

ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИЙ КОНТРАСТ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$

В.К.Власко-Власов, М.В.Инденбом, Ю.А.Осипьян

Изучен контраст между двойниками в отраженном поляризованном свете на разных гранях орторомбических монокристаллов $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$. Установлено, что задержку по фазе при отражении испытывает только компонента света с поляризацией вдоль $Cu - O$ -цепочек в базисной плоскости (001). Это может свидетельствовать в пользу одномерной проводимости в редкоземельных купратах.

Высокотемпературные сверхпроводники типа 1 – 2 – 3 при охлаждении ниже температуры порядка нескольких сотен градусов переходят из тетрагональной фазы в орторомбическую, что должно сопровождаться появлением дополнительной анизотропии их свойств из-за возникающего различия кристаллографических осей a и b (типа [100]) в базисной плоскости. Однако зарегистрировать эту анизотропию до сих пор не удалось из-за мелкой двойниковой структуры, которая повышает симметрию кристалла, т. к. в двойниковых доменах разных фаз оси a и b меняются местами ¹.

При исследовании базисной поверхности монокристаллов сверхпроводящих редкоземельных бариевых купратов в линейно поляризованном свете, удается различить двойниковые домены достаточно большого размера, при отражении от которых свет приобретает эллиптическую поляризацию ^{1, 2}. Анализ этой поляризации позволяет определять анизотропию коэффициентов преломления и поглощения, связанных с электрическими свойствами среды, в том числе и в плоскости (a, b) ². В настоящей работе проведено поляризационно-оптическое исследование иттриево-бариевого купрата $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$. Обнаружено, что его аномальные оптические свойства связаны лишь с одной из орторомбических осей, лежащих в базисной плоскости – осью b , вдоль которой расположены цепочки $Cu - O$.

Эксперимент проводился на монокристаллических пластинках $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$ с развитой базисной плоскостью (a, b) , имеющих характерные размеры $1 \times 1 \text{ мм}^2$ и толщину (вдоль оси c) $\sim 20 \text{ мкм}$ (температура сверхпроводящего перехода около 90 К). Кристаллы без предварительной обработки изучались в поляризационном микроскопе при нормальном отражении.

Характерная картина, наблюдаемая в плоскости (a, b) , представлена на рис. 1. В данном случае фотография получена в скрещенных поляроидах при небольшой дополнительной разности хода, введенной компенсатором. Контраст темных и светлых полос на рис. 1, лежащих вдоль кристаллографических направлений типа [110], обращается при вращении образца вокруг оптической оси микроскопа на 90° . Анализ, сделанный при помощи компенсаторов Берека и Сенармона, показал, что эти области отличаются взаимно перпендикулярным расположением оси a' , параллельной, соответственно, [100] или [010], такой, что поляризованный вдоль нее свет при отражении от поверхности образца испытывает большее отставание по фа-

зе φ_a , чем свет поляризованный вдоль нормальной к ней оси $b' - \varphi_b$. При длине волны света $\lambda = 546$ мкм, задаваемой монохроматором, $\varphi_a - \varphi_b = 14,1 \pm 1,5^\circ$, что меньше значения определенного в ² для монокристаллов $\text{Eu}_1\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ примерно в 2 раза. Естественно сопоставить оси a' и b' и кристаллографические оси a и b орторомбического кристалла, меняющиеся местами в двойниковых доменах разных фаз, которым, в свою очередь, и соответствуют темные и светлые полосы на рис. 1. Для установления взаимнооднозначного соответствия между осями a' , b' и a , b в кристаллах создавались неоднородные термоупругие напряжения. При этом наблюдалось образование зон с преимущественным направлением оси b' вдоль направления сжатия. Следовательно b' параллельна короткой оси кристалла a (соответственно $a' \parallel b$).

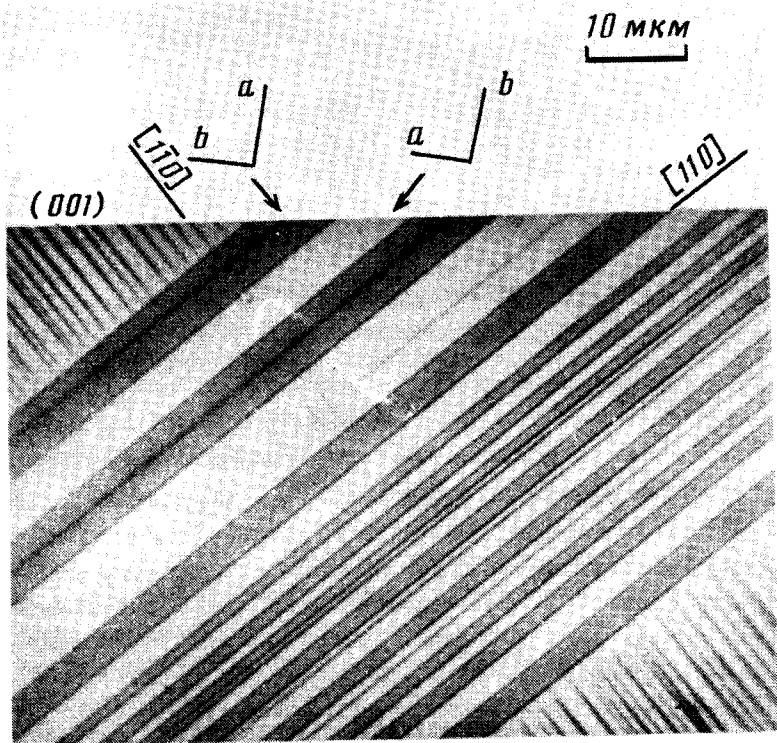


Рис. 1. Двойники, выявленные в отраженном поляризованном свете на базисной плоскости

Картина, подобная описанной выше, наблюдается и на торцевой грани (100) монокристаллов (рис. 2). Она отвечает двойниковым доменам, у которых нормалью к поверхности является ось a или b , соответственно. При этом границы двойников все ориентированы вдоль кристаллографической оси c . Неожиданным оказалось поведение контраста на торце при поворотах образца вокруг оптической оси микроскопа. Если в доменах, в которых перпендикулярна к поверхности ось a (bc -доменах) контраст обращается, то в доменах с нормалью b (ac -доменах) интенсивность отраженного света остается практически неизменной.

Величина разности сдвига фаз при отражении света поляризованного вдоль b и вдоль c , измеренная в bc -доменах, $\varphi_b - \varphi_c$ оказалась с точностью до погрешности измерений, равна разности $\varphi_b - \varphi_a$. В то же время значение $\varphi_a - \varphi_c$, в соответствии с наблюдаемым отсутствием изменения контраста в ac -доменах, оказывается близким к нулю.

В рамках феноменологического рассмотрения фазовый сдвиг при отражении световой волны i -той поляризации ($i = a, b, c$) от кристалла с коэффициентом преломления n_i и поглощения k_i имеет вид ³: $\varphi_i = \text{arctg} \{2k_i / (n_i^2 + k_i^2 - 1)\}$. Анализ зависимостей $\varphi(n, k)$ показывает, что измеренные разности фаз должны соответствовать $\varphi_b \approx 14^\circ$, а $\varphi_a \approx \varphi_c \approx 0$. (Вообще говоря, существует еще возможность совпадения φ_a и φ_c при отличных от нуля их значениях, но такое вырождение представляется менее вероятным).

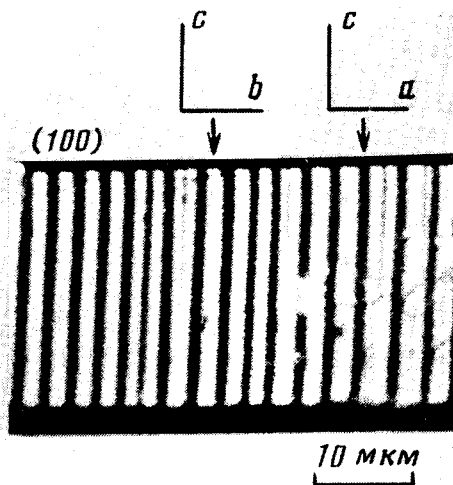


Рис. 2. Вид двойников на торцевой грани кристалла

Поскольку экспериментальные значения n (для неполяризованного света видимого диапазона) больше 1, а k меньше 1 ⁴, величины k_i должны удовлетворять неравенству $k_a \sim k_c \ll k_b < 1$. Нам удалось наблюдать, что утоненные кристаллы хорошо пропускают свет с поляризацией вдоль a и почти непрозрачны для света с поляризацией вдоль b . Это подтверждает указанное соотношение между коэффициентами поглощения. В металлах наиболее заметные изменения k_i связаны с вариациями световой проводимости σ ³. В таком случае принятые условия для k_i должны отвечать значительно большей σ вдоль b , чем вдоль a и c . Отметим, что сделанные выводы вполне коррелируют с измерениями анизотропии проводимости при комнатной температуре на постоянном токе ⁵, показавшими, что проводимость в базисной плоскости примерно в 40 раз выше, чем по нормали к ней. При этом, конечно, нужно учитывать, что световая проводимость отличается от проводимости на постоянном токе.

Таким образом, выполненные в настоящей работе поляризационно-оптические исследования, свидетельствующие в пользу одномерной проводимости вдоль оси b , могут, по-видимому, рассматриваться как подтверждение цепочечной модели ⁶.

В заключение мы хотели бы отметить, что для оптического анализа анизотропии электрических свойств в любой плоскости необходимо измерение сдвига фаз для всех трех поляризаций света (a, b и c), а не для двух, как это было сделано в ² для осей в базисной плоскости.

Авторы благодарят Г.А.Емельченко за предоставление монокристаллов $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-x}$.

Литература

1. Larbalestier D.C. et al. J. Appl. Phys., 1987, 62, 3308.
2. Semba K. et al. J. Appl. Phys. Jap. 1987, 26, L1645.
3. Соколов А.В. Оптические свойства металлов. М.: Гос. изд-во физ-мат. лит., 1961.

4. *Баженов А.В. и др.* Спектроскопия высокотемпературных сверхпроводников. М.: Наука, 1988 г.
5. *Буравов Л.И. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1988, 47, 50.
6. *Massida S., Ju J., Freeman A.J., Koelling D.D.* Phys. Lett. A, 1987, A122, 198.

Институт физики твердого тела
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
10 февраля 1988г.
