

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ  
БАКИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

*На правах рукописи*

**ВАГИФ МЕШАДИ ОГЛЫ АЛИЕВ**

**ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НОВЫХ  
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ  
 $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ,  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$  И ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ  
НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Y-Ba-Cu-O**

2211.01 – физика твердого тела

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора наук по физике

БАКУ – 2014

Работа выполнена в лаборатории «Узкозонные полупроводники и высокотемпературные сверхпроводники» Института Физики имени Г.М.Абдуллаева Национальной Академии Наук Азербайджана

**Научный консультант:** Доктор физико-математических наук,  
профессор **Б.А. Таиров**

**Официальные оппоненты:** Доктор физико-математических наук,  
профессор **С.Р.Фигарова**

Доктор физико-математических наук,  
профессор **Р.М.Сардарлы**

Доктор физико-математических наук,  
профессор **Т.М.Панахов**

**Ведущая организация:** Азербайджанский Технический Университет  
(кафедра физики)

Защита диссертации состоится «06 \_\_\_» \_\_11\_\_\_ 2014 г. в \_\_\_ часов  
на Заседании Диссертационного Совета Д 02.012 при Бакинском  
Государственном Университете.

Адрес: AZ-1148, г. Баку, ул. З.Халилова, 23, Бакинский Государственный Университет, главный корпус, аудитория 310.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке  
Бакинского Государственного Университета.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2014 г.

**Ученый секретарь**  
**Диссертационного Совета**  
**Д.02.012, доцент**

**М.Р.Раджабов**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

**Актуальность темы.** Открытие осенью 1986г. швейцарскими физиками Беднорцем и Мюллером новых сверхпроводников на основе оксидов бария, лантана и меди с температурами переходов 30-35К мгновенно разрушило все теоретические, технологические и психологические барьеры, и в течение нескольких месяцев новые висмутовые (110К) и таллиевые (125К) сверхпроводники почти одновременно были синтезированы в США, Японии, Китае и бывшем СССР. Однако, несмотря на большие научные и материальные силы, брошенные на создание и развитие высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) во всем мире, исследования к настоящему времени все еще находятся на начальной стадии. Главный шаг, который необходимо сделать в области ВТСП для ее дальнейшего интенсивного развития - это вскрытие законов этого явления. На сегодняшний день выдвинут ряд моделей для объяснения механизма ВТСП, ни одна из которых, к сожалению, не может полностью охватить все аспекты проблемы. Теоретическое понимание явления высокотемпературной сверхпроводимости пока еще не достигнуто. Этому в значительной мере также препятствуют разрозненность и большой разброс экспериментальных данных.

Одним из актуальных и не до конца решенных вопросов создания ВТСП материалов является разработка технологии синтеза, выбор стехиометрии состава, методы охлаждения и т.п., поскольку, как показывает опыт, физические характеристики ВТСП материалов сильно зависят от этих параметров.

Поиск новых ВТСП материалов продолжается и на сегодняшний день. В последние годы большое внимание уделяется созданию новых ВТСП материалов путем замещения ряда элементов, входящих в известные составы другими элементами со сходными физико-химическими характеристиками. Целью таких замещений также является улучшение качества и электрофизических характеристик ВТСП материалов, получение дополнительной информации для раскрытия механизма сверхпроводимости.

Однако, к настоящему моменту не до конца установлены параметры зоны, ответственной за проводимость, принципиальные особенности ее строения и природа в различных системах ВТСП, а также значения многих параметров системы носителей заряда. Нерешен-

ными остаются и такие вопросы, как механизмы влияния различных легирующих примесей на значение критической температуры и параметры системы носителей заряда в нормальной фазе, характер и механизм влияния параметров нормального состояния на значение критической температуры, физические причины подавления сверхпроводимости в режимах легирования. В то же время очевидно, что подобная информация необходима для понимания физических причин реализации явления высокотемпературной сверхпроводимости.

ВТСП материалы имеют ряд аномальных свойств по сравнению с существующими кристаллическими соединениями. Аномальность свойств ВТСП материалов отражается в теплопроводности, тепловом расширении, теплоемкости, необычной температурной зависимости верхнего критического магнитного поля  $B_{c2}$ , образования в нормальной фазе уникального явления в физике твердого тела – псевдощели. В ходе исследований ВТСП материалов различными методиками было зафиксировано существование энергетической щели выше критической температуры; этому феномену было присвоено название «липовая» щель или **псевдощель**.

В направленных поисках возможности синтеза сверхпроводников при комнатной температуре исследователям приходится сталкиваться с промежуточными проблемами, решение которых приближает к пониманию феномена высокотемпературной сверхпроводимости. Наиболее значимая из этих задач - выяснение причин возникновения и природы псевдощели в высокотемпературных сверхпроводниках. Отметим, что псевдощель обнаруживается при частичном или полном замещении составляющих элементов ВТСП материалов, ответственных за сверхпроводимость.

В силу вышесказанного, актуальным является получение сверхпроводящих Y-Ba-Cu-O и Bi-Sr-Ca-Cu-O систем, а также проведение замещения в их составе главных элементов (Bi, Ca, Y), ответственных за сверхпроводимость, различными элементами (Pb, Cd, Tm, Nd), изучить их влияние на нормальную и сверхпроводящую фазы СП материала. Следует исследовать влияние магнитного поля на такие основные параметры ВТСП материала как продольную ( $\xi^{\parallel}$ ), так и поперечную ( $\xi^{\perp}$ ) длины когерентности, значение критических магнитных полей  $B_{c2}^{\parallel}(T)$ ,  $B_{c2}^{\perp}(T)$ ; анизотропию верхних критических магнитных полей  $B_{c2}^{\parallel} / B_{c2}^{\perp}$ ; определить теплопроводность и влияние

на нее магнитного поля. Необходимо определение для всех основных образцов температуры кроссовера 2D-3D перехода, длины когерентности куперовских пар по оси  $c$  и межплоскостную постоянную  $J$ . С целью изучения природы сверхпроводимости на основе модели теории флуктуационной проводимости следует провести анализ возможности образования выше критической температуры новых фазовых переходов (псевдощели).

Одним из актуальных направлений практического применения ВТСП материалов является получение и исследование сверхпроводящих пленок.

Следует выделить также получение полимерных композитов, содержащих ВТСП материалы, и исследование возможности образования сверхпроводящих полимерных композитов.

Все перечисленные выше вопросы и проблемы являются основными целями и задачами данного исследования.

**Основными целями диссертационной работы** являются получение образцов высокотемпературных сверхпроводящих Y-Ba-Cu-O и Bi-Sr-Ca-Cu-O систем; проведение в этих системах замещения основных элементов, ответственных за сверхпроводимость; определение параметров сверхпроводящего состояния; выявление механизмов сверхпроводимости на основе существующих моделей; определение влияния различных замещений в составе этих сверхпроводящих материалов на параметры размытости фазовых переходов, а также изучение возможности получения сверхпроводящих полимерных композиционных материалов.

**Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:**

- получить высокотемпературные сверхпроводящие Y-Ba-Cu-O и Bi-Sr-Ca-Cu-O системы, также синтезировать следующие допированные составы:  $Y_{1-x}(Tm, Nd, Cd)_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ( $x=0\div 1$ );  $Bi_{2-x}Pb_xSr_2CaCu_2O_y$ ,  $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ .

- исследовать электрофизические характеристики синтезированных ВТСП материалов и определить их влияние на фазовые переходы.

- определить основные параметры сверхпроводимости: продольную ( $\zeta^{\parallel}$ ) и поперечную ( $\zeta^{\perp}$ ) длины когерентности, критические магнитные поля  $B_{c2}^{\parallel}(T)$ ;  $B_{c2}^{\perp}(T)$ , анизотропию верхних критических магнитных полей  $B_{c2}^{\parallel} / B_{c2}^{\perp}$  на примере системы Bi-Sr-Ca-Cu-O, а

также определить для всех основных образцов межплоскостную постоянную  $J$ , температуру кроссовера 2D-3D и длины когерентности по оси  $c$ .

- исследовать электропроводность, теплопроводность, термоэ.д.с., магнетосопротивление и выявить влияние долевого содержания компонентов ВТСП материалов на их сверхпроводимость;

- интерпретация полученных экспериментальных результатов на основе существующих моделей флуктуационной проводимости в сверхпроводниках;

- провести анализ температурных зависимостей  $\rho(T,B)$  и  $S(T,B)$  в висмутовых и иттриевых ВТСП материалах в области фазовых переходов на основе теории размытых фазовых переходов и определить температуру равенства масс сверхпроводящей и нормальной фаз  $T_0$  (при  $m_{сп} = m_n$ ), температурную постоянную  $a_0$ , функции включения фаз  $L_0(T)$ , температурную скорость замены одной фазы другой  $dL_0/dT$ ;

- получить и исследовать влияние введенного сверхпроводящего  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  материала в состав полимерных композитов на их физико-механические и сверхпроводящие свойства.

#### **Научная новизна:**

1. Получены образцы высокотемпературного сверхпроводника  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ . Установлено, что независимо от технологических условий синтеза, образуется однофазный ВТСП материал.

2. Получены керамические образцы висмутовой системы Bi-Sr-Ca-Cu-O с фазами 2212 и 2223. Установлено, что избыток CuO в составе висмутовой керамики приводит к уменьшению удельного сопротивления в нормальной фазе; воздушная закалка по окончании синтеза приводит к возрастанию температуры сверхпроводящего перехода на 10К по сравнению с режимом медленного охлаждения.

3. Определено, что на зависимости  $\rho(T,B)$  в магнитном поле в  $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$  происходит сильное уширение  $\Delta T$ . Анализ данных  $\Delta T(B)$  показал, что уширение области перехода обусловлены квазидвумерным механизмом сверхпроводимости, а также наличием в висмутовых ВТСП неоднородностей.

4. Установлено, что под действием магнитного поля теплопроводность  $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$  в области СП перехода увеличивается. Рост теплопроводности под действием магнитного поля в  $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$  обусловлен уменьшением фонов- вихревого рассеяния из-за формиро-

вания вихревой решетки и увеличением доли теплопроводности, вызванным распариванием куперовских пар.

5. Установлено, что при частичном замещении в составе  $Y_{1-x}Cd_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  иттрия кадмием до 0,8 частей сверхпроводящее состояние ВТСП материала сохраняется ( $T_0 \approx 86-90K$ ).

6. При замещении в составе  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  иттрия на кадмий получен новый сверхпроводящий ВТСП материал -  $CdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ . Впервые на базе экспериментальных данных и расчетов на основе теории флуктуационной проводимости зависимости  $\rho(T)$  было подтверждено образование псевдощели выше критической температуры в  $CdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ . Произведена оценка её величины.

7. Проведено полное замещение кальция цинком в составе  $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$  и получен новый сверхпроводящий  $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$  ВТСП материал. Установлено, что замещение Ca на Zn в составе  $Bi_2Sr_2CaCu_2O_x$  приводит к уменьшению  $\Delta T$  СП образца и приводит к повышению теплопроводности на 20-30%.

8. Результаты температурной зависимости  $\rho(T, B)$  и  $S(T, B)$  висмутовых и иттриевых ВТСП материалов, а также новых СП материалов -  $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$  и  $CdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  в области фазовых переходов сопоставлены с теорией размытых фазовых переходов, и подтверждена применимость эти теории для систем сверхпроводящих ВТСП материалов. Для исследованных ВТСП материалов определены распределение массы сверхпроводящей и нормальной фаз ( $m_{сп}$ ,  $m_n$ ), по наклону прямых  $\ln(m_{сп}/m_n)/\Delta T$  - температурная постоянная  $a_0$ , функция включения фаз  $L_0(T)$  и температурная скорость замены одной фазы другой  $dL_0/\Delta T$ .

9. Проведено исследование возможности создания сверхпроводящих полимерных композитов на основе введения в качестве наполнителя сверхпроводящего  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , в состав бутадиен-нитрильного каучука. Установлено, что из-за различия коэффициентов теплового расширения матрицы и СП  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  нарушаются контакты между частицами сверхпроводящего материала, в результате чего достигается только создание электропроводящих композитов.

### **Практическая ценность работы:**

1. Определены оптимальные условия синтеза общеизвестных иттриевых и висмутовых ВТСП материалов, разработана методика частичного и полного замещения ряда элементов исходного состава на

другие элементы; разработан технологический режим синтеза нового ВТСП материала. Установлена связь между параметрами нормального состояния и значением критической температуры. Данная информация имеет значение для выяснения физических причин возникновения явления высокотемпературной сверхпроводимости и также проведения в дальнейшем целенаправленного поиска новых материалов, проявляющих сверхпроводящие свойства при более высоких температурах.

2. Разработана методика применения теории размытого фазового перехода для исследованных высокотемпературных сверхпроводников, что может быть использовано для определения степени размытости в других ВТСП системах.

3. На основе модели теории флуктационной проводимости разработана методика расчета возможности образования сверхпроводящего (СП) перехода выше критической температуры (псевдощель) в ВТСП материалах.

4. Методика получения толстослойных ВТСП пленок может быть использована для создания различных сверхпроводящих структур.

5. Разработанные электропроводящие композиты, содержащие иттриевый ВТСП материал, могут быть использованы в качестве уплотнители в летающих аппаратах, а также экранировании кабелей от магнитного поля и т.д.

**По результатам работы на защиту выносятся следующие основные положения:**

- Получение иттриевых и висмутовых ВТСП, замещение в исходных составах основных элементов: Y на Cd, Ca на Zn, Bi на Pb; создание новых ВТСП материалов  $CdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ,  $Bi_2Sr_2ZnCu_2O_x$ ,  $Bi_{2-x}Pb_xSr_2CaCu_2O_y$ . Обнаружение устойчивости фазы 2212 независимо от исходных значений индексов компонент образцов висмутовой системы. Установление влияния режимов охлаждения образцов висмутовых ВТСП материалов по окончании синтеза на параметры сверхпроводящих переходов. Обнаружение влияния содержания CuO в составе висмутовых ВТСП материалов на их удельное сопротивление в нормальной фазе и на температуру сверхпроводящего перехода.

- Определение основных параметров СП ФП висмутовых ВТСП: критические поля  $B_{c2}^{\perp}(0)$ ,  $B_{c2}^{\parallel}(0)$ ,  $\frac{\partial B_{c2}^{\parallel}}{\partial T}$ , коэффициент анизотропии



тропии  $B_{c2}^{\parallel}(T) / B_{c2}^{\perp}$ , поперечные и продольные длины когерентности  $\xi_0^{\perp}, \xi_0^{\parallel}$ .

- Обнаружение уширения области СП перехода  $\Delta T$  в магнитном поле в висмутовых системах и изломы на температурной зависимости критического поля  $B_c$ . Изломы на температурной зависимости  $B_{c2}(T)$  обусловлены действием нижнего критического поля на СП.

- Обнаружение эффекта «преждевременного уменьшения» удельного сопротивления при  $T > T_c$  в висмутовых ВТСП. Определение области трехмерной и двумерной проводимости. Установлено, что взаимодействие неспаренных электронов с куперовскими парами в висмутовых ВТСП вблизи  $T_c$  не оказывает существенного влияния на  $\Delta\sigma(T, B)$ .

- Обнаружение в образце  $CdVa_2Cu_3O_{7-\delta}$  образования новых метастабильных фазовых переходов выше критической температуры и подтверждение их на основе флуктуационной проводимости.

- Интерпретация поведения температурной зависимости удельного сопротивления висмутовых и иттриевых ВТСП систем в области СП перехода в рамках теории размытых ФП. Определение распределения сверхпроводящих и нормальных масс в области ФП, температуры  $T_0$ , температурной постоянной  $a_0$ , функции включения фаз  $L_0(T)$  и температурной скорости замены одной фазы другой -  $dL_0/dT$ . Установление влияния магнитного поля  $B$  на степень размытия СП фазового перехода.

- Определение влияния материала подложки и температуры формирования СП свойства толстослойной пленки на основе Bi-Sr-Ca-Cu-O систем.

- Выявление возможности получения сверхпроводящих полимерных композитов, содержащих в своем составе Y-Ba-Cu-O и бутадиен-нитрильные каучуки (СКН-40).

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы были доложены на международном симпозиуме “The II<sup>nd</sup> symposium on the solid state Chemistry” (Pardubice, Czechoslovakia, 1989); международной конференции “The II<sup>nd</sup> International Conference on Rare Earth Development and Application” (Beijing, China, 1991); “I Всесоюзное совещание по проблемам диагностики материалов ВТСП” (Черноголовка, 1989); международной конференции “Physics of multicomponent Semiconductors” (Баку, 1992); Республиканской

научной конференции “Физика-93” (Баку, 1993); международной конференции “Magnetic and Superconducting materials, MSM-99” (Tehran, Iran, 1999); Республиканской научной конференции “Актуальные проблемы физики ” (Баку, 2004); международной конференции “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах ” (Махачкала, Россия, 2004); международной конференции “Fizika-2005” (Баку); Республиканской научной конференции “Актуальные проблемы физики ” (Баку, 2006); международной конференции “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах ” (Махачкала, Россия, 2007).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка работ автора по теме диссертации и списка цитированной литературы. Работа содержит 277 страниц, в том числе 71 рисунок и 6 таблиц. Список литературы включает 270 наименований.

**Содержание работы.** Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и новизна работы, научная и практическая значимость полученных результатов, а также изложены защищаемые положения, коротко излагаются содержания глав.

**В первой главе** диссертации подробно изложены технологические режимы получения иттриевых и висмутовых высокотемпературных сверхпроводящих материалов. Проведен анализ влияния температурного режима на скорость реакции синтеза, влияния содержания кислорода в составе иттриевых и висмутовых СП материалов. Перечислены и обсуждены возможные методы определения содержания кислорода в составе ВТСП материалов, выбран метод определения кислорода в Y-Ba-Cu-O системе.

В этой главе так же изложены методы синтеза Y-Ba-Cu-O и Bi-Sr-Ca-Cu-O систем. Система Y-Ba-Cu-O была получена двумя методами: в первом синтез проводился в среде кислорода (давление кислорода в реакционной зоне составляло 1,2-1,5 атм), во втором - в воздушной среде. Твердофазный синтез Y-Ba-Cu-O проводился в платиновых тиглях при температурах 1173-1223K в течении 15-20 часов. Продукты реакции за время всего периода синтеза 2-3 раза перетерлись в агатовой ступке и прессовались.

Получение висмутового ВТСП материала проводилось двумя этапами синтеза. На первом этапе тугоплавкие оксиды ( $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,

ZnO, CuO) смешивались и нагревались 10-15 часов при 1173-1223К. На втором этапе к полученным смесям добавлялся  $\text{Vi}_2\text{O}_3$ ; далее синтез продолжался при 1110-1120К в течении 10-15 часов.

Методом рентгеноструктурного анализа было подтверждено получение иттриевых и висмутовых сверхпроводящих материалов.

Было проведено исследование электрических и термоэлектрических свойств синтезированных образцов  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . В результате измерений электросопротивления, термоэ.д.с., теплопроводности установлено, что сверхпроводящие переходы происходят в пределах 85-94К. Наблюдаемые в экспериментах зависимости теплопроводности  $k(T)$  показали, что при температуре  $T > T_c$  теплопроводность  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  изменяется слабо. Зависимость  $k(T)$  такого типа характерна для всех однофазных образцов R-Ba-Cu-O.

Исследование электрических и термоэлектрических свойств висмутосодержащих ВТСП материалов показало, что, независимо от стехиометрических соотношений оксидов, наиболее устойчивой является фаза 2212. В результате исследований установлено, что избыточное содержание CuO в висмутовых ВТСП материалах приводит к уменьшению удельного сопротивления в нормальной фазе, а также к увеличению температуры сверхпроводящего перехода. Установлено, что охлаждение образцов висмутовых ВТСП материалов по окончании твердофазной реакции методом воздушной закалки приводит к возрастанию температуры сверхпроводящего перехода на 10К по сравнению медленным охлаждением. Обнаружено, что в образцах фазы 2212, несмотря на близость температур начала и середины фазового перехода, температуры наступления нулевого сопротивления  $T_0$  некоторых образцов значительно различаются (от 80К до 60К). Считаем, что смещение  $T_0$  в сторону низких температур обусловлено образованием в составе висмутовых керамик низкотемпературных фаз в зависимости от метода охлаждения образцов после окончания твердофазного синтеза.

Определены основные параметры СП ФП висмутовых ВТСП:

$\frac{\partial B_{c2}''}{\partial T}$ , критические поля  $B_{c2}^\perp(0)$ ,  $B_{c2}''(0)$ , коэффициент анизотропии  $B_{c2}''(T)/B_{c2}^\perp$ , поперечные и продольные длины когерентности  $\xi_0^\perp, \xi_0''$ . Обнаружены уширение температурного интервала перехода  $\Delta T$  в магнитном поле и изломы на температурной зависимости

критического поля  $V_c(T)$ . Первый излом происходит при слабых полях ( $\sim 0,2$ Тл) и обусловлен действием нижнего критического поля на СП. Анализ данных  $\Delta T(B)$  и  $\partial V_{c2}/\partial T$  позволил заключить, что наблюдаемые факты обусловлены анизотропией  $V_c(T)$ , квазидвумерным механизмом сверхпроводимости и наличием в висмутовых ВТСП неоднородностей.

Обнаружен эффект «преждевременного уменьшения» электросопротивления в  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_y$  при  $T > T_c$ . Показано, что оно обусловлено дополнительной парапроводимостью. Вблизи  $T_c(1-1.06)$  проводимость  $\sigma$  носит трехмерный, а в области  $T_c(1.06-1.15)$  - двумерной характер. Установлено, что в висмутовых ВТСП вблизи  $T_c$  взаимодействие неспаренных электронов с куперовскими парами не оказывает существенного влияния на  $\Delta\sigma(T, B)$ . Сопоставление  $\Delta\sigma(T, B=0)$  и  $\Delta\sigma(T, B=2\text{Тл})$  позволило заключить, что магнитное поле в исследованном интервале  $B \leq 2\text{Тл}$  практически не оказывает влияния на двумерную сверхпроводимость.

Влияние магнитного поля на теплопроводность ВТСП в области фазового перехода имеет свои особенности. В этой области для распаривания куперовских пар требуются гораздо слабые магнитные поля, чем в глубоко сверхпроводящем состоянии; электронная часть теплопроводности значительно больше, чем при СП состоянии, и практически доступные поля позволяют распаривать сверхпроводящих пары, которые начинают участвовать в проводимости тепла.

Максимальные значения удельного сопротивления для иттриевых и висмутовых ВТСП систем перед фазовым переходом близки, но решеточная теплопроводность в висмутовых керамиках и кристаллических образцах значительно ниже, чем в иттриевых, что и делает их перспективными для исследования  $k(B)$ . Анализ данных по  $k(T)$  в ВТСП материалов показывает, что висмутовые системы обладают минимальным значением решеточной теплопроводности.

Результаты исследований показали, что при  $T \geq 90\text{К}$  отношение  $k(B)/k_0$  от магнитного поля практически не зависит, с понижением температуры ( $T < 80\text{К}$ ) наблюдается возрастание теплопроводности в магнитном поле. Такое возрастание  $k(B)$  происходит в ограниченном интервале температур (65-80К). Максимальное возрастание теплопроводности соответствует примерно 75К, ниже  $T \leq 65\text{К}$  и выше  $T \geq 80\text{К}$  изменение  $k(B)$  исчезает. Считаем, что при  $T \geq 90\text{К}$  это обусловлено очень малой подвижностью носителей заряда в  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ , а отсутствие эффекта при

$T < 65\text{K}$  обусловлено сильным возрастанием значения критического поля  $B_{c2}$  с понижением температур. Максимальное возрастание  $k(B)/k_0$  соответствует примерно середине СП ФП (76K). Можно полагать, что в более сильных полях максимальный эффект сместился бы в область низких температур, величина  $k_{\text{max}}$  имела бы чуть большее значение. Предполагается, что возрастание  $k(B)/k_0$  обусловлено переносом тепла распарившимися носителями заряда, поскольку при таких высоких температурах и магнитных полях рассеяние фононов на вихрях незначительно. Полученные экспериментальные данные также объясняются тем, что рассеяние фононов на вихрях происходит, в основном, в полях до  $B_c$ . При  $B > B_c$  происходит формирование вихревой решетки, что значительно уменьшает фонон - вихревое рассеяние. Поэтому участие распарившихся электронов в переносе тепла становится заметнее.

**Вторая глава** диссертации посвящена исследованию частичного или полного замещения атомов иттрия и кальция в составе  $Y\text{-Ba-Cu-O}$  и  $Bi\text{-Sr-Ca-Cu-O}$  систем другими элементами.

Со времени открытия ВТСП в купратных материалах предпринимались попытки улучшения сверхпроводящих характеристик путем изоморфных замещений одного из компонентов. Отметим, что соединения  $Y\text{-Ba-Cu-O}$ , несмотря на максимальное число возможных изоморфных замещений иттрия, не входит в число систем, где изоморфное гетеровалентное замещение приводит к увеличению  $T_c$ . Несмотря на это, исследования замещения в классической структуре  $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  остаются актуальной проблемой, поскольку оно позволяет сделать определенные выводы о механизме сверхпроводимости и вкладе в сверхпроводимость атомов  $Y$ ,  $Ca$  и  $Cu$ -слоев.

В системе  $Y\text{-Ba-Cu-O}$  проведено частичное замещение  $Y$  на  $Tm$  и  $Nd$ ; были проведены исследования температурных зависимостей удельного сопротивления  $\rho$  и термоэ.д.с.  $S$  в керамических образцах  $Y_{0,9}Nd_{0,1}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ ;  $Y_{0,8}Tm_{0,2}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ ;  $Y_{0,5}Tm_{0,5}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ . Во всех исследованных образцах был обнаружен СП переход при  $T_c = 92 \div 94\text{K}$ . Показано, что в системе  $Y\text{-Ba-Cu-O}$  замещение  $Y$  на  $Tm$  и  $Nd$  не оказывает заметного влияния на температуру перехода в СП состояние. Характерной особенностью для исследованных образцов является очень слабая зависимость  $S(T)$ , рост с температурой удельного сопротивления ( $\rho \sim T$ ) и проявление максимума на  $S(T)$  перед переходом в сверхпроводящее состояние. Знак термоэ.д.с. указывает на дырочную проводимость.

Для образцов  $Y_{0,9}Nd_{0,1}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  и  $Y_{0,5}Tm_{0,5}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  была рассчитана длина когерентности куперовских пар, постоянная межплоскостного спаривания и температура перехода 2D-3D флуктуационной проводимости в области сверхпроводящего фазового перехода.

В системе Y-Ba-Cu-O было произведено частичное замещение Y на кадмий. На основе температурной зависимости удельного сопротивления исследованных образцов сделан вывод о том, что при замене Y на Cd до 0,8 частей температура перехода в СП состояние остается на уровне исходного ВТСП (84-90К). При замещении до 0,5 частей температурный ход  $\rho(T)$  образцов в нормальной фазе характеризуется как металлический. При повышении содержания Cd в материалах проводимость образцов постепенно приобретает полупроводниковый ход в нормальной фазе. При замещении выше 0,7 частей все образцы становятся высокоомными. При полной замене Y на Cd были получены очень высокоомные образцы, а температура перехода в СП состояние смещалась к более низким температурам (~ 60К).

С измененным технологическим режимом твердофазной реакции были получены новые низкоомные  $CdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  образцы (рис.1). При исследовании температурной зависимости удельного сопротивления  $\rho$   $CdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  в интервале температур 300К– 70К нами было обнаружено, что при  $T_{мин1} \approx 275K$  (рис. 1а) зависимость  $\rho(T)$  проходит через глубокий минимум. При повторном измерении (через 72 часа) минимум сместился в сторону низких температур ( $T_{мин2} \approx 252K$ ) (рис.1б), а при третьем измерении (еще через 24 часа) минимум исчез полностью (рис.1в).

Мы предположили, что если обнаруженный минимум действительно означает попытку образца совершить СП переход с  $T_{c1} = T_{мин1} \approx 275K$ , то наблюдаемая выше  $T_{c1}$  избыточная проводимость должна подчиняться теории Хиками-Ларкина, включающей в себя флуктуационные вклады как Асламазова-Ларкина (АЛ) [1], так и Маки-Томпсона (МТ) [2]. Для подтверждения нашего предположения в рамках теории флуктуационной проводимости Хиками-Ларкина [3] был проведен анализ избыточной проводимости  $\Delta\sigma(T)$ , наблюдаемой выше  $T_{мин}$ . Как обычно величина  $\Delta\sigma(T)$  определялась как разность между экстраполированной в область низких температур линейной при высоких T зависимостью  $\rho_n(T) = \rho_0 + \alpha T$ , и реально измеряемым сопротивлением  $\rho(T)$  [ $\Delta\sigma(T) = \rho^{-1}(T) - \rho_n^{-1}(T)$ ]. Известно, что эта

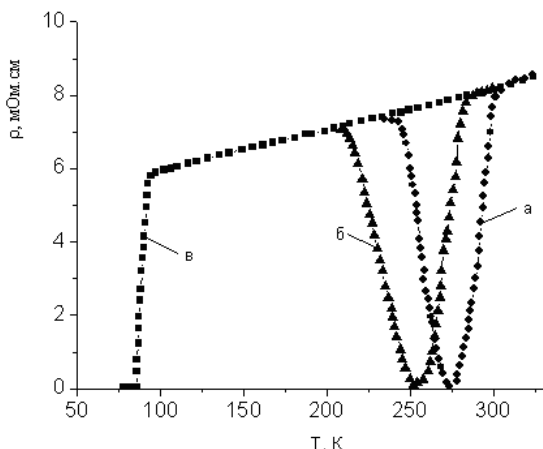


Рис. 1. Температурные зависимости удельного сопротивления образца  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$

теория рассматривает два флуктуационных механизма: Асламазова-Ларкина и Маки-Томпсона. В этой модели показано, что вне области критических флуктуаций проводимость  $\sigma$  зависит от параметра  $\varepsilon = (T - T_c^{\text{mf}}) / T_c^{\text{mf}}$ . Параметр  $T_c^{\text{mf}}$  является температурой, отделяющей область флуктуационной проводимости от области критических флуктуаций, и его определение важно для анализа. В связи с этим методом экстраполяции линейного участка зависимости  $\Delta\sigma^{-2}(T)$  до его пересечения с осью температур нами было определено значения  $T_c^{\text{mf}}$  для СП переходов при 275К и 252К. Значения  $T_c^{\text{mf}}$  для указанных переходов составляют, соответственно, 289,97К и 267,12К. Поскольку в теории Асламазова - Ларкина  $\Delta\sigma$  является экспоненциальной функцией  $\varepsilon$ , то анализ результатов производился логарифмических координатах. На основе зависимости  $\ln\sigma$  от  $\ln(T - T_c^{\text{mf}}) / T_c^{\text{mf}}$  в области исследованных переходов были определены температуры кроссовера  $T_{\text{cs}}$ ; они составляют для переходов 275К и 252К, соответственно, 298,5К и 274,09К. Вблизи  $T_c$  ( $T_{\text{мин1}}$  в нашем случае) зависимость  $\Delta\sigma(\varepsilon)$  может быть представлена уравнением теории АЛ для трёхмерных (3D) флуктуаций  $\Delta\sigma_{\text{АЛ}} = \{e^2/[32\hbar\xi_c(0)]\} \varepsilon^{-1/2}$ , где  $\xi_c(0)$  – длина когерентности ВТСП вдоль оси  $c$ , то есть перпендикулярно проводящим плоскостям  $\text{CuO}_2$ . На зависимости  $\ln\Delta\sigma$  от  $\ln(T - T_c^{\text{mf}}) / T_c^{\text{mf}}$  обнаружены линейные участки с наклоном

$\lambda = -1/2$ , отвечающие области 3D флуктуаций. При увеличении температуры наблюдается переход (кроссовер) в область 2D флуктуаций, которая в данном случае может быть описана соответствующим уравнением Асламазова – Ларкина:  $\Delta\sigma_{\text{AL}} = \{e^2/[16\hbar d]\}\varepsilon^{-1}$ . Такое поведение в области 2D флуктуаций является типичным для поликристаллов, где МТ вклад в  $\Delta\sigma$  не наблюдается.

На основе измеренных значений температуры кроссовера  $\varepsilon_0$  можно определить величины  $\xi_c(0)$  в исследуемом образце. Очевидно, что система становится трёхмерной, когда длина когерентности, возрастая с уменьшением температуры, связывает проводящие плоскости  $\text{CuO}_2$  джозефсоновским взаимодействием, то есть  $\xi_c(T) \geq d$ . Рассчитанные по уравнению  $\xi_c(0) = d\varepsilon^{1/2}$  значения длины когерентности куперовских пар  $\xi_c(0)$  для СП переходов при 275К и 252К составляют соответственно 1,7 Å и 1,96 Å. Используя найденные значения  $\xi_c(0)$  для обоих СП переходов при 275К и 252К, была рассчитана постоянная межплоскостного спаривания  $J$  согласно выражению  $J = (2\xi_c(0)/d)^2$  [4]. Для первого и второго переходов она соответственно равна  $J = 0,084$  и  $0,105$ , для основного перехода при 86К  $J = 0,117$ .

При изучении температурной зависимости псевдощели  $\Delta^*(T)$  в  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  с СП переходом 86К был проведен анализ избыточной проводимости для случая, когда минимумы на зависимости  $\rho(T)$  при высоких температурах уже не наблюдались (рис.1в). В литературе возможность возникновения псевдощели обуславливается тем, что при температуре открытия псевдощели  $T^*$  в спектре возбуждений образуются так называемые локальные пары, которые конденсируются только лишь при  $T_c \ll T^*$ , ниже которой возникает когерентность в объеме образца и устанавливается собственно сверхпроводящее состояние. Соответственно, наличие таких пар при  $T_c < T < T^*$  должно отражаться на температурной зависимости сопротивления в этой области температур.

Температурная зависимость удельного сопротивления  $\rho$  для образца  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  при высоких температурах (от 300К до 130К) хорошо описывается выражением вида  $\rho_n = \rho_0 + \alpha T$ . Экстраполяция этой зависимости в область низких температур приводит к соотношению  $\rho_n = 5.42 + 0,0075T$ .

Принимая отклонение сопротивления от линейности ниже  $T^*$  как следствие образования при этой температуре локальных пар, мы



провели анализ экспериментальных данных в предположении о возникновении добавочной (или избыточной) проводимости  $\Delta\sigma$ , определяемой по уравнению  $\Delta\sigma(T) = \rho^{-1}(T) - \rho_n^{-1}(T)$ , т.е. методом, аналогичным тому, что используется при исследовании флуктуационной добавки к проводимости в сверхпроводниках при температурах, немного превышающих критическую.

Были анализированы зависимости добавочной проводимости  $\Delta\sigma$  и  $\ln\Delta\sigma$  от обратной температуры (рис.2). В широком температурном интервале  $\ln\Delta\sigma(T)$  хорошо аппроксимируется линейной зависимостью  $\ln\Delta\sigma(T) = a + b/T$ , т.е.  $\Delta\sigma = D \exp(b/T)$ , где  $a$ ,  $b$ ,  $D$  – некоторые константы.

В интервале  $192\text{K} < T < T^* = 280\text{K}$  характер поведения экспериментальной кривой заметно меняется. Введение множителя  $(1 - T/T^*)$  в уравнение  $\Delta\sigma = D \exp(b/T)$  позволяет существенно улучшить аппроксимацию экспериментальной кривой в области высоких температур:  $\Delta\sigma = A (1 - T/T^*) \cdot \exp(\Delta^*/T)$ , где  $\Delta^*$  и  $A$  – константы, определяемые при аппроксимации экспериментальных данных [5]. Параметр  $\Delta^*(T)$  был рассчитан согласно уравнению [6]

$$\Delta^*(T) = T \cdot \ln \left\{ \frac{A(1 - T/T^*)e^2}{\Delta\sigma(T) 16\hbar\zeta_c(0)\sqrt{2\varepsilon \cdot \text{sh}(2\varepsilon/\varepsilon_0)}} \right\}. \quad (1)$$

Как и ожидалось, учёт локальных пар позволяет улучшить совпадение теоретических расчетов с экспериментом. В вышеуказанных выражениях  $\Delta\sigma(T)$  – значение избыточной проводимости, определяемое из эксперимента. С целью определения длины когерентности куперовских пар вдоль оси  $c$ , т.е. перпендикулярно проводящим плоскостям  $\text{CuO}_2$ , для СП перехода при  $T_c = 90,2\text{K}$  сначала была определена критическая температура в приближении среднего поля ( $T_c^{\text{mf}} = 91,59\text{K}$ ) из зависимости  $\Delta\sigma^{-2}$  от температуры (рис.3а), далее из зависимости  $\ln\Delta\sigma$  от  $\ln(T - T_c^{\text{mf}})/T_c^{\text{mf}}$  (рис.3б) определено значение температуры кроссовера  $\varepsilon_0$ . По уравнению  $\xi_c(0) = d\varepsilon^{1/2}$  была рассчитана длина когерентности куперовских пар  $\xi_c(0) = 2,0\text{\AA}$ . Для определения значения коэффициента  $A$  в соотношении (1) константа  $\Delta^*$  была рассчитана при  $T = T_c$ , т.е.  $\Delta^* = \Delta^*(T_c)$ . Величина  $A$  подбирается таким образом, чтобы совместить рассчитанные кривые с экспериментальными данными  $\Delta\sigma(T)$  в области  $3D$  флуктуаций вблизи  $T_c$ .

Известно, что оптимальная аппроксимация для YBCO достигается при значениях  $\Delta^*(T_c)$ , определяемым из соотношения  $2\Delta^*(T_c)/kT_c \approx 5$ . В нашем случае оптимальная аппроксимация достигается при  $2\Delta^*(T_c)/kT_c = 5$ . Таким образом, рассчитанное значение  $\Delta^*(T_c)$  составляет 225,51К. Соответственно значение постоянной  $A = 2,72$ .

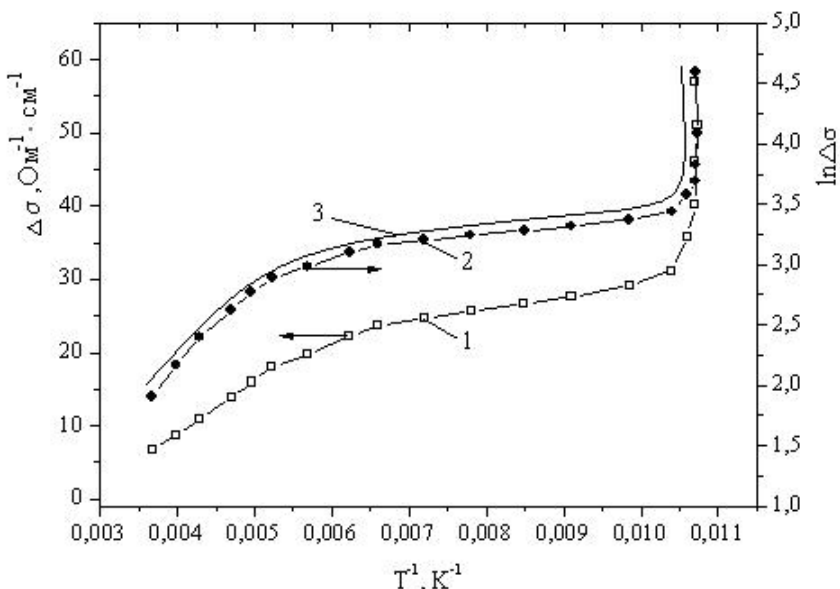


Рис.2. Зависимость избыточной проводимости  $\Delta\sigma$  (1) и  $\ln \Delta\sigma$  (2) от температуры. Кривая 3 – аппроксимация экспериментальных данных с учетом параметра уравнения (1)

Анализ результатов исследований показал, что длины когерентности куперовских пар ( $1,7\text{\AA}$ ,  $1,96\text{\AA}$  и  $2,0\text{\AA}$ ) а также постоянной межплоскостного спаривания ( $0,084$ ,  $0,105$  и  $0,117$ ) мало меняются в интервале температур 86-300К. Это дает основание предположить, что оптимальное допирование кадмием иттриевых ВТСП приводит к формированию куперовских пар электронов при температурах выше критической  $T^* \gg T_c$ , и создаются условия для образования псевдощели с последующим установлением их фазовой когерентности при  $T^* < T_c$ .

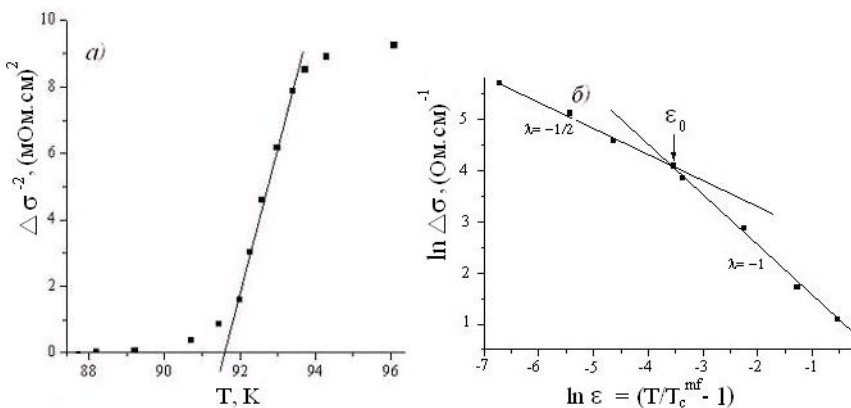


Рис.3. *а*– Зависимость  $\Delta\sigma^{-2}$  от температуры (точки). Сплошная прямая – экстраполяция 3D области, пересечение которой с осью температур определяет  $T_c^{mf}$ .  
*б* –Зависимость  $\ln\Delta\sigma$  от  $\ln(T-T_c^{mf}) / T_c^{mf}$  (точки) для основного СП перехода. Прямые линии – расчет в рамках теории АЛ для 3D ( $\lambda = -1/2$ ) и 2D ( $\lambda = -1$ ) флуктуаций.

Возможность описания избыточной проводимости  $\Delta\sigma$ , измеряемой в области обнаруженных на эксперименте метастабильных минимумов на зависимости  $\rho(T)$ , в рамках классических теорий сверхпроводящих флуктуаций, на наш взгляд, прямо указывает на возможность образования флуктуационных куперовских пар в исследуемом образце при  $T > T_{\min} \gg T_c$ . Это позволяет говорить о том, что в  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  наблюдается попытка осуществления СП фазового перехода при  $T_{\min}$ . Этот вывод представляется нам наиболее интересным и значимым результатом наших исследований. В то же время вопрос о том, почему при дальнейшем уменьшении температуры сопротивление образца восстанавливается, остаётся открытым. Расчет длины когерентности и постоянной межплоскостных спариваний для предполагаемых СП переходов при температурах 275К, 252К, а также для основного СП перехода при  $T = 86\text{К}$  показал, что значения этих величин практически не меняются, что может служить доказательством правильности проведенного нами анализа.

Впервые на основе экспериментальных данных по проводимости и проведенных расчетов было подтверждено образование псевдощели в  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  с  $T_0 = 86 \text{ K}$  и произведена оценка ее температурной зависимости.

Исследования теплопроводности высокотемпературных сверхпроводников представляют интерес, поскольку они могут дать дополнительную информацию о качестве этого материала. С этой целью была исследована теплопроводность  $k$   $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  и  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  в интервале температур 70-300К. Электронная доля теплопроводности  $k_e$  была оценена согласно соотношению Видемана-Франца ( $k_e = LT/\rho$ , где  $L$ -число Лоренца) с учетом степени вырождения и механизма рассеяния электронов. Несмотря на то, что в кадмий - содержащем ВТСП  $k_e$  в 4 раза превышает величину  $k_e$  в исходных иттриевых керамиках, их относительные доли в общей теплопроводности близки (составляют соответственно 1,4 и 1,1%), поскольку полное замещение  $\text{Y}$  на  $\text{Cd}$  приводит к возрастанию  $k_{\text{общ.}}$  в 3 раза. Поэтому общая теплопроводность  $k_{\text{общ.}}(T)$  была принята за решеточную теплопроводность.

С целью определения влияния замещения  $\text{Y}$  на  $\text{Cd}$  на носители заряда в  $\text{Y}$ -содержащих ВТСП материалах были проведены исследования термоэ.д.с.  $S$ . Результаты измерений  $S$  в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  и  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  показали, что термоэ.д.с.  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  имеет положительный знак, а в  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  – отрицательный. Тот факт, что частичное замещение иттрия редкоземельными элементами не существенно влияет на величину  $T_c$  в иттриевых ВТСП, свидетельствует о том, что именно подрешетка  $\text{Cu-O}$  ответственна за его сверхпроводящие свойства. Известно, что плоскость, в которой лежит атом иттрия, вакантна по отношению к кислороду. Замещение иттрия на кадмий, на наш взгляд, исключает этот недостаток в плоскости элементарной ячейки  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Это дает основание считать, что отрицательный знак термоэ.д.с обусловлен насыщением этой плоскости кислородом.

Как известно, в  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  сверхпроводниковый переход имеет двухступенчатый характер с  $T_c = 110\text{K}$  и  $80\text{K}$ . Обнаружено, что в этой системе фаза с высокой температурой перехода чувствительна к условиям термообработки.

Висмутовая ВТСП керамика вызывает большой интерес в связи с получением в ней фазы с  $T_c > 100\text{K}$ . Однако, синтез этой фазы

является сложной задачей, так как наряду с фазой  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ , для которой  $T_c > 100\text{K}$ , образуются фаза  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  с  $T_c \approx 80\text{K}$ , а также несверхпроводящие фазы. Однако, при частичном замещении висмута свинцом трудно получить почти однофазные образцы с  $T_c$  выше  $100\text{K}$ .

В связи с этим представляет интерес исследование частичного замещения висмута свинцом в системе  $\text{Bi-Sr-Ca-Cu-O}$  и влияние такого замещения на электрофизические и термоэлектрические свойства. С этой целью были синтезированы следующие составы:  $\text{Bi}_{1,8}\text{Pb}_{0,2}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ ,  $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ .

Также в режиме повышения температуры и продолжительности твердофазного синтеза были дополнительно получены образцы Pb-содержащих висмутовых ВТСП материалов с высокотемпературными фазами  $\text{Bi}_{1,8}\text{Pb}_{0,2}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  и  $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ . Эти высокотемпературные фазы стабилизируются с незначительным уменьшением критических температур. Параметры СП характеристик образца  $\text{Bi}_{1,8}\text{Pb}_{0,2}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ :  $T_c = 111,75\text{K}$ ;  $T_0 = 91\text{K}$  и  $\Delta T = 10,75\text{K}$ , а образца  $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ :  $T_c = 101,71\text{K}$ ;  $T_0 = 100\text{K}$  и  $\Delta T = 1,71\text{K}$ .

Была анализирована флуктуационная проводимость образца  $\text{Bi}_{1,7}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  и рассчитаны его СП параметры. Вычислены температура 2D-3D перехода образца (температура кроссовера  $T_{cr}$ ), длина когерентности куперовских пар  $\xi_c$  и значение постоянной межплоскостного спаривания  $J$ . Эти величины соответственно равны:  $T_{cr} = 125,84\text{K}$ ;  $\xi_c(0) = 5,15 \text{ \AA}$  и  $J = 0,5421$ .

На основе исходной системы  $\text{Bi-Sr-Ca-Cu-O}$  был синтезирован состав с полной заменой  $\text{Ca}$  на  $\text{Zn}$  и проведено исследование его электрических свойств.

Образцы систем  $\text{Bi-Sr-Ca-Cu-O}$  и  $\text{Bi-Sr-Zn-Cu-O}$  были синтезированы в атмосфере воздуха. Соотношение исходных компонентов  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3(\text{ZnO})$ ,  $\text{CuO}$  соответствовало соотношению 2:2:2:3. Образцы были получены следующим образом: исходные компоненты  $\text{SrCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3(\text{ZnO})$  и  $\text{CuO}$  вначале спекались при температуре  $1173\text{K}$  в течении 10 часов, затем в продукт реакции в соответствии со стехиометрией добавлялся  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ . Термообработка образцов производилась при  $1113\text{K}$  в течении 12 часов с последующей закалкой на воздухе.

Кристаллическая структура новой системы  $\text{Bi-Sr-Zn-Cu-O}$  была исследована методом рентгенофазного анализа. Анализ показал, что

полученные материалы являются многофазными. В системах Bi-Sr-Ca-Cu-O и Bi-Sr-Zn-Cu-O пики, относящиеся к фазе 2212, преобладают над фазой 2223. Содержание фаз 2212 и 2223 в системе Bi-Sr-Zn-Cu-O определялось по рентгенограмме и составляет 70% и 30 %, соответственно.

Зависимость удельного сопротивления образцов  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  и  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$ , полученных в одном и том же режиме синтеза, от температуры показала, что удельное сопротивление  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  в нормальном состоянии до 97К имеет металлический ход, при 80К происходит сверхпроводящий ФП, относящийся к фазе 2212. Характер температурной зависимости удельного сопротивления  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$  показывает, что зависимость  $\rho(T)$  в нормальной фазе имеет слабый полупроводниковый ход и образец переходит в СП состояние при 82К. Температуры переходов обоих образцов в СП состояние соответствуют фазе 2212. Критическая  $T_c$  и нулевая температура  $T_0$ , а также ширина температурного перехода  $\Delta T$  образцов  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  и  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$  соответствуют значениям: 81,55К и 83,04К; 80К и 82К; 4,3К и 3,3К.

Также было проведено исследование дополнительной проводимости в  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$  и  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  в области сверхпроводящего фазового перехода. Определены температуры 2D –3D кроссовера  $T_{cr}$  исследованных образцов и рассчитаны межплоскостные постоянные спаривания  $J$ , длины когерентности куперовских пар  $\xi_c(0)$  образцов  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$  и  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ . Эти величины соответственно равны:  $T_{cr}=121,81\text{К}$  и  $90,33\text{К}$ ;  $\xi_c(0)=2,54 \text{ \AA}$  и  $3,48 \text{ \AA}$ ,  $J=0,1146$  и  $0,2153$ .

Изучение теплопроводности высокотемпературных сверхпроводников представляет значительный интерес, поскольку результаты исследований могут дать дополнительную информацию о механизмах сверхпроводимости и теплопереноса в этих материалах. Исследование теплопроводности  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  и  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$  в интервале температур 70-300К показало, что электронная доля теплопроводности  $k_e$  в  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  не превышает ~4%, а в  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$  - еще меньше. Электронная доля теплопроводности  $k_e$  была оценена согласно соотношению Видемана-Франца ( $k_e=LT/\rho$ ) с учетом степени вырождения и механизма рассеяния электронов. Следует заметить, что замещение Ca на Zn в Bi-содержащих ВТСП материалах приводит к некоторому росту теплопроводности  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$ .

Из представленных результатов можно заключить, что температурная зависимость  $k(T)$  в висмутовых ВТСП сильно отличается от хода теплопроводности металлов, кристаллических диэлектриков и классических полупроводников. Эти особенности, в основном, сводятся к малому значению и к очень слабой температурной зависимости  $k$ , что обусловлено отсутствием строгой кристаллической структуры и высокой концентрацией дефектов.

Возрастание решеточной теплопроводности в  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$  в 1,2-1,3 раза по сравнению с исходной системой дает основание заключить, что полное замещение атомов Са на Zn несколько уменьшает концентрацию дефектов и улучшает качество висмутовой ВТСП.

В этих системах также были проведены исследования температурной зависимости термоэ.д.с. В исходном, Са- содержащем образце, знак термоэ.д.с. соответствует р-типу проводимости, с понижением температуры термоэ.д.с. слегка возрастает и при ФП резко падает до нуля. В образцах с цинком значение  $S$  больше, чем в образце с кальцием и наблюдается смена знака термоэ.д.с. на n-тип. С уменьшением температуры значение  $S$  убывает и при ФП также падает до нуля. Эти данные указывают на сильное вырождение дырок в исходном Са- содержащем образце, что приводит к металлическому характеру температурного хода  $S(T)$ .

**В третьей главе** рассмотрены вопросы, связанные с размытым характером сверхпроводящего фазового перехода в ВТСП материалах. Результаты температурной зависимости сопротивления и термоэ.д.с. в области ФП анализированы на основе теории размытых фазовых переходов. Несмотря на множество экспериментальных и теоретических работ, посвященных исследованиям фазовых переходов в твердых телах, остается ряд не выясненных вопросов. В частности, многие экспериментальные данные указывают на то что ФП I и II рода представляют собой только некоторые предельные идеализированные переходы, тогда как реальные фазовые переходы находятся между ними. Поэтому в этой части диссертации проведена интерпретация процесса СП фазового перехода на основе анализа зависимостей удельного сопротивления и термоэ.д.с. ВТСП материалов в рамках теории размытого ФП и определены параметры фазовых переходов.

Впервые результаты температурных зависимостей  $\rho(T, B)$  и  $S(T, B)$  в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ;  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ ;  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  и  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$  в области СП ФП сопоставлены с теорией размытых ФП; в частности,

определено распределение массы сверхпроводящих и нормальных фаз в области ФП ( $y = m_{\text{СП}} / m_{\text{Н}}$ ). По зависимостям  $\ln(m_{\text{СП}}/m_{\text{Н}})$  определены: температура, при которой массы нормальной и СП фазы равны -  $T_0$ ; по наклону прямых  $\Delta n_{\text{у}}/\Delta T$  - температурная постоянная ФП  $a_0$ ; функция включения фаз  $L_0(T)$  и температурная скорость замены одной фазы другой  $dL_0/dT$ .

Установлено, что магнитное поле существенно усиливает степень размытия СП ФП. Фазовый переход в них происходит по экспоненциальному закону. Обнаружено, что за 15-20К до ФП температурная зависимость  $\rho(T)$  отклоняется от линейного вида  $\rho(T) \sim T$ , т.е. появляется дополнительная проводимость  $\Delta\sigma$ . Показано, что магнитное поле оказывает существенное влияние на все параметры СП ФП.

На основе температурных зависимостей  $L_0(T)$  и  $dL_0/dT$  показано, что на кривых  $L_0(T)$  в точке перегиба угол между осью  $L_0$  достигает значений  $30^\circ$ - $40^\circ$ , в то время как при точечном ФП он должен быть порядка нуля. Также установлено, что кривая  $dL_0/dT$  проходит через максимум, что хорошо согласуется с теорией РФП; по мере возрастания индукции поля  $B$  кривая  $dL_0/dT$  становится более полой и значение  $dL_0/dT$  при  $\Delta T=0$  уменьшается пропорционально  $a_0$ .

Для полного выяснения влияния сильных магнитных полей на размытие ФП в висмутовых системах аналогичным образом были обработаны литературные данные [7], где исследования в  $\text{Bi}_{1,72}\text{Pb}_{0,3}\text{Sr}_{1,83}\text{Ca}_{1,97}\text{Cu}_{3,13}\text{O}_{10+\delta}$  проводились до  $B=12\text{Тл}$ . На основе этих данных показано, что СП ФП в указанной системе при  $B=0$  происходит при  $T_0 \approx 110\text{К}$ , по мере возрастания индукции поля  $T_0$  уменьшается и доходит до  $90\text{К}$ . Из зависимости  $a_0(B)$  следует, что наиболее сильное уменьшение  $T_0$  и  $a_0$  происходит до нижнего критического поля  $B_c$ , при котором всегда наблюдается излом на  $B_c(T)$ ; СП ФП, независимо от значения  $B$ , осуществляется по закону  $m_{\text{СП}}/m_{\text{Н}} = \exp[a_b(T-T_c)]$ , где  $a_b$ -температурная постоянная.

На основе наших данных по  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  и литературных данных по  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2,87}\text{Fe}_{0,13}\text{O}_{7-\delta}$  [8] магнитным исследованиям в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2,87}\text{Fe}_{0,13}\text{O}_{7-\delta}$  в направлении  $B^{\parallel}$  плоскости ( $ab$ ) и  $B^{\perp}$  ( $ab$ ) в полях до  $4\text{Тл}$  получено, что, подобно висмутовым ВТСП, в них с возрастанием индукции  $B$  сильно уменьшаются значения  $T_c^0$  и  $a_b$ . Показано, что в исследованных иттриевых системах ВТСП размытие ФП при  $B=0$  минимально, т.е.  $a_0=6\text{К}^{-1}$  и  $2\Delta T^*=0,6\text{К}$ , с возрастанием  $B$



до 5Тл  $a_0$  уменьшается до  $0,75\text{K}^{-1}$ , область размытия возрастает до  $2\Delta T^*=4,7\text{K}$ . При изучении действия магнитного поля на степень размытия в направлениях  $V^{\parallel}$  и  $V^{\perp}$  относительно тока через образец обнаружена сильная анизотропия. Показано, что при  $V=4\text{Тл}$  ( $V \perp (ab)$ ) уширение резистивного перехода составляет  $27\text{K}$ , тогда как в случае  $V \parallel (ab)$  при  $V=5\text{ Тл}$  уширение  $\Delta T$  составляет  $4,5\text{K}$ , т.е. процесс распаривания куперовских пар магнитным полем в этом случае идет на много слабее.

Таким образом, установлено, что теория размытого ФП, предложенная для структурных ФП, может найти применение и в случае высокотемпературных сверхпроводников в широком интервале магнитных полей.

Установлено, что в висмутовых керамиках  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  при полном замещении Са на Zn параметры СП ФП изменяются: в частности, в составе с цинком  $dL_0/dT=0,34$ ,  $2\Delta T^*=2,6\text{K}$ , тогда как в составе с кальцием  $dL_0/dT=0,22$  и  $2\Delta T^*=3,8\text{K}$ .

В этой главе представлены результаты исследований электрических свойств системы  $\text{Cd-Ba-Cu-O}$ ; показано, что и в ней сверхпроводящий СП ФП имеет размытый характер. Определены параметры размытия ФП:  $T_0$ ,  $a$ ,  $L_0(T)$  и  $dL_0/dT$ . Установлено, что полное замещение Y в иттриевых ВТСП на Cd приводит к расширению области ФП и уменьшению максимального значения скорости ФП ( $dL_0/dT$ ). Результаты расчетов показывают, что в иттриевых керамиках при полном замещении Y на Cd степень размытия ФП ( $dL_0/dT = 0,3$ ) и область размытия ( $2\Delta T^*=2,82\text{K}$ ) почти в двое возрастают (в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  эти параметры равны  $dL_0/dT=0,5$  и  $2\Delta T^*=1,66\text{K}$ ).

**В четвертой главе** диссертации изложены способы создания толстослойных висмутовых ВТСП пленок на сапфировой и на  $\text{Al}_2\text{O}_3$  подложках и результаты их исследования.

После открытия ВТСП началось активное обсуждение перспектив использования ВТСП материалов. На сегодняшний день одним из направлений применения этих материалов является получение различных пленочных структур на их основе.

В настоящее время известно большое число методов создания пленок ВТСП, позволяющих получить образцы с высокими критическими параметрами. Для нанесения металлооксидных пленок требуемого стехиометрического состава с успехом используются молекулярно-лучевая эпитаксия и термическое соиспарение отдельных

элементов, лазерное испарение керамических мишеней, диодное распыление, ВЧ магнетронное распыление, также химические методы получения пленок ВТСП и методы толстопленочной технологии. Отметим, что с помощью пиролиза в настоящее время удается получать тонкие пленки ВТСП, приближающиеся по параметрам к пленкам, полученным перечисленными выше методами.

В этой главе анализируются и обсуждены методы получения как тонких, так и толстых сверхпроводящих пленок. Также обсуждены вопросы влияния материала подложки на сверхпроводимость, их взаимодействие с СП материалами.

При создании толстослойных ВТСП пленок в качестве подложки были выбраны сапфировые подложки и керамические подложки на основе  $Al_2O_3$  (техническая марка 22ХС). Для получения пленки был использован ВТСП материал на основе Bi-Sr-Ca-Cu-O системы.

Исходные образцы Bi-Sr-Ca-Cu-O перетирались в агатовой ступке и помещались на сапфировой (обр. 1) и  $Al_2O_3$  (обр. 2) подложках, после чего производился нагрев до  $T=1373K$  в течении 5 мин. После этого нагрева производилась воздушная закалка образца вне печи. Далее образцы дополнительно выдерживались в течение 30 мин. при  $T=1133K$ , затем температура понижалась до  $1113K$ , и в этом режиме они выдерживались в течение одного часа. Реакция заканчивалась воздушной закалкой. Третий образец пленки был получен на подложке  $Al_2O_3$ , его отличие от образцов 1 и 2 в том что, на последней стадии он в течение одного часа выдерживался при  $T=1153K$ .

Толщина полученных ВТСП пленок была в пределах 50-120 мкм.

Методом рентгеноструктурного анализа было подтверждено получение толстых пленок. Проведенный рентгеноструктурный анализ показал, что образцы являются поликристаллами с некоторыми включениями высокотемпературных фаз 2223 и 2201. Основной состав полученных образцов соответствует фазе 2212 с параметрами решетки:  $a = b = 3,81 \text{ \AA}$  и  $c = 30,8 \text{ \AA}$ .

Было проведено исследование температурной зависимости удельного сопротивления висмутовых (2212) толстослойных ВТСП пленок в интервале температур 65-350K. На основе зависимости удельного сопротивления от температуры образцов 1, 2 и 3 были определены их критическая температура  $T_c$  и нулевая температуры:

соответственно, 80К; 75К; 68К и 78,5К; 67К; 60К. Отметим, что образцы 2 и 3, полученные на подложке  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , отличаются температурными режимами на стадиях синтеза. Зависимость  $\rho(T)$  образцов 2 и 3 показывает, что им характерен полупроводниковый ход в нормальной фазе, а для образца 1-металлический. Если учесть одинаковые условия синтеза пленок висмутового ВТСП материала на разных подложках, то можно заключить, что материал подложки влияет на СП переходы: в частности, сапфировая подложка более подходящая для получения висмутовых толстослойных пленок, чем подложка 22ХС. Это объясняется тем, что подложка 22ХС в своем составе содержит  $\text{SiO}_2$ . При высокотемпературном отжиге диффузии  $\text{SiO}_2$  в состав ВТСП материала снижается температура СП перехода.

Из сравнения  $\rho(T)$  образцов также следует, что при использовании сапфировой подложки сопротивление сверхпроводящей пленки почти в три раза уменьшается по сравнению с пленками на подложке 22 ХС.

На основе полученных данных были рассчитаны: длина когерентности куперовских пар, постоянная межплоскостного спаривания, температура перехода 2D-3D флуктационной проводимости в области сверхпроводящего фазового перехода для полученных пленок.

**В пятой главе** обсуждены актуальные вопросы возможности создания сверхпроводящих полимерных композиционных материалов.

Одним из разрабатываемых направлений области применения высокотемпературных сверхпроводящих керамик является создание новых композиционных материалов на их основе.

Одной из проблем создания композитов является внедрение сверхпроводящего материала в полимерную матрицу, которая является связующей основой. Несмотря на то, что создание системы «полимер-сверхпроводник» трудно реализуемо, эта проблема продолжает являться объектом широких исследований. Однако, в большинстве подобных работ по разработке сверхпроводящих полимерных композитов переход в сверхпроводящее состояние и, следовательно, сверхпроводящие характеристики материала декларируются на основе изменения магнитной восприимчивости композита.

С целью создания электропроводящих полимерных композиционных материалов в качестве проводящего наполнителя был применен высокотемпературный сверхпроводник  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Перед использованием  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  измельчался в агатовой ступке (размер

частиц достигал 80-100 мкм). Однако, не исключается, что измельченный ВТСП материал-наполнитель мог содержать и более мелкие частицы (~10-60 мкм). После измельчения была подготовлена смесь на основе бутадиен-нитрильного каучука (СКН) и ВТСП материала со сшивающим агентом-серой.

Проведено исследование влияние содержания наполнителя ( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ) на физико-механические и электрофизические характеристики композиционного материала, а также выяснение механизма проводимости.

Результаты исследования влияния введения ВТСП материалов на физико-механические свойства композитов показали, что прочностные свойства композитов возрастают с повышением содержания сверхпроводящего наполнителя до значения 60 масс.ч. от 100 масс. ч. каучука. Отметим, что при таком содержании наполнителя величины относительного и остаточного удлинения уменьшаются и становятся приемлемыми для практического применения. Дальнейшее увеличение содержания наполнителя приводит к незначительному уменьшению физико-механических характеристик композитов. Исследование объемного сопротивления  $\rho_v$  композитов при комнатной температуре показало, что при повышении содержания электропроводящего наполнителя в составе композита (до 80 масс.ч.)  $\rho_v$  уменьшается. Дальнейшее увеличение содержания наполнителя приводит к некоторой стабилизации  $\rho_v$ . Это объясняется тем, что введение до 80 масс.ч наполнителя является достаточным для образования непрерывной цепочечной структуры, и дальнейшее увеличение содержания наполнителя не оказывает заметного влияния на объемное сопротивление.

Также было проведено исследование зависимости удельного сопротивления  $\rho_v$  полученных композитов в интервале температур 77-350К.

На основе зависимостей  $\rho_v(T)$  композитов при различном содержании ВТСП материала в их составе установлено, что в области температур до 77К сверхпроводящие переходы не наблюдаются, а удельное сопротивление выше 150К не меняется.

При сравнении температурной зависимости удельного сопротивления композита на основе чистого каучука с остальными образцами, содержащими сверхпроводящие наполнители, можно сделать вывод о том, что использование в качестве наполнителя ВТСП

материала на основе  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  не приводит к образованию сверхпроводящих композиционных материалов. Однако, таким образом можно создать электропроводящие полимерные композиты. С понижением температуры удельное объемное сопротивление композитов уменьшается, и все кривые  $\rho_v(T)$  проходят через минимум в интервале температур 240-270К. Этот факт объясняется тем, что с понижением температуры макромолекула каучука переходит в стеклообразное состояние, т.е. коэффициент теплового расширения каучуковой фазы приближается к постоянному значению. Известно, что для иттриевых ВТСП материалов аномальным является уменьшение его коэффициента теплового расширения при низких температурах (от 300К до 5 К). Измерения удельного сопротивления исследуемых композитов показали, что материалы становятся проводящими при концентрации наполнителя 20-100 масс.ч. Однако, с понижением температуры до 77К сопротивление начинает увеличиваться. Считаем, что при охлаждении контактное сопротивление частиц ВТСП материала увеличивается, что приводит к росту объемного сопротивления композита.

Также были получены электропроводящие композиционные материалы на основе этиленпропиленового каучука (ЭПК) и высокотемпературного сверхпроводника  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ .

На основе вольтамперных характеристик полученных композитных материалов СКН и ЭПК с введенным в них ВТСП ( $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ ) определен механизм проводимости. Установлено, что проводимость подобных материалов имеет цепочечный характер.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Получен высокотемпературный сверхпроводник  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ . Установлено, что, независимо от условий синтеза (в воздухе или в атмосфере кислорода), образуется однофазный материал.

2. Получены керамические образцы висмутовой системы Bi-Sr-Ca-Cu-O с фазами 2212, 2223. Показано, что наиболее устойчивой является фаза 2212, в полифазных образцах она составляет основную долю. Подтверждено, что избыток  $\text{CuO}$  в составе висмутовых ВТСП материалов приводит к уменьшению удельного сопротивления в нормальной фазе. Установлено, что воздушная закалка по окончании синтеза висмутовых ВТСП материалов приводит к возрастанию

температуры сверхпроводящего перехода на 10К по сравнению с режимом медленного охлаждения. Установлено, что, независимо от исходных значений индексов компонент, в формировании сверхпроводящей фазы существенную роль играют температура протекания твердофазной реакции и методы охлаждения.

3. Определены основные параметры сверхпроводникового фазового перехода в висмутовых ВТСП:  $\partial B_{c2}'' / \partial T$ , критические магнитные поля  $B_{c2}^{\perp}(0)$ ,  $B_{c2}''(0)$ , коэффициент анизотропии  $B_{c2}''(T) / B_{c2}^{\perp}$ , поперечные и продольные длины когерентности  $\xi_0^{\perp}, \xi_0''$ . Проведены расчеты длины когерентностей куперовских пар, вычислены температуры кроссовера размерности 2D – 3D в иттриевых и висмутовых ВТСП материалах. Показано, что область 2D – 3D перехода в висмутовых ВТСП шире, чем в иттриевых.

4. В  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  обнаружены уширение области перехода  $\Delta T$  в магнитном поле и изломы на температурной зависимости критического поля  $B_c(T)$ . Первый излом происходит при слабых полях ( $\approx 0,2\text{Tл}$ ) и обусловлен действием нижнего критического поля на СП. Анализ данных  $\Delta T(B)$  и  $\partial B_{c2} / \partial T$  позволил заключить, что наблюдаемые факты обусловлены анизотропией  $B_c(T)$ , квазидвумерным механизмом сверхпроводимости, а также наличием в висмутовых ВТСП неоднородностей.

5. Обнаружен эффект «преждевременного» уменьшения электросопротивления  $\rho$  в  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  при  $T > T_c$ . Показано, что оно обусловлено дополнительной парапроводимостью. Вблизи  $T_c(1-1.06)$  проводимость носит трехмерный, а в области  $T_c(1.06-1.15)$ - двумерный характер. Установлено, что в висмутовых ВТСП вблизи  $T_c$  взаимодействие неспаренных электронов с куперовскими парами не оказывает существенного влияния на  $\Delta\sigma(T, B)$ .

6. Установлено, что под действием магнитного поля теплопроводность  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  в области СП перехода увеличивается. Рост теплопроводности под действием магнитного поля в  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  обусловлен уменьшением фонон - вихревого рассеяния из-за формирования вихревой решетки и увеличением электронной доли теплопроводности, вызванным распариванием куперовских пар.

7. Исследовано влияние частичного замещения Y в составе  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  тулием. Показано, что замещение от 0,2 до 0,5 частей

приводит к повышению  $\rho$  в нормальной фазе в два раза, а критическая температура и температура полного перехода в СП состояние не меняются.

8. Установлено, что при замещении до 80% иттрия на кадмий в составе  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  сверхпроводящий переход сохраняется на исходном уровне (84-90К).

9. Обнаружено, что в новом ВТСП материале -  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  на зависимости  $\rho(T)$  выше критической температуры ( $T_c=90,2\text{К}$ ) обнаружены новые метастабильные СП переходы при 275К и 252К. Впервые на основе экспериментальных данных по проводимости и проведенных расчетов было подтверждено образование псевдощели выше критической температуры в  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  и произведена оценка её величины. На основе данных по длине когерентности куперовских пар (1,7 Å, 1,96 Å и 2,0 Å), а также постоянной межплоскостного спаривания (0,084, 0,105 и 0,117) в интервале температур 86-300К предполагается, что оптимальное допирование кадмием иттриевых ВТСП приводит к формированию куперовских пар электронов при температурах выше критической  $T^* \gg T_c$ , и создаются условия для образования псевдощели с последующим установлением их фазовой когерентности при  $T^* < T_c$ .

10. Получен новый ВТСП материал -  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$  с температурой СП перехода при 82К. Существование этой фазы подтверждено рентгеноструктурным анализом.

11. Впервые результаты температурных зависимостей  $\rho(T, B)$  и  $S(T, B)$  в висмутовых ВТСП в области СП ФП сопоставлены с теорией размытых ФП, определено распределение массы сверхпроводящих и нормальных масс в области ФП ( $y = m_{\text{СП}} / m_n$ ), по зависимостям  $\ln(m_{\text{СП}}/m_n)$  определены: температура перехода  $T_0$  при  $m_{\text{СП}} = m_n$ , по наклону прямых  $\Delta \ln y / \Delta T$  - температурная постоянная  $a_0$ , функция включения фаз  $L_0(T)$  и температурная скорость замены одной фазы другой  $dL_0/dT$ .

12. На основе данных  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  и литературных данных по  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{2,87}\text{Fe}_{0,13}\text{O}_{7-\delta}$  было анализировано влияние магнитного поля  $B$  (до 4Тл) на размытый ФП в направлении  $B \parallel$  плоскости ( $ab$ ) и  $B \perp (ab)$ . Показано, что действие магнитного поля на степень размытия в направлении  $B \parallel$ ,  $B \perp$  и  $I$  ( $I$ -ток через образец) обусловлено сильной анизотропией, причем при  $B=4\text{Тл}$  ( $B \perp (ab)$ ) уширение резистивного перехода доходит до 27К, тогда как в случае  $B \parallel (ab)$  при  $B=5\text{ Тл}$

уширение происходит лишь на 4,5К, т.е. процесс распаривания куперовских пар магнитным полем в этом случае идет на много слабее.

13. Установлено, что при полном замещении Са на Zn в висмутовых керамиках  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  параметры размытого ФП улучшаются: в частности, в образце с кальцием  $dL_0/dT=0,22$  и  $2\Delta T^*=3,8\text{К}$ , а с цинком  $dL_0/dT=0,34$  и  $2\Delta T^*=2,6\text{К}$ . В результате исследований установлено, что при полном замещении Y на Cd скорость протекания ФП ( $dL_0/dT=0,3$ ) вдвое больше, а область размытия фазового перехода ( $2T^*=2,82\text{К}$ ) в двое шире, чем в  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  ( $dL_0/dT=0,6$  и  $2\Delta T^*=1,66\text{К}$ ).

14. Получены толстослойные пленки  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ . Установлено, что материал подложки и температура отжига влияют на температуру сверхпроводящего перехода, в частности получение пленки на сапфире и дальнейший отжиг при 1113К позволяют получить высшую точку СП перехода-  $T=78,5\text{К}$ .

15. Проведено исследование влияния введенного в качестве наполнителя  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  в состав полимерных композитов на основе бутадиен-нитрильного каучука (СКН) на их физико-механические и возможность создания сверхпроводящих композитов. Установлено, что из-за различия коэффициентов теплового расширения матрицы и СП  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  нарушаются контакты между частицами сверхпроводящего материала, в результате чего достигается только создание электропроводящих композитов.

16. Обнаружено, что в интервале температур 250-270К объемная зависимость сопротивления  $\rho_v(T)$  всех испытанных образцов композитов проходит через минимум. На основе вольтамперной характеристики полученных композитов с  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  установлено, что их электропроводность обусловлена цепочечным механизмом проводимости.



**Основные результаты диссертации  
опубликованы в следующих работах:**

1. **Aliiev V.M.**, Aliiev S.A., Ismailov I.A., Mechtiev A.Sh., Ragimov S.S., Eynullaev A.V. Preparation and electrical and thermoelectrical properties of high-temperature superconductors  $Y_{1-x}Tm_xBa_2Cu_3O_{7-y}$  / Proceedings of the Second Symposium on the solid state chemistry, Pardubice (Czechoslovakia), 1989, p.242-244

2. **Алиев В.М.**, Алиев С.А., Исмаилов И.А., Мехтиев А.Ш., Рагимов С.С., Эйнуллаев А.В. Кинетические явления высокотемпературных сверхпроводящих керамиках  $Y_{1-x}Tm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ,  $Y_{0,9}Nd_{0,1}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  / I Всесоюзное совещание по проблемам диагностики материалов ВТСП, Черноголовка, 1989, с.151

3. Тагиев Б.Г., Нифтиев Г.М., Е.В.Нечаев Е.В., Э.Т.Мамедов Э.Т., **Алиев В.М.**, Исмаилов И.А., Мехтиев А.Ш., Эйнуллаев А.В. Влияние электронного облучения на сверхпроводящие параметры материала  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  при частичном замещении Y на Tm и Nd. / I Всесоюзное совещание по проблемам диагностики материалов ВТСП, Черноголовка, 1989, с.152

4. Эйнуллаев А.В., Рустамов П.Г., Нифтиев Г.М., **Алиев В.М.** Синтез и термоэлектрические свойства  $Y_{1-x}(NdTm)_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  и  $Bi_{2-x}Pb_xSr_2Ca_2Cu_3O_y$  // Исследования в области физико-химического анализа «Тематический сборник научных трудов», БГУ, Баку, 1990 с.14-16

5. Алиев С.А., **Алиев В.М.**, Багиров Дж.А., Исмаилов И.А., Мехтиев А.Ш., Рагимов С.С., Эйнуллаев А.В. Электрические и термоэлектрические свойства высокотемпературных сверхпроводников  $Y_{1-x}Tm_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ,  $Y_{1-x}Nd_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ , Препринт Института Физики АН Азерб.ССР, Баку, 1990, 13 с.

6. Алиев С.А., **Алиев В.М.**, Багиров Дж.А., Исмаилов И.А., Мехтиев А.Ш., Эйнуллаев А.В., Рагимов С.С., Гасанов Х.Г. Разрушение СП в висмутовых керамиках магнитным полем, Препринт НПО Космических Исследований, Баку, 1990, 42 с.

7. Aliiev S.A., Bagirov J.A., Ragimov S.S., **Aliiev V.M.**, Ismailov I.A., Mechtiev A.Sh. Superconductivity in systems  $YNdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  and  $YCaBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  // Jour. of Rare Earth (China), 1991, v.3, p.1054-1059

8. Aliiev S.A., Bagirov J.A., Ragimov S.S., **Aliiev V.M.**, Ismailov I.A., Mechtiev A.Sh. On critical fields and paraconductivity in high-

temperature superconductors // Jour. of Rare Earth (China), 1991, v.3, p.1060-1067

9. Aliev S.A., Bagirov J.A., Ragimov S.S., Gasanov H.G., **Aliev V.M.**, Ismailov I.A., Mechtiev A.Sh. Superconductivity in systems  $Y\text{TmBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$   $YNd\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  and  $Y\text{CaBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  / Physics of Multicomponent Semiconductors, Baku-1992, Booklet of the Abstracts, p.57

10. Алиев С.А., Рагимов С.С., Багиров Дж.А., Исмаилов И.А., **Алиев В.М.** Теплопроводность монокристалла  $\text{Bi-Sr-Ca-Cu-O}$  / “Физика-93”, Респ. Науч. Конф., Баку, 1993, тезисы докладов, ч.1, с.48

11. **Алиев В.М.**, Алиев С.А., Рагимов С.С., Багиров Дж.А., Исмаилов И.А., Мехтиев А.Ш., Эйнуллаев А.В. Кинетические явления в ВТСП керамиках // Известия АН Азерб.ССР, сер.физ.,тех. и мат. наук, 1993, № 3-4, с.103-110

12. Алиев С.А., Рагимов С.С., **Алиев В.М.** Термоэдс и магнитотермоэдс в  $\text{Bi-Sr-Ca-Cu-O}$  // Физика низких температур, 1996, т.22, №6, с. 679-682

13. Aliev S.A., Ragimov S.S., Tagiev B.G., **Aliev V.M.** On critical fields and paraconductivity of Bi-based superconducting ceramics / First Regional Conference on Magnetic and Superconducting materials MSM-99, Tehran (Iran), 1999, Abstract book, p.51-52

14. Aliev S.A., Ragimov S.S., **Aliev V.M.**, Selimzade R.I. Magnetothermal conductivity and thermal power in Bi-based superconductivity ceramics near phase transition / First Regional Conference on Magnetic and Superconducting materials MSM-99, Tehran (Iran), 1999, Abstract book, p.51

15. Алиев С.А., Рагимов С.С., **Алиев В.М.**, Влияние магнитного поля на теплопроводность высокотемпературных сверхпроводников // Fizika, 1999, №2, с.66-68

16. Aliev S.A., Ragimov S.S., **Aliev V.M.**, Selimzade R.I. Magnetothermal conductivity and thermal power in Bi-based superconductivity ceramics near phase transition / Proceedings of the First Regional Conference on Magnetic and Superconducting materials MSM-99, Tehran (Iran), World Scientific, 2000, v.A, p. 303-306

17. Алиев С.А., Рагимов С.С., **Алиев В.М.** О размытии фазового перехода в  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  // Azərbaycan MEA Xəbərləri, fizika, texn., və riyaz. elm. ser., 2001, №2, 5, s. 67-71

18. Aliev S.A., Ragimov S.S., **Aliev V.M.**, Selimzade R.I. The influence of the magnetic field on thermal conductivity and thermal power in Bi-based superconducting ceramics near phase transition point // Fizika, 2001, с.7, №3, s.19-21

19. Рагимов С.С., **Алиев В.М.**, Селимзаде Р.И. Влияние дополнительных фаз на термоэдс и удельного сопротивления висмутовой (2223) сверхпроводящей толстой пленки / “Fizikanın aktual problemləri” III Respublika elmi konfransının tezisləri, Bakı, BDU-2004, s.84

20. Aliev S.A., Ragimov S.S., **Aliev V.M.** The diffusion phase transition of HTSC and the influence of magnetic field on it // Fizika, 2003, №3-4, s.30-34,

21. Рагимов С.С., **Алиев В.М.** Электрофизические свойства висмутовой толстослойной пленки / Сборник трудов международной конференции “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах”, Махачкала (Россия), 2004, с.113-116

22. Рагимов С.С., **Алиев В.М.**, Селимзаде Р.И. Определение некоторых сверхпроводящих параметров  $YBa_2Cu_3O_x$  из термоэлектрических измерений // Azərb. MEA Xəbərləri, fizika, texn., və riyaz. elm. ser., 2004, №5, с.24, s. 19

23. Aliev S.A., Ragimov S.S., **Aliev V.M.** Obtaining and research of electrical properties of  $Y_{1-x}Cd_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  // Fizika, 2004, с.X, №4, s. 42-43

24. Рагимов С.С., Алиев С.А., Таиров Б.А., **Алиев В.М.** Температурная зависимость удельного сопротивления висмутовой (2223) сверхпроводящей толстой пленки // Проблемы энергетики, 2004 №4, с. 33-35

25. Рагимов С.С., **Алиев В.М.**, Влияние замещений цинка на сверхпроводящие свойства висмутовых ВТСП / Azərb. MEA Fizika İnstitutunun 60 illiyinə həsr olunmuş “Fizika-2005” Beynəlxalq konfransının məqalələr toplusu, s. 232-234

26. Ragimov S.S., **Aliev V.M.**, Guseynov G.H., Zarbaliyev M.Z., Selimzade R.I., Abdullaev M.I, The influence of the additional phases on the superconductivity of thick layer bismuth HTSC films // Azərb. MEA Xəbərləri, fizika, texn., və riyaz. elm. ser., 2005, с. 25, №2, s. 36-40

27. Рагимов С.С., Алиев С.А., **Алиев В.М.**, Селимзаде Р.И. Удельное сопротивление и дополнительная проводимость сверхпро-

водящих  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  и  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  пленок // *Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Xəbərləri, fizika, texn., və riyaz. elm. ser.*, 2006, №2, s. 79-82

28. **Алиев В.М.**, Рагимов С.С., Абдуллаев М.И. Исследование фазового состава ВТСП материалов на основе  $\text{Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O}$  и  $\text{Bi-Pb-Zn-Cu-O}$  методом рентгенофазного анализа // *Fizika*, 2007, с. XIII, №1-2, s. 208-210

29. Рагимов С.С., **Алиев В.М.** Влияние легирования атомами Tm и Nd на флуктуационную проводимость  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ , / Сборник трудов международной конференции “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах”, Махачкала (Россия), 2007, с.159-162

30. **Алиев В.М.**, Билалов Я.М., Рагимов Дж.А. Влияние иттрий содержащей сверхпроводящей керамики на физико-механические свойства и электропроводность резины на основе бутадиев-нитрильного каучука // *Fizika*, 2007, с. 13, № 1-2, s. 205-207

31. **Алиев В.М.**, Рагимов С.С., Селимзаде Р.И., Абдуллаев М.И. Исследование фазового состава ВТСП материалов на основе  $\text{Cd-Ba-Cu-O}$  методом рентгенофазного анализа // *Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Xəbərləri, fizika, texn., və riyaz. elm. ser.*, 2007, с. 27, №5, s. 33-35

32. **Aliiev V.M.**, Raghimov S.S., Selimzade R.I., Mammadova A.N. The Influence of the substitution of calcium by rinc on thermal conductivity and thermal power of  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  // *Fizika*, 2008, с. 14, № 4, s. 29-30

33. **Алиев В.М.**, Рагимов С.С., Селимзаде Р.И., Мамедова А.Н. Электрофизические свойства сверхпроводящей  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_6$  керамики // *Fizika*, 2009, с. 15, № 2, s. 9-10

34. **Алиев В.М.**, Алиев С.А., Рагимов С.С., Султанов Г.Дж., Мамедова А.Н., Получение сверхпроводящей  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$  керамики и исследование ее электрофизических свойств // *Физика низких температур*, 2009, т.35, №11, с. 1081-1084

35. Рагимов С.С., Алиев С.А., **Алиев В.М.** Влияние магнитного поля на теплопроводность  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$  в области сверхпроводящего фазового перехода // *Физика низких температур*, 2009, т.35, №11, с. 1085-1088

36. **Əliyev V.M.**, Əliyev S.A., Rəhimov S.S. və s. Bi-əsaslı YTIK materiallarda kalsiumun sinrlə əvəz edilməsinin onun elektrik xassələrinə təsiri // *Fizika*, 2010, с. 16, № 2, s. 15-17

37. **Алиев В.М.** Размытие фазовых переходов в системе Bi-Sr-Zn-Cu-O // Azərb. MEA Xəbərləri, fizika, texn., və riyaz. elm. ser., 2010, c. 30, №2, s. 59-63

38. **Алиев В.М.** Влияние введения Y-Ba-Cu-O ВТСП материала на физико-механические и электрические свойства композитов на основе этиленпропиленового каучука // Azərb. MEA Xəbərləri, fizika, texn., və riyaz. elm. ser., 2010, c. 30, №5, s. 133-138

39. **Алиев В.М.**, Алиев С.А., Рагимов С.С. и др. Получение сверхпроводящей керамики  $CdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  и исследование ее электрофизических свойств // Физика низких температур, 2011, т.37, №4, с. 351-355

40. **Алиев В.М.** Влияние замещения различных элементов в системах Y-Ba-Cu-O и Bi-Sr-Ca-Cu-O на их сверхпроводимость // Azərb. MEA Xəbərləri, fizika, texn., və riyaz. elm. ser., 2011, c. 31, №2, s. 40-55

41. **Алиев В.М.** Размытие фазовых переходов в системе Cd-Ba-Cu-O // Azərb. MEA Xəbərləri, fizika, texn., və riyaz. elm. ser., 2011, c. 31, №5, s. 113-117

42. **Алиев В.М.** Существование псевдощели в  $CdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ВТСП материале // Azərb. MEA Xəbərləri, fizika, texn., və riyaz. elm. ser., 2012, c.32, №2, s. 110-114

43. Рагимов С.С., **Алиев В.М.**, Селим-заде Р.И. Влияние замещения иттрия элементом кадмий на дополнительную проводимость в области сверхпроводящего фазового перехода // Azərb. MEA Xəbərləri, fizika, texn., və riyaz. elm. ser., 2012, c. 32, №2, s. 89-92

44. **Алиев В.М.**, Рагимов С.С., Селимзаде Р.И. Псевдощель в  $CdBa_2Cu_3O_{7-\delta}$  ВТСП материале // Физика низких температур, 2013, т.39, №6, с.635-641

## ЛИТЕРАТУРА

1. Aslamazov L.G. and Larkin A.L. The influence of fluctation pairing of electrons on the conductivity of normal metal // Phys. Lett., 1968, v.26A, №6, p.238-239

2. Maki K. Spin-charge gauge theory versus experiments // Prog.Theor. Phys. 1968, v.39, p.897; Tompson R.S. Theory of electron-phonon interactions in superconductors // Phys. Rev. B1, 1970, p.327

3. Hikami S. Larkin A.I. Paraconductivity of layered superconductors // *Modern Phys. Lett.*, 1988, v.B2, p. 693-697
4. Варламов А.А., Ливанов Д.В. К вопросу о влиянии сверхпроводящих флуктуаций на термоэдс и теплопроводность сверхпроводника вблизи критической температуры // *ЖЭТФ*, 1990, т. 98, в.2(8), с. 584-592
5. Прокофьев Д.Д., Волков М.П., Бойков Ю.А., Величина и температурная зависимость псевдощели в YBCO полученные из резистивных измерений // *ФТТ*, 2003, т.45, в.7, 1168-1176
6. Соловьев А.Л., Дмитриев В.М. Флуктуационная проводимость и псевдощель в высокотемпературных сверхпроводниках YBCO // *Физика Низких Температур*, 2009, т.35, №3, с.227-264
7. Grasso G., Marti F., Huang Y., et al. Correlation between the normal states resistivity and the critical current density of Ag sheathed Bi(2223) tapes // *Phys. C*, 1997, 281, p. 271- 277
8. Lan M., Liu J., Jia Y et al. Resistivity and upper critical field of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_{3-x}\text{Fe}_x\text{O}_{7-y}$  single crystals // *Phys. Rev. B*, 1993, v.47, №1 p.457- 462

## VAQIF MƏŞƏDİ OĞLU ƏLİYEV

### YENİ $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$ VƏ $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$ YUXARI TEMPERATURLU İFRATKEÇİRİCİLƏRİN VƏ Y-Ba-Cu-O ƏSASINDA POLİMER KOMPOZİTLƏRİN ELEKTROFİZİKİ XASSƏLƏRİ

#### XÜLASƏ

Dissertasiya işində Y-Ba-Cu-O və Bi-Sr-Ca-Cu-O sistemli yuxarıtemperaturlu ifratkeçirici materialların alınma texnologiyaları əsaslı surətdə təhlil edilmiş və bu ifratkeçirici materialları sintez etmək üçün optimal şərait seçilmişdir. Bismut əsaslı ifratkeçirici materiallara maqnit sahəsinin təsiri öyrənilmiş və maqnit sahəsinin əsas parametrləri təyin edilmişdir:  $\frac{\partial B_{c2}''}{\partial T}$ , kritik sahə  $B_{c2}^\perp(0)$ ,  $B_{c2}''(0)$ , anizotropluq əmsalı  $B_{c2}''(T)/B_{c2}^\perp$ , eninə və uzununa koherentlik uzunluqları  $\xi_0^\perp, \xi_0''$ . Alınmış bismut və ittri əsaslı ifratkeçirici materialların istilikkeçirməsi öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, maqnit sahəsinin təsiri ilə bismut əsaslı ifratkeçirici materialların istilikkeçirməsinin faza keçidi oblastında artması baş verir.

İttrium elementini əvəz etmək yolu ilə yeni kadmium əsaslı ifratkeçirici  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  materialı sintez edilmişdir. İlk dəfə olaraq keçiriciliyin eksperimental nəticələrinə və aparılmış nəzəri hesablamalarla kadmium əsaslı ifratkeçirici materiallarda kritik temperaturdan yuxarıda psevdozolağın əmələ gəlməsi təsdiq edilmişdir.

Yeni  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$  yuxarı temperaturlu ifratkeçirici material alınmış və rentgenostruktur analiz vasitəsi ilə tetroqanal quruluşa malik olması təsdiqlənmişdir.

$\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7.8}$  və  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$  materialları yayılmış faza keçidi nəzəriyyəsi əsasında təhlil edilərək faza keçidi oblastında materialın ifratkeçirici və normal fazaların nisbətləri, temperatur sabiti ( $a_0$ ), fazaların dəyişməsinin temperaturdan asılı sürəti, fazaların daxiletmə funksiyaları təyin edilmişdir.

Bismut əsaslı ifratkeçirici material istifadə etməklə qalın təbəqəli ifratkeçirici plenkə alınmışdır. Təsdiq edilmişdir ki, ifratkeçiriciliyə əsasən altlıqın materialı və yandırmanın temperaturu təsir edir.

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  və butadien-nitril və etilenpropilen kauçukları əsasında polimer kompozit materiallar alınmış və geniş temperatur intervalında (100-300K) bu nümunələrin xüsusi müqavimətinin temperatur asılılığının tədqiqi edilmişdir. Göstərilmişdir ki,  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  yuxarı temperaturlu ifratkeçirici materialın anomal istidən genişlənmə əmsalına malik olması səbəbindən ifratkeçirici polimer kompozit material alması qeyri mümkün olmuşdur.



## VAQIF MESHADI OQLU ALIEV

### THE ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF NEW $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ , $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$ HIGH TEMPERATURE SUPERCONDUCTORE AND THE Y-Ba-Cu-O BASED POLIMER COMPOSITIONS

#### SUMMARY

In dissertation the Y-Ba-Cu-O and Bi-Sr-Ca-Cu-O high temperature superconductor (HTSC) system syntes technolugu have been and optimal syntes regims have been selected in these compounds. The basis parameters: the  $\frac{\partial B_{c2}''}{\partial T}$ ,  $B_{c2}^\perp(0)$  and  $B_{c2}''(0)$  critical field values, anisotropy coefficient  $B_{c2}''(T)/B_{c2}^\perp$ , the transverse  $\xi_0^\perp$  and longitudinal  $\xi_0^\parallel$  coherent lengths for Bi-based HTSC have been obtained (calculated). The heat conductivity in the Bi- and Y- based HTSC compounds had been investigated; it is established that in the Bi- based SC materials the head conductivity had increased in phase transition region by magnetic field affect.

The new HTSC  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  compound had been created by the yatoms substitute on Cd. For the first time on base of experimental conductivity results ant theoretical calculations it is shown the "pseudo-gap" has been formed in Cd-based HTSC compound at temperatures higher critical  $T_c$ .

The new HTSC material-  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$  had been created. By the X-ray structure analysis method it is shown that its structure is tetraqonal structure.

The results of investigations in  $\text{CdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  and  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{ZnCu}_2\text{O}_x$  have been anylised in framework of spreading phase transition theory. This analis allows to determine the quantity correlation of normal and SP phase, the temperature coeffiuend  $a_0$ , the temperature speed of phase change, fansion in transition region.

The Bi-baset HTSC solid filmshave beet obtained. The affect of подложка materials and отжиг temperature on SC had been established.

The composit materials on based of the  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  butadien-nitril and ethilenpropileny kaucuk have been obtained. The investigations of specific resistance in these materials in the 100-300K temperature

interval showed impossible of obtaine of SC polimer composit materials  
dues do an anomal heat extension of  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ .



AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI  
TƏHSİL NAZİRLİYİ

BAKİ DÖVLƏT UNİVERSİTETİ

*Əlyazması hüququnda*

**VAQİF MƏŞƏDİ OĞLU ƏLİYEV**

**YENİ CDBA<sub>2</sub>CU<sub>3</sub>O<sub>7-5</sub> , Bİ<sub>2</sub>SR<sub>2</sub>ZNCU<sub>2</sub>O<sub>X</sub> YUXARI  
TEMPERATURLU İFRATKEÇİRİCİLƏRİN VƏ  
Y-BA-CU-O ƏSASINDA POLİMER KOMPOZİTLƏRİN  
ELEKTROFİZİKİ XASSƏLƏRİ**

2211.01 – Bərk cisim fizikası

Fizika üzrə elmlər doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim olunmuş dissertasiyanın

**A V T O R E F E R A T I**

BAKI – 2014