

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Рабадановой Аиды Энверовны «Связь электросопротивления с термической деформацией решетки YBCO при переходе в сверхпроводящее состояние», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Актуальность работы. Высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП) на основе сложных оксидов, в том числе соединение $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO), перспективны для использования в электроэнергетике и электронике, при создании мемристоров и квантовых компьютеров. Знание природы формирования высокой проводимости и сверхпроводимости этих материалов существенно повысит эффективность их применения. Диссертационная работа А.Э. Рабадановой направлена на решение задачи по установлению роли изменения объема решетки YBCO при переходе в сверхпроводящее состояние. Она посвящена экспериментальному исследованию температурных зависимостей электросопротивления и теплового расширения полученных ею многофазных керамических образцов YBCO с различной кислородной стехиометрией (микрористаллических и монокристаллических) в нормальном состоянии и при переходе в сверхпроводящее состояние. Проведен анализ связи между этими параметрами, установлено наличие стрикции объема для каждой из доминирующих сверхпроводящих фаз с различным содержанием кислорода, и обнаружены ранее неизвестные корреляции. Этим обоснована актуальность диссертационной работы А.Э. Рабадановой.

Общая характеристика диссертации. На основе экспериментальных данных, полученных на одних и тех же (микрористаллических и монокристаллических) образцах YBCO, содержащих несколько сверхпроводящих фаз, установлена корреляция температурных зависимостей электросопротивления и теплового расширения при переходе в сверхпроводящее состояние, а также в нормальном состоянии. Результаты

работы докладывались на международных и всероссийских конференциях, опубликовано восемь статей в журналах из списка ВАК.

Работа состоит из введения, 5 глав, выводов; содержит 73 рисунка, 3 таблицы. Список используемой литературы включает 115 наименований.

Во введении обоснована актуальность тематики, сформулирована постановка задачи и определены основные цели работы, показана их научная новизна и практическая значимость, приведены положения, выносимые на защиту, обозначен личный вклад автора и кратко изложена структура диссертации.

В главе 1 проведен анализ проблем, возникающих при интерпретации температурных зависимостей электросопротивления сверхпроводников. Глава является обзорной. Автор рассматривает существующие проблемы в понимании корреляций температурной зависимости электросопротивления проводников и сверхпроводимости ВТСП. В отдельном разделе рассмотрены корреляции температурных зависимостей электросопротивления и коэффициента теплового расширения классических проводников. Показана значимость роли ангармонизма в формировании свойств конденсированной среды. Приведенный обзор указывает на определенную роль термической деформации решетки, связанной с ангармонизмом колебаний атомов, не только при формировании времени релаксации зарядовых возбуждений, но и в активизации процесса их возбуждения. Далее рассматриваются особенности деформации решетки проводников при переходе в сверхпроводящее состояние. Обосновано то, что для неклассических проводников с высокими значениями сопротивления, в том числе, претерпевающих переход металл-изолятор, наблюдается корреляция температурных коэффициентов электросопротивления и теплового объемного расширения.

В главе 2 рассматриваются структура YBCO и природа устойчивости этой структуры. Суть этих представлений основывается на требовании выполнения условия электронейтральности, в том числе локальной, которая предполагает необходимость перераспределения возбуждений между

зарядовыми блоками и блоком проводимости. Обосновывается, что детальное зарядовое равновесие восстанавливается в результате искажения параметров решетки и перераспределения электронной плотности вокруг ядер, отличающейся от электронной плотности в нейтральных атомах. Автор анализирует результаты экспериментальных исследований, подтверждающих предположение о повышении устойчивости решетки YBCO с ростом содержания кислорода, приводящем к оптимальным значениям допирования зарядовыми возбуждениями и высоким значениям критических температур. Показана корреляция изменений значений T_c и параметра решетки c . Линейная связь изменений T_c и параметра решетки c , а также подобие зависимостей T_c и параметра c от содержания лабильного кислорода в YBCO, свидетельствует о том, что возникновение элементарных зарядовых возбуждений в нем обязано деформации решетки.

Глава 3 посвящена описанию технологии получения и методикам исследования структуры и свойств сверхпроводящих образцов YBCO. Для отработки технологии получения керамики YBCO с разным содержанием кислорода (для варьирования значениями T_c и шириной перехода) и установления корреляций температурных зависимостей электросопротивления и теплового расширения вблизи T_c , были изготовлены 4 партии микрокристаллических образцов. Эти образцы были получены методом твердофазного спекания с использованием простых реагентов Y_2O_3 (~99.9%), $BaCO_3$ (~99.9%) и CuO (~99.9%), взятых в соответствующих соотношениях. Каждая партия отличалась количеством этапов синтеза и спекания образцов. Все это можно считать достижением автора – получение различных керамических образцов YBCO с контролем качества и состава, а также различной шириной области сверхпроводящего перехода.

В результате варьирования технологическими параметрами удалось реализовать новый способ получения керамики (по обычной керамической технологии) на основе YBCO (Свидетельство на НОУ-ХАУ №82 от 29.09.2022), микрокристаллики которой имеют преимущественно текстуру

роста в направлении параметра c . Это позволило повысить достоверность установленных особенностей температурных зависимостей параметров решетки в этих образцах. Разработана и выполнена процедура насыщения монокристаллического образца кислородом в микрокристаллических порошках YBCO, которым характерна широкая область сверхпроводящего перехода. Температурные зависимости параметров решетки после насыщения этого образца кислородом получены на монокристаллическом дифрактометре.

В главе 4 приводятся обширные экспериментальные данные. По температурным зависимостям электросопротивления и теплоемкости установлены значения T_c для двух доминирующих сверхпроводящих фаз в микрокристаллических образцах с широким интервалом перехода в сверхпроводящее состояние. Температурные зависимости коэффициентов теплового расширения параметров решетки YBCO свидетельствуют о том, что до перехода в сверхпроводящее состояние происходит сжатие решетки. При достижении T_c (для каждой из доминирующих фаз) объем резко возрастает на $\sim 3\%$. Обычно такой же эффект наблюдается для однофазных ВТСП, однако подробно не объясняется, хотя изменение объема примерно такого же порядка, как и при плавлении металлов.

Увеличение объема при температуре T_c на $\sim 3\%$ ($dV/V \approx 0.03$) предполагает относительное уменьшение волнового вектора Ферми, т.е. согласно данным, полученным в работе, снижение уровня Ферми составляет ~ 0.03 от исходного значения.

В нормальном состоянии, отклонения температурных зависимостей коэффициентов теплового расширения параметров решетки от их нулевых значений незначительны. В то же время, значительные отклонения этих коэффициентов от их нулевых значений наблюдаются на интервале перехода в сверхпроводящее состояние, в областях, на которые приходится соответствующее T_c . Эти отклонения, в отличие от аномалии производной температурной зависимости электросопротивления, происходят с изменением знака термической деформации.

Температурным коэффициентам расширения решетки в направлениях a и b для каждой из сверхпроводящих фаз, свойственна обратная корреляция изменений знака отклонения от их нулевых значений. Это приводит к тому, что в блоке проводимости элементарной ячейки, площадь гофрированной поверхности, перпендикулярной направлению (001), после перехода в сверхпроводящее состояние оказывается постоянной на интервале сверхпроводящего перехода. Такие корреляции для многофазных образцов обнаружены впервые и согласуются со сведениями для монокристаллических однофазных образцов.

В главе 5 автор рассматривает результаты исследования температурных коэффициентов электросопротивления и теплового расширения для микро- и монодоменного образцов YBCO со структурой орто-I, с различной шириной области перехода в сверхпроводящее состояние. Особенность их состоит в том, что ширина перехода зависит от количества сверхпроводящих фаз, поэтому представляется возможность обнаружить проявление особенностей температурных коэффициентов электросопротивления и теплового расширения вблизи T_c для каждой из фаз одного и того же образца. Приводятся корреляции температурных коэффициентов электросопротивления и теплового расширения YBCO в нормальном и сверхпроводящем состояниях.

Установлено, что до сверхпроводящего перехода наблюдается линейная связь (с коэффициентом корреляции ~ 0.98) зависимостей температурных коэффициентов электросопротивления и теплового расширения от температуры, полученных на одних и тех же микро- и монодоменном образцах YBCO. Зависимости температурных коэффициентов электросопротивления $\alpha_\rho(T) = d\rho/\rho dT$ и теплового расширения $\alpha_V(T) = dV/V dT$ многофазных образцов при T_c каждой из сверхпроводящих фаз отклоняются от нуля. Эти отклонения приходятся примерно на одни и те же температуры, в пределах погрешности определения соответствующих параметров.

Результаты, полученные автором, новы и обоснованы. Общие выводы и выводы к каждой главе четко сформулированы. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений.


В то же время, имеются некоторые замечания к работе.

- 1) Нет объяснения, как были получены производные, например, dp/dT , температурные зависимости которых очень гладкие.
- 2) На рисунках не указаны доверительные интервалы. Это особенно необходимо для коэффициентов теплового расширения.
- 3) Не обсуждается, почему в области выше температуры сверхпроводящего перехода, кривые зависимости сопротивления от температуры «зашумлены». Например, на рис. 4.6.
- 4) Было бы интересно проверить, применима ли разработанная методика и наблюдаются ли такие же корреляции в других высокотемпературных сверхпроводниках?

Сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления о представленной диссертационной работе и не уменьшают ее ценность. Автореферат, а также опубликованные работы по теме диссертации отражают в полном объеме ее содержание.

Заключение. Диссертация представляет собой законченную научно - квалификационную работу, в которой приводится решение научной задачи по установлению корреляций между температурными зависимостями электросопротивления и теплового расширения, в рамках проблемы определения роли изменения объема решетки в формировании проводимости в YBCO. Она выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и практической значимостью. Все результаты, полученные соискателем, достоверны, а выводы обоснованы. Диссертационная работа «Связь электросопротивления с термической деформацией решетки YBCO при переходе в сверхпроводящее состояние» отвечает требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, соответствует паспорту специальности 1.3.8 - Физика конденсированного состояния (пункты 1,3) по

физико - математическим наукам, а ее автор, Рабаданова Аида Энверовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент: доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики низких температур и сверхпроводимости физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,
профессор  Кульбачинский Владимир Анатольевич

Контактные данные:

тел.: +7 (495) 939-11-47; e-mail: kulb@mig.phys.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 8, МГУ, Физический факультет, кафедра физики низких температур и сверхпроводимости
тел.: +7 (495) 939-16-82; e-mail: info@physics.msu.ru

Подпись В.А. Кульбачинского удостоверяю:

Декан физического факультета МГУ
профессор



В.В. Белокуров

10.09.2024