

## **ОТЗЫВ**

**на диссертационную работу Даирбековой Гулданы Сиюндыковны «Разработка и исследование технологических основ получения анодов на основе кремния для практического применения в области электроники с целью снижения экологической нагрузки на окружающую среду», представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности 6D074000 – «Наноматериалы и нанотехнологии»**

Даирбекова Гулдана Сиюндыковна за период обучения успешно освоила цикл теоретического обучения, показав отличные результаты и знание профильных дисциплин. На основании проведенных научных исследований подготовила диссертационную работу, направленную на исследование технологических основ получения тонкопленочных анодов на основе кремния для практического применения с целью снижения экологической нагрузки на окружающую среду.

Диссертационная работа Даирбековой Г.С. относится к новому, ранее не исследованному направлению в области наноматериалов и нанотехнологий, является актуальной научной темой в таких отраслях, как металлургия и материаловедение.

На сегодняшний день существует острая необходимость в разработке стабильных, мощных и долговечных аккумуляторов, которые являются ключом к будущему персональной электроники, электрических транспортных средств и более эффективных энергосистем.

Современные электронные мега-, макро- и микроустройства массово используют в качестве накопителя энергии литий-ионные аккумуляторы. Но коммерческие литий-ионные аккумуляторы не обеспечивают достаточно быструю подачу энергии. Поэтому актуален поиск новых материалов, которые могут увеличить их энергоемкость, либо заменить используемые в настоящее время дорогостоящие аноды, являющиеся основным элементом литий-ионных аккумуляторов.

Современные литий-ионный аккумуляторы представлены графитовым углеродом. На сегодня в батареях используют особый вид слоистого графита, ограниченного в количестве лития, который они могут поглощать. Кремний может предоставить экономичную альтернативу. Поэтому особый интерес представляет замена графитового углерода отрицательного электрода (анода) кремнием.

Кремний является вторым элементом по распространённости в земной коре, также кремний обладает высокой теоретической электроемкостью (4140 мАч/г), следовательно, массовое производство анодов на основе кремния с низкой стоимостью не является проблемой.

В диссертационной работе подробно раскрыт цикл производства отрицательных электродов от производства металлургического кремния до готового электрода.

Диссертационная работа представляет большой интерес для таких научных областей, как металлургия, материаловедение, энергетика, в т.ч. альтернативная энергетика, электроника и экология.

Сама диссертационная работа написана лаконичным и доступным языком, оформлена в соответствии с утвержденными требованиями, предъявляемыми к диссертационным работам на соискание степени PhD.

В первой главе представлен литературный поиск получения наноразмерного кремния, применения его различных модификаций в литий-ионных аккумуляторах, получению металлургического кремния и методам его очистки до «солнечного» качества для электронной промышленности.

Вторая глава посвящена методологии получения кремния высокого качества.

В третьей главе проведены экспериментальные исследования очистки металлургического кремния, подобран оптимальный состав шлаковых смесей после проведения двух стадий очистки металлургического кремния. Чистота кремния по основным элементам (Ca, Al, Fe) достигала значения не ниже 99,98%, выход кремния достигал 75-85%, а содержание бора и фосфора в очищенном кремнии уменьшилось более чем в 2 раза. Также было разработано техническое решение – устройство для прожига леточного отверстия, с целью предотвращения попадания части шлака с примесями в металл. Разработаны технологические основы производства электродов литий-ионного аккумулятора и предложена новая технология изготовления анодов аккумуляторов с кремниевым анодом лазерной печатью.

В четвертой главе приведены результаты электрохимических исследований образцов. В результате было доказано, что фракции исходных материалов влияют на электрохимические свойства литий-ионных аккумуляторов. Следовательно, при использовании кремниевых структур с размером частиц 100 нм возможно получение стабильного анодного материала, что позволит избежать разрушений кремниевой матрицы при внедрении лития.

Диссертационная работа выполнена согласно Государственной программе индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020–2025 годы, соответствует целям Индустрии 4.0.

Результаты диссертационной работы подтверждены 8 статьями и докладами на международных научно-практических конференциях, в т.ч опубликованных в БД Scopus, рекомендованных КОКСОН МОН РК и инновационными патентами РК.

Исходя из вышеизложенного, диссертационная работа докторанта Даирбековой Гулданы Сиюндыковны, выполненная 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», является законченным научным трудом, соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание степени доктора философии (PhD), имеет большую научную и практическую ценность, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени доктора философии (PhD) по специальности 6D074000 – «Наноматериалы и нанотехнологии».

Д.т.н., профессор  
НАО «КазНТУ имени К.И. Сатпаева»



  
Б. Жаутиков