ОТЗЫВ

официального рецензента на диссертационную работу

Пузиковой Дарьи Сергеевны на тему «Структура и физические свойства новых полупроводниковых материалов на основе сложнооксидных систем для фотоэлектрохимических солнечных элементов», предоставленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D071000 (8D07110) – Материаловедение и технология новых материалов»

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (подчеркнуть один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента (замечания выделить курсивом)
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 1) диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы); 2) диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы); 3) диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).	Диссертационная работа Пузиковой Д.С. соответствует приоритетным направлениям науки и государственным программам Республики Казахстан в области фундаментальных и прикладных исследований. Диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательских работ по программе грантового финансирования научных исследований КН МОН РК по темам: 1) AP05130392 «Повышение энергоэффективности фотоэлектрохимических солнечных элементов за счет применения новых полупроводниковых материалов» (2018-2020 гг.), 2) AP08856338 «Фотоэлектрохимические солнечные элементы на основе тонкопленочных полупроводниковых соединений висмута» (2020-2022 гг.).

2.	Важность для науки	Работа **вносит**/не вносит существенный вклад в науку, а ее важность **хорошо раскрыта**/не раскрыта.	Диссертационная работа представляет собой весомый научный труд, направленный на расширение фундаментальных представлений о свойствах полупроводниковых материалов, применяемых в фотоэлектрохимических системах. Полученные автором результаты вносят существенный вклад в развитие научного направления, связанного с конверсией солнечной энергии и водоразложением. Особый интерес с научной точки зрения представляют исследования состава, структуры и функциональных характеристик материалов с улучшенными фотоэлектрическими и каталитическими свойствами. Эти данные обогащают современное понимание механизмов фотоиндуцированных процессов на границе раздела фаз и могут служить основой для дальнейших фундаментальных исследований в области материаловедения, фотоэлектрохимии и энергетики будущего. Работа актуальна и своевременна, она поднимает важные научные вопросы и предлагает решения, значимые для развития устойчивых энергетических технологий.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) **высокий**;	При выполнении диссертационной работы соискатель проявил высокую

		2) средний; 3) низкий; 4) самостоятельности нет.	степень самостоятельности. Соискатель не только принимал непосредственное участие, но и, будучи ответственным исполнителем проектов, руководил постановкой экспериментов по получению сложнооксидных полупроводниковых тонких пленок, проводимого исследовательской группой, а также самостоятельно разрабатывал методику примесной и поверхностной модификации тонких пленок сложнооксидной системы медь-висмут ($CuBi_2O_4$). В процессе исследования состава, структуры и фотоэлектрохимических свойств тонких плёнок $CuBi_2O_4$ до и после модификации автором лично выполнено исследование фотоэлектрохимических свойств получаемых образцов методом PEC, а также проведён анализ экспериментальных данных, полученных с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), спектроскопии комбинационного рассеяния (Раман-спектроскопии) и расшифрованы спектры рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС).
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) **обоснована**; 2) частично обоснована; 3) не обоснована.	Актуальность представленной диссертационной работы не вызывает сомнений. Автор исследует перспективные сложнооксидные материалы на основе меди и висмута, обладающие высоким потенциалом

			применения в области солнечной энергетики. Проведённые исследования демонстрируют возможность управления функциональными свойствами этих соединений путём направленного изменения их состава и структуры. Полученные результаты не только расширяют научные представления о фотоэлектрохимических материалах, но и открывают перспективы для разработки эффективных солнечных преобразователей нового поколения.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) **отражает**; 2) частично отражает; 3) не отражает.	Результаты анализа научно-технической литературы, а также представленные расчетные и экспериментальные данные в полной мере соответствуют заявленной теме диссертационного исследования и подтверждают актуальность и обоснованность поставленных задач.
		4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) **соответствуют**; 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют.	Цели и сформулированные задачи диссертации логично вытекают из общей тематики исследования и находятся в полном соответствии с заявленной темой работы. Все задачи взаимосвязаны между собой и последовательно направлены на достижение поставленной цели.
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) **полностью взаимосвязаны**; 2) взаимосвязь частичная;	Все разделы и положения диссертационной работы логично структурированы и взаимосвязаны, что свидетельствует о глубоком понимании

		3) взаимосвязь отсутствует.	автором исследуемой проблемы. Работа представляет собой завершенное научное исследование, отличающееся полнотой анализа, обоснованностью полученных результатов и четкостью сформулированных выводов.
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:	В каждой главе диссертационной работы представлены выводы, отражающие не только критический анализ проведенного исследования, но и авторское видение рассматриваемых научных вопросов. Предложенные методы исследований логично вытекают из поставленных задач, являются обоснованными и аргументированными с научной точки зрения. Автор также проводит сравнительный анализ полученных в диссертационном исследовании результатов и уже известных в мировой практике данных.
		1) **критический анализ есть**;	
		2) анализ частичный;	
		3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов;	
		4) анализ отсутствует.	
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми?	Научные результаты и основные положения, представленные в диссертационной работе, обладают новизной и оригинальностью. Данный факт подтверждается соответствующими публикациями автора в рецензируемых научных изданиях, входящих в базы данных Scopus и Web of Science, а также докладами на международных конференциях.
		1) **полностью новые**;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	
		5.2 Выводы диссертации являются новыми?	Выводы, представленные в диссертационной работе, отличаются
		1) **полностью новые**;	

		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	полной научной новизной и основаны на результатах собственных расчетно-экспериментальных исследований соискателя, подробно изложенных в работе.
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:	Научная новизна технических решений, предложенных в диссертационной работе, обусловлена применением комплексного подхода, включающего использование разноплановых методов исследования и оригинального экспериментального материала. Новый подход к модифицированию поверхности и состава многокомпонентных полупроводниковых соединений, предложенный и исследованный автором, представляется экономически и технологически перспективным.
		1) **полностью новые**;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы **основаны**/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (куолитатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Достоверность и обоснованность выводов подтверждается совокупностью расчетно-экспериментальных данных, полученных автором, а также публикацией основных результатов в рецензируемых научных изданиях. Выводы отличаются логической согласованностью и соответствуют сформулированным положениям диссертации.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:	Положение 1. Получение тонких пленок на основе сложнооксидной системы медь-висмут состава $CuBi_2O_4$ модифицированных
		7.1 Доказано ли положение?	

		1) доказано; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано; 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно. 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно. 7.3 Является ли новым? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно. 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно. 7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	серебром с заданной структурой достигнуто в результате одностадийного процесса методом совместного электроосаждения. В пленках $CuBi_2O_4(Ag)$ серебро частично встраивается в кристаллическую решетку, замещая атомы висмута, а также присутствует на поверхности пленок $CuBi_2O_4$ в виде смеси оксидов Ag_2O и Ag-O. **7.1 Доказано** **7.2 Нет** **7.3 Да** **7.4 Широкий** **7.5 Да** Положение 2. Эффективная модификация поверхности пленок $CuBi_2O_4$ примесью платины достигнута оптимизированным методом dip coating с использованием H_2PtCl_6. При этом на поверхности пленок $CuBi_2O_4$ образуются игольчатые структуры платины с размерами длиной ~100-200 нм и диаметром до 40 нм в химическом состоянии Pt^0, не образующие связи с матрицей. **7.1 Доказано** **7.2 Нет** **7.3 Да** **7.4 Широкий** **7.5 Да** Положение 3.

			Существенное увеличение квантовой эффективности (в 4 раза) фотокатодов на основе тонких пленок сложнооксидной системы медь-висмут $CuBi_2O_4$ достигается путем модифицирования матрицы пленок серебром с концентрацией до 1 ат. %. **7.1 Доказано** **7.2 Нет** **7.3 Да** **7.4 Широкий** **7.5 Да** Положение 4. Модифицирование поверхности тонких пленок сложнооксидной системы медь-висмут $CuBi_2O_4$ наночастицами платины (до 10 ат %) методом dip coating существенно увеличивает выход водорода (в 7 раз) при фотокаталитическом процессе. **7.1 Доказано** **7.2 Нет** **7.3 Да** **7.4 Широкий** **7.5 Да**
8.	Принцип достоверности.	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана:	Применённые методы и методические подходы подобраны адекватно поставленным задачам и обоснованы с научной точки зрения. Использование соответствующего исследовательского оборудования позволило получить корректные и воспроизводимые
	Достоверность источников и предоставляемой информации	1) **да**;	
		2) нет.	

			результаты, что свидетельствует о высоком уровне проведения экспериментов.
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:	В диссертационной работе автор использовал широкий спектр современных научных методов, что обеспечило всесторонний и достоверный анализ исследуемых материалов. Для изучения состава и структуры тонких плёнок были задействованы энергодисперсионный анализ, сканирующая электронная микроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния, а также рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия высокого разрешения. Фотоэлектрохимические свойства плёнок исследовались методами РЕС. Комплексное применение указанных методик позволило не только получить полноценное представление о свойствах полученных материалов, но и убедительно обосновать актуальность и направленность проводимых исследований.
		1) **да**;	
		2) нет.	
		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):	Выводы, представленные в диссертационной работе, имеют убедительное обоснование и опираются на оригинальные расчетно-экспериментальные данные, полученные непосредственно в ходе выполнения диссертационного исследования.
		1) **да**;	

		2) нет.	
		8.4 Важные утверждения **подтверждены**/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Ключевые положения диссертационной работы подтверждаются ссылками на современную и достоверную научную литературу. Все источники, используемые для обоснования утверждений, представлены в рецензируемых научных изданиях, что подчеркивает научную добросовестность автора.
		8.5 Использованные источники литературы **достаточны**/не достаточны для литературного обзора.	Использованные источники литературы достаточны для литературного обзора. Список научной литературы насчитывает 219 наименований.
9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:	Диссертационная работа представляет значительный интерес с теоретической точки зрения. Автор не ограничился лишь прикладными аспектами модифицирования полупроводниковых тонких плёнок, а провёл глубокое исследование механизмов внедрения примесных компонентов как в структуру материала, так и на его поверхность. Особо следует отметить детальный анализ энергетических спектров, выполненный на высоком научном уровне. Полученные данные вносят весомый вклад в развитие материаловедения, в частности в область полупроводниковых и материалов, и способствуют расширению фундаментальных знаний о взаимосвязи между составом, структурой и свойствами модифицированных оксидных систем.
		1) **да**;	
		2) нет.	

		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:	Диссертационная работа обладает высокой практической значимостью. Представленные в ней результаты отличаются прикладной направленностью и имеют очевидный потенциал для внедрения в разработку новых функциональных материалов. Особенно следует подчеркнуть актуальность исследования для области полупроводниковых систем, применяемых в фотоэлектрохимии и водородной энергетике. Полученные данные могут стать основой для дальнейших прикладных разработок в сфере преобразования солнечной энергии и генерации водорода, что подчёркивает не только научную, но и технологическую ценность выполненной работы.
		1) **да**;	
		2) нет.	
		9.3 Предложения для практики являются новыми:	Диссертационная работа отличается наличием технологической новизны в практических подходах к модификации сложнооксидных полупроводниковых плёнок. Предложенные автором методы внедрения примесей и поверхностной обработки исследуемого материала представляют собой новые решения, ориентированные на повышение фотоэлектрохимической активности материала. Представленные методические приёмы могут стать основой для последующих разработок в области создания эффективных фотоэлектрохимических систем.
		1) **полностью новые**;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	

10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) **высокое**; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Диссертационная работа выполнена на высоком уровне академического письма, отличается ясностью изложения и грамотным использованием научно-технической лексики. Текст диссертации отражает высокий уровень подготовки соискателя и представляет собой целостное завершенное научное исследование.
11.	Замечания к диссертации	1.) П. 1.4.1.1. Стр. 23. Не представлена или график с данными о повышенной фотостабильности фотоэлектрода из $CuBi_2O_4$ 2.) Стр. 25 – непонятно какая величина скорости или давления на манометре была для легирующих газов при PVD методе осаждения 3.) П. 1.4.2.1 Недостаточно дано описание метода 4.) П. 1.4.2.2. Недостаточно описаны химические процессы 5.) П. 1.5. Не описана физика процессов, но есть ссылки. 6.) Стр. 58 – Не приведён анализ методов подготовки подложек 7.) Стр. 61 – Необходимо доказано, но не доказано достаточно либо неясно показано в тексте, что технология позволяет получить плёнки с контролируемым составом, толщиной и улучшенной адгезией. 8.) Стр. 62 – Дана выжимка из опубликованных работ (приведены ссылки на работы), но данные не приведены в тексте диссертации 9.) Рис. 2.23 – т.к. используются абсолютные единицы интенсивности, то утверждение о том, что интенсивность полос Bi4f – уровней уменьшается с увеличением концентрации серебра не доказано со стороны достаточности. Автор диссертации продемонстрировал высокий уровень работы, и диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к уровню PhD. Замечания, которые были высказаны, призваны помочь автору улучшить будущие исследования, но они не влияют на общую положительную оценку его работы.	

12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	Публикации соискателя по теме диссертационного исследования характеризуются высоким научным уровнем. В них последовательно изложены ключевые результаты, полученные в рамках диссертационной работы.
13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	Диссертационная работа Пузиковой Дарьи Сергеевны на тему «Структура и физические свойства новых полупроводниковых материалов на основе сложнооксидных систем для фотоэлектрохимических солнечных элементов» полностью соответствует всем требованиям, предъявляемым Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МНВО РК к диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по специальности «6D071000 (8D07110) – Материаловедение и технология новых материалов».

Официальный рецензент:

Заместитель директора по научно-исследовательской деятельности, заведующий лабораторией инновационных функциональных материалов ТОО «Физико-технический институт», PhD

Чучвага Н.А.