

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0826U000097

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 12-01-2026

**Статус:** Наказ про видачу диплома

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:** Наказ №29/ОД від 19.03.2026



## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Лисенко Олег Володимирович

2. Oleh Lysenko

**Кваліфікація:**

**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:** 03-03-2026

**Спеціальність за освітою:** середня освіта

**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):** PhD 11621

**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, 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, Київ, 03142, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

### V. Відомості про дисертацію

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 31.15.25.09, 31.15.33.05, 31.15.19, 31.15.33

**Тема дисертації:**

1. СИНТЕЗ І ЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ З ФТОРИДНОЮ ПРОВІДНІСТЮ НА ОСНОВІ  $BaSnF_4$  ТА ГЕТЕРОФАЗНИХ КОМПОЗИЦІЙ ДЛЯ ФТОРИД-ІОННИХ ДЖЕРЕЛ СТРУМУ

2. Synthesis and electrochemical properties of materials with fluoride conductivity based on  $BaSnF_4$  and heterophase compositions for fluoride-ion power sources

**Реферат:**

1. Дана наукова праця спрямована на вирішення актуальних завдань сучасної науки та техніки, одним з яких є створення хімічних джерел струму нового покоління. Перспективним підходом є створення гетерофазних фторидпровідних систем, в яких аніон фтору забезпечує перенос заряду між електродами, а утворення фторидів металів різного ступеня окиснення забезпечує виникнення електрорушійної сили. Теоретично такі системи дозволяють створювати джерела електричного струму з питомою ємністю та густиною енергії, співставними з літій-іонними батареями, які наразі є найбільш розповсюдженими, але з кращими характеристиками експлуатаційної безпеки, нижчою собівартістю виготовлення. Приймаючи до уваги обмеженість природних покладів літєвої сировини та зростаючий попит на джерела електричної енергії

різного призначення розроблення та створення альтернативних джерел струму є актуальним не лише науковим, але й прикладним завданням. Виконана робота присвячена пошуку та синтезу фторидпровідних фаз з покращеними провідними властивостями, придатними для створення нових джерел струму, дослідженню електрохімічних властивостей гетерофазних композицій для використання як електродні та електролітні матеріали. В роботі представлено результати досліджень із синтезу фторидпровідних фаз, отриманих шляхом заміщення частини катіонів  $Ba^{2+}$  на катіонами  $La^{3+}$ ,  $Y^{3+}$ ,  $Bi^{3+}$  у структурах  $BaSnF_4$  та  $Ba_{1-y}Sn_{1+y}F_4$ , їх електрохімічні властивості та властивості деяких гетерофазних композицій, які можна використовувати у фторид-іонних джерелах струму як електрод/електролітні матеріали. Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка методів синтезу та модифікації фторидпровідних матеріалів на основі  $BaSnF_4$  та з'ясування впливу катіонного легування на їх структурні та електропровідні властивості, а також дослідження електрохімічних процесів в гетерофазних композиціях фторид-іонних джерел струму. При виконанні даної роботи вперше одержані такі наукові результати:  $\square$  Синтезовано нові тверді фторидпровідні фази з високою провідністю за спеціально розробленою 2-х стадійною методикою синтезу:  $Ba_{1-x}La_xSnF_{4+x}$  ( $0 < x \leq 0,12$ ),  $Ba_{1-x}Y_xSnF_{4+x}$  ( $0 < x \leq 0,10$ ),  $Ba_{0,90-x}La_xSn_{1,10}F_{4+x}$  ( $0 < x \leq 0,12$ ),  $Ba_{0,86-x}La_xSn_{1,14}F_{4+x}$  ( $0 < x \leq 0,12$ ),  $Ba_{0,80-x}La_xSn_{1,20}F_{4+x}$  ( $0 < x \leq 0,12$ ).  $\square$  Виявлено, що часткове заміщення катіонів  $Ba^{2+}$  катіонами  $La^{3+}$ ,  $Y^{3+}$  у складному фториді  $BaSnF_4$ , сприяє збільшенню електропровідності. Найвищу провідність мають фази складу  $Ba_{0,90}Y_{0,10}SnF_{4,10}$  і  $Ba_{0,93}La_{0,07}SnF_{4,07}$  ( $\rho_{353K} = 1,53 \cdot 10^{-3}$  См/см і  $\rho_{353K} = 9,02 \cdot 10^{-4}$  См/см відповідно), яка при даній температурі майже на 2 порядки величини перевищує провідність вихідного  $BaSnF_4$ .  $\square$  Встановлено, що гетеровалентне легування катіонами  $La^{3+}$ ,  $Y^{3+}$  сполуки  $BaSnF_4$  забезпечує зменшення енергії активації іонної провідності в тим більшій мірі, чим вища концентрація замісника. Виявлена закономірність притаманна для всіх синтезованих зразків фторидпровідних фаз;  $\square$  Виявлено, що заміщення частини катіонів барію катіонами  $La^{3+}$  у нестехіометричних фазах  $Ba_{0,90}Sn_{1,10}F_{4,00}$ ,  $Ba_{0,86}Sn_{1,14}F_{4,00}$ ,  $Ba_{0,80}Sn_{1,20}F_{4,00}$  сприяє збільшенню електропровідності. Найкращу провідність при кімнатній температурі у порівнянні з вихідними фазами мають фази такого складу:  $\square$   $Ba_{0,78}La_{0,12}Sn_{1,12}F_{4,12}$  ( $\rho = 4,26 \cdot 10^{-3}$  См/см, порівняно з  $Ba_{0,90}Sn_{1,10}F_{4,00}$   $\rho = 2,94 \cdot 10^{-5}$  См/см);  $\square$   $Ba_{0,74}La_{0,12}Sn_{1,14}F_{4,12}$  ( $\rho = 2,91 \cdot 10^{-3}$  См/см), порівняно з  $Ba_{0,86}Sn_{1,14}F_{4,00}$  ( $\rho = 3,52 \cdot 10^{-4}$  См/см);  $\square$   $Ba_{0,70}La_{0,10}Sn_{1,20}F_{4,10}$  ( $\rho = 4,13 \cdot 10^{-3}$  См/см), порівняно з  $Ba_{0,80}Sn_{1,20}F_{4,00}$  ( $\rho = 1,79 \cdot 10^{-3}$  См/см);  $\square$  Розроблено енергоефективну двостадійну методику синтезу фторидпровідних матеріалів на основі  $BaSnF_4$ , яка забезпечує одержання якісних зразків при нижчих температурах і забезпечує зменшення тривалості синтезу.  $\square$  Визначено, оптимальний тиск пресування зразків для системи  $BaF_2-LaF_3-SnF_2$ , що складає 9,8 МПа для циліндричних зразків діаметром 8 мм.  $\square$  Доведено, що зразки всіх синтезованих фаз мають уніполярну іонну провідність, яку забезпечують аніони фтору. Визначені числа переносу за аніонами фтору близькі до одиниці.  $\square$  Експериментально виконано оцінку реального вікна електрохімічної стійкості фторидпровідних фаз складу  $Pb_{1-x}M_xSnF_{4\pm x}$  ( $M=K, Nd, Ba$ ), яке для синтезованих фторидпровідних фаз складає:  $-1,85 \pm 0,05 : +2,00 \pm 0,05$  В і практично не залежить від вмісту замісника.

2. This scientific work is aimed at solving the urgent tasks of modern science and technology, including the development of next-generation electrochemical power sources. A promising approach is the creation of heterophase fluoride-conducting systems in which the fluorine anion ensures charge transfer between the electrodes, and the formation of metal fluorides of varying degrees of oxidation, which generates an electromotive force. Theoretically, such systems can provide electric current sources with high specific capacity and energy density comparable to lithium-ion batteries, but with improved operational safety and lower production cost. Given the limited natural reserves of lithium and the growing demand for sources of electrical energy for various purposes, the development and creation of alternative current sources is an urgent not only scientific, but also applied task. The work carried out is devoted to the search and synthesis of fluoride-conducting phases with improved conductive properties suitable for the creation of new current sources, to the study of electrochemical properties of heterophase compositions for use as electrode and electrolyte materials. The paper presents the results of research on the synthesis of fluoride-conducting phases by partial substitution of  $Ba^{2+}$  with  $La^{3+}$ ,  $Y^{3+}$ , and  $Bi^{3+}$  cations in  $BaSnF_4$  and  $Ba_{1-y}Sn_{1+y}F_4$  structures, their electrochemical properties, and the properties of some heterophase compositions that can be used in fluoride-ion power sources as electrode/electrolyte

materials. The purpose of this qualification work is to develop methods for the synthesis and modification of fluoride conductive materials based on  $\text{BaSnF}_4$  and to elucidate the effect of cationic doping on their structural and electrically conductive properties, as well as to study electrochemical processes in heterophase compositions of fluoride-ion power sources. When performing this work, the following scientific results were obtained for the first time: □ New highly conductive solid fluoride conductive phases have been synthesized according to a specially developed 2-stage synthesis technique:  $\text{Ba}_{1-x}\text{La}_x\text{SnF}_{4+x}$  ( $0 < x \leq 0.12$ ),  $\text{Ba}_{1-x}\text{Y}_x\text{SnF}_{4+x}$  ( $0 < x \leq 0.10$ ),  $\text{Ba}_{0.90-x}\text{La}_x\text{Sn}_{1.10}\text{F}_{4.00+x}$  ( $0 < x \leq 0.12$ ),  $\text{Ba}_{0.86-x}\text{La}_x\text{Sn}_{1.14}\text{F}_{4.00+x}$  ( $0 < x \leq 0.12$ ),  $\text{Ba}_{0.80-x}\text{La}_x\text{Sn}_{1.20}\text{F}_{4.00+x}$  ( $0 < x \leq 0.12$ ). □ It was found that the partial substitution of  $\text{Ba}^{2+}$  cations with  $\text{La}^{3+}$ ,  $\text{Y}^{3+}$  cations in the complex fluoride  $\text{BaSnF}_4$  contributes to an increase in electrical conductivity. The composition phases  $\text{Ba}_{0.90}\text{Y}_{0.10}\text{SnF}_{4.10}$  and  $\text{Ba}_{0.93}\text{La}_{0.07}\text{SnF}_{4.07}$  ( $\sigma_{353\text{K}} = 1.53 \cdot 10^{-3}$  S/cm and  $\sigma_{353\text{K}} = 9.02 \cdot 10^{-4}$  S/cm respectively), have the highest conductivity, which at a given temperature is almost 2 orders of magnitude higher than the conductivity of the original  $\text{BaSnF}_4$ . □ It was established that heterovalent doping with  $\text{La}^{3+}$ ,  $\text{Y}^{3+}$  cations of the  $\text{BaSnF}_4$  compound provides a decrease in the activation energy of ionic conductivity to a greater extent, the higher the concentration of the substituent. The revealed regularity is inherent in all synthesized samples of fluoride-conducting phases; □ It is found that the substitution of a portion of barium cations with  $\text{La}^{3+}$  cations in the non-stoichiometric phases  $\text{Ba}_{0.90}\text{Sn}_{1.10}\text{F}_{4.00}$ ,  $\text{Ba}_{0.86}\text{Sn}_{1.14}\text{F}_{4.00}$ ,  $\text{Ba}_{0.80}\text{Sn}_{1.20}\text{F}_{4.00}$  contributes to increase the electrical conductivity. The phases of the following composition have the best conductivity at room temperature compared to the initial phases: □  $\text{Ba}_{0.78}\text{La}_{0.12}\text{Sn}_{1.12}\text{F}_{4.12}$  ( $\sigma = 4.26 \cdot 10^{-3}$  S/cm), compared to  $\text{Ba}_{0.90}\text{Sn}_{1.10}\text{F}_{4.00}$  ( $\sigma = 2.94 \cdot 10^{-5}$  S/cm); □  $\text{Ba}_{0.74}\text{La}_{0.12}\text{Sn}_{1.14}\text{F}_{4.12}$  ( $\sigma = 2.91 \cdot 10^{-3}$  S/cm), compared to  $\text{Ba}_{0.86}\text{Sn}_{1.14}\text{F}_{4.00}$  ( $\sigma = 3.52 \cdot 10^{-4}$  S/cm); □  $\text{Ba}_{0.70}\text{La}_{0.10}\text{Sn}_{1.20}\text{F}_{4.10}$  ( $\sigma = 4.13 \cdot 10^{-3}$  S/cm), compared to  $\text{Ba}_{0.80}\text{Sn}_{1.20}\text{F}_{4.00}$  ( $\sigma = 1.79 \cdot 10^{-3}$  S/cm); □ An energy-efficient two-stage method of synthesis of fluoride-conducting materials based on  $\text{BaSnF}_4$  has been developed, which ensures the production of high-quality samples at lower temperatures and ensures a reduction in the duration of synthesis. □ Determined, the optimal sample pressing pressure for the  $\text{BaF}_2\text{-LaF}_3\text{-SnF}_2$  system which is 9.8 MPa for cylindrical samples with a diameter of 8 mm. □ Samples of all synthesized phases have been shown to have unipolar ionic conductivity provided by fluoride anions. The determined transfer numbers by fluoride anions are close to unity. □ An evaluation of the real electrochemical stability window of the fluoride-conducting phases of the composition  $\text{Pb}_{1-x}\text{M}_x\text{SnF}_{4+x}$  ( $\text{M}=\text{K}, \text{Nd}, \text{Ba}$ ), was experimentally performed, which for the synthesized fluoride-conducting phases is:  $-1.85 \pm 0.05 : +2.00 \pm 0.05$  V and is practically independent of the content of the substituent.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Енергетика та енергоефективність

**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:**

- Pshenychnyi R.M., Lysenko O.V., Pavlenko T.V., Omelchuk A.O. Conductive properties of solid solutions of the system  $x\text{YF}_3\text{-(1-x)BaF}_2\text{-SnF}_2$ . *Functional Materials*. 2023, 30(1), с. 18-23. (<https://doi.org/10.15407/fm30.01.18>) Четвертий
- Lysenko O.V., Pshenychnyi R.M., Pavlenko T.V., Vorobiov S., Omelchuk A.O. Synthesis, Structure and Electrophysical Properties of Fluoride-Conducting Phases  $\text{Ba}_{1-x}\text{La}_x\text{SnF}_{4+x}$ . *Chemistry & Chemical Technology*. 2024, 18(3), с. 313-320. (<https://doi.org/10.23939/chcht18.03.313>)
- Lysenko O.V., Pshenychnyi R.M., Omelchuk A.O., Conductivity of non-stoichiometric fluoride-conducting phases  $\text{Ba}_{0.9-x}\text{La}_x\text{Sn}_{1.1}\text{F}_{4+x}$ . *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2025, (2), с. 87-93. (<https://doi.org/10.32434/0321-4095-2025-159-2-87-93>)

- Lysenko O.V., Pshenychnyi R.M., Omelchuk A.O. Synthesis and electrophysical properties of fluoride conducting phases  $Ba_{1-y}LaxSn_{1+y}F_{4+x}$ . Functional Materials.2025, 32(3), с. 429-440 (<http://dx.doi.org/10.15407/fm32.03.429>)

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

**Соціально-економічна спрямованість:**

**Охоронні документи на ОПІВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Планується до впровадження

**Зв'язок з науковими темами:** 0118U003438, 0122U000842, 0123U100606

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

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Омельчук Анатолій Опанасович
2. Anatolii O. Omelchuk

**Кваліфікація:** д.х.н., професор, член-кор., 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, 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. Бик Михайло Володимирович
2. Вук Mykhailo V.

**Кваліфікація:** к.х.н., доц., 02.00.05

**Ідентифікатор ORCID ID:** Не застосовується

**Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 02070921

**Місцезнаходження:** проспект Берестейський, Київ, 03056, Україна

**Форма власності:**

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

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Малетін Юрій Андрійович

2. Yurii A. Malietin

**Кваліфікація:** д. х. н., член-кор. НАН України, 02.00.04

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-5540-8490

**Додаткова інформація:** ;<https://orcid.org/0000-0001-5540-8490>

**Повне найменування юридичної особи:** Державна організація Інститут сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 05398131

**Місцезнаходження:** вул. Генерала Наумова, Київ, 03164, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Шматок Юрій Володимирович

2. Yurii V. Shmatok

**Кваліфікація:** к. х. н., 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, Київ, 03142, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Торчинюк Павло Васильович

2. Pavlo V. Torchyniuk

**Кваліфікація:** д.філософ, 102

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-2387-3683

**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, 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**

Колбасов Геннадій Якович

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

Колбасов Геннадій Якович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Надія Іваха

**Реєстратор**

Юрченко Тетяна Анатоліївна

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна