

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ
по защите диссертации Хассана Мохамеда Асрана Мохамеда на тему
«Термоэлектрические свойства двойных сплавов Гейслера»,
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.11 – Физика полупроводников
и состоявшейся в НИТУ МИСИС 19.06.2024 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 15.04.2024 г., протокол № 19.

Диссертация выполнена на кафедре технологии материалов электроники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (НИТУ МИСИС).

Научный руководитель – Ховайло Владимир Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ МИСИС.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС (протокол № 19 от 15.04.2024 г.) в составе:

1. Панина Лариса Владимировна — д.ф.-м.н., профессор кафедры технологии материалов электроники НИТУ МИСИС – председатель комиссии;
2. Мухин Сергей Иванович – д.ф.-м.н., заведующий кафедрой теоретической физики и квантовых технологий НИТУ МИСИС;
3. Калошкин Сергей Дмитриевич – д.ф.-м.н., директор Института новых материалов НИТУ МИСИС;
4. Дорохин Михаил Владимирович – д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории спиновой и оптической электроники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»;
5. Штерн Максим Юрьевич – д.т.н., доцент Института перспективных материалов и технологий Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники».

В качестве ведущей организации утверждено Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Челябинский государственный университет», г. Челябинск.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Использование метода спинингования расплава с последующим искровым плазменным спеканием является высокоэффективным методом получения наноструктурированных однофазных образцов двойных сплавов Гейслера $M_2FeNiSb_2$ ($M = Ti, Hf$).
- Двойные сплавы Гейслера $M_2FeNiSb_2$ ($M = Ti, Hf$) обладают более низкой (по сравнению с «классическими» термоэлектрическими сплавами Гейслера $TiCoSb$ и $TiNiSn$) теплопроводностью, что обусловлено главным образом большим

количеством точечных дефектов кристаллической решетки в этих многокомпонентных соединениях со сверхструктурным упорядочением.

- Частичное замещение Hf на Ti в двойных сплавах Гейслера $\text{Hf}_{2-x}\text{Ti}_x\text{FeNiSb}_2$ приводит к увеличению коэффициента Зеебека. Значения электрической проводимости в образцах, легированных титаном, также выше, чем в исходном $\text{Hf}_2\text{FeNiSb}_2$ за счет большей удельной плотности этих образцов.
- Механоактивационный синтез сплавов позволяет достичь больших значений термоэлектрической эффективности ZT по сравнению с методом спинингования расплава, что обусловлено меньшей теплопроводностью образцов, полученных механическим помолом. В образце $\text{Hf}_{1,75}\text{Ti}_{0,25}\text{FeNiSb}_{1,9}\text{In}_{0,1}$, полученным методом механического помола, максимальное значение ZT достигало 0,38.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- Впервые исследовано влияние легирования переходными элементами, такими как Ti, на термоэлектрические свойства двойных сплавов Гейслера $\text{Hf}_2\text{FeNiSb}_2$. Показано, что такое легирование приводит к увеличению интенсивности рассеяния фононов на дефектах структуры, и, как следствие, к уменьшению решеточной теплопроводности сплавов;
- Термоэлектрические свойства исследованных материалов анализировались в рамках модели Максвелла-Эйкена. Проведенные расчеты были использованы для дальнейшей оптимизации термоэлектрических свойств.

Значимость полученных соискателем результатов исследований для практики подтверждается тем, что:

- Экспериментально изучена возможность получения двойных сплавов Гейслера методом спинингования расплава с последующей консолидацией методом искрового плазменного спекания.
- Достигнуто значительное уменьшение теплопроводности (до 35 %) в зависимости от метода синтеза;
- Значение термоэлектрической добротности $ZT = 0,38$ при $T = 800 \text{ K}$ для сплава $\text{Hf}_{1,75}\text{Ti}_{0,25}\text{FeNiSb}_{1,9}\text{In}_{0,1}$, что превышает добротность нелегированного сплава в 6 раз.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- Достоверность научных результатов подтверждается использованием современного аттестованного и сертифицированного оборудования, а также использованием аттестованных методик измерения функциональных свойств материалов, таких как четырёхзондовый метод, метод лазерной вспышки и метод дифференциальной сканирующей калориметрии.

Личный вклад автора в настоящую работу заключается в постановке целей и задач, непосредственном участии в лабораторных экспериментах, включая разработку методики изготовления образцов, проведение экспериментальных измерений, обработку, анализ и оценку полученных результатов измерений.

Материалы диссертации Хассана Мохамеда Асрана Мохамеда опубликованы в 2 печатных работах в изданиях, входящих в базы цитирования Web of Science, Scopus и в перечень ВАК РФ.

Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук в НИТУ МИСИС П 710.05-22 Выпуск 3 не нарушен.

Диссертация Хассана Мохамеда Асрана Мохамеда соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС П 710.05-22 Выпуск 3 по всем подпунктам, в частности, п. 2.4, так как содержит решение задачи по синтезу двойных сплавов Гейслера методами дуговой/индукционной плавки и спиннингования расплава с последующими процессами искрового плазменного спекания и отжига, что позволяет получить поликристаллические образцы высокой плотности с пониженным содержанием примесных фаз, однородной микроструктурой и однородным химическим составом. Результаты, полученные в данной работе, имеют важное научное значение и перспективны для решения практических задач.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Хассану Мохамеду Асрану Мохамеду ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 — Физика полупроводников.

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

Председатель Экспертной комиссии



Л.В. Панина

19.06.2024