

Письменный отзыв официального рецензента на диссертационную работу
Кемелбековой Айнагуль Ержановны на тему
«Исследование эффектов самоорганизации тонких слоев оксида цинка на поверхности иерархического пористого кремния для применения в оптоэлектронике» на соискание степени доктора философии (PhD)
 по образовательной программе 6D071000 – «Материаловедение и технология новых материалов»

№ 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) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемой(ой) из государственного бюджета 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)	Исследования, приведенные в настоящей диссертации, были выполнены в рамках следующих программ и проектов: - проект грантового финансирования МНВО РК ИРН: AP09260940 (2021-2023 гг.). - программа целевого финансирования КН МОН РК ИРН BR21881954 (2023 -2025 гг.). Диссертационная работа соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан: «Энергия, передовые материалы и транспорт» и «Передовое производство, цифровые и космические технологии». Также диссертация имеет прямое отношение к Государственной программе «Индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020–2025 годы».
2.	Важность для науки	Работа вносит /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта /не раскрыта	Работа вносит свой вклад в науку. Результаты, полученные в ходе диссертационной работы, оказывают значительное влияние на развитие научных исследований в области материаловедения. Данные полученные в результате исследования могут быть применены в разработке полупроводниковых оптоэлектронных устройств, которые имеют множество применений.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) Высокий 2) Средний 3) Низкий 4) Самостоятельности нет	Диссертационная работа является авторской работой докторанта Кемелбековой А.Е., выполненной самостоятельно. Автор внесла свой значительный вклад, в постановку задач и разработку методов проведения экспериментов, занималась обработкой и анализом полученных данных. В качестве показателя самостоятельности автора можно рассматривать ее научные публикации, в большинстве которых является первым автором.

4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <u>Обоснована;</u> 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	Актуальность диссертации имеется. Исследуемые материалы являются перспективными в области изучения и разработки полупроводниковых оптоэлектронных устройств. Диссертационная работа посвящена синтезу и исследованию структурных и фотолюминесцентных свойств por-Si/ZnO . <i>Тем не менее актуальность темы представлена кратко, возможно, следовало бы раскрыть степень его важности для решения проблем или задач по диссертационной работе.</i>
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) <u>Отражает;</u> 2) частично отражает; 3) не отражает.	Диссертационная работа состоит из четырех глав, все главы между собой логически связаны и отражают тему диссертации. Работа представляет собой законченный научный труд, обладает целостностью по изучению структурных и фотолюминесцентных свойств покрытий оксида цинка на поверхности иерархического пористого кремния.
		4.3 Цель и задачи соответствует теме диссертации 1) <u>Соответствуют;</u> 2) Частично соответствуют; 3) Не соответствуют.	Поставленные в диссертационной работе цели и задачи полностью соответствуют теме диссертации. Из поставленной цели вытекают 4 задачи, которые решены в полном объеме. Полнота решения поставленных задач достигнута путем разработки методов синтеза образцов с иерархическо-фрактальной морфологией поверхности и определением механизмов образования структур различного масштаба, исследованием частиц с нескомпенсированным зарядом при формировании вещества и люминесцентных свойств образцов.
		4.4. Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) <u>полностью взаимосвязаны;</u> 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует.	В диссертации представлена разработка технологии получения и исследования фотолюминесцентных свойств и структуры покрытий por-Si/ZnO . Разделы и научные положения между собой логически взаимосвязаны и обладают единством.
		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.	Автором проведен глубокий аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы по методам получения, структурным и фотолюминесцентным характеристикам, спектрометрии электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) исследуемых материалов. Обзор включал 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.

5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Научные результаты являются полностью новыми. К ним относятся: 1. Впервые при получении иерархического пористого кремния и формирования на нем частиц оксида цинка были синтезированы фрактальные структуры с тремя уровнями иерархии. 2. Впервые процесс кристаллизации структур por-Si/ZnO был выявлен методом насыщения сигнала ЭПР, основанным на зависимости от времени релаксации парамагнитного центра. 3. Для выявления слабоинтенсивного растущего сигнала ЭПР был применен циклический метод насыщения сигнала.
		5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	Выводы диссертации являются частично новыми. Приведенные в диссертационной работе выводы относительно формированию покрытия ZnO на основе por-Si были обоснованы по результатам исследования структуры, фотолюминесцентных и ЭПР свойств синтезированных структур. Определены технологические параметры синтеза. По результатам оценки эффективности применения было доказано, что покрытие por-Si/ZnO обладают повышенными светоизлучающими свойствами.
		5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	На основании полученных исследований автором диссертации впервые при получении иерархического пористого кремния и формирования на нем частиц оксида цинка были синтезированы фрактальные структуры с тремя уровнями иерархии.
6.	Обоснованность основных выводов:	Все основные выводы основаны /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 структур ZnO на поверхности кремния, и они не противоречат теоретическим и практическим закономерностям в материаловедении.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: Положение 1: <u>Формирование пористой</u>	Все четыре положения выносимые на защиту, доказаны экспериментально с применением передовых методов исследования. - Структура поверхности полученных покрытий были

	<p><u>структуры кремния при удалении поверхностного слоя и уменьшении плотности тока анодирования в процессе электрохимического травления и нанесение 25 слоев оксида цинка методами центрифугирования и спрей-пиролиза позволяет сформировать иерархическую структуру поверхности, включающая макро и микро поры, а также кластеры вещества различных размеров.</u></p> <p>7.1 Доказано ли положение? 1) доказано 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) нет</p> <p>7.3 Является ли новыми? 1) да; 2) нет</p> <p>7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий</p> <p>7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет</p> <p><u>Положение 2: Пошаговое изменение мощности СВЧ в процессе насыщения сигнала ЭПР позволяет эффективно выделить полезный сигнал, а представление спектра в интегральной форме при разложении на составляющие идентифицировать парамагнитные центры с различной природой.</u></p> <p>7.1 Доказано ли положение? 1) доказано</p>	<p>изучены с помощью аналитического сканирующего (растрового) электронного микроскопа (СЭМ) JSM-6490LA;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Светоизлучающие свойства были изучены методом фотолюминесценции (ФЛ), которая измерялась с помощью спектрофотометра в спектральном диапазоне от 200 до 800 нм, Agilent Cary Eclipse; - Парамагнитные свойства вещества были исследованы методом спектроскопии электронного парамагнитного резонанса, с применением прибора JES-FA200; - Определение площади удельной поверхности материалов было реализовано методом БЭТ основанным на процессе тепловой десорбции газа-адсорбата (аргона или азота), Сорбтометр-М; - Для определения рельефа поверхностей был использован метод атомно-силовой микроскопии, JSPM-5200; - Для исследования структуры бразцов был применен рентгеновский дифрактометр «Буревестник» ДРОН-6. - Для нанесения пленок методом центрифугирования была использована центрифуга. - Шейкер лабораторный ЛАБ-ПУ-01 для приготовления растворов. - Установка для получения пленок методом спрей-пиролиза. - Электрохимическая ячейка для получения пористого кремния. <p>Использованные методы позволили в полном объеме решить все поставленные задачи.</p> <p>Элементы тривиальности в диссертационной работе отсутствуют. Все найденные зависимости и особенности изученных процессов рассматривались не упрощенно, а с позиции современных знаний в области материаловедения.</p> <p>Основные положения, выносимые на защиту, являются новыми. Ранее подобные положения и результаты исследований по теме диссертации не были кем-либо описаны в литературе.</p> <p>Все положения, выносимые на защиту, доказаны публикациями. На основании полученных экспериментальных данных диссертантом опубликованы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 статья в журнале 2-го квартиля базы данных Web of Science,
--	--	---

	<p>2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) нет</p> <p>7.3 Является ли новыми? 1) да; 2) нет</p> <p>7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий</p> <p>7.3 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет</p> <p>Положение 3: <u>Нанесение 25 слоев оксида цинка на поверхность иерархического пористого кремния с электронной проводимостью позволяет сформировать гетероструктуру с образованием нанокристаллов, интенсивность фотолюминесценции которой повышена в 40 раз.</u></p> <p>7.1 Доказано ли положение? 1) доказано 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) нет</p> <p>7.3 Является ли новыми? 1) да; 2) нет</p> <p>7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний;</p>	<p>– 1 статья в журнале 3-го квартиля базы данных Web of Science, – 1 статья в журнале, имеющем процентиль выше 25 в базе данных Scopus, – 4 статьи в издании, рекомендуемом Комитетом по контролю в сфере образования и науки РК.</p>
--	---	--

		<p>3) широкий 7.5 Доказано ли в статье? <u>1) да;</u> 2) нет Положение 4: <u>Изменение условий записи спектров ЭПР в процессе насыщения сигнала позволяет выявить формирование структур ZnO разного уровня на границах пор иерархического кремния через механизм образования F- центров.</u> 7.1 Доказано ли положение? <u>1) доказано</u> 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано 7.2 Является ли тривиальным? 1) да; <u>2) нет</u> 7.3 Является ли новыми? <u>1) да;</u> 2) нет 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; <u>3) широкий</u> 7.5 Доказано ли в статье? <u>1) да;</u> 2) нет</p>	
8.	Достоверность источников и предоставляемой информации	<p>8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана: <u>1) да</u> 2) нет</p>	<p>Выбор методологии проводился с учетом особенностей исследуемого объекта. Методика и методология учитывает закономерности формирования структуры por-Si/ZnO. Слои пористого кремния формировались методом электрохимического анодного травления монокристаллического кремния в двухкамерной лабораторно модифицированной электрохимической ячейке. Иерархия пор была достигнута путем изменения плотностью тока анодирования от 80 мА/см² до 30 мА/см². Был нанесен зародышевый слой золь-гель методом. Основные слои оксида цинка были получены методом спрей-</p>

			пиролиза. В результате нагрева подложки до 400 °С.
		8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий <u>1) да</u> 2) нет	В работе использован комплексный подход, объединивший применение современных методов исследования и методов обработки и демонстрации научных данных о структуре и свойствах образцов por-Si/ZnO. <i>Тем не менее, некоторые методы исследования можно было использовать для совершенствования данных. В частности, провести рентгеноструктурный анализ для всех образцов исследования с целью сравнения структуры, сделать СЭМ изображения поперечного сечения для всех образцов с целью измерения толщины и определения элементного состава (ЭДС или ВДС анализ).</i>
		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): <u>1) да</u> 2) нет	Теоретические выводы, модели, установленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены на основе экспериментальных данных, полученных при комплексном исследовании методами: сканирующей электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа, фотолюминесцентная спектроскопия, атомно-силового микроскопа и спектроскопии электронного-парамагнитного резонанса. <i>Вопрос: Каков механизм роста при формировании покрытий ZnO на поверхности пористого кремния методом спрей пиролиз?</i>
		8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u> /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	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. Результаты автора, подтверждены соответствующими ссылками на достоверную научную литературу.
		8.5 Используемые источники литературы <u>достаточны</u> /не достаточны для литературного обзора.	В работе приведены список литературы из 145 наименования, из них при литературном анализе по теме диссертации использованы 128 научных работ. Приведенный объем использованных источников литературы считаю достаточным для формирования литературного обзора диссертационной работы.
9.	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение 1) да <u>2) нет</u>	Диссертационная работа не имеет основного теоретического назначения.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность	Совокупность результатов, проведенных теоретических и экспериментальных исследований будет способствовать

		<p>применения полученных результатов на практике</p> <p>1) да 2) нет</p>	<p>разработке новых перспективных материалов на основе иерархического пористого кремния с покрытием оксида цинка для применения в оптоэлектронике.</p>
		<p>9.3 Предложения для практики являются новыми?</p> <p>1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Практические рекомендации являются совершенно новыми и имеют большую практическую ценность. По результатам оценки эффективности применения было доказано, что повышенными светоизлучающими свойствами обладают покрытия por-Si/ZnO, что указывает на то, что эти покрытия могут быть рекомендованы к применению в оптоэлектронике.</p> <p><i>Однако, в диссертации не рассмотрены вопросы конкретного применения покрытий ZnO в оптоэлектронных устройствах.</i></p>
10.	10. Качество написания и оформления	<p>Качество академического письма:</p> <p>1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.</p>	<p>Диссертационная работа достаточно хорошо написана и донесена четко, и отличается внутренним единством. Разделы данной работы логически объединены и направлены на достижение главной цели. Заключение сформулированы четко и конкретно.</p> <p><i>Текст диссертации содержит незначительное количество опечаток, которые не снижает качество работы.</i></p>

Диссертационная работа Кемелбековой Айнагуль Ержановны, на тему «Исследование эффектов самоорганизации тонких слоев оксида цинка на поверхности иерархического пористого кремния для применения в оптоэлектронике», выполнена в полном объеме и имеет научную новизну и практическую значимость.

Считаю, что диссертационная работа соответствует требованиям Комитета по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Республики Казахстан и ее автор заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 6D071000 – «Материаловедение и технология новых материалов».

Официальный рецензент
Доктор PhD, Научный сотрудник лаборатории материаловедение
АО «Институт металлургии и обогащения» при КазНУТУ



А.К.

Кенжегулов А.К.

