



**ВЫПИСКА ИЗ ПРОТОКОЛА №**  
Расширенного заседания кафедры  
«Материаловедение, нанотехнология и инженерная физика»  
Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

г. Алматы

«19» августа 2025 г.

**Председатель:** Какимов У.К. – к.т.н., ассоц. профессор, зав. кафедрой МНиИФ.

**Секретарь:** Кемелбекова А.Е. – доктор PhD, старший преподаватель кафедры МНиИФ.

Присутствовали (в соответствии с Положением о Диссертационном совете, не менее 2/3 членов кафедры): всего 12 членов кафедры, из них присутствовали 9 членов кафедры. Какимов У.К. – к.т.н., зав. кафедрой; Кудайбергенов К.К. – доктор PhD, ассоц. профессор; Смагулов Д.У. – д.т.н., профессор; Сейтхан А. – доктор PhD, профессор; Бейсебаева А.С. – к.ф.-м.н., ассоц. профессор; Алихайдарова Э.Ж. – доктор PhD, старший преподаватель, Кемелбекова А.Е. – доктор PhD, старший преподаватель; Ыбырайымқұл Д.Т. – преподаватель; Етиш Т.Е. – преподаватель.

Со стороны: Астемесова К.С. – доктор PhD, зав. кафедрой Общей физики, Даулбаев Ч.Б. – доктор PhD, ассоц. профессор института ядерной физики (ИЯФ), Серік А.С. – научный сотрудник, ИЯФ, Баратов А.Г. – младший научный сотрудник, ИЯФ

**ПОВЕСТКА ДНЯ:**

Обсуждение диссертационной работы PhD докторанта кафедры «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика» Құспанова Жеңісбека Боранбайұлы на тему «Разработка и исследование Al-допированного фотокатализатора на основе SrTiO<sub>3</sub> с двойными сокатализаторами для эффективной очистки воды и получения водорода», выполненной в форме серии статей, представленной на соискание степени

доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07103 - «Материаловедение и инженерия».

**Научные консультанты:**

- Даулбаев Чингис Баянович, доктор PhD, ассоциированный профессор, ИЯФ (Алматы, Казахстан);
- Исадыков Айдос Нурланович, доктор PhD, ассоциированный профессор, Объединенный институт ядерных исследований (г. Дубна, Россия);

**Рецензенты:**

- Сейтхан Азат - доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика», Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова, КазННТУ имени К.И. Сатпаева.
- Бейсебаева А.С. - кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор кафедры «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика», Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова, КазННТУ имени К.И. Сатпаева.

**СЛУШАЛИ:**

**Председатель Какимов У.К.:** Құспанов Жеңісбек Боранбайұлы обучался в докторантуре по образовательной программе 8D07103 - «Материаловедение и инженерия» в НАО КазННТУ им. К.И.Сатпаева в 2022–2025 гг.

В настоящее время он завершил диссертационную работу на тему: «Разработка и исследование Al-допированного фотокатализатора на основе SrTiO<sub>3</sub> с двойными сокатализаторами для эффективной очистки воды и получения водорода», выполненной в форме серии статей, которая была утверждена на Ученом совете КазННТУ имени К.И.Сатпаева от 14 февраля 2025 г. (приказ № 342-Д). Для проведения экспертизы по диссертации Құспанова Жеңісбека были назначены рецензенты: Сейтхан Азат - доктор философии (PhD), ассоциированный профессор кафедры «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика», Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова, КазННТУ имени К.И. Сатпаева; Бейсебаева А.С. - кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор кафедры «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика», Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова, КазННТУ имени К.И. Сатпаева, компетентные в соответствующей отрасли, которые подготовили рецензии к рассматриваемой работе.

К защите представлена диссертационная работа докторанта образовательной программы 8D07103 - «Материаловедение и инженерия» Құспанова Жеңісбека Боранбайұлы на тему: «Разработка и исследование Al-допированного фотокатализатора на основе SrTiO<sub>3</sub> с двойными сокатализаторами для эффективной очистки воды и получения водорода», выполненной в форме серии статей.

**Научные стажировки:** Құспанов Ж. Б. в 2024 г. прошел научную стажировку в Объединенном институте ядерных исследований (г. Дубна, Российская Федерация).

Если нет вопросов по повестке дня, слово предоставляется докторанту Құспанову Жеңісбеку Боранбайұлы для доклада. Регламент 20 минут на презентацию доклада.

**Құспанов Ж. Б.:** Уважаемый председатель и уважаемые присутствующие! Разрешите представить вашему вниманию основные результаты диссертационной работы на тему: «Разработка и исследование Al-допированного фотокатализатора на основе SrTiO<sub>3</sub> с двойными сокатализаторами для эффективной очистки воды и получения водорода», выполненной в форме серии статей. В докладе отражены актуальность, цель, задачи работы, содержание, основные положения, выносимые на защиту, научные результаты и выводы диссертации.

**Слушали:** Құспанова Ж. Б., который в своем докладе изложил суть диссертационной работы. Доклад был представлен в форме презентации. В ходе доклада были освещены следующие вопросы:

1. Актуальность исследуемой проблемы,
2. Цель и задачи диссертации,
3. Научная новизна,
4. Основные положения, выносимые на защиту,
5. Практическая значимость диссертации,
6. Методы исследования,
7. Результаты исследования,
8. Заключение и выводы.

**Председатель Какимов У.К.:** Слово предоставляется отечественному научному консультанту доктору PhD, ассоциированному профессору ИЯФ Даулбаеву Ч.Б, (положительный отзыв прилагается).

**Доктор PhD, асоц. профессор Даулбаев Ч.Б:**

Диссертационная работа Құспанова Жеңісбека Боранбайұлы посвящена актуальной и значимой проблеме разработки новых фотокаталитических систем, которые могут быть использованы для очистки воды от органических загрязнителей и получения солнечного водорода. Работа направлена на решение важных задач в области устойчивой энергетики и экологии, что соответствует мировым тенденциям научных исследований. Преобразования солнечной энергии с использованием фотокатализаторов является перспективным направлением в области очистки воды и водородной энергетике, тем не менее ограничения связанные с шириной запрещенной зоны фотокатализаторов и рекомбинации фотоиндуцированных электрон-дырочных пар ограничивают их применение. В связи с этим разработка методов получения высокоэффективных фотокатализаторов с улучшенными фотокаталитическими характеристиками, особенно в области видимого света, представляет собой важную задачу. В данной работе обоснована необходимость модификации SrTiO<sub>3</sub> путем легирования алюминием и

применения двойных сокатализаторов для повышения его активности, что делает тему исследования актуальной и востребованной.

Научная новизна исследований, проведенных в диссертационной работе, подтверждаются следующими ключевыми результатами:

1. Установлено, что при синтезе  $\text{SrTiO}_3$  методом химического осаждения последующая температура кальцинации влияет на размеры, чистоту и кристалличность частиц  $\text{SrTiO}_3$  при этом температура кальцинации  $1100\text{ }^\circ\text{C}$  позволяет получать частицы  $\text{SrTiO}_3$  с высокой кристалличностью и чистотой.

2. Показано, что использование метода расплавленного флюса позволяет вводить Al в  $\text{SrTiO}_3$  без изменения кристаллической структуры матрицы. Установлено, что легирование Al способствует подавлению рекомбинационных центров  $\text{Ti}^{3+}$  и формированию кислородных вакансий, повышающих фотокаталитическую эффективность.

3. Обнаружено, что нанесение двойных сокатализаторов ( $\text{Rh}/\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{CoOOH}$ ) 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 (87% за 60 минут), превзойдя  $\text{SrTiO}_3@\text{Al}$  и  $\text{SrTiO}_3$  в 4,9 и 6,6 раза соответственно.

4. Доказано, что концепция панельного реактора для разложения воды является эффективным методом для масштабного производства недорогого возобновляемого солнечного водорода. Композит  $\text{Rh}/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{SrTiO}_3@\text{Al}/\text{CoOOH}$  способен производить 106 мл водорода в час в реальных условиях с использованием фотокаталитического реактора площадью  $1\text{ м}^2$ .

Основные положения и новизна диссертационной работы отражены в 10 научных работах, в том числе 9 статей в высокорейтинговых научных изданиях, входящих в международные информационные ресурсы Web of Science (Clarivate Analytics, США) и Scopus (Elsevier, Нидерланды).

Считаю, что представленные в данной диссертации результаты являются достоверными и, несомненно, вызывают глубокий научный интерес. Работа отвечает требованиям современного научного мира. Стоит отметить, что диссертационная работа выполнена в рамках научных проектов конкурс на грантовое финансирование комитетом науки МОН РК на 2022–2024 годы ИРН AP14869381 на тему «Разработка композитного фотокатализатора  $\text{SrTiO}_3@\text{Al}$ /Оксид графена для эффективного получения водорода путем разложения воды» и «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.).

В связи с вышеизложенным диссертационная работа Құспанова Жеңісбека Боранбайұлы на тему «Разработка и исследование Al-допированного фотокатализатора на основе  $\text{SrTiO}_3$  с двойными

сокатализаторами для эффективной очистки воды и получения водорода», представленная на соискание степени доктора философии PhD, по основным признакам – актуальность проблемы, новизна полученных результатов, их обоснованность и достоверность, объем исследований и практическая значимость – является научным трудом, имеющим перспективное направление в области получения композитных фотокаталитических систем.

Диссертационная работа соответствует требованиям, предъявляемым к работам на соискание степени доктора философии (PhD), а ее автор, Құспанов Жеңісбек Боранбайұлы, заслуживает присуждения степени PhD по образовательной программе 8D07103 – «Материаловедение и инженерия».

Положительный отзыв зарубежного консультанта Исадыкова А. Н. прилагается.

**Председатель Какимов У.К.:** Давайте теперь заслушаем рецензентов. Слово предоставляется рецензенту доктору PhD, ассоциированному профессору Сейтхану Азату.

**Сейтхан Азат, доктор PhD, ассоциированный профессор:**

Здравствуйтесь, уважаемые члены кафедры. Ознакомившись с диссертационной работой Құспанова Жеңісбека Боранбайұлы, пришел к следующему заключению:

Работа представляет собой хорошо структурированное и всестороннее исследование, посвященное актуальной научной проблеме — разработке эффективных фотокатализаторов для устойчивого производства водорода и очистки воды. Автор демонстрирует глубокие знания как в теоретических аспектах, так и в практических методах исследования.

Работа отличается научной новизной, особенно в части применения технологии легирования алюминием и осаждения двойных сокатализаторов. Экспериментальные результаты представлены убедительно и демонстрируют значительное повышение фотокаталитической эффективности, а также четкую связь между модификацией структуры и улучшением характеристик катализатора. Практическая значимость работы весьма высока, так как предложенные решения могут быть использованы для разработки масштабируемых и экологически безопасных технологий получения водорода.

Автор проявил высокий уровень аналитических способностей и критического мышления. Анализ результатов выполнен грамотно, аргументированно и подкреплен публикациями в авторитетных научных журналах.

Данная диссертация является значимым вкладом в область материаловедения и экологической инженерии. Я считаю, что автор выполнил все необходимые требования для успешной защиты диссертации.

Рекомендую работу Құспанова Жеңісбека Боранбайұлы на тему «Разработка и исследование Al-допированного фотокатализатора на основе SrTiO<sub>3</sub> с двойными сокатализаторами для эффективной очистки воды и получения водорода» к защите на соискание степени доктора философии (PhD).

**Председатель Какимов У.К.:** Хорошо. Хотел бы спросить, Жеңісбека Боранбайұлы, Вы согласны с отзывом рецензента?

**Ответ:** Благодарю Вас за внимательное изучение моей диссертационной работы и за столь высокую оценку проведенного исследования. Ваши добрые слова и профессиональное мнение являются для меня большой честью. Я искренне признателен за Ваше внимание к научной новизне, практической значимости и структурной проработке работы. Стремление к разработке эффективных и экологически безопасных технологий получения водорода является для меня приоритетной задачей, и я рад, что представленные результаты находят поддержку среди уважаемых специалистов в данной области. Ваше заключение является для меня важной мотивацией для дальнейших исследований в области фотокатализа и устойчивой энергетики.

**Председатель Какимов У.К.:** Далее слово предоставляется второму рецензенту, Бейсебаевой А.С. - кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор кафедры МНИИФ.

**Бейсебаева А.С. - кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор кафедры МНИИФ:**

Здравствуйте, уважаемые члены кафедры. Диссертационная работа Құспанова Ж.Б. выполнена на высоком научном уровне, методология исследования тщательно разработана, а полученные результаты имеют высокую практическую значимость. Однако отмечаются следующие моменты:

Необходимо более детально раскрыть долгосрочную стабильность фотокаталитических свойств разработанного композита в условиях реальной эксплуатации, что позволит оценить его долговечность.

Стоит уделить внимание вопросам экономической эффективности масштабного производства, включая анализ затрат и потенциальную коммерциализацию технологии.

Диссертационная работа Құспанова Жеңісбека Боранбайұлы представляет собой значимый вклад в область разработки фотокаталитических систем для очистки воды и получения водорода. Проведенные исследования демонстрируют высокую научную новизну, глубокий методологический подход и убедительную практическую значимость, что позволяет рекомендовать данную работу к защите с предложенными доработками, направленными на уточнение долговременных эксплуатационных характеристик и оценку экономической эффективности технологии.

Диссертация: «Разработка и исследование Al-допированного фотокатализатора на основе SrTiO<sub>3</sub> с двойными сокатализаторами для эффективной очистки воды и получения водорода», Құспанова Жеңісбека Боранбайұлы рекомендуется на рассмотрение в диссертационный совет по образовательной программе 8D07103 - «Материаловедение и инженерия».

**Председатель Какимов У.К.:** Благодарю за рецензию. Вы согласны с замечаниями?

**Ответ:** Да, полностью согласен и хотел бы добавить, что долгосрочная стабильность фотокаталитических свойств действительно является важным аспектом, и в дальнейшем мы планируем уделить этому вопросу особое внимание, включая тестирование в условиях, приближенных к реальной эксплуатации. Кроме того, экономическая эффективность и коммерциализация технологии также представляют значительный интерес, и мы рассмотрим возможность проведения более детального анализа этих аспектов. Благодарю за ваши ценные замечания, которые я обязательно учту при доработке работы.

### ОБСУЖДЕНИЕ

**Председатель Какимов У.К.:** Уважаемые коллеги, теперь переходим к другой стадии, это обсуждение диссертации. Пожалуйста, уважаемые коллеги у кого есть какие вопросы по данной работе?

**Бейсебаева А.С., старший преподаватель:** Какие факторы повлияли на выбор температуры кальцинации  $\text{SrTiO}_3$ .

**Соискатель:** Спасибо за вопрос. Литературный обзор, показывает, что  $\text{SrTiO}_3$  обычно образуется при кальцинации в диапазоне температур 800–1100°C. На основе этих данных был выбран данный диапазон, а также экспериментальные результаты показали, что 1100°C является оптимальной температурой для получения  $\text{SrTiO}_3$  высокой чистоты и кристалличности.

**Председатель Какимов У.К.:** Вы написали в названии работы «эффективная очистка воды и получение водорода». Какова эффективность очистки воды?

**Соискатель:** Спасибо за вопрос. В ходе экспериментов было установлено, что под воздействием видимого света мощностью 10 Вт модифицированный композит обеспечивает 89% деградацию 10 ppm раствора метиленового синего за 60 минут и полную (100%) деградацию 5 ppm раствора за 45 минут. Эти показатели существенно превышают результаты, представленные в недавних исследованиях, что подтверждается сравнительным анализом на слайде 18 данной презентации.

**Председатель Какимов У.К.:** Вы выбрали образец  $\text{SrTiO}_3$ , кальцинированный при температуре 1100°C для дальнейшего исследования. С чем связан выбор данной температуры кальцинации?

**Соискатель:** Благодарю Вас за вопрос. Температура 1100°C является оптимальной температурой кальцинации, при котором можно получить образцы  $\text{SrTiO}_3$  высокой чистоты и кристалличности, тогда повышение температуры выше 1100°C не рентабельно и приводит повышенному росту частиц, что отрицательно влияет на эффективность.

**Сейтхан Азат, доктор PhD, ассоциированный профессор:** Какую воду вы очищаете?

**Соискатель:** Для исследования фотоактивностей образцов деградацию 10 ppm раствора метиленового синего за 60 минут и полную (100%) деградацию 5 ppm раствора за 45 минут. Эти показатели существенно

превышают результаты, представленные в недавних исследованиях, что подтверждается сравнительным анализом на слайде 18 данной презентации.

**Кудайбергенов К.К. доктор философии (PhD), ассоциированный профессор:** В чем заключается новизна вашей работы, так как на сегодняшний день уже существуют фотокатализаторы оксидных полупроводников, модифицированные алюминием?

**Соискатель:** Благодарю Вас за вопрос. На сегодняшний день существуют аналогичные фотокатализаторы и в основном используются коммерческие образцы на основе  $\text{SrTiO}_3$  или полученные химическими или физическими методами. Новизна данной работы заключается, в методике синтеза высокочистых и кристаллических частиц  $\text{SrTiO}_3$  гибридным методом химического осаждения с последующей кальцинацией. Модификация алюминием и осаждение сокатализаторами применена для дополнительного улучшения фотокаталитической эффективности. Кроме того, был разработан фотокаталитический реактор панельного типа с общей площадью светопоглощения  $1\text{ м}^2$  для крупномасштабного получения водорода.

**Кудайбергенов К.К. доктор философии (PhD), ассоциированный профессор:** На что влияет повышение кристалличности образцов на основе  $\text{SrTiO}_3$ . С чем это связано?

**Соискатель:** Спасибо за вопрос. Поскольку одним из факторов влияющих на эффективность фотокатализаторов является скорость транспорта фотогенерированных носителей заряда, высокая кристалличность обеспечивает ускоренный перенос зарядов и повышает эффективность наших образцов.

**Кудайбергенов К.К. доктор философии (PhD), ассоциированный профессор:** Каков объем очищенной воды при фотокаталитической очистке воды?

**Соискатель:** Спасибо за вопрос. Так как эксперименты проводились в лабораторных условиях для каждого эксперимента использовался по 50 мл водного раствора красителя.

**Кудайбергенов К.К. доктор философии (PhD), ассоциированный профессор:** Какова эффективность использования допантов и сокатализаторов с эконимической точки зрения?

**Соискатель:** Спасибо за вопрос. К сожалению, на сегодняшний день материалы, используемые для модификации и их методологии остаются относительно дорогими с точки зрения рентабельности. Однако процесс фотокатализа находится на начальном этапе развития и основной целью данной работы была разработка стратегии улучшения эффективности и возможности снижения стоимости материалов будут рассмотрены в будущих исследованиях.

**Кудайбергенов К.К. доктор философии (PhD), ассоциированный профессор:** Вы сказали, что легирование алюминием  $\text{SrTiO}_3$  положительно влияет на фотокаталитическую активность образца. В чем заключается причина?



**Соискатель:** Легированный алюминий успешно вводится в кристаллическую структуру  $\text{SrTiO}_3$  и эффективно подавляет нежелательные дефекты в виде  $\text{Ti}^{3+}$ , который служит рекомбинационным центром в структуре полупроводника. Кроме того, создает положительно влияющие на эффективность кислородные вакансии, тем самым эффективно балансируя дефектную структуру в  $\text{SrTiO}_3$ .

**Председатель Какимов У.К.:** У кого-нибудь еще есть вопросы? Вопросов нет. Работа объемная, а выявленные замечания легко исправимы. Все участники расширенного научного семинара, выступившие в дискуссии, единогласно рекомендовали диссертационную работу Құспанова Ж.Б. к защите в диссертационном совете «Металлургия, Обогащение и Материаловедение».

На этом обсуждение диссертации PhD-докторанта Құспанова Ж.Б. можно считать завершенным.

Предлагаю принять следующее заключение по обсуждению диссертационной работы Құспанова Ж.Б. на тему «Разработка и исследование Al-допированного фотокатализатора на основе  $\text{SrTiO}_3$  с двойными сокатализаторами для эффективной очистки воды и получения водорода», выполненной в форме серии статей.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Расширенного заседания научного семинара кафедры «Материаловедение, нанотехнологии и инженерная физика» КазННТУ им. Сатпаева от 19 августа 2025 года по рассмотрению диссертационной работы докторанта (PhD) Құспанова Жеңісбека Боранбайұлы на тему «Разработка и исследование Al-допированного фотокатализатора на основе  $\text{SrTiO}_3$  с двойными сокатализаторами для эффективной очистки воды и получения водорода», выполненной в форме серии статей, представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07103 - «Материаловедение и инженерия».

### **Актуальность темы исследования**

Современное общество зависит от массового потребления энергетических ресурсов, большинство которых поступает из ископаемых источников — нефти, угля и природного газа, на которые приходится более 80 % мирового энергопотребления. Водород является перспективной альтернативой ископаемому топливу благодаря своим экологическим преимуществам. Фотокаталитическое разложение воды, предложенное в 1972 году, представляет собой перспективный метод, позволяющий преобразовывать солнечную энергию в химическую, исключая выбросы углерода. Этот процесс включает три этапа: поглощение света с образованием электронно-дырочных пар, их разделение и транспорт, а также участие в окислительно-восстановительных реакциях.

Несмотря на значительный прогресс, универсальная и высокоэффективная фотокаталитическая система пока не разработана. Основные ограничения связаны с широкой запрещенной зоной традиционных фотокатализаторов ( $\text{SrTiO}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ), что снижает их чувствительность к видимому свету, а также с высокой скоростью рекомбинации фотогенерированных зарядов. Для повышения эффективности необходимы материалы, удовлетворяющие ряду требований: узкая запрещенная зона, эффективное разделение и транспорт зарядов, оптимальные условия для поверхностных реакций и предотвращение обратных процессов.

В мировой практике улучшение фотокатализаторов достигается за счет модификации их морфологии и структуры, однако это часто приводит к нестабильности материалов. Перспективным направлением является легирование низковалентными металлами для управления дефектами и улучшения электронных свойств, а также использование двойных сокатализаторов, которые ускоряют окислительно-восстановительные реакции и повышают общую эффективность системы.

Таким образом концепция, основанная на легировании и применении двойных сокатализаторов, позволяет значительно повысить фотокаталитическую активность за счет улучшения разделения зарядов, снижения рекомбинации и создания дополнительных активных центров, что делает данный подход актуальным для развития водородной энергетики.

## **2. Основные научные результаты сводятся к следующему:**

1. Установлено, что при синтезе  $\text{SrTiO}_3$  методом химического осаждения последующая температура кальцинации влияет на размеры, чистоту и кристалличность частиц  $\text{SrTiO}_3$  при этом температура кальцинации  $1100\text{ }^\circ\text{C}$  позволяет получать частицы  $\text{SrTiO}_3$  с высокой кристалличностью и чистотой;

2. Показано, что использование метода расплавленного флюса позволяет вводить Al в  $\text{SrTiO}_3$  без изменения кристаллической структуры матрицы. Установлено, что легирование Al способствует подавлению рекомбинационных центров  $\text{Ti}^{3+}$  и формированию кислородных вакансий, повышающих фотокаталитическую эффективность;

3. Обнаружено, что нанесение двойных сокатализаторов ( $\text{Rh}/\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{CoOOH}$ ) 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 (87% за 60 минут), превзойдя  $\text{SrTiO}_3@\text{Al}$  и  $\text{SrTiO}_3$  в 4,9 и 6,6 раза соответственно;

4. Доказано, что концепция панельного реактора для разложения воды является эффективным методом для масштабного производства недорогого возобновляемого солнечного водорода. Композит  $\text{Rh}/\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{SrTiO}_3@\text{Al}/\text{CoOOH}$  способен производить 106 мл водорода в час в реальных условиях с использованием фотокаталитического реактора площадью  $1\text{ м}^2$ .

### **3. Степень обоснованности и достоверности каждого научного результата (положения), выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации**

Полученные в ходе исследования результаты и выводы отражают содержание всех разделов в логичной последовательности и подтверждаются публикациями основных научных результатов в международных и отечественных научных журналах, а также докладами на международных конференциях и форумах.

### **4. Степень новизны каждого научного результата (положения), выводов и заключения соискателя, сформулированных в диссертации**

Научные положения диссертации соответствуют требованиям, предъявляемым к работам такого рода. Научная новизна заключается в следующем:

1. Повышение температуры кальцинации от 800 до 1100 °С при синтезе SrTiO<sub>3</sub> методом химического осаждения способствует увеличению размеров и кристалличности частиц, а также улучшению чистоты за счет полного разложения промежуточного продукта в виде SrCO<sub>3</sub>. Последующее легирование Al значительно подавляет нежелательные рекомбинационные центры Ti<sup>3+</sup> в SrTiO<sub>3</sub> и способствует увеличению концентрации кислородных вакансий.

2. Нанесение двойных сокатализаторов (Rh/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и CoOОН) на поверхность SrTiO<sub>3</sub>@Al, методом фотоосаждения, существенно повышает фотокаталитическую активность образцов благодаря эффективному разделению фотогенерированных зарядов; синтезированный композит показал наилучшую фотокаталитическую активность (89%) при деградации органического загрязнителя под воздействием видимого света в течение 60 минут, при скорости разложения 0.0312 мин<sup>-1</sup>;

3. Модифицированный композит Rh/Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SrTiO<sub>3</sub>@Al/CoOОН демонстрирует значительно улучшенные показатели фотокаталитического выделения водорода из воды, достигая 11,04 ммоль г<sup>-1</sup> ч<sup>-1</sup>, что в 2300 и 3067 раз больше, чем SrTiO<sub>3</sub>@Al и чистый SrTiO<sub>3</sub>, соответственно. Более того, использование панельного фотокаталитического реактора для разложения воды показало свою перспективность в контексте крупномасштабного производства возобновляемого и недорогого солнечного водорода, где синтезированный композит способен производить 70,6 мл водорода в час в полевых условиях, используя фотокаталитическую панель с площадью 1 м<sup>2</sup>.

### **5. Оценка внутреннего единства полученных результатов**

Диссертационная работа представляет собой логически завершённый научный труд, обладающий внутренним единством. Четко сформулированные цель и задачи получили последовательное теоретическое и методологическое обоснование, отраженное в ключевых положениях, выносимых на защиту. Все результаты, выводы и заключение внутренне взаимосвязаны, каждый следующий вывод связан с предыдущим с соблюдением принципа от общего к частному.

## **6. Направленность полученных результатов на решение соответствующей актуальной проблемы, теоретической или прикладной задачи**

Результаты проведенных исследований расширяют знания в синтезе композитных полупроводниковых материалов для применения в фотокаталитических устройствах. Исследованные в работе композитные материалы имеют высокий потенциал применения, благодаря исключительным фотокаталитическим характеристикам в производстве экологически чистого водорода и очистки воды. Кроме того, относительная неизученность данных материалов открывает возможность для получения новых экспериментальных результатов и проведения перспективных разработок. В ходе исследований соискатель освоил широкий спектр научных методик.

## **7. Подтверждение полноты опубликования основных положений, результатов, выводов и заключения диссертации**

### **Публикации**

По материалам диссертационной работы опубликовано 10 печатных работ, из них 9 статья в международном рецензируемом научном журнале, **входящем в БД Scopus и Web of Science:**

1. **Kuspanov Z.** et al. Photocatalysts for a sustainable future: Innovations in large-scale environmental and energy applications // *Science of The Total Environment*. – 2023. – Т. 885. – С. 163914. (Q1, процентиль 95%, IF 8.2, CiteScore 17.6);

2. **Kuspanov Z.** et al. Multifunctional strontium titanate perovskite-based composite photocatalysts for energy conversion and other applications // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2023. – Т. 48. – С. 38634–54. (Q1, процентиль 86%, IF 7.2, CiteScore 13.5);

3. Kudaibergen, A., **Kuspanov Z.** et al. Synthesis, Structure, and Energetic Characteristics of Perovskite Photocatalyst SrTiO<sub>3</sub>: an Experimental and DFT Study // *Eurasian Chemico-Technological Journal*. – 2023. – Т. 25. – С. 139–46. (Q4, процентиль 20%, CiteScore 1.1);

4. Yergaziyeva, G., **Kuspanov Z.** et al. Advancements in catalytic, photocatalytic, and electrocatalytic CO<sub>2</sub> conversion processes: Current trends and future outlook // *Journal of CO<sub>2</sub> Utilization*. – 2024. – Т. 80. – С. 102682. (Q1, процентиль 91%, IF 7.2, CiteScore 13.9);

5. **Kuspanov Z.** et al. Investigating and correlating the photocatalytic activity of synthesised strontium titanate nanopowder with calcination temperature // *Environmental Technology & Innovation*. – 2024. – Т. 36. – С. 103852. (Q1, процентиль 96%, IF 6.7, CiteScore 14.0);

6. **Kuspanov Z.** et al. Efficient Photocatalytic Hydrogen Evolution via Cocatalyst Loaded Al-doped SrTiO<sub>3</sub> // *Eurasian Chemico-Technological Journal*. – 2024. – Т. 26. – С. 133–40. (Q4, процентиль 20%, CiteScore 1.1);

7. **Kuspanov Z.** et al. Efficient photocatalytic degradation of methylene blue via synergistic dual co-catalyst on SrTiO<sub>3</sub>@Al under visible light: Experimental and

DFT study // Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. – 2024. – Т. 165. – С. 105806. (Q1, процентиль 85%, IF 5.5, CiteScore 9.1);

8. Bissenova M., Umirzakov A., Mit K., Mereke A., Yerubayev Y., Serik A., **Kuspanov Z.** Synthesis and Study of SrTiO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> Hybrid Perovskite Nanotubes by Electrochemical Anodization // Molecules. – 2024. – Т. 29(5). – С. 1101. (Q1, процентиль 83%, IF- 4,2, CiteScore 7,4);

9. Serik A., Idrissov N., Baratov A., Dikov A., Kislitsin S., Daulbayev Ch., **Kuspanov Z.** Recent Progress in Photocatalytic Applications of Electrospun Nanofibers: A Review // Molecules. – 2024. – Vol. 29(20). – P. 4824. (Q1, процентиль 83%, IF- 4,2, CiteScore 7,4).

*1 статья в издании, рекомендованном Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК:*

1. **Куспанов Ж.**, Даулбаев Ч., Елеуов М., Мансуров З. Получаемый из биоотходов многослойный графен/SrTiO<sub>3</sub> как эффективная фотокаталитическая система // Горение и плазмохимия. – 2023. – Т.21. №2 – С. 71–80.

#### **9. Наименование образовательной программы, паспорту которой соответствует диссертации**

Диссертационная работа докторанта Құспанов Жеңісбека Боранбайұлы на тему «Разработка и исследование Al-допированного фотокатализатора на основе SrTiO<sub>3</sub> с двойными сокатализаторами для эффективной очистки воды и получения водорода», выполненной в форме серии статей, выполнена в полном объеме и отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07103 - «Материаловедение и инженерия».

#### **10. Соответствие диссертационной работы предъявляемым требованиям «Правил присуждения степеней» Комитета по контролю в сфере Науки и Высшего образования РК**

Диссертационная работа докторанта Құспанова Ж.Б. «Разработка и исследование Al-допированного фотокатализатора на основе SrTiO<sub>3</sub> с двойными сокатализаторами для эффективной очистки воды и получения водорода», является самостоятельным, законченным исследованием в области материаловедения и нанотехнологий. Принимая во внимание актуальность и новизну исследования, обоснованность выводов, имеющих теоретическую и практическую значимость, можно считать, что диссертационная работа отвечает всем требованиям «Правил присуждения степеней» Комитета по контролю в сфере Науки и Высшего образования РК.

На основании вышеизложенного, диссертационная работа Құспанова Жеңісбека Боранбайұлы «Разработка и исследование Al-допированного фотокатализатора на основе SrTiO<sub>3</sub> с двойными сокатализаторами для эффективной очистки воды и получения водорода», выполненной в форме серии статей, рекомендуется к защите на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07103 -

«Материаловедение и инженерия» в диссертационном совете «Металлургия,  
Обогащение и Материаловедение».

**ПОСТАНОВИЛИ:**

1. Диссертационная работа докторанта Құспанова Жеңісбека Боранбайұлы на тему «Разработка и исследование Al-допированного фотокатализатора на основе SrTiO<sub>3</sub> с двойными сокатализаторами для эффективной очистки воды и получения водорода», выполненной в форме серии статей, выполнена в полном объеме и отвечает всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07103 - «Материаловедение и инженерия».

2. Рекомендовать диссертационную работу докторанта Құспанова Жеңісбека Боранбайұлы на тему «Разработка и исследование Al-допированного фотокатализатора на основе SrTiO<sub>3</sub> с двойными сокатализаторами для эффективной очистки воды и получения водорода», выполненной в форме серии статей, к защите на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07103 - «Материаловедение и инженерия» в диссертационном совете «Металлургия, Обогащение и Материаловедение».

**Результаты голосования:** «за» - единогласно, «против» - нет, «воздержавшихся» - нет.

Председатель, к.т.н.,  
заведующий кафедрой  
МНИИФ



(подпись)

Какимов У.К.

Секретарь:



(подпись)

Кемелбекова А.Е.