

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

17-98-140

На правах рукописи  
УДК 538.945

C-42

**СКЫНТЕЕ**  
Николай Николаевич

**ИЗМЕРЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО  
КУПРАТА  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$   
В ШИРОКОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА**

Специальность: 01.04.07 — физика твердого тела

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Дубна 1998

Работа выполнена в **Лаборатории сверхвысоких энергий**  
Объединенного института ядерных исследований

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Научные руководители: профессор, доктор физико-математических наук Аксенов В.Л.  
кандидат физико-математических наук  
Тютюнников С.И. (ЛСВЭ, ОИЯИ)

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук  
Максименко С.А. (ИЯП, г. Минск)  
кандидат физико-математических наук  
Савенко Б.Н. (ЛНФ, ОИЯИ)

Ведущая организация: Институт атомной энергии  
им. И.В. Курчатова, г. Москва

Защита состоится "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1998 г. в "\_\_\_\_" часов на заседании диссертационного совета Д 047.01.05 при Лаборатории нейтронной физики и Лаборатории ядерных реакций Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ. Автореферат разослан "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 1998 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



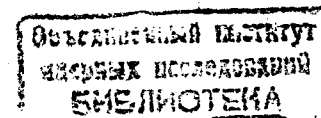
Попеко А.Г.

## АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

С появлением ВТСП материалов инфракрасная спектроскопия стала одним из основных методов исследований электронных и фононных свойств, так как из-за малой длины когерентности для ВТСП по сравнению с классическими металлами очень затруднена интерпретация методов туннельной спектроскопии. Необычные физико-химические свойства новых материалов приводили к противоречивым результатам в исследовании оптических свойств. Прежде всего это связано с большим поглощением ИК-излучения в металллоксидных купратах и влиянием поверхностных свойств на спектры отражения, что затрудняло получение спектров поглощения. Из-за этого полученные результаты по измерению величины энергетической щели колебались в широком пределе  $2\Delta/kT_c$  – от 1,7 до 7. Прямые измерения спектров пропускания ВТСП пленок были затруднены тем, что ограничена яркость источника излучения в области длинноволнового инфракрасного диапазона. В связи с этим, большое значение имела разработка методик исследования в ИК области на импульсном источнике синхротронного излучения с большой яркостью.

## ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ являлось:

— Физическое обоснование метода инфракрасной спектроскопии на пучке СИ импульсного накопителя электронов;



- Создание методики измерения оптических характеристик ВТСП пленок по временной эволюции спектра СИ в импульсном накопителе;
- Измерение величины энергетической щели и ее температурной зависимости для ВТСП пленки по схеме пропускания;
- Исследование оптических свойств ВТСП пленок.

## НАУЧНАЯ НОВИЗНА

- Впервые создана экспериментальная установка для измерения спектров пропускания на импульсном пучке СИ в дальнем ИК диапазоне с рекордной яркостью, превосходящей все известные источники СИ на два порядка, и высоким (2мс) временным разрешением;
- Впервые были проведены измерения величины энергетической щели в сверхпроводящей пленке  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  по спектру пропусканию. Получены экспериментальные результаты по измерению зависимости величины щели от температуры;
- Проведена реконструкция лабораторного Фурье-спектрометра ЛАФС-1000, получено рекордное разрешение  $\Delta\nu \approx 0,05 \text{ см}^{-1}$ . Созданы программы для быстрого Фурье-преобразования полученных интерферограмм. С высоким разрешением измерена фоновая структура ВТСП материалов разного состава;
- Впервые обнаружен в оксидных сверхпроводниках эффект фотоиндуцированного поглощения, вызываемого падающим излучением видимого диапазона. Проведены измерения спектральных характеристик обнаруженного фотохромного эффекта. Получены результаты по связи фотохромного эффекта и сверхпроводящих свойств ВТСП материалов;
- Обнаружена полоса экситонного поглощения в ВТСП пленке  $YBCO$  и измерена ее зависимость от температуры.

## НАУЧНАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

- Создана экспериментальная установка для инфракрасной спектроскопии на пучке СИ импульсного накопителя электронов с временным разрешением  $\tau = 2 \text{ мсек}$ , которую можно использовать для получения спектров пропускания ВТСП материалов;
- Впервые получены значения величины энергетической щели для ВТСП пленки  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , используя спектры пропускания. Такие исследования важны для выяснения механизмов высокотемпературной сверхпроводимости;
- Реконструирован лабораторный Фурье-спектрометр длинноволнового диапазона. Получено разрешение  $\nu \approx 0,05 \text{ см}^{-1}$ , что позволяет регистрировать фоновую структуру в дальней инфракрасной области спектра;
- Впервые обнаружен фотохромный эффект в оксидных сверхпроводниках и установлена его связь со свойствами ВТСП пленки, что позволяет создать бесконтактный способ диагностики сверхпроводящих свойств;
- Большинство элементов установки может быть использовано при создании ИК-каналов и станций на пучках СИ накопителя "СИБИРЬ", РНЦ "Курчатовский институт" и планируемого накопителя в ОИЯИ.

## АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ

Полученные автором результаты докладывались на национальных и международных конференциях:

- международное совещание по синхротронному излучению, Польша, 1996 ;
- русско-французский семинар по нейтронным и синхротронным излучениям, 1996 г.;
- Международная конференция по оптическим эффектам, SPIE, 1996;
- Международное совещание по источникам излучения в инфракрасной области, США, Сан-Диего, 1997.

Основу диссертации составили следующие публикации по работам, вклад автора в которые является определяющим.

## СТРУКТУРА ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация состоит из введения, трех глав, содержащих обзор работ и основные результаты, заключения, и списка литературы. Работа изложена на 110 страницах машинописного текста, включая 94 рисунков и 108 библиографические ссылки.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении кратко сформулированы проблемы, обосновывается актуальность темы исследования, сформулированы основные результаты, выносимые автором на защиту.

В первой главе описываются характеристики СИ импульсного накопителя электронов. Представлены результаты по использованию СИ в инфракрасном диапазоне для исследования конденсированных сред. Широкое применение источников СИ связано с тем, что их яркость зна-

чительно превосходит непрерывные источники типа глобар, ртутная лампа и т.д.

Приводятся результаты по исследованию спектрального распределения СИ в импульсном накопителе в видимом и ближнем ИК-диапазоне (рис.1).

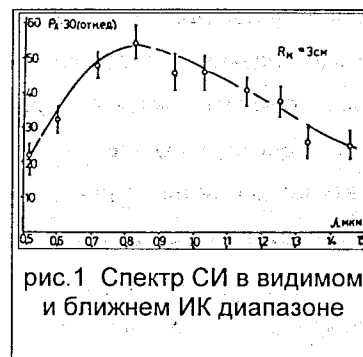


рис.1 Спектр СИ в видимом и ближнем ИК диапазоне

Приводятся результаты по измерению мощности излучения в длинноволновом спектральном диапазоне с помощью криогенных детекторов. Результаты по измерению абсолютной мощности СИ хорошо согласуются с расчетными значениями.

Приводятся различные оптические системы для фокусировки инфракрасного излучения на образце в импульсном накопителе электронов. Представлены результаты по измерению эффективности фокусировки СИ этими системами.

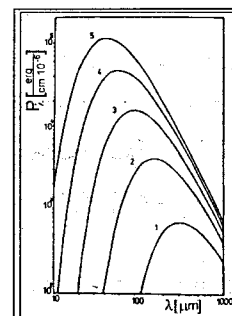


рис.2 Мгновенные спектра СИ для разных моментов времени:

- 1- 1,7мс;
- 2- 1,9мс;
- 3- 2,1мс;
- 4- 2,3мс;
- 5- 2,5мс

Во второй главе представлены результаты по разработке метода импульсной ИК спектроскопии по эволюции во времени спектра СИ за счет сжатия электронного кольца в импульсном накопителе.

Приводятся описания различных характеристик высокотемпературных оксидных сверхпроводящих материалов, описаны различные теоретические подходы к формированию сверхпроводящего состояния в этих материалах.

Представлены результаты по формированию спектров СИ электронным кольцом с изменяемым во времени радиусом (рис.2). Приводит-

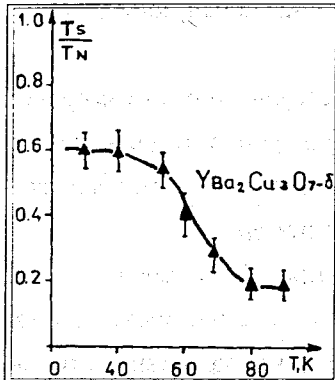


рис.3 Зависимость пропускания от температуры

не в интервале температур  $T=(4,6\div 300)K$ .

Приводятся результаты по измерению спектров пропускания

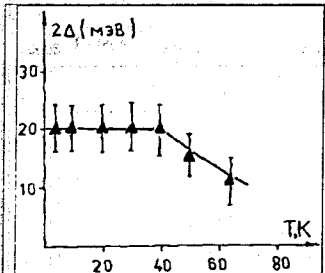


рис.4 Зависимость энергетической щели от температуры для  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$

этой величины от температуры (рис.4).

Приводятся результаты по сравнительному анализу полученных экспериментальных данных с различными теоретическими моделями возникновения сверхпроводимости.

В третьей главе приводятся экспериментальные результаты по измерению оптических характеристик пленок YBCO в широкой области

ся интегральное уравнение, связывающее измеряемые параметры с детектора ИК излучения, регистрирующего прошедшее сквозь образец излучение и величину энергетической щели. Приводится описание экспериментальной установки, созданной на пучке СИ импульсного накопителя электронов. Приводится описание прокачного оптического криостата, созданного для измерения спектров пропускания в длинноволновом ИК диапазоне

сверхпроводящей пленкой  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  синхротронного излучения импульсного накопителя в инфракрасном диапазоне. На рис.3 представлена зависимость пропускания от температуры на длине волны  $\lambda=330\mu m$ . Получены данные по обработке временной зависимости сигналов с ИК детекторов и получены значения величины энергетической щели  $2\Delta$ . Проведены измерения температурной зависимости

спектра с использованием непрерывных источников излучения: глобар, ртутная лампа и т.д.

Проведен обзор экспериментальных результатов по измерению оптических характеристик ВТСП материалов в средне- и длинноволновом ИК диапазоне, приводятся основные теоретические модели формирования оптических характеристик ВТСП структур.

Приводится описание Фурье-спектрометра ЛАФС-1000 с источником излучения – ртутная лампа. Приводится алгоритм обработки экспериментальных результатов по измеренному коэффициенту отраже-

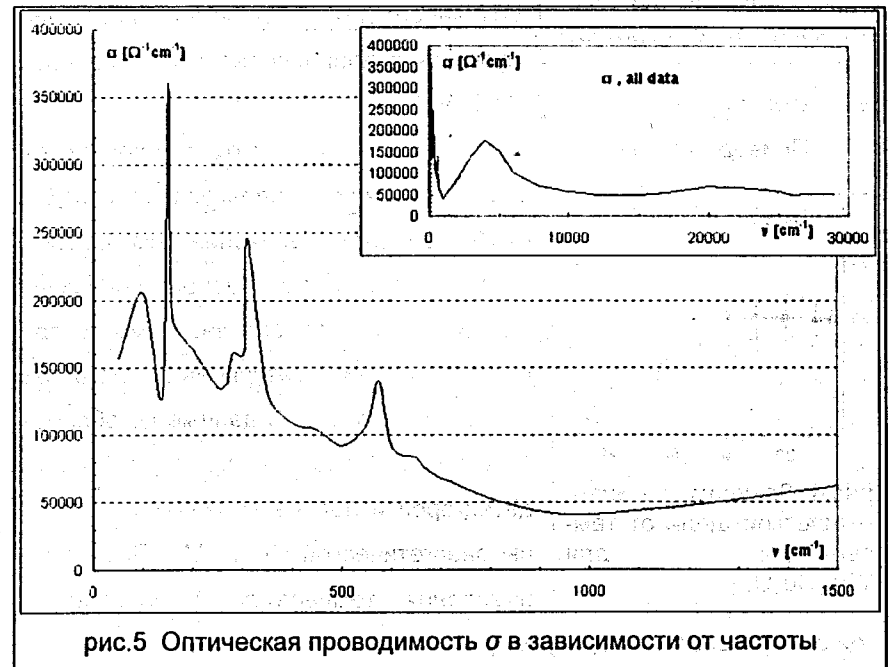


рис.5 Оптическая проводимость  $\sigma$  в зависимости от частоты

ния, получены значения  $n$ ,  $k$ ,  $\epsilon$  – макроскопических параметров среды и их зависимости от частоты (рис.5). Приводятся также результаты по измерению частот фононных колебаний кристаллической решетки для разных структур YBCO: тетрагональной и ромбической.

Приводятся результаты по измерению оптических свойств пленок и матриц, содержащих YBCO, на монохроматоре ИК диапазона ИКС-31 с источником излучения – глобар. Были проведены измерения спек-

тров пропускания в интервале длин волн  $\lambda=0,8\div 20\text{мкм}$  и интервале температур  $T=77\div 300\text{К}$ .

Приводится описание экспериментальных методик по измерению оптических свойств ВТСП пленок разного состава в видимой области

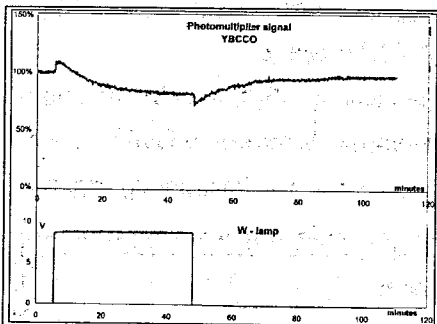


рис.6 Фотоиндуцированный эффект в YBCO

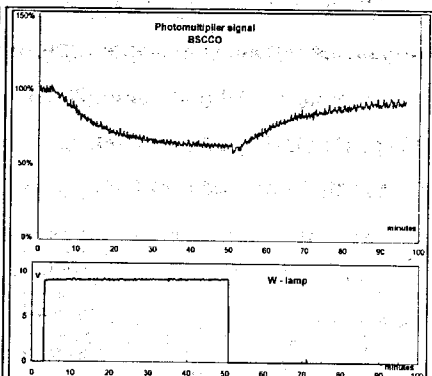


рис.7 Фотоиндуцированный эффект в BSCCO

спектра. Эти методики направлены на определение спектральных характеристик сверхпроводящих пленок. Приводятся результаты по измерению зависимостей спектров пропускания от мощности передающего излучения, от температуры в диапазоне  $T=4,7\div 300\text{К}$ , и также от структуры сверхпроводящей пленки. Приводятся характеристики обнаруженного фотохромного эффекта и его зависимости от температуры  $T_C$  сверхпроводящего перехода (рис.6, рис.7).

В заключении приводятся основные результаты и выводы, полученные в данной работе.

Также приведен список публикаций по теме диссертации и общий список литературы.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

- Проведены экспериментальные исследования спектральных характеристик синхротронного излучения СИ импульсного накопителя электронов в широкой области спектра. Показано, что яркость источника СИ импульсного накопителя в длинноволновом диапазоне более, чем в 50 раз превосходит все известные источники СИ, на которых ведутся эксперименты по ИК спектроскопии.
- Создана установка для инфракрасной спектроскопии твердых тел на пучке СИ импульсного накопителя, которая включает конический световод, набор криогенных детекторов, прокачной оптический криостат для образцов.
- Разработан метод измерения спектров пропускания объекта с использованием временной эволюции спектра синхротронного излучения при сжатии электронного кольца в импульсном накопителе электронов. Получено спектральное разрешение на уровне  $\Delta\nu\approx 2\div 3\text{см}^{-1}$  при измерении спектров пропускания от  $20\text{см}^{-1}$  до  $1000\text{см}^{-1}$  за время  $t=2\div 3\text{мсек}$ .
- Проведены измерения спектров пропускания сверхпроводящей пленки  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , определено значение величины энергетической щели при  $T=20\text{К}$  и измерена ее зависимость от температуры. Обнаружено уменьшение пропускания по длине волны  $\lambda=330\text{мкм}$  в зависимости от мощности СИ. Величина пороговой мощности  $P\approx 1\text{Вт/см}^2$  значительно меньше, чем требуется для разрушения сверхпроводимости при  $t=60\text{К}$ .
- Проведена реконструкция Фурье-спектрометра ЛАФС-1000, получено разрешение  $\Delta\nu\approx 5\cdot 10^2\text{см}^{-1}$ . Проведены измерения фоновой структуры  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  в тетрагональной и ромбической фазе.

— Проведены исследования оптических свойств ВТСП структур в видимой области спектра в области температур  $T=4,7+300K$ . Впервые обнаружен фотохромный эффект (ФХЭ) в измеряемых ВТСП пленках. Величина ФХЭ коррелирует со структурой оксидного сверхпроводника. Измерены спектральные, временные характеристики фотохромного эффекта. Обнаружено нелинейное поведение ФХЭ при больших интенсивностях падающего излучения. Обнаружена полоса экситонного поглощения при  $T \leq 150K$ .

## ПУБЛИКАЦИИ

Основные результаты диссертации изложены в следующих работах:

- 1 Тютюнников С., Шаляпин В., Скынтее Н., Исследование ВТСП пленок в области инфракрасной спектроскопии на пучке синхротронного излучения, Сообщение ОИЯИ Р14-95-211, Дубна, 1995.
- 2 Тютюнников С., Шаляпин В., Балалыкин Н., Бух Ю., Ергель М., Скынтее Н., Оптические свойства сверхпроводящих пленок YBCO, BSCCO, TBCCO в видимой и ближней инфракрасной части спектра, Сообщение ОИЯИ Р14-95-2110, Дубна, 1995.
- 3 Tiutiunnikov S., Shaliapin V., Scintee N., Measurement of infrared transition spectrum of synchrotron radiation through superconducting  $YBa_2Cu_3O_{7.5}$  film, Acta Physica Polonica A, vol91(1997), N5 p893-897.
- 4 Tiutiunnikov S., Shaliapin V., Balalykin N., Scintee N., Photochromatic and other optical effects in HTSC films, Proceeding SPIE vol2961, 1997, p.255-259; Optical Inorganic Dielectric Material and Devices, 26-29 August, 1996, Riga.
- 5 Скынтее Н., Тютюнников С., Шаляпин В., Шашков С., Лабораторный инфракрасный Фурье-спектрометр для исследований в физике конденсированных сред, Сообщение ОИЯИ Р14-97-150, Дубна, 1997.

- 6 Тютюнников С., Шаляпин В., Шашков С., Скынтее Н., Оптические постоянные высокотемпературного сверхпроводника  $YBa_2Cu_3O_{7.5}$  в широком спектральном интервале, Сообщение ОИЯИ p-14-97-299, Дубна, 1997.
- 7 Tiutiunnikov S., Shaliapin V., Scintee N., Tunable source of high-power synchrotron radiation in infrared range, Proceeding SPIE 1997, vol.(3153), p.27-34 (International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation, 27 July-1 August 1997, San-Diego, USA).
- 8 Аксенов В.Л., Иванов И.Н., Коваленко М.Н., Миронов В.Е., Скынтее Н., Тютюнников С., Шаляпин В., О создании спектроскопических станции ОИЯИ на пучке Курчатовского источника синхротронного излучения, Сообщение ОИЯИ, Р14-96-86, Дубна, 1996.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bednorz Y., Muller K., Revs.Mod.Phys. 60.585(1988).
2. Bardeen J., Cooper L., Shrieffer J., Phys.Rev.108, p1175, 1957.
3. Tanner D., Romero D., Kamaras K. et al, High-Temperature Superconductivity; Physical Properties, Microscope Theory and Mechanism, ed.G.C.Vezolli et al, Plenum, New York, pp159-176 (1992).
4. Kuzmin E., Scintei N., Tiutiunnikov S., Shalyapin V., Сообщение ОИЯИ, Е14-91-542, Дубна, 1991.
5. Тютюнников С., Шаляпин В., Щеулин А., Швецов В., Экспериментальная проверка возможности использования синхротронного излучения для инфракрасной спектроскопии твердых тел, ЖТФ, т62, 3(146-152), 1992.

Рукопись поступила в издательский отдел  
22 мая 1998 года.