

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Цаплевой Анастасии Сергеевны «Структура и свойства сверхпроводников на основе диборида магния и режимов их изготовления», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и состоявшейся в НИТУ «МИСиС» 06.10.2020 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» 10.02.2020, протокол №15.

Диссертация выполнена в Государственном научном центре Российской Федерации Акционерное общество «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара».

Научный руководитель - Абдюханов Ильдар Мансурович, кандидат технических наук, заместитель генерального директора - директор отделения, Государственный научный центр Российской Федерации Акционерное общество «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара», г. Москва, ул. Рогова, д.5а, отделение технологии и материаловедения сверхпроводящих и функциональных материалов АО «ВНИИНМ».

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ «МИСиС» (протокол № 15 от 10.02.2020) в составе:

1. Штремель Мстислав Андреевич, профессор, доктор физико-математических наук, ведущий эксперт НИЛ "Гибридные наноструктурные материалы" – председатель комиссии;

2. Кудря Александр Викторович, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры металловедения и физики прочности НИТУ «МИСиС»;

3. Мухин Сергей Иванович, профессор, доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой теоретической физики и квантовых технологий НИТУ «МИСиС»;

4. Руднев Игорь Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор, Институт лазерных и плазменных технологий, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»;

5. Высоцкий Виталий Сергеевич, доктор технических наук, ОАО «Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт кабельной промышленности» (ОАО «ВНИИКП»), директор научного направления – заведующий отделением сверхпроводящих проводов и кабелей.

В качестве ведущей организации утвержден Институт металлургии и металловедения им. А.А. Байкова РАН (ИМЕТ РАН, г. Москва).

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: разработаны конструкции и режимы изготовления отечественных композиционных сверхпроводников на основе MgB_2 методами *in-situ* и *ex-situ*

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

1. Получены новые данные об особенностях образования фазы MgB_2 при температурах от 750 до 900 °С при использовании порошков бора аморфного марки Б99-Б

и магния марки МПФ-4, и предварительном компактировании смеси исходных порошков с давлением от 300 до 2900 МПа.

2. Получены новые данные о влиянии материала диффузионного барьера (ниобий и титан) на процесс спекания частиц MgB_2 при заключительной термообработке сверхпроводников, полученных по методу «порошок в трубе» вариант *ex-situ*, в интервале температур 750 – 1000 °С. Показано, что критическая температура сверхпроводников после термообработки при температуре 900 °С, 1 ч составляет 37,5 и 38,1 К при использовании ниобиевого и титанового диффузионных барьеров, соответственно. Установлено, что при увеличении температуры отжига выше 900 °С отмечается появление оксида магния и нарушение упорядоченной кристаллической структуры MgB_2 в сверхпроводниках с ниобиевым барьером.

3. Получены новые данные о совместной деформации в составе композиционного одноволоконного сверхпроводника барьеров из ниобия разной конструкции и порошковой сердцевины. Изучена структура и свойства ниобия, характер границы раздела Cu/Nb . Изучение микротвердости ниобиевого барьера на разных этапах деформации сверхпроводников показало, что ее величина увеличивается до 180-190 НВ_μ при истинной деформации 6,5.

4. Получены новые данные о деформации композиционного одноволоконного сверхпроводника на основе MgB_2 в титановой оболочке. Исследование твердости титановой оболочки на этапах деформации показало, что ее величина монотонно увеличивается, причем при достижении степени деформации 45 % твердость возрастает от 126 до 150 НВ, а затем темп нарастания уменьшается.

5. Исследовано влияние температуры промежуточного отжига на структуру и свойства титановой оболочки. Установлено, что при увеличении температуры от 450 до 550 °С, твердость титана снижается вплоть до твердости рекристаллизованного состояния.

6. Получены новые данные по влиянию температуры синтеза соединения MgB_2 в сверхпроводниках с ниобиевым диффузионным барьером на его фазовый состав. Установлено, что при увеличении длительности термообработки с 15 до 30 мин при температуре 650 °С количество соединения MgB_2 увеличивается на 7%, при этом критическая температура сверхпроводника возрастает с 36,5 до 37,2 К. Показано, что и достижения максимальных значений критического тока таких сверхпроводников в интервале магнитных полей от 1 до 3 Тл длительность термообработки при температуре 650 °С должна составлять не менее 5 часов.

7. Получены новые данные по влиянию температуры синтеза соединения MgB_2 в сверхпроводниках с титановой оболочкой на его фазовый состав. Установлено, что при увеличении температуры термообработки с 650 °С до 700 °С критическая температура сверхпроводника возрастает с 37,6 до 38,4 К.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

Разработаны технологические режимы получения сверхпроводников на основе MgB_2 методами *in-situ* и *ex-situ*, а именно оптимальные режимы термообработки сверхпроводника финального размера при использовании титанового и ниобиевого диффузионных барьеров, маршруты деформации сверхпроводников с титановой оболочкой, включая режимы промежуточных отжигов. Также определены параметры компактирования смеси порошков магния и бора, температуры и длительности синтеза. С

использованием разработанных технологических режимов в условиях АО «ВНИИНМ» изготовлены отечественный сверхпроводники на основе MgB_2 .

Достоверность представленных в работе экспериментальных результатов подтверждается тем, что они получены на сертифицированном оборудовании по отработанным методикам, в частности, твердость по Виккерсу образцов ниобия и титана измеряли на сертифицированном твердомере SemiMacroVickers 5112 по ГОСТ 2999. Критическую температуру образцов измеряли в соответствии с рекомендациями стандарта IEC-61788-10. Исследования микроструктуры образцов проводили методами металлографического анализа с помощью оптической и сканирующей микроскопии, рентгенофазового анализа по отработанным методикам.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в исследованиях микроструктуры и механических свойств материалов, применяемых при изготовлении сверхпроводников на основе MgB_2 , лично проводил исследования фазового и структурного состава порошковых материалов и композиционных сверхпроводников в зависимости от режима их получения с использованием методов оптической и электронной микроскопии, рентгенофазового и рентгеноструктурного анализа. Лично составлял планы экспериментов и проводил их, осуществлял анализ полученных экспериментальных результатов. Соискатель разрабатывал режимы изготовления композиционных сверхпроводников и их полуфабрикатов, рекристаллизационных отжигов, параметров синтеза соединения MgB_2 , а также подбирал условия термообработки изготовленных сверхпроводников финального размера, осуществлял отбор образцов и анализ полученных экспериментальных данных.

Соискатель представил 5 опубликованных работ в рецензируемых научных изданиях из перечня, утвержденного Минобрнауки России, в том числе 3 опубликованных работы в изданиях, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science, Scopus.

Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук НИТУ «МИСиС» соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Цаплевой А.С. соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ «МИСиС», так как в ней на основании выполненных автором исследований осуществлена разработка конструкций и технологических режимов изготовления российских сверхпроводников на основе диборида магния,

Экспертная комиссия приняла решение о возможности/невозможности присуждения Цаплевой А.С. ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

При проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 5 человек, участвовавших в заседании из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовали: за - 5, против 0, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель Экспертной комиссии



Штремель М.А.

06.10.2020