ОТЗЫВ

научного руководителя к.ф.-м.н., PhD, профессора Габдуллина М.Т. на диссертационную работу **Жумадилова Бауыржана Ерболсынулы** 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 комплексному исследованию физических и химических свойств углеродных наностен (УНС) и их композитов, направленному на создание высокоэффективных электрокаталитических систем для реакции выделения водорода (РВВ). Тематика исследования является актуальной, поскольку охватывает современные направления материаловедения, нанотехнологий, электрохимии и водородной энергетики, сочетая изучение характеристик наноматериалов с разработкой и всесторонней оценкой гибридных электродных систем.

Диссертационная работа выполнена на базе КазНУ имени аль-Фараби, национальной нанотехнологической лабораторий открытого типа, АО «Казахстанско-Британский технический университет», Назарбаев Университет.

В рамках исследования проведены комплексные изучения морфологических, структурных, химических и электрохимических свойств УНС и гибридных композитов на основе УНС с применением передовых аналитических инструментов и широко признанных методов исследования: СЭМ, АСМ, ПЭМ, Рамановской спектроскопии, XRD, XPS, UPS, а также линейной и циклической вольтамперометрии и электрохимической импедансной спектроскопии. Кроме этого, были разработаны и подробно охарактеризованы гибридные электрокаталитические электроды Ti/УНС/WO_3 и Ti/N-УНС/АТМ.

В результате экспериментов установлено, что тип подложки и время синтеза методом CCP-PECVD являются определяющими факторами формирования морфологии и электрохимических свойств УНС: металлические подложки Ti и Ta с высокой теплопроводностью обеспечивают ускоренный рост наностен и снижение сопротивления переноса заряда с ~7789 до ~2664 Ом. На основе полученных данных сконструирован гибридный электрод Ti/УНС/WO_3, в котором синергетическое взаимодействие на интерфейсе УНС/WO_3 обеспечивает перенапряжение η_{10} = 40,9 мВ и наклон Тафеля 76 мВ·дек$^{-1}$ характеристики, сопоставимые с коммерческими платиновыми катализаторами. Экспериментальные работы по исследованию электрокаталитических систем на основе молекулярных кластеров тиомолибдата аммония, нанесённых на азот-легированные УНС, показали, что в процессе РВВ происходит активационная реконструкция кластеров $(NH_4)_2Mo_3S_{13}$ с образованием аморфной фазы MoS_x и увеличением доли терминальных S^{2-} центров, что приводит к реализации механизма Вольмера-Хейровского и обеспечивает сохранение 98%

каталитической активности после 100 часов непрерывной работы. Разработанный электрод Ti/N-УНС/АТМ демонстрирует перенапряжение η_{10} = 45 мВ, наклон Тафеля 82 мВ·дек$^{-1}$ и частоту оборота TOF = 1,28 с$^{-1}$.

Полученные результаты представляют ценность для развития сферы материаловедения и нанотехнологий, в частности электрокаталитических систем на основе УНС, дают понимание механизмов каталитической активности наноструктурированных гибридных материалов и демонстрируют возможности их практического применения в системах электрохимического получения водорода.

В рамках выполнения диссертационной работы Жумадилов Б.Е. опубликовал 3 статьи в рецензируемых научных журналах с высоким импакт-фактором, таких как International Journal of Hydrogen Energy (IF 8,3, Q1), Chemical Engineering Journal Advances (IF 7,1, Q1) и Advanced Physics Research (IF 2,8, Q2), входящих в международные базы данных Web of Science и Scopus, а также 3 статьи в изданиях, рекомендованных КОКСНВО МНВО РК.

Исследовательская работа Жумадилова Б.Е. на тему «Углеродные наностены и их гибридные композиты как электрокаталитические материалы для водородной энергетики» по актуальности, научному уровню, новизне и практической значимости соответствует всем квалификационным требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD), а её автор заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D07110 – Материаловедение и технология новых материалов».

Научный консультант,
к.ф.-м.н., PhD, профессор _____ Габдуллин М.Т.

Подпись Габдуллина М. заверяю
Департамент
по развитию персонала