

**ВІДГУК**  
**офіційного опонента**  
**на дисертаційну роботу**  
**Шевченка Станіслава Тарасовича**  
**«Структурно–морфологічні характеристики**  
**та електрофізичні властивості пористих конденсатів Zn, Ni, Cu**  
**і їх оксидів в поєднанні з C і Si.»**,  
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю  
105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

**Актуальність теми дисертаційної роботи.**

В останні десятиліття технологічний прогрес людства багато в чому визначається матеріалами, які можуть забезпечити необхідний рівень експлуатаційних властивостей у різноманітних виробничих процесах. Серед глобальних цілей концепції сталого розвитку суспільства є такі, що пов'язані з розвиненням чистої енергетики (ціль 7 - доступна та чиста енергія), розв'язанням екологічних (ціль 6 - чиста вода та належні санітарні умови, ціль 15 - захист та відновлення екосистем суші) та економічних (ціль 9 - промисловість, інновації та інфраструктура) проблем.

Зараз одним з найпоширеніших варіантів портативних та компактних систем накопичення, зберігання та живлення електричною енергією є літій-іонні акумулятори, які широко застосовуються в пристроях електроніки, електротехніки, транспортних засобах та інших сферах. Продуктивність, економічність та технологічність таких акумуляторів багато в чому визначаються властивостями застосованих електродних матеріалів. Створення нових або удосконалення відомих електродних матеріалів з підвищеними електрохімічними та фізичними характеристиками є важливою технічною проблемою.

Збереження безпечного для життя оточуючого середовища, зокрема при роботі різних техногенних об'єктів, потребує постійного моніторингу навколишнього газового середовища. Прилади, які задіяні в цьому процесі, містять спеціальні сенсори, здатні розпізнавати газові реагенти. Чутливість цих сенсорів та їхня селективність також визначаються застосованими матеріалами.

Основним спрямуванням розглянутої дисертаційної роботи є створення технологій виготовлення пористих функціональних матеріалів на основі композитів з металів Zn, Ni, Cu та неметалів C та Si, структурно-морфологічні характеристики яких забезпечують комплекс необхідних фізичних та електрохімічних властивостей для використання цих матеріалів у пристроях накопичення енергії (літій-іонні батареї) та контролю навколишнього газового середовища (сенсори газів).

Виходячи з зазначеного, вважаю що тема дисертаційного дослідження є актуальною та належно обґрунтованою.

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

Роботу виконано на кафедрі наноелектроніки та модифікації поверхні Сумського державного університету в рамках планових наукових досліджень за науково-дослідною роботою ДР № 0119U100763 «Закономірності формування нанопористих ZnO, C, C/ZnO і ZnO/NiO для потенційного застосування у якості електродів літій-іонних акумуляторів» (2019-2020 рр.), у яких дисертант брав активну участь.

### **Ступінь обґрунтованості, достовірності наукових положень, висновків, рекомендацій сформульованих у дисертації.**

Наукові положення дисертації викладені логічно та послідовно на підставі результатів експериментальних і теоретичних досліджень, ці положення ґрунтуються на сучасних уявленнях фізики твердого тіла та

фізичного матеріалознавства, а результати та висновки досліджень не суперечать загальноприйнятим теоретичним та експериментальним даним та узгоджуються з ними.

Достовірність наукових результатів дисертаційної роботи забезпечена використанням сучасних дослідницьких методик, реалізованих на відповідному обладнанні: растрової електронної мікроскопії (Inspect S50-B, PEM-102 E, FEI NanoSEM 230 та SEO- SEM Inspect S50-B), енергодисперсійного елементного аналізу (AZtecOne X-MaxN20 Oxford Instruments), рентгенівської дифрактометрії (ДРОН 4 та 2xD5000 X-ray diffractometer Siemens), мас-спектрометрії (MX7304A), електрохімічні вимірювання з застосуванням спеціально розроблених пристроїв. Додатковим підтвердженням достовірності результатів є їхня відтворюваність, а також належна апробація та рівень наукових видань, у яких опубліковано результати дослідження.

### **Наукова та практична цінність дисертації та наукова новизна.**

У дисертаційній роботі на підставі розширених та поглиблених уявлень про конденсацію речовин в умовах, що наближені до термодинамічної рівноваги, експериментально визначені особливості та закономірності формування пористих конденсатів Zn, Ni, Cu та їхніх оксидів в поєднанні з вуглецем та кремнієм. Ці матеріали можуть бути використані для створення ефективних анодів літій-іонних акумуляторів та газочутливих сенсорів.

Серед **наукових результатів** роботи, які є **новими**, можна відзначити такі:

- створення наукових основ технології виготовлення пористих структур вуглецевих матеріалів з неправильним пакуванням (пористого турбостратного графіту);

- застосуванням самоорганізованих систем для створення пористих наноматеріалів на основі цинку та його оксиду;
- створення методики виготовлення пористих матеріалів на основі кремнію та кремнію у поєднанні з вольфрамом з підвищеними електрохімічними характеристиками та стійкістю до окислення;
- визначення чинників зміни вольт-амперних характеристик фрактальних перколяційних наносистем ZnO/NiO та створення універсального сенсорного елемента на основі цих систем.

Найважливішими **практичними результатами** роботи є:

- розробка розпилювального пристрою для нанесення пористих шарів графіту;
- створення технологічних прийомів підвищення селективності газових сенсорів при використанні фрактально-перколяційних нанокompозитних систем ZnO/NiO;
- висновок про практичну доцільність використання системи Cu/Si+W при створенні катодів літій-іонних акумуляторів.

**Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих працях, персональний внесок здобувача.** Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи висвітлені у 4 статтях (всі у виданнях, що індексуються у наукометричній бази даних Scopus) та 1 патенті України на корисну модель. Належну апробацію результатів дисертації підтверджують 5 тез доповідей на наукових конференціях (з них 2 роботи у збірках праць конференцій, що індексуються у наукометричній бази даних Scopus).

Дисертація містить повну інформацію щодо основних положень, наукових тверджень, висновків та практичних рекомендацій, які повноцінно відображені у відповідних розділах роботи.

**Академічна доброчесність.** Перевіркою дисертаційної роботи Шевченка С.Т. на наявність ознак академічного плагіату встановлено коректність посилань на першоджерела для елементів тексту та ілюстративних матеріалів, навмисних спотворень не виявлено. Це є підставою для висновку про те, що дисертація відповідає усім вимогам академічної доброчесності.

### **Оформлення дисертації.**

За структурою, мовою та стилем викладення дисертаційна робота в цілому відповідає вимогам, затвердженим наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

### **Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації.**

1. Основною прикладною задачею роботи є розробка технологій формування певних матеріалів та їхніх композицій (с. 17), у завданнях дослідження технологічні операції (умови) також посідають вагомe місце (с. 18, 49). За наявності докладного опису технологій створення належних вакуумних умов та процедури глибокого очищення аргону (с. 50-57, пункт 2.1.2) описи технологічних процесів безпосереднього створення конденсатів металів, їхніх оксидів, шарів вуглецю, допоміжних прошарків Cr і Au та композиційних структур ZnO/NiO, Cr/Au/Zn(/C, Cr/Au/Ni/C, Cu/Si+W викладені дуже стисло та обмежено, відсутні конкретні описи послідовності операцій та показники технологічних параметрів процесів. Необхідно такі дані додати.
2. До опису та схеми формування двошарових систем Cr–Cu і Cu–Si з градієнтом концентрації атомів (с. 58, рис. 2.3) також бажано докладно надати технологію як виготовлення мішеней, так і зразків матеріалів.

3. Головні застосування досліджених матеріалів – електроди ЛІА та датчики аналізу газів. Для обох застосувань вимоги до властивостей матеріалів однакові, чи є розбіжності? Бажано це конкретизувати.
4. На с. 59-61 автор згадує три основні механізми конденсації: зародковий Фольмера - Вебера, пошаровий Франка - Ван дер Мерве та комбінований Крастанова - Странського. Бажано докладніше пояснити, в яких з розглянутих систем та за яких умов реалізується той чи інший механізм, а також чому саме такий варіант обрано автором.
5. Автор зазначає важливість шорсткості поверхні підкладок для забезпечення необхідної адгезії плівок (с. 4, 49, 58, 84, 101), але у тексті відсутні відомості про те, як визначали та контролювали шорсткість. Який ступінь шорсткості є оптимальною? Що є активними центрами зародкоутворення на шорсткій поверхні (с. 84)?
6. У тексті на с. 86 з посиланням на рис. 3.3 б зазначено, що формування наносистем ZnO відбувається «з незначною зміною вихідної морфології», тобто морфології конденсату Zn, але аналіз рисунків 3.3 свідчить, що це справедливо на ієрархічному мікроструктурному рівні (основні зображення на рис. 3.3 а, б), а на нанорівні (наномасштабні вставки на рис. 3.3 а. б) картина є досить різною.
7. У тексті дисертації є умовні позначення (абревіатури), які відсутні у відповідному переліку (с. 16) та не містять пояснень: ІТО (с.с. 5, 18, 83, 84), МО (с. 45). Можливо, це ОМ, яке є у переліку. Крім того, є позначення ТГ – *турбостатний* графіт. У тексті роботи це словосполучення зустрічається 15 разів, при цьому 9 разів – «*турбостратний*» (правильний правопис), а 6 разів – «*турбостатний*» (помилковий).
8. Бібліографія різних робіт списку публікацій здобувача та списку використаних джерел оформлена різними стилями. Ще зауваження до списку опублікованих праць автора (с. 12): патент на корисну модель

(п. 5) не індексується міжнародними базами даних, також цього патенту немає у Додатку А «Список публікацій здобувача за темою дисертації».

9. Є низка зауважень до рисунків та підписів до них, а саме: є порушення єдності мови (іншомовні символи – рис. 1.1, 1.4, 3.4, 3.8); відсутність деяких позначень на осях та кривих (рис. 2.2, 2.5, 2.8 та ін.); низка рисунків потребують додаткових коментарів та пояснень (рис. 2.8, 4.4, 4.5, 4.11, 4.18 – 4.20 та ін.); у підписах до рисунків розділу 4 застосовано скорочення «Рис.» замість повного слова, у цьому ж розділі порушено нумерацію рисунків (двічі є номер 4.7 на с. 108); відсутні позначення похибок на кривих та у коментарях до рисунків. На с. 114 сказано, що «...Основна похибка в вимірюванні ємності пов'язана з малою масою ТГ, що нанесена на площу  $1 \text{ см}^2$ », бажано це твердження доповнити оцінкою величини похибки.
10. Зауваження до термінології, змісту та коректності окремих фраз та речень: є помилкові слова та терміни (щільність – треба «густина», стержні – стрижні, впровадження – проникнення, нановуглеводів – нановуглеців, число заряду – показник заряду, виснаження – вичерпання, частка – частинка, обізгажування – знегажування, співпадання – збіг, є і інші), є некоректні словосполучення та фрази (згідно до... – згідно з..., ультрафіолетове світло – ультрафіолетове випромінювання, перебування системи у відкритому виді – система знаходиться у контакті з повітрям чи контактує з повітрям, зародки з'являються – зародки утворюються, тривимірна мережа – тривимірна сітка), а також сленгові та не повністю зрозумілі фрази (високошвидкісні властивості оксидів (с. 26), матеріали... здатні сприймати газ (с. 42), ефект поширення благородного металу (с. 45), плівки ІТО по відношенню до ZnO, як контакти, були омічними (с. 83), свіжо приготовлені зразки (с. 118) та низка інших.

Зазначені зауваження не знижують наукову цінність роботи та отриманих дисертантом результатів і не носять принципового характеру.

Дисертація є одноособово створеною кваліфікаційною науковою працею, яка містить сукупність результатів та наукових положень, поданих автором для публічного захисту, має внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок автора в науку.

### **Загальний висновок**

У цілому дисертаційна робота **Шевченка Станіслава Тарасовича «Структурно–морфологічні характеристики та електрофізичні властивості пористих конденсатів Zn, Ni, Cu і їх оксидів в поєднанні з C і Si»** є завершеним самостійним науковим дослідженням, виконаним на високому науковому рівні у повній відповідності до сформульованої мети та завдань. Робота має як наукову, так і практичну цінність, оскільки вирішує важливу науково-технічну задачу створення технологій виготовлення пористих функціональних матеріалів на основі композитів з металів цинку, нікелю, міді та неметалів вуглецю та кремнію, структурно-морфологічні характеристики яких забезпечують комплекс необхідних фізичних та електрохімічних властивостей для використання цих матеріалів у пристроях накопичення енергії (літій-іонні батареї) та контролю навколишнього газового середовища (сенсори газів).

За актуальністю, змістом та повнотою викладу результатів у публікаціях здобувача дисертація повністю відповідає спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали».

Дисертаційна робота повністю відповідає вимогам п. 6 «Порядку присудження ступеня доктор 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, а дисертант **Шевченко Станіслав Тарасович** заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ

в.о. завідувача кафедри,  
професор кафедри матеріалів  
реакторобудування та фізичних технологій  
Харківського національного  
університету імені В.Н. Каразіна,  
доктор технічних наук, професор



Сергій ЛИТОВЧЕНКО

40 ПІДПИС ЗАСВІДЧУЮ  
Начальник відділу  
кадрів



*Литовченко* *Леса*