

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Постникова Михаила Сергеевича «Структура и физические свойства интеркалатного соединения Cu_xZrSe_2 », представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния

Диссертационная работа посвящена актуальной научной проблематике – синтезу и изучению системе Cu_xZrSe_2 , относящейся к дихалькогенидам переходных металлов, которые в свою очередь представляют собой широкий класс слоистых материалов переходных металлов (СДПМ), обладающих различными фундаментальными и практически важными свойствами. Слоистая кристаллическая структура этих материалов позволяет интеркалировать различные атомы и молекулы в межслоевое пространство. В литературе хорошо известны материалы с октаэдрической координацией интеркаланта. При смешанном заполнении октаэдрически и тетраэдрически координированных позиций различить влияние каждого типа позиций на физические свойства и электронную структуру практически невозможно. Система Cu_xZrSe_2 в этом плане является исключением: при изменении содержания меди становится возможным наблюдать переход из смешанной октаэдрической и тетраэдрической координации интеркаланта в строгую тетраэдрическую координацию. Актуальность исследования особенностей влияния заполнения тетраэдрически координированных позиций на электронную структуру, физические свойства и термодинамику интеркалированных дихалькогенидов переходных металлов на примере системы Cu_xZrSe_2 обусловлена возможностью направленного конструирования Ван-дер-Ваальсовых сегнетоэлектриков, в том числе и с магнитным упорядочением, для устройств хранения информации с высокой плотностью записи.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Синтезирована фаза Cu_xZrSe_2 при комнатной температуре ($0 < x \leq 0.55$, $\Delta x = 0.05$) и выращены монокристаллы $\text{Cu}_{0.1}\text{ZrSe}_2$, $\text{Cu}_{0.2}\text{ZrSe}_2$, $\text{Cu}_{0.3}\text{ZrSe}_2$, $\text{Cu}_{0.42}\text{ZrSe}_2$, $\text{Cu}_{0.6}\text{ZrSe}_2$, Cu_1ZrSe_2 . Установлена термическая область устойчивости материала $\text{Cu}_{1.0}\text{ZrSe}_2$. Изучена кристаллическая структура Cu_xZrSe_2 , включая распределение меди в ZrSe_2 по октаэдрическим и тетраэдрическим позициям в зависимости от содержания меди и температуры.
2. Получена концентрационная зависимость свободной энергии Гиббса образования системы Cu_xZrSe_2 .
3. Методом фотоэлектронной спектроскопии изучено влияние интеркаляции на спектры валентной полосы и внутренние уровни монокристаллов Cu_xZrSe_2 . Методом рентгеновской спектроскопии поглощения впервые изучено влияние интеркаляции меди в ZrSe_2 на локальное окружение меди.
4. Методом сканирующей туннельной микроскопии изучена дефектность монокристаллов Cu_xZrSe_2 при малой концентрации меди (на примере $\text{Cu}_{0.025}\text{ZrSe}_2$), установлено, что она носит характер дефектов по Шоттки.
5. Методом ИК спектроскопии изучено влияние интеркаляции меди в ZrSe_2 на ширину оптической щели и параметров носителей заряда. Изучено влияние интеркаляции меди в ZrSe_2 на электросопротивление в диапазоне температур от 10 до 300 К. Изучено влияние интеркаляции меди в ZrSe_2 на плотность состояния на уровне Ферми Cu_xZrSe_2 .
6. Сформулирована модель формирования нецентросимметричных структур в интеркалатных материалах на основе дихалькогенидов переходных металлов с 1Т-структурой.

Работа имеет весомую практическую и теоретическую значимость. В результате данной работы установлена причина тетраэдрической координации интеркаланта. Экспериментально получены и представлены следующие характеристики фазы Cu_xZrSe_2 ($0 < x \leq 0.55$, $\Delta x = 0.05$): кристаллическая структура Cu_xZrSe_2 в интервале $x=0-0.55$ (уточнение методом Ритвельда, рентгеноструктурный анализ), электронная структура монокристаллов Cu_xZrSe_2 , термодинамика системы Cu_xZrSe_2 (изучена методом ЭДС электрохимических ячеек), температурные зависимости магнитной восприимчивости, магнитного сопротивления, нормированного на сопротивление при $T=300$ К, в частности, температурные зависимости удельного сопротивления в области полупроводникового характера проводимости, коэффициенты поглощения и отражения в ближнем ИК-диапазоне. Полученные характеристики могут служить основой для разработки и получения

материалов с нецентросимметричными решетками, обладающих сегнетоэлектрическими свойствами, а также материалов с интеркалированными магнитными атомами, некоторые из которых могут проявлять свойства мультиферроиков. Также полученные в работе данные представляют самостоятельный интерес как справочный материал.

Результаты выполненных исследований были получены с использованием сертифицированного и поверенного оборудования для проведения экспериментальных работ с обеспечением воспроизводимости получаемых данных. Применялось метрологически аттестованное оборудование, а также наблюдалась хорошая воспроизводимость при проведении измерений на разных образцах одинакового состава.

Работа соответствует заявленной научной специальности и отрасли наук, её отличает логичность, достоверность результатов, простота изложения научных положений, понятность и чёткость рисунков.

Основные научные результаты, полученные по итогам выполнения диссертационной работы, отражены в 22 печатных работах, включая 8 статей, опубликованных в рецензируемых научных журналах (из них 3 публикаций в журналах квартиля Q1 - Journal of Physical Chemistry C, Journal of Materials Chemistry C, Surfaces and Interfaces, 3 публикаций в журналах квартиля Q2 - Materials Letters, Journal of Solid State Chemistry), и 14 работ в сборниках трудов и тезисов научных конференций.

Замечания к работе:

- 1) В научной новизне автореферата, например, пункт 1, говорится о том, что сделано. Не приводятся научные результаты из выполненного эксперимента.
- 2) На рисунке 9 заявлена зависимость, но реально на данном рисунке только точки.
- 3) Положение локального минимума на рисунке 12 экспериментально не доказано.

К работе имеется ряд вопросов:

- 1) Насколько устойчивы во времени синтезируемые фазы?
- 2) Почему не установлены условия достижения равновесного состояния?
- 3) Проводилась ли оценка влияния кинетики фазовых превращений на характеристики фаз?

Диссертационная работа Постникова Михаила Сергеевича «Структура и физические свойства интеркалатного соединения Cu_xZrSe_2 », соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к диссертационным работам и требованиям п. 9 положения «О присуждении учёных степеней, предъявляемых к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук» и автор диссертации заслуживает присвоения ему искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

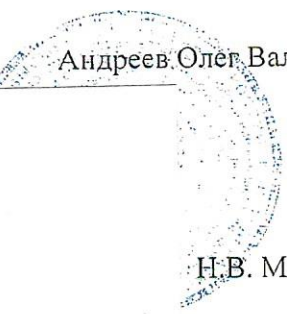
01.10.2025

Заведующий кафедрой неорганической и физической химии,
ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»
доктор химических наук (1.4.4 – Физическая химия),
профессор

625003, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 6
Тел. 89048880417,
E-mail: o.v.andreev@utmn.ru

Подпись Андреева О.В. заверяю
заместитель начальника управления-начальник отдела ре-
и развития персонала
ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»


Андреев Олег Валерьевич


Н.В. Машинова

с отзывом о экзамене

2 октября 2025 г.

Посетников И.С.