АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D074000 – Наноматериалы и нанотехнологий

Жетписбаев КайратбекУристимбекович

ВЛИЯНИЕ НАНОПОРОШКОВЫХ ДОБАВОК $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ И $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

Общая характеристика работы. Диссертационная работа посвящена исследованию влияния нанопорошковых добавок на основные характеристики выскотемпературных сверхпроводников, такие как критическая температура, плотности тока. Поставленная задача решена путем добавки наноразмерных $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ (CZFO) и $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ (NZFO) порошков к висмутсодержащему(BPSCCO) и иттрий-бариевому (YBCO)высокотемпературные сверхпроводниковые (ВТСП материалам с целью создания эффективных пинниговых центров.

Настоящая работа состоит из 3 глав. В первой главепредставлено текущее состояние проблемы, литературный обзор результатов научных трудов по достижению эффективных пиннинговых центров с помощью других видов добавок, а также путем внешнего воздействия.

Вторая глава посвящена описанию методик экспериментов и оборудования, которые применялись для достижения поставленных целей в диссертационной работе.

В третьей главе представлены: результаты измерений, сравнение с результатами других работ и обсуждение анализа результатов, полученных разными методами исследования, экспериментальные результаты исследования влияния различных наноразмерных добавок на основные характеристики ВТСП материалов.

Актуальность. Несмотря на отсутствие признанной теории, позволяющей объяснить механизм сверхпроводимости, в настоящее время ВТСП материалы находят широкое применения во многих отраслях технологической индустрии, такие как, электроника энергетика, ускорительная техника для транспорта и т.д. Среди этих материаловможно выделить керамические ВСТП материалы, созданные на основе сложных купратов, как висмутсодержащие и иттрий-бариевые материалы,применяемые при изготовлении токонесущих кабелей высокой мощности. Из-за сильной зависимости основных характеристик, такие каккритическая температура и плотностьтока, от индукциивнешнего магнитного поля отсутствует возможность более широкого использования вышеназванных ВТСП материалов. Для ослабленияисильной зависимости от внешнего магнитного поля, последние годы начали широко применять метод увеличения силы пинниговых центров. Пиннинговые центры необходимы для увеличения глубиныпроникновения магнитного поля в материал, за счет

чего возникает возможность увеличения значенияплотности тока. Сами пиннинговые центры создаются из разновидностей дефектов, накристалических решетках. Существуют следующие основные виды получения или образования дефектов на атомном уровне:

- добавление примесей;
- внешние воздействия(радиационное);
- создание планарной или упорядоченной структуры дефектов.

Отсутствие теории механизма сверхпроводимости компенсируется предложениями множества моделей, позволяющих интерпретировать полученные результаты, атакже запланировать эксперименты, целью которыхявляется определениевзаимной связи между структурными параметрами и сверхпроводящими свойствами. В настоящей работе применяется модель, называемая «резервуар зарядов - плоскость», где достижение высоких параметров критической температуры связывается с оптимальной концентрацией носителей зарядов, образованнойкупратными плоскостями – CuO_2.

Купратным ВТСП материалам свойственна резкая анизотропия критических токов из-за слоистой структуры их кристаллов. Для создания дефектов на атомном уровне, которые служит в качестве пиннинговых центров, удобно применить наноразмерныепорошки. При поиске эффективных примесей, которые позволят добиться высокой плотности пинниновых центров преследуется главная цель – увеличение плотности тока. Добавление наноразмерных порошков позволяет достигнуть более высокую эффективность по сравнению с другими методами. В процессе выбора видов нанодобавок, их количества, концентрации и наноразмеров основной задачей является поиск компромиса между увеличением плотности критического тока и уменьшением критической температуры. В случае применения наноразмерных добавок существует некий нижний и верхний порог выбора концентрации, где происходит эффективное увеличение плотности тока и критической температуры. В данной работе виды наноразмерных порошков определены исходя из ранее полученных результатов. Поэтому в настоящей работе выбираются наноразмерные порошки (5-50 нм) со сложным составом, таким как $Co_{0.5}Zn_{0.5}F_2O_4$ и $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$. Данные наноразмерные материалы получены из различных магнитных материалов. Следует отметить, что магнетизм и сверхпроводимость - интересные темы для изучения, ввиду того, что они являются взаимоисключающими. Магнитный наноматериал может увеличить критическую плотность тока сверхпроводников за счет взаимодействия между сетью магнитных потоков и магнитной текстурой. Добавление антиферромагнитного Co-Fe_2O_3, ферромагнитного Fe_3O и диамагнитного ZnO в BPSCCO усиливало критическую плотность тока. Сложные магнитные оксиды являются потенциальными материалами для центра закрепления магнитных полей путем проникновения вглубь материала. Они обладают широким спектром свойств, обусловленными сильным взаимодействием структурных, электронных, магнитных и даже ионных степеней свободы. В

ранних работах в $Cu_{0,5}Tl_{0,5}Ba_2Ca_2Cu_3O_9$, добавленный с 0,08% $Co_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ (CZFO), показал улучшение температуры перехода на 3,35% и увеличение концентрации дырок. Влияние нанопорошковыхдобавок CZFO и NZFO на основные характеристики BPSCCO и YBCO материалов ранее не изучено. В этой связи в данной работе были выбраны CZFO и NZFO, которые как суперпарамагнит в наноразмерах, также он при изготовлении с образцом является ферромагнитным.

Предполагалось, что плотность критического тока увеличивается, когда магнитные частицы с характерным размером d больше, чем длина когерентности, но меньше, чем глубина проникновения, λ. В этой работе наночастицы со средним размером d = 5-50 нм были добавлены в BPSCCO и YBCO.

Целью работыявляется исследование влияния наноразмерных порошков наполнителей
CZFO и NZFO в ВТСП материалах BPSCCO и YBCO на создание пиннинговых центров, повышающих значения плотности тока и не снижающих критическую температуру.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решались следующие **задачи**:

– исследование влияния концентрации наноразмерных порошков $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ (CZFO) и $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ (NZFO) на значения критической температуры и критической плотности тока материалов $(Bi_{1.6}Pb_{0.4})Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ и $YBa_2Cu_3O_7$;

– сравнение свойств образцов висмутсодержащего и иттрий содержащего ВТСП материалов, содержащих нанодисперсных наполнителей CZFO и NZFO, полученных путем твердофазного синтеза и совместного осаждения;

– определение влияния концентрации наноразмерных порошков и времени спекания на изменения значений критической температуры и плотности тока;

– сравнение эффективности нанопорошковыхпиннинговых центров у ВТСП материалов полученных методами твердофазного синтеза и совместного осаждения;

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Пиннинговые центры созданные путем добавления наноразмерных порошков $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ к ВТСП материалу $(Bi_{1.6}Pb_{0.4})Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ в количестве 0,01-0,1мас.% увеличивает значение критической плотности тока на 12%, а также способствует удержанию критической температуры не менее 100 К, не увеличивая времени спекания (до 125 часов).

2. Пиннинговые центры созданные путем добавлениянаноразмерных порошков $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$к ВТСП материалу $YBa_2Cu_3O_7$ в количестве 0,02-0,1мас.% увеличивает значение критической плотности тока в три раза и позволяет удержвать критическую температуру не менее 90 К не увеличивая времени спекания (не менее 50 часов).

3. Использование метода совместного осаждения оказывается более эффективным в получении однородности ВСТП материала по сравнению с применением метода твердофазного синтеза, что позволяет увеличить в два раза долю фазы Bi-2223 по сравнению с Bi-2212 полученным методом твердофазного синтеза.

Новизна проводимой работы:

1. Впервые исследованы критические характеристики ВТСП материала $(Bi_{1.6}Pb_{0.4})_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ с добавлением 0,01-0,5 мас.% наноразмерных порошков, таких как $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ и $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$.

2. Впервые исследованы критические характеристики ВТСП материала$YBa_2Cu_3O_7$ с добавлением 0,01-0,5 мас.% наноразмерных порошков, таких как $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ и$Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$.

3. Установлено влияние концентраций нанодисперсных наполнителей $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ и $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ на улучшение характеристик ВТСП материалов BPSCCO и YBCO.

4. Установлено, что использование метода совместного осаждения получения ВТСП материалов BPSCCO и YBCO с нанодобавками$Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ и $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ повышает долюBi-2223 фазы в два раза относительно Bi-2212, что эффективнее использования по сравнению с методом твердофазного синтеза.

Теоретическая значимостьполученных результатов заключается в том, что дополнительно подтверждается модельное представление о задержании (закреплении) ползучести магнитных вихревых потоков по поверхности сврехпроводников, с помощью искусственного внедрения магнитных наноразмерных порошков.Данные результаты позволяют правильно понимать эффективность равномерного распространения наноразмерных магнитных порошков в качестве пиннинговых центров, также могут быть использованы при дальнейшем развитиипиннинговых центров в ВСТП материалах.

Практическаязначимостьполученных результатов заключается в том, что данные наноразмерные порошки CZFO и NZFO способствуют созданиюэффективныхпиннинговых центров. Результаты являются перспективными для применения в разработке сверхпроводящих материалов большой плотности тока.

Апробация работы:Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих международныхнаучно-технических конференциях:

- American institute of Physics, Conference Proceedings (USA, 2016);
- Оренбург, Российская Федерация, агентство международных исследований.Новая наука: Современное состояние и пути развития, Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции, 30 декабря 2016 г;
- Алматы, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева, Труды международных

сатпаевскихчтений: «Роль и место молодых ученых в реализации новой экономической политики Казахстана», том II, 2016г;

- Алматы, Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, III международная научная конференция студентов и молодых ученых «Фараби әлемі», 2016г. Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби.

Экспериментальные результаты были получены с использованием высокоточных современных методов исследования и устройств предоставленныхзарубежным руководителем в лаборатории исследования выскотемпературных сверхпроводников Института прикладной физики Малайзийского национального университета (г. Куала-Лумпур, Малайзия), где было организовано исследование свойств высокотемпературных сверхпроводников BSCCOи YBCO. Также проведены измерения характеристик полученных ВСТП материалов в лабораториях НАО КазНИТУ имени К.И. Сатпаева и КазНУ имени Аль-Фараби.

Личный вклад автора заключаются в постановке и проведении экспериментов, обобщении и интерпретации полученных результатов, написании статей и отчетов. Цели и задачи, планирование экспериментов, обсуждение результатов и основные положения на защиту были обсуждены с научными консультантами.

Публикации. В соответствии с темой диссертационной работы были опубликованы 9 статей, из них 4 были опубликованы в изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки РК, 1- входящих в базу данных Thomson Reuters в международном научном журнале, 4 – в материалах международных научных конференций, из них 1 – зарубежной конференции (входящих в базу данных Thomson Reuters) и 1-тезис.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение задач по поставленной цели диссертационной работы дало следующие результаты:

1. Получение ВТСП материалов $(Bi_{1.6}Pb_{0.4})Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ с нанодобавками $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ методом совместного осаждения в два раза повышает долю Bi-2223 фазы по сравнению с Bi-2212, показывая высокую эффективность его по сравнению с методом твердофазного синтеза.

2. Наполнитель из наноразмерных порошков $Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ к ВТСП материалу $(Bi_{1.6}Pb_{0.4})Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ в количестве 0,01-0,1мас.% увеличивает значение критической плотности тока в нем на 12% и способствует удержанию значения критической температуры не менее 100 К.

3. Наполнитель из наноразмерных порошков $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ к ВТСП материалу $YBa_2Cu_3O_7$ в количестве 0,02-0,1мас.% увеличивает значение критической плотности тока в нем в три раза и удерживает значение критической температуры не менее 90 К.

4. Выявлено эффективное влияние малых концентраций суперпарамагнитных ($Co_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$ и $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$), ферримагнитных,

антиферромагнитных ($CoFe_2O_3$, Cr_2S_3) и диамагнитных (ZnO, CdTe) нанодисперсных наполнителей на ВТСП материалы $(Bi_{1.6}Pb_{0.4})Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ и $YBa_2Cu_3O_7$, повышающих значения T_C и J_C, по сравнению с наполнителями из ферромагнитных наноматериалов (Fe_3O_4, Co_3O_4, $CoFe_2O_4$).

5. Определены влияния времени спекания зависимости критических параметров. Для висмут содержащего ВТСП материала критическая темпаратура показывали максимальное в интервале 100-125 часов спекания, для иттрий-варий содержащего ВТСП материала критическая темпаратура показывали максимальное в интервале 48-75 часов спекания.

6. Введение наноразмерных частиц в качестве дефектов в высокотемпературные сверхпроводники создают равномерное распределение в них пиннинговых центров и являются наиболее эффективным методом улучшения закрепления линии потока без разрушения сверхпроводимости, повышая значение Jc, что являются лучшим по сравнению с радиационным методом.