

**Голові разової спеціалізованої  
вченої ради ДФ 20.051.115  
Прикарпатського національного  
університету імені Василя Стефаника,  
доктору фізико-математичних наук,  
професору Гасюку Івану Михайловичу**

## **РЕЦЕНЗІЯ**

доктора хімічних наук, професора,  
завідувача кафедри хімії Прикарпатського національного  
університету імені Василя Стефаника

**Миронюка Івана Федоровича**

на дисертацію **Хемій Марії Михайлівни**

**«Структура та електрохімічні властивості бінарних оксидів перехідних металів, модифікованих ультразвуковим та електромагнітним випромінюванням»**, подану на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 10 Природничі науки за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали

### **Актуальність теми**

Стрімкий прогрес науки і техніки зумовив пошуки шляхів отримання матеріалів з новими функціональними властивостями для практичного застосування в цілому ряді галузей промисловості, енергетики та транспорту. У цьому контексті основною проблемою є підбір електродного матеріалу, який повинен володіти відповідною сукупністю фізико-хімічних властивостей, необхідних для їх оптимального функціонування. В якості електродних матеріалів для гібридних конденсаторів перспективними є бінарні оксиди перехідних металів через поширеність у природі, простоту синтезу, задовільну структурну стабільність та можливість модифікації фізико-хімічних властивостей.

Враховуючи постановку представленої проблеми дисертація Хемій М.М. «Структура та електрохімічні властивості бінарних оксидів перехідних металів, модифікованих ультразвуковим та електромагнітним випромінюванням» має велике не тільки наукове, а й практичне значення, оскільки метою роботи є встановлення умов гідротермального та мікрохвильового синтезу та змін фізико-хімічних властивостей  $\text{NiMoO}_4$  внаслідок лазерного опромінення та ультразвукового диспергування і можливості їх використання в гібридних електрохімічних системах.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

Запропоновано молібдат нікелю, модифікований ультразвуком та лазерним опроміненням, як катодний матеріал для гібридних електрохімічних систем. Досліджено вплив тривалого ультразвукового диспергування на електрохімічні властивості нанокристалічного гідрату молібдату нікелю, отриманого гідротермальним методом. Виявлено два катодних піки на циклічних вольтамперограмах та описано механізм заряду/розряду електрода на основі  $\text{NiMoO}_4$ . Досліджено взаємозв'язок між ємнісними характеристиками матеріалу і умовами лазерного опромінення. Порівняння енергетичних характеристик гібридних систем показало, що найвищі значення питомої ємності та енергії має гібридний конденсатор з лазерно модифікованим молібдатом нікелю.

### **Практичне значення отриманих результатів**

Розроблено нові матеріали, модифіковані лазерним опроміненням та ультразвуком, для використання в електродах пристроїв, призначених для накопичення та зберігання електричної енергії. Отримані результати можуть бути використані у подальшій науково дослідницькій роботі, а також як навчальний матеріал для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти.

Основний зміст дисертації висвітлено у 13-ти працях, а саме: 8-х наукових статтях, опублікованих у фахових наукових виданнях, які індексуються наукометричними базами Scopus та/або Web of Science, а також у 5-ти тезах доповідей на Міжнародних та всеукраїнських науково-практичних

конференціях. Обсяг друкованих праць та їх кількість відповідають вимогам МОН України щодо публікацій основного змісту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

### **Основний зміст**

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів і висновків. Описано актуальність теми, цілі роботи, методи дослідження, основні результати та їх практичну значимість, а також приведено список використаних джерел.

У першому розділі дисертації «Структура та електрохімічні властивості бінарних оксидів перехідних металів, модифікованих ультразвуковим та електромагнітним випромінюванням» здійснено огляд літератури щодо механізмів накопичення заряду у суперконденсаторах, порівняно ці процеси з принципами роботи батарей і пристроїв з інтеркаляційною псевдоємністю, а також розглянуто моделі подвійного електричного шару на межі розділу електрод/електроліт. Проаналізовано властивості вуглецевих матеріалів і бінарних оксидів перехідних металів для електродів суперконденсаторів. Окрему увагу приділено кристалічній структурі, фізико-хімічним та електрохімічним властивостям  $\text{NiMoO}_4$ , а також методам його синтезу – гідротермальному, хімічному осадженню, мікрохвильовому та темплатному.

У розділ 2 описано методику отримання  $\text{NiMoO}_4$  гідротермальним та мікрохвильовим способами. Представлено методи дослідження структури, стану поверхні, електропровідності та електрохімічної поведінки отриманих матеріалів.

Розділ 3 присвячений дослідженню вплив ультразвуку та лазерного опромінення на структуру, морфологію, оптичні та електричні властивості  $\text{NiMoO}_4$ , синтезованого гідротермальним способом. Визначено кристалічну структуру вихідного гідрату  $\text{NiMoO}_4$ , його фазовий склад та розміри областей когерентного розсіювання. Показано, що лазерне опромінення впливає на електропровідність та релаксаційні процеси. Проаналізовано зміни питомої

площі поверхні та об'єму мезопор під впливом ультразвуку. Порівняно вихідний матеріал із синтезованим методом мікрохвильового опромінення.

У розділі 4 представлено результати електрохімічних досліджень молібдату нікелю та його модифікованих форм. Визначено особливості механізму заряду/розряду  $\text{NiMoO}_4$ , розраховано питомі ємності та коефіцієнти дифузії протонів. Вивчено вплив лазерного опромінення й ультразвуку на ємнісні характеристики матеріалів. Показано, що синтезований методом мікрохвильового опромінення  $\text{NiMoO}_4$  має високу питому ємність у порівнянні з термічно обробленим матеріалом. Проаналізовано енергетичні параметри гібридних конденсаторів на основі  $\text{NiMoO}_4$  та пористого вуглецевого аноду.

### **Дані про відсутність текстових запозичень та порушення академічної доброчесності**

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

### **Зауваження до змісту дисертації:**

1. У підписі до рис.3.21 вказано, що лінійні відрізки на СЕМ-зображеннях із числовими значеннями 10 мкм та 1 мкм є збільшенням мікроскопу. Це визначення є не коректним, оскільки вказані числові значення є масштабом розрізнення даних зображень.
2. Чи змінюються електрохімічні параметри електродного матеріалу  $\text{NiMoO}_4$  при довготривалому тестуванні ?
3. Які ще методи, окрім ультразвукового диспергування та дії лазерного випромінювання, можуть бути використані для покращення електрохімічних характеристик  $\text{NiMoO}_4$  ?

Наведені вище зауваження стосуються дискусійних питань або таких, що потребують уточнень і не применшують позитивну оцінку дисертаційного дослідження та не стосуються висновків та наукових положень, які формують наукову новизну отриманих результатів.

Дисертація Хемій М.М. «Структура та електрохімічні властивості бінарних оксидів перехідних металів, модифікованих ультразвуковим та

електромагнітним випромінюванням» є завершеною самостійною працею з оригінальним авторським дослідженням, яке повністю задовольняє усім вимогам МОН України «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) та Вимогам до оформлення дисертації, затвердженими наказом МОН України від 12.01.2017 № 40 (зі змінами), а її автор заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали.

Рецензент:

завідувач кафедри хімії

Прикарпатського національного

університету імені Василя Стефаника

доктор хімічних, професор

Миронюк І. Ф.