

Голові спеціалізованої вченої ради

ДФ 20 051.056

Прикарпатського національного

університету імені Василя Стефаника

доктору фізико-математичних наук,

професору Гасюку Івану Михайловичу

(76018, м. Івано-Франківськ,

вул. Шевченка, 57)

### РЕЦЕНЗІЯ

доктора фізико-математичних наук, професора, професора кафедри фізики і методики викладання Прикарпатського національного університету імені

Василя Стефаника **Яблонь Любові Степанівни**

на дисертаційну роботу **Годлевської Мирослави Андріївни**

**«Електродні матеріали гібридних суперконденсаторів на основі**

**наноккомпозитів  $\text{NiFe}_2\text{O}_4 / \text{rGO}$ », подану на здобуття**

ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки

за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Сучасна електрохімічна енергетика розвивається в двох основних напрямках: акумуляторні системи, що ґрунтуються на інтеркаляції іонів літію, та суперконденсатори, в яких накопичення заряду може відбуватися за електростатичним механізмом або за допомогою оборотних окисно-відновних реакцій. Поєднання цих двох типів накопичення заряду реалізується в гібридних суперконденсаторах та дає змогу покращити їхню продуктивність. Основні переваги таких систем над іншими джерелами енергії це: швидке заряджання та розряджання, довговічність, ефективність та екологічність. Вивчення і розуміння фізико-хімічних процесів, які протікають при накопиченні заряду, дають змогу покращити параметри суперконденсаторів, насамперед, густину енергії, робочу напругу, мініатюризацію, оптимізацію та економічність.

Саме тому дослідники зосереджуються на створенні нових матеріалів для використання їх як матеріалів для електродів суперконденсаторів, з метою забезпечити більш ефективне та економічне накопичення та зберігання енергії. Оксиди перехідних металів, такі як оксиди марганцю, кобальту та нікелю, можуть бути використані як електродні матеріали, що забезпечують високу ємність та стійкість циклічних процесів. Створення композитних матеріалів з відновленим оксидом графену може покращити їх провідність та електрокаталітичну активність, що забезпечить більш ефективне збереження та використання накопиченої енергії.

Виявлення та вивчення зв'язку між умовами синтезу, структурою, морфологією, електрофізичними та електрохімічними параметрами дає змогу створити ефективні гібридні суперконденсатори, тому дисертаційна робота Годлевської М.А, яка присвячена встановленню закономірностей впливу питомої площі поверхні і параметрів пористої структури, питомої електропровідності і енергії активації провідності на питому ємність електродів на основі композитних наноматеріалів нікель-залізна шпінель / відновлений оксид графену, є безсумнівно актуальною.

Підтвердженням актуальності даної роботи є те, що дане дослідження є складовою частиною проєкту Національного фонду досліджень України «Асиметричні суперконденсатори з водним електролітом на основі нанокompозитів оксиди заліза і нікелю / відновлений оксид графену та мікропористого вуглецю» (2020-2023 рр.), який виконується у наукових лабораторіях кафедри матеріалознавства та новітніх технологій Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника.

Основний зміст дисертації висвітлено в 7 наукових статтях у фахових журналах, які індексуються наукометричними базами WebofScience та/або Scopus та апробовано на 9 міжнародних та всеукраїнських конференціях.

Зміст роботи. Дисертація Годлевської М.А. складається з анотації, вступної частини та чотирьох розділів, загальних висновків і списку використаних літературних джерел.

У першому розділі роботи розглянуто принцип роботи суперконденсаторів, їх класифікацію за механізмом накопичення електричного заряду, основні кількісно-якісні характеристики, які повинні мати електродні матеріали для суперконденсаторів, а також різні типи електролітів, від яких значно залежить значення питомої енергії. Перший розділ містить опис методів отримання відновленого оксиду графену та властивостей різних матеріалів, які можуть бути використані як електродний матеріал. Проаналізовано використання цих матеріалів як електродних для гібридних електрохімічних конденсаторів, що дає можливість охопити весь спектр проблем, пов'язаних з розробкою нових матеріалів для електрохімічних конденсаторів.

У другому розділі дисертантка описує використані нею методи дослідження, такі як: X-променева дифракція, месбауерівську спектроскопію, метод адсорбційної порометрії, метод імпедансної спектроскопії і циклічну вольамперометрію.

Третій розділ присвячений опису синтезу оксиду графену за протоколами Хамерса (GO-H) і Тоура (GO-T), а також відновлення цих зразків термічно-мікрохвильовим (GO-H (MW), GO-T (MW)) та хімічним методами (GO-H (Chem), GO-T(Chem)). Дослідження цих матеріалів за допомогою X-променевого аналізу, дало змогу визначити розміри областей когерентного розсіювання. Аналіз отриманих ізотерм дав змогу визначити питомі площі поверхні, а також розмір і вид пор. Наступним етапом були визначені електрофізичні характеристики, які є важливими для використання таких зразків як компонентів композитного електрода гібридного суперконденсатора. Проаналізовано залежність значень питомої провідності зразків відновленого оксиду графену від величин питомої площі поверхні. Всі отримані зразки апробовані як електродні матеріали в трьохелектродній комірці. На основі отриманих результатів дисертанткою проаналізовано залежність рівноважних значень питомої ємності від величини питомої площі поверхні отриманих зразків, виявлено сильний позитивний кореляційний зв'язок.

У четвертому розділі подано результати експериментальних досліджень композитів  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  / rGO. Отримання даних матеріалів було реалізовано

гідротермальним та золь-гель автогоріння методами. Зокрема, описано гідротермальний синтез ультрадисперсного  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  та композиційних матеріалів  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$ /відновлений оксид графену (rGO) в присутності поверхнево-активної речовини. Адсорбція катіонних поверхнево-активних речовин на поверхні як частинок нікелевого фериту, так і rGO, призводить до утворення більш однорідного та дисперсного нанокompозиту, а також до зменшення енергії активації. Використаний підхід дозволяє контролювати структурні, морфологічні та електрофізичні властивості композиту  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  / відновлений оксид графену, що важливо для пошуку ефективних катодних матеріалів для гібридних суперконденсаторів.

Проведено статистичні дослідження внесків електростатичної та фарадеївської ємностей для електродів гібридних суперконденсаторів, які містять нанокompозити нікель-залізної шпінелі та відновленого оксиду графену, в лужному водному електроліті. Також встановлено кореляційний зв'язок між питомою поверхнею та електропровідністю цих матеріалів.

Дисертація є самостійним науковим дослідженням, містить власні авторські висновки і практичні рекомендації. Викладені в дисертації наукові результати отримано здобувачем особисто.

За результатами аналізу тексту дисертації та публікацій не виявлено ознак академічного плагіату, елементів фальсифікації. Автор використовує посилання на свої наукові публікації, дослідження інших науковців та інші джерела, що свідчить про відсутність порушення автором вимог академічної доброчесності.

Зауваження до змісту та тексту дисертації:

1. При застосуванні рівняння Рендлса – Шевчика не вказано, яка площа електрода була використана при дослідженнях.
2. У роботі недоречно використовується слово «взаємозв'язок». Так, зокрема, зазначено про взаємозв'язок між умовами синтезу та енергоємнісними параметрами. Тобто, якщо дослівно застосовувати

таке формулювання, то енергоємнісні параметри повинні би також впливати на умови синтезу.

3. У дисертації позначення на осях рисунків наводяться як українською, так і англійською мовами, що варто було б привести до одного формату (українською).

Однак, наявність зазначених зауважень не впливає на загальну позитивну оцінку дисертації Годлевської М.А. Сформовані зауваження є дискусійними та орієнтовані на фокусування подальших наукових досліджень визначеної проблематики.

Дослідження є завершеною, самостійною працею, яка виконана на високому науковому рівні та у повному обсязі вирішує поставлені завдання. У ньому отримано нові обґрунтовані та достовірні результати, які є суттєвими при створенні більш ефективних та стійких матеріалів для використання їх у пристроях накопичення і збереження енергії.

Вважаю, що дисертація Годлевської М. А. «Електродні матеріали гібридних суперконденсаторів на основі нанокompозитів  $\text{NiFe}_2\text{O}_4$  / rGO» відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії КМУ» від 12.01.2022 № 44 (зі змінами від 21.03.2022р. №341) та Вимогам до оформлення дисертації, затвердженими наказом МОН України від 12.01.2017 № 40 (зі змінами), а її авторка заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

Професор кафедри фізики і методики викладання

Прикарпатського національного

університету імені Василя Стефаника,

доктор фізико-математичних наук, професор \_\_\_\_\_ Любов ЯБЛОНЬ