

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Носирзода Мухаммада на тему «Влияние малых потоков тепловых нейтронов на электрофизические, структурные и оптические свойства полупроводниковых соединений CdTe и CdZnTe» на соискание учёной степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D060400 – Физика (6D060407 – Физика конденсированного состояния)

Актуальность темы исследования. Полупроводниковые соединения на основе теллурида кадмия (CdTe) и его твердых растворов с цинком (CdZnTe) в последние годы всё чаще рассматриваются как ключевые материалы для применения в области детектирования ионизирующих излучений, в солнечной энергетике и в фотонных устройствах. Их высокие эксплуатационные характеристики делают эти соединения особенно привлекательными для использования в наукоёмких и технологически сложных системах.

Особый интерес представляют условия, при которых эти материалы подвергаются длительному или периодическому воздействию ионизирующей радиации, в том числе тепловых нейтронов. Это актуально для применения в ядерных установках, в космической технике, а также в приборах медицинской диагностики, работающих в условиях повышенного радиационного фона. Воздействие нейтронов, даже при малых дозах, может инициировать процессы, способные вызывать нарушения в кристаллической решетке, создавать дефекты различной природы, изменять электрофизические характеристики и снижать прозрачность в нужных спектральных диапазонах. Это, в свою очередь, может негативно отразиться на работе приборов, основанных на таких материалах.

Несмотря на многочисленные публикации, посвящённые радиационному воздействию на CdTe и CdZnTe, влияние именно малых потоков тепловых нейтронов остаётся изученным недостаточно. Между тем, именно такие потоки характерны для длительного воздействия в условиях реальной эксплуатации в ядерной и космической технике. Их кумулятивное действие может быть неочевидным, но критически важным для стабильности характеристик материала.

В связи с этим возникает необходимость в проведении комплексного исследования, направленного на выявление изменений, происходящих в структуре и свойствах полупроводниковых кристаллов CdTe и CdZnTe под действием малых потоков тепловых нейтронов. Такое исследование должно включать как экспериментальные методы диагностики, так и теоретическое

моделирование, что позволит не только зафиксировать наблюдаемые эффекты, но и объяснить их с точки зрения микроскопических механизмов.

Настоящая диссертационная работа направлена на восполнение существующего научного пробела и представляет собой всесторонний анализ влияния нейтронного облучения низкой интенсивности на структуру, электрические и оптические свойства соединений CdTe и CdZnTe, что имеет важное значение как с научной, так и с прикладной точек зрения.

Соответствие темы диссертации паспорту научной специальности.

Тематика и содержание диссертационной работы полностью соответствуют основным положениям паспорта научной специальности 6D060400 – Физика (в том числе 6D060407 – Физика конденсированного состояния), утверждённого Высшей аттестационной комиссией при Президенте Республики Таджикистан, и охватывают следующие ключевые направления:

- теоретическое и экспериментальное изучение физической природы свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков, в том числе светящихся веществ, как в твердом, так и в аморфном состояниях в зависимости от химического состава, изотопа, температуры и давления.
- разработка математических моделей и прогнозирование изменения физических свойств конденсированных сред в зависимости от влияния внешних факторов.
- разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и изложение физических основ промышленной технологии получения веществ с определенными свойствами.

Степень научной новизны результатов диссертации и положений, выносимых на защиту. В диссертации впервые представлены сравнительные данные о влиянии малых потоков тепловых нейтронов на электрофизические, структурные и оптические характеристики CdTe и CdZnTe. Автором выявлены новые закономерности, связанные с изменением проводимости, оптической прозрачности и дефектной структуры после нейтронного облучения. Полученные результаты обладают следующие научные новизны:

- экспериментальными методами установлено уменьшение удельного сопротивления CdTe и CdZnTe после облучения малыми потоками тепловых нейтронов;

- выявлено улучшение структуры кристаллов CdTe после облучения малыми потоками тепловых нейтронов, о чем свидетельствует увеличение интенсивности рентгеновских рефлексов;
- установлено зависимость структурных параметров CdTe и CdZnTe от потока тепловых нейтронов;
- проведен кванто-механический расчет структурных и оптических свойств CdZnTe в зависимости от концентрации Zn;
- проведен кванто-механическое моделирование процесса взаимодействия тепловых нейтронов на CdTe.

Степень изученности научной темы. Анализ литературных источников показал, что тема исследования ранее изучалась ограниченно. Существуют единичные работы, посвящённые облучению подобных полупроводников, однако системный подход к изучению малых потоков тепловых нейтронов, их эффектов на комплекс свойств CdTe и CdZnTe практически отсутствует. Это подчёркивает высокий уровень оригинальности представленного исследования.

Объём и структура диссертации. Работа состоит из введения, четырёх полноценных глав, заключения и обширного списка использованной литературы. Общий объём диссертации составляет 142 страницы машинописного текста. В исследовании содержится значительный объём иллюстративного материала: 55 рисунков, в числе которых представлены графики, схемы, а также 12 таблиц, отражающих результаты измерений, расчётов и сопоставлений. Библиографический список включает 149 наименований, что свидетельствует о глубокой проработке темы и широком охвате отечественных и зарубежных источников, включая современные научные публикации, нормативные документы и классические труды в области физики твёрдого тела и радиационного материаловедения.

Во введении диссертационной работы автор чётко обосновывает актуальность выбранной научной темы, акцентируя внимание на важности исследования воздействия малых потоков тепловых нейтронов на характеристики полупроводниковых материалов CdTe и CdZnTe. В этом разделе последовательно раскрываются цели и задачи, поставленные в рамках исследования, уточняется объект и предмет научной работы. Особое внимание уделено формулировке научной новизны, а также практической значимости полученных результатов, что подчёркивает прикладной потенциал выполненного исследования. Кроме того, автор приводит перечень основных положений, выносимых на защиту, даёт оценку достоверности полученных данных, подтверждённой экспериментами и

анализом, а также определяет свою личную роль и вклад в проведение научного исследования.

В первой главе представлен обзор современных научных взглядов на взаимодействие ионизирующего излучения с полупроводниковыми материалами. Детально рассмотрены механизмы воздействия радиации на кристаллическую структуру и физические свойства материалов, с особым вниманием к эффектам нейтронного облучения. Проведен анализ теоретических и экспериментальных исследований, посвящённых изменению электрофизических и оптических характеристик исследованных соединений при различных дозах облучения.

Вторая глава посвящена методологическим основам работы. Изложены технологии изготовления и подготовки образцов, методика расчёта потоков тепловых нейтронов и облучения. Подробно описаны применённые экспериментальные методы таких как рентгеноструктурный анализ, спектрофотометрические измерения, а также квантово-механические расчёты, направленные на изучение электронной структуры и ширины запрещённой зоны.

В третьей главе подробно изложены экспериментальные исследования влияния тепловых нейтронов на электрофизические и структурные свойства полупроводниковых материалов CdTe и CdZnTe. В работе проведён сравнительный анализ рентгенодифрактограмм образцов до и после воздействия нейтронного облучения с различными величинами потоков. Полученные данные позволили выявить закономерности изменения интенсивности рентгеновских рефлексов в зависимости от дозы облучения, что свидетельствует о влиянии нейтронов на кристаллическую структуру материалов. Анализ изменений ширины и положения дифракционных пиков также позволил сделать выводы о возможных процессах дефектообразования и улучшении кристаллического порядка при определённых условиях облучения. Кроме того, в главе представлены результаты измерений электрофизических параметров, демонстрирующие корреляцию между структурными изменениями и электропроводностью образцов.

Четвёртая глава посвящена комплексному теоретическому и экспериментальному исследованию электронных и оптических свойств CdTe и CdZnTe. Квантово-механические расчёты выполнены в рамках теории функционала плотности (DFT) с использованием программного пакета WIEN2k, что позволило определить энергетическую зонную структуру, плотность состояний и распределение электронных уровней в исследуемых материалах. На основе полученных данных рассчитаны ключевые оптические параметры, такие как коэффициент поглощения, показатель

преломления и ширина запрещённой зоны, которые сравниваются с экспериментальными результатами. Для подтверждения и уточнения теоретических моделей проведены спектрофотометрические измерения методом UV-Vis, предоставляющие информацию о спектральных характеристиках образцов в ультрафиолетовой и видимой областях. В результате интеграции теоретических и экспериментальных данных сформированы выводы о влиянии нейтронного облучения на оптические свойства полупроводников CdTe и CdZnTe.

В заключении подведены итоги работы и сформулированы основные выводы, основанные на комплексном анализе экспериментальных и теоретических данных.

Научная, практическая, экономическая и социальная значимость диссертации. Результаты работы могут быть использованы при разработке радиационноустойчивых детекторных материалов, в солнечной энергетике и микроэлектронике. Работа имеет научное значение для понимания радиационного воздействия на твердые тела, а также практическое значение для производства приборов, работающих в условиях радиации.

Публикация результатов исследования по теме диссертации. В ходе выполнения диссертационной работы было опубликовано 17 научных трудов, что свидетельствует о широком обсуждении и признании результатов исследования в научной среде. Среди них – 1 статья, опубликованная в журнале, индексируемом в международной базе Scopus; 4 статьи, размещённые в рецензируемых изданиях, включённых в список ВАК Республики Таджикистан; а также 12 тезисов докладов, опубликованных в материалах конференций различного уровня – как республиканских, так и международных.

Соответствие диссертации требованиям ВАК. Диссертация Носирзода Мухаммада соответствует требованиям, предъявляемым к работам на соискание степени PhD. Автореферат диссертации соответствует требованиям Порядка присуждения учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года, №267.

Несмотря на это, в диссертации имеются следующие **недостатки**:

1. Ограниченность спектра экспериментальных методов: в работе использованы ценные, но ограниченные по охвату методы исследования. Например, не представлены результаты с использованием электронной микроскопии, флуоресцентной спектроскопии или методов измерения подвижности носителей заряда, что могло бы значительно обогатить исследование.

2. Отсутствие анализа стабильности свойств во времени: не рассматривается, насколько сохраняются или изменяются свойства образцов спустя время после облучения, что важно для практического применения материалов в радиационно-нагруженных условиях.

3. Краткость разделов, касающихся расчётов: квантово-механические расчёты представлены достаточно лаконично. В некоторых местах не приводятся подробности выбора псевдопотенциалов, параметров расчёта или условий сходимости, что затрудняет оценку корректности моделирования.

4. Имеются мелкие орфографические и стилистические ошибки.

Указанные замечания и недостатки в целом не снижают качество и положительную научную оценку данной диссертации и не оказывают отрицательного влияния на её научный уровень.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом, диссертация Носирзода Мухаммад на тему «Влияние малых потоков тепловых нейтронов на электрофизические, структурные и оптические свойства полупроводниковых соединений CdTe и CdZnTe» на соискание учёной степени доктора философии (PhD) – доктор по специальности 6D060400-Физика (6D060407-Физика конденсированного состояния) выполнена на высоком научно-методическом уровне, соответствует требованиям п. 31, 33, 34 и 35 Порядка присуждения учёных степеней, утвержденном постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 года, №267, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени PhD по указанной специальности.

Официальный оппонент:

Заведующий кафедрой общей физики ТГПУ имени С. Айни, кандидат физико-математических наук
« 14 » 08 2025 г.



Зафари Умар

Адрес: 734003, город Душанбе, проспект Рудаки, 121.
Телефон: +992(92) 7263645
E-mail: zafari_umar@mail.ru

Подпись Зафари Умара заверяю:
Начальник УК и СЧ ТГПУ им. С. Айни



Мустафозода А.

Адрес: 734003, город Душанбе, проспект Рудаки, 121.
Телефон: +992(37) 224-13-83
E-mail: info@tgpu.tj
« 14 » 08 2025 г.