

ВІДГУК

Офіційного опонента д. т. н., проф. Гоц Наталії Євгенівни
на дисертаційну роботу
Сичікової Яни Олександрівни
«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

Дисертація Сичікової Я.О. присвячена питанням створення нових методів оцінювання якості наноструктур та наноматеріалів для забезпечення їх конкурентоспроможності на світовому ринку, вдосконаленню методів визначення рівня якості, як нефізичної величини, та дослідженню складу та властивостей наноматеріалів для створення стандартних зразків.

Дисертація Сичікової Я.О. є завершеною працею, в якій отримані нові науково-обґрунтовані результати, що в сукупності забезпечують розв'язання важливої прикладної проблеми забезпечення якості наноструктур під час їх синтезу та використання, зокрема включає розроблення та удосконалення методів оцінювання рівня якості наноматеріалів, створення нормативних документів зі створення їх стандартних зразків, а також впровадження отриманих результатів у виробничу практику України.

На основі виконаних досліджень дисертанткою розвинуто засади стандартизації у галузі нанотехнологій, розроблено методики оцінювання рівня якості наноструктур та удосконалено методи поліпшення показників та стабілізації властивостей наноструктурованих напівпровідників під час їх виробництва.

Актуальність теми визначається необхідністю постійного поліпшення якості продукції нанотехнологій, що дозволить використовувати її у галузі альтернативної енергетики. Необхідність вирішення поставлених задач забезпечення та поліпшення якості наноструктур відповідає Пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки на період до 2020 року та «Державній програмі розвитку еталонної бази на 2016 – 2020 роки», в яких підкреслено необхідність створення нових матеріалів для їх практичного застосування у альтернативній енергетиці та розроблення методів забезпечення їх якості.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в такому:

– розроблено методологію забезпечення якості наноструктур при їх синтезі, що дозволяє детермінувати процеси формування наноструктур із заданими властивостями на поверхні різних типів напівпровідників;

– запропоновано метод оцінювання рівня якості наноструктур, який базується на використанні узагальненого критерію якості наноструктур, синтезованих на поверхні напівпровідників, та використанні групових



показників, що дозволяє кількісно визначити рівень якості як кожного окремого зразка, так і партії в цілому;

– розроблено методику виготовлення стандартних зразків складу поруватих напівпровідників ;

– удосконалено методи визначення критерію якості синтезу наноструктур та проведення структурного аналізу наноструктурованих матеріалів для використання їх в якості еталонних, зокрема для зберігання електрохімічної енергії та створення фотоелектричних перетворювачів енергії; оцінювання нанотехнологічної продукції за ступенями потенційної небезпеки.

Достовірність наукових результатів, положень, висновків, сформульованих у дисертації, підтверджується як результатами конкретно виконаних експериментальних досліджень, так і результатами математичних розрахунків і статистичного аналізу параметрів наноструктур. Розроблені математичні моделі, алгоритми, розрахункові оцінювання запропонованих методик оцінювання рівня якості наноструктур. Результати дисертації впровадженні у виробничий процес низки підприємств України. Таким чином, Сичіковою Я.О. отримані нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності забезпечують розв'язання значної прикладної проблеми в галузі стандартизації та забезпечення якості наноматеріалів.

До переваг виконаних досліджень слід віднести системний підхід при побудові моделі забезпечення та оцінювання якості наноструктур, що дозволило отримати значні **практичні результати**, які полягають у розробці методичних основ оцінювання якості наноструктур, а саме:

– розроблено систему управління процесом електрохімічного розчинення кристалу, як складової системи управління якістю наноструктур,

– розроблено засади забезпечення рівня якості та стабілізації властивостей наноструктур за допомогою пасивації поверхні.

Авторкою створено та впроваджено низку нормативних документів, зокрема розроблено:

– стандарт підприємства з оцінювання якості поруватих шарів на поверхні напівпровідників;

– методика оцінювання екологічної безпеки наноматеріалів.

Крім того, авторкою створено стандартний зразок складу поруватого фосфіду галію та розроблено відповідну нормативно-технічну документацію.

Результати виконаних досліджень впроваджено у виробничу діяльність підприємства «ТД Спецпромпостач», у виробничий процес ФОП Сипченко В.Я., ТОВ «Автосоюз», у науково-виробничу фірму ТОВ «Термінал», у виробничу діяльність ПВКФ «Орієнталь».

Оцінка структури та змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Сичікової Я.О. складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку літератури, використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації становить 442 сторінки, вона містить 119 рисунків і

78 таблиць (з них 8 рисунків і 16 таблиць на 8 і 24 окремих аркушах відповідно), список використаних джерел з 379 найменувань на 41 сторінці та 7 додатків на 50 сторінках.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, поставлена мета і задачі дослідження, а також коротко сформульовано основні результати, одержані в роботі; вказано їхнє значення для науки та практики, зв'язок роботи з науковими програмами й темами; подано дані про структуру дисертації, апробацію та публікації основних результатів роботи.

У **першому розділі** на основі аналізу сучасного стану нормативно-правового забезпечення якості продукції встановлено необхідність удосконалення методів оцінювання якості наноструктурованих матеріалів, синтезованих на поверхні напівпровідників та відповідної нормативної бази.

Досліджено основні галузі застосування наноструктурованих напівпровідників та показано, що існує необхідність у побудові моделі управління процесом синтезу наноструктур заданого рівня якості й розробці системи управління синтезом наноструктур, що підвищить контроль якості виробничого процесу, розподіл ресурсів, необхідних для встановлення, підтримки і вдосконалення якості продукції. Також авторкою визначено ключові питання розробки системи управління процесом формування наноструктур із заданими властивостями. За результатом виконаного аналізу сформульовані основні завдання дисертаційної роботи.

У **другому розділі** охарактеризовані основні напрями визначення підходів до забезпечення якості продукції. Проведено теоретичний аналіз методів управління якістю виробничих процесів та продукції, вказано на їх переваги та недоліки. Обґрунтовано необхідність застосування статистичних методів до оцінювання якості наноструктур. Для визначення показників рівня якості наноструктур і створення стандартних зразків побудовано модель забезпечення якості наноструктур на поверхні напівпровідників на основі системного підходу, який ґрунтується на представленні взаємопов'язаних процесів як системи. Управління якістю наноструктур представлено як динамічний процес, що розвивається і вдосконалюється у відповідності із методами, технологічними рішеннями і технічною підготовкою управління цього процесу. Розроблено математичну модель оцінювання рівня якості наноструктур, що базується на визначенні узагальненого коефіцієнту якості. Показано, що контроль рівня якості наноструктур необхідно проводити за частковими критеріями, тобто проводити декомпозицію узагальненого критерію якості.

Третій розділ присвячено розробленню нових, захищених патентами, типів наноструктур на основі напівпровідників. На прикладі сучасних промислових напівпровідників групи АЗВ5 досліджено методи синтезу наноструктур, їх морфологічні та хімічні властивості. Удосконалено методику пасивації поверхні напівпровідників для стабілізації їх властивостей і поліпшення техніко-економічних показників створюваної нанотехнологічної продукції. Аналіз морфологічних та хімічних показників наноструктур дозволив виділити критерії їхньої якості.

У **четвертому розділі** встановлено технологічні критерії якості наноструктур під час синтезу. Для цього було проведено вибір оптимального методу синтезу наноструктур за допомогою методу аналізу ієрархій. Забезпечення якістю наноструктур розглянуто на прикладі процесу виробництва поруватого зразка із заданими властивостями.

Встановлено принципи і закономірності, на яких ґрунтується забезпечення якості наноструктур та виділено чинники, які впливають на їх рівень якості. Досліджено кореляцію між ресурсно-технологічними чинниками синтезу наноструктур та їхніми властивостями.

У **п'ятому розділі** встановлено узагальнений критерій якості наноструктур. Показано, що для визначення якісних характеристик наноматеріалу необхідно вибрати критерії, які відображають функціональне призначення наноматеріалу. Узагальнений критерій якості наноструктур представлено як двоурівневий критерій: на першому рівні здійснюється забезпечення якості технологічного процесу через вибір оптимального методу синтезу; на другому – забезпечення критерію якості, що складається з морфологічного та хімічного критеріїв.

Показано, що при оцінюванні рівня якості наноструктур доцільне врахування конкретного функціонального призначення виробу, тобто забезпечення функціонального критерію якості. Проведено оцінку відповідності синтезованих поруватих шарів функціональному призначенню для застосувань у якості матеріалу ФЕП та суперконденсаторів.

Шостий розділ присвячено розробці універсальної методики оцінювання рівня якості наноструктур, в основу якої покладено визначення часткових критеріїв якості, які є функцією показників наноструктури. Показано, що часткові критерії повинні спиратися на фізичні і функціональні засади покращення якості виробу, для якого синтезується наноструктура.

Розроблено методику створення стандартного зразка наноматеріалу, а саме хімічного складу поруватого фосфіду галію, призначеного для верифікації методик вимірювань масової частки елементів методом енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії, контролю точності методик вимірювань масової частки елементів методом енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії тощо.

Розроблено методику оцінювання потенційної небезпеки та необхідності проведення екологічної експертизи нанооб'єктів, а також виробів, що можуть містити наноматеріали. Методика містить алгоритм визначення часткових критеріїв потенційної небезпеки наноматеріалу. Розроблено алгоритм оцінки наноматеріалів, який спирається на встановлені наявності нанофази у матеріалі, можливості експонування споживача продукції нанооб'єктами, близькості продукції до людини та критерію потенційної небезпеки.

Повнота викладу результатів досліджень в опублікованих працях

Результати досліджень за темою дисертації опубліковано 47 наукових праць, серед яких 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 праць опубліковані у виданнях, що індексуються у наукометричній базі даних Scopus, 4 патенти, 11 тез доповідей у збірниках праць конференцій.

Основні результати дисертації, що виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно. Перелік публікацій, їх зміст та обсяг відповідають темі дисертації, повністю відображають основні положення виконаних досліджень і не суперечать висновкам роботи.

Оцінка мови і стилю дисертації та автореферату. Ідентичність змісту автореферату і дисертації

Стиль викладення матеріалу дисертації й автореферату – науковий, послідовний, чіткий і лаконічний. Використана у роботі наукова термінологія є загальнозживаною. Мова викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій практично завжди забезпечує доступність їх сприйняття. Висновки до кожного розділу і дисертації в цілому відображають суть виконаних досліджень. Структура роботи і стиль викладення матеріалу відповідають вимогам до докторських дисертацій.

Зміст автореферату повністю ідентичний до змісту й основних положень дисертації та відповідає чинним вимогам до автореферату.

Зауваження до змісту і представлення дисертації

1. Автором ототожнюються поняття «управління якістю», «система управління якістю» та «забезпечення якості» (стор.92, останній абзац), що є недоцільним, оскільки забезпечення якості є лише складовою управління якістю, як процес або результат формування необхідних властивостей і характеристик продукції під час її створення, а також - забезпечення цих характеристик при зберіганні, транспортуванні та експлуатації продукції.

2. В роботі автором використовується поняття «оцінювання якості», «якість об'єктів». Для технічних об'єктів доцільно використовувати поняття «рівень якості» та його оцінювання, як відносну характеристику якості продукції, засновану на зіставленні значень показників, які характеризують технічну досконалість оцінюваної продукції з відповідними базовими значеннями. В роботі автором в принципі і проводиться автором оцінювання рівня якості.

3. Математичний опис множини властивостей вихідного зразка (формула 2.1, стор 91), яка «являє собою сукупність часткових властивостей, і може бути представлена множиною показників», доцільно подавати не сумою окремих властивостей, а функціональною залежністю. Те саме стосується і формули 2.2. Формула 2.2 також потребує додаткового

пояснення фізичної природи всіх її складових. Аналогічні зауваження до математичного опису формування множини властивостей зразка 2.3-2.6 та множини технологічних чинників 2.7 і 2.10.

4. Математичний опис функції процесу «Набуття властивостей» потребує додаткового обґрунтування автором, адже незрозуміло чому саме використовується відношення суми множини еталонних властивостей та множини технологічних чинників до множини зовнішніх факторів, які можуть впливати на вихідні властивості зразків, а не різниця між ними.

5. Автором не вказані границі, в яких можуть знаходитися значення показників в формулах 2.2, 2.6 та 2.10, що доцільно було би зробити в роботі.

6. На стор.139 для аналізу морфологічних характеристик поруватої поверхні на прикладі por-InP використовується визначення середніх значень отриманих величин. Для оцінювання властивостей доцільним є визначення зокрема і середньоквадратичного відхилення морфологічних характеристик поруватої поверхні із вказанням значення ймовірності, а отже проведення статистичного опрацювання результатів досліджень.

7. В розділі 5 запропоновані різні критерії якості наноструктур на поверхні напівпровідників. Доцільно було би вказати, в яких межах знаходяться їх значення, чи в межах від 0 до 1, чи більше 1.

8. Доцільно обґрунтувати чому згортку критеріїв (стор. 252) автор проводить саме за мультиплікативним законом, а не, наприклад, шляхом сумування з врахуванням коефіцієнтів вагомості. За умови, якщо морфологічний та хімічний критерії якості знаходяться в межах від 0 до 1 та мають припустим значення кожен по 0,5, (що згідно «Шкали бажаності» Харрінгтона є прийнятним на рівні «задовільно» і якість прийнятною до гранично допустимого рівня, але потребує вдосконалення (згідно табл. 5.2)), то критерій якості наноструктур (формула 5.3) вже матиме значення 0,25, що за шкалою Харрінгтона відповідає неприйнятному рівню.

5. У роботі неодноразово зазначається, що на рівень якості сформованих наноструктур впливає вихідний стан поверхні напівпровідника. Однак до основних показників якості параметри напівпровідникової пластини не віднесено. Вважаю, що такі дослідження теж необхідно було би представити.

10. У роботі наводиться розрахунок фактору форми та округлості. У чому їх принципова відмінність? Ці характеристики є подібними одна до одної, і можна обмежитися визначенням лише однієї з них.

11. У роботі є низка стилістичних та орфографічних помилок: вживаються слова «величина» замість «значення»; «щільність» струму замість «густина «струму»; «країни-куратори метрології» і т.д.

Але зазначенні недоліки й зауваження не впливають на вагомість результатів дисертаційної роботи та їхню наукову та практичну значимість.

Висновок про відповідність дисертації вимогам Міністерства освіти і науки України

Дисертаційна робота Сичікової Я.О. є завершеною науковою працею і містить нове вирішення актуальної науково-прикладної проблеми створення нових методів оцінювання якості наноматеріалів для забезпечення їх конкурентоспроможності на світовому ринку, вдосконалення методів визначення рівня їх якості та дослідження складу та властивостей наноматеріалів з метою створення стандартних зразків складу та властивостей. За результатами роботи вже розроблено ряд нормативних документів, впровадження результатів підтверджує практичну цінність роботи.

Мета роботи, поставлені та розв'язані завдання досліджень, викладені основні наукові результати дають можливість зробити висновок про те, що дисертаційна робота відповідає спеціальності 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення.

Робота вносить суттєвий вклад у науку і має практичне значення. Викладені наукові результати свідчать про високий рівень кваліфікації автора. Зазначені недоліки й зауваження не впливають на вагомість результатів дисертаційної роботи та їхню практичну значимість.

На підставі проведеного аналізу дисертації «Науково-методологічні засади оцінювання якості її властивостей наноструктур на поверхні напівпровідників» можна зробити висновок про те, що за актуальністю, науковим рівнем, отриманими науковими результатами та практичною цінністю робота відповідає вимогам п. 9, 10, 12 – 14 Постанови КМУ «Порядок присудження наукових ступенів» від 24.07.2013 № 567 (зі змінами), які ставляться до докторських дисертацій, а її автор Сичікова Яна Олександрівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення.

Професор кафедри
Інформаційно-вимірювальних технологій
Національного університету
«Львівська політехніка»
д.т.н., професор,

Гоц Н.С.

Погоджено:
Підпис професора Гоц Н.С. засвідчую:
Секретар Вченої ради
Національного університету
«Львівська політехніка»
к.т.н., доцент



Брилінський Р.Б.