

**Письменный отзыв официального рецензента на диссертационную работу  
Даирбековой Гуланы Сиондыкковны на тему  
«Разработка и исследование технологических основ получения анодов на основе кремния для практического  
применения в области электроники с целью снижения экологической нагрузки на окружающую среду»,  
предоставленную на соискание степени доктора философии (PhD)  
по специальности 6D0740000 - «Наноматериалы и нанотехнологии»**

№п/п	Критерии	Соответствие критериям (необходимо отметить один из вариантов ответа)	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) <u>Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы)</u></p> <p>2) <u>Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы)</u></p> <p>3) <u>Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научной техникой комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)</u></p>	<p>Диссертационная работа соответствует задачам, видению и ожидаемым результатам Государственной программы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020 – 2025 годы и Концепции индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2021 – 2025 годы и выполнена в рамках проекта на грантовое финансирование на 2020-2022 гг. AP08856059 «Разработка металлургических методов получения кремния для солнечной энергетики».</p>
2.	Важность для науки	<p>Работа <u>вносит/не</u> вносит <u>существенный вклад в науку</u>, а ее важность <u>хорошо раскрыта/не</u> раскрыта</p>	<p>Диссертационное исследование металлургического кремния для разработки технологии создания аккумуляторов, использования его в портативных устройствах и увеличение зарядной емкости используемых структур вносит существенный вклад в такие области науки как наноматериаловедение и нанотехнологии. Важность представленной работы хорошо раскрыта и заключается в решении актуальных задач совершенствования технологии производства и получения кремниевой продукции, а именно анодов литий-ионных аккумуляторов, разработке инновационных способов</p>

3.	Принцип самостоятельности	<p>Уровень самостоятельности:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <u>Высокий</u>;</li> <li>2) Средний;</li> <li>3) Низкий;</li> <li>4) Самостоятельности нет</li> </ol>	<p>нанесения смеси нанопорошка кремния для создания гибридных кремнийсодержащих анодов.</p> <p>Уровень самостоятельной работы диссертанта определяется личным вкладом в получении результатов диссертации, написании научных статей и участием в международных конференциях. В работе было приведено достаточное количество экспериментальных результатов, которые были реализованы коллективно в лабораториях при непосредственном участии соискателя. Об уровне самостоятельности можно судить по восьми опубликованным работам, где диссертант является первым или корреспондирующим автором.</p> <p><i>Следует отметить, что несмотря на то, что согласно Правил присуждения степеней достаточно одной статьи, входящей в БД Scopus и Web of Science, полученные результаты достаточно для публикации большого количества работ.</i></p>
4.	Принцип внутреннего единства	<p>4.1 Обоснование актуальности диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <u>Обоснована</u>;</li> <li>2) Частично обоснована;</li> <li>3) Не обоснована.</li> </ol>	<p>Диссертационная работа Даирбековой Гулданы Сиондыковны является актуальной в области наноматериаловедения и нанотехнологии. Постоянно возрастающие требования к современному литий-ионным аккумуляторам сильно стимулировали поиски надежных электродов с высокой ареальной ёмкостью. Производство электродов из высокопроизводительного активного материала позволяет повысить этот параметр. Создание надёжного кремниевого анода с высокими эксплуатационными свойствами и длительным сроком работы аккумулятора является актуальной задачей. Для обеспечения безопасности и повышения срока службы аккумулятора, требуется разработка высокоэффективных компонентов, связанных с заменой графитового анода новыми наноструктурами. В этом контексте кремний является одним из наиболее перспективных анодных материалов для литий-ионных аккумуляторов следующего поколения благодаря его высокой зарядной ёмкостью. Диссертационная работа посвящена исследованию создания блока литий-ионного аккумулятора, замене графитового анода на изготовленный из наноразмерного</p>

<p>порошка кремния, обеспечивающей резкое увеличение зарядной ёмкости.</p> <p>В рецензируемой диссертации содержание целиком и полностью отражает её тему. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, согласно поставленных задач, заключения, списка литературы и приложений. Работа направлена на создание более стабильных структур электродов литий-ионного аккумулятора, путем разработки технологических основ получения анодов на основе кремния для практического применения в области электроники, использования порошков металлургического кремния и отходов производства металлургического кремния (аспирационного материала на основе кремния, его пыли), полученных металлургическим (физическим) методом – шлаковым рафинированием, кислотным выщелачиванием, выращиванием монокристалла кремния методом Чохральского с последующим измельчением до нано-Si, снижающие экологическую нагрузку на окружающую среду, исключаящие применение небезопасных силиконовых технологий.</p>	<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Отражает;</li> <li>2) Частично отражает;</li> <li>3) Не отражает</li> </ol>	
<p>Цель и задачи, представленные в диссертационной работе, полностью соответствуют теме диссертации. Целью диссертационной работы является: исследование и разработка технологии получения анодов на основе наноразмерных порошков кремния для практического применения в области электроники, снижения экологической нагрузки на окружающую среду и обеспечения увеличения зарядной ёмкости литий-ионных аккумуляторов, полученных с использованием кремниевых наноструктур. Из поставленной цели сформулированы задачи, которые достигнуты путём разработки технологических основ производства электродов литий-ионного аккумулятора из кремнийсодержащих нанопорошков и создании новой технологии изготовления анодов аккумуляторов с нанокремниевым анодом лазерной печатью.</p>	<p>4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) соответствуют;</li> <li>2) частично соответствуют;</li> <li>3) не соответствуют</li> </ol>	
<p>Диссертационная работа представляет собой логически взаимосвязанный и полноценный научный труд, обладающий внутренним единством: все разделы</p>	<p>4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:</p>	

	<p>1) полностью взаимосвязаны;  2) взаимосвязь частичная;  3) взаимосвязь отсутствует</p>	<p>диссертационной работы взаимосвязаны между собой, сформулированные цель и задачи исследования нашли последовательное теоретическое и методологическое решение, заключающиеся в выборе объектов исследования, разработке способа нанесения кремнийсодержащих нанопорошков для создания гибридных кремнийсодержащих анодов.</p>
	<p>4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:  1) критический анализ есть;  2) анализ частичный;  3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов</p>	<p>В ходе проведения научно-исследовательской работы проведен аналитический обзор литературы и патентные исследования способов получения нанокремния и методы его очистки металлургическим способом для применения его в области электроники, а именно в отрицательных электродах литий-ионных аккумуляторов. Список литературных источников состоит из 95 наименования. На основании критического анализа, была сформулирована постановка задач исследования диссертации, аргументированное решение которой позволило получить новое техническое решение – инновационный способ нанесения нанослоев кремния с высокой адгезионной способностью кремнийсодержащего нанопорошка из различных модификаций наночастиц кремния (UMG-Si, Si-dust, mc-Si), полученных металлургическим методом (шлаковое рафинирование, кислотное выщелачивание, последующий рост монокристалла кремния) с применением устройства для прожига леточного отверстия.</p>
<p>5. Принцип научной новизны</p>	<p>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%)</p>	<p>Научные результаты и положения являются полностью новыми. К ним относятся:  1. Шлаковое рафинирование смесями, состоящими из негашёной извести диоксида кремния, плавикового шпата, глинозема, магнезии жёсткой приводит к получению выхода кремния 75-85 %. Последующее кислотное выщелачивание, измельчение до наноразмерных порошков (5-100 нм) металлургического кремния позволяет получить модернизированный кремний UMG-Si с чистотой 93,15-99,98% по таким примесям, как Ca, Al, Fe, B и P.  2. Полученные модификации порошкообразного нанокремния в виде кремниевой пыли Si-dust, модернизированного кремния UMG-Si и нанополленочные структуры монокристаллического кремния mc-Si показали</p>



<p>высокие электрохимические характеристики: разрядная ёмкость отрицательных электродов составляет для Si-dust – 950 мАч/г; UMG-Si – 2250 мАч/г; mc-Si – 2800 – 3400 мАч/г.</p> <p>3. Лазерная печать блока литий-ионных аккумуляторов (nSi+Mx-«C»+Mx-«N») позволяет формировать пленки, состоящие из нанослоев кремния с высокой адгезионной способностью кремнийсодержащего нанопорошка с оптимальным процентным содержанием связующего компонента в электродной активной массе – 10% и содержанием активной кремниевой электродной массы – 85%.</p> <p>Новизна результатов и положений подтверждает проведение аналитического обзора литературы и патентные исследования.</p> <p><i>Вопрос: как определяли степень чистоты полученных порошков кремния?</i></p>		
<p>Выводы, приведенные в работе, являются полностью новыми.</p> <p>Впервые предложено применять нанокремниевые порошки, полученные металлургическими (физическими) методами для применения в качестве активного материала отрицательных электродов литий-ионных аккумуляторов.</p> <p>Все экспериментальные результаты получены на сертифицированных оборудованных и приборах.</p>	<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <p>1) полностью новые;</p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	
<p>По результатам проведенных диссертантом теоретических и экспериментальных работ по мероприятиям по очистке кремния с последующим его измельчением до нано-Si предложено техническое решение – устройство для прожига леточного отверстия с целью предотвращения попадания части шлака с примесями в металл. Также предложен инновационный способ лазерной печати ячеек нанокремниевых анодов. Получены патенты на изобретение, что свидетельствует о новизне результатов исследования.</p>	<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:</p> <p>1) полностью новые;</p> <p>2) частично новые (новыми являются 25-75%);</p> <p>3) не новые (новыми являются менее 25%)</p>	
<p>Выводы, приведенные в заключении сделаны на основе весомых результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также результатов физико-химических и структурных методов анализа. Полученные результаты</p>	<p>Все основные выводы <u>основаны</u>/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative</p>	<p>6. Обоснованность основных выводов</p>

	research и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам)	достаточно хорошо обоснованы итогами теоретических и экспериментальных исследований и не противоречат положениям и принципам в области теории и технологии наноматериаловедения и нанотехнологий.
7.	<p>Основные положения, выносимые на защиту</p> <p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>7.1 Доказано ли положение?</p> <p>1) <u>доказано</u>;</p> <p>2) скорее доказано;</p> <p>3) скорее не доказано;</p> <p>4) не доказано</p>	<p>Все три научных положения, вынесенных на защиту доказаны экспериментально. Опытным путем были подобраны составы шлаковых смесей, оптической спектрометрией были определены примеси полученного слитка кремния. Электрохимические свойства готовых электродов из наноразмерного кремния (Si-dust, UMG-Si, mc-Si) были определены методом гальваностатического циклирования и применением электронной, атомно-силовой микроскопии.</p> <p>Положение 1: <u>1) доказано</u>;</p> <p>Положение 2: <u>1) доказано</u>;</p> <p>Положение 3: <u>1) доказано</u>;</p>
	7.2 Является ли тривиальным?	<p>Элементы тривиальности в диссертационной работе отсутствуют. Все найденные закономерности и особенности изученных процессов рассматривались не упрощенно, а с позиции современных знаний в области наноматериалов и нанотехнологий.</p> <p>Положение 1: <u>2) нет</u></p> <p>Положение 2: <u>2) нет</u></p> <p>Положение 3: <u>2) нет</u></p>
	7.3 Является ли новым?	<p>Основные положения, выносимые на защиту, являются новыми результатами полученными путем детального анализа экспериментальных данных на всех этапах технологии изготовления отрицательных электродов литий-ионных аккумуляторов от получения очищенного кремния металлургическим (физическим) методом, измельчением до нанокремния и применением его в качестве активного материала. Положение 1: <u>1) да</u>;</p> <p>Положение 2: <u>1) да</u>;</p> <p>Положение 3: <u>1) да</u>;</p>
	7.4 Уровень для применения:	<p>Уровень применения каждого положения оценивается как широкий. Полученные результаты диссертационной работы могут быть применены в таких областях, как металлургия,</p>

	<p>3) <u>широкий</u></p>	<p>электротехника, материаловедение, наноматериалы и нанотехнологии. Прикладной характер работы находит отражение в применении предложенной технологии нанесения смеси нанопорошков кремния UMG-Si лазерной печатью, что подтверждается Актом внедрения на производство ТОО «Zhersu Power», а результаты исследований внедрены в учебный процесс НАО «КазНИТУ имени К.Сатпаева».</p> <p>Положение 1: <u>3) широкий</u>  Положение 2: <u>3) широкий</u>  Положение 3: <u>3) широкий</u></p> <p>Диссертантом опубликовано 8 научных работ по теме диссертации, в т.ч. 1 публикация, входящая в БД Scopus, 3 рекомендованные КОКСОН, получено 2 патента и 2 доклада в международных конференциях.</p> <p>Положение 1: <u>1) да;</u>  Положение 2: <u>1) да;</u>  Положение 3: <u>1) да;</u></p> <p><i>Однако не везде в опубликованных работах достаточно чётко отражены доказательства наноэффектов.</i></p>
<p>8. Принцип достоверности. Достоверность источников и предоставляемой информации</p>	<p>8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана</p> <p>1) <u>Да;</u>  2) <u>нет</u></p>	<p>Выбранная в работе методика и методология учитывает закономерности формирования наноструктуры кремниевых частиц, полученные из достоверных источников – результатов экспериментальных исследований и их анализа. Это шлаковое рафинирование, кислотное выщелачивание и выращивание на их основе монокристаллического кремния. Методология нанесения наномодификаций кремния (UMG-Si, Si-dust и mc-Si) полностью изложена в диссертационной работе. Кроме того, достоверность результатов обоснована применением хорошо зарекомендовавших себя методов исследований и современных приборов. Выбор методологии в работе достаточно подробно описан и обоснован результатами аналитического обзора литературы и подтвержден достоверными результатами экспериментальных исследований.</p> <p><i>При выборе метода определения примесей в полученных порошках кремния оптической спектрометрией, диссертантом была использована единица измерения ppm,</i></p>

	<p>не входящая в международную систему единиц.</p> <p>В работе использован комплекс современных методов оценивания полученных результатов. Состав и микроструктура металлургического кремния (MG-Si), модернизированного металлургического кремния (UMG-Si) и кремниевая пыль (Si-dust) исследовались методами сканирующей электронной микроскопии и оптической спектроскопией. Полученные отрицательные электроды литий-ионных аккумуляторов из различных модификация кремниевых наноструктур были исследованы методами растровой и атомно-силовой микроскопии. Все результаты имплементированы, обоснованы и интерпретированы при помощи современного программного комплекса Origin Pro, предназначенного для построения научных графиков, моделей и различных зависимостей.</p>	<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>1) <u>да</u>; 2) <u>нет</u></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>1) <u>да</u>; 2) <u>нет</u></p>	<p>8.4 Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу</p>	<p>8.5 Использованные источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора</p>
9.	Принцип практической ценности	Диссертация имеет теоретическое значение:	В работе приведены выводы, модели и закономерности экспериментальным исследованием, полученным при комплексном исследовании методами АСМ, РЭМ, рамановской микроскопии и оптической спектроскопии. <p><i>Для большей убедительности желательно было бы провести сравнительный анализ полученных модификаций кремниевых наноструктур и результатов аналогичных работ других исследований.</i></p>	Все экспериментальные исследования, описанные в диссертации, после проведенного критического анализа литературных источников и патентных исследований, планирования и проведения эксперимента по разработке анода на основе нанокремния и созданию блока литий-ионного аккумулятора, статистического метода анализа подтверждены соответствующими ссылками на достоверную научную литературу.	В работе приведен список литературы из 95 наименования. Приведенные источники достаточны для формирования литературного обзора и критического анализа по теме диссертационной работы. <p>В диссертационной работе приведены комплексные исследования, направленные на изучение получения и</p>



<p>методов очистки металлургического кремния с последующим его измельчением до <math>\text{nano-Si}</math> с целью практического применения в области электроники, а именно в качестве альтернативного перспективного материала анодов литий-ионного аккумулятора. Все научные положения диссертанта имеют большое теоретическое значение и находят свое подтверждение внедрением в учебный процесс НАО КазНИТУ имени К.Сатпаева.</p>	<p>1) <u>да</u>;</p>	
<p>Приведенные в диссертационной работе результаты имеют высокую практическую значимость. Результаты научных исследований, представленные в диссертационной работе, а именно технология изготовления блока литий-ионных аккумуляторов лазерной печатью приняты к внедрению в ТОО «Zhegsu Power».</p>	<p>9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да</u>; 2) <u>нет</u></p>	
<p>Рекомендации для практики являются совершенно новыми. Результаты исследований по получению нанопорошков кремния металлургическим (физическим) методом могут быть эффективно использованы в электронике, металлургии, фотоVOLTAИке. А результаты исследования по разработке технологических основ производства электродов литий-ионного аккумулятора из кремнийсодержащих нанопорошков безусловно найдут свое применение в современных аккумуляторных производствах.</p>	<p>9.3 Предложения для практики являются новыми? 1) <u>полностью новые</u>; 2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%)</u>; 3) <u>не новые (новыми являются менее 25%)</u></p>	
<p>Качество академического письма высокое. Диссертационная работа написана логично с выдержкой достаточно хорошего профессионального научного технического стиля. Формулировки основных положений и выводов четкие. Все разделы диссертационной работы логически взаимосвязаны и направлены на решение поставленных задач.</p>	<p>Качество академического письма: 1) <u>высокое</u>; 2) <u>среднее</u>; 3) <u>ниже среднего</u>; 4) <u>низкое</u>.</p>	<p>10. Качество написания и оформления</p>
<p><i>Имеются замечания редакционного характера, которые не снижают качество работы.</i></p>		

Диссертационная работа Даирбековой Г.С. на тему: «Разработка и исследование технологических основ получения анодов на основе кремния для практического применения в области электроники с целью снижения экологической нагрузки на окружающую среду», выполнена в полном объеме и соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание степени доктора философии (PhD), а ее автор Даирбекова Гулдана Сиундыковна заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по специальности 6D0740000 - «Наноматериалы и нанотехнологии».

Официальный рецензент:

доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики твёрдого тела и нелинейной физики Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный университет имени Аль Фараби»

/Яр-Мухамедова Гульмира Шарифовна

25 апреля 2023г.

Подпись Г.Ш. Яр-Мухамедовой заверяю:

Учёный секретарь Учёного совета физико-технического факультета Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный университет имени Аль Фараби»

/ Исанова М.К.

Сведения о рецензенте:

Яр-Мухамедова Гульмира Шарифовна,

доктор физико-математических наук, профессор

Специальность 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Телефон: +77014847494

e-mail: Gulmira.Yar-Muhamedova@kaznu.kz

Адрес: 050038 Алматы, Республика Казахстан, пр. аль-Фараби, 71

