

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Палагіна Віктора Андрійовича «Методологічні основи проектування технологій виробництва компонентів мікроелектромеханічних систем», поданої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки

Актуальність теми дисертації. На сьогодні мікроелектромеханічні системи (МЕМС) є одним з прогресивних напрямків мікросистемної техніки (МСТ), які в поєднанні з нанотехнологіями визначають тенденції розвитку сучасної електроніки. Перспективність мікроелектромеханічних систем у світі вже доведена цілим рядом виробів, які при МЕМС реалізації значно підвищили свої технічні характеристики та зменшили габаритно-масові показники, матеріалоємність та вартість виготовлення. В цьому зв'язку за оцінками відомих фахівців багатьох країн світу МЕМС та нанотехнології визначатимуть науково-технічний потенціал та пріоритет держав у світовому співтоваристві.

Стимулювання та розвиток цього напрямку в Україні є вкрай нагальною необхідністю. В цьому плані успіхи можуть бути забезпечені при комплексному вирішенні низки проблем: розвитку теоретичної бази, яка пояснює основні принципи створення мікроелектромеханічних пристрій, підготовку інженерно-технічних кадрів, організацію технопарків, оснащених сучасними науково-аналітичними приладами, створення науково-виробничих фірм, забезпечення державного фінансування науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт. З іншого боку МЕМС-техніка нового більш складного рівня, що використовує результати великої кількості фундаментальних наук, тому потребує більш ретельної організаційно-методологічної підготовки виробництва.

Дисертація Палагіна В.А. направлена на створення методологічних основ проектування технологічних процесів виробництва компонентів МЕМС, які мають забезпечувати підвищення їх ефективності шляхом врахування змін електрофізичних характеристик виробів за рахунок конвергенції явищ фізичної природи, зміни співвідношення діючих сил в процесі мініатюризації, можливості прогнозування виходу придатних компонентів, вибору кращого варіанту та моніторингу технологічного процесу. З огляду на це робота Палагіна В.А. „Методологічні основи проектування технологій виробництва компонентів мікроелектромеханічних систем”, що направлена на вирішення цієї проблеми є, безумовно, актуальною.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій. Виконане автором дослідження базується на ретельному всебічному огляді наукових та практичних досліджень в галузі мікроелектромеханічних систем. В дисертації визначена сукупність завдань для досягнення основної мети дисертаційної роботи, пов'язаної з підвищенням ефективності проектування технологій виробництва компонентів мікроелектромеханічних систем шляхом закладення методологічних основ, які враховують зміни електромеханічних

ХНУРЕ

Вхідний № 0127-1002
“15” 06 2016 р.

характеристик виробів за рахунок конвергенції явищ різної фізичної природи, зміни співвідношення діючих сил при мініатюризації компонентів, можливості прогнозування виходу придатних компонентів, вибору кращого варіанту та моніторингу технологічного процесу. Узгодженість теоретичних висновків і експериментальних результатів, апробація запропонованих автором рішень, а також їх публікації у фахових наукових виданнях підтверджує достовірність результатів дисертаційної роботи. Висновки та рекомендації, які сформульовані в дисертації, є достатньо обґрунтованими, а їх достовірність підтверджується результатами застосованих сучасних теорій проектування технологій виробництва МЕМС. В роботі широко використовуються сучасні методики досліджень, засоби моделювання та обробки даних. Це дозволяє зробити висновок про обґрунтованість наукових положень і достовірність отриманих результатів.

Структура та зміст дисертації. Зміст дисертації належним чином відображає мету роботи, основні завдання, проведено теоретичні та експериментальні дослідження та отримано науково-технічні результати прикладного характеру.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану та проблем розвитку мікроелектромеханічних систем для різних сфер застосування. Такими сферами стали: космічна, військова, медична, автомобільна, ІТ-техніка, пристрії для наукових досліджень, мікроробототехніка, побутова техніка.

Відзначається, що рівень технології суттєво визначається використанням разом з традиційними сучасних матеріалів, та наведені властивості тих груп матеріалів для МЕМС, які мають унікальні електрофізичні характеристики.

Надана класифікація технологій виготовлення МЕМС компонентів, та зроблені висновки про необхідність використання різних відомих технологій для отримання сучасних компонентів та систем.

Рівень розвитку МЕМС у світі вважається високим, стабільним та динамічним. Річні темпи росту складають 14%.

Сформульовані проблеми дослідження, серед яких вказана необхідність створення методологічних основ проектування компонентів МЕМС.

У другому розділі проведений аналіз законів зміни дії видів сил в компонентах МЕМС: поверхневого натягу, сил гравітації, інерції, пружності твердих тіл, електростатичної, електромагнітної взаємодії, тертя – при пропорційному зменшенні лінійних розмірів тіл.

Визначені особливості низки відомих явищ різної фізичної природи, які з успіхом можуть використовуватись в МЕМС.

Серед фізико-математичних основ вибрані принципи ізоморфізму, електромеханічних аналогій, теорії подібності та розмірностей фізичних величин.

У якості критеріїв подібності вибрані так звані характеристичні числа (Коші, Вебера, Фруда, Фур'є, Рейнольдса), які представляють собою безрозмірні відношення різних видів сил, і для мікро- та макрокомпонентів мають одні й ті ж значення. Прослідковано залежності відомих електричних величин і різних сил при пропорційному зменшенні лінійних розмірів компонентів.

«Вектор сил», введений математиком В. Тримером, дозволяє продемонструвати зміну залежних від основних параметрів системи величин: прискорення, швидкодії, питомих значень потужності та втрат.

Продемонстровані такі зміни електрофізичних властивостей:

- механічні компоненти та теплові стають швидкими, малоінерційними;
- електростатичні двигуни – ефективнішими від електромагнітних;
- консольні мікробалки – чутливими елементами.

Всі ці перетворення при сумісному використанні електричних та механічних величин є свідоцтвом того, що конвергенція різних фізичних явищ є принципом створення МЕМС-компонентів.

У третьому розділі розроблені математичні моделі мікроелектромеханічних компонентів: мікробалок, ємнісних актоаторів, резонаторів та п'єзоперетворювачів.

Вибрані найбільш поширені компоненти, що входять до складу більш складних компонентів. Показана взаємодія сил механічної пружності, ваги та електростатичних сил у типових конструкціях компонентів.

Можливо порівняти розміри мікрокомпонентів із звичними макрокомпонентами. Надані приклади «складних» плоских пружин в конструкціях.

У п'єзоперетворювачі показана ефективність перетворення механічної енергії в електричну (в цілому незначна), та шляхи підвищення прямого п'єзоefекту.

У четвертому розділі розроблений рекурентний метод прийняття оптимальних рішень для моніторингу ТП у виробництві МЕМС за критерієм максимізації виходу придатних виробів.

Дискретний ТП подається у вигляді кінцевомірної стохастичної системи, яка визначається сукупністю об'єктів $\{E, Y, Q, \Pi, R\}$, де E – множина станів, Y – множина керувань, Q – множина переходів ймовірностей, що описують переходи зі стану x_i в z_i ; за фікованих керувань y ; Π – множина правил вибору рішень; R – множина наслідків вибору управлінь (доходи, виграші, збитки).

Визначені оператори безпосередніх виграшів, доходів на t -кrocakах, заключних виграшів, зв'язку цих величин, операторів порівняння дії різних керувань, що в цілому при кінцевий множині станів і управлінь дозволяє вибрати оптимальну стаціонарну стратегію моніторингу технологічного процесу.

У п'ятому розділі запропонована статистична теорія прийняття байєсівських рішень для вибору кращого варіанту технологічного процесу (технічного рішення) з множин розглянутих альтернатив за критерієм мінімальних витрат та розроблений метод прогнозування виходу придатних компонентів МЕМС на основі базових конструктивних елементів, який здатен співвідносити цей показник виробництва з конструктивно-технологічними рішеннями компонентів. Методи апробовані у низці застосувань.

Шостий розділ включає результати розробки нетрадиційних МЕМС підміkalьних пристройів для контролю електричних параметрів компонентів МЕМС та компонентів BGA/CSP, створених з застосування принципу конвергенції різних фізичних явищ.

На основі властивостей повітряного середовища створювати рівномірний тиск у замкненому об'ємі, передачі тиску через гнучку плівку на зонди, виконані у формі кульок на провідниковых елементах гнучкого шлейфу, отримано багатозондові підмікальні пристрої, що мають ряд переваг над аналогічними пристроями, а саме: забезпечення підвищення надійності електричного контролю компонентів, самоконтроль, підключення кожного зонда до виробу, що контролюється, суттєве спрощення конструкцій підмікальних пристройів.

Основні результати, практичне значення та їх наукова новизна:

До основних здобутків роботи слід віднести:

1. Розробку методологічних основ проектування технологій виробництва компонентів мікроелектромеханічних систем, що дозволяє підвищити ефективність виробництва, за рахунок:

- обґрутування принципу конвергенції різних фізичних явищ, зокрема, електричних і механічних, як творчого методу створення МЕМС-компонентів з поліпшеними електрофізичними властивостями;
- виявлення впливу зменшення лінійних розмірів компонентів на співвідношення сил, що взаємодіють у компонентах МЕМС;
- розробки математичних моделей ряду типових компонентів МЕМС;
- розробки рекурентного методу прийняття рішень у стохастичних системах для моніторингу технологічних процесів виробництва компонентів МЕМС;
- обґрутування методу вибору кращого технологічного процесу з альтернативних варіантів на основі байесівських статистичних рішень;
- розробки методу прогнозування виходу придатних компонентів за їх конструктивними компонентами;
- створення на основі об'єднання різних фізичних величин методу розробки багатозондових підмікальних пристройів для операції автоматизованого контролю електричних параметрів багатошарових структур та електронних компонентів з матричними виводами.

2. Визначення конвергенції різних фізичних явищ у мікромініатюрних виробах, з урахуванням зменшення лінійних розмірів компонентів і зміни співвідношень дії різних сил, що дає можливість створення принципово нових технічних рішень для поліпшення електрофізичних характеристик мікрокомпонентів і техніко-економічних показників їх виробництва.

3. Розробку методу і технології виготовлення багатозондових підмікальних пристройів для автоматизованого контролю електричних параметрів багатошарових комутаційних плат та електронних компонентів з матричними кульковими виводами типу BGA/CSP шляхом синтезу технологій виготовлення шлейфів на гнучкому плівковому носії, технології виготовлення матричних кулькових виводів та технології тиснення через повітряну подушку, що забезпечує підвищення надійності контролю.

Оцінка змісту дисертації:

Варто відзначити, що робота Палагіна В.А. є закінченим і цілісним дослідженням з чіткою структурою і логічним викладом матеріалу, написана технічно грамотно. Вона узагальнює і розвиває дослідження автора, започатковані у науково-дослідних роботах.

Автореферат повністю висвітлює зміст дисертації, її мету та наукову новизну. В ньому подано коротку інформацію про кожний з розділів дисертації, а також інші необхідні дані. Дисертація та автореферат оформлені у відповідності до вимог, які ставляться до докторських дисертацій.

Дисертаційні дослідження направлені на розробку методології проектування технологій виробництва компонентів мікроелектромеханічних систем, що відповідає паспорту спеціальності 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки.

Оформлення дисертації в цілому відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567.

Стиль викладу матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття.

Повнота опублікування основних результатів дисертації.

Результати дисертації опубліковані в 57 наукових працях, з них статей у фахових журналах – 26, 1 монографія, 2 підручники з грифом МОН України, 9 патентів України та 5 публікацій, що входять до наукометричних баз Scopus та ін. Аналіз внеску автора в публікації з питань, висвітлених в дисертації, показав, що внесок Палагіна В.А. є значним. Основні результати дисертаційної роботи отримані здобувачем особисто.

Зауваження до результатів роботи та їх викладу.

Як і кожна наукова праця, розглянута дисертація не позбавлена певних недоліків. Серед них, на мою думку, варто відзначити:

- обмеженість інформації, щодо результатів проміжних апостеріорних розподілів вибору найкращого варіанту технологічного процесу за критерієм вартості;
- не вказано причин переходу від чотирьохточкової форми зонду багатозондового підмікального пристрою до двохточкової;
- відокремленість напряму досліджень властивостей компонентів при мікромініатюризації від методів забезпечення високого виходу придатних компонентів;
- робота перевантажена подробицями опису існуючих технологій та матеріалів (перший розділ);
- 22% відсотки від основного обсягу дисертації займає перший розділ дисертації при рекомендованому обсязі 20%;
- присутні деякі відхилення від ДСТУ 3008-95;
- до рис. 2.6 та рис. 2.7 відсутні пояснення.

Загальна оцінка дисертації. В дисертації Палагіна Віктора Андрійовича «Методологічні основи проектування технологій виробництва компонентів мікроелектромеханічних систем» отримані нові наукові результати в галузі технології і проектування сучасних МЕМС. В наукових публікаціях В.А.Палагіна повністю викладено основні результати його дисертаційної роботи. Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертації. Загальний науковий рівень дисертації безумовно високий. Вважаю, що за актуальністю теми, ступеню обґрунтованості і достовірності результатів, наукової новизни і практичному значенню дисертаційна робота Палагіна В.А. «Методологічні основи проектування технологій виробництва компонентів мікроелектромеханічних систем» є завершеною самостійною науковою працею, яка відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ№ 656 від 19.08.2015, № 1159 від 30.12.2015), а її автор Палагін Віктор Андрійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.27.06 – технологія, обладнання та виробництво електронної техніки.

Завідувач кафедри напівпровідникової електроніки
Національного університету «Львівська політехніка»,
Лауреат Державної премії в галузі науки і техніки України,
доктор технічних наук, професор

А.О. Дружинін

Підпис проф. Дружиніна А.О. застосуючи
Вчений секретар НУ «Львівська політехніка»
кандидат технічних наук, доцент

Р.Б.Брилинський

