

ВІДГУК

офіційного опонента 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.

Актуальність дисертаційна роботи, яка присвячена розробці та дослідженню сенсорів фізичних і хімічних величин на основі нанорозмірних кремнієвих одновимірних структур, обумовлена сучасним рівнем розвитку сенсорної техніки, який визначається широким попитом на високочутливі, надійні та компактні сенсори в промисловому моніторингу, системах безпеки, контролі навколишнього середовища, сільському господарстві та повсякденному житті. Особливе значення має розробка сенсорів для медичної діагностики, зокрема для неінвазивного аналізу дихання, контролю якості харчових продуктів (електронний ніс) та систем раннього виявлення небезпечних ситуацій (пожеж). Вивчені в цій роботі сенсори на основі кремнієвих нанониток демонструють потенціал для створення нового покоління пристроїв для цих застосувань, підкреслюючи практичне значення проведених досліджень та необхідність вдосконалення технологій їх виготовлення та модифікації. Актуальним є також розвиток технологій по модифікації та функціоналізації поверхні різних напівпровідникових матеріалів, зокрема, кремнію.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1) Виявлено базові закономірності, що пов'язують параметри створення масиву кремнієвих нанониток методом метало-стимульованого хімічного травлення із статичними та динамічними характеристиками сенсорів, чутливими елементами яких є нанонитки.

2) Доведено ефективність застосування структурної модифікації поверхні кремнієвих нанониток за допомогою ізотропного та анізотропного травлення як способу покращення швидкодії сенсорів.

3) Вперше комплексно досліджено та пояснено вплив 0D-, 1D- та 2D-вуглецевих наноматеріалів під час хімічної модифікації кремнієвих нанониток на робочі параметри сенсорів, що дозволило суттєво збільшити їх відгук.

4) Запропоновано та реалізовано підхід структурно-хімічної модифікації, який дозволяє отримати сенсори фізичних та хімічних величин із значно покращеними показниками відгуку та швидкодії, що перевищують відомі аналоги.

Достовірність результатів дисертації підтверджується використанням широкого спектра сучасних фізико-хімічних методів аналізу матеріалів, а саме атомно-силової мікроскопії, скануючої електронної мікроскопії, рентгенівської фотоелектронної спектроскопії, енерго-дисперсійної рентгенівської спектроскопії оптичної спектроскопії та інших. Дані, отримані цими методами взаємо доповнюють та перевіряють один одного та узгоджуються із загальними фізичними принципами та сучасними науковими уявленнями в даній галузі. Вагомим підтвердженням достовірності є значна кількість публікацій за темою дисертації (16 наукових праць), зокрема у фахових виданнях, індексованих у міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science, в тому числі віднесених до 1-го (Q1), 2-го (Q2), 3-го (Q3) та 4-го (Q4) кuartилів. Результати роботи також пройшли апробацію на міжнародних наукових конференціях. Загалом автор продемонстрував системний підхід до дослідження та покращення сенсорних характеристик шляхом оптимізації технологічних параметрів синтезу та модифікації чутливої поверхні кремнієвих наноструктур.

Таким чином, наукове завдання, поставлене в дисертації, виконано в повному обсязі, а здобувач повністю 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, в якій проведено системні експериментальні роботи по створенню сімейства сенсорів фізичних

та хімічних величин. Ця робота 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.

У вступі чітко викладено всі складові структури наукової роботи: актуальність теми, аналіз попередніх досліджень, мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження, наукову новизну та практичне значення. Вказано перелік використаних методів та особистий внесок здобувача. Мова викладення відповідає академічному стилю.

Перший розділ містить ґрунтовний огляд літератури з акцентом на структурні особливості кремнієвих нанониток, методи їх виготовлення та застосування у сенсорах. Виклад логічно поділений на підрозділи, в кінці кожного з яких зроблено проміжні висновки, а наприкінці – узагальнений підрозділ «Висновки».

Другий розділ присвячений виготовленню та дослідженню резистивних сенсорів, в яких в якості чутливих елементів використано масив кремнієвих нанониток. Текст розділу чітко структурований та легко доступний для сприйняття, виклад супроводжується рисунками, таблицями та числовими порівняннями і завершується лаконічними висновками.

Третій розділ містить детальний опис технології виготовлення діодних сенсорів з р–n-переходом на основі кремнієвих нанониток. Послідовно розглянуто вплив параметрів синтезу кремнієвих нанониток на їхні робочі характеристики. У висновках до розділу автор наводить порівняння отриманих діодних сенсорів з резистивними аналогами, наведеними у попередньому розділі.

Четвертий розділ присвячено дослідженню впливу структурної модифікації (ізотропне та анізотропне травлення) та хімічної модифікації (графен, фулерени, вуглецеві нанотрубки) поверхні масиву кремнієвих наниток

на параметри сенсорів. Зміст розділу добре структурований. Графічні матеріали полегшують сприйняття порівняльного аналізу впливу різних модифікаторів.

П'ятий розділ присвячено результатам прикладного використання розроблених сенсорів: у сенсорах подиху, запаху та диму. Зроблено висновки щодо оптимального виду модифікації поверхні масиву нанониток для конкретних застосувань сенсорів у медицині, екології та харчовій промисловості.

У завершальному розділі наведено підсумкові висновки до дисертаційної роботи, які відповідають меті та завданням дослідження. У Додатках міститься перелік публікацій здобувача, а також таблиці параметрів отриманих сенсорів та технологічних режимів їх синтезу.

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.

Здобувач опублікував достатню кількість наукових праць, що відображають ключові теоретичні й експериментальні результати дисертаційного дослідження. Всі публікації пройшли рецензування, перевірку на плагіат та опубліковані у визнаних наукових журналах. Роботи охоплюють весь спектр проблематики, розглянутої в дисертації, а внесок здобувача у їх виконання є істотним.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

- В тексті дисертації присутні друкарські помилки (наприклад, у табл.Б.19). Крім того, не всі використані скорочення та аббревіатури належним чином розшифровані або включені до Переліку використаних скорочень. Зокрема, скорочення AgNPs, яке часто зустрічається в тексті, відсутнє у

переліку і не розшифроване у тексті дисертації. Особливу увагу слід звернути на використання нерозшифрованих скорочень, таких як БВНТ, ВНТ та ЛОС в Анотації. Анотація є самостійною частиною роботи, і всі використані в ній скорочення мають бути зрозумілими читачеві без необхідності звертатися до основного тексту чи переліку скорочень.

- Перелік ключових слів в Анотації не систематизовано, наприклад, друге слово та останнє слово присвчено сенсорам, третє слово - фотодіоди, потім - кремнієві нанонитки, а п'яте слово знову присвячено сенсорам - сенсори освітленості і т.д. Крім того, слова мають бути в називному відмінку однини, а в Анотації - фоточутливі сенсори, фотодіоди тощо.

- У розділі 5 представлено результати застосування розроблених структур для створення сенсорів подиху, запаху та диму. Як зазначено у вступі до розділу, для цих досліджень використовувалися структури ємнісного типу. Однак, у тексті дисертації не наведено обґрунтування, чому для прикладних застосувань було обрано саме ємнісний тип сенсора, а не резистивний чи діодний типи, характеристики яких також досліджувалися в попередніх розділах.

- DOI першої статті у списку літературних джерел не відповідає дійсності.

- У тексті дисертації є стилістичні помилки. Наприклад, на стор.62 вказано рівняння 2.5 замість рівняння 2.1; на стор. 66 написано "свідчить про ... переважну бімолекулярну рекомбінацію", а треба "свідчить про ... переважно бімолекулярну рекомбінацію", у списку літературних джерел DOI оформлено не однаково: у посиланнях 24, 27, 46, 50-53, 58-61, 66-75, 77-94 використано <https://doi.org/>, а в інших - просто DOI.

Вважаю, що висловлені зауваження не є суттєвими, не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів і не впливають на загальну 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.

Офіційний опонент:

старший науковий співробітник
відділу кінетичних явищ та поляритоніки
Інституту фізики напівпровідників
ім. В.Є. Лашкарьова НАН України,
Лауреат Державної премії України,
канд. фіз.-мат. наук, с.н.с

Петро СМЕРТЕНКО

М.П.

«2» серпня 2025 року

