

## РЕЦЕНЗІЯ

рецензента, д.т.н., професора Зайцева Романа Валентиновича  
на дисертаційну роботу Гарбуза Дмитра Олександровича  
«Структурні та електрофізичні властивості точково-контактних  
сенсорних мультиструктур»

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали

Детальний аналіз дисертаційної роботи Гарбуза Дмитра Олександровича на тему «Структурні та електрофізичні властивості точково-контактних сенсорних мультиструктур», що представлена для захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут», дає змогу зробити комплексний висновок щодо її актуальності, ступеня обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності та значущості отриманих результатів, наукової новизни, теоретичної та практичної цінності, надати загальну оцінку дисертації.

### 1. Актуальність теми та зв'язок з науковими планами і програмами

Одним з оригінальних напрямків у газовій сенсористи є розробка сенсорних технологій для аналізу газу, що видихається людиною. Використання видихуваного газу у якості середовища, що аналізується, обумовлено перспективою створення нових методів медичної діагностики. Велика кількість біологічних маркерів, що містяться в ньому, відкриває широкі можливості для швидкої та неінвазивної діагностики цілого ряду захворювань та станів організму людини.

Нещодавні дослідження з успішного детектування канцерогенних штамів бактерії *Helicobacter pylori*, пошуку ранніх симптомів астми у дітей, виявлення маркерів різних видів раку та інших станів організму людини підтверджують актуальність та перспективність досліджень видихуваного газу та стимулюють їх подальший розвиток.

Таким чином, розробка новітніх методів медичної діагностики, що базується на аналізі газу, що видихається людиною, наразі є перспективним та багатообіцяючим вектором розвитку сучасної науки. Об'єднання класичних інструментів та новітніх підходів дозволяє значним чином розширити можливості по діагностиці широкого спектру патологічних станів людини. В той же час, реалізація нових методів потребує додаткових досліджень, спрямованих на поглиблення розуміння природи і механізмів сенсорного аналізу складних газових сумішей.

## **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертація виконувалась відповідно до наукової програми 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», яка була впроваджена на кафедрі фізики металів і напівпровідників НТУ «ХПІ».

Проведені дослідження тісно пов'язані з державними бюджетними темами «Функціональні властивості новітніх надпровідних сполук і металовмісних спін та зарядово-впорядкованих структур» (0117U002294) і наукового проекту міжнародної програми НАТО «Наука заради миру і безпеки»: проект NATO SPS.MYP 985481 «Selective Quantum Sensor for Detection of CBRN Agents in Gas and Liquid Media».

## **3. Наукова новизна одержаних результатів**

Дисертація містить наукову новизну, яка полягає у наступних положеннях, що виносяться до захисту:

- Вперше розроблено та створено експериментальну установку для автоматизованого осадження точково-контактних сенсорів видихуваного газу.
- Вперше методами рентгено-дифракційного аналізу і скануючої електронної мікроскопії визначено фазовий склад та морфологію поверхні точково-контактних наносенсорів на основі сполуки тетраціанохінодиметану.
- Вперше показано взаємозв'язок властивостей точково-контактних сенсорів, морфології їх поверхні та умов отримання.



– Вперше розроблено універсальний підхід до процедури сенсорного аналізу широкого спектра компонентів газової суміші, що видихається людиною.

– Розроблено нові експрес-методи визначення концентрації гормонів серотоніну, мелатоніну та кортизолу в організмі людини неінвазивним шляхом за допомогою точково-контактних сенсорів на основі сполуки Cu-TCNQ.

#### **4. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання**

Виявлення взаємозв'язку властивостей точково-контактних сенсорів, морфології їх поверхні та умов отримання є важливою складовою інформації, що необхідна для розробки промислової технології виробництва інноваційних газових датчиків. Це дозволить заздалегідь прогнозувати властивості сенсорів, що створюються, та цілеспрямовано змінювати методику за наявної потреби.

Розробка універсального підходу до процедури сенсорного аналізу широкого спектра багатокомпонентних газових сумішей, яка була проведена під час виконання дисертаційної роботи, фактично закладає основи нового напрямку досліджень та оригінальних інноваційних розробок в сенсоріці складних газових середовищ, що не потребує визначення окремих компонентів на етапі експериментальних вимірювань.

Запропоновані експрес-методи визначення концентрації гормонів серотоніну, мелатоніну та кортизолу в організмі людини неінвазивним шляхом за допомогою точково-контактних сенсорів на основі сполуки Cu-TCNQ, які були розроблені та успішно випробувані в процесі дисертаційних досліджень, мають великі перспективи для застосування в роботах по створенню провідних методів медичної діагностики в рамках розвитку існуючого співробітництва з колективом ДУ «Інститут охорони здоров'я дітей та підлітків Національної академії медичних наук України». Зазначені розробки мають значні переваги перед існуючими медичними технологіями,



тому нові методи медичної діагностики, що будуть створюватись під час цих робіт, матимуть велику конкурентоспроможність на світовому ринку.

**5. Повнота викладення матеріалів дисертації в наукових працях, які опубліковані автором.** Основні матеріали дисертації опубліковано у двох статтях у наукових періодичних виданнях України, в 5 статтях у наукових періодичних фахових виданнях баз SCOPUS та в 15 матеріалах міжнародних наукових конференцій.

**6. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації**

Робота Гарбуза Д.О. є завершеною науковою роботою, містить анотацію – українською та англійською мовами, вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел і додатки.

Дисертація присвячена розробці методу створення точково-контактних сенсорних матриць з характеристиками, що відтворюються, удосконаленню технології отримання таких нанооб'єктів, проведенню досліджень, що спрямовані на поглиблення розуміння природи точково-контактних сенсорів видихуваного газу на основі сполуки тетраціанохінодіметану, а також розробці методологічної основи для аналізу спектральних сенсорних профілів газу, що видихається, з медичним застосуванням.

Об'єкт дослідження – процеси, що відбуваються під час синтезу та функціонування точково-контактних мультиструктур, їх впливу на структуру, морфологію та властивості експериментальних газових сенсорів.

Метою даної роботи було поглиблення розуміння природи та особливостей функціонування точково-контактних сенсорів видихуваного газу на основі сполуки тетраціанохінодіметану, розробка методу створення точково-контактних сенсорних матриць з характеристиками, що відтворюються, удосконалення технології отримання таких нанооб'єктів, а також розробка методологічної основи методу аналізу точково-контактних сенсорних профілів складних газових сумішей для медичної діагностики.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і



методи дослідження, показано зв'язок роботи з науковими темами, описано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, зазначено особистий внесок здобувача, наведено відомості стосовно апробації роботи і публікацій результатів досліджень.

Перший розділ «Основні особливості точкових контактів Янсона та фізичні передумови їх використання у якості газочутливих сенсорів» присвячений огляду сучасних уявлень про фізичні явища, що мають місце у точкових контактах Янсона, розглянуто основні сучасні моделі таких нанооб'єктів, режими та особливості протікання струму крізь такі наноструктури. Обговорюється взаємозв'язок фундаментальних властивостей точкових контактів Янсона та їх сенсорних застосувань. Приведено інформацію щодо основних сучасних принципів газової сенсорики з використанням наноструктурних матеріалів.

У другому розділі «Обладнання та методика проведення досліджень» надається опис матеріалів, що використовувались під час виконання дисертаційної роботи. Наведено методи отримання експериментальних тестових зразків. Надано опис використаного протягом роботи наукового обладнання. Обговорюються методи вивчення структури досліджуваних об'єктів та підходи, що використовуються для аналізу відгуку сенсорів на дію газової суміші.

Третій розділ «Структурні особливості точково-контактних сенсорів газу, що видихається людиною» присвячено дослідженню впливу режимів отримання сенсорів на їх структуру, властивості та фазовий склад матеріалу зразків, що створювались. Докладно описані особливості методики проведення експериментальних досліджень. Проаналізована залежність поверхневої морфології зразків від методів осадження речовини. Досліджено взаємозв'язок між параметрами відгуку сенсорів на дію газового середовища та їх морфологією. З'ясовано набір параметрів осадження для отримання нанооб'єктів з високою амплітудою відгуку на дію газового середовища.

Четвертий розділ «Метод селективного детектування компонентів газу, що видихається людиною» присвячено дослідженню можливості



визначення вмісту таких гормонів як кортизол та серотонін в організмі людини за допомогою аналізу її видихуваного газу. Проаналізовано залежність параметрів відгуку точково-контактного сенсору на дію видихуваного газу від вмісту гормонів в організмі людини. Розроблено метод визначення вмісту серотоніну та кортизолу в організмі людини за допомогою дихального тесту. Продemonстровано принципіальну можливість визначення гормонального складу у організмі з використанням точкових контактів Янсона, як інструменту дослідження, та видихуваного газу, як середи, що досліджується.

П'ятий розділ «Експрес-метод визначення мелатоніну в організмі людини» присвячено дослідженню можливості визначення вмісту мелатоніну в організмі людини за допомогою аналізу її видихуваного газу. На основі отриманих кореляційних матриць побудована математична модель залежності параметрів відгуку сенсора від вмісту мелатонін сульфату в сечі пацієнтів. Продemonстровано ефективність та універсальність запропонованого підходу. Показано, що новий експрес-метод визначення мелатоніну має достатню точність для використання у медичній діагностиці.

Висновки, сформульовані у роботі, висвітлюють результати дослідження як вирішення висунутих в дисертації завдань. В цілому висновки відповідають вимогам, які висуваються до результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Список літератури досить широко охоплює предметне поле дослідження, певною мірою відображає опрацювання автором значної кількості наукових джерел.

Додаток містить інформацію про практичне впровадження результатів дисертації.

## **7. Достовірність отриманих результатів та висновків**

Висока достовірність результатів була гарантованою завдяки застосуванню сучасного експериментального обладнання, використанню оригінальних методів та методик, які показали свою ефективність та були

апробовані під час попередніх досліджень, визнаних науковою спільнотою, а також високим фаховим рівнем співавторів наукових публікацій.

## **8. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях**

Дисертація виконана з дотримання вимог академічної доброчесності, отримані результати дають підстави говорити про оригінальність роботи. У тексті містяться авторські ідеї, і не виявлено використання ідей інших науковців без посилання на їх роботи.

Основні ідеї автора та результати дослідження викладено у двох фахових наукових статтях, п'яти закордонних наукових статтях, що індексуються базою SCOPUS, здобувач активно приймав участь в міжнародних наукових та науково-практичних конференціях з результатами, що викладені у дисертації, де неодноразово отримував відзнаки за найкращу доповідь.

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

1. У роботі зазначається, що функціональні елементи чутливого шару сенсору є напівпровідниковими за своєю природою. Зрозуміло, що у такому випадку характеристики чутливого шару повинні залежати від температури експлуатації, але у матеріалах дисертації цю залежність ні наведено.

2. У дисертації не наведено дані про зміни або відсутність змін властивостей чи характеристик поверхневого шару сенсору у процесі експлуатації. Незважаючи на те, що результати роботи вказують на те, що такі зміни не є суттєвими, доцільно було би привести результати експериментів, спрямованих на дослідження цього питання.

3. Здобувач вказує на те, що поверхня сенсорів на основі сполуки Cu-TCNQ складається з  $5-6 \cdot 10^4$  точкових контактів. Ця оцінка має відношення лише до тих контактів, що знаходяться на поверхні газового датчику. Зважаючи на складну морфологію об'єктів дослідження, можна припустити, що деяка кількість контактів знаходяться у об'ємі сенсора, але



мікрофотографії перетину експериментальних зразків у матеріалах дисертації не наведено.

4. Робота містить нечисленні стилістичні та граматичні помилки, які не заважають розумінню її змісту.

### 10. Висновки

Дисертаційна робота Гарбуза Дмитра Олександровича є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить науково-обґрунтовані результати, має наукову новизну та дає перспективи подальших досліджень. Тема дослідження відповідає галузі знань 10 – «Природничі науки» та спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Отже, враховуючи актуальність теми, отримані результати та практичну значущість вважаю, що дисертаційна робота Гарбуза Дмитра Олександровича «Структурні та електрофізичні властивості точково-контактних сенсорних мультиструктур» відповідає вимогам 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціальної вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 № 40, а сам автор, Гарбуз Дмитро Олександрович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Рецензент – доктор технічних наук,  
професор, завідувач кафедри мікро- та  
наноелектроніки Національного  
Технічного Університету «Харківський  
Політехнічний Інститут»

Роман ЗАЙЦЕВ

Підпис *проф. Роман Зайцев*  
ЗАСВІДЧУЮ:  
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР  
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"  
03 01 2025 р.



ЗАЙЦЕВ Ю.І.