

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U001423

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 03-04-2024

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Годлевський Микола Андрійович

2. Mykola A. Hodlevskyi

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 105

Назва наукової спеціальності: Прикладна фізика та наноматеріали

Галузь / галузі знань:

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Прикладна фізика та наноматеріали

Дата захисту: 21-06-2024

Спеціальність за освітою: Прикладна фізика та наноматеріали

Місце роботи здобувача:

Код за ЄДРПОУ:

Місцезнаходження:

Форма власності:

Сфера управління:

Ідентифікатор ROR: Не застосовується

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** ДФ 20.051.098

**Повне найменування юридичної особи:** Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

**Код за ЄДРПОУ:** 02125266

**Місцезнаходження:** вул. Шевченка, буд. 57, Івано-Франківськ, 76018, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

**Код за ЄДРПОУ:** 02125266

**Місцезнаходження:** вул. Шевченка, буд. 57, Івано-Франківськ, 76018, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 81.09.81.09

**Тема дисертації:**

1. Нанокompозити CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/відновлений оксид графену: синтез, структурно-морфологічні та електрохімічні властивості.
2. CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/reduced graphene oxide nanocomposites: synthesis, structural, morphological and electrochemical properties.

**Реферат:**

1. Об'єкт дослідження: вплив умов гідротермального синтезу на структурно-морфологічні властивості композитних наносистем на основі CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> та відновленого оксиду й електрохімічні властивості цих композитів при їх використанні як електродів гібридних суперконденсаторів. Мета і завдання роботи: виявлення закономірностей впливу умов синтезу (величина рН реакційного середовища) на структурні (розміри кристалітів, параметри кристалічної структури), морфологічні (величина питомої площі поверхні, розподіл пор за розмірами) параметри CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> / відновлений оксид графену на питому зарядову ємність електродів на основі цих матеріалів в протонному лужному електроліті. Опис методології/методики дослідження. Для досягнення мети поставлених задач використовувалися взаємодоповнювальні та

взаємоконтролювальні методи, а саме: X-променевий аналіз, низькотемпературна адсорбційна порометрія, раманівська спектроскопія, месбауерівська спектроскопія, потенціодинамічний метод. Спеціальні інструменти та апаратура: дифрактометра Shimadzu XRD-7000, X-променевий флуоресцентний спектрометр Expert 3L, раманівський спектрометр Horiba Jobin-Yvon T64000, Сорбометр NOVA Quantachrome 2200e, месбауерівський спектрометр з азотним кріостатом MS-1104Em, потенціостат-гальваностат Autolab PGSTAT 12/FRA - 2. Програмне забезпечення, яке використовувалось під час опрацювання отриманих даних або для проведення дослідження: Match!3, Quantachrome NovaWin 11.0., FRA2, ZView-2, OriginPro 2018, MS Excel 2016. Теоретичні і практичні результати: основа для створення технологічних рекомендацій проектування та отримання електродних матеріалів нового класу для пристроїв накопичення і генерації електричної енергії. Новизна: запропоновано та відпрацьовано методику сумісного синтезу нанокompatитів  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ /відновлений оксид графену гідротермальним методом з використанням  $\text{NaOH}$ , водночас як регулятора рН та ініціатора нуклеації шпінельної фази, так і відновного агента для оксиду графену. Досліджено вплив умов сумісного гідротермального синтезу на структурно-морфологічні властивості, а також на взаємозв'язок морфології та магнітної мікроструктури композитів  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  / відновлений оксид графену. Побудовано модель нуклеації фази  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  з розчину, який містить гідрокомплекси міді та заліза за умови варіації рН реакційного се-ре-до-вища при додаванні розчину гідроксиду натрію. Простежено перебіг процесу відновлення оксиду графену водним розчином  $\text{NaOH}$  та досліджено вплив наявності в реакційному середовищі не-га-тив-но заряджених частинок оксиду графену на формування частинок фази  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ . Встановлено взаємозв'язок морфології матеріалу та його питомих ємнісних параметрів за умови розділення вкладів електростатичного та фарадеївського механізмів накопичення заряду в загальну ємність. Ефективність впровадження: отримані матеріали мають перспективу використання у пристроях генерації та накопичення електричної енергії. Галузь використання: енергетика, електроніка, матеріалознавство.

2. The main objective of the research is based on the influence of hydrothermal synthesis conditions on the structural and morphological properties of composite nanosystems based on  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ , reduced oxide, along with the electrochemical properties of these composites when they are used as the electrodes of hybrid supercapacitors. A main reason for conducting for conducting this task is to identify any patterns of influence on the synthetical conditions (the pH value of the reaction medium) on the structural (size of crystallites, parameters of the crystal structure), morphological (size of the specific surface area, distribution of pores by size) parameters of  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  / reduced graphene oxide on the specific charge capacity of the electrodes comprised of these materials in a protonic alkaline electrolyte. The research methodology and manner this was conducted was through complementary and mutually controlling methods. Namely, to facilitate this, the following methods of analysis were used: X-ray analysis, low-temperature adsorption porometry, Raman spectroscopy, Mössbauer spectroscopy, and the potentiodynamic method. Special tools and equipment used to gather data were as follows: diffractometer Shimadzu XRD-7000, X-ray fluorescence spectrometer Expert 3L, Raman spectrometer Horiba Jobin-Yvon T64000, sorbometer NOVA Quantachrome 2200e, Mössbauer spectrometer with nitrogen cryostat MS-1104Em, potentiostat-galvanostat Autolab PGSTAT 12/FRA - 2. Software that was used to process the data received during this research is as listed: Match!3, Quantachrome NovaWin 11.0., FRA2, ZView-2, OriginPro 2018, MS Excel 2016. Theoretical and practical results: the basis for the creation of technological recommendations for designing and obtaining electrode materials of a new class for electrical energy storage and generation devices. Novelty: a technique for the joint synthesis of  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$ /reduced graphene oxide nanocomposites by hydrothermal method using  $\text{NaOH}$ , simultaneously as a pH regulator and spinel phase nucleation initiator, as well as a reducing agent for graphene oxide, was proposed and worked out. The influence of conditions of combined hydrothermal synthesis on structural and morphological properties, as well as on the relationship between morphology and magnetic microstructure of  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  / reduced graphene oxide composites was studied. A model of the nucleation of the  $\text{CuFe}_2\text{O}_4$  phase from a solution containing hydrocomplexes of copper and iron was constructed under the condition of variation in the pH of the reaction medium upon addition of sodium hydroxide solution. The progress of the reduction process of graphene oxide with an aqueous  $\text{NaOH}$  solution was monitored and the influence of the presence of negatively charged graphene oxide particles in the reaction medium on the formation

of CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> phase particles was investigated. The relationship between the morphology of the material and its specific capacitance parameters is established, provided that the contributions of the electrostatic and Faraday charge accumulation mechanisms to the total capacitance are separated. Effectiveness of implementation: the obtained materials have the prospect of use in devices for generating and storing electrical energy. Field of use: energy, electronics, materials science.

### **Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Нові речовини і матеріали

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

**Підсумки дослідження:** Теоретичне узагальнення і вирішення важливої наукової проблеми

### **Публікації:**

1. Boychuk, V. M., Zapukhlyak, R. I., Abaszade, R. G., Kotsyubynsky, V. O., Hodlevsky, M. A., Rachiy, B. I.,...& Fedorchenko, S. V. (2022). Solution com-bus-tion synthesized NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/reduced graphene oxide composite nanomaterials: morphology and electrical conductivity. *Physics and Chemistry of Solid State*, 23(4), 815-824 DOI:10.15330/pcss.23.4.815-824 URL:<https://journals.pnu.edu.ua/index.php/pcss/article/view/6407>
2. Kotsyubynsky, V. O., Boychuk, V. M., Zapukhlyak, R. I., Hodlevskiy, M. A., Budzulyak, I. M., Kachmar, A. I., ... Turovska, L. V. (2021). Electrophysical and Morphological Properties of a Hydrothermally Synthesized CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/Reduced Graphene Oxide Composite. *Physics and Chemistry of Solid State*, 22(2), 372-379. DOI:10.15330/pcss.22.2.372-379 URL:<https://journals.pnu.edu.ua/index.php/pcss/article/view/5051>
3. Kotsyubynsky, V. O., Zapukhlyak, R. I., Boychuk, V. M., Hodlevska, M. A., Yaremiy, I. P., Kachmar, A. I., Bandura, K. V. ... & M.A.Hodlevskiy (2021). Nanostructured CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/reduced graphene oxide composites: structural and magnetic studies. *Functional Materials*, 28(1), 42-48. DOI: 10.15407/fm28.01.42 URL: <http://functmaterials.org.ua/contents/28-1/42>
4. Kotsyubynsky, V. O., Boychuk, V. M., Budzulyak, I. M., Rachiy, B. I., Hodlevska, M. A., Kachmar, A. I., & Hodlevsky, M. A. (2021). Graphene oxide synthesis using modified Tour method. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, 12(3), 035006. (особистий внесок здобувача 40%) DOI: 10.1088/2043-6262/ac204f URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2043-6262/ac204f>
5. Kotsyubynsky, V., Zapukhlyak, R., Boychuk, V., Hodlevska, M., Rachiy, B., Yaremiy, I., ... & Hodlevsky, M. (2022). Hydrothermally synthesized CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/rGO and CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/porous carbon nanocomposites. *Applied Nanoscience*, 1131-1138. (особистий внесок здобувача 45%) DOI:10.1007/s13204-021-01773-z URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13204-021-01773-z>
6. Hodlevska, M., Kotsyubynsky, V., Boychuk, V., Budzulyak, I., Rachiy, B., Zapukhlyak, R., ... & Turovska, L. (2023). Hydrothermally synthesized NiFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/rGO composites: structure, morphology and electrical conductivity. *Applied Nanoscience*, 1-11. DOI:10.1007/s13204-022-02741-x URL:<https://link.springer.com/article/10.1007/s13204-022-02741-x>
7. Zapukhlyak, R., Hodlevsky, M., Boychuk, V., Mazurenko, J., Kotsyubynsky, V., Turovska, L., ... & Fedorchenko, S. (2023). Structure and magnetic properties of hydrothermally synthesized CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/rGO composites. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 587, 171208. DOI:10.1016/j.jmmm.2023.171208 URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304885323008582>
8. Boychuk, V., Rachiy, B., Zapukhlyak, R., Kotsyubynsky, V., Hodlevskiy, M., & Turovska, L. (2023, September). Aqueous Supercapacitors Based on Nitrogen-Doped Porous Carbon Derived from Hemp Hurd. In 2023 IEEE 13th International Conference on Nanomaterials: Applications & Properties (NAP) (pp. NEE04-1- NEE04-5). DOI: 10.1109/NAP59739.2023.10311043 URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10311043>

- 9. Myronyuk, I. F., Kotsyubynsky, V. O., Chelyadyn, V. L., Boychuk, V. M., & Hodlevskyi, M. A. (2021). Template Synthesis, Structure, Morphology and Electrochemical Properties of Mesoporous Titania. *Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii*, 19(2). DOI: 10.15407/nnn.19.02.281  
URL: [https://www.imp.kiev.ua/nanosys/en/articles/2021/2/nano\\_vol19\\_iss2\\_p0281p0286\\_2021\\_abstract.html](https://www.imp.kiev.ua/nanosys/en/articles/2021/2/nano_vol19_iss2_p0281p0286_2021_abstract.html)

**Наукова (науково-технічна) продукція:** матеріали

**Соціально-економічна спрямованість:** створення нових електродних матеріалів для пристроїв зберігання та накопичення електричної енергії

**Охоронні документи на ОПІВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Планується до впровадження

**Зв'язок з науковими темами:**

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Коцюбинський Володимир Олегович
2. Volodymyr O. Kotsyubynsky

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, 01.04.18

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-6461-937X

**Додаткова інформація:** 8263977200; Web of Science ResearcherID: HJI-7773-2023

**Повне найменування юридичної особи:** Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

**Код за ЄДРПОУ:** 02125266

**Місцезнаходження:** вул. Шевченка, буд. 57, Івано-Франківськ, 76018, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Халавка Юрій Богданович
2. Yuriy B. Khalavka

**Кваліфікація:** д. х. н., доц., 02.00.21

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-6832-447X

**Додаткова інформація:** 21933980800

**Повне найменування юридичної особи:** Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

**Код за ЄДРПОУ:** 02071240

**Місцезнаходження:** вул. Коцюбинського, буд. 2, Чернівці, 58012, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Хоменко Володимир Григорович

2. Volodymyr H. Khomenko

**Кваліфікація:** д. т. н., доц., 05.17.06

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-0013-8010

**Додаткова інформація:** <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004402598>;

<https://www.webofscience.com/wos/author/record/X-2214-2018>

**Повне найменування юридичної особи:** Київський національний університет технологій та дизайну

**Код за ЄДРПОУ:** 02070890

**Місцезнаходження:** вул. Мала Шияновська, буд. 2, Київ, 01011, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Мандзюк Володимир Ігорович

2. Volodymyr I. Mandzyuk

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, 01.04.18

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-6020-7722

**Додаткова інформація:** 8263977400; ResearcherID: ABE-3011-2020

**Повне найменування юридичної особи:** Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

**Код за ЄДРПОУ:** 02125266

**Місцезнаходження:** вул. Шевченка, буд. 57, Івано-Франківськ, 76018, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Яблонь Любов Степанівна

2. Lybov S. Yablon

**Кваліфікація:** д. ф.-м. н., професор, 01.04.18

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-3186-6969

**Додаткова інформація:** ResearcherID: ISB-0673-2023

**Повне найменування юридичної особи:** Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

**Код за ЄДРПОУ:** 02125266

**Місцезнаходження:** вул. Шевченка, буд. 57, Івано-Франківськ, 76018, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**VIII. Заключні відомості**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Гасюк Іван Михайлович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Гасюк Іван Михайлович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Альнікіна Наталія Петрівна

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна