

**Отзыв официального рецензента на диссертационную работу
Шонғаловой Айгүл Қабылқызы на тему
«Перспективные методы синтеза и исследование тонкопленочных халькогенидных материалов»
на соискание степени доктора философии (PhD)
по образовательной программе 6D074000 – «Наноматериалы и нанотехнологии»**

№ п/п	Критерии	Соответствие критерии (необходимо отметить один из вариантов ответов)	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) Соответствует направлениям развития науки или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 1) <u>Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета</u> 2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы) 3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научной технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)	Диссертационная работа соответствует приоритетным направлениям развития науки: «Рациональное использование природных ресурсов, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия и конструкции» и «Энергетика и машиностроение». Исследования, приведенные в настоящей диссертации, были выполнены в рамках следующих программ и проектов: - программа целевого финансирования КН МОН РК IRN BR05236404 (2018-2020гг.), -проект грантового финансирования КН МОН РК AP05133651 (2018-2020 гг.), -проекты UID/CTM/50025/2019 и RECI/FIS-NAN/0183/2012 (FCOMP-01-0124-FEDER-027494) в рамках Программы COMPETE 2020 Научно-технического фонда Португалии, проект IF/00133/2015, Португалия, -программа Erasmus 2016/17.
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность <u>хорошо раскрыта</u> /не раскрыта	Результаты, полученные в ходе диссертационной работы, оказывают значительное влияние на развитие научных исследований в области наноматериалов и нанотехнологий. Данные полученные в результате исследования могут быть применены в разработке нано- и микроразмерных полупроводниковых оптоэлектронных устройств, которые имеют множество применений в различных областях, таких как фотовольтаика, литий- и натрий-ионные аккумуляторы, фотодетекторы и другие.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) <u>Высокий</u> 2) Средний 3) Низкий 4) Самостоятельности нет	Автор данной диссертационной работы внес свой значительный вклад, в постановку задач и разработку методов проведения экспериментов, занимался обработкой и анализом полученных данных. В качестве показателя самостоятельности автора можно

	<p>рассматривать его научные публикации, в которых он выступал в роли первого и корреспондирующего автора.</p> <p>Диссертационная работа посвящена синтезу и исследованию фазовой структуры и оптоэлектронных свойств тонких пленок селенида сурьмы и тройных соединений меди-сульфида сурьмы. Актуальность работы подтверждается тем, что результаты опубликованы в журналах с высоким импакт-фактором в первом квартале по базе данных WoS и Scopus. Исследуемые материалы являются перспективными в области изучения и разработки высокоэффективных нано- и микроразмерных полупроводниковых оптоэлектронных устройств.</p>	
<p>4. Принцип внутреннего единства</p>	<p>4.1 Обоснование актуальности диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Обоснована; 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована. 	
	<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Отражает; 2) частично отражает; 3) не отражает. 	
	<p>4.3 Цель и задачи соответствует теме диссертации</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Соответствуют; 2) Частично соответствуют; 3) Не соответствуют. 	
	<p>4.4. Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) полностью взаимосвязаны; 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует. 	
	<p>Диссертационная работа состоит из шести глав, все главы между собой логически связаны и отражают тему диссертации. Работа представляет собой завершённый научный труд, обладает целостностью по изучению структурных и оптоэлектронных свойств нано- и микроразмерных тонких пленок селенида сурьмы и тройных соединений меди-сульфида сурьмы.</p> <p>Поставленные в диссертационной работе цели и задачи соответствуют теме диссертации, и решены в полном объеме. Полнота решения поставленных задач достигнута путем разработки режимов магнетронного распыления при получении бинарных прекурсоров и процессов селенизации и сульфуризации при получении нано- и микроразмерных тонких пленок селенида сурьмы и меди-сульфида сурьмы.</p> <p>В диссертации представлена разработка технологии получения и исследования оптоэлектронных, структурных свойств наноразмерных и микроразмерных пленок халькогенидов. Разделы и научные положения между собой логически взаимосвязаны и обладают единством.</p>	

		<p>4.5. Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) критический анализ есть; 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов. 	<p>Автором проведен глубокий аналитический обзор литературы по методам получения, структурным и оптоэлектронным характеристикам исследуемых материалов различной размерности. Обзор включает в себя научные публикации за период, начиная с более ранних исследований и заканчивая работами, опубликованными в течение последнего года. Методы решения поставленных целей и задач аргументированы, проведен полный анализ и оценка с существующими аналогичными решениями.</p>
<p>5. Принцип научной новизны</p>	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%) <p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%) <p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%) 	<p>Научные результаты являются полностью новыми. К ним относятся:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Впервые исследованы условия формирования тройных фаз $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ и Cu_3SbS_4 при синтезе методом ВЧ магнетронного распыления металлических прекурсоров с последующей сульфуризацией при температурах 140 °С и 180 °С; 2. Впервые для тонких пленок селенида сурьмы предложен прыжковый механизм переноса зарядов при низких температурах за счет скачкообразных перемещений электронов по ближайшим соседним акцепторным уровням, характеризующимся энергией активации ~25 мэВ; 3. Предложена новая интерпретация появления пика при 250 см^{-1} в спектрах комбинационного рассеяния света тонких пленок селенида сурьмы, являющегося следствием локального окисления сурьмы при воздействии лазера повышенной плотности мощности. <p>Выводы диссертации являются полностью новыми.</p> <p>Проведенное комплексное исследование формирования структуры и оптоэлектронных свойств нано- и микроразмерных пленок халькогенидов Sb_2Se_3 и $\text{Cu}_x\text{Sb}_y\text{S}_z$ полученным методом магнетронного распыления с дальнейшей термообработкой, сделаны впервые.</p> <p>Представленные в диссертационной работе методы синтеза наноразмерных пленок халькогенидов Sb_2Se_3 и $\text{Cu}_x\text{Sb}_y\text{S}_z$ технический обоснованы и являются новыми.</p>	<p>Научные результаты являются полностью новыми. К ним относятся:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Впервые исследованы условия формирования тройных фаз $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ и Cu_3SbS_4 при синтезе методом ВЧ магнетронного распыления металлических прекурсоров с последующей сульфуризацией при температурах 140 °С и 180 °С; 2. Впервые для тонких пленок селенида сурьмы предложен прыжковый механизм переноса зарядов при низких температурах за счет скачкообразных перемещений электронов по ближайшим соседним акцепторным уровням, характеризующимся энергией активации ~25 мэВ; 3. Предложена новая интерпретация появления пика при 250 см^{-1} в спектрах комбинационного рассеяния света тонких пленок селенида сурьмы, являющегося следствием локального окисления сурьмы при воздействии лазера повышенной плотности мощности. <p>Выводы диссертации являются полностью новыми.</p> <p>Проведенное комплексное исследование формирования структуры и оптоэлектронных свойств нано- и микроразмерных пленок халькогенидов Sb_2Se_3 и $\text{Cu}_x\text{Sb}_y\text{S}_z$ полученным методом магнетронного распыления с дальнейшей термообработкой, сделаны впервые.</p> <p>Представленные в диссертационной работе методы синтеза наноразмерных пленок халькогенидов Sb_2Se_3 и $\text{Cu}_x\text{Sb}_y\text{S}_z$ технический обоснованы и являются новыми.</p>

6.	Обоснованность основных выводов:	Все основные выводы <u>основаны</u> /не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы	Выводы, приведенные в диссертации, сделаны на основе результатов проведенных экспериментальных физико-химических исследований, и не противоречат теоретическим и практическим закономерностям в нанотехнологиях.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>Положение 1: <u>Корректировка соотношения Cu:Sb в пределах 1,77-1,88 в прекурсорах, полученных методом магнетронного распыления, и их последующая сульфуризация при температурах 140°C и 180°C приводят к формированию тройных фаз $Cu_{12}Sb_4Si_3$ и Cu_3SbS_4.</u></p> <p>7.1 Доказано ли положение?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>доказано</u> 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано <p>7.2 Является ли тривиальным?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) да; 2) <u>нет</u> <p>7.3 Является ли новыми?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>да;</u> 2) нет <p>7.4 Уровень для применения:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) узкий; 2) средний; 3) <u>широкий</u> <p>7.3 Доказано ли в статье?</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) <u>да;</u> 2) нет <p>Положение 2: <u>Появление характерного пика вблизи 250 см^{-1} в спектрах комбинационного рассеяния света тонких пленок Sb_2Se_3 обусловлено локальным окислением сурьмы при снятии спектра, вследствие повышенной плотности мощности используемого лазера.</u></p>	<p>Все три положения выносимые на защиту, доказаны экспериментально с применением передовых методов исследования.</p> <p>Для синтеза наноразмерных и микроразмерных пленок были разработаны режимы магнетронного распыления и процессы сульфуризации и селенизации. Микроструктура и состава наноразмерных пленок изучался на установках со специальными приставками, к примеру дифрактометр PanAnalytical XPert PRO MRD и спектроскоп комбинационного рассеяния света Jobin-Yvon LabRaman HR 800 для проведения in-situ температурных измерений, на сканирующих электронных микроскопах Hitachi Su-70 и NovaNanoSEM 650 оборудованными системой энергодисперсионной спектроскопии Rontec. Оптоэлектронные свойства на установках Bruker Vertex 80v, Shimadzu UV3600 и др. Используемые методы позволили в полном объеме решить все поставленные задачи.</p> <p>Элементы тривиальности в диссертационной работе отсутствуют.</p> <p>Все найденные закономерности и особенности изученных процессов рассматривались не упрощенно, а с позиции современных знаний в области наноматериалов и нанотехнологий. Основные положения, выносимые на защиту, являются новыми. Ранее подобные положения и результаты исследований по теме диссертации не были кем-либо описаны в литературе. Нано- и микроразмерные пленки селенида сурьмы и тройных соединений меди-сульфида сурьмы применяются в фотовольтаике, в твердотельных литий- и натрий-ионных аккумуляторах, термоэлектриках и в других областях.</p> <p>Все положения, выносимые на защиту, доказаны публикациями.</p> <p>На основании полученных экспериментальных данных диссертантом опубликованы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2 статьи в журналах 1-го квартиля базы данных Web of Science и Scopus, - 1 статья в журнале 2-го квартиля базы данных Web of Science,

7.1 Доказано ли положение?

1) доказано

2) скорее доказано

3) скорее не доказано

4) не доказано

7.2 Является ли тривиальным?

1) да;

2) нет

7.3 Является ли новыми?

1) да;

2) нет

7.4 Уровень для применения:

1) узкий;

2) средний;

3) широкий

7.3 Доказано ли в статье?

1) да;

2) нет

Положение 3: Транспорт носителей заряда в тонких пленках Sb_2Se_3 в низкотемпературном режиме осуществляется посредством прыжкового механизма проводимости, характеризующегося энергией активации ~25 мэВ.

7.1 Доказано ли положение?

1) доказано

2) скорее доказано

3) скорее не доказано

4) не доказано

7.2 Является ли тривиальным?

1) да;

2) нет

7.3 Является ли новыми?

1) да;

2) нет

7.4 Уровень для применения:

1) узкий;

– 1 статья в журнале 3-го квартиля базы данных Web of Science,

– 1 статья в журнале, имеющем процентиль выше 25 в базе данных Scopus,

– 1 статья в издании, рекомендуемом Комитетом по контролю в сфере образования и науки РК.

		<p>2) средний; 3) широкий 7.3 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет</p>	
8.	Достоверность источников и предоставляемой информации	<p>8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана: 1) да 2) нет</p> <p>8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий 1) да 2) нет</p> <p>8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента): 1) да 2) нет</p> <p>8.4 Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.</p>	<p>Выбор методики и методологии учитывают закономерности формирования тонких пленок, имеющие два и более составных элемента, в частности бинарных соединений из селенида сурьмы и тройных соединений из меди-сульфида сурьмы. Выбранные методологии позволили получить качественную структуру с желаемыми полупроводниковыми свойствами, подтвержденными различными современными методами исследования, и достаточно подробно описаны.</p> <p>В работе использован комплексный подход, объединивший применение современных методов исследования и методов обработки и демонстрации научных данных.</p> <p>Теоретические выводы, модели, установленные взаимосвязи и закономерности были сделаны на основе экспериментальных данных, полученных при комплексном исследовании методами сканирующей электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, спектроскопией комбинационного рассеяния света, фотолюминесцентная спектроскопия, оптическая спектроскопия поглощения/пропускания, четырехзондовый метод измерения удельного сопротивления, эффект Холла.</p> <p>Полученные в ходе исследования результаты и выводы отражают содержание всех разделов и представлены в публикациях основных научных результатов в рецензируемых международных и отечественных научных изданиях. Достоверность научных выводов работы подтверждаются согласованностью с результатами независимых исследований и выводами, полученными другими авторами.</p>

9.	<p>8.5 Использованные источники литературы <u>достаточно</u>/не достаточно для литературного обзора.</p> <p>9.1 Диссертация имеет теоретическое значение <u>1) да</u> 2) нет</p> <p>9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике <u>1) да</u> 2) нет</p> <p>9.3 Предложения для практики являются новыми? <u>1) полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>В работе приведены список литературы из 199 наименования. Приведенные источники более чем достаточны для формирования литературного обзора диссертационной работы.</p> <p>В диссертационной работе проведены исследования, направленные на изучение нано- и микроразмерных пленок селенида сурьмы и меди-сульфида сурьмы для применения в тонкопленочных оптоэлектронных приборах. По результатам диссертационной работы идентифицирован пик при 250 см^{-1} в тонкопленочном поликристаллическом селениде сурьмы и показаны условия его образования. Изучены условия формирования тройных фаз на основе медь-сурьма-сера на основе разработанной методики. Изучен механизм электрической проводимости в тонких пленках селенида сурьмы в низкотемпературном диапазоне, было показано, что проводимость осуществляется за счет прыжкового механизма по ближайшим соседним акцепторным уровням.</p> <p>Результаты приведенные в диссертационной работе имеют высокую практическую значимость. Практическая польза полученных в диссертации результатов заключается в возможности использования тонких пленок селенида сурьмы и меди сульфида сурьмы в тонкопленочных солнечных элементах, в безопасных твердотельных тонкопленочных литий- и натрий-ионных аккумуляторах и в других приборах.</p> <p><i>Вопрос: Есть новизна, почему результаты не оформлены в виде полезной модели или патента?</i></p> <p><i>Предложение: Большой интерес вызывает применение, полученных образцов в тонкопленочных солнечных элементах.</i></p> <p>Рекомендации для практики являются совершенно новыми.</p> <p>В диссертационной работе последовательно описан процесс снятия спектров комбинационного рассеяния света с нано-, микро- и макроразмерных халькогенидов. Предложены конкретные рекомендации и определенные режимы снятия спектров для данного типа материалов, способствующие для дальнейшей корректной интерпретации колебательных мод исследуемого материала. Также, определены параметры для синтеза качественных структур.</p>
----	---	---

10.	10. Качество написания и оформления	<p>Качество академического письма:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое. 	<p><i>Вопрос: Продолжаются ли работы в данном направлении?</i></p> <p>Качество академического письма высокое. Диссертационная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к таким работам, и отличается внутренним единством. Разделы данной работы логически объединены и направлены на решение поставленных задач.</p> <p><i>Незначительное количество опечаток не снижает качество диссертационной работы.</i></p>
-----	-------------------------------------	--	--

Диссертационная работа Шонгаловой А.К на тему «Перспективные методы синтеза и исследование тонкопленочных халькогенидных материалов», выполнена в полном объеме и соответствует всем требованиям, предъявляемых к диссертационным работам PhD, имеет новизну и актуальность и заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 6D074000 – «Наноматериалы и нанотехнологии».

**Кандидат физико-математических наук,
начальник отдела радиационной физики твердого тела
Института ядерной физики МЭ РК**

Кислицин С.Б.



**Отзыв Кислицина С.Б. заверяю,
Ученый секретарь Института ядерной физики МЭ РК**

Бекбаев А.К