



УТВЕРЖДАЮ

Директор ИПСМ РАН

д.ф.-м.н., член-корр. РАН

Р.Р. Мулюков

«10» июня 2020 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук (ИПСМ РАН)

Диссертация «Структура и сверхпроводящие свойства керамики $\text{Bi}(\text{Pb})_{2223}$, подвергнутой горячей деформации кручением под давлением» выполнена в лаборатории 07 «Материаловедение труднодеформируемых сплавов» ИПСМ РАН.

В период подготовки диссертации соискатель Пархимович Николай Юрьевич работал в лаборатории 07 «Материаловедение труднодеформируемых сплавов» ИПСМ РАН в должности инженера, младшего научного сотрудника.

В 2011 году окончил Уфимский государственный авиационный технический университет по специальности «Физика металлов».

В 2015 году окончил очную аспирантуру Института проблем сверхпластичности металлов РАН по специальности «Физика конденсированного состояния».

Научный руководитель — ведущий научный сотрудник доктор физико-математических наук Имаев Марсель Фаниревич.

По результатам рассмотрения диссертации «Структура и сверхпроводящие свойства керамики $\text{Bi}(\text{Pb})_{2223}$, подвергнутой горячей деформации кручением под давлением» принято следующее заключение:

Диссертация Пархимовича Н.Ю. представляет собой законченное и самостоятельное исследование.

Актуальность диссертационной работы

В 1987 году была открыта высокотемпературная сверхпроводимость в керамике $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (Y123). С тех пор обнаружено несколько семейств материалов, проявляющих сверхпроводящие свойства выше 77 К. Среди нетоксичных высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) наиболее высокой температурой сверхпроводящего перехода $T_c = 105 - 110$ К) без приложения высокого давления обладает керамика $\text{Bi}(\text{Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+x}$

{Bi(Pb)2223}. С каждым годом расширяется область применения высокотемпературных сверхпроводников в технике. Протяженные изделия (провода и ленты) успешно используют, например, в поездах на магнитной подушке (маглев), передаче электроэнергии с высоким КПД, металлургии (индукционные печи), криогенной технике и др. В отличие от доступных на данный момент проводов и лент внедрение изделий из объемной сверхпроводящей керамики в промышленную технику затруднено по ряду причин. Наиболее значимые причины заключаются в том, что трудно получить объемные заготовки сверхпроводника с требуемыми формой и размерами, а токонесущая способность существующих объемных изделий, как правило, ниже, чем у пленок. Повышение токонесущей способности объемных сверхпроводников возможно только путем изменения структурных характеристик материала. В частности, обязательным условием для высоких сверхпроводящих свойств является острая кристаллографическая текстура.

В отличие от Y123 в керамике Bi(Pb)2223 расплавными методами текстурирования не удается получить объемные заготовки из-за очень узкой области существования фазы Bi(Pb)2223 на диаграмме состояния, а наиболее часто используемые методы деформации, основанные на одноосном сжатии, не позволяют достичь больших степеней деформации, что, в свою очередь, сильно ограничивает возможности текстурирования материала. Это ограничение отсутствует у метода деформации горячим кручением под квазигидростатическим давлением (КГД). Например, методом КГД в керамиках Y123 и $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+x}$ (Bi2212) удалось получить острую текстуру: в Bi2212 ширина на полувысоте кривой качания (FWHM) на пике (00.10) = $7,3^\circ$, а в Y123 величина FWHM на пике (002) = $10,5^\circ$.

Наличие острой текстуры не гарантирует высокие сверхпроводящие свойства. Необходимо найти такой режим обработки материала, в результате которого помимо острой текстуры в материале сформируются высокая плотность центров пиннинга магнитного потока (мелкие частицы вторичных фаз, дефекты кристаллической структуры и т.д.) и оптимальное содержание кислорода в кристаллической решетке основной сверхпроводящей фазы.

Технологически высокотемпературное КГД является сложным процессом, поскольку включает в себя много параметров: температура, скорость и степень деформации, давление, скорость охлаждения. Для понимания процессов, происходящих при КГД, и получения высоких сверхпроводящих свойств необходимо выполнить систематическое исследование влияния параметров КГД на текстуру, микроструктуру матричной фазы, объемную долю и размер частиц вторичных фаз.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертационной работе

Соискатель лично выполнил следующие работы: оптимизация режима синтеза керамики Bi(Pb)2223, спекание образцов, деформация, подготовка образцов к измерениям и аттестации,

рентгеновский анализ, исследование микроструктуры методами световой и растровой электронной микроскопии, энерго-дисперсионная спектроскопия (ЭДС), оптимизация режима отжига с целью восстановления сверхпроводящих свойств деформированных образцов, отжиг исходного и деформированных образцов, измерение сверхпроводящих переходов, обработка и анализ результатов экспериментов, участие в обсуждении результатов экспериментов, написание, оформление и отправка публикаций. Цели и задачи сформулированы научным руководителем с участием соискателя.

Достоверность результатов, приведенных в диссертации обеспечена путем применения проверенных и современных методик обработки и исследования материалов, многократными измерениями, обеспечивающими репрезентативную статистику, планированием экспериментов по возможности с исключением лишних факторов, дополнительными измерениями, проведенными с целью повторной проверки результатов. Результаты находятся в соответствии с результатами, полученными другими авторами.

Новизна результатов

1. Впервые проведено систематическое исследование влияния горячей деформации методом КГД на текстуру, микроструктуру и сверхпроводящие свойства ВТСП керамики Bi(Pb)2223 .
2. Обнаружены механизмы формирования микроструктуры в процессе КГД: деформационно-стимулированный рост колоний фазы Bi(Pb)2223 и измельчение частиц вторичных фаз путем прорастания через них колоний Bi(Pb)2223 .
3. Впервые горячей деформацией методом КГД и последующим отжигом на воздухе получена объемная керамика на основе фазы Bi(Pb)2223 с плотностью критического тока $J_c(77 \text{ K}, 100 \text{ Э}) = 9300 \text{ A/cm}^2$.
4. Кратковременной выдержкой деформированной объемной керамики Bi(Pb)2223 под квазигидростатическим давлением в температурной области существования метастабильной фазы Bi(Pb)2223 сформирована кольцевая область с повышенной долей частиц вторичных фаз.

Теоретическая и практическая значимость

Полученные результаты могут быть использованы при создании объемной ВТСП керамики с высокой токонесущей способностью, которая найдет применение в криогенных электротехнических устройствах, работающих при температурах до 105 – 110 К. Выявленные на керамике Bi(Pb)2223 закономерности влияния горячей деформации на структуру и свойства можно применить к другим ВТСП-керамикам с более высокой температурой сверхпроводящего перехода, например, на основе таллия и ртути, к которым до сих пор не применили расплавный метод текстурирования. В ходе работы была разработана методика анализа данных ЭДС,

которая позволяет быстро обрабатывать большие объемы данных и идентифицировать мелкие частицы фаз на фоне матрицы в многофазных материалах.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Основное содержание диссертации опубликовано в 7 статьях в рецензируемых журналах из перечня ВАК РФ и 7 статьях в трудах конференций. Результаты диссертационной работы опубликованы в полной мере, а также представлены на российских и международных конференциях.

Научная специальность, которой соответствует диссертация:

Диссертация «Структура и сверхпроводящие свойства керамики $\text{Bi}(\text{Pb})_{2223}$, подвергнутой горячей деформации кручением под давлением» соответствует всем квалификационным требованиям пункта II положения о порядке присуждения ученых степеней от 24 сентября 2013 года и требованиям специальности 01.04.07 «Физика конденсированного состояния», что подтверждается публикациями результатов работы в научных журналах, апробацией работы на научных конференциях и семинарах, а также использованными методами исследования, научной новизной, практической значимостью и основными результатами работы.

Диссертация «Структура и сверхпроводящие свойства керамики $\text{Bi}(\text{Pb})_{2223}$, подвергнутой горячей деформации кручением под давлением» Пархимовича Николая Юрьевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Заключение принято на заседании Ученого совета ИПСМ РАН.

Присутствовало на заседании 14 членов Ученого совета из 18 списочного состава. Результаты голосования: «за» - 14, «против» - 0, «воздержалось» - 0, протокол № 07-20 от 09.06.2020 г.

Ученый секретарь ИПСМ РАН

к.т.н.



Сафаров И.М.