

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЩЕЛИ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ ВТСП

*Е.В.Абель, В.С.Багаев, Д.Н.Басов,
А.И.Головашкин, С.И.Красносвободцев,
Е.В.Печень, А.Ф.Плотников, А.Г.Поляров*

Методом спектроскопии ИК отражения исследованы тонкие пленки $Y(Ho)Ba_2Cu_3O_{7-x}$ выращенные методом лазерного напыления на подложки из $SrTiO_3$. Обнаружено влияние ориентации кристаллитов в образцах как на характер спектров отражения, так и на температурную зависимость спектров. Для пленок, близких по своим свойствам к монокристаллическим, наблюдается согласие результатов низкотемпературных измерений с соответствующими расчетами по теории Маттиса–Бардина.

В данной работе нами исследовано ИК отражение от сверхпроводящих тонких пленок $Y(Ho)Ba_2Cu_3O_{7-x}$, выращенных методом лазерного напыления на подложки из титаната стронция. Такой метод роста пленок позволяет получать пленки различной толщины, а использование ориентированных подложек (в частности $SrTiO_3(100)$) приводит к образованию пленки с преимущественной ориентацией плоскости ab параллельно поверхности образца¹. В этой ориентации значительно уменьшается вклад ИК активных фононов в спектры отражения, поскольку для плоскости ab с ее высоким значением проводимости по постоянному току, взаимодействие излучения с кристаллической решеткой является практически заэкранированным, что следует из исследований отражения монокристаллов². В этом случае оптические измерения ширины энергетической щели 2Δ могут существенно упроститься, поскольку в исследуемой области частот будут практически отсутствовать фононные особенности, затрудняющие интерпретацию данных, полученных на керамических образцах^{3, 4}.

На рис. 1а изображен спектр отражения пленки при $T = 300$ К с ориентацией оси $\langle c \rangle$ перпендикулярно поверхности образца (кривая 1). В спектре практически отсутствуют фоновые линии, характерные для поликристаллических образцов (кривая 2). Результаты низкотемпературных измерений представлены на рис. 1б в виде частотной зависимости отношения коэффициентов отражения образца в сверхпроводящем и нормальном состояниях R_S/R_N .

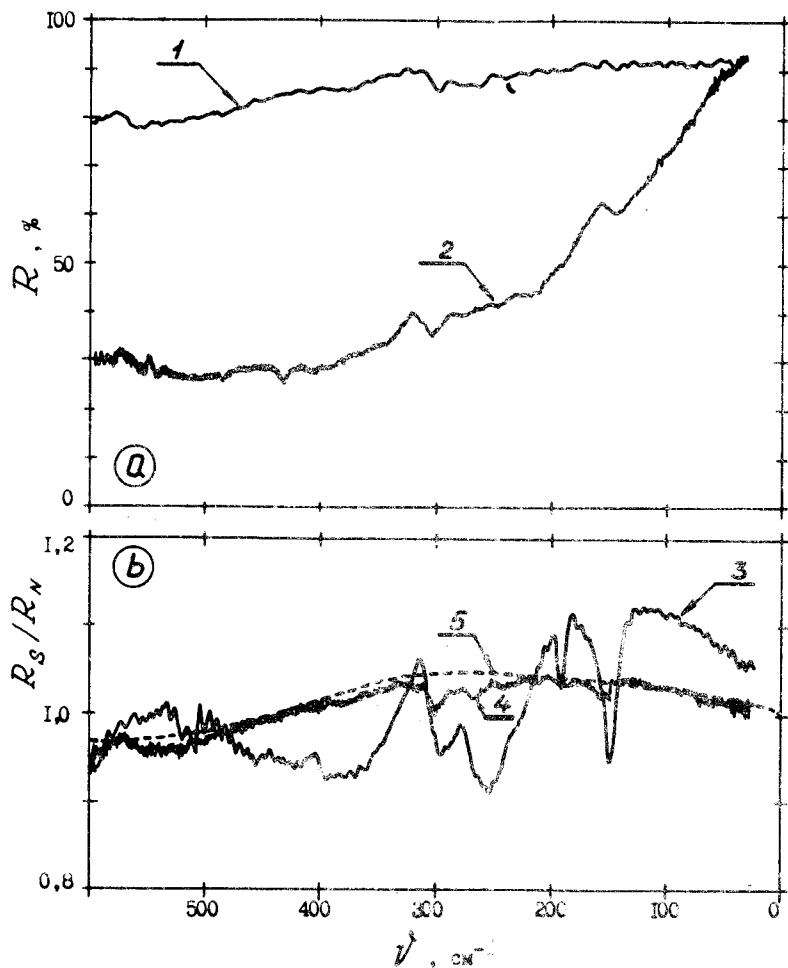


Рис. 1. а – Спектры отражения; б – спектральная зависимость отношения R_S/R_N материала Y-Ba-Cu-O. Экспериментальные кривые: 1 – тонкая пленка с ориентацией оси $\langle c \rangle$ нормально к поверхности; 2 – керамика состава 1 : 2 : 3; 3 – $R_S(\theta)$ для керамического образца при $T = 4$ К, R_N – при $T = 95$ К; 4 – для ориентированной пленки R_S при $T = 4$ К, R_N – при $T = 91$ К; 5 – расчетная кривая по работе ⁵ для пленки R_S – при $T = 0$ К, R_N – при $T = 91$ К, $2\Delta(0) = 270$ см^{-1}

Из рисунка видно, что зависимости, полученные для пленки (кривая 4) и для керамики (кривая 3) принципиально отличаются по своему характеру. Кроме того, экспериментальный спектр R_S/R_N хорошо укладывается на зависимость, рассчитанную по теории Маттиса–Бардина (кривая 5) ⁵. Несмотря на то, что однозначно указать частоту максимума для кривой R_S/R_N тонкопленочного образца, соответствующую значению $2\Delta(0)$, достаточно сложно, данный спектр позволяет оценить эту величину с точностью не хуже 50 см^{-1} . Тогда, прямые измерения ширины щели по спектрам отражения на ориентированных пленках дают значение $2\Delta(0) = 250 \pm 50$ см^{-1} , что не противоречит данным, полученным на поликристаллических образцах при использовании специальной методики обработки результатов измерений ⁶. Таким образом, можно утверждать, что сложный характер зависимостей R_S/R_N для керамик

определяется не отличным от БКШ механизмом сверхпроводимости, а наличием в этих системах различно ориентированных анизотропных кристаллитов. Это утверждение иллюстрирует также рис. 2, на котором приводятся спектры отражения пленки, состоящей из различно ориентированных блоков (ввиду блочной структуры ее подложки). Оказывается, что и спектр отражения (рис. 2, кривая 1) и зависимость R_S/R_N (кривая 3) для такой пленки аналогичны полученным на керамике (кривые 2 и 4 соответственно). Наблюдается лишь некоторое отличие в частотах фоновых особенностей (указаны стрелками), связанное с тем, что ион иттрия был заменен в пленке на гольмий.

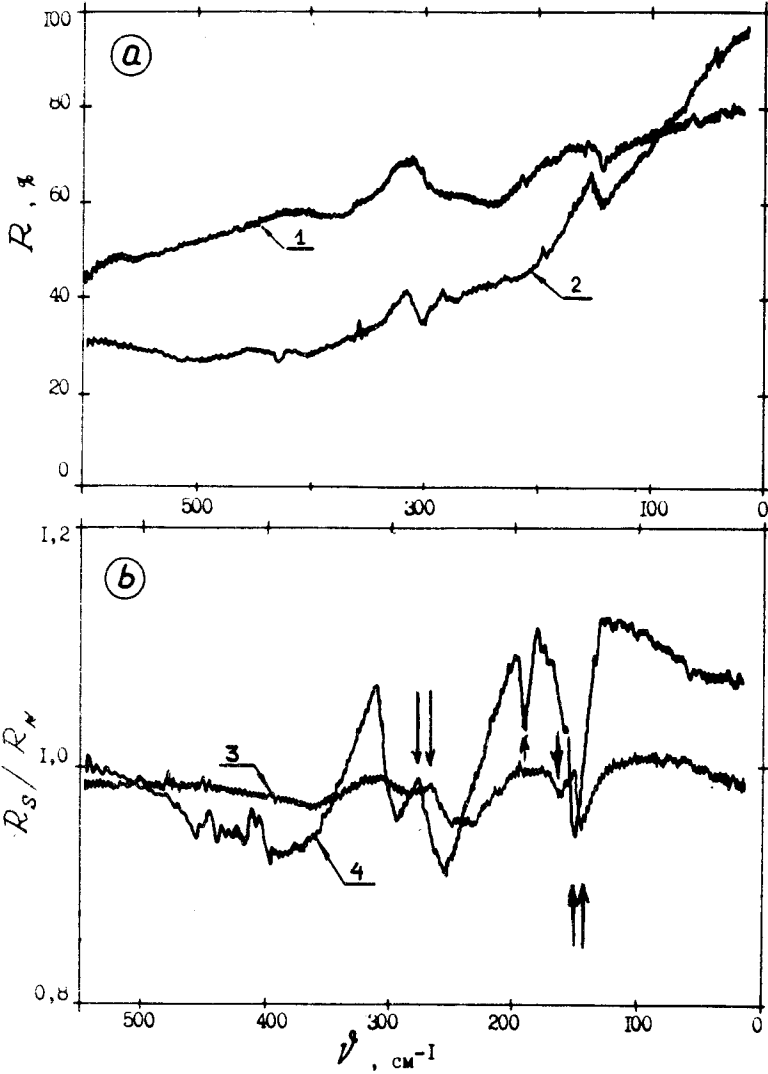


Рис. 2. а - Спектр отражения (кривая 1) и б - спектр R_S/R_N (кривая 3) пленки Ho-Ba-Cu-O, выращенной на блочной подложке. Для сравнения приведены аналогичные зависимости для керамики Y-Ba-Cu-O (кривые 2 и 4 соответственно). R_S снято при $T = 4$ К, R_N - при $T = 95$ К.

Однако ориентация кристаллитов не единственное требование, предъявляемое к пленкам, при прямых измерениях величины 2Δ по спектрам отражения. Необходимым является также относительно большая толщина пленки. Это требование определяется большой глубиной проникновения ИК излучения в исследуемые материалы, превышающей, как правило, средние значения толщин ориентированных пленок (обычно 1 - 2 тысячи ангстрем). На рис. 3а

приводится спектр отражения ориентированной пленки толщиной 1000 Å (кривая 1), в котором легко прослеживаются все особенности фононного спектра подложки из SrTiO_3 (кривая 2). Это означает, что регистрируемый в эксперименте отраженный сигнал не является спектром отражения, а представляет собой сложное сочетание отражения от пленки и ее пропускания при отражении от подложки. С переходом образца в сверхпроводящее состояние поглощение излучения в зоне энергетической щели должно стремиться к нулю, что приводит к изменению соотношения между пропусканием и отражением. При этом зависимость R_S/R_N приобретает вид, изображенный на рис. 3б, кривая 3. Для определения 2Δ из такого спектра необходимо произвести модельный расчет вклада, вносимого энергетической щелью в перераспределение отражения и пропускания при переходе материала в сверхпроводящее состояние.

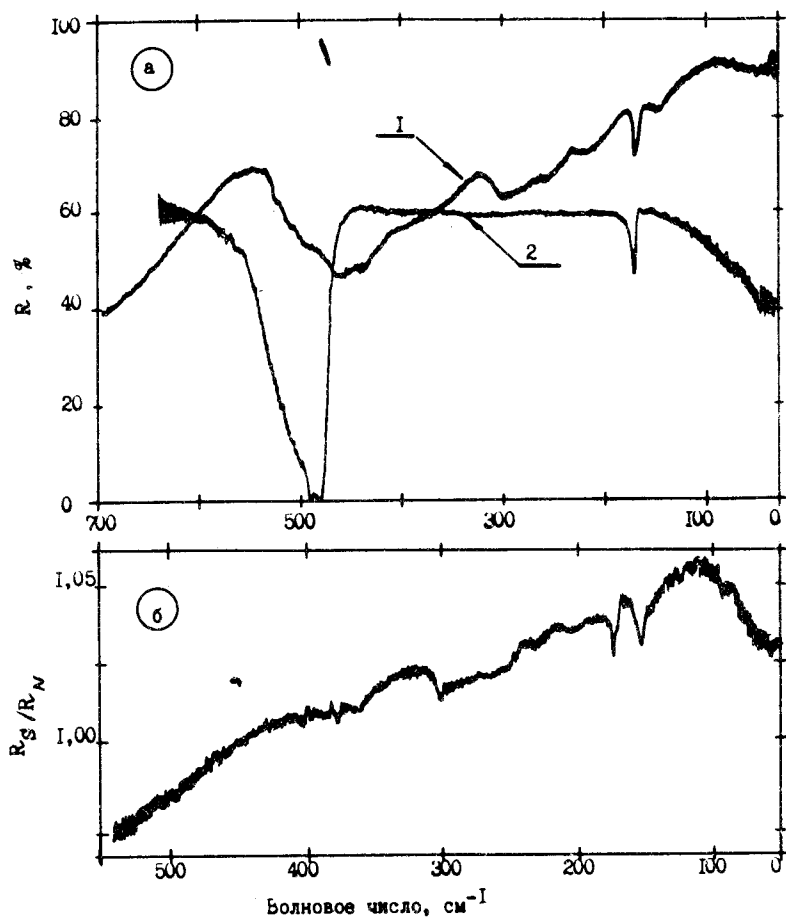


Рис. 3. а – Спектры отражения и б – спектр отношения R_S/R_N для тонкой пленки Y-Ba-Cu-O . Толщина пленки 1000 Å, R_S снято при $T = 4$ К, R_N – при $T = 95$ К. Кривая 2 – спектр подложки SrTiO_3 .

Таким образом, анализ ИК данных, полученных на тонких ориентированных пленках с осью $\langle c \rangle$, перпендикулярной поверхности образца, позволяют сделать следующие выводы.

1. Плоскость ab имеет спектр отражения металлического типа, соответствующий высокой проводимости вдоль слоев медь–кислород,
2. Фононные особенности в спектрах отражения, наблюдаемые в керамиках и блочных пленках, обусловлены их разориентацией,

3. Для образцов, близких по своим свойствам к монокристаллическим, изменения в спектрах отражения, связанные с переходом в сверхпроводящее состояние, согласуются с теорией БКШ как по значению ширины щели ($2\Delta = 250 \pm 50 \text{ см}^{-1}$), так и по характеру получаемых зависимостей.

4. Значение глубины проникновения ИК излучения в данные материалы превышает 3000 \AA .

Литература

1. Головашкин А.И., Екимов Е.В., Красносвободцев С.И., Печень Е.В. Письма в ЖЭТФ, 1988, 47, 157.
2. Абель Е.В., Багаев В.С., Басов Д.Н., Головашкин А.И. и др. Препринт ФИАН № 253, М., 1988.
3. Collins R. T., Schlesinger Z., Koch R.H. et al. Phys. Rev. Lett., 1987, 59, 704.
4. Абель Е.В., Багаев В.С., Басов Д.Н., Ельцев Ю.Ф. и др. Препринт ФИАН №242, М., 1987.
5. Mattis D.C., Bardeen J. Phys. Rev., 1958, 58, 412.
6. Абель Е.В., Багаев В.С., Басов Д.Н., Ельцев Ю.Ф. и др. Письма в ЖЭТФ, 1988, 47, 144.

Физический институт им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
23 ноября 1988 г.