

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0824U002262

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 17-06-2024

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Пантелеймонов Радислав Анатолійович

2. Panteleimonov Radyslav Anatoliiovych

Кваліфікація: 02.00.04

Ідентифікатор ORCID ID: Не застосовується

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 102

Назва наукової спеціальності: Хімія

Галузь / галузі знань: природничі науки

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Неорганічна і координаційна хімія, фізична хімія, електрохімія

Дата захисту: 05-10-2023

Спеціальність за освітою: хімічні технології та інженерія

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):** ID 2078

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05417383

**Місцезнаходження:** проспект академіка Палладіна, буд. 32/34, Київ, 03142, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

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

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05417383

**Місцезнаходження:** проспект академіка Палладіна, буд. 32/34, Київ, 03142, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

### V. Відомості про дисертацію

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 31.15

**Тема дисертації:**

1. Електрохімічні властивості графен-графіт-металоксидних систем
2. Electrochemical properties of graphene-graphite-metaloxide systems

**Реферат:**

1. Дисертаційна робота присвячена: синтезу графеноподібних структур з водного та неводного (рідкий азот) середовища методом плазмо-дугового розряду та вивченню впливу середовища синтезу на зміну фізико-хімічних властивостей графеноподібних матеріалів; розробці експериментальних зразків катодів для літій-іонних акумуляторів, що містять графен-графіт-металоксидні системи. У наданій дисертаційній роботі детально досліджено вплив умов синтезу на структурні та морфологічні особливості графеноподібних матеріалів, зміни у морфології поверхні, хімічний та електронний стан атомів на поверхні графеноподібних матеріалів, їх фазовий, компонентний склад та термічну стабільність. Для дослідження характеристик графеноподібних структур, а також їх впливу на ємнісні та електропровідні характеристики електродів для літій-іонних джерел струму було застосовано фізико-хімічні методи та електрохімічні випробування, які об'єднують можливість одночасного виміру електричних та кінетичних параметрів всіх систем. При

дослідженні структурно-морфологічних та термічних властивостей графенів та графен-графіт-металоксидних систем встановлено, що зміна середовища синтезу призводить до зміни структурно-морфологічних властивостей графеноподібних структур. Низкою фізико-хімічних досліджень графеноподібних матеріалів, що отримані із водного та середовища рідкого азоту, доведено, що розміри азотовмісного графену (G-N) складають близько 50-100 нм з питомою поверхнею  $23 \text{ м}^2 / \text{г}$  та кількістю шарів близько 20, при цьому графен з водного середовища (G-H<sub>2</sub>O) має втричі більші розміри близько 200-300 нм та питому поверхню  $27,7 \text{ м}^2 / \text{г}$  та кількістю шарів близько 40. Методом рентгенівської фотоелектронної спектроскопії охарактеризовано нові центри легування азотом поверхні графеноподібних наноструктур, такі як: типову структуру графену (sp<sup>2</sup> C-sp<sup>2</sup> C), дві нетипові структури (sp<sup>3</sup> C-N і зв'язок C-O) і типові модифіковані азотом компоненти графену (піридин-N, пірол-N, графіт-N і окислений N-O). Ступінь структурної досконалості графена за співвідношенням інтенсивності D-моди до інтенсивності G-моди складає 0,126 та 0,06 в залежності від середовища синтезу. Зменшення величини цього відношення свідчить про збільшення ступеня досконалості наноструктур. Аналіз експериментальних значень питомої електростатичної ємності та активного опору зразків показав, що наявність води в графеноподібних структурах впливає на середні значення ємності відносно графеноподібних структур без води в залежності від масового співвідношення та термообробки. Термічна обробка при 250 °C графену, синтезованого з водного середовища, призводить до збільшення значень ємності та провідності. В чистих зразках графеноподібних структур та графіту ємність нижча, ніж у поєднанні цих матеріалів в суміші. Збільшення вмісту графену призводить до збільшення електростатичної ємності. Присутність води в графені є основним фактором, що впливає на питомий опір систем графіт Gr/графен G-N<sub>2</sub>O, та значення ємності залежить від кількості графіту в суміші. Дослідження електропровідності сумішей графіт Gr-графен G-N у різних масових співвідношеннях та при впливі температурної обробки дозволили встановити загальне збереження більш високих значень питомої електропровідності при підвищенні частки графену. Електрохімічне дослідження макетних зразків хімічних джерел струму на основі графіт-графен-шпінельних композицій встановило наступні чинники, що регулюють електрохімічні показники катодних матеріалів на їх основі: домішки графену G-N<sub>2</sub>O збільшують частку електронної провідності, а домішки графену G-N та шпінелі - іонної провідності відносно графіту; тип графену регулює ємнісні показники джерел струму за рахунок зниження енергії активації окисно-відновлювальної реакції за участю іонів літію. Показано, що зі шпінеллю ХДМ отримані ємнісні характеристики перевищують характеристики інших матеріалів на 20%. А із карбонатною шпінеллю ємнісні характеристики на 30% вищі у матеріалах з графеном, що синтезований з азотного середовища. Проведено порівняльний аналіз графен-шпінельних систем з графіт-шпінельними, де показано повну втрату ємності систем з графітом при високих струмових навантаженнях понад 6С.

2. The dissertation is devoted to: the synthesis of graphene-containing structures from aqueous and non-aqueous (liquid nitrogen) media by the plasma-arc discharge method and the study of the influence of the synthesis medium on the change in the physical and chemical properties of graphene-containing materials; development of experimental samples of cathodes for lithium-ion batteries using graphene-graphite-metal oxide systems. In this dissertation, the influence of synthesis conditions on the structural and morphological features of graphene-containing materials, changes in surface morphology, the chemical and electronic state of atoms on the surface of graphene-containing materials, their phase, component composition, and thermal stability. To study the characteristics of graphene-like structures, as well as their influence on the capacitive and conductive characteristics of electrodes for lithium-ion current sources, physicochemical methods and electrochemical testing were applied, which combine the possibility of simultaneous measurement of electrical and kinetic parameters of all systems. When studying the structural-morphological and thermal properties of graphene and graphene-graphite-metal oxide systems, it was established that a change in the synthesis environment leads to a change in the structural-morphological properties of graphene. A number of physical and chemical studies of graphene-containing materials obtained from aqueous and liquid nitrogen mediums have proven that the dimensions of nitrogen-containing graphene (G-N) are about 50-100 nm with a specific surface area of  $23 \text{ м}^2 / \text{г}$  with a number of layers of about 20, while graphene from an aqueous medium (G-H<sub>2</sub>O) has twice the size of

about 200–300 nm and a specific surface area of 27.7 m<sup>2</sup>/g with a number of layers of about 40. The X-ray photoelectron spectroscopy method characterized new nitrogen doping centers on the surface of graphene nanostructures, such as: a typical graphene structure (sp<sup>2</sup> C–sp<sup>2</sup> C), two atypical structures (sp<sup>3</sup> C–N and a C–O bond) and typical nitrogen–modified graphene components (pyridine–N, pyrrole–N, graphite–N and oxidized N–O). The degree of structural perfection of graphene based on the ratio of D–mode intensity to G–mode intensity is 0,126 and 0,06, depending on the synthesis environment. A decrease in the value of this ratio indicates an increase in the degree of perfection of nanostructures. The analysis of the experimental values of the specific electrostatic capacity and active resistance of the samples showed that the presence of water in graphene affects the average values of the capacity relative to graphene without water, depending on the mass ratio and heat treatment. Heat treatment at 250 °C of graphene synthesized from an aqueous medium lead to an increase in capacitance and conductivity values. In pure samples of graphene and graphite, the capacity is lower than in the combination of these materials in a mixture. An increase in the content of graphene leads to an increase in electrostatic capacity. The presence of water in graphene is the main factor affecting the resistivity of graphite Gr/graphene G–H<sub>2</sub>O systems, and the capacitance value depends on the amount of graphite in the mixture. Measurements of the electrical conductivity of graphite Gr – graphene G–N mixtures in different mass ratios and under the influence of temperature treatment established the general preservation of higher values of specific conductivity with an increase in the proportion of graphene. An electrochemical study of prototype samples of chemical current sources based on graphite–graphene – spinel compositions established the following factors that regulate the electrochemical performance of cathode materials based on them: graphene G–H<sub>2</sub>O impurities increase the share of electronic conductivity, and graphene G–N and spinel impurities increase the ionic conductivity relative to graphite; the type of graphene regulates the capacitive indicators of current sources by reducing the activation energy of the redox reaction involving lithium ion. It is shown that the capacitive characteristics obtained with spinel XDM exceed other characteristics of materials by 20%. And with carbonate spinel, the capacitive characteristics are 30% higher than in materials with graphene synthesized from a nitrogen environment. A comparative analysis of graphene–spinel systems with graphite–spinel systems was carried out, which showed a complete loss of capacity of systems with graphite at high current loads over 6C.

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

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково–технічного, соціально–економічного, суспільно–політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

### **Публікації:**

1. Panteleimonov R. A., Kravchenko O. V., Pershina K. D., Potapenko O. V. (2019). Electrochemical Properties of Powder Iron/Carbon System in Basic Solution. *Materialstoday Proceedings*, 6(2), 65–72. doi: 10.1016/j.matpr.2018.10.076
2. Panteleimonov R.A., Kryschuk T.V., Korduban O.M., Ogenko V.M. (2020). Synthesis of graphene-like structures by a plasma–arc discharge in liquid nitrogen. *Український хімічний журнал*, 10 (86), 88–94. doi:10.33609/2708-129X.86.10.2020.88-94
3. Пантелеймонов Р.А., Першина К. Д., Бойчук О.В., Огенко В.М. (2021). Вплив умов синтезу та концентрації графену на електричні параметри системи графен–графіт. *Український хімічний журнал*, 8 (87), 127–137. doi: 10.33609/2708-129X.87.08.2021.127-137

- 4. Panteleimonov R.A., Pershina K. D., Boichuk O. V., Ogenko V.M. (2022). Structural and electrochemical properties of N-doped graphene-graphite composites. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 6, 61-67. doi: 10.32434/0321-4095-2022-145-6-61-67
- 5. Пантелеймонов Р.А. (2022). Шляхи зміни структурно-морфологічних, фізико-хімічних та електричних властивостей графенів. *Український хімічний журнал*, 7 (88), 29-44. doi: 10.33609/2708-129X.88.07.2022.29-44
- 6. Panteleimonov R.A., Pershina K. D., Shcherbatiuk I.M. (2023). Formation of active interphase on the iron particles in C/PVDF electrochemical systems. *Український хімічний журнал*, 2 (89), 91-99. doi: 10.33609/2708-129X.89.02.2023.91-99
- 7. Пантелеймонов Р.А., Першина К. Д., Бойчук О.В. (2023) Вплив природи електропровідних домішок на ємнісні властивості та стійкість до струмових навантажень катодних матеріалів на основі LiMn2O4. *Український хімічний журнал*, 4 (89), 115-1123. doi: 10.33609/2708-129X.89.04.2023.115-123

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

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впровадження не планується

**Зв'язок з науковими темами:**

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

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Першина Катерина Дмитрівна

2. Kateryna Pershyna

**Кваліфікація:** д. х. н., доцент, 02.00.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05417383

**Місцезнаходження:** проспект академіка Палладіна, буд. 32/34, Київ, 03142, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

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

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Хоменко Володимир Григорович

2. Khomenko Volodymyr H.

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

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**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:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Сокольський Георгій Володимирович

2. Georgii V. Sokolsky

**Кваліфікація:** д. х. н., 02.00.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** 02070921Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Код за ЄДРПОУ:** 03070923

**Місцезнаходження:** пр-т Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:**

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

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Солопан Сергій Олександрович

2. Serhii O. Solopan

**Кваліфікація:** д. х. н., с.д., 02.00.01

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05417383

**Місцезнаходження:** проспект академіка Палладіна, буд. 32/34, Київ, 03142, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Новоселова Інесса Аркадіївна

2. Inessa Novoselova

**Кваліфікація:** к. х. н., старший науковий співробітник, 02.00.05

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05417383

**Місцезнаходження:** проспект академіка Палладіна, буд. 32/34, Київ, 03142, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

## VIII. Заключні відомості

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

Омельчук Анатолій Опанасович

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

Омельчук Анатолій Опанасович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Надія Іваха

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна