

ОТЗЫВ

**на диссертационную работу Толубаева Каната Сайлаужановича
«Исследование и разработка перспективного метода синтеза кремния для
литий-ионных аккумуляторов», представленной на соискание степени
доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D07101 –
«Нанотехнологии в инженерии»**

Современные литий-ионные аккумуляторы находят широкое применение в различных отраслях, несмотря на ограниченную способность к быстрому высвобождению энергии. Данное ограничение обусловлено рядом факторов, включая низкую скорость диффузии ионов лития между анодом и катодом (ограниченная кинетика интеркаляции), внутреннее сопротивление элементов ячейки, а также физико-химические свойства используемых электродных материалов. В представленной диссертационной работе кремний рассматривается в качестве перспективного анодного материала благодаря его высокой теоретической удельной ёмкости. Однако, использование кремния сопряжено рядом проблем, связанных с его низкой механической стабильностью, что приводит к быстрому разрушению анода при циклической работе. В целях повышения эксплуатационных характеристик аккумуляторов предлагается применение наноструктурированных форм кремния и тонкопленочных анодных материалов. Эти подходы способствуют снижению объемных изменений в ходе литиевой интеркаляции и повышению структурной устойчивости анода. Особое внимание в исследовании уделяется методам анализа структуры и фазового состава кремниевых пленок, что является важным аспектом для дальнейшего совершенствования технологии.

Диссертационная работа написана лаконично и доступным языком, оформлена в соответствии с требованиями. В первой главе рассмотрены технологии получения кремниевых наноструктур, проблемы их идентификации методами электронной микроскопии и рамановской спектроскопии, а также сформулированы цели и задачи исследования.

Вторая глава посвящена описанию применяемых материалов, экспериментального оборудования и методологии исследований.

В третьей главе исследуются особенности полиморфизма кремниевых плёнок двух типов, включая структурный анализ и деконволюцию спектров Рамана.

В четвёртой главе подробно изучено влияние технологических параметров магнетронного напыления на морфологию и фазовый состав плёнок.

Пятая глава содержит результаты электрохимических испытаний экспериментальных макетов литий-ионных аккумуляторов с кремниевыми анодами, с акцентом на влияние доли нанокристаллического кремния на их характеристики.

Самым главным результатом диссертационного исследования является обнаружение новой полиморфной модификации в структуре тонких кремниевых плёнок - волокнистого нанокремния, а также обнаружение способа резкого увеличения удельной производительности данных наноструктур на основе известного и широко используемого метода магнетронного напыления.

В рамках диссертационной работы получены следующие результаты:

- 1) Выявлена ранее не известная форма волокнистых кремниевых нанокристаллитов диаметром от 10 до 150 нм в составе кремниевой плёнки, полученной методом магнетронного напыления.
- 2) Установлены особенности спектрограммы Рамана, характерные для кремниевых плёнок, имеющих в своём составе нанокристаллиты нового типа. Пик аморфного кремния в районе 120 см^{-1} , кристаллического кремния в районе 210 см^{-1} .
- 3) Разработаны математические модели, описывающие кинетику роста толщины кремниевых плёнок, получаемых методом магнетронного напыления при различном давлении в рабочей камере.
- 4) Создана математическая модель, связывающая долю nano кремния в составе полученной кремниевой плёнки (Y) и основные технологические параметры магнетронного напыления кремния: Удельная мощность на мишени, Вт/см^2 ($X1$), Давление в рабочей камере, Па ($X2$), Частота напряжения на мишени, кГц ($X3$)

$$Y = -30,7846 + 62,897 \times X2 + 0,2277 \times X3 - 5,3108 \times X2^2$$

- 5) Обосновано преимущество нового кремниевого материала по сравнению с существующими аналогами.

Докторант в полном объеме выполнил необходимые требования для получения ученой степени PhD, предъявляемые Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан. Основные результаты диссертационной работы подтверждены статьями, в т.ч. опубликованных в базе данных Web of Science/Scopus и рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Исходя из вышеизложенного, диссертационная работа докторанта Толубаева Каната Сайлаужановича, выполненная на тему «Исследование и разработка перспективного метода синтеза кремния для литий-ионных аккумуляторов», является законченным научным трудом, соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание степени доктора философии (PhD), имеет большую практическую ценность, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени доктора философии (PhD) по специальности 8D07101 – «Нанотехнологии в инженерии».

**К.х.н., профессор,
Зав. кафедрой «Химические
технологии и экология»**



Handwritten signature of S.K. Kabiyeva

Кабиева С.К.