



*10.02.2023 № 44/10.02-10*

### **ОТЗЫВ**

**отечественного научного консультанта на диссертационную работу докторанта PhD КазНИТУ им. К.И. Сатпаева по специальности «6D074000 – Наноматериалы и нанотехнологии» Шонгаловой Айгуль на тему «Перспективные методы синтеза и исследование тонкопленочных халькогенидных материалов», представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D074000 – Наноматериалы и нанотехнологии**

Диссертационная работа Шонгаловой Айгуль на соискательство степени PhD посвящена актуальной задаче поиска новых материалов для полупроводниковых технологий и, в частности, тонкопленочной фотоэнергетики будущего. Исследованные в работе халькогенидные соединения имеют высокий потенциал применения благодаря разнообразию методов синтеза тонких пленок и оптимальным оптическим свойствам. Кроме того, относительная неизученность данных материалов открывает возможности для получения новых экспериментальных результатов и проведения перспективных разработок. В ходе исследований соискатель освоила широкий спектр научных методик, начиная от синтеза тонких пленок и получения полупроводниковых структур и завершая характеризацией их оптоэлектронных свойств и анализом спектральных данных.

Диссертация состоит из трех разделов, раскрывающих текущее состояние выбранного исследовательского направления, использованные в работе экспериментальные методы, а также полученные в работе исследовательские результаты и интерпретацию.

В первом разделе освещены актуальные проблемы в области исследования халькогенидных материалов, методы их получения и свойства. Основной акцент поставлен на изучении материалов на основе селенида и сульфида сурьмы, а также выявлении наиболее перспективных способов синтеза с точки зрения последующего внедрения.

Экспериментальные методы исследования описаны во втором разделе работы. Подробно представлены способы подготовки образцов и методики исследования, включая анализы морфологии, фазового состава, оптических и электрических свойств материалов. В качестве исследуемых образцов выбраны материалы как с двоичным, так и троичным стехиометрическим составами с основным уклоном на получение и исследование образцов на основе селенида сурьмы  $Sb_2Se_3$ .

В финальном разделе представлены результаты исследования образцов, полученных различными методами, включая магнетронное распыление, сульфуризацию, селенизацию и электрохимическое осаждение. При этом использован широкий спектр измерительных

методов, комбинация которых позволяет получить всестороннее представление о свойствах исследуемых халькогенидных материалов. Полученные результаты позволили определить условия формирования тройного соединения медь-сурьма-сера, разработать новый способ получения тонких пленок селенида сурьмы и изучить механизм электропроводности в нем, а также идентифицировать причину появления характерного пика при  $250 \text{ см}^{-1}$  в спектрах комбинационного рассеяния  $\text{Sb}_2\text{Se}_3$ . В качестве одного из практических результатов, диссертантом была создана лабораторная установка для химического синтеза из паровой фазы, а также термической и газохимической обработки с целью получения и оптимизации тонких халькогенидных пленок.

Новизна и актуальность представленных в диссертационной работе результатов не вызывают сомнения. По результатам проведенных работ соискателем опубликовано 12 научных трудов, в том числе 5 статей в международных рецензируемых научных журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science, включая 2 статьи в журналах, входящих в 1-й квартиль по данным Journal Citation Reports. В трех из этих статей Айгуль является первым автором, что демонстрирует значительный ее вклад в выполнение важных научно-исследовательских работ мирового уровня. Кроме того, соискателем представлены доклады на международных конференциях, проходивших в дальнем зарубежье и в Республике Казахстан.

В целом диссертационная работа Шонгаловой Айгуль является законченным научным трудом, выполненным на высоком уровне. В процессе выполнения соискатель проявила себя квалифицированным специалистом и надежным членом научной команды. Трудлюбие и упорство позволило Айгуль освоить ряд экспериментальных методов получения, исследования тонкопленочных структур и анализа их спектральных характеристик. Высокий уровень персональной ответственности и открытость к международному сотрудничеству позволили Айгуль эффективно решить поставленные перед ней задачи и опубликовать ряд важных научных работ.

Считаю, что диссертационная работа Шонгаловой Айгуль отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D074000 – Наноматериалы и нанотехнологии», и может быть допущена к публичной защите.

09.01.2023



Токмолдин Н.С., PhD

