

ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
«Формування структури та оптико-люмінесцентні властивості тонких плівок на
основі оксиду ітрію, активованого іонами європію»**

здобувача ступеня доктора філософії

з галузі знань 10 «Природничі науки»

за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

Кофлюк Ірини Миколаївни

1. Актуальність теми дисертації

Сучасний прогрес науки та технологій спричинив зростання зацікавленості у функціональних матеріалах з прогнозованими оптико-люмінесцентними властивостями. Ці матеріали знайшли широке застосування в електроніці, фотоніці, оптиці та інших галузях. Один з найбільш перспективних матеріалів у цьому контексті – це оксид ітрію активований європієм. Він володіє унікальними оптичними та люмінесцентними властивостями, такими як висока стійкість до фотопошкодження, великий квантовий вихід та широкий спектр емісії. Тонкі плівки на основі оксиду ітрію активovanого іонами європію мають широкі застосування, зокрема, світловідбивні покриття, світлодіодні структури, електролюмінесцентні панелі та інші електронні пристрої. Проте, для успішного використання цих плівок у практичних застосуваннях необхідно детально вивчити їх структуру та властивості. Формування та оптимізація структури тонких плівок оксиду ітрію з домішкою європію є актуальною науковою проблемою, яка потребує глибокого розуміння процесів, що відбуваються під час їхнього отримання.

Використання оксиду ітрію з домішкою європію є перспективним у сучасних технологіях та пристроях, оскільки він може бути застосований в різноманітних розділах сучасної оптоелектроніки. У дисертаційній роботі досліджувалось використання методу високочастотного (ВЧ) іонно-плазмового розпилення для отримання тонкоплівкових зразків $Y_2O_3:Eu$ в різних атмосферах. Здійснено аналіз фазового складу плівок за допомогою рентгенофазового аналізу, а також вивчено причини розширення дифракційних смуг, яке пов'язане з механічними напруженнями та атмосферою напылення. Також проведено дослідження зміни морфології поверхні та розмірів кристалічних зерен тонких плівок $Y_2O_3:Eu$ з різними концентраціями активатора за допомогою методу атомно-силової мікроскопії (АСМ). Це дослідження дозволяє контролювати структурні властивості плівок, що є важливим для їхнього використання в оптичних пристроях. Крім того, вивчено вплив різних методів

нанесення тонких плівок на їхню структуру.

Зважаючи на широке застосування промислового люмінофора K77 (оксид ітрію активований європієм), як практично ідеального червоного люмінофора, слід звернути увагу на покращення оптичних та люмінесцентних властивостей. З цією метою виконано дослідження довгохвильового краю фундаментального поглинання тонких плівок Y_2O_3 та ізоструктурного з ним Sc_2O_3 , отриманих шляхом дискретного випаровування у вакуумі, а також тонких плівок Y_2O_3 , отриманих методом високочастотного (ВЧ) іонно-плазмового розпилення в різних атмосферах. Встановлено екситон-фононну взаємодію шляхом аналізу температурної залежності краю фундаментального поглинання, що дозволяє трактувати край поглинання як поглинання автолокалізованих екситонів. Для аналізу експериментальних результатів у роботі було використано модель сильнолегованого або дефектного напівпровідника в квазикласичному наближенні. Для оцінки люмінесцентних властивостей було проведено дослідження кінетики розгоряння та загасання катодолюмінесценції тонких плівок $Y_2O_3:Eu$. Аналізуючи спектри катодолюмінесценції при різних енергіях збудження, було виявлено можливість утворення нерегулярних розчинів оксиду ітрію та європію, а також запропоновано на основі затримки розгоряння КЛ аналізувати структурну досконалість досліджуваних тонких плівок. Підсумовуючи все вище сказане можна зробити висновок, що тема роботи є *актуальною*.

Тему дисертації затверджено на засіданні Вченої ради Львівського національного університету імені Івана Франка, протокол № 77/11 від 27 листопада 2019 року. Уточнено на засіданні Вченої ради Львівського національного університету імені Івана Франка, протокол № 49/6 від 29 червня 2023 року.

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямками університету та кафедри

Дисертаційна робота виконана на кафедрі фізичної та біомедичної електроніки Львівського національного університету імені Івана Франка відповідно з держбюджетними темами: «Оптоелектронний пристрій для реєстрації клітинних об'єктів» (номер державної реєстрації N0112U001289) і «Розробка оптоелектронного методу аналізу нанорозмірних об'єктів у біологічних рідинах та лікарських препаратах» (номер державної реєстрації N0119U002209), які відповідають науковому напрямку пошуку нових матеріалів та методів реєстрації для застосування в оптоелектроніці.

Частина досліджень проведена згідно з договором про співпрацю у Карловому університеті м. Прага, Чехія (01.12.2022-10.12.2022).

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

У дисертаційному дослідженні Кофлюк І.М. самостійно проаналізувала та систематизувала літературні дані за тематикою дослідження. Постановка мети і завдань дослідження, а також аналіз отриманих результатів у роботі проведені спільно з науковим керівником докт. фіз.-мат. наук, проф. О.М. Бордуном.

Планування та підготовка експериментів також проведені спільно з науковим керівником докт. фіз.-мат. наук, проф. О.М. Бордуном.

Приготування мішеней, нанесення тонкоплівкових зразків Y_2O_3 , Sc_2O_3 , $Y_2O_3:Eu$, $Gd_2O_3:Eu$ здійснювались разом з канд. фіз.-мат. наук. доц. Кухарським І.Й.

Морфологія поверхні отриманих полікристалічних плівок досліджувалась на атомно-силовому мікроскопі Solver P47 PRO (НТ-МДТ) у лабораторії атомно-силової мікроскопії ННЦ “Фрактал” Львівського національного університету імені Івана Франка з допомогою інж. М.В. Партики та на атомно-силовому мікроскопі TS-150 NTEGRA у Карловому університеті з допомогою канд. фіз.-мат. наук, доц. І.І. Медвідь та докт. фіз.-мат. наук, проф. А.В. Шукурова.

Оптико-люмінесцентні дослідження проведені спільно з науковим керівником докт. фіз.-мат. наук, проф. О.М. Бордуном.

Узагальнення отриманих результатів, обговоренні теоретичних моделей також проведені спільно з науковим керівником докт. фіз.-мат. наук, проф. О.М. Бордуном. При цьому автором самостійно проведено частину розрахунків та аналізів отриманих результатів.

Автор брав участь у представленні результатів досліджень та підготовці матеріалів до друку. Висновки даної дисертаційної роботи належать автору.

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором вирішень, висновків, рекомендацій

Отримані результати дисертаційної роботи є достовірними та науково обґрунтованими. При проведенні досліджень використано як новітні, так і багаторазово перевірені, апробовані методи. Одержані результати повністю підтверджуються сучасними взаємодоповнюючими експериментальними методами та добре узгоджуються з результатами інших дослідників, порівняння з якими проводиться у даній роботі.

Результати роботи опубліковано у виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази Scopus, та у фахових виданнях України. При цьому здійснювалась їх перевірка під час рецензування поданих публікацій у дані наукові видання. Також

результати роботи апробовано на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

У дисертаційній роботі наведено ряд нових результатів, що мають теоретичне та практичне значення. Зокрема, у роботі вперше:

- встановлено, що при ВЧ іонно-плазмовому розпиленні тонких плівок $Y_2O_3:Eu$ розподіл зерен, які формують тонку плівку відповідає мономодальному нормальному логарифмічному розподілу, а при дискретному термічному випаровуванні – бімодальному розподілу за рахунок зрощування зерен між собою;

- досліджено швидкість нанесення тонких плівок $Y_2O_3:Eu$ залежно від складу розпилювальної атмосфери та параметрів ВЧ установки, встановлено наявність оптимального значення робочого тиску і проведено аналіз отриманих результатів з використанням ефектів зворотного розсіювання, зворотної дифузії та механізму резонансної перезарядки;

- встановлено, що при ВЧ іонно-плазмовому напиленні в атмосфері суміші аргону і кисню різного процентного складу осаджуються полікристалічні плівки $Y_2O_3:Eu$ кубічної модифікації з розміром кристалічної комірки 5,0 – 7,0 нм. Наступна термообробка на повітрі приводить до впорядкування кубічної структури плівок і збільшення розмірів кристалітів до 28,0 – 32,0 нм;

- показано, що при ВЧ іонно-плазмовому напиленні тонких плівок $Y_2O_3:Eu$ зростання концентрації активатора від 1 до 5 мол.% приводить після термообробки до зростання середніх діаметрів кристалічних зерен від 15,7 до 196,0 нм. Проведено аналіз розподілу розмірів зерен та показано, що дані залежності добре описуються логнормальною залежністю з близькими значеннями параметру форми σ і зростаючим по мірі росту концентрації активатора параметра масштабу μ ;

- встановлено наявність сильної екситон-фононої взаємодії в тонких Y_2O_3 , отриманих методом дискретного випаровування та ВЧ іонно-плазмового розпилення в атмосфері аргону, кисню або суміші даних газів. Використання моделі сильно легованого або дефектного напівпровідника в квазикласичному наближенні дозволило оцінити вплив методу та умов одержання на радіус основного стану a , радіус екранування r_s , середньоквадратичний потенціал Δ та концентрацію вільних носіїв заряду N ;

- досліджено спектри свічення та особливості розгорання і загасання катодолюмінесценції тонких плівок $Y_2O_3:Eu$ залежно від енергії та густини

електронного збудження і запропоновано на основі затримки розгорання і загасання катодолюмінесценції аналізувати структурну досконалість даних плівок;

• показано, що при концентрації активатора 1 мол.% тонкі плівки $Gd_2O_3:Eu$ формуються з більших нанокристалічних зерен ніж плівки $Y_2O_3:Eu$ (відповідно 31,3 нм та 15,7 нм); у свіченні катодолюмінесценції тонких плівок $Gd_2O_3:Eu$ спостерігається збільшення відносного вкладу свічення іонів Eu^{3+} у вузлах кристалічної ґратки з точковою симетрією C_{3i} і зменшення вкладу свічення іонів Eu^{3+} у вузлах кристалічної ґратки з точковою симетрією C_2 відносно свічення тонких плівок $Y_2O_3:Eu$.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

6.1. Статті у виданнях, які індексовані у міжнародних наукометричних базах Scopus та/або Web of Science

1. O.M. Bordun, I.O. Bordun, I. Yo. Kukharskyu, **I.N. Kofliuk**. Features of Formation and Cathodoluminescence of Thin Films of Yttrium and Gadolinium Oxides Activated by Europium // J. Appl. Spectrosc. – 2019. – V.**86**, №4. – 711-714. (Scopus, Q4). *(Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, участь у проведенні експерименту та інтерпретації спектрів катодолюмінесценції і отриманих експериментальних залежностей, обговоренні встановлених висновків)* <https://doi.org/10.1007/s10812-019-00884-4>
2. O. M. Bordun, I. O. Bordun, I. M. Kofliuk, I. Yo. Kukharskyu, I. I. Medvid Influence of the Composition of the Radio-Frequency Sputtering Atmosphere on the Density of States and Interband Light Absorption in thin Y_2O_3 Films // J. Appl. Spectrosc. – 2022. – V.**88**, №6. – p. 1152–1156 (Scopus, Q4) *(Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, участь у проведенні експерименту та інтерпретації густини станів і міжзонного поглинання залежно від атмосфери напилення, обговоренні встановлених висновків)* <https://doi.org/10.1007/s10812-022-01292-x>
3. O. M. Bordun, I. O. Bordun, **I. M. Kofliuk**, I. Yo. Kukharskyu, I. I. Medvid, O. Ya. Mylyo, D. S. Leonov Synthesis and Structure of $Y_2O_3:Eu$ Thin Films // Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. – 2019. – V. **17**, № 4. – P. 711–716 (Scopus, Q4). *(Здобувачеві належить підготовка зразків тонких плівок на основі Y_2O_3 до експерименту, участь у проведенні експерименту та інтерпретації отриманих результатів, обговоренні встановлених висновків)* <https://doi.org/10.15407/nnn.17.04.711>
4. O. M. Bordun, I. O. Bordun, **I. M. Kofliuk**, I. Yo. Kukharskyu, I. I. Medvid, Zh. Ya. Tsapovska. Morphology of Thin Films $Y_2O_3:Eu$ Obtained by Different Methods // Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. – 2020. – V. **18**, №1. – 53-58. (Scopus,

- Q4). *(Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, участь у проведенні експерименту та інтерпретації отриманих результатів зміни морфології поверхні залежно від методу отримання, обговоренні встановлених висновків).* <https://doi.org/10.15407/nnn.18.01.053>
5. O. M. Bordun, I. O. Bordun, **I. M. Kofliuk**, I. Yo. Kukharskyu, I. I. Medvid, Zh. Ya. Tsapovska, D. S. Leonov Effect of Activator Concentration on the Morphology of Thin Films of $Y_2O_3:Eu$ Obtained by Radio-Frequency Sputtering // Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. – 2020. – V. **18**, № 3. – P. 715-722 (Scopus, Q4) (Scopus, CS – 0.3). *(Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, участь у проведенні експерименту та інтерпретації отриманих експериментальних залежностей, обговоренні встановлених висновків)* <https://doi.org/10.15407/nnn.18.03.717>
 6. **I.M. Kofliuk** Thin oxide films for transparent electronics and full color displays / O.M. Bordun, B.O. Bordun, I.M. Kofliuk, I.Yo. Kukharskyu, I.I. Medvid, M.V. Protsak // 2021 IEEE XIIth International Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT) Proceedings, Ukraine, Lviv, May 19-21, 2021, P.33-36. *(Здобувачеві належить участь у проведенні експерименту та інтерпретації отриманих результатів, обговоренні встановлених висновків)* <https://doi.org/10.1109/ELIT53502.2021.9501095>
 7. O. M. Bordun, I. O. Bordun, **I. M. Kofliuk**, I. Yo. Kukharskyu, I. I. Medvid, Zh. Ya. Tsapovska and D. S. Leonov Surface Morphology of $Y_2O_3:Eu$ Thin Films at Different Activator Concentrations // Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. – 2022. – V.**20**, № 1. – P. 91-96 (Scopus, Q4). *(Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, участь у проведенні експерименту та інтерпретації отриманих результатів зміни морфології поверхні залежно від концентрації активатора в тонких плівках на основі оксиду ітрію, обговоренні встановлених висновків)* <https://doi.org/10.15407/nnn.20.01.091>
 8. O.M. Bordun, I.O. Bordun, **I.M. Kofliuk**, I.Yo. Kukharskyu, I.I. Medvid, I. M. Kravchuk, M. S. Karkulovska, D.S. Leonov Deposition of $Y_2O_3:Eu$ Thin Films by Radio-Frequency Sputtering // Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii – 2022, – V. **20**, № 3 – P. 639–645 (Scopus, Q4). *(Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, участь у проведенні експерименту та інтерпретації отриманих результатів в тонких плівках на основі оксиду ітрію при отриманні їх методом ВЧ іонно-плазмового напылення, обговоренні встановлених висновків)* <https://doi.org/10.15407/nnn.20.03.639>
 9. O. M. Bordun, I. O. Bordun, **I. M. Kofliuk**, I. Yo. Kukharskyu, I. I. Medvid Density of states and interband light absorption in Y_2O_3 and Sc_2O_3 thin films // Physics And

Chemistry Of Solid State. - 2022. -V. **23**, № 1. - pp.40-44. (Scopus, Q4) *(Здобувачеві належить проведення вимірювань оптичних спектрів в області краю фундаментального поглинання та проведення математичної обробки спектрів з метою визначення густини станів та міжзонного поглинання)*
<https://doi.org/10.15330/pcss.23.1.40-44>

6.2. Публікації у наукових фахових виданнях України категорії Б

1. O. Bordun, B. Bordun, **I. Kofliuk** I. Kukharskyu, I. Medvid Analysis Of Spectral And Kinetic Characteristics Of Cathodoluminescence Of Y₂O₃:Eu Thin Films As A Red Component Of Full-Color High-Resolution Fluorescent Displays // Electronics and information technologies – 2022. Issue **18**.– P. 34–43. *(Здобувачеві належить підготовка зразків до експерименту, участь у проведенні експерименту та інтерпретації отриманих результатів, обговоренні встановлених висновків)*
<https://doi.org/10.30970/eli.18.4>

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо

1. **Кофлюк І.М.** Вплив концентрації активатора на структуру та катодолумінесцентні властивості тонких плівок Y₂O₃:Eu / І. Кофлюк, С. Марцеховський // Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики «Еврика-2018» (Тези доповідей). - Львів 2018. – с. В19.
2. **Кофлюк І.М.** Зміна морфології поверхні та особливості катодолумінесценції тонких плівок Y₂O₃:Eu при зростанні концентрації активатора / І.М. Кофлюк // Матеріали науково-практичної коференції «Реформування та розвиток гуманітарних та природничих наук». – Харків 2019. – С.119-121.
3. **Kofliuk I.M.** Morphology of thin films Y₂O₃:Eu obtained by different methods / Bordun O.M., Bordun I.O, Kofliuk I.M., Kukharskiy I.Yo. // XXII International Seminar on Physics and Chemistry of Solids, Ukraine, Lviv, June 17-19, 2020. P.87-88.
4. **Кофлюк І. М.** Вплив концентрації активатора на морфологію тонких плівок Y₂O₃:Eu, одержаних високочастотним розпиленням / Кофлюк І. М. , Медвідь І. І. // Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЕВРИКА–2020, Україна, Львів, 6-7 жовтня 2020 р. – с. С11.
5. **Kofliuk I.M.** Thin oxide films for transparent electronics and full color displays / Bordun O.M., Bordun B.O., Kofliuk I.M., Kukharskyu I.Yo., Medvid I.I., Protsak M.V. //2021

IEEE XIIth International Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT), Ukraine, Lviv, May 19-21, 2021.

6. **Kofliuk I.M.** Microstructure and cathodoluminescence of $Y_2O_3:Eu$ i $Gd_2O_3:Eu$ thin films / Bordun O.M., Kofliuk I.M., Kukharsky I.Yo., // 9th International Conference "Nanotechnologies and Nanomaterials" (NANO-2021), Ukraine, Lviv, August 25-27, 2021.
7. **Kofliuk I.M.** Spectral and kinetic characteristics of cathodoluminescence of $Y_2O_3:Eu$ thin films / Bordun O.M., Bordun B.O., Kofliuk I.M., Kukharsky I.Yo., Medvid I.I. //OMEE-2021 6th International Conference on Oxide Materials for Electronic Engineering – fabrication, properties and application (OMEE), Ukraine, Lviv, September 28 - October 2, 2021, P.127.
8. **Кофлюк І. М.** Вплив концентрації активатора на морфологію тонких плівок $Y_2O_3:Eu$, одержаних високочастотним розпиленням / Іванна Медвідь, Богдан Бордун, Ірина Кофлюк, Данило Максимчук// Міжнародна конференція студентів і молодих науковців з теоретичної та експериментальної фізики ЄВРИКА–2022, Україна, Львів, 18-20 жовтня 2022 р. – В. В1.

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Наукова цінність роботи полягає в одержанні вагомих результатів, що стосуються синтезу полікристалічних люмінесцентних плівок, які формуються з нанокристалічних зерен, дослідження їх структурних та оптичних властивостей. На основі отриманих результатів визначено галузі практичного використання тонких полікристалічних люмінесцентних оксидних плівок.

Отримані у роботі результати розширюють та доповнюють теоретичні та практичні аспекти наноматеріалознавства і можуть бути використані в навчальній та довідковій літературі, а також у навчальних дисциплінах з тонкоплівкових технологій чи нанотехнологій, оптичних властивостей наноструктур, які викладаються для студентів природничих та технічних спеціальностей закладів вищої освіти України.

Результати дослідження формування структури та її впливу на фізичні властивості тонких оксидних плівок можуть бути використані в таких курсах як “Наноматеріалознавство”, “Технологія тонких плівок”, “Електронні процеси в наноструктурах”

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі, де вони можуть бути застосовані

Отримані в роботі експериментальні і практичні результати мають важливе значення для нанотехнології, тонкоплівкового матеріалознавства та оптоелектроніки, серед найсуттєвіших з яких слід зазначити наступні:

1. Встановлено взаємозв'язок методів та умов одержання тонких полікристалічних плівок червоного люмінофора $Y_2O_3:Eu$ на аморфних підкладках із плавленого кварцу із структурними параметрами даних плівок.

2. Встановлено взаємозв'язок методів та умов одержання тонких полікристалічних плівок Y_2O_3 з оптико-спектральними характеристиками, екситон-фононною взаємодією та енергетичними параметрами даних плівок.

3. Встановлено залежність спектральних та кінетичних характеристик катодолюмінесценції тонких плівок $Y_2O_3:Eu$ із умовами одержання тонких плівок, концентрацією активатора і тривалістю збуджуючих імпульсів та запропоновано на основі затримки розгорання і загасання катодолюмінесценції аналізувати структурну досконалість тонких плівок $Y_2O_3:Eu$.

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертація за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам МОН України.

Дисертацію заслухано та обговорено на розширеному науковому семінарі кафедри фізичної та біомедичної електроніки факультету електроніки та комп'ютерних технологій Львівського національного університету імені Івана Франка (протокол № 1 від 30 серпня 2023 року). У ході обговорення дисертації суттєвих зауважень, які стосуються суті роботи, не було висунуто.

В цілому дисертація Кофлюк Ірини Миколаївни *“Формування структури та оптико-люмінесцентні властивості тонких плівок на основі оксиду ітрію, активованого іонами європію”* є завершеною науковою працею в межах поставлених завдань, у якій описано особливості формування структури тонких плівок $Y_2O_3:Eu$ та їх оптико-люмінесцентні характеристики, як перспективного матеріалу для нанотехнологій, тонкоплівкового матеріалознавства та оптоелектроніки.

На основі вищесказаного можна зробити такі висновки щодо поданої дисертаційної роботи:

1. За актуальністю обраної теми, обсягом, достовірністю та рівнем апробації отриманих результатів, науковою новизною, обґрунтованістю висновків, практичною цінністю дисертаційна робота *“Формування структури та оптико-люмінесцентні властивості тонких плівок на основі оксиду ітрію, активованого іонами європію”* відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р.

«Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» та п. 6 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44.

2. Дисертація відповідає спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали (галузь знань 10 «Природничі науки»).
3. Наукові праці Кофлюк І. М., опубліковані за результатами дисертаційної роботи, за кількістю та якістю відповідають пп. 8-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44.
4. Дисертація *“Формування структури та оптико-люмінесцентні властивості тонких плівок на основі оксиду ітрію, активованого іонами європію”* Кофлюк Ірини Миколаївни рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

Головуючий на засіданні наукового семінару,
доцент кафедри фізичної
та біомедичної електроніки
Львівського національного
університету імені Івана Франка,
кандидат фізико-математичних наук
30 серпня 2023 р.

Ігор КУХАРСЬКИЙ

Підпис доц. Ігоря Кухарського засвідчую.

Вчений секретар
Львівського національного
університету імені Івана Франка
доцент



Ольга ГРАБОВЕЦЬКА