

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертацію Чалої Олени Олександрівни

«Технологічне забезпечення якості підкладок функціональних компонентів мікрооптоелектромеханічних систем»,

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки

Актуальність.

Мікрооптоелектромеханічні системи (МОЕМС) стають все популярнішими з кожним роком, це обумовлено постійно зростаючою необхідністю передачі великих об'ємів інформації з великою швидкістю на значні відстані. Сучасні МОЕМС включають у себе не лише джерела світла та лінії передачі, а і велику кількість підсилювачів, комутаторів, мультиплексорів, демультимплексорів та інших компонентів.

У процесі виробництва перерахованих компонентів надзвичайно важливим є забезпечення якості виготовлення функціональних підкладок, оскільки саме вони суттєво впливають на втрати, що виникають в оптичних системах, які у свою чергу впливають на дальність, точність, швидкість передачі інформації та довговічність телекомунікаційних систем.

У наш час, на жаль, відсутні комплексні підходи до технологічного забезпечення якості функціональних підкладок на етапі їх виробництва. Таким чином, тематика дисертаційної роботи є вкрай важливою та необхідною для розвитку галузі сучасної електронної техніки.

Дослідження, результати яких викладені в дисертаційній роботі, проводилися відповідно до держбюджетних науково-дослідних робіт, виконаних у Харківському національному університеті радіоелектроніки, в яких авторка брала участь як виконавець та у рамках ініціативної науково-дослідної роботи: «Конструкторсько-технологічні основи створення перспективних компонентів мікроелектромеханічних систем і технологій їх



виробництва» (ДР № 0108U002216); «Теоретичні основи мікроелектромеханічних систем, проектування та технології їх виробництва для гнучких інтегрованих систем» (ДР № 0113U000358); «Створення мікрооптоелектромеханічних засобів для інтелектуальних технологічних систем промислового обладнання та робототехніки» (ДР № 0115U002433); «Створення мікрооптоелектромеханічних засобів для інтелектуальних технологічних систем промислового обладнання та робототехніки» (ДР № 0115U002433); «Безскладальні гнучко-жорсткі конструкції зі змінною конфігурацією для компонентів мікросистемної техніки інтелектуальних роботів» (ДР № 0219U001644), **що також підтверджує актуальність роботи.**

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.

Виконані авторкою дослідження базуються на всебічному та ретельному огляді наукових і практичних досягнень у галузі технологій виготовлення підкладок для компонентів МОЕМС. У дисертації визначена сукупність завдань для досягнення основної мети дисертаційної роботи, пов'язаної з технологічним забезпеченням якості підкладок функціональних компонентів (ФК) мікрооптоелектромеханічних систем, яке дозволяє підвищити якість ФК МОЕМС в цілому на основі досліджень фізико-технологічних параметрів і методів контролю елементів МОЕМС-перемикачів.

У першому розділі здобувачкою проведено аналіз стану проблеми технологічного забезпечення якості підкладок функціональних компонентів мікрооптоелектромеханічних систем, відповідність заданим характеристикам і параметрам яких залежить від технології їх виробництва. Зокрема аналізуються конструктивно-технологічні особливості МОЕМС-перемикачів оптичного сигналу, вимоги до технологічного процесу (ТП) їх виробництва, під час якого підкладки ФК піддаються складним механічним, термічним, фізичним і хімічним впливам, які значною мірою позначаються на властивостях сформованих на підкладках функціональних компонентів.

Поставлені основні завдання: теоретичний аналіз і моделювання фізико-технологічних параметрів ТП виготовлення підкладок, аналіз технологічних та експлуатаційних чинників, за результатами яких буде реалізовано можливість оцінки параметрів форми поверхні ФК МОЕМС і підвищення їх якості.

Другий розділ присвячено розробці фізико-технологічної моделі прогнозування дефектів підкладок функціональних компонентів мікрооптоелектромеханічних систем. З метою графічної візуалізації результатів моделювання та скорочення трудовитрат, зручності аналізу отриманої інформації про ТП виробництва підкладок ФК МОЕМС за запропонованими математичними моделями прогнозування дефектів розроблено програмний засіб для обробки даних про хід фізико-технологічних процесів виробництва підкладок.

Третій розділ дисертаційної роботи містить експериментальні дослідження параметрів технологічного процесу формоутворення підкладок функціональних компонентів мікрооптоелектромеханічних систем, які мають на меті підтвердження теоретичних досліджень, виконаних на попередніх етапах роботи. Для цього визначено перелік факторів і ступені їх впливу на формоутворення підкладки ФК МОЕМС. Проведено трифакторний експеримент і отримано математичну модель впливу режимів технологічних операцій шліфування та полірування на параметри формоутворення підкладок ФК МОЕМС. Адекватність отриманої моделі перевірено за допомогою критерію Фішера. На основі аналізу побудованих для підкладок поверхонь відгуків за різної комбінації факторів виготовлено експериментальні зразки з кремнію, оцінка зображень яких дозволяє судити про зменшення кількості дефектів на них за обґрунтованих режимів обробки їх поверхні.

У четвертому розділі авторкою проведено розробку методу контролю підкладок функціональних компонентів мікрооптоелектромеханічних систем та виконано експериментальну перевірку параметрів фізико-технологічних

операцій формоутворення на основі використання цього методу. Проведено експериментальне дослідження інтерференційного методу контролю поверхонь ФК МОЕМС із використанням фазового методу обробки даних. Для мінімізації шумових складових у вхідному сигналі досліджуваного фрагменту ФК проведено його фільтрацію з використанням функції Баттерворта.

П'ятий розділ дисертаційної роботи присвячено технологічному забезпеченню якості підкладок ФК МОЕМС, для чого авторкою проведено експериментальну перевірку фізико-технологічних параметрів підкладок ФК МОЕМС за критерієм якості. У даному розділі розроблено технологічний процес виготовлення підкладок ФК МОЕМС на основі запропонованих методів і комплект технологічної документації на даний ТП. Наведено результати промислового впровадження результатів дисертаційної роботи для забезпечення якості підкладок функціональних компонентів.

Достовірність одержаних результатів.

Достовірність результатів дослідження забезпечується наступним:

- використанням математичного та комп'ютерного моделювання фізико-технологічних процесів під час виробництва підкладок ФК МОЕМС – для розробки математичної моделі прогнозування виробничих дефектів і візуалізації отриманих результатів;
- використанням методів планування експерименту та регресійного аналізу, методів комп'ютерної обробки даних, цифрового комп'ютерного моделювання ТП – для розробки технології формоутворення;
- використанням середовищ моделювання для розрахунку числових масивів даних, реалізації інтерференційного методу з використанням рядів Фур'є та адаптивної фільтрації – для розробки ТП контролю;
- підтвердженням теоретичних результатів у моделюючих та експериментальних дослідженнях;
- достатнім рівнем апробації та освітленням у наукових виданнях.

Наукова новизна досліджень.

Основними узагальненими новими науковими результатами можна вважати:

– вперше запропоновано фізико-технологічну модель прогнозування дефектів підкладок функціональних компонентів мікрооптоелектромеханічних систем, яка враховує якість поверхневого шару підкладок і дозволяє прогнозувати параметри технологічного процесу, що можуть призвести до виникнення виробничих дефектів підкладок функціональних компонентів, а також коригувати технологічні процеси їх виготовлення;

– отримала подальший розвиток регресійна модель, яка враховує залежності між товщиною шару видалення дефектів підкладок функціональних компонентів мікрооптоелектромеханічних систем і факторами формоутворення: швидкістю, часом, зернистістю полірувальної пасти та їх комбінованою дією, що дає можливість визначити параметри поверхні функціональних компонентів мікрооптоелектромеханічних систем і підвищити їх якість;

– удосконалено інтерференційний метод у технологічному процесі контролю якості функціональних компонентів шляхом усунення супутніх складових у зображенні контрольованих зразків за рахунок запропонованого адаптивного цифрового фільтру, що дозволяє підвищити достовірність відтворення параметрів формоутворення функціональних компонентів мікрооптоелектромеханічних систем і розширити функціональні можливості методів технології контролю;

– набув подальшого розвитку метод ідентифікації екстремумів інтерференційних смуг зображень у технологічному процесі контролю поверхонь функціональних компонентів мікрооптоелектромеханічних систем, що відрізняється визначенням фазової функції зі співвідношення корисної та комплексно спряженої за Гільбертом складових сигналу, що дає можливість підвищити достовірність визначення параметрів форми поверхонь для забезпечення якості функціональних компонентів.

Повнота викладення основних результатів.

Основні наукові положення, результати, висновки та рекомендації дисертаційної роботи отримані авторкою самостійно. За темою дисертації опубліковано 27 наукових праць, у тому числі 12 статей у наукових виданнях України за фахом (серед яких 6 внесені до міжнародних наукометричних баз, у тому числі 1 стаття в базі Scopus), 2 статті у наукових виданнях інших держав, 1 розділ колективної монографії в державі Євросоюзу, 2 патенти України на корисну модель, 10 тез доповідей у збірниках праць міжнародних науково-технічних конференцій (серед них 4 реферовано в наукометричній базі Scopus).

Опубліковані праці повною мірою відображають матеріали дисертаційної роботи. Основні результати дисертаційної роботи здобувачки пройшли апробацію на достатній кількості різнорівневих наукових конференцій.

Автореферат дисертації повністю відповідає змісту дисертаційної роботи, висвітлює основні отримані результати, зроблені висновки.

Оцінка змісту дисертації.

Слід відзначити, що робота Чалої О. О. являє собою закінчене та цілісне науково дослідження з чіткою структурою та логічним викладенням матеріалу, написана технічно грамотно. Вона узагальнює та розвиває дослідження авторки, проведені у рамках виконання нею науково-дослідних робіт.

Дисертаційне дослідження направлене на розробку технологічного забезпечення та процесів для промислового виробництва приладів, елементів електронної техніки, контролю параметрів електронної техніки, чим відповідає формулі та пунктам паспорта спеціальності 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки (нові технологічні процеси й апаратура для промислового виробництва елементів функціональної електроніки (транзисторів, мікросхем, збірок, фотоелементів, п'єзоперетворювачів, термоелементів, сенсорних елементів; розроблення

нових технологічних процесів для промислового виробництва приладів електронної техніки, приладів контролю (вимірювання) параметрів електронної техніки).

Оформлення дисертації в цілому відповідає вимогам п.п. 9, 11-14 «Порядку присудження наукових ступенів». Стиль викладення матеріалів досліджень, наукових положень і висновків забезпечує їх сприйняття.

Разом із тим можна зазначити такі недоліки та зауваження до дисертаційної роботи:

1. У розділі 1, підрозділі «1.3 Вимоги до якості підкладок функціональних компонентів мікрооптоелектромеханічних систем» не розглянуто питання оптичної деградації.

2. У розділі 2, підрозділі «2.5 Розробка програмного засобу для обробки даних фізико-технологічних процесів виробництва підкладок функціональних компонентів мікрооптоелектромеханічних систем» відсутні конкретні приклади початкових умов для вибору того чи іншого варіанта ТП виготовлення підкладок із використанням запропонованого програмного забезпечення, наприклад тих, за яких проводилося дослідження з визначення трудовитрат на розрахунки за запропонованими фізико-технологічними моделями бажаних параметрів. Також не вказано, ким розроблено програмний продукт – особисто здобувачкою чи у співавторстві, немає інформації про наявність чи відсутність свідоцтва на авторське право на нього, а також про можливі шляхи його модернізації та розширення функціональних можливостей.

3. У формулах 2.1 та 2.2 не розшифровано всі компоненти формул.

4. У розділі 3 не зрозуміла обмеженість параметрів, що впливають на шорсткість, лише трьома: часом обробки, швидкістю обертання диску та зернистістю абразиву. Не враховані інші параметри, такі, наприклад, як: твердість абразиву, радіус шліфувального кола (або швидкість різання), подача шліфування, сила притиснення підкладки до шліфувального кола та інші.

5. На рисунку 3.6 зображено результат обробки поверхонь виготовлених зразків кремнієвих підкладок за обґрунтованих режимів шліфування та полірування, однак не вказано, за яких саме параметрів режимів виконувалася обробка та які результати вимірювання шорсткості поверхонь було отримано. Такі дані були б корисними для порівняння обраних режимів операцій формоутворення.

6. У розділі 4 на рисунках 4.7-4.11 відсутня розмірність параметру «Field Amplitude».

7. У розділі 5 рисунок 5.2 не має суттєвого змістовного навантаження, а ось зображення дослідного зразка – відбивної підкладки – не було б зайвим.

8. На жаль, робота не позбавлена деяких стилістичних неточностей і помилок, на які вказано автору.

До автореферату дисертаційної роботи здобувачки також є деякі зауваження, а саме:

1. У висновках автореферату вказано: «На основі проведених досліджень розроблено технологічний процес виготовлення підкладок ФК МОЕМС». Але в авторефераті не представлено розроблений ТП, хоча в тексті дисертації цьому питанню приділено достатню увагу. Для повноти розуміння результатів авторки з цього питання було б бажано навести у авторефераті схему розробленого ТП.

2. У тексті автореферату відсутній опис розроблених конструкцій дзеркал-відбивачів для запатентованих корисних моделей і детальні коментарі щодо них.

Проте, зазначені недоліки та зауваження не впливають на загальний високий науковий рівень дисертаційної роботи та можна зробити висновок, що дисертація Чалої О. О. є закінченою науково-дослідною роботою, в якій отримані не захищенні раніше нові науково обґрунтовані розробки, що в сукупності вирішують актуальну проблему розробки та впровадження на виробництві технологічного забезпечення якості підкладок функціональних компонентів мікрооптоелектромеханічних систем.

Загальні висновки.

За актуальністю теми, ступенем обґрунтованості та достовірності результатів, науковою новизною та практичним значенням представлена дисертаційна робота відповідає пунктам 9, 11-14 «Порядку присудження наукових ступенів» (постанова КМУ від 24.07.2013 р. № 567) щодо кандидатських дисертацій і пунктам 2 та 3 паспорта спеціальності, а її авторка Чала Олена Олександрівна заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки.

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук,

Начальник відділення мікроелектроніки –

заступник головного конструктора

товариства з обмеженою відповідальністю

«Науково-виробниче підприємство «ЛТУ»



М. А. Проценко

Підпис Проценка М. А. засвідчую:

Генеральний директор

ТОВ «Науково-виробниче підприємство «ЛТУ»



Г. І. Нікітський