

ВІДГУК

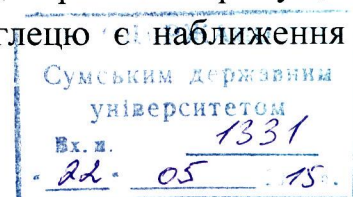
офіційного опонента на дисертаційну роботу **Латишева Віталія Михайловича** «Механізми росту 3D-структур С, Cu, Zn в умовах близькорівноважної стаціонарної конденсації», поданої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Робота Латишева В.М. присвячена експериментальному та теоретичному вивченню процесу та механізму утворення пористих структур з С, Cu, Zn на підкладках зі скла та КСІ методом магнетронного осадження в умовах близьких до термодинамічної рівноваги. Створення подібних систем є **актуальним** для застосувань як каталізаторів, сенсорів, елементної бази для джерел струму, паливних елементів, тощо. Про **актуальність** роботи свідчить також її зв'язок з державною науковою програмою у рамках держбюджетних НДР: № 0113U004331 «Формування мікро- та наносистем металів із вузьким розподілом розмірів та форми структурних елементів», № 0112U001385 «Формування мікро- та наносистем металів на основі взаємозалежних дисипативної та консервативної самоорганізації», № 0113U000137с «Фізичні принципи плазмової технології для комплексної обробки багатокомпонентних матеріалів і покриттів»

Відповідно до вимог ВАК щодо кандидатських дисертацій, робота правильно структурована та складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел.

У вступі наведено всі необхідні формальні відомості.

У першому розділі детально подається актуальний стан проблеми, різні методи формування наноструктур вуглецю та плівок цинку. Так, для вуглецю розглянуто плазмово-дуговий метод, хімічне осадження з газової фази, лазерне випаровування. Аналізуються методи отримання пористих структур за допомогою травлення та використання шаблонів, що є, як правило, багатоетапними. На основі аналізу літературних даних, виявлено низку невирішених питань та обрано актуальні задачі для досліджень, а саме запропоновано замінити багатоетапні методи при формуванні структур на одноетапний, базуючись на самозбірці тривимірних структур в умовах близько рівноважної конденсації, який є достойною альтернативою вищеназваним методам. На основі аналізу особливостей різних методів зроблено припущення, що базовою умовою формування наноструктур вуглецю є наближення до термодинамічної рівноваги.



У другому розділі, що складається з п'яти підрозділів, детально описана методика проведення експерименту. У першому підрозділі описано вакуумні умови отримання конденсатів. У другому підрозділі наведено умови наближення системи до термодинамічної рівноваги. Фізичні процеси при розпиленні та осадженні речовини при підвищених тисках робочого газу розглядаються у третьому підрозділі. Четвертий підрозділ описує роботу накопичувальної системи плазма-конденсат (НСПК). У п'ятому підрозділі описано установку для окиснення наносистем цинку та методику досліджень для вивчення їх властивостей.

Автором доведено, що для отримання структур міді і частково цинку, можна використовувати звичайний магнетронний розпилювач з осадженням речовини на розігріту підкладку, що дасть змогу працювати в умовах близьких до рівноважних, але з низькою стаціонарністю. Для отримання наноструктур вуглецю та цинку краще використовувати НСПК, що відповідає умовам стаціонарної близькорівноважної конденсації. Встановлено умови наближення системи до термодинамічної рівноваги. Автором було показано, що зі збільшенням температури плазми, зменшується значення різниці хімічних потенціалів і система прямує до рівноваги. У випадку, коли конденсація відбувається при збільшенні тиску, система плазма-конденсат вигідно відрізняється від системи газ-конденсат.

Третій розділ присвячений формуванню структур на основі вуглецю. На початковому етапі формування наноструктур вуглецю (6 хвилин, тиск 6 Па, потужність 50 Вт) були отримані сфери або кулеподібні слабо зв'язані графітоподібні наноструктури. Після кількох годин відбувалося формування кулястих випуклостей, які переходили у вуглецеві мікросфери. Тому при збільшенні тиску з 6 до 10 Па починають формуватися нановолокна з діаметром від 100 нм до 2 мкм. За допомогою комбінаційного розсіяння та рентгеноструктурного аналізу встановлена структура цих конденсатів. Визначено умови формування структур різної морфології (тиск, температура, прикладена потужність) та доведено, що формування структур відбувається у відсутності каталізаторів.

Четвертий розділ складається з двох підрозділів. Перший підрозділ описує створену модель масопереносу речовини між мішенню і підкладкою, та описує ті процеси, що відбуваються під час створення досліджуваних структур міді на підкладках КСІ. На основі модельних уявлень та згідно з гістограмами розподілу нанокристалів міді за розмірами, робиться висновок про

відповідність моделі тим процесам, що відбуваються в системі при отриманні конденсату. В другому підрозділі вивчаються особливості структуроутворення пористих плівок міді. Визначено умови (температура 843К), при яких відбувається перехід з пористого шару до формування видовжених структурних елементів міді. При подальшому збільшенні температури з 843 до 943 К зменшується кількість пор та їх перерізів. Це пояснюється переходом від пошарово атомно-гладких кристалічних граней до нормального росту атомно-шорстких поверхонь та посиленою конденсації атомів всередині пор. Було визначено умови формування окремих кристалів міді з гранями (111) та (100), що паралельні підкладці.

П'ятий розділ складається з п'яти підрозділів. У першому підрозділі на основі експериментальних даних виділено три основні зони зміни технологічних параметрів PAr і PW , у межах яких формуються подібні пористі структури. Другий підрозділ присвячений отриманню структур цинку класичним методом магнетронного розпилення, а саме при осадженні прямих потоків розпиленої речовини на розігріту підкладку. Особливу увагу приділено отриманню ниткоподібних структур, що може знайти практичне застосування для розробки сенсорів. Такі структури формувалися при $PAr = 12$ Па, $PW = 30$ Вт і температурі підкладки $T_c = 423$ К. Температура, як показано в роботі, є основним параметром при формуванні структур різного типу. У третьому підрозділі порівнюються метод магнетронного розпилення та НСПК за участі цинку. При цьому можна отримати подібні структури з цинку. У четвертому підрозділі встановлено оптимальні умови окислення нанониток цинку для отримання оксиду цинку з подібними структурними формами. Визначено умови, при яких це відбувається. У п'ятому підрозділі зроблено порівняння адсорбційних властивостей зразків цинку, отриманих в різних зонах, до газу пропан-бутан. Встановлено такі умови отримання пористих структур, при яких їх сенсорні властивості є кращими.

У цілому робота виконана на високому науковому рівні з застосуванням оригінального технологічного обладнання та складної дослідницької апаратури, що свідчить про високий фаховий рівень здобувача. Основні результати є **новими** і вперше отриманими. Матеріали опубліковані в міжнародних журналах та доповідались на міжнародних конференціях.

Всі наукові положення та висновки є **обґрунтованими** завдяки повноті отриманих експериментальних та теоретичних даних, а також завдяки їх порівнянню з результатами інших досліджень.

Достовірність результатів не викликає сумніву, оскільки вони отримані з використанням надійних експериментальних методик, ретельно оброблені та проаналізовані.

Текст дисертації та автореферат добре написані, гарно проілюстровані. **Автореферат** вірно відображає зміст дисертації. Основні результати, що наведено у роботі, вчасно і повністю опубліковано в 5 статтях у фахових вітчизняних та міжнародних журналах, які індексуються базою даних Scopus, та в 6 тезах доповідей. Робота пройшла **апробацію** на міжнародних наукових конференціях.

Разом з тим, робота не позбавлена деяких **недоліків**:

1. В назві роботи було б доцільно написати “тривимірних структур” замість “3D-структур”.
2. Математична модель Оствальдівської конденсації побудована досить незвично. Замість простого диференційного рівняння у часткових похідних, яке б описувало балансні співвідношення в різних зонах над поверхнею, використовується нестандартна феноменологічна дискретна схема. Чому було обрано саме такий метод, не зрозуміло.
3. Результати моделювання збігаються з експериментальними тільки якісно (рис. 4.5, стор.79), тому висновки, отримані за допомогою цієї моделі, повинні формулюватися більш обережно.
4. Велику кількість результатів роботи отримано шляхом аналізу мікроскопічних зображень поверхонь, але при цьому ніяк не використовується потужний апарат чисельних методів аналізу зображень. Зокрема, не використовується метод двовимірних Фур'є-перетворень для кількісного визначення розподілу розмірів просторових неоднорідностей на мікрофотографіях, методи визначення форми елементів поверхні і т.п.
5. Аналіз поверхонь носить в основному якісний характер. Гістограми розмірів сформованих структур наведені тільки на рис. 5.2 (стор.100), тоді як було б доцільно зробити такий аналіз для всіх інших зразків в роботі.
6. Висновки роботи цілком адекватні поставленим задачам, але їх формулювання є невдалим. Висновки занадто багатослівні, а їх кількість надмірна. Деякі з них сформульовані не як висновки, а як результати.
7. В роботі є численні невдалі вислови, смислові неточності та граматичні помилки. Так,
 - стор.7 - не вказано у переліку тем роки їхнього виконання,
 - стор.11 дисертації, перше речення - «структурные формы углерода: фуллерены, нанотрубки, графен, углеродные луковичи, рога, сферы»- не можна плутати структурні та морфологічні форми вуглецю,

- стор.31 перший висновок - у ньому йдеться про структурні чи морфологічні форми вуглецю і чому.
- стор.36 - процес відбувається не паралельно, а одночасно,
- стор.38 - неточності в позначеннях букв в формулі (2.7),
- стор.48 - не має «сконденсованного состояния», а є «конденсованное состояние»
- стор. 2 автореферату (в об'єкті досліджень) - не «леткість», а мабуть «летючість».

Але наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи у цілому. Дисертаційна робота Латишева Віталія Михайловича «Механізми росту 3D-структур C, Si, Zn в умовах близькорівноважної стаціонарної конденсації» є **завершеною науковою працею**, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують науково-технічну проблему створення унікальних пористих структур на основі вуглецю, міді та цинку.

За обсягом проведених досліджень, якістю, новизною і практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота Латишева Віталія Михайловича повністю відповідає вимогам ВАК України щодо кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

провідний науковий співробітник
в.о. завідувача відділу фізики біологічних систем
Інституту фізики НАН України,
доктор фізико-математичних наук, професор



Г.І. Довбешко

Підпис проф. Довбешко Г.І. засвідчую:

