

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИФ СО РАН

Д.Ф.М.В. Д.А. Балаев

«15» февраля 2021 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Института физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН

на диссертационную работу Гаджимагомедова Султанахмеда Ханахмедовича
«Структура, состав и свойства наноструктурированных YBCO материалов»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Диссертация Гаджимагомедова С.Х. посвящена развитию методов получения наноструктурированных порошков на основе YBCO и исследованию структурных, тепловых, электрических и магнитных свойств синтезированных керамик.

Актуальность темы диссертационной работы Гаджимагомедова С.Х. определяется важностью решаемой научной задачи и её практической значимостью. Работа выполнена в рамках фундаментальной проблемы получения сверхпроводящих материалов с свойствами, модифицированными благодаря созданию локальных нарушений кристаллической решетки.

Решаемая научная задача заключается в установлении влияния локальных искажений кристаллической решетки на свойства керамических высокотемпературных сверхпроводящих материалов YBCO. Для решения поставленной задачи разработана технология получения наноструктурированных керамик на основе YBCO различной плотности с высокой долей сверхпроводящей фазы, содержащей центры пиннинга из наночастиц оксидов материнских элементов. Особое внимание в работе уделено поведению магнитных, электрических и теплофизических характеристик вблизи критической температуры сверхпроводника.

Развиваемые в работе технологии получения наноструктурированных сверхпроводников с заданными пористостью и размером кристаллических зерен важны как для проведения исследовательских работ, так и для практического использования сверхпроводящих материалов.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения.

Первая глава диссертации содержит обзор теоретических и экспериментальных работ, посвященных исследованию механизмов проводимости высокотемпературных сверхпроводников. Рассматривается связь эффектов возникновения и релаксации элементарных зарядовых возбуждений с особенностями кристаллической структуры YBCO. Анализ литературных данных показал связь критической температуры и элементарных зарядовых возбуждений с индексом кислородной стехиометрии и параметрами кристаллической решетки, которые в свою очередь зависят от температуры. Сформулирована цель – изучение изменения объема кристаллической решетки при переходе в состояние гармонических колебаний в $T = T_c$, для чего следует исследовать корреляции температурных зависимостей теплового расширения и электросопротивления вблизи T_c различных наноструктурированных сверхпроводников.

Во второй главе описывается новая технология получения нанопорошков и наноструктурированных керамик YBCO с различной пористостью в один этап спекания. Также в этой главе рассматриваются используемые установки и методы для исследования структурных, теплофизических, электрических и магнитных свойств материалов.

В третьей главе диссертации представлены результаты исследования и сравнения кристаллической структуры и морфологии керамик, полученных по обычной керамической технологии из микронных порошков и методом одностадийного твердофазного спекания сырцов, полученных путем компактирования нанопорошков различной дисперсности. Компактирование и спекание агломерированных нанопорошков позволило получить керамические образцы $Y(Ba_{1-x}Be_x)_2Cu_3O_{7-\delta}$ с сильно развитой пористостью до ~70%. Представленные данные позволяют установить оптимальные значения технологических параметров для получения наноструктурированных сверхпроводящих керамик с различной пористостью (от 3% до 60%).

В четвертой главе приведены результаты исследования электросопротивления 47 образцов керамик, полученных по обычной керамической технологии, методом

компактирования микро- и нанопорошков и из нанопорошков по новой технологии, разработанной с участием автора. Исследования электросопротивления микрокристаллических керамик $Y(Ba_{1-x}Be_x)_2Cu_3O_{7-\delta}$ показали, что с повышением содержания Be характер температурной зависимости удельного сопротивления изменяется от металлического к полупроводниковому, с уменьшением абсолютных значений удельного сопротивления. Для всех исследованных образцов установлена связь пористости и сопротивления в нормальном состоянии. Обнаружена линейная связь степени дырочного допирования со средними значениями температурного коэффициента сопротивления в интервале от T_c до 300 К как при металлическом, так и полупроводниковом характерах проводимости, независимо от плотности и дисперсности частиц, составляющих керамику.

Пятая глава диссертационной работы посвящена подробному исследованию и сравнению структурных, магнитных и тепловых свойств наноструктурированных керамик YBCO с физической плотностью 3.0 г/см^3 и 5.72 г/см^3 , полученных по новой технологии. Особенностью этих материалов, в отличие от получаемых по стандартным технологиям, является высокая дефектность зерен, образованных из наночастиц, в результате их «плохой» спекаемости. Обнаружено, что объем элементарной ячейки керамик резко уменьшается ниже температуры 170 К, где для YBCO наблюдается возникновение псевдощелевого состояния, а ниже T_c стремится к постоянной величине. Для образца с плотностью 5.72 г/см^3 было обнаружено различие значений начала сверхпроводящего перехода в электрических и магнитных измерениях. Такое различие было интерпретировано как свидетельство наличия в этой керамике низкоразмерных сверхпроводящих каналов с более высокой критической температурой.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Научная новизна результатов, полученных в диссертационной работе, состоит в следующем: 1) Разработана технология получения наноструктурированных керамик на основе YBCO различной плотности (от 6.1 г/см^3 до 2.4 г/см^3) с высокой долей сверхпроводящей фазы, оптимально насыщенной кислородом, и с центрами пиннинга из наночастиц оксидов материнских элементов. В разработанном методе оптимальные температура и время спекания порошков одного и того же прекурсора, после различной предварительной термообработки, оказываются одинаковыми, что открывает перспективу получения керамических функциональных материалов с градиентными плотностью и свойствами. 2) Впервые исследован комплекс тепловых, электрических и магнитных свойств на образцах наноструктурированной керамики

YBCO с различной пористостью и локальными структурными искажениями решетки. 3) Максимумы производной электросопротивления по температуре наблюдаются при тех же температурах, что и нерегулярности на температурных зависимостях электронных теплоемкости и коэффициента теплового расширения. 4) Значения уровня допирования, определяемые температурой, при которой электросопротивление достигает физического нуля, линейно связаны со средними значениями температурных коэффициентов сопротивления в нормальной фазе до 300 К. 5) Эффект стремления объема YBCO к постоянному значению в сверхпроводящем состоянии, обусловленный насыщением ковалентных связей, в среднем по решетке, наблюдается независимо от наличия локальных нарушений на атомарном уровне. 6) Изменение объема решетки YBCO с температурой влияет на проводимость и сверхпроводимость.

По существу диссертационной работы необходимо сделать следующие **замечания**: 1) Для определения плотности исследуемых образцов использовался метод гидростатического взвешивания. Однако образцы керамик могут содержать замкнутые полости, влияющие на определяемые значения плотности. Поэтому полученные в работе значения соответствовали не истинной, а средней плотности материала. 2) Содержащиеся в таблице 5.1 (с. 214) значения первого критического поля завышены на 1-2 порядка. Для гранул YBCO известные значения $H_{c1} \sim 100$ Эрстед в гелиевой температуре и намного меньше при $T = 0.9 T_c$. 3) Обнаруженное уширение интервала температур перехода в сверхпроводящее состояние, связанное с сосуществованием ВТСП фаз с различным уровнем допирования, – это известное явление, и оно не должно заявляться в качестве научной новизны работы. 4) К сожалению, чтение текста диссертации осложнено имеющимися стилистическими погрешностями, опечатками и жаргонизмами (например, «размах магнитных гистерезисов»).

Отмеченные недостатки не уменьшают ценности результатов диссертации. Результаты работы содержат значимые научные данные, а развиваемые технологии синтеза сверхпроводников, особенно высокопористых, рекомендованы к использованию в Институте физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН, Институте химии и химической технологии ФИЦ КНЦ СО РАН, Сибирском государственном университете науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Сибирском федеральном университете.

Диссертационная работа Гаджимагомедова С.Х. «Структура, состав и свойства наноструктурированных YBCO материалов» имеет несомненную научную и практическую ценность. Содержание автореферата соответствует содержанию

диссертации. По теме диссертации опубликованы 18 научных статей в рецензируемых журналах, входящих в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ. По актуальности, научной новизне и объему выполненных исследований диссертационная работа удовлетворяет критериям «Положения о присуждении ученых степеней», учрежденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а её автор Гаджимагомедов Султанахмед Ханахмедович заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

Доклад Гаджимагомедова С.Х. по материалам диссертационной работы заслушан и обсужден на семинаре отдела физики магнитных явлений Института физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН 15 декабря 2020 г, протокол № 12.

Отзыв подготовили:

Руководитель научного направления "Магнетизм",
д.ф.-м.н., профессор

С.Г. Овчинников

Старший научный сотрудник
лаборатории сильных магнитных полей,
д.ф.-м.н.

Д.М. Гохфельд

Контактная информация:

Институт физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

Россия, 660036 г. Красноярск, Академгородок, 50, строение № 38,

Телефон: +7(391) 243-26-35, E-mail: dir@iph.krasn.ru

Заверено

уч. секретарь
к.ф.-м.н.



А.С. Зайцев