

Облікова картка дисертації

I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U003746

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 30-12-2024

Статус: Наказ про видачу диплома

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Хемій Марія Михайлівна

2. Mariia M. Khemii

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-1546-699X

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: 06-03-2025

Спеціальність за освітою: Фізика та астрономія

Місце роботи здобувача: Ліцей №11 Івано-Франківської міської ради

Код за ЄДРПОУ: 20550369

Місцезнаходження: вул. Б. Лепкого, буд. 9, Івано-Франківськ, 76018, Україна

Форма власності: Комунальна

Сфера управління: Держадміністрація

Ідентифікатор ROR:

III. Відомості про організацію, де відбувся захист

Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради): ДФ 20.051.115

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: 31.15.33

Тема дисертації:

1. Структура та електрохімічні властивості бінарних оксидів перехідних металів, модифікованих ультразвуковим та електромагнітним випромінюванням.
2. Structure and electrochemical properties of binary transition metal oxides modified by ultrasound and electromagnetic waves.

Реферат:

1. Об'єкт дослідження – молібдат нікелю, модифікований лазерним опроміненням та ультразвуком як електродний матеріал в гібридних суперконденсаторах. Мета дослідження – з'ясувати умови гідротермального та мікрохвильового синтезу молібдату нікелю; вивчити вплив лазерного опромінення та ультразвукового диспергування на фізико-хімічні властивості матеріалу; дослідити перспективи застосування NiMoO₄ як електродного матеріалу в гібридних електрохімічних системах. Опис методології/методики дослідження. Для досягнення мети поставлених задач використовувалися взаємодоповнювальні та взаємоконтролювальні методи, а саме: X-променева дифрактометрія, низькотемпературна адсорбційна порометрія, скануюча електронна мікроскопія, Раман та ІЧ спектроскопія,

циклічна вольтамперометрія, гальваностатичне зарядне / розрядне тестування, імпедансна спектроскопія, засоби для математичної обробки експериментальних даних. Спеціальні інструменти та апаратура: сорбومتر Quantachrome Autosorb Nova 2200e, скануючий електронний мікроскоп Quanta 250 FEG, X-прменеий дифрактометр Shimadzu XRD-7000, імпедансний спектрометр Autolab PGSTAT, ультразвуковий диспергатор УЗДН-А, твердотільний Nd:YAG-лазер, спектрометр Nicolet iS10. Програмне забезпечення, яке використовувалось під час опрацювання отриманих даних або для проведення дослідження: Quantachrome NovaWin 11.0., FRA2, ZView-2, MS Excel 2016, OriginPro 2018. Теоретичні і практичні результати: запропоновано нові матеріали, модифіковані лазерним опроміненням та ультразвуком, для використання як електродів у пристроях накопичення і зберігання електричної енергії. Сформовані макети гібридних конденсаторів на основі отриманих матеріалів, які за своїми питомими ємнісними і енергетичними параметрами та функціональними характеристиками не поступаються світовим аналогам. Новизна: запропоновано молібдат нікелю, модифікований ультразвуком та лазерним опроміненням як катодний матеріал в гібридних електрохімічних системах; досліджено ефективність тривалого ультразвукового диспергування (протягом 15, 60 і 90 хв) нанокристалічного гідрату молібдату нікелю, отриманого гідротермальним методом, для покращення електрохімічних властивостей матеріалу; проаналізовано появу двох катодних піків на циклічних вольтамперограмах та представлено заряд / розрядний механізм електрода на основі гідрату NiMoO₄; виявлено взаємозв'язок між ємнісними характеристиками NiMoO₄ та умовами і режимами лазерного опромінення; здійснено порівняльний аналіз питомих енергетичних характеристик гібридних систем та з'ясовано, що найвищими значеннями питомої ємності та енергії володіє гібридний конденсатор, у якому один з електродів сформований на основі модифікованого лазерним опроміненням молібдату нікелю. Кулонівська ефективність для такої гібридної системи досягає 95 % при довготривалому циклюванні, що є перспективним для подальшого практичного застосування таких модифікованих матеріалів. Ефективність впровадження: отримані матеріали мають перспективу використання у пристроях генерації та накопичення електричної енергії. Галузь використання: енергетика, електроніка, матеріалознавство.

2. The research object is nickel molybdate modified by laser irradiation and ultrasound as an electrode material in hybrid supercapacitors. The purpose of the research is to find out the conditions of hydrothermal and microwave synthesis of nickel molybdate; to study the effect of laser irradiation and ultrasonic dispersion on the physical and chemical properties of the material; to investigate the prospects for the use of NiMoO₄ as an electrode material in hybrid electrochemical systems. Description of the research methodology/methods. To achieve the goal of the tasks, we used complementary and mutually controlling methods, namely: X-ray diffractometry, low-temperature adsorption porometry, scanning electron microscopy, Raman and IR spectroscopy, cyclic voltammetry, galvanostatic charge/discharge testing, impedance spectroscopy, and tools for mathematical processing of experimental data. Special instruments and equipment: Quantachrome Autosorb Nova 2200e sorbometer, Quanta 250 FEG scanning electron microscope, Shimadzu XRD-7000 X-ray diffractometer, Autolab PGSTAT impedance spectrometer, ultrasonic disperser UZDN-A, solid-state Nd:YAG laser, Nicolet iS10 spectrometer. Software that was used during the processing of the obtained data or for conducting research: Quantachrome NovaWin 11.0., FRA2, ZView-2, MS Excel 2016, OriginPro 2018. Theoretical and practical results: new materials modified by laser irradiation and ultrasound are proposed for use as electrodes in devices for the accumulation and storage of electrical energy. The models of hybrid capacitors based on the obtained materials, which are not inferior to world analogues in terms of their specific capacitive and energy parameters and functional characteristics, have been formed. Novelty: ultrasound- and laser-irradiated nickel molybdate is proposed as a cathode material in hybrid electrochemical systems; the effectiveness of long-term ultrasonic dispersion (for 15, 60 and 90 min) of nanocrystalline nickel molybdate hydrate obtained by the hydrothermal method to improve the electrochemical properties of the material is investigated; the appearance of two cathodic peaks on cyclic voltammetry was analyzed and the charge/discharge mechanism of the electrode based on NiMoO₄ hydrate was presented; The relationship between the capacitive characteristics of NiMoO₄ and the conditions and modes of laser irradiation was revealed; a comparative analysis of the specific energy characteristics of hybrid systems was carried out and it was found that the highest values of specific capacitance and energy are possessed by a hybrid capacitor in which

one of the electrodes is formed on the basis of nickel molybdate modified by laser irradiation. The Coulombic efficiency for such a hybrid system reaches 95 % under long-term cycling, which is promising for further practical application of such modified materials. Effectiveness of implementation: the obtained materials have the prospect of use in devices for generating and storage electrical energy. Field of application: 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. Budzulyak, I., Yablon, L., Khemii, M., Kotsyubynsky, V., Ilnytskyi, R., Rachiy, B., & Panko, I. (2024). Fractal structure of laser-irradiated porous carbon material. *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 32(4), 329-332. DOI: <https://doi.org/10.1080/1536383X.2023.2282096> URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85177030618&origin=resultslist>
2. Popovych, O., Budzulyak, I., Vashchynskyi, V., Khemii, M., Ilnytskyi, R., & Yablon, L. (2023). Microwave-assisted synthesis of nanocrystalline NiMoO₄ for hybrid supercapacitor applications. *Applied Nanoscience*, 13(10), 6803-6809. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13204-023-02789-3> URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85147935828&origin=resultslist>
3. Budzulyak, I. M., Yablon, L. S., Khemii, M. M., Kotsyubynsky, V. O., Rachiy, B. I., Ilnytskyi, R. V., & Kryvulych, R. I. (2023). Stimulation of the metal doping process of nanoporous carbon material by laser irradiation. *Physics and Chemistry of Solid State*, 24(2), 403-409. DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.24.2.403-409> URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85167593654&origin=resultslist>
4. Budzulyak, I. M., Yablon, L. S., Khemii, M. M., Kotsyubynsky, V. O., Rachiy, B. I., Boychuk, V. M., & Budzulyak, I. I. (2023). Energy state of the electronic subsystem of porous carbon material caused by laser irradiation. *Physics and Chemistry of Solid State*, 24(4), 662-669. DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.24.4.662-669> URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85181571402&origin=resultslist>
5. Popovych, O. M., Budzulyak, I. M., Khemii, M. M., Ilnytskyi, R. V., Yablon, L. S., Popovych, D. I., & Panko, I. I. (2023). Laser-modified nanocrystalline NiMoO₄ as an electrode material in hybrid supercapacitors. *Physics and Chemistry of Solid State*, 24(1), 190-196. DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.24.1.190-196> URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85154057689&origin=resultslist>
6. Popovych, O., Budzulyak, I., Khemii, M., Ilnytskyi, R., & Yablon, L. (2023). Electrochemical Behavior of Nanocrystalline NiMoO₄ Hydrate Modified by Ultrasound. *Journal of Nano Research*, 77, 145-154. DOI: <https://doi.org/10.4028/p-n9054> URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85153878140&origin=resultslist>
7. Popovych, O., Budzulyak, I., Kotsyubynsky, V., Boychuk, V., Ilnytskyi, R., Khemii, M., ... & Lezun, Y. (2022). Ultrasonic modification of nanocrystalline NiMoO₄ hydrate obtained by hydrothermal method. *Physics and Chemistry of Solid State*, 23(2), 341-346. DOI: <https://doi.org/10.15330/pcss.23.2.341-346> URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85133674657&origin=resultslist>
8. Khemii, O. M., Budzuliak, I. M., Kotsyubynsky, V. O., Yablon, L. S., Ilnytskyi, R. V., Boychuk, V. M., ... & Khemii, M. M. (2019). Synthesis, morphology, electrical conductivity and electrochemical properties of p-Ni(OH)₂ and its composites with carbon. *Materials Science Poland*, 37(4), 547-553. DOI: <https://doi.org/10.2478/msp-2019-0077> URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85076040911&origin=resultslist>

Наукова (науково-технічна) продукція: матеріали

Соціально-економічна спрямованість: вдосконалення електродних матеріалів для пристроїв накопичення і зберігання електричної енергії

Охоронні документи на ОПВ:

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. Будзуляк Іван Михайлович
2. Ivan M. Budzulyak

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0003-4055-0413

Додаткова інформація: Scopus Author Identifier: 8263977200

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. Івашишин Федір Олегович
2. Fedir O. Ivashchyshyn

Кваліфікація: д. і. н., професор, 01.04.07

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-6919-5841

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 39261591700

Повне найменування юридичної особи: Національний університет "Львівська політехніка"

Код за ЄДРПОУ: 02071010

Місцезнаходження: вул. Степана Бандери, буд. 12, Львів, 79013, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Лісовський Роман Петрович
2. Roman P. Lisovski

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-1968-8912

Додаткова інформація: 57194169666

Повне найменування юридичної особи: Івано-Франківський національний медичний університет

Код за ЄДРПОУ: 02010758

Місцезнаходження: вул. Галицька, буд. 2, Івано-Франківськ, 76018, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство охорони здоров'я України

Ідентифікатор ROR:

Рецензенти

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Яремій Іван Петрович
2. Ivan P. Yaremii

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

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-8549-1173

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 23494435000

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. Миронюк Іван Федорович
2. Ivan F. Myroniuk

Кваліфікація: д. х. н., професор, 01.04.18

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-7396-4308

Додаткова інформація: Scopus Author ID: 6602131709

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