

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P14-91-208

С. И. Тютюнников, В. Н. Шаляпин

ПОГЛОЩЕНИЕ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
В СВЕРХПРОВОДЯЩЕМ МЕТАЛЛОКСИДЕ $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

1991

Тютюнников С.И., Шаляпин В.Н.
Поглощение инфракрасного излучения
в сверхпроводящем металлооксиде $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$

P14-91-208

Приведены результаты измерений спектров поглощения инфракрасного излучения в сверхпроводящих металлооксидах $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ в диапазоне длин волн $0,25 \div 25$ мкм. Облучаемые образцы были изготовлены либо в виде матриц на основе KBr, либо в виде поликристаллических пленок на различных подложках. В спектрах пропускания обнаружены линии поглощения, которые могут быть интерпретированы как суммовые частоты фононных мод. Исследовано влияние отжига образцов на спектры поглощения.

Работа выполнена в Лаборатории сверхвысоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1991

Перевод авторов

Tyutyunnikov S.I., Shalyapin V.N.
Infrared Radiation Absorption
in Superconducting Metaloxide $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$

P14-91-208

The absorption infrared spectra measurements in superconducting metaloxides $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ in the dynamic range wave of $0,25 \div 25$ μm are given. The irradiated patterns were made either as matrices on the base of KBr or as polycrystal films on different supports. In the transmission spectra the absorption lines were found which can be explained as sum frequencies of phonon modes. The influence of the etching patterns on the absorption spectra has been studied.

The investigation has been performed at the Laboratory of Superhigh Energies, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1991

В настоящее время электронные и фоновые свойства высокотемпературного сверхпроводника (ВТСП) состава $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (1-2-3) широко исследуются методами инфракрасной (ИК) ^{1,2} и рамановской спектроскопии ³. В работе ⁴ были продемонстрированы фоновые моды и их зависимости от содержания кислорода.

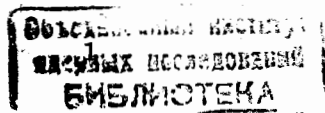
Кроме фононного спектра, который важен для понимания сверхпроводимости, надо знать отклик электронной компоненты в ближнем ИК-диапазоне, поскольку в этом диапазоне имеются противоречивые экспериментальные результаты в спектрах пропускания пленок и кристаллов.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Использовались образцы $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ двух типов: в виде матрицы KBr , содержащей 1% YBaCo , и пленки на подложках из сапфира и титаната стронция SrTiO_3 . Рентгенофазный анализ поликристаллической керамики, изготовленной по стандартной технологии, показал преимущественное содержание ромбической фазы в составе $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ($\delta \approx 0,1$), применяемом для изготовления образцов. При отжиге в вакууме при $T = 500^\circ \text{C}$ в течение двух часов ромбическая фаза переходила в тетрагональную. Эти два типа образцов с разной компонентой кислорода исследовались на предмет пропускания ИК-спектра.

Пленки 1-2-3 на подложке из сапфира изготавливались методом магнетронного распыления с использованием буферного слоя из ZrO_2 . Толщина пленок $\approx 0,8$ мкм. При отжиге в кислороде в разных режимах пленки приобретали сверхпроводящие свойства. Пленки затем были аттестованы по температурам перехода. Для целей ИК-спектроскопии были выбраны пленки с разной температурой перехода $T_{\text{сo}}$: $T_{\text{сo}} = 85 \text{ K}$, $T_{\text{сo}} = 40 \text{ K}$, $T_{\text{сo}} = 25 \text{ K}$ и с разным содержанием кислорода. Пленки на подложке из SrTiO_3 были сделаны по стандартной технологии методом лазерного напыления.

Измерения спектров пропускания проводились в диапазоне длин волн $\lambda = 1 \div 20$ мкм на спектрометре ИКС-31, в который был вмонтирован оптический криостат. На рис.1 показана блок-схема измерений. Измерения спектров пропускания в диапазоне $\lambda = 0,2 \div 0,5$ мкм были выполнены на монохроматоре МДР-2 с источником излучения, которым служила водо-



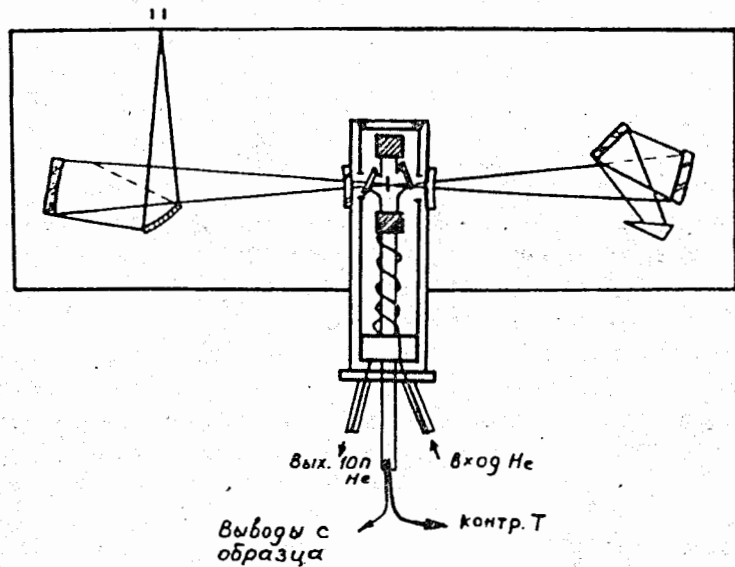


Рис.1. Блок-схема измерения спектров пропускания.

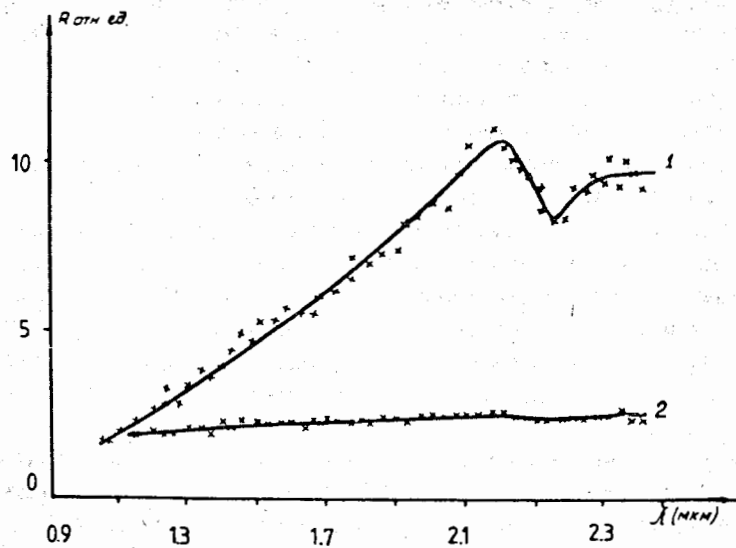


Рис.2. Спектры отражения пленок 1-2-3: 1 — $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$, 2 — $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$; $\delta = 0,1$, $T = 300 \text{ K}$.

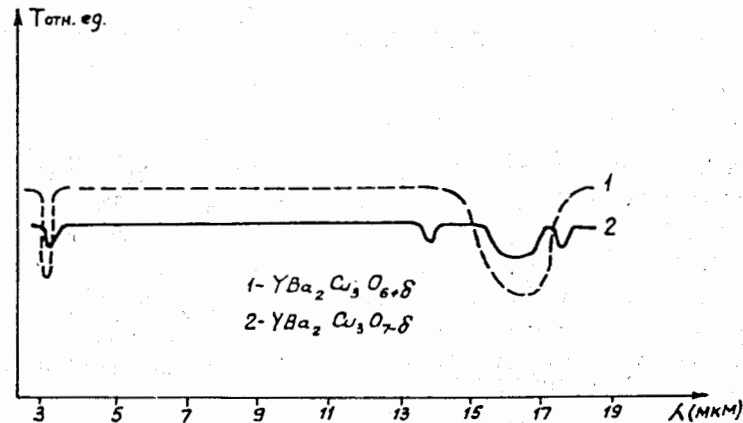
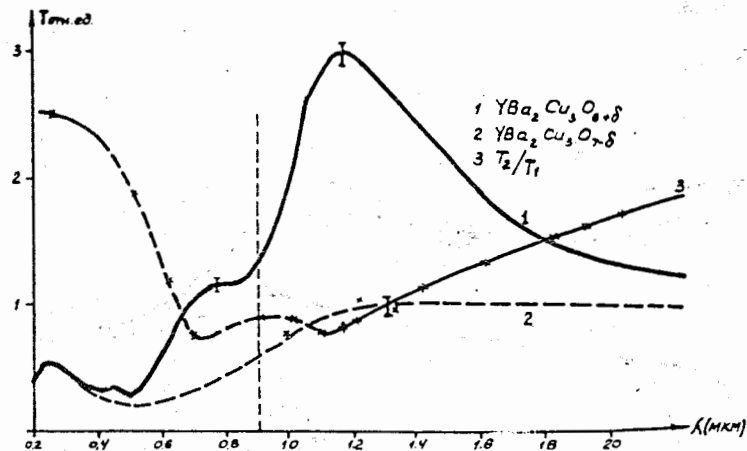


Рис.3. Спектры пропускания состава 1-2-3 в матрице из КВг, $T = 300 \text{ K}$.

родная лампа с непрерывным спектром. Спектры отражения в диапазоне $0,8 \div 2,5 \text{ мкм}$ были измерены также на этом монохроматоре по стандартной оптической схеме.

На рис.2 показаны спектры отражения пленок 1-2-3. Кривая 1 соответствует пленке с температурой перехода $T_{с0} = 85 \text{ K}$, кривая 2 — пленкам с $T_{с0} = 40, 25 \text{ K}$. Кривые 1, 2 сильно различаются, что можно использовать для оперативного контроля содержания кислорода в пленке или монокристалле.

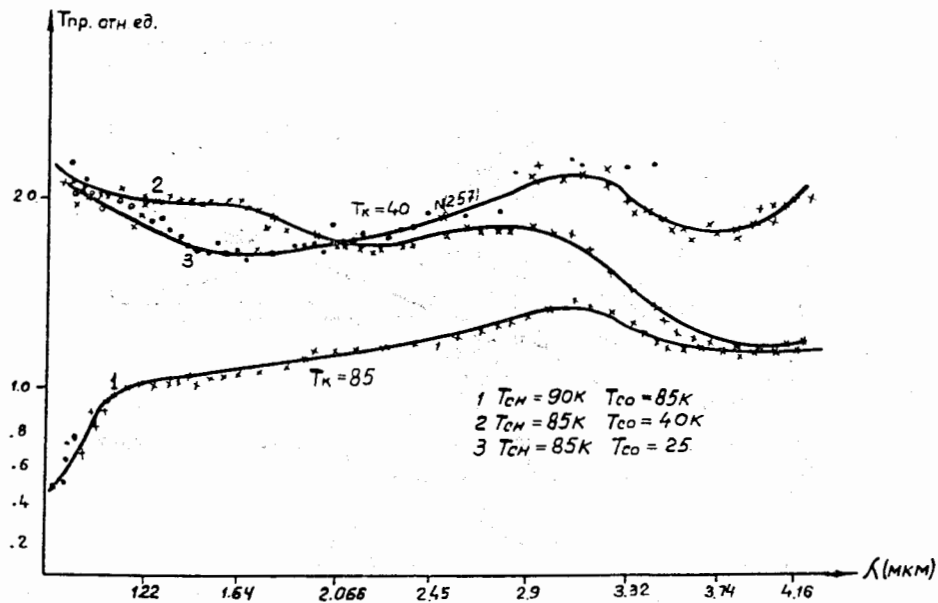


Рис.4. Спектры пропускания пленок 1-2-3, $T = 300$ К.

На рис.3 показаны спектры пропускания матрицы КВг, включающей состав 1-2-3 для двух значений содержания кислорода:

- 1 — $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6+\delta}$ $\delta = 0,1$,
- 2 — $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ $\delta = 0,1$.

На рис.4 показаны спектры пропускания пленок (1-2-3) с разной $T_{\text{со}}$ на сапфировой подложке.

На рис.5 показаны фрагменты спектров пропускания в диапазоне $14 \div 16$ мкм.

В таблице приведены частоты линий и полос поглощения для матриц КВг с 1% YBaCo и с разным содержанием кислорода. Точность определения волнового числа проверялась по полосам поглощения аммиака и составляла несколько см^{-1} .

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Измерения, выполненные на большом количестве образцов $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ показывают, что спектры пропускания тетрагональных и орторомбических состояний максимально различаются на длине волны $\lambda = 1,2$ мкм. Тетрагональная фаза имеет ярко выраженное собственное поглощение, характерное для полупроводников, а на длине волны

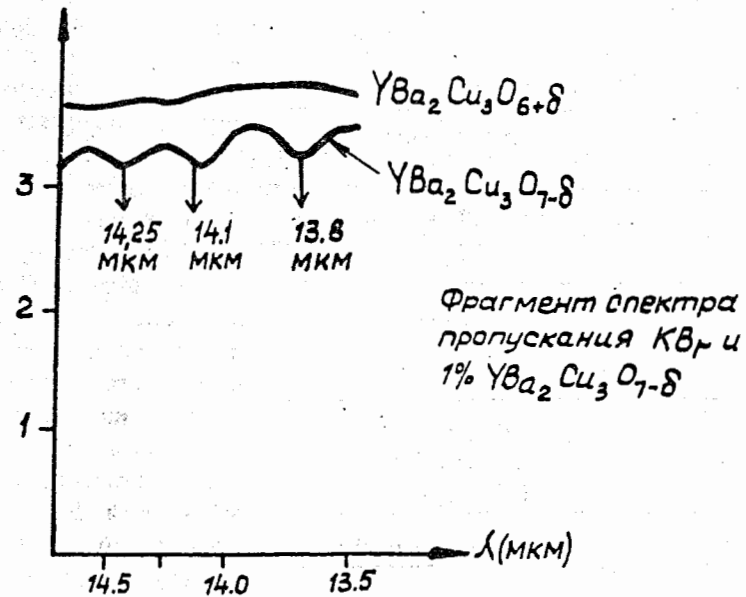
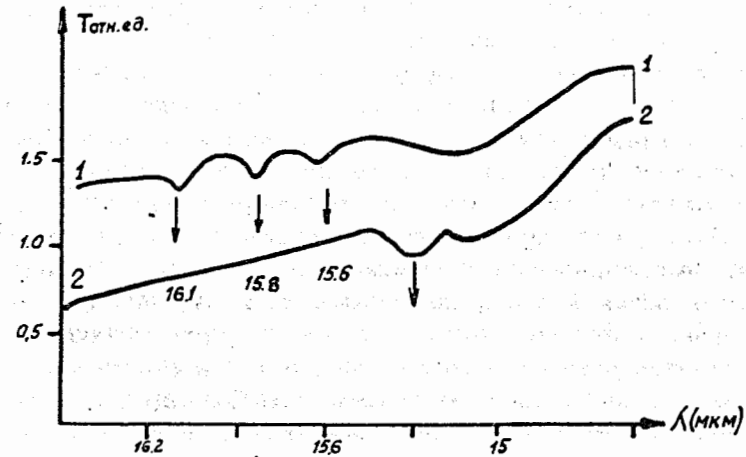


Рис.5. Спектры пропускания состава 1-2-3 в матрице из КВг: 1 — ромбическая фаза, 2 — тетрагональная фаза.

$\lambda > 1,2$ мкм спектр пропускания ведет себя как спектр металлов и обусловлен поглощением на свободных носителях.

Если предположить, что спектр пропускания электронной системы $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ $T_2 = T_1 \cdot T(0)$ есть произведение спектров $YBa_2Cu_3O_{6+\delta}$, T_1 , $T(0)$ и парциальной компоненты, связанной с кислородом O(7), присоединяемым к $YBa_2Cu_3O_6$, то спектр пропускания парциальной компоненты O(7) напоминает спектр донорной примеси, расположенной вблизи дна зоны проводимости. Спектр поглощения орторомбической фазы имеет минимум пропускания при $\lambda = 5000$ Å. Пленка из Cu также имеет близкий спектр поглощения с минимумом при $\lambda = 5000$ Å.

В отличие от¹⁵ в области $\lambda > 2$ мкм спектры пропускания матриц с ромбической структурой слабо зависят от длины волны.

Более сложный характер имеют спектры пропускания пленок $YBaCo$. В спектрах видно, что в зависимости от T_{Co} кривые имеют разный характер. Характерно, что для пленки с большим значением T_{Co} наблюдается провал на длине волны 0,8 мкм. Этот результат достаточно воспроизводим, т.е. переход от тетрагональной к ромбической фазе показывает (по спектрам пропускания), что происходит диэлектризация спектра.

Таблица

$YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$	
Частота $см^{-1}$	Возможная мода
572	Cu(1) O(1)
606	Cu(1) O(2)
621	Cu(2) O(2)
632	Y
641	$2 \nu_y$
700	$\nu_{1u} + \nu_{1u}$
709	Cu(1) O(1) +
724	+ O(4) - Cu(1) - O(4)
300	полоса поглощения
$YBa_2Cu_3O_{6+\delta}$	
653	Cu(1) O(1)
606	Cu(2) O(2)

Измерения, выполненные в области длин волн до 25 мкм на матричных образцах с тетрагональным и ромбическим составом 1-2-3, дают характерные линии в спектре поглощения, которые представлены в таблице. Следуя результатам работы¹² по изучению спектров отражения, часть обнаруженных линий идентифицируется как фоновые моды колебаний тетрагональной и ромбической фазы. Помимо этих линий, в $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ обнаружены группы линий: $\nu = 621, 631, 641, 700, 709, 724$ $см^{-1}$. Эти частоты можно интерпретировать как суммовые частоты фоновых мод, указанных в таб-

лице. Дополнительным аргументом являются узкие линии в спектре поглощения, соответствующие этим частотам. Своеобразной является полоса поглощения $\nu = 609$ $см^{-1}$, которая присутствует в обеих фазах: тетрагональной и ромбической. Однако в ромбической фазе провал в спектре поглощения меньше примерно в два раза. Наличие спутников вблизи частот 630 и 709 $см^{-1}$ может указывать на их расщепление.

Полоса поглощения с $\nu = 3000$ $см^{-1}$ имеет разное значение коэффициента поглощения для разных фаз, при этом для тетрагональной фазы поглощение выше. Полоса поглощения с этим волновым числом также наблюдается и для пленок (см. рис.3), ее поведение аналогично поведению в матрице KVr с $YBaCo$. Были проведены дополнительные исследования, которые показали, что полоса с $\nu = 3000$ $см^{-1}$ не связана с поглощением паров воды. Специально созданная атмосфера с водяным паром приводит к линии поглощения $\nu = 3570$ $см^{-1}$. Полоса поглощения, связанная с группами CO_2 , не обнаружена.

Дальнейшие исследования спектров многофононного поглощения возможны на пленках ВТСП на подложках, прозрачных для изучения с длиной волны $\lambda > 15$ мкм.

Авторы выражают глубокую благодарность В.Л. Аксенову и Б.В. Васильеву за большую поддержку в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Garringa M. et al. — Physica C, 1988, 153-155, p.643-644.
2. Grawford M. et al. — Phys. Rev. B., 1988, Vol.38, No.6, p.11382.
3. Thomsen C. et al. — Solid State Com., 1988, Vol.65, No.1, p.55.
4. Ruani G., Taliani C. and Zambony R. — Physica C, 1988, 153-155, p.645.
5. Самохвалов А.А. и др. — Письма в ЖЭТФ, 1989, т.47, вып.7, с.338.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 мая 1991 года.