

**Писменный 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»**  
**представленную 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 и/или государственным программам	<p>1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам:</p> <p>1) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы)</p> <p>2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы)</p> <p>3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)</p>	<p>Диссертационная работа посвящена исследованию трансформации морфологии поверхности при формировании структур <math>\text{por-Si/ZnO}</math> путем синтеза светоизлучающих частиц <math>\text{ZnO}</math> с некомпенсированным зарядом.</p> <p>Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям развития науки. Исследования, приведенные в данной диссертации, были выполнены в рамках программ и проектов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проект грантового финансирования МОН РК ИРН: AP09260940 (2021-2023 гг.) по теме «Оптимизация структуры тонких пленок для изготовления солнечных элементов на гибкой подложке», по специализированному научному направлению «Энергетика и машиностроение» и приоритетному направлению «Альтернативная энергетика и технологии: возобновляемые источники энергии, ядерная и водородная энергетика, другие источники энергии»;</li> <li>- программа целевого финансирования МНВО РК ИРН BR21881954 (2023 -2025 гг.) по теме «Разработка технологий синтеза наноструктурированных материалов для создания эффективных фотокаталитических электродов, фото и газочувствительных сенсоров», по научному направлению «Наноматериалы и нанотехнологии» и приоритетному направлению «Геология, добыча и переработка минерального и углеводородного сырья, новые материалы, технология, безопасные изделия и конструкции» Национального научного совета при Правительстве Республики Казахстан.</li> </ul>
2.	Важность для науки	Работа <b>вносит</b> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта/не раскрыта	Полученные в диссертационной работе результаты вносят существенный вклад в развитие науки о материаловедении, в частности, формирования нанокристаллов в тонких слоях оксида цинка на поверхности иерархического пористого кремния $\text{por-Si/ZnO}$ для применения в оптоэлектронике. Раскрыта важность результатов исследования при применении в разработке в нано- и микро-размерных полупроводниковых оптоэлектронных устройств.

3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) <b>Высокий</b> 2) Средний 3) Низкий 4) Самостоятельности нет	Высокий уровень самостоятельности диссертанта прослеживается в его личном вкладе, заключающемся в выполнении аналитического обзора литературных данных касательно исследований свойств структуры $\text{por-Si/ZnO}$ , в разработке методик экспериментальных исследований, в постановке задач и выполнении экспериментальных исследований, в анализе, интерпретации и обобщении полученных результатов, написании научных статей и докладов.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <b>Обоснована;</b> 2) Частично обоснована; 3) Не обоснована.	В диссертационной работе Кемелбековой А.Е. исследована трансформация морфологии поверхности в процессе синтеза светоизлучающих частиц $\text{ZnO}$ с некомпенсированным зарядом на пористом кремнии ( $\text{por-Si/ZnO}$ ), изучены структурные, фотолуминесцентные и ЭПР свойства полученных структур. Пористый кремний и тонкие пленки оксида цинка с их уникальными физико-химическими свойствами являются перспективными материалами для современных устройств микро- и наноэлектроники, включая селективные газочувствительные датчики, сенсорные элементы, чувствительность которых повышается с увеличением площади поверхности. Эффективная фотолуминесценция этих структур находит применение при создании светодиодов. Механизм переходов нанокристалл–аморфное вещество, имеющих структуру постепенного перехода от образований одного типа к другому и содержащих частицы с оборванными связями, тесно связан с природой взаимодействия парамагнитных центров. Актуальность работы не вызывает сомнений, учитывая, что 2 работы опубликованы в журналах с высоким импакт-фактором из второго и третьего квартиля базы WoS, 1 работа в журнале, имеющем процентиль выше 25 в базе данных Scopus, 4 статьи в издании, рекомендуемом Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования РК, т.е. результаты исследований представляют интерес для экспертов и разработчиков высокоэффективных нано- и микроразмерных полупроводниковых оптоэлектронных устройств.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) <b>Отражает;</b> 2) частично отражает; 3) не отражает.	Отражает. Диссертационная работа представляет собой завершённый научный труд и отражает тему диссертации, ориентированную на перспективные методы синтеза и исследование структур $\text{por-Si/ZnO}$ . Работа обладает внутренним единством и все ее разделы посвящены изучению структурных и фотолуминесцентных свойств, а также спектроскопии электронного парамагнитного резонанса покрытий на основе $\text{por-Si/ZnO}$ .

		<p>4.3 Цель и задачи соответствует теме диссертации</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b><u>Соответствуют;</u></b></li> <li>2) Частично соответствуют;</li> <li>3) Не соответствуют.</li> </ol>	<p>Соответствуют. Цели и задачи, поставленные в диссертационной работе, полностью соответствуют теме диссертации. Поставленные цели достигнуты и все задачи решены в полном объеме. Полнота решения поставленных задач достигнута путем разработки методов синтеза образцов с иерархическо-фрактальной морфологией поверхности и определения механизмов образования структур различного масштаба. Исследованы частицы с нескомпенсированным зарядом при формировании вещества и люминесцентные свойства полученных структур.</p>
		<p>4.4. Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b><u>полностью взаимосвязаны;</u></b></li> <li>2) взаимосвязь частичная;</li> <li>3) взаимосвязь отсутствует.</li> </ol>	<p>Полностью взаимосвязаны. В диссертации представлена разработка технологии получения и исследования фотолюминесцентных, структурных и ЭПР-свойств покрытий <math>\text{por-Si/ZnO}</math>. Разделы и научные положения между собой логически взаимосвязаны и обладают единством, так как после анализа литературных данных по исследованию свойств пленок оксида цинка и пористого кремния (раздел 1) были осуществлены синтез этого покрытия с применением метода электрохимического анодного травления для формирования <math>\text{por-Si}</math> и спрей пиролиза для осаждения <math>\text{ZnO}</math> (раздел 2) с последующим исследованием их структурных и оптоэлектронных свойств (раздел 3 и 4) и формулировкой положений, выносимых на защиту.</p>
		<p>4.5. Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b><u>критический анализ есть;</u></b></li> <li>2) анализ частичный;</li> <li>3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов.</li> </ol>	<p>Критический анализ есть. В ходе выполнения исследовательской работы автором проведен аналитический обзор литературы по методам синтеза, структурным и оптоэлектронным характеристикам пористого кремния и пленок оксида цинка в исторической ретроспективе (раздел 1). Критический сравнительный анализ литературных данных с указанием недостатков и проблем, связанных с выбранными материалами (стр. 9, 18, 37, 41, и др.) способствовал аргументированному выбору методов решения поставленных целей и задач (раздел 2), проведению полного анализа и сравнения с существующими аналогичными решениями.</p>
5.	Принцип научной новизны	<p>5.1 Научные результаты и положения являются новыми?</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <b><u>полностью новые;</u></b></li> <li>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</li> <li>3) не новые (новыми являются менее 25%)</li> </ol>	<p>Научные результаты являются полностью новыми. К ним относятся:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Впервые при получении иерархического пористого кремния и формирования на нем частиц оксида цинка были синтезированы фрактальные структуры с тремя уровнями иерархии. (см. АСМ поры на <math>\text{Si}</math> без покрытия <math>\text{ZnO}</math> (на рис. 26 и 27) с покрытием <math>\text{ZnO}</math> (рис. 28), кластерами <math>\text{ZnO}</math> (рис. 28, 29, 30), сформированной композитной системой из <math>\text{Si}</math>, <math>\text{SiO}_2</math> и <math>\text{ZnO}</math> (рис. 30);</li> </ol>

		<p>2. Впервые процесс образования нанокристаллов в структурах <math>\text{por-Si/ZnO}</math> был определен методом насыщения сигнала ЭПР. (см. ЭПР спектры исходного образца <math>\text{por-Si}</math> и с покрытием <math>\text{ZnO}</math> на рис. 31; признаки асимметрии сигнала ЭПР на рис. 32a-d; зависимости интенсивности ЭПР сигнала от мощности <math>P^{1/2}</math> на рис. 33).</p> <p>3. Впервые для выявления слабоинтенсивного, растущего сигнала ЭПР был применен циклический метод насыщения сигнала. (см. рис. 33 зависимости интенсивности ЭПР сигнала от <math>P^{1/2}</math>).</p>
	<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <p>1) <b><u>полностью новые</u></b>;  2) частично новые (новыми являются 25-75%);  3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Выводы диссертации являются полностью новыми. Приведенные в диссертационной работе выводы базируются на результатах формирования покрытия на основе <math>\text{por-Si/ZnO}</math>, комплексного исследования структурных, люминесцентных и ЭПР свойств синтезированных структур. Определены технологические параметры синтеза. По результатам оценки эффективности применения было показано, что покрытия <math>\text{por-Si/ZnO}</math> обладают повышенными светоизлучающими свойствами, в связи с чем эти покрытия могут быть рекомендованы к применению в оптоэлектронике, Физико-химические исследования полученных структур являются новыми и ранее кем-либо (кроме соискателя и его соавторов) не были опубликованы. В связи с этим, результаты были опубликованы в рейтинговых журналах из квартала Q2, Q3 и др. (см. Заключение)</p>
	<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</p> <p>1) <b><u>полностью новые</u></b>;  2) частично новые (новыми являются 25-75%);  3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	<p>Представленные в диссертационной работе методы синтеза структур <math>\text{por-Si/ZnO}</math> технически и экономически обоснованы и являются полностью новыми. Высокий технико-экономический уровень обеспечивается тем, что использованы современные методы синтеза и исследования с применением современного оборудования. 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.</p>
б.	<p>Обоснованность основных выводов:</p>	<p>Все основные выводы <b><u>основаны</u></b>/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы</p> <p>Все основные выводы основаны на весомых доказательствах и хорошо обоснованы. Выводы, приведенные в диссертации, составлены в результате экспериментальных и физико-химических исследований и не противоречат теоретическим и практическим закономерностям в материаловедении.</p>

			Важно отметить высокую достоверность результатов рентгеновских исследований на рис. 52, показывающих наличие 7 рентгеновских линий с эталонными спектрами оксида цинка ZnO, и указывающих на высокое совершенство кристаллитов, а также изображения пористой поверхности кремния, полученные методом атомно-силовой микроскопии и сканирующей электронной микроскопии. Измерения фотолюминесценции показали многократное увеличение интенсивности люминесценции от пленок оксида цинка на пористом кремнии с электронной проводимостью в сравнении с другими подложками.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>Положение 1: <u>Формирование пористой 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 микропоры, а также кластеры вещества различных размеров.</u></p> <p>7.1 Доказано ли положение?</p> <p>1) <b><u>доказано</u></b>  2) скорее доказано  3) скорее не доказано  4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным?</p> <p>1) да;  2) <b><u>нет</u></b></p> <p>7.3 Является ли новыми?</p> <p>1) <b><u>да;</u></b>  2) нет</p>	<p>Все 4 положения, вынесенные на защиту, доказаны экспериментально с применением различных современных методов.</p> <p>Положение 1:</p> <p>7.1 Доказано. Действительно, на рисунке 29 методом атомно-силовой микроскопии показано, что после нанесения 25 слоев ZnO поверхность полностью закрыта кластерами вещества в виде зерен различных размеров. При этом четко видимые до нанесения слоев ZnO микро- и макропоры различного диаметра в кремнии (рис. 26 и 27) стали слабо видны в очень малом количестве после осаждения 20 слоев ZnO (рис. 28) и неразличимы после осаждения 25 слоев ZnO, состоящих из кластеров ZnO (рис. 29). Механизм роста пленки (рис.30) адекватно отражает результаты исследования поверхности.</p> <p>7.2 Нет. 2) Результат не является тривиальным, так как потребовалось экспериментальное доказательство методами АСМ с достаточно высоким разрешением.</p> <p>7.3 Да. 1) Является новым, так как формирование иерархической структуры поверхности, включающей макро- и микропоры, а также кластеры вещества оксида цинка различных размеров применительно к исследованию структуры методом электронного парамагнитного резонанса ранее не проводились.</p>

	<p>7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; <b>3) широкий</b></p> <p>7.5 Доказано ли в статье? <b>1) да;</b> 2) нет</p> <p>Положение 2: <u>Пошаговое изменение мощности СВЧ в процессе насыщения сигнала ЭПР позволяет эффективно выделить полезный сигнал, а представление спектра в интегральной форме и его разложение на составляющие позволяет идентифицировать парамагнитные центры различной природы.</u></p> <p>7.1 Доказано ли положение? <b>1) доказано</b> 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным? <b>1) да;</b> 2) нет</p> <p>7.3 Является ли новыми? <b>1) да;</b> 2) нет</p> <p>7.4 Уровень для применения: 1) узкий;</p>	<p>7.4 Широкий уровень для применения, так как может быть использовано в экономически выгодных тонкопленочных системах на основе пористого кремния и слоев оксида цинка, в особенности, с повышенными в 40 раз излучательными свойствами, повышающими эффективность светодиодов на их основе (рис.54).</p> <p>7.5 Да. Доказано в статье Murzalinov, D., Kemelbekova, A., et al. Self-Organization Effects of Thin ZnO Layers on the Surface of Porous Silicon by Formation of Energetically Stable Nanostructures //Materials. – 2023. – Т. 16. – №. 2. – С. 838. <a href="https://doi.org/10.3390/ma16020838">https://doi.org/10.3390/ma16020838</a> (Q2, Percentile 64, IF=3.7).</p> <p>Положение 2:</p> <p>7.1 Доказано. На рис. 32a-d наглядно показано изменение формы сигнала при увеличении мощности СВЧ магнитного поля для образца с 25 слоями покрытия ZnO с признаками асимметрии сигнала ЭПР, обусловленными анизотропией парамагнитных центров различной природы, то есть присутствием нескольких видов центров как источников сигналов электронного парамагнитного резонанса, связанных с наличием частиц <math>O^{2-}</math>. Действительно, это проявляется в более сложной форме сигнала в отрицательной части спектра с увеличением мощности. На рисунке 33 показано, что наблюдается рост интенсивности ЭПР сигнала в зависимости от мощности <math>P^{1/2}</math> вследствие повышения концентрации «активных» парамагнитных центров, но в областях <math>P^{1/2}</math> между 3 и 3.5 начинается перегиб, обусловленный насыщением переходов спинов из спинового резервуара системы на верхний уровень. Однако при дальнейшем повышении мощности СВЧ продолжается рост интенсивности сигнала, так как включается реакция другого «спин–пакета», требующая поглощения большей энергии для переворота спинов, т.е. доказано присутствие еще одного типа парамагнитных центров. В пользу этого утверждения свидетельствует разложение на две гауссианы ассиметричного спектра с более пологой правой частью при мощности магнитного поля 7,6 mW, что подтверждает тезис о наличии двух видов парамагнитных частиц, ответственных за сигнал ЭПР в данном образце.</p> <p>7.2 Нет. 2) Не является тривиальным, так как потребовалось экспериментальное доказательство измерениями зависимости интенсивности ЭПР сигнала от изменения мощности магнитного поля.</p> <p>7.3 Да. 1) 1) Является новым, так как впервые идентификация парамагнитных центров различной природы осуществлена через разложение интегрированных спектров насыщения с признаками асимметрии сигнала ЭПР для образцов пористого кремния с покрытием ZnO (рис. 34).</p>
--	--	--

	<p>2) средний;  <b>3) широкий</b>  7.5 Доказано ли в статье?  <b>1) да;</b>  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?  <b>1) доказано</b>  2) скорее доказано  3) скорее не доказано  4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным?  <b>1) да;</b>  2) нет</p> <p>7.3 Является ли новыми?  <b>1) да;</b>  2) нет</p> <p>7.4 Уровень для применения:  1) узкий;  2) средний;  <b>3) широкий</b></p> <p>7.5 Доказано ли в статье?  <b>1) да;</b></p>	<p>7.4 Широкий уровень для применения, так как метод может быть использован в интерпретации спектров электронного парамагнитного резонанса пористого кремния с покрытием ZnO (п.3.4.1).</p> <p>7.5 Да. Доказано в статье Murzalinov, D., Kemelbekova, A., et al. Self-Organization Effects of Thin ZnO Layers on the Surface of Porous Silicon by Formation of Energetically Stable Nanostructures //Materials. – 2023. – Т. 16. – №. 2. – С. 838. <a href="https://doi.org/10.3390/ma16020838">https://doi.org/10.3390/ma16020838</a> (Q2, Percentile 64, IF=3.7).</p> <p>Положение 3.  7.1 Доказано. Нанесение 25 слоев покрытия ZnO на поверхность пористого кремния усиливает светоизлучающие свойства (рис. 39 и 55) и формирует энергетически устойчивые нанокристаллы. Наличие нанокристаллов ZnO со средним размером 12-19 нм показано методом рентгеновской дифракции, являющегося прямым методом исследования структуры и фазового состава (рис. 53). Наличие 7 рентгеновских линий указывает на высокое совершенство структуры нанокристаллов.</p> <p>7.2 Нет. 2) Не является тривиальным, так как потребовалось экспериментальное доказательство методами рентгеновской дифракции и измерения фотолюминесценции.</p> <p>7.3 Да. 1) Является новым, так как нанесение многослойной структуры оксида цинка на поверхность иерархического пористого кремния позволило получить столь значительное в 40 раз увеличение интенсивности фотолюминесценции в сравнении с пленкой ZnO на плоском кремнии или на стеклянной подложке (рис.54).</p> <p>7.4 Широкий уровень для применения, так как может быть использовано в светодиодах на основе пористого кремния и слоев оксида цинка, в особенности, с повышенными в 40 раз излучательными свойствами.</p> <p>7.5 Да. Доказано в статье Murzalinov, D., Seredavina, T., Kemelbekova, A., et al. Investigation of surface nanoclusters and paramagnetic centers of ZnO/por-Si structures</p>
--	---	---

		<p>2) нет</p> <p>Положение 4: Изменение условий записи спектров ЭПР в процессе насыщения сигнала позволяет выявить формирование различных по размерам структур ZnO на границах пор иерархического кремния через механизм образования F-центров.</p> <p>7.1 Доказано ли положение?</p> <p>1) <b><u>доказано</u></b></p> <p>2) скорее доказано</p> <p>3) скорее не доказано</p> <p>4) не доказано</p> <p>7.2 Является ли тривиальным?</p> <p>1) <b><u>да</u></b>;</p> <p>2) нет</p> <p>7.3 Является ли новыми?</p> <p>1) <b><u>да</u></b>;</p> <p>2) нет</p> <p>7.4 Уровень для применения:</p> <p>1) узкий;</p> <p>2) средний;</p> <p>3) <b><u>широкий</u></b></p> <p>7.5 Доказано ли в статье?</p> <p>1) <b><u>да</u></b>;</p> <p>2) нет</p>	<p>as the basis of sensory properties // Processes. 11(12). 2023. 3332. <a href="https://doi.org/10.3390/pr11123332">https://doi.org/10.3390/pr11123332</a></p> <p>Положение 4.</p> <p>7.1 Доказано. Действительно, изменения условий регистрации спектров, а именно, мощности от 10 до 13.6 мВт, амплитуды модуляции от 1.6 до 0.8 мТ позволили идентифицировать признаки сигналов различных типов ПМЦ (рис. 58 в, г). Центральный сигнал связан с разорванными связями, тогда как квазисимметричные дуплеты (S1/2) отнесены к отрицательно заряженным вакансиям в микро- и нанопорах. Показано, что механизмом образования дефектов является захват электронов на кислородных вакансиях, аналогичный механизму образования F-центров. Идентифицированные сигналы парамагнитных центров относятся к разным уровням границ пор.</p> <p>7.2 Нет. 2) Не является тривиальным, так как потребовалось экспериментальное доказательство посредством измерения спектров с изменением условий их регистрации (мощности и амплитуды модуляции).</p> <p>7.3 Да. 1) Является новым, так как изменением условий записи спектров ЭПР в процессе насыщения сигнала стало возможным идентифицировать сигналы парамагнитных центров, относящиеся к разным уровням границ пор.</p> <p>7.4 Широкий уровень для применения, так как предложен механизм выявления формирования различных по размерам структур ZnO на границах пор иерархического кремния через механизм образования F-центров.</p> <p>7.5 Да. Доказано в статье Murzalinov, D., Seredavina, T., Kemelbekova, A., et al. Investigation of surface nanoclusters and paramagnetic centers of ZnO/por-Si structures as the basis of sensory properties // Processes. 11(12). 2023. 3332. <a href="https://doi.org/10.3390/pr11123332">https://doi.org/10.3390/pr11123332</a></p>
8.	Принцип достоверности. Достоверность источников и предоставляемой информации	<p>8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана:</p> <p>1) <b><u>да</u></b></p> <p>2) нет</p>	<p>1) Да. Выбор методологии проводился с учетом особенностей исследуемого объекта и учитывает закономерности формирования структуры por-Si/ZnO. При этом в технологии:</p> <p>- слои пористого кремния формировались методом электрохимического анодного травления монокристаллического кремния в двухкамерной лабораторно модифицированной электрохимической ячейке; иерархия пор была</p>



		<p>достигнута путем изменения плотности тока анодирования от 80 мА/см<sup>2</sup> до 30мА/см<sup>2</sup>;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- зародышевый слой был нанесен золь-гель методом;</li> <li>- основные слои оксида цинка были получены методом спрей-пиролиза при температуре подложки 400<sup>0</sup>С.</li> </ul>
	<p>8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий</p> <p><u>1) да</u> 2) нет</p>	<p>1) Да. В работе использован комплексный подход, объединивший применение современных методов исследования. Был осуществлен научно-методический подход обнаружения фаз без разрушения исследуемых материалов – рентгеновской дифракции (рис. 52), атомно-силовой микроскопии (JSPM-5200, рис. 46-51), сканирующей электронной микроскопии поверхности (JSM-6490LA, рис. 39-42, 45), электронного парамагнитного резонанса (спектрометр JES-FA200, рис. 31-36, 55-60), измерения фотolumинесценции (спектрофотометр Agilent Cary Eclipse, рис. 38, 53, 54) и др.</p>
	<p>8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента):</p> <p><u>1) да</u> 2) нет</p>	<p>1) Да. Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности были сделаны на основе анализа экспериментальных данных, полученных при комплексном исследовании современными методами с использованием дорогостоящего современного оборудования.</p>
	<p>8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u>/ частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.</p>	<p>Подтверждены. Полученные результаты и выводы отражают содержание всех разделов и представлены в публикациях основных научных результатов в рецензируемых международных и отечественных научных изданиях. Достоверность научных выводов работы подтверждается согласованностью с результатами независимых исследований и выводами, полученными другими авторами в работах [62,65,77,99,109,119,130].</p>

		8.5 Используемые источники литературы <u>достаточны</u> /не достаточны для литературного обзора.	Достаточны. В работе приведен список литературы из 131 наименований. Количество и содержание этих источников достаточны для формирования литературного обзора диссертационной работы и обсуждения ее результатов.
9.	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение <u>1) да</u> 2) нет	1) Да. Диссертация имеет теоретическое значение, так как в ней рассматриваются различные аспекты механизма транспорта электронов с использованием представлений квантовой механики и зонной теории.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике <u>1) да</u> 2) нет	2) Да. Диссертация имеет практическое значение, так как результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований будут способствовать разработке новых перспективных материалов на основе иерархического пористого кремния с покрытием оксида цинка для применения в оптоэлектронике (см. Заключение).
		9.3 Предложения для практики являются новыми? <u>1) полностью новые;</u> 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%)	1) Полностью новые. Практические рекомендации являются совершенно новыми и имеют большую практическую ценность. В диссертационной работе последовательно описан процесс получения покрытий $\text{por-Si/ZnO}$ . По результатам оценки эффективности применения было доказано, что повышенными светоизлучающими свойствами обладают покрытия $\text{por-Si/ZnO}$ , что указывает на то, что эти покрытия могут быть рекомендованы к применению в оптоэлектронике.
10.	10. Качество написания и описания	Качество академического письма: 1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Качество академического письма высокое. Диссертационная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к таким работам, и отличается внутренним единством. Разделы данной работы логически объединены и направлены на решение поставленных задач.

#### Замечания.

1) Автором при трактовке результатов на рисунке 33 утверждается, что «Затем прослеживается более медленный подъем (выше 4 мВт) и спад, после чего заметен вклад другого вида центров, так как происходит рост сигнала.». В действительности более медленный подъем наблюдается в интервале 1,2 - 3,6  $\text{mW}^{1/2}$ , а не выше 4 мВт.

2) Имеются орфографические ошибки или неточности, например, написано: стр. 23 «Иерархический пористый кремний (HP-Si)» вместо «Иерархический пористый кремний (Hpor-Si)»; стр.37 «кремний-кремниевой связи  $\equiv\text{Si}\equiv\text{Si}\equiv$ ,» вместо «кремний-кремниевой связи  $\equiv\text{Si-Si}\equiv$ ». Однако указанные недостатки не имеют принципиального характера и не умаляют достоинств диссертационной работы.

## Заключение

Диссертационная работа Кемелбековой А.Е. на тему «Исследование эффектов самоорганизации тонких слоев оксида цинка на поверхности иерархического пористого кремния для применения в оптоэлектронике», выполнена в полном объеме и соответствует всем требованиям, предъявляемых к диссертационным работам PhD, имеет новизну и актуальность и заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 6D071000 – «Материаловедение и технология новых материалов».

### Официальный рецензент:

Доктор физико-математических наук, профессор,  
декан Школы материаловедения и зеленых технологий  
АО «Казахстанско-Британский технический университет»



Бейсенханов Н.Б.

