

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу  
Ліневича Ярослава Олексійовича  
на тему «Нанорозмірні кремнієві одновимірні структури для сенсорів  
фізичних і хімічних величин»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 15 - Автоматизація та приладобудування  
за спеціальністю 153 – Мікро- та наносистемна техніка

### **Актуальність теми дисертації.**

Дисертаційна робота присвячена розробці технології виготовлення високоефективних сенсорів фізичних і хімічних величин на основі кремнієвих нанониток. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю створення сенсорів з підвищеною чутливістю, коротким часом відгуку і високою селективністю для сучасних систем моніторингу середовища, медичної діагностики та безпеки. Запропоновані технологічні підходи, що включають оптимізацію параметрів створення масиву кремнієвих нанониток та їх модифікацію, дозволяють значно покращити робочі характеристики сенсорів, що є важливим кроком у розвитку приладобудування.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- 1) Вперше встановлено закономірності впливу технологічних параметрів створення масиву кремнієвих нанониток методом метало-стимульованого хімічного травлення (тип підкладки, вміст та час травлення) на статичні та динамічні параметри сенсорів фізичних та хімічних величин (резистивного/ємнісного та діодного типів).
- 2) Розроблено метод структурної модифікації поверхні масиву кремнієвих нанониток шляхом додаткового хімічного травлення та вперше встановлено закономірності впливу виду та тривалості травлення на параметри чутливих елементів, що дозволило покращити їх швидкодію.
- 3) Розроблено метод хімічної модифікації поверхні масиву кремнієвих нанониток шляхом нанесення різних вуглецевих наноматеріалів (фулеренів, вуглецевих нанотрубок, графену) та вперше встановлено



закономірності їх впливу на параметри чутливих елементів, що дозволило підвищити величину їх відгуку.

- 4) Розроблено метод структурно-хімічної модифікації поверхні масиву кремнієвих нанониток (поєднання додаткового травлення та нанесення вуглецевих наноматеріалів) та вперше встановлено технологічні умови, що значно покращили робочі характеристики чутливих елементів (відгук та швидкодію).

Достовірність результатів підтверджується узгодженістю отриманих даних з літературними джерелами, використанням широкого спектра фізико-хімічних методів аналізу матеріалів, а також значною кількістю публікацій у журналах, індексованих у базі даних Scopus, в тому числі віднесених до 1-2 квартилів. Загалом автор продемонстрував системний підхід до вдосконалення сенсорних характеристик шляхом цілеспрямованої модифікації чутливої поверхні наноструктур.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі мікроелектроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках НДР № 2301/2-п “Екологічно безпечні технології перероблення недеревної рослинної сировини у наноцелюлозні композиційні матеріали для органічного пакування і зеленої гнучкої електроніки” (2020-2022 рр) та ініціативної теми № 0123U105274 “Органічно-неорганічні гібридні структури для електронних сенсорів” (2023-2025 р) під керівництвом доцента кафедри мікроелектроніки, кандидата технічних наук, доцента Коваль Вікторії Михайлівни.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання дослідження впливу технологічних параметрів створення масиву кремнієвих нанониток та його поверхневої модифікації на параметри сенсорів фізичних та хімічних величин виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Ліневича Я.О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 153 – Мікро- та наносистемна техніка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Мікро- та наносистемна техніка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Нові речовини і матеріали».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Ліневича Ярослава Олексійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату



та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

#### **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 221 сторінка.

Результати проведених досліджень представлені структуровано, послідовно із використанням загальноприйнятої термінології для напрямку дисертаційних досліджень та дотриманням переважно наукового стилю написання.

У вступі логічно викладено наукове підгрунтя теми, обґрунтовано її актуальність, визначено мету, завдання, об'єкт, предмет, наукову новизну й практичну значущість. Виклад структурований відповідно до вимог до дисертацій докторів філософії. Мова відповідає академічному стилю, без стилістичних або граматичних помилок.

Перший розділ присвячений аналізу літературних даних з теми дослідження. Огляд методів отримання кремнієвих нанониток, їх структури та застосування викладено достатньо повно та послідовно. Кожен підрозділ завершується чіткими висновками. Професійна термінологія є коректною.

У другому розділі описано послідовність виготовлення резистивних сенсорів на основі кремнієвих нанониток і вплив технологічних параметрів на їх характеристики. Автор використовує точні формулювання, вміло оперує числовими даними та проводить ґрунтовний порівняльний аналіз.

Третій розділ містить опис технології виготовлення діодних сенсорів на основі кремнієвих нанониток з р-п переходом. Досліджено вплив параметрів синтезу кремнієвих нанониток на статичні та динамічні характеристики таких сенсорів. Проведено співставлення діодних та резистивних/ємнісних сенсорів, отриманих в роботі.

Четвертий розділ присвячений дослідженню впливу поверхневої модифікації масиву кремнієвих нанониток на параметри сенсорів (структурна, хімічна та структурно-хімічна модифікація з використанням графену, фулеренів, вуглецевих нанотрубок). Вперше встановлено закономірності впливу типу та кількості модифікатора на статичні та динамічні характеристики, що дозволило покращити робочі параметри сенсорів.

П'ятий розділ містить прикладні можливого практичного застосування сенсорів, виготовлених на основі модифікованих кремнієвих нанониток у сенсорах запаху та диму. Наведено порівняльний аналіз характеристик приладів для різних типів модифікацій. Визначено оптимальні конфігурації сенсорів для конкретних медичних та промислових застосувань.



У висновках по роботі стисло й послідовно підбито підсумки дослідження. У Додатках представлено список публікацій і пояснення щодо внеску автора в них, а також таблиці з характеристиками зразків сенсорів. Весь текст витримано у єдиному стилістичному форматі.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 16 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 7 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 5 статей у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 3 статті у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports. Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

Публікації здобувача, виконані за темою дисертації, опубліковані у спеціалізованих рецензованих виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах та входять до переліку наукових фахових видань України. Вони пройшли перевірку на відповідність принципам академічної доброчесності, зокрема антиплагіатну експертизу. Матеріали публікацій повністю відповідають змісту і структурі дисертаційної роботи, а внесок здобувача в кожен з них є підтвердженням і значущим.

Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній, роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

- 1) Відсутній аналіз довго- та короткотривалої стабільності характеристик отриманих зразків одновимірних кремнієвих структур, відтворюваності параметрів сенсорів, виготовлених за запропонованою технологією. Така інформація є критично важливою для оцінки надійності та практичної придатності розроблених одновимірних кремнієвих структур для сенсорів, оскільки кремній має властивість окислюватися з часом, а враховуючи нанорозміри ниток цей час може бути досить коротким.
- 2) Існують недоліки форматування та представлення даних у таблицях Додатку Б, що ускладнює сприймання великого об'єму числових даних. Також у деяких таблицях, зокрема в табл. Б.12, присутні порожні комірки або комірки, заповнені символом тире ("-"). Не завжди зрозуміло, чи означає це відсутність даних, їх нерелевантність для даного зразка/параметру, чи це просто пропуск. Відсутність пояснень щодо



значення таких комірок може призвести до неправильної інтерпретації даних.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Ліневича Ярослава Олексійовича на тему «Нанорозмірні кремнієві одновимірні структури для сенсорів фізичних і хімічних величин» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань Автоматизація та приладобудування. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 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 р. № 44.

Здобувач Ліневич Ярослав Олексійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 153 – Мікро- та наносистемна техніка.

### Рецензент:

доцент кафедри мікроелектроніки

факультету електроніки

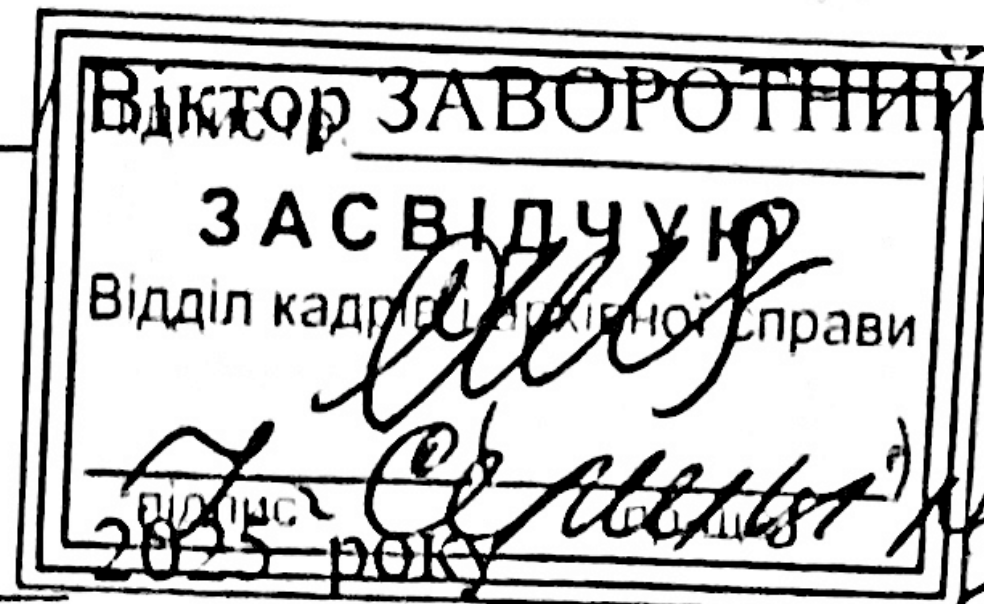
Національного технічного Університету України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

канд. фіз.-мат. наук



1



« 17 »

05