

КОМБИНАЦИОННОЕ РАССЕЯНИЕ СВЕТА, КАК МЕТОД АНАЛИЗА ОРИЕНТИРОВАННЫХ ПЛЕНОК $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

М.В. Белоусов¹⁾, В.Ю. Давыдов, С.Ф. Карманенко, О.В. Косогов

Показано, что комбинационное рассеяние света (КРС) дает информацию об ориентации кристаллографических осей, содержании лабильного кислорода, а также о степени и характере неупорядоченности ориентированных пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Обнаружена корреляция между температурой перехода в сверхпроводящее состояние T_{c0} и шириной линии $\nu_1 = 500 \text{ см}^{-1}$.

В данной работе исследуются тонкие (0,8 – 1,2 мкм) монокристаллические пленки высокотемпературного сверхпроводника $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, приготовленного магнетронным распылением керамических мишеней в смеси аргона с кислородом. Пленки наносились на подогретые до 500 – 700° С полированные пластины SrTiO_3 и ZrO_2 . КРС возбуждалось Ag^+ -лазером ($\lambda_0 = 514,5 \text{ нм}$, мощность 30 Вт) и регистрировалось спектрометром ДФС-24.

Экспериментальные результаты для шести пленок с различными ориентациями кристаллографических осей и температурами переходов представлены на рис. 1 и рис. 2. Нумерация кривых совпадает с нумерацией образцов. Геометрия рассеяния показана на вставке рис. 2. Для ее описания используется лабораторная система координат x, y, z , кристаллографические оси a, b, c и оси a', b' повернутые под 45° к a и b . Нормаль к поверхности образца – n .

Исследования проведенные на керамиках¹⁻⁵ и монокристаллах⁶⁻⁸, также анализ интенсивностей КРС⁹, позволили надежно установить частоты и поляризацию трех колебаний кислородной подрешетки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Одно из них – ν_1 , отвечает полностью симметричному валентному колебанию группы $\text{O}(4) - \text{Cu}(1) - \text{O}(4)^2$. Частота ν_1 меняется от 505 до 470 см^{-1} при изменении δ от 0 до 1^{2-4, 8}, а поляризация определяется тензором КРС с компонентами $\alpha_{cc} \gg \alpha_{aa}, \alpha_{bb}$. Внеплоскостным колебаниям кислорода в слоях CuO_2 отвечают линии $\nu_2 = 430 \text{ см}^{-1}$ (синфазные колебания $\text{O}(2)$ и $\text{O}(3)$, тензор КРС $\alpha_{cc} \gg \alpha_{aa}, \alpha_{bb}$) и $\nu_3 = 335 \text{ см}^{-1}$ (противофазные колебания $\text{O}(2)$ и $\text{O}(3)$, тензор КРС $\alpha_{aa} \approx -\alpha_{bb}$ или в осях a', b' $\alpha_{a'b'} \gg \alpha_{a'a'}$). Этих данных достаточно, чтобы провести интерпретацию полученных нами спектров КРС и выявить скрытую анизотропию пленок даже в том случае, когда они оптически изотропны при рассмотрении в скрещенных поляризаторах.

У пленок 1 и 2, выращенных на SrTiO_3 (110), ось c лежит в плоскости ($c \perp n$). Они обладают макроскопической анизотропией оптических и электрических свойств. КРС этих пленок полностью поляризовано и подобно КРС объемного монокристалла. В cc -поляризации наблюдаются сильные линии ν_1 и ν_2 . При повороте пленки на 90° вокруг n в спектре остаются только слабые полосы ≈ 500 и $\approx 580 \text{ см}^{-1}$. Отсутствие здесь линии ν_3 означает, что этот спектр соответствует $a'a'$ -поляризации и, следовательно, оси a и b в пленках 1 и 2 лежат под углом 45° к поверхности.

Пленки 3 и 4 выращены на SrTiO_3 (100), где в зависимости от условий роста получаются пленки с $a \parallel n$ или $c \parallel n$ ¹⁰.

В спектре КРС пленки 3 кроме линии ν_3 наблюдаются сильные линии ν_1 и ν_2 . Интенсивность КРС, измеренного в xx -поляризации не зависит, а в xz -поляризации сильно зависит от ориентации образца. Причем в xz -поляризации интенсивность КРС минимальна, когда кристаллографические оси подложки параллельны x . Следовательно, пленка 3 состоит из микрорегионов с взаимно перпендикулярным расположением осей $b \perp n$ и $c \perp n$, что согласуется с¹⁰.

¹⁾ НИИ физики при ЛГУ.

²⁾ Используются принятые в¹⁻⁷ обозначения позиций атомов.

В спектре КРС пленки 4 полностью отсутствуют линии ν_1 и ν_2 и следовательно в ней $c \parallel n$. Наряду с линией $\nu_3 = 335 \text{ см}^{-1}$ в спектре видны линии 296 и 635 см^{-1} . Интенсивность КРС слабо зависит от ориентации, что, возможно, обусловлено упругими напряжениями из-за большого отличия постоянных решетки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ по оси a и SrTiO_3 (100) ¹⁰.

КРС от пленки 5, выращенной на ZrO_2 (100), подобно КРС от a - b -плоскости объемного монокристалла. В a' b' -поляризации кроме линии $\nu_3 = 335 \text{ см}^{-1}$ видны также слабые полосы $\approx 500, 580 \text{ см}^{-1}$ и резкая линия 230 см^{-1} , высокочастотное крыло которой сливается с ν_3 . При переходе к ab -поляризации интенсивность КРС уменьшается почти до нуля, что говорит о высокой степени ориентированности пленки.

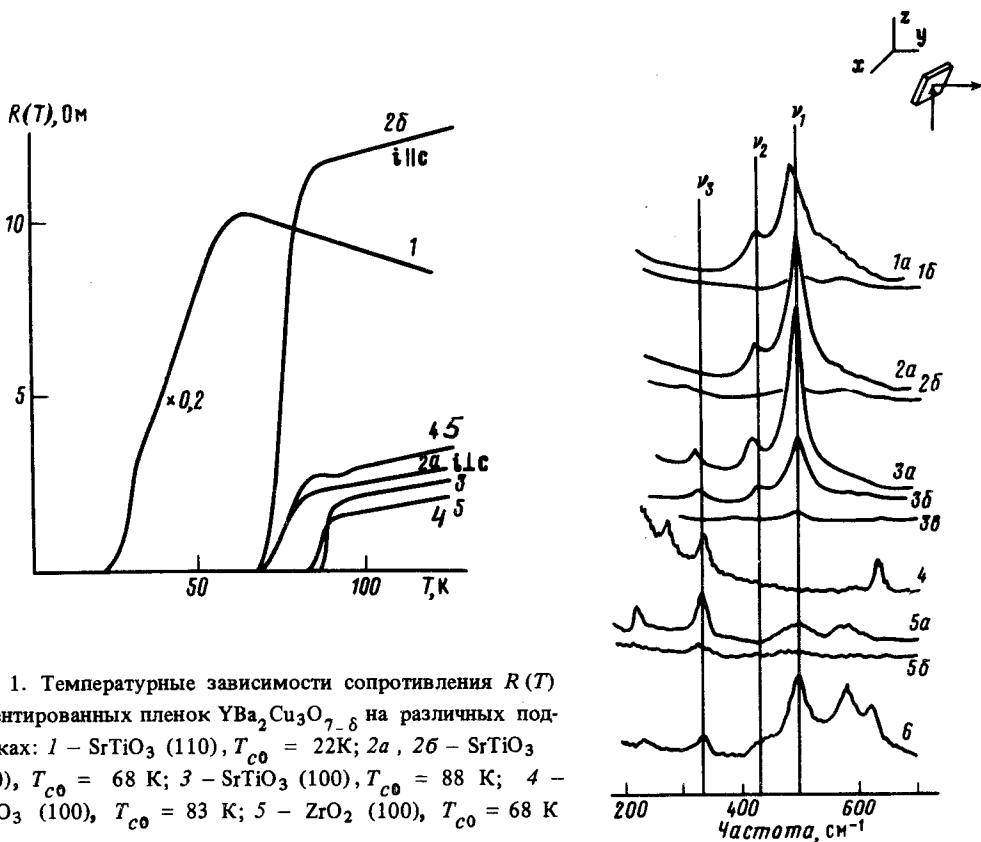


Рис. 1. Температурные зависимости сопротивления $R(T)$ ориентированных пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ на различных подложках: 1 – SrTiO_3 (110), $T_{c0} = 22\text{K}$; 2а, 2б – SrTiO_3 (110), $T_{c0} = 68\text{K}$; 3 – SrTiO_3 (100), $T_{c0} = 88\text{K}$; 4 – SrTiO_3 (100), $T_{c0} = 83\text{K}$; 5 – ZrO_2 (100), $T_{c0} = 68\text{K}$

Рис. 2. Поляризованные спектры КРС ориентированных пленок $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$. Цифры у кривых указывают номера образцов, описанных в тексте. Спектры 1а, б; 2а, б; 3а измерены в xx -поляризации, остальные в xz -поляризации. Ориентация осей a, b, c в лабораторной системе координат соответствует: 1а; 2а – $x \parallel c$; 1б, 2б – $x \perp c$; 3а, 3б – $x \parallel c, b, 3б$ – x под 45° к c и b ; 4, 5а – $x \parallel a'$, 5б – $x \parallel a$

В пленке б, полученной на SrTiO_3 (111), интенсивность КРС не зависит от ее ориентации. Отношение интенсивностей линий $\nu_1 = 500 \text{ см}^{-1}$ и $\nu_3 = 332 \text{ см}^{-1}$ указывает на то, что ось c здесь направлена под углом к поверхности. Кроме основных линий наблюдаются линии $\approx 600, \approx 630 \text{ см}^{-1}$, относительные интенсивности которых меняются от образца к образцу.

Обратим внимание на корреляцию ширины линии ν_1 и температуры перехода T_{c0} . В пленке 1 ($T_{c0} = 22\text{K}$) эта линия имеет наименьшую частоту $\nu_1 = 492 \text{ см}^{-1}$, что говорит о дефиците лабильного кислорода $\text{O}(1)$, затянутое высокочастотное крыло и наибольшую ширину 60 см^{-1} , что указывает на неупорядоченность подрешетки $\text{O}(4)$. В пленках 2 ($T_{c0} = 68\text{K}$) и 3 ($T_{c0} = 88\text{K}$) частота $\nu_1 = 500 \text{ см}^{-1}$ выше, а ее ширина меньше (40 и 32 см^{-1} соответственно). В пленке б ($T_{c0} = 88\text{K}$) ширина линии ν_1 не превышает 40 см^{-1} . Точное определение ширины линии ν_1 затруднено сложным характером наблюдаемого здесь спектра.

Анализ полученных результатов позволяет высказать следующие предположения о природе трех полос КРС частоты и интенсивности которых сильно зависят от технологии получения и термообработки образцов. КРС на частотах $230 - 330 \text{ см}^{-1}$, вероятно, обусловлено внеплоскостными колебаниями $O(2)$, $O(3)$ локализованными у дефектов, расположенных вблизи плоскостей CuO_2 . Полоса $580 - 600 \text{ см}^{-1}$ может быть приписана валентным колебаниям дефектных (без одного атома кислорода) групп $O(4) - \text{Cu}(1) - O(4)$. Полоса $630 - 640 \text{ см}^{-1}$ обусловлена валентными колебаниями связи $\text{Cu}(1) - O(1)$ проявляющимися в КРС, например, вследствие "изломов" цепочки.

Авторы благодарны В.Н.Назарову за помощь в эксперименте.

Литература

1. *Stavola M., Krol D.M., Weber W. et al.* Phys. Rev. B, 1987, 36, 850.
2. *Thomsen C., Liu R., Bauer M. et al.* Sol. St. Comm., 1988, 65, 55.
3. *Hangyo M., Nakashima I., Mizguchi K. et al.* Sol. St. Comm., 1988, 65, 835.
4. *Kirillov D., Collman J.P., McDevitt J.T. et al.* Phys. Rev. B, 1988, 37, 3660.
5. *Ребане Л.А., Фильберг Т.А., Фефер Е.М., и др.* Письма в ЖЭТФ, 1988, 47, 360.
6. *Кулаковский В.Д., Мисочко О.В., Тимофеев В.Б. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1988, 46, 460.
7. *Баженов А.В., Гаспаров Л.В., Кулаковский В.Д. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1988, 47, 162.
8. *Александров И.В., Быков А.Б., Гончаров А.Ф. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1988, 47, 184.
9. *Рашба Э.И., Шерман Е.А.* Письма в ЖЭТФ, 1988, 47, 404.
10. *Chen C.H., Kwo J., Hong M.* Appl. Phys. Lett., 1988, 52, 841.

Ленинградский электротехнический институт
им. В.И.Ульянова (Ленина)

Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
4 августа 1988 г.