

Голові спеціалізованої вченої ради
ДФ 20 051.156
Карпатського національного
університету
імені Василя Стефаника
доктору фізико-математичних наук,
професору Івану ГАСЮКУ
(76018, м. Івано-Франківськ,
вул. Шевченка, 57)

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, старшого дослідника, завідувача
кафедри прикладної фізики і наноматеріалознавства
Національного університету «Львівська політехніка»

Іващишина Федора Олеговича

на дисертаційну роботу **Лісовської Світлани Андріївни**

**«Структура, морфологія та електрохімічні властивості електродних
матеріалів систем накопичення заряду»**, подану на здобуття ступеня доктора
філософії в галузі знань 10 Природничі науки
за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Актуальність теми дисертаційного дослідження зумовлена стрімким розвитком технологій, що лежать в основі створення пристроїв накопичення електричної енергії, серед яких особливе місце посідають електрохімічні конденсатори (суперконденсатори). Ефективність таких пристроїв значною мірою визначається властивостями електродних матеріалів, зокрема пористих вуглецевих структур, які характеризуються великою питомою площею поверхні (понад 400 м²/г). Від параметрів електродів, підбору електроліту та сепараторів залежать ємнісні, енергетичні й кінетичні характеристики суперконденсаторів, що працюють на основі механізму утворення подвійного електричного шару.

Актуальним завданням сучасної науки пов'язаної із системами накопичення електричної енергії є синтез електродних матеріалів із раціональним поєднанням структурно-морфологічних, електрохімічних та електропровідних властивостей електродних матеріалів. Саме вивчення взаємозв'язків між умовами отримання пористих вуглецевих матеріалів, їх структурою, морфологією поверхні та впливом цих параметрів на їх електрохімічні властивості становить наукову й практичну значущість дисертаційної роботи Лісовської С.А., яка спрямована на вдосконалення електродів для систем накопичення заряду нового покоління.

Наукова новизна дисертаційного дослідження полягає у встановленні закономірностей формування структури та властивостей нанопористих

вуглецевих матеріалів із рослинної сировини залежно від умов термічної активації. У роботі досліджено еволюцію мікро- та мезопористої структури при зміні температури й тривалості активації; встановлено зв'язок між фрактальною розмірністю поверхні, пористістю і електрохімічними властивостями; показано можливість керованого формування ієрархічної пористої структури з високою питомою площею поверхні; виявлено вплив струмопровідної добавки на ємнісні характеристики і внутрішній опір матеріалів; обґрунтовано взаємозв'язок між параметрами активації та питомими енергетичними характеристиками отриманих матеріалів.

Практичне значення одержаних результатів.

Дослідження має прикладний характер, оскільки його результати можуть бути використані для створення електродів нового покоління електрохімічних конденсаторів із підвищеною питомою ємністю та стабільністю. Встановлені закономірності формування пористої структури та морфології вуглецевих матеріалів створюють наукову основу для розроблення ієрархічних наноструктурованих матеріалів, придатних для систем накопичення, зберігання й перетворення енергії, а також для застосування у сорбційних і каталізаторних технологіях.

Відповідність дисертації профілю спеціалізованої вченої ради. Зміст дисертаційної роботи Лісовської Світлани Андріївни на тему «Структура, морфологія та електрохімічні властивості електродних матеріалів систем накопичення заряду», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії, повністю відповідає спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Аналіз змісту дисертації.

Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатку. Дисертація викладена на 188 сторінках, містить 62 рисунки, 12 таблиць і 229 бібліографічних посилань. Матеріали дисертації опубліковані в 4 наукових статтях у фахових виданнях, які індексуються наукометричною базою Scopus, та оприлюднені на 5 міжнародних і всеукраїнських конференціях.

У дисертаційній роботі представлено значний обсяг експериментальних результатів, які систематизовано та проаналізовано на сучасному науковому рівні. Продумана інтерпретація отриманих даних свідчить про високий професійний рівень і кваліфікацію автора. Достовірність результатів підтверджується застосуванням статистичних методів обробки, використанням комплексу сучасних взаємодоповнюючих фізико-хімічних методів дослідження азоту, X-променевого флуоресцентного аналізу) та спеціалізованого програмного забезпечення для математичного аналізу експериментальних даних. Електрохімічні характеристики пористих вуглецевих матеріалів та

суперконденсаторів на їхній основі досліджено методами імпедансної спектроскопії, вольтамперометрії та хронопотенціометрії.

До основних наукових результатів належать:

Комплексний аналіз пористої структури показав, що термохімічна активація є ефективним методом формування ієрархічної системи пор, у результаті чого отримано нанопористі вуглецеві матеріали з питомою площею поверхні основний внесок, а мезопори (2-5 нм) забезпечують ефективний доступ, що робить матеріал перспективним для подальшої модифікації;

2) Показано, що оптимальні умови термічної обробки забезпечують формування ієрархічної пористої структури з високою питомою поверхнею та доступними транспортними порами, що сприяє покращенню кінетики зарядно-розрядних процесів і підвищенню питомої ємності.

Показано, що підвищення температури термічної активації від 400 °С до структури від переважно мікропористої до комбінованої мікро- та мезопористої з питомою площею поверхні 500-900 м²/г, де частка мезопор сягає 70-90 %, що формує багаторівневу систему пор і робить отримані матеріали перспективними для адсорбційних і електрохімічних застосувань.

Встановлено, що за результатами аналізу SAXS-даних радіус гірації вуглецевих матеріалів становить ~2,7-3,5 нм, при цьому максимальне значення розвиненої мезопористої структури.

Встановлено, що тип струмопровідної добавки визначає ефективність роботи електрохімічного конденсатора, причому ацетиленова сажа забезпечує найвищу питому ємність (~100-120 Ф/г), мінімальний внутрішній опір і високу потужність.

Встановлено, що в отриманих нанопористих вуглецевих матеріалах ємність формується переважно за рахунок подвійного електричного шару, при цьому зменшення ємності у робочому діапазоні струмів не перевищує 15 %, що свідчить про високу стабільність електродних характеристик.

Обґрунтовано перспективність отриманих нанопористих вуглецевих матеріалів для використання в електрохімічних системах накопичення енергії, зокрема в суперконденсаторах, завдяки поєднанню високої питомої поверхні, оптимального поророзподілу та стабільних електрохімічних параметрів.

Особистий внесок автора полягає у плануванні досліджень, виконанні основного обсягу експериментів, аналізі отриманих результатів і підготовці наукових публікацій. Сформульовані у дисертації положення, висновки та узагальнення повністю відповідають поставленій меті, а отримані результати узгоджуються з матеріалами опублікованих наукових статей.

Відсутність порушення академічної доброчесності.

За результатами перевірки дисертаційної роботи та публікацій не виявлено ознак академічного плагіату, чи елементів фальсифікації. Автор використовує посилання на свої наукові публікації, публікації інших авторів та джерел.

Проте, розглянута наукова робота не позбавлена певних недоліків:

к зауваження зазначу, що з огляду на кінцевий позитивний результат роботи не зовсім зрозуміло, чи має якісь переваги вуглець саме рослинного походження (крім дешевизни, екологічності тощо), чи досягнутий результат отриманий завдяки підібраним режимам його термічної модифікації.

оцільно більш детально дослідити процеси деградації та термостійкості вуглецевих структур, на основі яких створюються суперконденсатори. Адже випробування таких систем зазвичай проводяться при значній кількості циклів заряд-розряд (>1000), тоді як у роботі при розрахунках електрохімічних характеристик не вказано максимальну кількість виміряних циклів. Також в роботі не наводиться інформація про вибірку та усереднення отриманих результатів.

лектрохімічні властивості отриманих композитів досліджено методом циклічної вольтамперометрії, за допомогою якого визначено співвідношення між фарадеївською та нефарадеївською ємностями. Однак виникає запитання, чому для підтвердження механізмів накопичення заряду не було використано метод імпедансної спектроскопії, який також дозволяє оцінити внесок кожного процесу в загальну ємність системи.

ля кращого розуміння та порівняння питомих ємнісних характеристик суперконденсаторів доцільно було б подати значення густини розрядного струму. Це дозволило б об'єктивніше оцінити ефективність досліджуваних матеріалів у порівнянні з відомими аналогами.

роботі зазначено, що додаткова термічна активація проводилась при температурах 400 °C, 450 °C та 500 °C, проте не обґрунтовано вибір саме цих діапазонів температурних режимів?

науковій новизні невдало вжито слово «тип» струмопровідної добавки. В дисертації мова іде про конкретні добавки такі як графіт (фірми Aldrich), окислений графіт, терморозширений графіт і сажа (Super-P). Проте не аналізується їх характеристик та не приведено розподілу їх за типом.

роботі зустрічаються рисунки із англійськими написами, неточності та допущені орфографічні помилки, наприклад у слові «ідентичнийи» (стор. дифрактометри» (стор. 64).

Наведені вище зауваження та недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційного дослідження і не стосуються основних висновків та наукових положень, що визначають наукову новизну отриманих результатів.

Висновок.

Аналізуючи дисертаційне дослідження Лісовської С.А. «Структура, морфологія та електрохімічні властивості електродних матеріалів систем накопичення заряду» засвідчую, що робота є комплексним і завершеним науковим дослідженням, яке має як теоретичну, так і практичну цінність. Основні результати належним чином висвітлені у наукових публікаціях, що підтверджує їх достовірність і новизну. Дисертація повністю відповідає вимогам, визначеним МОН України: «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами) та наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами). На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що дисертаційна робота Лісовської С.А. відповідає рівню кваліфікаційної наукової праці, а її авторка заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, старший дослідник,
завідувач кафедри прикладної
фізики і наноматеріалознавства
Національного університету
«Львівська політехніка»

Федір ІВАЦІШИН