

ВІДЗИВ

офіційного опонента на дисертаційну роботу Станіслава Тарасовича Шевченка «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»

Робота Шевченка С.Т. є продовженням циклу оригінальних робіт з фізики та техніки тонких металевих, оксидних та вуглецевих плівок отриманих методом магнетронного розпилення і конденсації атомів на підкладки за умов наближення до термодинамічної рівноваги шляхом самоорганізації в системі плазма-конденсат, що проводиться в Сумському державному університеті під керівництвом професора В'ячеслава Івановича Перекрестова. В цій роботі основна увага приділена розробці пористих структур на основі Zn, Ni, Cu, і Si, їх оксидів і модифікованого графіту який в роботі називають турбостратним. Вищевказані отримані структури з кращою ефективністю, ніж відомі з літературних джерел, можуть бути застосовані для анодів літєвих батарей та сенсорів газів, що визначає **актуальність** даної тематики та її **наукову та практичну цінність**.

В роботі було використано оригінальне, чутливе обладнання, розроблене на кафедрі наноелектроніки та модифікації поверхні Сумського державного університету, на основі планарного магнетрону постійного струму для отримання наноструктур з використанням аргону з додатковою очисткою (залишкові гази $\sim 4 \cdot 10^{-4}$ Па). Характеризація отриманих структур була проведена за допомогою скануючої, а також просвічуючої електронної мікроскопії за допомогою мікроскопів Inspect S50-B, PEM-102 E, FEI NanoSEM 230 та SEOSEM Inspect S50-B, включаючи мікроскопи Сумського виробництва.

Створення нових наноструктур є **актуальним** для подальшого використання як сенсорних систем та електродів з високою ємністю. Про **актуальність** роботи свідчить також її зв'язок з державною науковою програмою в рамках держбюджетної теми: «Закономірності формування нанопористих ZnO, C, C/ZnO і ZnO/NiO для потенційного застосування у якості електродів літій-іонних акумуляторів», № держреєстрації: 0119U100763 (2019-2020 рр.).

Метою роботи було дослідити вплив різних за елементним складом та структурними характеристиками пористих мікро– та наносистем на основі Zn, Ni, Cu, C і Si та їх оксидів на сенсорні та ємнісні властивості електродів.

У відповідності до вимог, робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, 1 додатку з опублікованих робіт та матеріалів конференції, що опубліковано на 145 сторінках , містить 50 рисунків та 20 формул.

У **вступі** наведено всі необхідні формальні відомості.

У **першому** розділі зроблено огляд літератури, що продемонстрував які саме матеріали використовують для електродів літійових батарей, їхню ємність, в тому числі перспективність оксидів металів, включаючи перехідні метали, різних вуглецевих, графітних структур та гетероструктур з акцентом на пористих розвинених поверхнях з наявністю в них структур нанометрового масштабу.

Матеріали на основі металевих та напівпровідникових оксидів є перспективними для створення газових сенсорів. Керування властивостями поверхні, в тому числі і її пористістю, може призвести до збільшення чутливості датчика, що і запропоновано в подальшому в роботі.

В другому розділі описано технологічний процес отримання пористих структур за умов наднизьких пересичень та наближених до термодинамічної рівноваги в атмосфері використання очищеного аргону. Подана схема та опис технологічної установки для очищення аргону та електрохімічної комірки для дослідження електродів для літійових батарей. Наводиться схема роботи установки для вимірювання робочих параметрів.

У **третьому розділі** описано метод магнетронного отримання в атмосфері аргону з тиском $\sim 4\div 6$ Па наноструктур на основі цинку у вигляді тривимірних сіток товщиною 50-140 нм та ґраткою, що відповідає ГЩУ ґратці об'ємного цинку. Змінюючи умови, а саме в атмосфері повітря та при нагріві до температури 350°C впродовж трьох годин, в результаті окислення формуються полікристалічні структури, що відповідають за фазовим складом і стехіометрією ZnO.

В четвертому розділі описано отримані автором параметри, що відповідають технології напилення наноструктур міді, а саме температура 450°C , атмосфера аргону (2.5 Па). Зміна потужності, підведеної до магнетронного розпилювача, дає можливість керувати структурно-морфологічними характеристиками та пористістю отриманих зразків, а саме від зв'язаних між собою сіток-дротів, до окремих незв'язаних між собою кристалів. Саме останні, а також конденсати з неповним окисленням, і показали збільшення ємнісних характеристик електродів до $180\div 218$ Агод/кг при задовільній стабільності.

Встановлено параметри для отримання пористого так званого турбостратного графіту за допомогою оригінального запатентованого пристрою. На основі цього були одержані композитні матеріали Cr/Au/Zn/C і Cr/Au/Ni/C, які надалі були випробувані як електроди літійових батарей, Вони показали ємність $190\div 280$ Агод/кг та високу стабільність.

Показана позитивна роль вольфраму в формуванні пористого Cu/Si+W композиту і можливість досягти ємності $270\div 320$ Агод/кг.

У **цілому робота** виконана з застосуванням оригінальної та складної дослідницької апаратури та свідчить про достатній фаховий рівень здобувача. Основні результати є **новими і вперше** отриманими, результати представлені на міжнародних та вітчизняних конференціях.

За темою дисертаційного дослідження опубліковано **4 статті**, що входять до наукометричної бази даних **Scopus**, патент на винахід та **5 тез** доповідей на міжнародних та вітчизняних наукових конференціях.

Достовірність експериментальних результатів не викликає сумніву, оскільки вони отримані з використанням надійних методик і розрахунків, та пройшли апробацію на міжнародних і вітчизняних конференціях.

Дисертація оформлена згідно існуючих вимог, заключень, висновків та практичних рекомендацій, з повноцінним відображенням змісту відповідних розділів дисертаційної роботи.

Академічна доброчесність. За результатами перевірки дисертаційної роботи Шевченка С.Т. на наявність ознак академічного плагіату, встановлено коректність посилань та першоджерела для текстових та ілюстративних зазначень. Навмисних спотворень не виявлено. Звідси можна зробити висновок про відсутність порушень академічної доброчесності.

Оформлення дисертації за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам до оформлення дисертацій, затвердженим МОН України, наказ № 40 від 12.11.2017. Мова і стиль викладання дисертації точно та чітко висвітлюють одержані науково-практичні результати.

Втім, незважаючи на позитивну оцінку роботи, висловлюю наступні **зауваження** до роботи і здобувача:

1. В роботі не надається роз'яснення значення фізичних термінів та процесів, які могли б поглибити розуміння сенсу проведеної здобувачем роботи і полегшити її розуміння як для здобувача, так і для читача. Так, наприклад, «турбостратний графіт», який взагалі часто пишеться з помилкою, а саме «турбостатний» (стор 2,18,20,21 і т.д) і графіт, який отримує автор, мабуть можна назвати так тільки з великим припущенням і писати в лапках, чи вжити термін «типу турбостратного», або це потрібно доводити, чого в роботі немає. Турбостратними називають графіти, які не мають азимутальної симетрії, площини розвернуті під випадковим кутом, немає впорядкованості, характерної для графітів, і міжшарова відстань d_{002} становить 3,44 А, а в кристалічному гексагональному графіті- 3,354 А. Вважається, що в такому випадку немає типової взаємодії між графеновими шарами (див. Yuri Sementsov, https://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=IRs09isAAAAJ&view_op=list_works&sortby=pubdate)
2. Розшифровка термінів «адгезія» і «когезія», механізм Вольмера- Вебера, інтеркаляційні і конверсійні електроди, чому саме ситал в якості підкладки тощо, відсутні в роботі, на жаль. Розуміння фізичних взаємодій в системі, особливостей використаних підкладок для створення наноструктур, надали б можливість зрозуміти фізику тих процесів, які відбуваються, і

сформулювати умови для покращення характеристик, а саме, як ємності електродів, так і сенсорів газів.

3. Відомо, що літєва батарея та електроди можуть мати різну ємність, автор це не розділяє, а іноді ємність взагалі називає «здатністю» (стор.30).
4. Здобувач надає блискучі фотографії створених структур без надання інформації про мікроскопи, які були використані в даному випадку, умови реєстрації, детального опису і обробки даних структур.
5. В роботі відсутні дані про товщини отриманих структур та методи їх визначення. Це є важливим як для відтворюваності даних, так і для розуміння процесів, бо часто це є композити, що складаються з декількох елементів і отримуються послідовно.
6. В роботі є численні граматичні неточності та помилки, так, «щільність енергії» (стор. 34) неправильний термін, повинно бути «густина потоку енергії». «Графітних" (стор. 37) електродів немає, є графітові. «Вищі електрохімічні властивості» (стор. 2), «різке» поліпшення» (стор. 29), «косервація заряду» (стор. 100) - що це ? - «напівпровіднековий», тощо.

Але наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи 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 **завершеною науковою працею**, в якій отримано нові результати, що в сукупності вирішують науково-технічну задачу отримання нових структур на основі Zn, Ni, Cu і їх оксидів разом з C і Si для ефективного використання як електродів літєвих батарей та газових сенсорів. Дана робота 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.

За обсягом проведених досліджень, новизною і практичною цінністю отриманих результатів, 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 – Станіслав Тарасович Шевченко заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Головний науковий співробітник
відділу фізики біологічних систем

Інституту фізики НАН України,

доктор фізико-математичних наук, професор,



ВІРНО
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
ІФ НАН УКРАЇНИ
В. С. МАХЖАРА

Галина ДОВБЕШКО