ОТЗЫВ

научного руководителя PhD, доцент-исследователь Мархабаева А.А. на диссертационную работу **Жумадилова Бауыржана Ерболсынұлы** на тему: «Углеродные наностены и их гибридные композиты как электрокаталитические материалы для водородной энергетики» представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D07110 – Материаловедение и технология новых материалов»

Диссертационная работа Жумадилова Б.Е. посвящена всестороннему исследованию физических и химических характеристик углеродных стенок (УНС) с целью разработки высокоэффективных электрокаталитических материалов для реакции выделения водорода (РВВ). Тематика исследования является весьма актуальной, поскольку охватывает приоритетные направления современного материаловедения, технологий новых материалов, электрохимии и водородной энергетики, объединяя фундаментальное изучение свойств углеродных структур с созданием, оптимизацией и комплексной оценкой гибридных электродных систем.

Исследование охватывает три взаимосвязанных направления:

В первом разделе проведён систематический анализ влияния типов подложек и режимов продолжительности осаждения методом CCP-PECVD на особенности формирования морфологии, структуры и физико-химических характеристик углеродных стенок. Установлено, что природа подложки оказывает определяющее влияние на электрохимические параметры полученных материалов. Наиболее выраженный эффект выявлен для титановой основы, где сопротивление переноса заряда уменьшалось приблизительно с 7790 до 2660 Ом по мере увеличения времени синтеза, что указывает на последовательное формирование развитой сети токопроводящих каналов. Полученные результаты послужили научным обоснованием выбора титана как наиболее перспективной основы для последующей модификации электродной системы.

Во втором разделе на базе выявленных закономерностей разработан и комплексно исследован гибридный электрод Ti/УНС/WO_3. Научная значимость данного этапа заключается в подтверждении выраженного синергетического эффекта на границе раздела УНС/WO_3. Введение оксидного компонента обеспечило снижение сопротивления переноса заряда примерно в четыре раза, а также увеличение электрохимически активной поверхности в 2,5 раза. В результате созданный материал продемонстрировал высокую каталитическую эффективность в РВВ: перенапряжение составило 40,9 мВ при наклоне Тафеля 76 мВ·дек$^{-1}$, что сопоставимо с показателями коммерческих платиновых катализаторов.

В третьем разделе раскрыты особенности активационной перестройки кластеров $(NH_4)_2Mo_3S_{13}$ в процессе протекания РВВ. Показано, что в рабочих условиях исходная кластерная структура трансформируется в аморфную фазу

MoS_x, сопровождаясь перераспределением серосодержащих лигандов и ростом доли терминальных S^{2-} центров. Такие изменения способствуют оптимизации взаимодействия поверхности с водородом и реализации механизма Вольмера-Хейровского. Практическая ценность выявленного эффекта подтверждена высокой долговременной устойчивостью электрода, сохранившего около 98 % первоначальной каталитической активности после 100 часов непрерывной эксплуатации.

Надёжность и обоснованность представленных в диссертации результатов подтверждаются использованием совокупности современных взаимодополняющих методов исследования, обеспечивающих всесторонний анализ изучаемых объектов. Дополнительным подтверждением научной состоятельности работы является апробация её основных положений в трёх публикациях, вышедших в авторитетных рецензируемых журналах, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus.

В целом диссертационная работа представляет собой завершённое и содержательное научное исследование, обладающее как фундаментальной, так и практической значимостью. Полученные результаты существенно расширяют современные представления о свойствах углеродных стенок и перспективах их использования при создании эффективных электрокаталитических систем. Работа вносит заметный вклад в развитие материаловедения и технологий новых материалов, а её выводы могут служить научной основой для дальнейшего проектирования перспективных гибридных электрокатализаторов для РВВ.

С учётом изложенного следует заключить, что диссертационная работа Жумадилова Б.Е. на тему «Углеродные наностены и их гибридные композиты как электрокаталитические материалы для водородной энергетики», представленная на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D07110 – Материаловедение и технология новых материалов» соответствует всем квалификационным требованиям правил присуждения степеней, а его автор заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD).

Научный консультант,
PhD, доцент-исследователь _____ Мархабаева А.А.

ЗАВЕРЯЮ
Начальник управления подготовки и аттестации
научных кадров КазНУ им. аль-Фараби