



№ 142/01-14 від 11.03.2019

*Відгук офіційного опонента на
дисертаційну роботу*

Вченому секретарю
спеціалізованої вченої ради
Д 64.872.01 у ННЦ «Інститут
метрології»
к. т. н., Склярову В.В.

вул. Мироносицька, 42,
м. Харків-002, 61002

Надсилаємо відгук офіційного опонента на дисертацію Сичікової Яни Олександрівни на тему «Науково-методологічні засади оцінювання якості й властивостей наноструктур на поверхні напівпровідників», яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення (додається).

Додаток: відгук на 8 арк. у 2 прим.

Ректор, д. т. н., проф.

Л. В. Коломієць

Грабовський О. В.

т. 0677340952



ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Сичікової Яни Олександрівни на тему «**Науково-методологічні засади оцінювання якості й властивостей наноструктур на поверхні напівпровідників**» подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення»

Дисертаційна робота Сичікової Яни Олександрівни присвячена розвитку наукових засад управління якістю нанотехнологічної продукції.

Актуальність теми дисертаційної роботи. В умовах сучасного ринкового середовища для забезпечення конкурентоспроможності продукції вкрай важливим є забезпечення високої якості виробів і продукції.

Наноструктуровані матеріали стали важливим індустріальним напрямком завдяки перспективам використання у фотовольтаїці та енергетиці. Однак широкому застосуванню цих матеріалів заважають з одного боку, відсутність методик оцінювання якості нанотехнологічної продукції, з іншого – недосконалість нормативно-правового забезпечення та супроводу цієї продукції.

Дисертація є актуальною, оскільки спрямована на вирішення наукової задачі з розробки методик оцінювання якості наноструктур, метрологічного та нормативного забезпечення, які стосуються як робочих, так і стандартних зразків хімічного складу наноматеріалу, що можуть використовуватися як еталонні.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась в рамках наукових держбюджетних досліджень: «Наноструктуровані напівпровідники для енергоефективних екологічно безпечних технологій, що підвищують рівень енергозбереження та екологічної безпеки урбосистеми» (державний реєстраційний номер 0116U006961, 2016 – 2018 рр.); «Розробка технології оцінювання показників якості та безпеки продуктів нанотехнологій протягом життєвого циклу» (державний реєстраційний номер 0117U003860, 2017 – 2020 рр.).

Мета і задачі дослідження. Основна мета дослідження полягає в розв'язанні важливої науково-прикладної проблеми оцінювання якості наноструктур на поверхні напівпровідників шляхом створення сучасної системи уніфікованих вимог до якості наноматеріалів і відповідних стандартних зразків.

Для досягнення мети дослідження були сформульовані наступні задачі: визначити основні дієві підходи до класифікації, дослідження та аналізу властивостей наноструктур на основі аналізу сучасних методів, засобів та нормативних документів з контролю якості й методів синтезу

наноструктур; створити узагальнену модель синтезу наноструктур із заданим рівнем якості на поверхні напівпровідників на основі принципів системного і процесного підходів; встановити домінуючі чинники синтезу й стабілізації властивостей наноструктур з метою забезпечення й поліпшення їхньої якості; визначити основні морфологічні показники якості наноструктур, сформованих на поверхні напівпровідників, а також розробити методики їх дослідження й аналізу з метою виділення та уніфікації вимог до нанотехнологічної продукції; визначити основні хімічні показники якості наноструктур, встановити кореляцію між домінуючими чинниками їхнього синтезу та набутими хімічними й морфологічними властивостями з метою створення стандартного зразка складу наноматеріалу; визначити узагальнений критерій і розробити методику оцінювання якості наноструктур, синтезованих на поверхні напівпровідників, для створення можливості здійснювати порівняння однотипних зразків наноструктур та встановлення відповідності їх еталонним; розробити алгоритм та методику оцінювання наноматеріалів за ступенем потенційної небезпеки з метою розроблення нормативних документів з питань безпеки нанотехнологічної продукції; провести дослідження щодо відповідності синтезованих поруватих шарів функціональному призначенню для застосувань у якості матеріалу фотоелектричних перетворювачів та суперконденсаторів.

Об'єкт дослідження – процес оцінювання якості наноструктур на поверхні напівпровідників; **предмет дослідження** – методологічні, організаційні та технологічні аспекти, методи та засоби оцінювання якості наноструктур; **методи дослідження** – сканувальна електронна мікроскопія, електронна спектроскопія для хімічного аналізу (EDAX), рентгенівська спектроскопія, фотолюмінісцентні дослідження. У якості інструментального апарату використані методи методології IDEF0 (ICAM Definition), кваліметрії, аналізу ієрархій та системний підхід. Для контролю показників якості наноструктур застосовані програмні продукти та структурний аналіз. Узагальнення результатів здійснювалися із застосуванням вимірювального, реєстраційного, розрахункового та експериментального методів.

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації доводиться коректним використанням застосованих методів теоретичних досліджень на основі принципів кваліметрії, аналізу ієрархій та системного підходу. Отримані результати досліджень підтверджено актами впровадження на промислових підприємствах.

Значення для науки і техніки. Отримані у дисертаційній роботі нові науково обґрунтовані результати у сукупності вирішують наукову проблему комплексного оцінювання якості наноструктур на поверхні

напівпровідників, що ґрунтується на закономірностях взаємозв'язку їхніх характеристик і домінуючих чинників синтезу.

Результатом роботи є впровадження положень та методів, отриманих за результатами проведеного дисертаційного дослідження, у виробничу діяльність підприємства «ТД Спецпромпостач». Методику експертної оцінки матеріалів, що можуть містити наночастинки, впроваджено у виробничий процес ФОП Ситченко В.Я. Результати досліджень удосконалення структурного контролю поруватих наноматеріалів використовуються у виробничих процесах ТОВ «Автосоюз». Для науково-виробничої фірми ТОВ «Термінал» розроблено та впроваджено стандарт підприємства «Поруваті наноструктури на поверхні напівпровідників: методика визначення показників якості». Методика визначення екологічної безпеки наноматеріалів протягом життєвого циклу затверджена як методика підприємства і використовується у виробничій діяльності ПБКФ «Орієнталь».

Оцінка змісту, завершеності роботи. Дисертація складається з вступу, шести розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та 7 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 442 сторінки, з них 399 сторінок основного тексту, включаючи 78 таблиць, 119 рисунків, список використаних літературних джерел із 379 найменувань на 41 сторінці.

Зміст дисертаційної роботи відповідає встановленим вимогам, а сама дисертація має завершений характер. Зміст дисертації викладено грамотною технічною мовою, логічно і послідовно. Стиль викладення результатів теоретичних та експериментальних досліджень, наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання. Структура дисертації, мова та стиль викладення відповідають вимогам до докторських дисертацій МОН України.

Автореферат дисертаційної роботи повністю відображає її зміст і отримані результати.

Загальна характеристика роботи

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету роботи: оцінювання якості наноструктур на поверхні напівпровідників шляхом створення сучасної системи уніфікованих вимог до якості наноматеріалів і створення відповідних стандартних зразків. Сформульовані задачі досліджень, визначений об'єкт та предмет дослідження, наукова новизна, практична цінність та особистий внесок здобувача в одержаних результатах, подані відомості про їх публікацію, апробацію та впровадження.

В першому розділі автором здійснено аналіз сучасного стану і тенденції розвитку нормативного та метрологічного забезпечення якості

наноструктур, синтезованих на поверхні напівпровідників. Розглянуто загальні підходи до класифікації наноструктур, методів їх синтезу та дослідження властивостей. Проаналізовано галузі застосування наноструктурованих матеріалів, їх придатність до використання у фотоелектричних перетворювачах енергії та суперконденсаторах.

На основі проведеного аналізу здійснено узагальнення та обґрунтування завдань досліджень.

У другому розділі проведено аналіз підходів до визначення якості продукції, проведено теоретичний аналіз методів управління якістю виробничих процесів та продукції. Розроблено функціональну модель процесу синтезу наноструктур заданого рівня якості за допомогою методології IDEF0, проведено декомпозицію процесу «Синтезувати наноструктури заданого рівня якості». Розроблено математичну модель синтезу наноструктур, на основі якої визначено номенклатуру показників якості наноструктур. Встановлено, що оцінювання якості наноструктур необхідно проводити за частковими критеріями шляхом декомпозиції узагальненого критерію якості.

У третьому розділі наведено приклади синтезу наноструктур на поверхні напівпровідників, а саме було сформовано поруваті структури, нанодроги, оксидні плівки та блокові структури. Продемонстровано, що для стабілізації властивостей наноструктур доцільно застосовувати пасивацію поверхневих шарів, у якості пасивуючого покриття запропоновано використовувати халькогеніди. За допомогою статистичної обробки даних було проаналізовано основні морфологічні показники наноструктурованих поверхонь, що дозволяє зрозуміти процеси, що зумовлюють наноструктурування. Розглянуто основні хімічні показники наноструктур, проведено аналіз хімічного складу поверхні поруватих напівпровідників методами спектрального аналізу INCA Energy та елементного аналізу EDAX.

Четвертий розділ дисертації присвячено визначенню технологічного критерію якості наноструктур. Для оцінки оптимальної технології синтезу наноструктур було застосовано метод аналізу ієрархій, який дозволив встановити, що електрохімічне травлення забезпечує найвищу якість синтезованих структур. Встановлено ресурсно-технологічні чинники, які необхідно враховувати для управління технологією синтезу наноструктур із заданим рівнем якості, до яких віднесено параметри та стан поверхні вихідного напівпровідника, склад і концентрацію травника, часові витрати, енерговитрати та витрати, що пов'язані із стабілізацією властивостей уже синтезованої наноструктури. Синтез наноструктур представлено як процес здійснення діяльності, що реалізується в певному часовому проміжку та в певній послідовності відповідно до заданих стадій та етапів.

П'ятий розділ присвячено встановленню узагальненого критерію якості наноструктур, синтезованих на поверхні напівпровідників. Автором показано, що контроль якості наноструктур необхідно проводити за частковими критеріями, що включають морфологічні, хімічні та технологічні показники якості. Встановлено, що ці показники необхідно розглядати у контексті функціонального призначення наноматеріалу. Показано, що поруваті напівпровідники доцільно застосовувати для фотоелектричних перетворювачів та суперконденсаторів. На основі цього виділено еталонні показники наноструктур, що здатні підвищувати якість приладів, проведено аналіз відповідності синтезованих структур еталонним значенням.

У шостому розділі представлено універсальну методику оцінювання якості наноструктур, яка дозволяє кількісно визначити їхню якість. Методика базується на визначенні часткових показників якості наноструктур, які містяться в узагальненому критерії. Розроблено алгоритм оцінки матеріалів, що містять наноб'єкти за ступенем потенційної небезпеки та необхідністю проводити екологічну експертизу. Оцінка екологічного критерію якості проводилася дослідженням екологічної безпеки синтезованих наноструктур на всіх етапах життєвого циклу. В якості прикладу розроблено схему життєвого циклу поруватого фосфіду індію і нітриду індію, отриманого на його основі. Створено стандартний зразок підприємства та нормативну документацію до нього, що є значним практичним напрацюванням.

Висновки дисертаційної роботи обґрунтовані, рекомендації базуються на використанні математичних моделей. Більшість висновків роботи підтверджені результатами експериментальних досліджень і доведені до промислового втілення, для яких характерна технічна й практична новизна.

Достовірність результатів дисертаційної роботи підтверджується:

експериментально доведеною результативністю запропонованої та впровадженої системи комплексного оцінювання якості наноструктур на поверхні напівпровідників на відповідних підприємствах, що надало можливість виготовляти наноструктури із заданими властивостями;

у виробничій сфері створені стандартні зразки наноструктур на основі напівпровідників, що можуть використовуватися як еталонні, для верифікації методик оцінювання якості наноструктур;

організаційній сфері за допомогою відповідних методик створено можливість експертної оцінки матеріалів, що можуть містити наночастинки, та визначення екологічної безпеки наноматеріалів протягом життєвого циклу.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в розробці системи комплексного оцінювання якості наноструктур на поверхні напівпровідників, що ґрунтується на закономірностях взаємозв'язку їхніх характеристик і домінуючих чинників синтезу, зокрема у роботі:

уперше на основі принципів системного і процесного підходів розроблено методологію управління синтезом та якістю наноструктур, що дозволяє детермінувати процеси формування наноструктур із заданими властивостями на поверхні різних типів напівпровідників;

уперше для уніфікації вимог до нанотехнологічної продукції визначено узагальнений критерій якості наноструктур, синтезованих на поверхні напівпровідників, який базується на часткових показниках і який дозволяє кількісно визначити якість як кожного окремого зразка так і партії, а також ранжувати оцінені зразки за рівнем якості;

уперше запропоновано і реалізовано метод створення стандартних зразків складу поруватих напівпровідників, який може бути застосований для синтезу та опису зразків, що будуть використовуватися у якості еталонних для верифікації методик оцінювання якості наноструктур.

удосконалено метод визначення критерію якості синтезу наноструктур на поверхні напівпровідників із заданими властивостями, який регламентує оптимальні умови та режими оброблення напівпровідників для наноструктурування їхньої поверхні;

удосконалено метод визначення функціонального критерію якості та проведення структурного аналізу наноструктурованих матеріалів для використання їх в якості шаблонів, життєздатних для зберігання електрохімічної енергії та створення фотоелектричних перетворювачів енергії;

отримав подальшого розвитку метод оцінювання нанотехнологічної продукції за ступенями потенційної небезпеки з метою виявлення продукції наноіндустрії, що представляє небезпеку для життя і здоров'я людини протягом всього життєвого циклу.

Повнота викладу наукових положень, сформульованих у дисертації в опублікованих працях. За темою дисертації опубліковано 47 наукових праць, у т. ч.: 4 монографії (1 одноосібна, 1 англійською мовою у закордонному виданні), 1 розділ у довіднику з електрохімії, розділи у 2х колективних закордонних монографіях, 25 статей у закордонних і фахових наукових виданнях України (16 з яких опубліковані у виданнях, що індексуються у наукометричній базі даних Scopus), 4 патенти, 11 тез доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях. Загалом наявні публікації відображають зміст дисертаційної роботи, а наукова новизна роботи підтверджується практичним застосуванням. Результати роботи доповідались на міжнародних наукових та науково-практичних конференціях у 2014–2017 рр.

Однак до оформлення дисертаційної роботи та автореферату дисертації є зауваження, які носять непринциповий характер:

у розділі 2 дисертації (в авторефераті формула (1), стор. 7) описана множина показників (критеріїв якості) як сума функцій часткових властивостей $f(\alpha_i)$, але в розшифруванні немає згадки про функцію. В подальшому, зокрема у розділі 4 (рис. 4.2, табл. 4.1), автором визначені певні чинники (критерії), однак не достатньо чітко конкретизовано які саме чинники є суттєвими, а які ні, які їхні чисельні межі та допустимі діапазони;

у дисертації відсутня нумерація окремих формул у тексті (наприклад, на стор. 331-332, 337 дисертації), некоректно пронумеровані (однакові) індекси τ_i у розшифруванні під формулою (5) (стор. 8 автореферату), наявне позначення одних і тих же символів курсивом і без у табл. 3 (стор. 12 автореферату), вживається однакове позначення Р для фізичного елементу (фосфор) і довірчого інтервалу на стор. 457 і 462 дисертації (стор. 32 автореферату);

у дисертації наведені алгоритми (етапи), які не передбачають логічних розгалужень «так» чи «ні» для блок-схеми прийняття рішень, зокрема на рис. 2.17, 2.19, 2.23, 3.18;

у розділі 3 автором зазначено, що під час травлення та після нього на поверхні напівпровідникової наноструктури можуть формуватися власні оксиди, видалення яких є складною технологічною задачею. Разом з тим зазначено, що оксидні плівки відіграють роль пасивуючого покриття. З цього виникає суперечність, незрозуміло у яких випадках необхідно видаляти оксид, а у яких навпаки це корисно;

у розділі 3, пункт 3.2.2 наводяться дані розрахунку периметру пори, однак не наводиться методика його обчислення, адже пори мають не ідеальну форму. Доцільно було б уточнити;

у розділі 3, пункт 3.2.3 зазначено, що формуванню геометричної та концентраційної однорідності поруватого шару запобігають пружні далекодіючі механічні напруження, джерелами яких є смуги сегрегації. Вочевидь, цей чинник значною мірою впливає на якість наноструктур. Однак відсутнє пояснення, що це за лінії, звідки вони виникають та як впливають на морфологію синтезованих наноструктур;

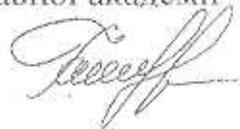
у таблицях 3.19 і 3.20 значення мінімальної, максимальної та середньої концентрації елементів збігаються, необхідно пояснити чому. Таблиця 4.17 та рис. 4.23 дублюються за значеннями. Можливо доцільно було б відобразити щось одне;

за текстом автореферату та дисертаційної роботи наявні граматичні, стилістичні помилки, тавтологія, русизми та інші недоліки оформлення зокрема, наявне незначне перевищення обсягу основного тексту

дисертації, невірне оформлення посилань у тексті (стор. 237, 275, 365), у більшості таблиць десяткові знаки розділені через крапку, в одній і тій же таблиці десяткові знаки розділені і через кому, і через крапку (табл. 3.11), якість деяких рисунків є недосконалою з дуже дрібними надписами, що ускладнює розуміння роботи, наявне посилання на нечинні стандарти (наприклад, ДСТУ 3651.0-97, ДСТУ 3651.1-97).

Висновок. На підставі розгляду дисертації можна зробити загальний висновок, що в цілому представлена дисертаційна робота за своїм науковим рівнем і практичною значимістю результатів досліджень відповідає вимогам пунктів 10, 12 і 14 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 щодо докторських дисертацій, а її авторка Сичікова Яна Олександрівна заслуговує присвоєння їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення.

Офіційний опонент, завідувач кафедри
стандартизації, оцінки відповідності
та освітніх вимірювань Одеської державної академії
технічного регулювання і якості,
д. т. н., с. н. с., доцент



Т. Б. Гордієнко

Підпис Т. Б. Гордієнко засвідчую:

Нотаріальна фірма В. В. Дубовий

