились на спектрофотометрической установке высокого разрешения, смонтированной на базе дифракционного спектрографа ДФС-8 с обратной линейной дисперсией 6 Å/мм. Во избежание наложения дифракционных порядков применялись светофильтры. В ультрафиолете измерения проводились на спектрофотометре СФ-4а. Разрешение полученных спектров было не хуже 0.09 эВ. В качестве поляризаторов использовались призмы Глана—Томсона. Монокристаллические однородные образцы представляли собой  $z$ -срезы ( $ab$ -плоскости) и имели зеркальные поверхности. Размеры измеряемых образцов порядка 1–2 мм<sup>2</sup>, толщина в пределах 20–50 мкм. Образцы крепились на черном велюре для исключения паразитного отражения. Для фокусировки излучения на столь малые образцы была создана специальная оптическая схема, позволившая сфокусировать зондирующий луч до размеров 1–3 мм<sup>2</sup>. В качестве фотоприемников использовались фотоумножители ФЭУ-39, 79 и 106 с электрометрическим усилителем У-5-7. В результате многократных воспроизводимых измерений удалось добиться надежной проработки спектров отражения с точностью не хуже 5%. Для измере-

ния спектров пропускания, где  $ad$  составляет величину  $\geq 50$ , для уменьшения рассеянного света использовалось модулированное падающее излучение с частотой 1 кГц, которое затем усиливалось с помощью усилителя УПИ-1, работающего в режиме синхронного детектирования.

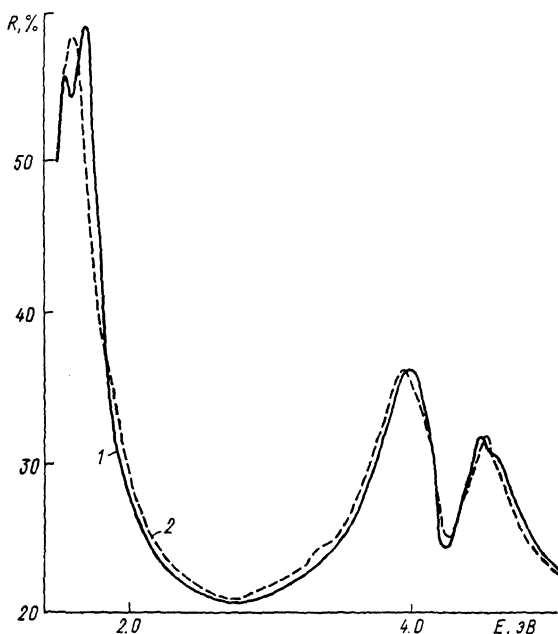


Рис. 1.

На рис. 1 приведены фрагменты характерного спектра отражения  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  ( $\delta=0.25$ ) для двух поляризаций падающего света  $E \parallel a$  (1),  $E \parallel b$  (2). Нетрудно выделить три характерные спектральные области: 1) от 1.4 до 2.0 эВ, 2) более пологая от 2.3 до 3.5 эВ, 3) острый пик типа

Спектральные положения (в эВ)  
основных максимумов в спектрах  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6.75}$   
для двух поляризаций света,  $T=300$  К

Отражение		Поглощение
$E \parallel a$	$E \parallel b$	
1.62	—	—
1.73	1.70	1.73
2.78	2.84	—
3.36	3.35	—
4.00	3.98	4.08
4.52	4.62	4.59
5.32	5.30	5.22

антирезонанса около 4.08 эВ. Наконец, четвертый максимум проявился в области 4.75 эВ. Как видно из рис. 1, спектры характеризуются незначительной анизотропией, за исключением пика 1.7 эВ, имеющего анизотропное расщепление около 0.1 эВ. В таблице приведены основные положения максимумов для двух различных поляризаций света. Для установления связей с величинами межзонных интервалов проводились расчеты мнимой части диэлектрической проницаемости  $\epsilon_2(E)$  по методике, описанной в [4]. Результаты показаны на рисунке 2. Видно некоторое смещение максимумов  $\epsilon_2(E)$  относительно  $R(E)$ . Наиболее вероятное объяснение анизотропии пиков в районе 1.7 эВ состоит в переходах с пере-

досом заряда внутри Cu—O-плоскостей. В результате относительной локализации  $3d$  Cu-электронов оптические спектры имеют относительно острую форму. Дополнительное легирование кислородом способствует созданию свободных носителей и экранировке соответствующих состояний. В то же время переходы для второй группы полос соответствуют

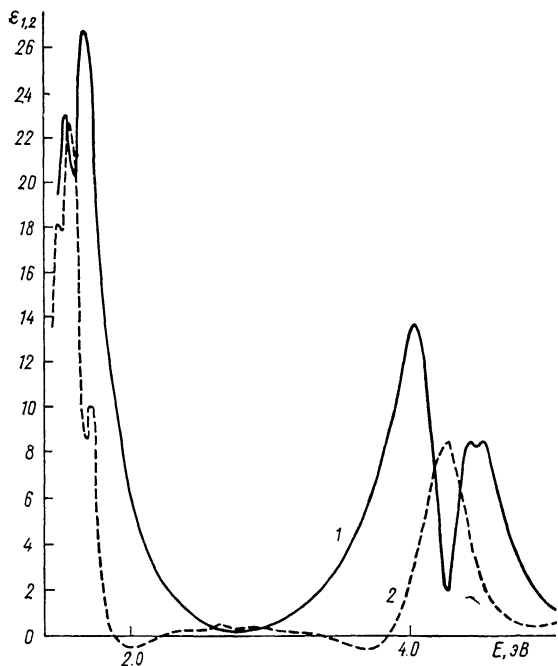


Рис. 2. Дисперсия мнимой  $\epsilon_2$  (1) и действительной  $\epsilon_1$  (2) частей диэлектрической проницаемости  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  для  $E \parallel a$ .

континуальному зона-зонному приближению. Другой тип переходов при 4.1 эВ может быть понят на основе внутриконтинуальных переходов меди с некоторой добавкой Ва—О межзонных переходов.

Для более уверенной идентификации проводились непосредственные измерения абсорбции в поляризованном свете. При этом режим синхрон-

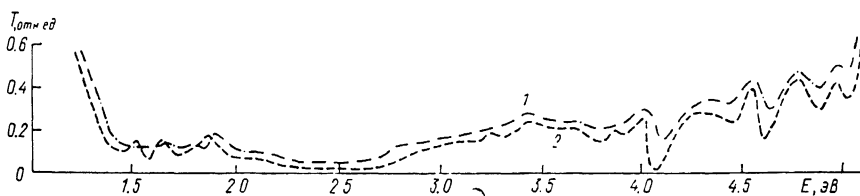


Рис. 3. Поляризованные спектры поглощения тонких монокристаллов  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .  $T=300$  К,  $E \parallel b$  (1),  $E \parallel a$  (2).

ного усиления позволял получать большие значения сигнал—шум, что благоприятствовало уверенной регистрации оптических сигналов, прошедших через кристалл. Поляризованные спектры поглощения  $E \parallel a$  и  $E \parallel b$  показаны на рис. 3. Как и в случае спектров отражения, анизотропия здесь крайне незначительна. В то же время четко проявились некоторые дополнительные максимумы. В частности, хорошо воспроизвелись максимумы 4.08, 4.59, 4.89, 5.02, 2.6—2.8 и 1.73 эВ, наблюдавшиеся в отражении. Столь хорошее воспроизведение структуры спектров может служить критерием качества поверхности образцов. Кроме того, проявление дополнительных максимумов указывает на взаимодополняемость спектров отражения и абсорбции.

Таким образом, исследования указывают на незначительную анизотропию полученных оптических спектров в области 1.4—5.2 эВ. Обнаружена тонкая структура спектров, полученных абсорбционным методом. Природа конфигурационных взаимодействий, проявляющихся в виде антирезонансов (4.08, 1.77 эВ), требует специального рассмотрения. Дело в том, что именно эти пики оказались наиболее чувствительными к параметру  $\delta$ , что будет предметом отдельной работы.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Humlíček J., Carriga M., Cardona M. // Sol. St. Comm. 1988. V. 67. N 6. P. 589—592.
- [2] Kelly M. K., Barboux P., Tarascon J.-M. // Phys. Rev. 1988. V. 38B. N 1. P. 870—873.
- [3] Bjørneklett A., Borg A., Hunderi O. // Sol. St. Comm. 1988. V. 67. N 5. P. 525—527.
- [4] Довгий Я. О., Заморский М. К., Китык И. В. // Препринт физ.-мех. ин-та АН УССР № 122. Львов, 1986.

Львовский  
государственный университет  
им. Ив. Франко

Поступило в Редакцию  
31 января 1990 г.  
В окончательной редакции  
17 мая 1990 г.