

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Савки Степана Степановича

“Ріст, структура та газосенсорні властивості нанопорошкових металооксидів”,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.18 – фізика і хімія поверхні

1. Актуальність теми досліджень.

Швидкий розвиток та впровадження нано- і мікроелектронних технологій та сенсорної техніки вимагає постійного вдосконалення фізико-технологічних умов одержання матеріалів та пошуку оригінальних структур для побудови нових приладів на їх основі. Однак, з кожним роком все більше спостерігається тенденція до мініатюризації електронних пристроїв, перехід від мікро- до нанотехніки. Це вимагає інтенсивного розвитку нанотехнологій та дослідження наноматеріалів і структур на їх основі, як з фундаментальної точки зору, так і для подальшого використання даних матеріалів в сучасній техніці. Досягнення результатів у галузі отримання наноматеріалів з наперед заданими, стабільними характеристиками потребує комплексних модельних теоретичних та експериментальних досліджень, спрямованих на вивчення перебігу умов утворення нанофаз.

Експериментальне дослідження механізмів формування наночастинок є технічно складною і трудомісткою задачею через швидкоплинність процесів та малі розміри даних об'єктів. А, тому, комп'ютерне моделювання є альтернативним і перспективним способом вивчення механізмів формування нанооб'єктів. Методи комп'ютерного моделювання дозволяють досить детально досліджувати процеси росту і синтезу наночастинок при конденсації з газової фази. Разом з тим, лише добре узгодження результатів математичного моделювання з одержаними експериментальними даними, забезпечить глибоке розуміння фізичних явищ і процесів у досліджуваних наноструктурованих матеріалах. А, тому, вивчення впливу основних параметрів синтезу нанопорошкових металооксидів на основі ZnO, TiO₂, SnO₂ з модифікованими

структурами, в тому числі, наноструктур типу «ядро-оболонка», на їхні структурні, морфологічні та фізико-хімічні властивості є важливою і **актуальною** проблемою.

Про актуальність тематики дисертаційного дослідження додатково свідчить її виконання в рамках чотирьох державних наукових програм та науково-технічних проєктів: «Математичне моделювання та експериментальні дослідження процесів формування низькорозмірних твердотільних функціональних матеріалів з допомогою інтенсивних лазерних та іонних потоків», науково-технічних проєктів: «Розробка та створення газосенсорної системи на основі низьковимірних металооксидів», «Створення газового сенсора на основі матричних (4x4) нанопорошкових комірок з алгоритмом аналізу їх свічення для реєстрації сумішей газів» та комплексної цільової програми НАН України «Грід-інфраструктура і грід-технології для наукових і науково-прикладних застосувань»

Мета і задачі дослідження: встановлення закономірностей процесів формування морфології росту, структури нанопорошкових металооксидів та вивчення їх оптичних та газосенсорних властивостей з метою побудови газосенсорної системи нового покоління.

2. Обґрунтованість та достовірність одержаних результатів базується на використанні комплексу теоретико-експериментальних методів досліджень: математичне моделювання методом молекулярної динаміки процесів формування нанокластерів та структур на їх основі з лазерної плазми, X-променева малокутова дифрактометрія, растрова та просвічувальна електронна мікроскопія, енерго-дисперсійний аналіз, комплекс оптичного люмінесцентного спектрального аналізу, математична обробка та аналіз теоретико-експериментальних даних. Одержані у роботі теоретичні оцінки, добре узгоджуються з відповідними експериментальними даними інших авторів. Достовірність висновків підтверджується апробацією роботи на конференціях та семінарах, а також цитуваннями робіт автора в публікаціях інших дослідників та визнанням пріоритетності отриманих ним результатів.

3. Основні результати та їх наукова новизна

Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних літературних джерел. Рукопис дисертації містить 151 сторінку, 67 малюнків, 3 таблиці і 127 бібліографічних джерел.

Робота носить оригінальний і цілісний характер, оскільки передбачає математичне моделювання методом молекулярної динаміки процесів формування нанопорошкових металооксидів і структур на їх основі та комплекс експериментальних методів дослідження їх структури і газосенсорних властивостей, що вперше дозволило отримати цілісні результати по встановленню закономірностей та механізму формування нанопорошкових матеріалів в умовах хімічно-активного середовища з лазерної ерозійної плазми, дослідити їх газосенсорні властивості та спрогнозувати розробку унікальної газосенсорної системи розпізнавання газів.

Оцінюючи результати роботи, слід відзначити найголовніші з них, які визначають наукову новизну:

- виявлені закономірності формування нанокластерів ZnO в хімічно-активному середовищі з лазерної плазми та встановлені залежності розмірів, форми та структури отриманих наночастинок від швидкості охолодження системи та концентрації атомів у ній. У межах методу молекулярної динаміки встановленні оптимальні умови формування для утворення стабільних структурованих нанокластерів ZnO;
- методом молекулярної динаміки встановлені фізико-технологічні закономірності процесів окислення нанокластерів Zn в кисневому середовищі і утворення наноструктур типу «ядро-оболонка». Виявлено, що при збільшенні початкової концентрації кисню в середовищі товщина оксидного шару росте до певної межі;
- виявлені закономірності зміни товщини та щільності оксидного шару структур типу «ядро-оболонка» Zn-ZnO від початкової температури системи, концентрації газу та розмірів нанокластерів Zn, де отримання структурованих наночастинок має місце за температури системи, наближеної до кімнатної. Встановлено, що для малих кластерів ($d < 4$ нм)

розділення між ядром і оболонкою практично не спостерігається;

- встановлені закономірності формування газосенсорних властивостей наночастинок ZnO, легованих домішками благородних металів (Au, Ag, Pt), та виявлено високу чутливість сформованого нанопорошку до газів. Встановлено тенденцію до зниження адсорбційної здатності нанопорошків ZnO зі зменшенням розмірів наногранул до 40-60 нм;
- виявлені особливості фотолюмінесцентних властивостей нанопорошкових металооксидів на основі ZnO, TiO₂, SnO₂, в т.ч. лазерно-модифікованих та поверхнево-легованих домішками Ni, Cu, Sn в газах O₂, N₂, H₂, CO, CO₂. Встановлені закономірності газосенсорних властивостей нанопорошкових металооксидів (адсорбційна здатність, швидкодія, чутливість, селективність) від роду газів;
- встановлені закономірності люмінесцентних властивостей складних нанопорошків ZnO/TiO₂, ZnO/SnO₂, Zn₂SiO₄:Mn і Zn₂SiO₄:Ti в різних газових середовищах, де зміна газового середовища призводить до досить значних змін інтенсивностей спектрів фотолюмінесценції та їх деформацій;
- встановлені фізико-технологічні особливості і засади функціонування багатоелементної матричної системи для побудови газового сенсора нового покоління.

4. Практичне значення одержаних результатів. Результати проведених досліджень можуть бути покладені в основу розробки нових методів створення нанопорошкових матеріалів і структур на їх основі з використанням лазерної реактивної технології для цілей нано- оптоелектроніки та газової сенсоріки. Встановлено характер і закономірності газового середовища на газосенсорні властивості нанопорошкових матеріалів, що дозволило вибрати функціонально важливі елементи для газосенсорної системи нового покоління та побудувати діючий лабораторний макет такої системи. Новизна розробки захищена патентом України на корисну модель.

5. Зауваження до дисертаційної роботи

1. Як узгоджуюся часи релаксації досліджуваних фізичних процесів (коагуляція, коалесценція, структуроутворення) з часами на яких розглядається поведінка досліджуваної системи.
2. У роботі недостатньо обґрунтовано механізм лазерної модифікації власнодефектної структури.
3. Автор наводить експериментальні результати дослідження впливу лазерного поверхневого легування благородними металами (Ag, Au, Pt) на адсорбційну здатність нанопорошкового ZnO та вказує на зростання сенсорної чутливості до газів. Доцільно було б провести теоретичний опис характеру протікання цих.
4. В роботі зустрічаються окремі граматичні, стилістичні та пунктуаційні помилки.

Однак, наведені зауваження не применшують значення виконаної дисертантом Савкою С.С. роботи, не стосуються основних результатів і висновків роботи та не впливають на її загальну позитивну оцінку.

6. Висновки про відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому отримано та обґрунтовано нові наукові результати в галузі фізики і хімії поверхні.

Основні результати роботи висвітлені у 19 наукових публікаціях, серед яких 6 статей у наукових фахових виданнях, що індексуються у наукометричних базах "Scopus" та "Web of Science" та 11 збірниках матеріалів наукових конференцій різних рівнів .

Автореферат і опубліковані роботи повністю відображають зміст дисертаційного дослідження. Вважаю, що за актуальністю теми, обсягом, науковою новизною, практичною цінністю отриманих результатів і висновків дисертаційна робота Савки Степана Степановича «Ріст, структура та газосенсорні властивості нанопорошкових металооксидів» повністю відповідає

вимогам ДАК МОН України, а саме пунктам 11 та 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року №567, зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 656 від 19.08.2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р. та № 567 від 27.07.2016 р.), а її автор, Савка Степан Степанович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.18 – фізика і хімія поверхні.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач кафедри фізики
Дрогобицького державного педагогічного
університету імені Івана Франка,

Пелешак Р. М.

