

**Письменный отзыв официального рецензента на диссертационную работу
Күспанова Жәнісбеке Боранбайұлы, выполненной в форме серии статей на тему
«Разработка и исследование Al-допированного фотокатализатора на основе StTiO₃ с двойными сокатализаторами
для эффективной очистки воды и получения водорода», представленной на соискание степени доктора философии (PhD)
по образовательной программе 8D07103 – «Материаловедение и инженерия»**

№ 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: <u>1) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы);</u> <u>2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы);</u> <u>3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).</u>	Диссертационная работа на тему «Разработка и исследование Al-допированного фотокатализатора на основе StTiO ₃ с двойными сокатализаторами для эффективной очистки воды и получения водорода» выполнена в рамках научных программ и проектов: Конкурс грантового финансирования Комитета науки МОН РК на 2022-2024 годы ИРН AP14869381 на тему «Разработка композитного фотокатализатора StTiO ₃ @Al/Оксид графена для эффективного получения водорода путем разложения воды» и «Одномерные и трехмерные фотокаталитические системы для получения водорода разложением водных смесей», финансируемого в рамках программно-целевого финансирования грантов «Разработка и развитие новых инновационных устройств, материалов и наукоемких технологий для внедрения и использования водородной энергетики в Казахстане» ИРН BR18574073 МОН РК (2022 – 2024 гг.). Исследование соответствует приоритетному направлению развития науки: «Энергия, передовые материалы и транспорт».
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность <u>хорошо</u> раскрыта/не раскрыта.	Диссертационная работа Күспанова Ж. Б. представляет собой значимый научный труд, внесший существенный вклад в развитие науки в области фотокатализа, материаловедения и инженерии. Исследование направлено на решение актуальной задачи повышения эффективности фотокаталитических процессов путем разработки и совершенствования Al-допированных перовскитных материалов StTiO ₃ , модифицированных двойными

		сокатализаторами Rh/Cr ₂ O ₃ и CoOОН. Автором предложен научно обоснованный подход, включающий структурную модификацию, регулирование электронной структуры и оптимизацию процессов разделения фотогенерированных зарядов. Полученные результаты позволили установить новые закономерности, определяющие взаимосвязь между составом, структурой и фотокаталитическими свойствами материалов, что открывает перспективы практического применения разработанных систем в технологиях солнечного водородного производства и экологически безопасной очистки воды.	
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) <u>высокий</u> ; 2) средний; 3) низкий; 4) самостоятельности нет.	Докторант проявил высокий уровень самостоятельности при выполнении диссертационной работы. Им самостоятельно проведены все ключевые этапы исследования — от анализа литературы и постановки научных задач до выполнения экспериментов и интерпретации результатов. Автор лично осуществил синтез и модификацию фотокатализаторов StTiO ₃ :Al, нанесение двойных сокатализаторов Rh/Cr ₂ O ₃ и CoOОН методом фотоосаждения, а также исследование их структурных и оптических свойств современными методами анализа. Самостоятельность докторанта подтверждается серией публикаций в ведущих международных журналах, что свидетельствует о его способности к независимому исследованию и высоком уровне профессиональной подготовки.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <u>обоснована</u> ; 2) частично обоснована; 3) не обоснована.	Диссертационная работа демонстрирует высокий уровень самостоятельности, выражающийся в целостности и последовательности выполнения всех этапов исследования. Отбор направлений анализа, выбор методов синтеза и модификации фотокатализаторов StTiO ₃ :Al, а также разработка подхода с использованием двойных сокатализаторов Rh/Cr ₂ O ₃ и CoOОН осуществлены автором самостоятельно. Все этапы — от теоретического обоснования до экспериментальной проверки — логически взаимосвязаны и подчинены единой научной цели повышения эффективности фотокаталитических процессов. Полученные результаты отражают сформировавшийся исследовательский стиль автора, его способность самостоятельно принимать научные решения и обеспечивать

	Высокое качество выполнения комплексных экспериментов.
4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) <u>отражает</u> ; 2) частично отражает; 3) не отражает.	Диссертационная работа Куспанова Ж. Б., выполненная в форме серии статей, демонстрирует высокий уровень самостоятельности автора. Каждая публикация отражает отдельный, самостоятельно реализованный этап комплексного исследования — от синтеза и структурно-фазового анализа алюминием-допированных перовскитных материалов SrTiO ₃ до изучения влияния двойных сокатализаторов Rh/Cr ₂ O ₃ и CoOON на их фотокаталитическую активность. Автор самостоятельно формулировал научные задачи, выбирал методы исследования и интерпретировал полученные результаты, обеспечивая логическую последовательность и научную целостность всей работы. Совокупность представленных статей подтверждает высокий уровень исследовательской самостоятельности, научной зрелости и ответственности докторанта за полученные результаты.
4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) <u>соответствуют</u> ; 2) частично соответствуют; 3) не соответствуют.	Поставленные цели и задачи в диссертационной работе полностью соответствуют ее теме и решены в полном объеме. Исследование отличается внутренним единством и научной целостностью, обеспеченными комплексным подходом, включающим синтез, модификацию и анализ алюминием-допированных перовскитных фотокатализаторов SrTiO ₃ , а также изучение влияния двойных сокатализаторов Rh/Cr ₂ O ₃ и CoOON на их фотокаталитическую активность. Каждая статья, входящая в состав диссертации, отражает решение отдельной задачи исследования — от оптимизации условий синтеза и легирования до экспериментального подтверждения высокой эффективности фотокаталитических систем при деградации органических загрязнителей и разложении воды под действием солнечного излучения. Таким образом, цели и задачи работы четко соответствуют ее теме, а их последовательное выполнение обеспечивает логическую взаимосвязь и завершенность диссертационного исследования.
4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) <u>полностью взаимосвязаны</u> ;	Все научные статьи, входящие в состав диссертационной работы Куспанова Ж. Б., логически взаимосвязаны и объединены общей научной концепцией. Во всех публикациях последовательно прослеживается единая линия

	2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует.	исследований, направленных на разработку и оптимизацию алюминием-допированных перовскитных фотокатализаторов SrTiO_3 и изучение влияния двойных сокатализаторов $\text{Rh/Cr}_2\text{O}_3$ и CoOOH на их фотокаталитическую активность. Результаты, представленные в каждой статье, дополняют друг друга, раскрывая различные аспекты одной научной задачи — повышения эффективности фотокаталитических процессов для водоочистки и фотокаталитического разложения воды. Таким образом, серия публикаций образует целостное и логически выстроенное исследование, отличающееся внутренней согласованностью и направленностью на достижение общей цели.
	4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) <u>критический анализ есть</u>; 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов; 4) анализ отсутствует.	В диссертационной работе представлена обоснованная система новых научно-технических решений, направленных на повышение эффективности фотокаталитических процессов в перовскитных материалах. Проведенный автором анализ существующих подходов позволил выявить их ограничения и предложить усовершенствованные методы модификации SrTiO_3, основанные на алюминиевом легировании и нанесении двойных сокатализаторов $\text{Rh/Cr}_2\text{O}_3$ и CoOOH методом фотоосаждения. Такие решения обеспечивают эффективное пространственное разделение зарядов и снижение их рекомбинации, что подтверждено экспериментальными данными и сравнением с известными аналогами. Разработанные методы синтеза и модификации отличаются аргументированностью, научной новизной и демонстрируют явные преимущества в повышении активности и стабильности фотокатализаторов при фотокаталитическом разложении и очистке воды.
5.	Принцип научной новизны 5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%).	Представленные в диссертационной работе научные результаты и положения обладают несомненной новизной и отражают значимый вклад в развитие фундаментальных основ фотокатализа и материаловедения. Автором обоснован и реализован комплексный подход к повышению эффективности Al-допированного SrTiO_3, основанный на управлении легированием структуры и селективном фотоосаждении двойных сокатализаторов $\text{Rh/Cr}_2\text{O}_3$

		и CoOOH. Данный подход обеспечивает оптимизацию электронной структуры, способствует эффективному пространственному разделению фотогенерированных зарядов и снижению их рекомбинации, что приводит к существенному росту фотокаталитической активности в реакциях очистки и разложения воды. Новизна полученных результатов подтверждается данными структурных, оптических и фотоэлектронных исследований, выявивших влияние алюминиевого легирования на формирование кислородных вакансий и улучшение процессов переноса заряда. Полученные закономерности углубляют существующие научные представления о механизмах фотокатализа в перовскитных системах и формируют основу для дальнейшего развития высокоэффективных фотокаталитических материалов нового поколения.
	5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%).	Выводы, сформулированные в диссертационной работе, обладают научной новизной и отражают весомый вклад автора в развитие современного направления фотокатализа и функциональных перовскитных материалов. 1. Установлено, что при синтезе SrTiO_3 методом химического осаждения последующая температура кальцинации влияет на размеры, чистоту и кристалличность частиц SrTiO_3, при этом температура кальцинации 1100°C позволяет получать частицы SrTiO_3 с высокой кристалличностью и чистотой; 2. Показано, что использование метода расплавленного флюса позволяет вводить Al в SrTiO_3 без изменения кристаллической структуры матрицы. Установлено, что легирование Al способствует подавлению рекомбинационных центров Ti^{3+} и формированию кислородных вакансий, повышающих фотокаталитическую эффективность; 3. Обнаружено, что нанесение двойных сокатализаторов ($\text{Rh}/\text{Cr}_2\text{O}_3$ и CoOOH) на поверхность $\text{SrTiO}_3@\text{Al}$ методом фотоосаждения ускоряет разделение фотогенерированных зарядов и снижает рекомбинацию фотогенерированных электронно-дырочных пар. Кроме того, синтезированный композит показал улучшенную фотокаталитическую активность в деградации MB под видимым светом (89% за 60 минут), что превышает активность $\text{SrTiO}_3@\text{Al}$ и

		StTiO₃ в 4,9 и 6,6 раза соответственно; 4. Доведено, что концепция панельного реактора для разложения воды является эффективным методом для масштабного производства недорогого возобновляемого солнечного водорода. Композит Rh/Cr₂O₃/StTiO₃@Al/CoOOH способен производить 106 мл водорода в час в реальных условиях с использованием фотокаталитического реактора площадью 1 м².
5.3	Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:	Предложенные в диссертационной работе технические и технологические решения являются новыми, обоснованными и научно подтвержденными. Автором разработана оптимизированная методология синтеза Al-допированного StTiO₃ с использованием метода расплавленного флюса, обеспечивающего равномерное внедрение алюминия в кристаллическую решетку без нарушения ее структуры. Это решение способствует улучшению кристалличности, снижению концентрации дефектов Ti³⁺ и повышению эффективности переноса заряда. Технологически обосновано применение селективного фотоосаждения двойных сокатализаторов Rh/Cr₂O₃ и CoOOH, что обеспечивает пространственное разделение фотогенерированных зарядов и устойчивое протекание процессов очистки и разложения воды под действием солнечного света. Предложенные решения не только демонстрируют высокую фотокаталитическую активность и стабильность материалов, но и обладают экономическими преимуществами за счет использования доступных компонентов и возможности масштабирования технологии в промышленных фотохимических системах. Это подтверждает практическую целесообразность и инновационный характер предложенных технических и технологических подходов.
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы <u>основаны</u>/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research) Основные выводы диссертационной работы основаны на достоверных, научно обоснованных и экспериментально подтвержденных данных. Результаты исследования получены с применением современного комплекса физико-химических методов анализа, включая рентгенофазовый анализ

	(кулолитатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	(XRD), электронную микроскопию (SEM, TEM), рентгеновскую фотоэлектронную спектроскопию (XPS) и диффузно-отражательную спектроскопию (UV-Vis DRS). Все выводы логически вытекают из представленных результатов и согласуются с современными теоретическими представлениями в области фотокатализа и материаловедения. Сопоставление полученных данных с литературными источниками подтверждает их достоверность и научную обоснованность. Таким образом, основные положения диссертации являются убедительно доказанными, методологически корректными и подтверждёнными результатами комплексных экспериментальных исследований.
7. Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? <u>1) доказано;</u> 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; <u>2) нет;</u> 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно. 7.3 Является ли новым? <u>1) да;</u> 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно.	Положение 1: Повышение температуры кальцинации от 800 до 1100 °C при синтезе SrTiO_3 методом химического осаждения способствует увеличению размеров и кристалличности частиц, а также улучшению чистоты за счет полного разложения промежуточного продукта SrCO_3. Последующее легирование Al подавляет нежелательные рекомбинационные центры Ti^{3+} и способствует увеличению концентрации кислородных вакансий. <u>1) доказано;</u> 2) не является тривиальным; 3) является новым; 4) уровень применения — средний; 5) доказано в статье. Положение 2: Нанесение двойных сокатализаторов ($\text{Rh}/\text{Cr}_2\text{O}_3$ и CoOOH) на поверхность $\text{SrTiO}_3@Al$ методом фотоосаждения существенно повышает фотокаталитическую активность благодаря эффективному разделению фотогенерированных зарядов; синтезированный композит показал 89% деградации органического загрязнителя под видимым светом за 60 минут ($k = 0,0312 \text{ мин}^{-1}$). <u>1) доказано;</u> <u>2) не является тривиальным;</u> <u>3) является новым;</u>

	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.	4) уровень применения — широкий; 5) доказано в статье. Положение 3: Модифицированный композит Rh/Cr₂O₃/SrTiO₃@Al/CoOON демонстрирует значительно улучшенные показатели фотокаталитического выделения водорода — 11,04 ммоль·г⁻¹·ч⁻¹, что в 2300 и 3067 раз выше по сравнению с SrTiO₃@Al и чистым SrTiO₃ соответственно. В панельном реакторе площадью 1 м² композит способен производить 106 мл водорода в час под солнечным освещением. 1) доказано; 2) не является тривиальным; 3) является новым; 4) уровень применения — широкий; 5) доказано в статье.
8.	Принцип достоверности. Достоверность источников и предоставляемой информации	В диссертационной работе представлена обоснованная и методологически выверенная стратегия исследования, соответствующая представленным научным задачам. Применен комплекс современных методов синтеза и анализа, включающий химическое осаждение, метод расплавленного флюса и селективное фотоосаждение двойных сокатализаторов Rh/Cr₂O₃ и CoOON, что гарантирует научную достоверность и воспроизводимость полученных результатов.
	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана: 1) да; 2) нет.	Результаты диссертационной работы получены с использованием современного научного оборудования и комплекса высокоточных методов исследования структуры и свойств фотокатализаторов. В работе применены передовые аналитические методики — XRD, SEM, TEM, XPS и UV-Vis DRS, а также методы квантово-механического моделирования (DFT) с использованием программного пакета Quantum ESPRESSO для анализа электронной структуры и энергетических характеристик материалов. Такой подход обеспечивает достоверность, воспроизводимость и высокую научную обоснованность полученных результатов.
8.3	Теоретические выводы, модели,	Теоретические выводы, сформулированные в диссертационной работе

9	Принцип практической ценности	выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента): 1) <u>да</u>; 2) нет.		Куспанова Ж. Б., получили убедительное экспериментальное подтверждение. Сопоставление результатов DFT моделирования с данными структурного, электронного и фотокалалитического анализа показало их полное соответствие и взаимную согласованность. Такое совпадение теории и эксперимента свидетельствует о корректности предложенной модели и высокой степени достоверности полученных научных результатов.
		8.4	Важные утверждения <u>подтверждены</u> /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Важные научные утверждения и результаты, представленные в диссертационной работе, опираются на широкий круг актуальных и достоверных источников научной литературы. Автор использует современные публикации из ведущих международных журналов, индексируемых в базах Scopus и Web of Science, демонстрируя глубокое знание текущего состояния исследований. Такой подход обеспечивает научную надежность, аргументированность и достоверность представленных выводов.
		8.5 И использованные источники литературы <u>достаточно</u> /не достаточно для литературного обзора.		В представленной диссертационной работе, выполненной в форме серии статей, важнейшие теоретические и экспериментальные положения подкреплены ссылками на современные и достоверные научные источники. Каждая статья включает аналитический обзор, отражающий текущее состояние исследований в области фотокалализа, легирования SrTiO_3 и применения двойных сокалализаторов. Такой подход обеспечивает научную аргументированность, достоверность и внутреннюю согласованность всей работы.
		9.1	Диссертация имеет теоретическое значение:	Диссертационная работа Куспанова Ж. Б., выполненная в форме серии статей, имеет существенное теоретическое значение, поскольку расширяет научные представления о влиянии алюминиевого легирования и двойных сокалализаторов на процессы переноса зарядов и фотокалалитическую активность перовскитных систем SrTiO_3 .
		9.2 Диссертация имеет практическое значение		Представленная диссертационная работа отличается выраженной

		и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да</u> ; 2) нет.	практической направленностью, поскольку её результаты могут быть применены при разработке высокоэффективных фотокаталитических систем для очистки воды и получения водорода под действием солнечного излучения, что имеет важное значение для устойчивых энергетических и экологических технологий.
		9.3 Предложения для практики являются новыми: 1) <u>полностью новые</u> ; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%).	В диссертационной работе представлены новые и практически значимые предложения, направленные на повышение эффективности фотокаталитических процессов, включая впервые обоснованное применение Al-допированного SrTiO_3 с двойными сокатализаторами $\text{Rh}/\text{Cr}_2\text{O}_3$ и CoOOH для очистки и солнечного разложения воды.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) <u>высокое</u> ; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Академический стиль изложения диссертационной работы, представленной в форме серии статей, отличается высоким уровнем качества: тексты публикаций написаны последовательно, аргументированно и соответствуют международным требованиям к научным исследованиям, что способствует их ясности и научной убедительности.
11.	Замечания к диссертации	Следует уточнить обоснование выбора температуры кальцинации SrTiO_3 и представить методологию проведения фотокаталитических экспериментов в презентации. Также рекомендуется заменить некоторые иллюстрации во вводной части и добавить дифрактограммы всех образцов. Отмеченные замечания носят технический характер и не снижают научной ценности диссертационной работы.	
12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии официальных рецензенты	Представленные в диссертационной работе Куспанова Ж. Б. научные статьи отличаются высоким уровнем научной и методологической проработки и полностью соответствуют требованиям, предъявляемым к публикациям международного уровня. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, включая 9 статей в журналах, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus, и 1 статью в издании, рекомендованном Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования. Публикации отражают высокую степень самостоятельности автора, актуальность выбранного направления, научную новизну и достоверность полученных результатов.	

комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	
13. Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	Диссертационная работа Кұспанова Жәнісбека Боранбайұлы, выполненная в форме серии статей, полностью соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD). Работа отличается научной новизной, актуальностью тематики, высокой степенью самостоятельности автора и практической значимостью полученных результатов. Считаю, что Кұспанов Жәнісбек Боранбайұлы заслуживает присуждения учёной степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07103 – «Материаловедение и инженерия».

Официальный рецензент

Доктор PhD, ассоциированный профессор
Школа информационных технологий и
прикладной математики (SITAM),
SDU University




Бакранова Д. И.

