

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»

1. Актуальність теми дисертації

Автономні джерела живлення, такі як батареї та акумулятори, грають важливу роль у різних сферах життя, включаючи електромобілі, мобільні пристрої, відновлювальну енергетику та багато іншого. Однак, вони також мають свої проблеми і потребують постійного покращення. До таких проблем належать тривалість роботи, потужність та густина енергії, тривалий час зарядки, екологічна стійкість. Для їхнього вирішення та можливості покращення джерел живлення основні дослідження спрямовані на розробку нових екологічно безпечних матеріалів для їхнього виготовлення.

Запропоновані способи отримання супрамолекулярних комплексів та формування клатратів на основі шаруватих та пористих матеріалів з різним ступенем ієрархічності дозволяють суттєво розширити спектр функціональних можливостей відомих матеріалів. Отримані таким чином матеріали дозволяють покращити характеристики систем із ємнісним типом накопичення заряду та створити на їхній основі пристрої, здатні накопичувати електричний заряд на квантовому рівні, що відкриває абсолютно нові можливості і перспективи.

З огляду на вищенаведене, тема дисертаційної роботи, безумовно, є актуальною.

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

Дисертаційна робота відповідає науковому напряму кафедри прикладної фізики і наноматеріалознавства Національного університету «Львівська політехніка»— «Створення нанорозмірних матеріалів з фізичними характеристиками, які забезпечують практичне використання їх у техніці, зокрема, в сучасній електроніці». Наукові положення та висновки дисертації пов'язані також із виконанням робіт за держбюджетними науково-дослідними роботами: «Фізико-технологічні засади створення наноструктур для квантового генерування і акумуляування електричної енергії» (№ державної реєстрації 0115U000438); «Супрамолекулярний дизайн наноструктур для надвисокоємних функціонально-гібридних накопичувачів енергії з електрохімічними і квантовими механізмами» (№ державної реєстрації 0118U000272); «Клатратні гетероструктури для високоефективних пристроїв перетворення, накопичення та зберігання енергії» (№ державної реєстрації 0121U109026).

3. Ступінь новизни основних результатів дисертації

Основні наукові результати та висновки дисертації було апробовано на міжнародних наукових конференціях та висвітлено в публікаціях фахових та закордонних високореєтингових виданнях. Зокрема, дисертант запропонував та зумів використати на практиці технологію одержання супрамолекулярних комплексів з подальшим їхнім використанням для виготовлення суперконденсаторів. Таким чином, вперше реалізовано методику отримання біовуглецю із різним відсотковим вмістом хрому, а також азотовмісного біовуглецю на основі глюкози. Вперше інтеркаляційним способом синтезовано клатрати $\text{MCM-41} < \beta\text{-циклодекстрин} < \text{фероцен} > >$, $\text{MCM-41} < \text{тіосечовина} < \text{CoCl}_2 > >$ та $\text{MCM-41} < \text{фульвокислота} >$. Дві останні клатрати проявляють здатність до ємнісного накопичення електричного заряду на міжфазних межах. У вперше синтезованій структурі на основі селеніду галію із впровадженою іонною рідиною 1-бутил-3- метилімідазолію тетрафторборатом зафіксовано значення діелектричної проникності порядку 10^{11} при значеннях тангенса кута діелектричних втрат менших за 1 в низькочастотному діапазоні (10^{-3} - 10^{-2} Гц).

4. Практичне значення одержаних результатів.

Цінність наукових результатів роботи полягає у тому, що в ній запропоновано технологічні рішення важливого наукового завдання— покращення характеристик пристроїв електроніки та автономної енергетики, за рахунок розроблення способів структурування супрамолекулярних низькорозмірних структур. У роботі дисертантом описані та експериментально підтвержені технології отримання біовуглеців, які можуть бути використані для виготовлення суперконденсаторів із покращеними енергоємнісними та потужнісними характеристиками. Також, запропоновано можливість накопичувати електричний заряд не за допомогою електрохімічних реакцій, тобто на квантовому рівні. Для цього була сформована структура на основі шаруватого напівпровідникового кристалу селеніду галію із інтеркальованою іонною рідиною. Результати досліджень показали, що діелектрична проникність даного клатрату сягає значень порядку 10^{11} в частотному діапазоні 10^{-3} - 10^{-2} Гц, що свідчить про отримання найбільш вдалої структури квантового акумулятора. Крім того, ВАХ клатратних структур мають гістерезисний вигляд, що відображають процеси накопичення заряду на міжфазних межах, що є проявом мемристорного ефекту.

5. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

За результатами аналізу дисертаційної роботи та публікацій автора порушення академічної доброчесності не виявлено. Елементи фальсифікації чи фабрикації тексту в роботі відсутні.

6. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків і переліку посилань. Основний зміст роботи викладено на 146 сторінках. Робота містить

106 рисунків, 15 таблиць і 310 бібліографічних найменувань. Її загальний обсяг становить 198 сторінок.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету і основні задачі дисертаційного дослідження. Також визначено наукову новизну роботи, практичне значення отриманих результатів, наведено опис методів, які були використані у дослідженнях і особистий внесок здобувача.

У **першому розділі** наведено опис наукових праць, присвячених отриманню клатратних комплексів на основі шаруватих напівпровідникових та пористих діелектричних матриць. Описано фізичні аспекти формування супрамолекулярних комплексів та клатратів, які дозволяють за рахунок слабких міжмолекулярних взаємодій формувати структури типу господар-гість, за принципом замок-ключ, зберігаючи при цьому ідентичність обох компонент, отримуючи в результаті пристрої заданої функціональної гібридності та ієрархічності архітектури. Описано можливість використання наноструктурованих матеріалів для виготовлення елементів із фарадеївським, нефарадеївським та квантовим типом накопичення енергії.

У **другому розділі** детально описуються методи проведених досліджень, до яких належать імпедансна спектроскопія, сканувальна електронна мікроскопія, рентгенівська дифрактометрія, вібраційна магнітометрія та метод термостимульованого розряду. Варто зауважити, що позитивною стороною роботи є те, що дослідження електропровідних та поляризаційних властивостей клатратів проводилися за нормальних умов, у постійному магнітному полі і за освітлення, що дозволило більш масштабно визначити ефекти та явища, які в них проявляються.

Третій розділ присвячений дослідженню біовуглеців із екологічно чистих матеріалів. Описано та апробовано технологію отримання біовуглецю із різним вмістом хрому на основі β -циклодекстрину, а також азотовмісного біовуглецю на основі глюкози. Проведено широкий спектр досліджень отриманих матеріалів, зокрема визначено розмір та розподіл пор, питому ємність і зв'язок між структурою і ємнісними параметрами досліджуваних біовуглеців.

У **четвертому розділі** описано дослідження біінтеркалатів та клатратів із ієрархічною структурою компонентів типу субгосподар<господар<гість>>. Вони були сформовані на основі шаруватих напівпровідникових кристалів селенід галію та селенід індію, а також діелектричної пористої матриці MCM-41.

У **п'ятому розділі** досліджуються клатратні структури із високим значенням діелектричної проникності. Методом імпедансної спектроскопії з'ясовано основні механізми електропровідності та поляризації в даних гетерофазних структурах. Досліджено частотну поведінку діелектричної проникності та встановлені умови, що дозволяють використати дані клатрати як матеріали для квантових акумуляторів.

Висновки за результатами виконання дисертаційної роботи підкреслюють наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень.

Список використаних джерел свідчить про те, що під час роботи було проаналізовано сучасні результати наукових досліджень, при цьому у досить великій кількості.

Дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає встановленим вимогам МОН України.

7. Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків

Розроблені і викладені у дисертації наукові положення, висновки та рекомендації мають високий рівень обґрунтованості. Опрацьовано і осмислено значну кількість літературних джерел як вітчизняних, так і зарубіжних вчених, які стосується отримання супрамолекулярних комплексів типу господар-гість та структур, здатних накопичувати електричну енергію за допомогою квантових і емнісних ефектів. Зроблені у дисертації висновки та рекомендації логічні і є результатом всебічного та об'єктивного аналізу досліджуваних ефектів та явищ, здійсненого за допомогою сучасного вимірювального обладнання. Застосовані методи дослідження дозволили науково описати електрофізичні властивості сформованих низькорозмірних клатратних структур. Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів дослідження, наукових положень та рекомендацій підтверджено їхньою апробацією та схваленням на міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях.

8. Публікації

За матеріалами дисертації опубліковано 30 праць, зокрема 14 статей, з яких 3 – у фахових виданнях України, 3– у виданнях України, що включені до міжнародних наукометричних баз Scopus чи Web of Science, 8– у наукових періодичних виданнях інших держав, які включено в наукометричні бази Scopus чи Web of Science та 16 тез доповідей на конференціях.

9. Питання та зауваження до дисертації

1. У розділі 1 рисунки 1.1 і 1.2, 1.3 і 1.4 дублюються. Можливо, варто було б залишити тільки рисунки 1.1 та 1.2 ?
2. На рисунках 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 відсутнє посилання на них. Порушена нумерація в рисунках: після 1.8 наступний 1.12.
3. У роботі наявні незначні орфографічні помилки.
4. В ряді випадків при поясненні результатів не розглядаються альтернативні варіанти пояснення – на основі процесів, що відбуваються в самих органічних молекулах.
5. Не вистачає спектрофотометричних та спектролюмінесцентних методів досліджень, які могли пролити світло на механізми деяких надзвичайно цікавих

ефектів, наприклад, зареєстрованого автором гігантського магнітоопору в деяких структурах.

10. Висновок.

Дисертаційна робота Максимича Віталія Миколайовича «Отримання та електрофізичні властивості низькорозмірних клатратних структур для пристроїв електроніки та автономної енергетики» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано конкретне наукове завдання— розроблено способи наноструктурування супрамолекулярних комплексів та формування клатратних структур на основі шаруватих та пористих матеріалів з різним ступенем ієрархічності, вивчені їх фізичні властивості і поведінка у зовнішніх полях, що має важливе значення для галузі знань 10 «Природничі науки».

Здобувач Максимич Віталій Миколайович заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 – Прикладна фізика та наноматеріали.

Рецензент:

Доктор технічних наук
Професор кафедри ЕЛІ
Національного університету
«Львівська політехніка»

Павло СТАХІРА

Підпис д.т.н. проф. Стахіри П.Й.

« ЗАСВІДЧУЮ »

Вчений секретар
Національного університету
«Львівська політехніка»
«8» серпня 2023р.



Роман БРИЛИНСЬКИЙ