

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Чернышовой Евгении Валерьевны
«Термоэлектрические свойства скуттерудитов р-типа, полученных
методом механохимического синтеза» представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

1.3.11 Физика полупроводников

Актуальность диссертационной работы обусловлена растущей потребностью в энергоэффективных технологиях прямого преобразования тепловой энергии в электрическую. Термоэлектрические материалы на основе скуттерудитов обладают высоким потенциалом для применения в системах рекуперации отходящего тепла. Однако их широкое внедрение сдерживается высокой энергоёмкостью и длительностью традиционных методов синтеза. Разработка ресурсоэффективных и масштабируемых методов получения скуттерудитов с управляемыми характеристиками представляет собой важную научно-технологическую задачу.

Научная значимость работы заключается в установлении фундаментальных взаимосвязей между условиями механохимического синтеза, фазовым составом, микроструктурой, механическими и термоэлектрическими свойствами скуттерудитов р-типа. Полученные результаты вносят вклад в физику конденсированного состояния, расширяя понимание механизмов транспорта носителей заряда и тепла в сложных легированных полупроводниках. Разработанная методология комплексного исследования (от синтеза до измерения функциональных свойств и теоретического моделирования) представляет ценность для материаловедения функциональных материалов.

Научная новизна работы заключается в разработке и реализации высокоскоростного механохимического синтеза одно- и двухзаполненных скуттерудитов р-типа с рекордно коротким временем синтеза, что на порядок сокращает продолжительность процесса по сравнению с известными аналогами. Реализован метод реакционного искрового плазменного спекания (РИПС) многофазных активированных порошков, позволивший получить двухзаполненный скуттерудит с высоким содержанием целевой фазы и предотвратить её декомпозицию. Установлены количественные взаимосвязи между содержанием вторичных фаз ($(\text{Fe}, \text{Co})\text{Sb}_2$, Sb), микроструктурой и механическими свойствами, показавшие, что умеренная концентрация включений повышает трещиностойкость, а их избыток снижает прочность. Методами теории функционала плотности впервые для $\text{LaFe}_{4-x}\text{Co}_x\text{Sb}_{12}$ показано, что замещение железа кобальтом приводит к снижению эффективной массы носителей заряда и ширины запрещенной зоны. Проведен комплексный анализ синергетического влияния механохимического синтеза и режимов консолидации на термоэлектрическую добротность zT и механическую прочность.

Достоверность научных результатов работы обеспечивается:

- Согласованностью экспериментальных данных с теоретическими моделями и результатами, полученными независимыми методиками.

- Апробацией: основные выводы диссертации, полностью отвечающие её целям, были представлены на российских и международных конференциях и опубликованы в рецензируемых журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science.

По автореферату диссертационной работы Чернышовой Евгении Валерьевны можно сделать следующие замечания и предложения:

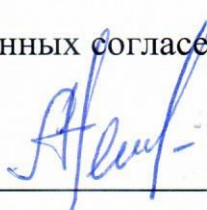
- 1) В тексте отсутствуют данные о том, как протекает процесс уплотнения материала в реальном времени. Кривые смещения пуансонов (или аналогичные данные о линейной усадке) в зависимости от температуры и времени являются основным источником информации о кинетике спекания. Наличие этих кривых позволило бы точно определить температуру начала спекания для каждого состава, что критически важно для оптимизации температурного режима и предотвращения разложения, а также выявить этапы спекания и связать их с фазовыми превращениями (например, пик на кривой усадки мог бы указывать на экзотермическую реакцию образования скуттерудита при РИПС).
- 2) В тексте наблюдается качественное, а не количественное описание РИПС. Утверждается, что для двухзаполненных скуттерудитов эффективен режим РИПС, так как порошок находится в активированном состоянии и происходит непрерывное фазообразование. Однако это описание носит качественный характер, т.к. не представлены прямые доказательства протекания самораспространяющегося синтеза во время спекания (резкий скачок на кривой температуры образца (если такой датчик был установлен), отстающий от температуры пуансонов; сравнение скорости усадки при РИПС и обычном ИПС – при реакционном спекании она обычно на порядки выше).
- 3) Для более детального описания процесса помола было бы неплохим дополнением информация о размерах и материале размольных шаров, а также отсутствует описание режима помола с точки зрения непрерывности (возможно, помол был произведен с паузами для охлаждения)

Несмотря на то, что детальный анализ кинетики процесса спекания (изучение кривых усадки и др.) мог бы углубить понимание механизмов уплотнения, проведённое исследование на высоком научном уровне решает ключевые задачи диссертационной работы. Комплексное и детальное изучение взаимосвязи между условиями синтеза, фазовым составом, микроструктурой и электрофизическими свойствами является несомненной сильной стороной работы. Глубокий анализ транспортных свойств (электропроводности, коэффициента Зеебека, концентрации и подвижности носителей), дополненный расчётами электронной структуры, позволил не только оптимизировать функциональные характеристики материалов, но и выявить фундаментальные закономерности, определяющие их термоэлектрическое поведение. Таким

образом, диссертация «Термоэлектрические свойства скуттерудитов р-типа, полученных методом механохимического синтеза» представляет собой завершённое и высококачественное исследование, вносящее значительный вклад в область материаловедения термоэлектриков. и отвечает всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также «Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС». Работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 1.3.11 «Физика полупроводников», а ее автор Чернышова Евгения Валерьевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

К.т.н., с.н.с. НИЦ «Конструкционные керамические наноматериалы»
(научная специальность 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы»).

На обработку персональных данных согласен.

 Непапущев Андрей Александрович

11.09.2025

119991, г. Москва, Ленинский проспект, д.6, стр.2, А-415

Тел. +7-(926)-627-78-20

E-mail: nanoceram_misis_nep@misis.ru

11.09.2025



Подпись
заверяю
Зам. начальника
отдела кадров



Кузнецова А.Е.

«11» 09 2025 г.