

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу **Максимича Віталія Миколайовича** на тему
«Отримання та електрофізичні властивості низькорозмірних клатратних
структур для пристроїв електроніки та автономної енергетики»,
подану на здобуття наукового ступеня **доктора філософії**
з галузі знань 10 «Природничі науки» та спеціальності
105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

Актуальність теми

Значний дефіцит палива, глобальне потепління та зростаючий інтерес до портативних електронних пристроїв та електромобілів спонукали до розробки ефективніших систем зберігання енергії. Більше того, загальний рівень споживання енергії експоненціально зростає зі збільшенням населення планети, економічними революціями, винаходами технологій та машин, доступом до сучасних об'єктів у віддалених районах та значними змінами у способі життя людей. За даними щорічного статистичного огляду «British Petroleum» про світову енергетику у 2022 році, загальний обсяг первинних енергоресурсів, спожитих у світі у 2021 р., перевищив 595 ексаджоулів, що на 3% більше, ніж у 2019 р. і на 5,5% більше, ніж у 2020 р., коли рівень споживання первинних енергоресурсів знизився внаслідок пандемії коронавірусу та її впливу на попит на транспорт, паливо та загальні економічні показники. Також прогнозується, що попит на чисту та сталу енергію зросте приблизно на 20% до 2050 року. Гостра нестача викопних видів палива та зростаючий інтерес до портативної електроніки та електромобілів спонукали до розвитку інноваційних ефективних гібридних технологій для відповідних систем зберігання енергії.

Допомогти у вирішенні вищезгаданої проблеми можуть клатратні структури. Дослідження клатратів на основі шаруватих та пористих матеріалів сприяють розширенню знань в області матеріалознавства, фізики поверхні та хімії. Вони можуть допомогти вивчити нові фізичні явища та створити нові класи матеріалів з унікальними властивостями. Ці структури викликали значний інтерес у галузі матеріалознавства та енергетики завдяки своїм

унікальним властивостям. Клатрати можуть бути застосовані у суперконденсаторах як електроди з великою поверхневою площею, що дозволяє підвищити ємність, швидкість збереження та вивільнення енергії.

Хоча перспективи використання клатратів в джерелах живлення є захоплюючими, це ще є областю активних досліджень. Багато завдань і викликів, зокрема, стабільність матеріалів, швидкість зарядки/розрядки та процеси виробництва, потребують подальших досліджень. Зростаючі зусилля в даній галузі можуть допомогти розкрити потенціал клатратних структур у важливих енергетичних технологіях для розроблення ефективних та інноваційних матеріалів і пристроїв.

Отже, в дисертаційній роботі запропоновано наукові вирішення вище описаних проблем, що свідчить про актуальність теми дослідження.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень і висновків

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень дисертаційної роботи Максимича Віталія Миколайовича полягає у тому, що дослідження виконано на сучасному обладнанні. Використані методи дослідження є вдало підібраними відповідно до поставленої мети та завдань для вивчення отриманих клатратів, що свідчить про високий професійний рівень автора. Представлені висновки, які ґрунтуються на великому обсязі експериментальних даних та теоретично обґрунтованих результатах, логічно виходять зі змісту дисертаційної роботи. Додатковим підтвердженням достовірності та обґрунтованості наукових результатів є низка статей у провідних високорейтингових журналах, а також апробація наукових результатів на 16 українських та міжнародних конференціях.

Коротка оцінка змісту дисертації

У дисертації Максимича В.М. матеріал викладено логічно. У першому розділі автор детально проаналізував сучасний стан розвитку клатратних структур різних матеріалів і відповідні накопичувальні пристрої на їх основі.

Далі формулює проблему і переходить до наступних розділів, де описує методику досліджень. Для проведення досліджень використано сучасну наукову базу. В наступних розділах описано результати досліджень отриманих біовуглеців та клатратних структур на основі GaSe, InSe і MCM-41 з різною ієрархічною архітектурою гостей компонентів. Завершальну частину узагальнено у висновках, подано практичні рекомендації.

В дисертації здобувач сформулював та розв'язав такі завдання:

- знайшов екологічно чисті органічні речовини, на основі яких синтезував біовуглеці для виготовлення з них катодних матеріалів для суперконденсаторів;
- розробив технології формування клатратних структур із складною архітектурою гостей компонентів (ієрархічною, біінтеркалантною) на основі шаруватих напівпровідникових кристалів GaSe, InSe та порошкоподібної пористої діелектричної матриці MCM-41;
- отримав структури з високим значення діелектричної проникності, що є необхідною умовою накопичення заряду за допомогою квантових процесів та явищ;
- дослідив структуру отриманих клатратів, їхні електропровідні, електрохімічні, поляризаційні властивості під дією постійного магнітного поля та освітлення;
- на основі експериментальних даних побудував математичні моделі та еквівалентні електричні схеми струмопроходження та накопичення заряду, що дозволяє краще зрозуміти фізичні процеси і явища, які в них відбуваються.

Наукова новизна

В дисертаційній роботі Максимич Віталій Миколайович вперше за розробленими технологіями отримав біовуглеці на основі глюкози та β -циклодекстрину. В першому випадку особливістю вуглецевого матеріалу є те, що автору вдалося сформувати структуру із введеним у неї азотом. В другому випадку синтезовано вугілля з різним відсотком хрому у своїй структурі. Вдалося отримати біовуглеці із 4%, 7%, 10% вмістом Cr, які характеризуються досить однорідною структурою. Вперше отримані клатрати на основі

шаруватих матриць GaSe та InSe і пористої матриці MCM-41 проявляють здатність до накопичення заряду на міжфазних та міжзеренних границях. Це свідчить про те, що вдалося отримати структури, які можуть накопичувати електричний заряд не в електрохімічний спосіб, а завдяки прояву квантових ефектів і явищ.

Практичне значення одержаних результатів

У роботі запропоновано нові технологічні підходи до виготовлення вуглецевих матеріалів з дешевої і, що більш важливо, екологічно чистої сировини, а також до переходу від джерел живлення, які працюють за ємнісним принципом накопичення енергії до квантових. Використання таких біовуглеців для виготовлення катодних матеріалів суперконденсаторів дозволить покращити їх характеристики, порівняно із сьогодні існуючими. Отриманий біовуглець на основі клатратної структури β -циклодекстрин–Cr із 4% вмістом хрому має досить високу питому ємність – 180 Ф/г. Для азотовмісного біовуглецю на основі глюкози питома ємність становить 181 Ф/г. Клатрати із матрицями-господарями GaSe, InSe та MCM-41 можуть за рахунок максвелл-вагнерівської сегментарної поляризації та додаткової поляризації, що виникає при стрибках носіїв заряду по локалізованих станах поблизу рівня Фермі накопичувати заряд на границях розділу фаз. У них зафіксовано також прояв мемристорного ефекту, що відкриває можливість створення енергонезалежної пам'яті. У сформованих клатратах присутня функціональна гібридність, яка полягає у виникненні магнето- та фоторезистивних, магнето- та фотоємнісних ефектів, що свідчить про можливість керування їхніми характеристиками зовнішніми фізичними полями.

Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертація у цілому має логічну структуру, яка визначається метою та етапами вирішення поставлених завдань. Дисертація містить вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел і додаток. Загальний обсяг роботи складає 198 сторінок, з них – 146 сторінок основного тексту, 106

рисунків, 15 таблиць і 310 бібліографічних найменувань. Структура дисертації є обґрунтованою. Мова та стиль викладення матеріалу дисертації не викликають суттєвих зауважень.

Дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

За результатами аналізу дисертаційної роботи та на основі довідки про її перевірку на академічний плагіат порушення академічної доброчесності не виявлено. Фальсифікація тексту відсутня.

Повнота викладення результатів роботи в опублікованих працях

За темою дисертації опубліковано 30 друкованих наукових праць. Зокрема, з них – 11 статей у наукових періодичних виданнях інших держав і виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз Scopus чи Web of Science, 3 статті у фахових виданнях України, 16 публікацій в тезах доповідей на міжнародних і всеукраїнських конференціях. Публікації у повній мірі відображають зміст дисертаційної роботи.

Зауваження до дисертації

1. На мою думку, опис вихідних матеріалів, які використано як гостьові компоненти для синтезу клатратів, зокрема, β -циклодекстрин, фероцен, тіосечовина, антрацен, дихлорид кобальту варто було подати у першому розділі.

2. Для кращої читабельності рисунки 3.5, 3.18, 4.13, 4.21, 4.40 варто було б зробити більшого масштабу.

3. У Розділі 2 не доцільно приводити загальновідомі елементарні поняття, наприклад, закон Ома, імпеданс.

4. У змісті дисертації вказано, що додаток А на сторінці 163, хоча повинно бути на сторінці 198.

5. У роботі трапляється незначна кількість граматичних та орфографічних помилок.

Висновки

Дисертаційна робота Максимича Віталія Миколайовича «Отримання та електрофізичні властивості низькорозмірних клатратних структур для пристроїв електроніки та автономної енергетики», представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» та спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» є актуальною, завершеною науковою працею з логічно та доступно викладеним матеріалом.

Беручи до уваги актуальність, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів, вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44), а її автор Максимич Віталій Миколайович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Рецензент

доцент кафедри напівпровідникової електроніки
Національного університету
«Львівська політехніка»

к.т.н., доцент



Степан НІЧКАЛО

Підпис к.т.н., доц., доцента кафедри напівпровідникової електроніки
Степана НІЧКАЛА *засвідчую:*

Вчений секретар

Національного університету
«Львівська політехніка»

к.т.н., доцент



Роман БРИЛИНСЬКИЙ