

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МОНОКРИСТАЛЛОВ  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ 

М.П. Петров, А.И. Грачев,  
М.В. Красинькова, А.А. Нечитайлов,  
В.В. Прокофьев, В.В. Поборчий,  
С.И. Шагин, Н.Ф. Картенко

В настоящей работе приводятся результаты исследования спектров отражения и спектров комбинационного рассеяния света (КРС) для сверхпроводящих монокристаллов  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ .

Монокристаллы  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  были получены методом спонтанной кристаллизации при температуре 1000 °С в атмосфере кислорода из заранее приготовленного порошка того же состава, обладающего свойством сверхпроводимости, с добавлением небольшого количества  $CuO$ . Они представляли собой тонкие пластинки правильной геометрической формы, выступающие из спеченной массы. При извлечении пластинок из слитка, их края обламывались, и они частично теряли правильную форму. Площадь пластинок обычно достигала 200 x 300 мкм<sup>2</sup> ( $max$  0.5 x 0.5 мм<sup>2</sup>), толщина — нескольких микрон. Кристаллы черного цвета с зеркально гладкой поверхностью. Сверхпроводимость образцов проверялась по эффекту Мейснера при 77 К. Кроме указанных, в слитке можно было обнаружить также пластинки монокристаллов тетрагональной фазы, монокристаллы игольчатой формы и в виде параллелепипеда. Свойства этих кристаллов в данном сообщении не рассматриваются.

Порошкограммы растертых монокристаллов хорошо согласуются с известными рентгенографическими данными для ромбической фазы  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  [1].

Для определения совершенства монокристаллов, ориентации пластинок и оценки параметров элементарной ячейки были сняты дифрактограммы и рентгенограммы качания. Они показали, что кристаллическая структура хорошо сформирована, ось "с" перпендикулярна плоскости пластинки, а оси "а" и "в" совпадают с естественными гранями кристалла. Наблюдается двойникование, и ось двойникования совпадает с [110]. Параметры элементарной ячейки, усредненные по двум монокристаллам, приведены в таблице, где для сравнения показаны значения, полученные в [2, 3].

При исследовании монокристаллов в отраженном свете в поляризационном микроскопе видна ярко выраженная блочная макроструктура. При нормальном падении света в геометрии со скрещенными поляризатором и анализатором при вращении кристалла наблюдается периодическое просветление одних областей, в то время как другие остаются затемненными постоянно (рис. 1). Это означает, что первые области являются оптически анизотропными, тогда как вторые — полностью изотропны в плоскости ав. Граница между двумя указанными типами областей всегда проходит под углом  $\approx 45^\circ$

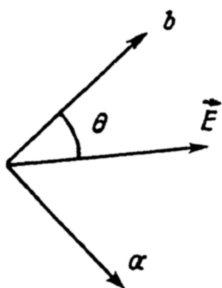
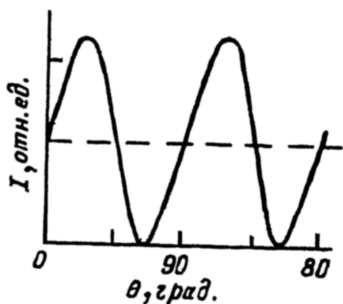
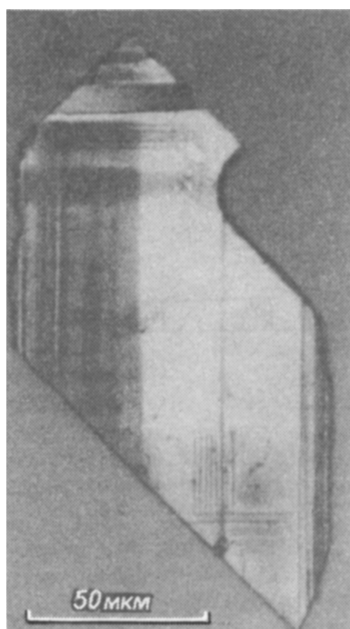


Рис. 1. Фотография образца сверхпроводящего кристалла в поляризованном свете, полученная в скрещенных поляроидах при максимальном просветлении анизотропной области (показаны положения главных оптических осей относительно границы двух областей,  $\vec{E}$  — вектор напряженности электрического поля световой волны). На вставке ориентационная зависимость интенсивности прошедшего света для анизотропной области.

к направлению главных оптических осей анизотропного блока, совпадающих с кристаллографическими осями „а” и „в”. На плоскости пластины наблюдается также присутствие двух типов анизотропных областей, главные оптические оси которых поменялись местами.

Количественное исследование спектральной и поляризационной зависимостей коэффициента отражения кристаллов проводилось с помощью оптического микроанализатора *IBAS* фирмы *OPTON*.

Спектры отражения для изотропной и анизотропной области кристалла приведены на рис. 2. Видно, что в анизотропных областях наблюдается значительная разница в значениях коэффициента отражения для взаимно ортогональных поляризаций, что наиболее сильно проявляется в красной области спектра. Кривая отражения изотропных областей занимает промежуточное положение, точнее коэффициент отражения этих участков примерно равен среднему значению коэффициентов отражения на кривых „а” и „б”. Не останавливаясь

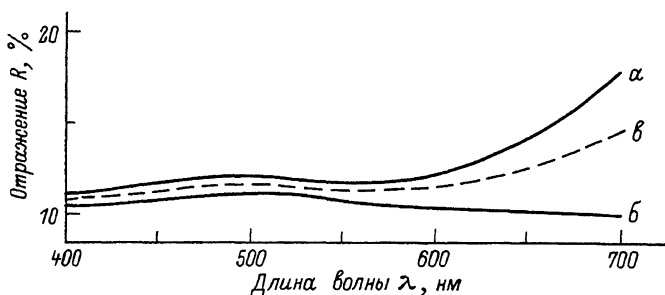


Рис. 2. Спектры отражения оптически изотропных и анизотропных областей сверхпроводящих кристаллов: а, б – кривые отражения анизотропной области для двух ортогональных поляризаций, в – кривая отражения изотропной области.

Параметры элементарной ячейки			Наличие сверхпроводимости	Ссылка
с	а	в		
11.709(8)	3.821(8)	3.894(7)	+	Данная работа
11.59	3.86	3.92	Нет данных	[2]
11.699(2)	3.827(1)	3.893(1)	+	[3]

на детальном обсуждении результатов, отметим, что полученные данные находят наиболее простое объяснение при предположении, что изотропные и анизотропные области представляют собой одну и ту же ромбическую фазу, но для первых характерно микродвойникование [5, 6], а вторые представляют собой макроблоки, свободные от двойникования, на них и удается заметить анизотропию отражения. Ход спектральной зависимости коэффициента отражения  $R$  для одной из ортогональных поляризаций (рис. 2,а) хорошо согласуется со спектром, полученным на образцах сверхпроводящей керамики [4], где также наблюдался максимум при  $\lambda \approx 500$  нм и рост  $R$  при  $\lambda > 600$  нм, связываемый с плазменным отражением свободными электронами. Положение минимума отражения плазменного края для наших монокристаллов соответствует энергии  $\approx 2.2$  эВ (в [4] 1.9 эВ). В ортогональной поляризации в том же спектральном диапазоне вклада свободных электронов не обнаружено (рис. 2,б).

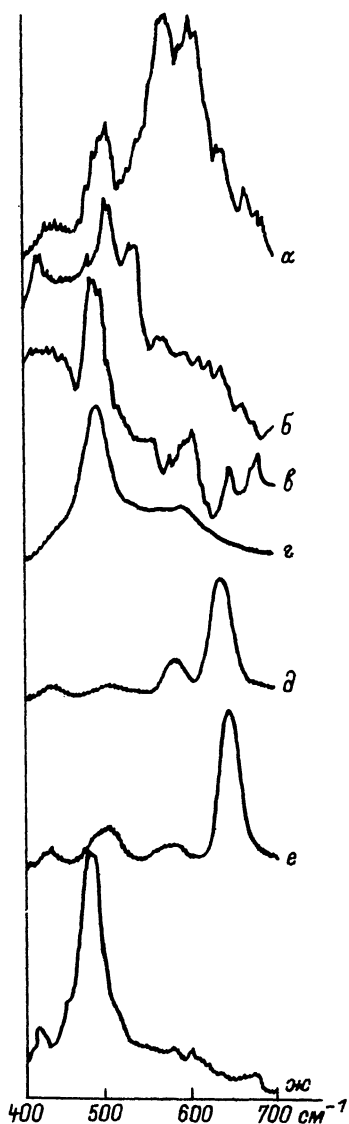


Рис. 3. Спектры КРС различных образцов  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ . а, б, в — спектры анизотропных областей разных образцов сверхпроводящих кристаллов  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ; г, д — спектры кристаллов  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , опубликованные в печати [7, 8] соответственно; е — спектры сверхпроводящей керамики состава 1:2:3; ж — спектр тетрагонального несверхпроводящего кристалла.

Возможно, что плазменный край в этом случае сдвинут в инфракрасную область. Указанная анизотропия электронных свойств на оптических частотах дает основание предполагать, что по-видимому, имеется и анизотропия низкочастотной проводимости вдоль кристаллографических осей „а“ и „в“, не наблюдавшаяся ранее вследствие микродвойниковой структуры кристаллов.

Для исследования фонового спектра было использовано комбинационное рассеяние (КРС). Ввиду микроскопических размеров кристаллов был применен микрораманспектрометр, созданный на базе двойного монохроматора ДФС-24 и микроскопа ЛЮМАМ (разработка ГОИ им. С.И. Вавилова). Линейный размер лазерного зонда ( $\lambda_0 = 5145 \text{ \AA}$ ) составлял  $\approx 10 \text{ мкм}$  при мощности падающего света  $\approx 1 \text{ мВт}$ . Регистрировался свет рассеянный назад, поляризация которого совпадала с направлением поляризации падающего света.

На рис. 3 приведены спектры КРС анизотропных областей кристаллов (кривые а - в), снятые в наиболее интересной с точки зрения сверхпроводящих свойств частотной области валентных колебаний  $Cu-O$ . Для сравнения даны спектры, полученные для монокристаллической области размером  $\approx 10 \text{ мкм}$ , выделенной в керамическом образце [7], и на монокристалле размером  $\approx 1 \text{ мм}^2$ , полученном после отжига кристалла тетрагональной фазы в атмосфере кислорода [8] (кривые г, д). Видно, что спектры заметно отлича-

ются. Даже кристаллы, взятые из одного и того же слитка (кри-  
вые а-в), обнаруживают различие в спектрах. Однако положение  
линий в областях 420-430, 480-500 и 580-600  $\text{см}^{-1}$  у рассмат-  
риваемых образцов (рис. 3, а-д) неплохо согласуется. Для сравнения  
на рис. 3 показаны спектры для исходной керамики и несверхпрово-  
дящих кристаллов тетрагональной фазы, хорошо согласующиеся с  
данными [9] и [8] соответственно.

Проявление большего числа полос, чем разрешено симметрией  
кристалла, а также различие в относительных интенсивностях полос  
в спектрах разных образцов, по-видимому, свидетельствует о нару-  
шении правил отбора для КРС в кристаллах  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$   
вследствие нарушения трансляционной симметрии при дефиците кис-  
лорода. Возможно также существование разных ромбических фаз  
[10] или неконтролируемых микровключений [11], обладающих эф-  
фективным рамановским рассеянием.

### Л и т е р а т у р а

- [1] F r a n ç o i s et al. - Sol. St. Commun.,  
1987, v. 63, N 12, p. 1149.
- [2] О с и н ь я н Ю.А. и др. - Письма в ЖЭТФ, 1987, т. 46,  
№ 5, с. 189.
- [3] C a l e s t a n i G. and R i z z o l i C. -  
Nature, 1987, v. 328, p. 606.
- [4] K a m a r o i s K. et al. - Phys. Rev. Lett.,  
1987, v. 59, N 8, p. 919-922.
- [5] H e r v i e u M. et al. - Phys. Rev. B, 1987,  
v. 36, N 7, p. 3920.
- [6] S u e n o S. et al. - Jap. J. Appl. Phys.,  
1987, v. 26, N 5, p. L842.
- [7] H e m l e y R.J., M a o M.K. - Phys. Rev.  
Lett., 1987, v. 58, N 22, p. 2340.
- [8] Y a m a n a k a A. et al. - Jap. J. Appl.  
Phys., 1987, v. 26, N 8, p. L1404.
- [9] I g b a l L. et al. - Phys. Rev., 1987, v. B36,  
N 4, p. 2283.
- [10] I - W e i C h e n et al. - Sol. St. Commun.,  
1987, v. 63, N 11, p. 997.
- [11] D o n S.X. et al. - Appl. Phys. Lett., 1987,  
v. 51, N 7, p. 535.

Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе  
АН СССР, Ленинград

Поступило в Редакцию  
11 февраля 1988 г.