



**АНОТОВАНИЙ ЗВІТ**  
про виконану роботу у 2021 році в рамках реалізації проєкту  
із виконання наукових досліджень і розробок  
*«Новітні (електро)хемілюмінесценційні (біо)сенсорні платформи з лазерно-індукованими функціональними мікро- та наноструктурами»*  
(назва Проєкту)

Назва конкурсу: «Підтримка досліджень провідних та молодих учених»

Реєстраційний номер Проєкту: 2020.02/0390

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/0390 (реєстраційний номер) та назва Проєкту «Новітні (електро)хемілюмінесценційні (біо)сенсорні платформи з лазерно-індукованими функціональними мікро- та наноструктурами»

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених» протокол від «16-17» вересня 2020 року № 21.

## 1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Загальна тривалість виконання проєкту 2020 рік – 2022 рік

Тривалість виконання Проєкту у 2021 році

Початок – 01 червня 2021 року

(дата укладання Договору про виконання наукового дослідження і розробки)

Закінчення – 15 грудня 2021 року.

6 088 800 (шість мільйонів вісімдесят вісім тисяч вісімсот гривень).

**Вартість Проєкту по роках, грн.:**

1-й рік 849 000 (вісімсот сорок дев'ять тисяч гривень).

2-й рік 3 092 800 (три мільйони дев'яносто дві тисячі вісімсот гривень).

3-й рік 2 147 000 (два мільйони сто сорок сім тисяч гривень).

## 2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту залучено 10 виконавців, з них:

доктори наук: 3

кандидати наук: 1 PhD;

інші працівники: 4.

## 3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(Ї) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

1. *Музика Катерина Миколаївна*, кафедра біомедичної інженерії (БМІ) ХНУРЕ, професор кафедри БМІ ХНУРЕ, д.т.н.

2. *Жолудов Юрій Тимофійович*, кафедра БМІ ХНУРЕ, доцент кафедри БМІ ХНУРЕ, д.ф.-м.н.

3. *Сніжко Дмитро Вікторович*, кафедра БМІ ХНУРЕ, доцент кафедри БМІ ХНУРЕ, д.т.н.

4. *Васильковський Володимир Сергійович*, Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України, аспірант.

5. *Костін Денис Олександрович*, кафедра БМІ ХНУРЕ, інженер, без ступеню.

6. *Гніліцький Ярослав Миколайович*, компанія НовіНано (Львів), провідний дослідник, PhD.

7. *Гевко Ігор Григорович*, компанія НовіНано (Львів), дослідник, без ступеню.

8. *Кузнєцов Олександр Валентинович*, компанія НовіНано (Львів), інженер, без ступеню.

У разі залучення субвиконавців:

### - обґрунтування доцільності їх залучення до виконання Проєкту;

НовіНано – це науково-технологічна компанія, яка пропонує нові методи модифікації поверхонь за допомогою фемтосекундної лазерної технології. Новітній підхід обробки поверхонь будь-якого матеріалу забезпечує широкий спектр застосувань, змінюючи оптичні та фізичні характеристики матеріалів.

Доцільність залучення до виконання Проєкту субвиконавців з компанії НовіНано обґрунтовується необхідністю модифікації поверхонь за допомогою фемтосекундної лазерної технології, оскільки даний Проєкт присвячено теоретичним та експериментальним дослідженням, необхідним для розроблення концепції створення (електро)хемілюмінесцентних (біо)сенсорних платформ з *лазерно-індукованими функціональними мікро- і нано структурами*.

Технічне оснащення НовіНано забезпечує спроможність створення лазерно-індукованих функціональних мікро- і нано структур.

### - інформація про повну назву підприємства/установи/ організації,

Товариство з обмеженою відповідальністю НОВІНАНО ЛАБ/ LIMITED LIABILITY COMPANY NOVINANOLAB (LLC NOVINANOLAB).

код за ЄДРПОУ: 42088145.

**Код КВЕД 58.29:** Видання іншого програмного забезпечення;

**Відомча підпорядкованість:** частково контролююча компанія NoviNano Ltd (Мальта)

*Перелік технічного оснащення НовіНано:*

найсучасніший фемтосекундний комплекс з усім супутнім обладнанням, що включає:

- фемтосекундний лазер LightConversion "PHAROS";
- підсилювач оптичних параметрів LightConversion "Orpheus HP";
- компресор імпульсів LightConversion "Orpheus N";
- моторизований 6-ти координатний столик "Standa 6D";
- гальваносканер "SCANLAB";
- оптичний тензіометр "Bioloim";
- оптичний мікроскоп "Olympus".

*Персонал, що буде залучено до виконання Проєкту.*

- Гніліцький Ярослав, компанія НовіНано (Львів), провідний дослідник, PhD.
- Гелко Ігор Григорович, компанія НовіНано (Львів), дослідник, без ступеню.
- Кузнецов Олександр Валентинович, компанія НовіНано (Львів), інженер, без ступеню.

#### **4. ОПИС ПРОЄКТУ**

##### **4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)**

Метою роботи є встановлення взаємозв'язку між властивостями лазер-індукованих мікро- і наноструктур на поверхні електродів/субстратів, та характеристиками (електро) хемілюмінесцентного сигналу, генерованого на цих структурах. Це дасть можливість для створення новітніх (Е)ХЛ-(біо)сенсорних платформ з покращеними аналітичними властивостями на основі лазерно-індукованих функціональних структур і для розширення потенціалу застосування лазерно-індукованих поверхневих структур.

##### **4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)**

1. Дослідження фізико-хімічних властивостей лазерно-індукованих періодичних поверхневих мікро- і наноструктур (ЛППС) електродів/субстратів в залежності від:

- параметрів лазерної обробки (енергії і тривалості імпульсу, швидкості сканування, довжини хвилі, середовища обробки, поляризації тощо);

- властивостей матеріалу,

- параметрів поверхневої модифікації електрода (підкладки), зокрема, плівками Ленгмюра-Блоджетт. 2. Виявлення вагомих факторів впливу на створення ЛППС електродів /субстратів з контрольованими фізико-хімічними властивостями поверхні.

3. Дослідження фізико-хімічних процесів генерації (електро)хемілюмінесценції на ЛППС з різними фізико-хімічними властивостями.

4. Виявлення взаємозв'язку фізико-хімічних властивостей поверхонь електродів/ субстратів з ЛППС та кінетикою та інтенсивністю (електро) хемілюмінесценції.

5. Створення новітніх (електро)хемілюмінесцентних (ЕХЛ) (біо)сенсорних платформ з лазерно-індукованими функціональними структурами з покращеними аналітичними властивостями.

##### **4.3. Детальний зміст Проєкту:**

- Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Незважаючи на очевидні переваги, які потенційно закладені в (біо)сенсорних ЕХЛ-платформах, **основна науково-технічна проблема** ЕХЛ- трансдукції, пов'язана з кінетикою електрохімічних гетерогенних реакцій при небажаній модифікації (забрудненні) електродів продуктами електролізу.

- Новизна Проєкту (до 400 знаків)

Створення електродів із заданою морфологією поверхні на мікро- та нанорівні. Це необхідно для контролю (на мікро- та нанорівні) гетерогенних електрохімічних реакцій, які супроводжуються генерацією ЕХЛ, та для визначення впливу та ролі морфології та фізико-хімічних властивостей поверхні на ефективність ЕХЛ.

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

Для генерації на поверхнях електродів різноманітних лазерно-індуційних нано-та мікроструктур буде використовуватись фемтосекундний лазерний комплекс "ФАРОС". Потужність та рівномірність інтенсивності лазерного пучка будуть контролюватись вимірювачем потужності "Станда" та швидкодіючим детектором відповідно. Електрохімічні та ЕХЛ дослідження властивостей електродів з ЛППС структурами будуть проводитись методами циклічної вольтамперометрії, вольтамперометрії на обертовому дисковому електроді, імпульсної вольтамперометрії з використанням електрохімічної станції Autolab PGSTAT128N, комплексів для ЕХЛ аналізу ЕЛАН-2М та ЕЛАН-3D власної розробки.

#### **5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:**

##### **5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту**

а) Вперше отримано нові функціональні властивості неіржавної сталі, модифікованої фемтосекундними лазерними імпульсами, які полягають у можливості генерування ЕХЛ-сигналу

люмінофорами (трисбїпіридилним комплексом рутенію і 9,10-дифенілантраценом) під час гомогенної (як співреагентної, так і анігіляційної ЕХЛ) на неіржавній сталі з ЛППС. На електродах з неіржавної сталі без ЛППС ЕХЛ для даних систем не спостерігалась;

б) вперше отримано відомості щодо зміни топографії та поверхневої хімії вихідних матеріалів (неіржавіючої сталі та скловуглецю) після фемтосекундної лазерної обробки, а також відомості щодо впливу цих змін на функціональні властивості: *електрохімічну поведінку редокс-систем* (ферроціанід калію, хлорид гексаамінурутенію); *електрохемілюмінесцентну (ЕХЛ) поведінку* 9, 10-дифенілантрацену (під час анігіляційної ЕХЛ) та трисбїпіридилного комплексу рутенію (під час співреагентної ЕХЛ з трипропіламіном) на електродах з ЛППС;

в) отримано відомості про взаємозв'язок між параметрами лазерної модифікації, зокрема, тривалістю імпульса лазера (266 фс, 500 фс, 5 пс, 10 пс), довжинами хвиль (1030 нм, 515 нм і 343 нм) з топографією поверхні скловуглецю та неіржавної сталі, а також їх електрохімічними та ЕХЛ-властивостями;

г) розроблено методику визначення впливу топографії та хімічних властивостей ЛППС-структур на зміну функціональних властивостей (електрохемілюмінесцентних та електрохімічних) вихідних матеріалів (неіржавіючої сталі та скловуглецю);

д) моделювання утворення ЛППС за допомогою програми Comsol Multiphysics дозволило дослідити температуру прогріву вихідного матеріалу під час фемтосекундної обробки.

#### Статті

1. Muzyka K., Xu G. Laser-Induced Graphene in Facts, Numbers, and Notes in View of Electroanalytical Applications: A Review // *Electroanalysis*, 2021. <https://doi.org/10.1002/elan.202100425>.

2. Vasylovskiy, V.S., et al. Laser-induced nanoparticles in electroanalysis: Review // *Functional Materials*, 2021, 28(2), стр. 210–216.

3. Snizhko D. et al. «Pulsar» Photon Counter in Electrogenerated Chemiluminescent Measurements // *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 97, no. 7, 2021. - P. 29-34. doi:10.15199/48.2021.07.06

- Zholudov Yu. T, Vasylovskiy V.S., Muzyka K.M., Gnilitskiy I.M. Electrogenerated chemiluminescence in thin polymer films on smooth and nanostructured electrode surfaces // International research and practice conference “Nanotechnology and nanomaterials”, 25-27 August, 2021. – P.355.
- Snizhko D.V., Muzyka K.M., Microscopy of nanoobjects Atomic-Force Microscopy of Laser-Induced Periodic Surface Structures // International research and practice conference “Nanotechnology and nanomaterials”, 25-27 August, 2021. – P.387.
- Vasylovskiy V.S., Zholudov Yu. T, Snizhko D.V., Muzyka K.M. Laser-based Nanostructured Materials for Electroanalysis // International research and practice conference “Nanotechnology and nanomaterials”, 25-27 August, 2021. – P.355.
- Muzyka K., Gnilitskiy Ya, Zholudov Yu, Snizhko D., Vasylovskiy V. Laser-induced Periodic Surface Structures on Glassy Carbon for Electrode Applications // The eighteenth International Symposium on Electroanalytical Chemistry, August 24-27, 2021, Changchun, Jilin, CHINA
- Zholudov Y., Snizhko D., Muzyka K., Xu G., ECL Sensor For Tryptophan Based On Polymer Film Modified Glassy Carbon Electrode, The Eighteenth International Symposium on Electroanalytical Chemistry (18th ISEAC), 25-27 August 2021, Changchun, China, pp. 225-227.
- Y. Zholudov, B. Chichkov, K. Muzyka, M. Slipchenko, O. Slipchenko, V. Vasylovskiy, Laser Assisted Generation of Nanoparticles for Electrochemical and Electrochemiluminescent Applications // XII Internat. Scientific Conf. “Functional Basis of Nanoelectronics”, September, 2021, Odesa, Ukraine, p. 3-9.
- K. Muzyka, Y. Zholudov, I. Gnilitskiy, D. Snizhko, V. Vasylovskiy, O. Slipchenko, Laser-based Nanostructuring of Carbon Materials // XII Internat. Scientific Conf. “Functional Basis of Nanoelectronics”, September, 2021, Odesa, Ukraine, p. 10-12.
- D. Snizhko, Y. Zholudov, O. Bilash, K. Muzyka, Atomic Force Microscopy investigation of laser-induced periodic surface structure as a perspective elements for sensors construction // XII

Internat. Scientific Conf. "Functional Basis of Nanoelectronics", September, 2021, Odesa, Ukraine, p. 73-75.

## **5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами**

До науково-технічної продукції належать:

- теоретичні відомості щодо впливу топографії та хімії ЛППС-структур на зміну функціональних властивостей (електрохемілюмінесцентних та електрохімічних) вихідних матеріалів (нержавіючої сталі та скловуглецю)

- наноструктуровані лазер-індукованими поверхневими періодичними структурами (ЛПСС) електроди зі скловуглецю та неіржавної сталі.

Аналогами електродів з ЛПСС є електроди, модифіковані наноматеріалами. Зокрема, аналогом скло вуглецевого електроду з ЛПСС є скловуглецевий електрод з іммобілізованими вуглецевими нанотрубками.

Вагомими перевагами словуглецевих електродів з ЛПСС у порівнянні зі скловуглецевими електродами, модифікованими вуглецевими нанотрубками, є: а) відсутність необхідності використання додаткової речовини-матриці, яка негативно впливає на аналітичні характеристики (відтворюваність, межу визначення); б) відтворюваність топографії поверхні; в) можливість більш контрольованого керування топологією і хімізмом поверхні тощо; г) можливість впливу на функціональні властивості шляхом зміни топографії поверхні і її хімізму.

Перевагами електродів з неіржавної сталі з ЛППС-структурами у порівнянні зі електродами з неіржавної сталі без ЛППС є наявність гомогенної електрогенерованої хемілюмінесцентної системи трисбіпідридинний комплекс рутенію / трипропіламін. Це свідчить про можливість використання наноструктурованих сталевих електродах у електрохемілюмінесцентному аналізі.

## **5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)**

Результати даного етапу виконання Проєкту є вагомими для розуміння закономірностей впливу топографії поверхні електроду на фарадеївські процеси та процеси генерування ЕХЛ, з метою застосування цих закономірностей у хімічній аналітиці.

## **5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.**

Результати досліджень будуть впроваджені у виграний проєкт «NanoScint» від федерального міністерства освіти та досліджень Німеччини (BMBWF) щодо створення україно-німецьких спільних центрів передових досліджень. Результати досліджень частково було використано у кандидатській і двох докторських дисертаціях, а саме: Газі Фараж Хамдан Бані Халед «Технологія виробництва електрохемілюмінесцентного сенсорного елементу для визначення поліциклічних ароматичних вуглеводнів». Жолудов Юрій Тимофійович «Електрохемілюмінесцентні сенсори на основі модифікованих функціональних електродів». Сніжко Дмитро Вікторович «Концепція побудови сенсорних систем з використанням нанофотонних та наноелектрохімічних технологій» (05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки).

Результати досліджень будуть впроваджені у навчальному процесі під час підготовки лекційних, лабораторних і практичних занять для українських та іноземних студентів, зокрема з курсів «Нанотехнології у біології та медицині».

**Науковий керівник Проєкту**

Професор кафедри БМІ

(посада)

Музика Катерина Миколаївна

ПІБ

(підпис)