

- механика», Москва. 2013.
- Петров В. Ф. Структура системы дистанционного управления роботами. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/struktura-sistemy-distantsionnogo-upravleniya-robotami/viewer> (дата звернення 15.11.2021).
 - Романов А.М. Обзор аппаратно-программного обеспечения систем управления роботов различного масштаба и назначения. Часть 1. Промышленная робототехника // Russian Technological Journal. – 2019. Т. 7. – №5. – С. 30-46 URL: <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2019-7-5-30-46> (дата звернення 15.11.2021).
 - Beskorovainyi V. Combined method of ranking options in project decision support systems // Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. – 2020. – No. 4 (14). P. 13-20. URL: <https://itssi-journal.com/index.php/itssi/article/view/230> (дата звернення 15.11.2021).
 - Beskorovainyi V. V., Petryshyn L. B., Shevchenko O. Yu. Specific subset effective option in technology design decisions // Applied Aspects of Information Technology. 2020. Vol. 3. No.1. P. 443-455. URL: <https://aait.opu.ua/?fetch=articles&with=info&id=40> (дата звернення 15.11.2021).
 - Обзор: шагающие роботы. URL: <https://triolcorp.ru/blog/post/obzor-shagayushchie-roboty> (дата звернення 15.11.2021).
 - Development of Walking Machines; Historical Perspective. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-2204-2_28 (дата звернення 15.11.2021).

Науковий керівник: Безкоровайний Володимир Валентинович, д.т.н., професор кафедри КІТАМ Харківського національного університету радіоелектроніки.

УДК 621.3.049.77

ЗАСТОСУВАННЯ КОНВЕРГЕНЦІЇ ДЛЯ МЕМС АКТЮАТОРІВ

Гніденко О. Ю., Бадаєв О. С.

Харківський національний університет

радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14

E-mail: oleh.hnidenko@nure.ua; oleksandr.badaiev@nure.ua

Анотація: Мікроелектромеханічні актюатори складаються з пристроїв різноманітної фізичної природи, таких як авіа-, гідро-, акусто-, механічна, опто-, електричні і т.д. та його особливих якостей. Конвергенція такого пристрою у єдине ціле являється основним принципом технології мікросистем. Гнучкість має істотне значення у мікродоменах та є базою для систем з розподіленими та зосередженими гнучкими елементами.

Ключові слова: мікроелектромеханічні актюатори, конвергенція, технологія мікросистем, мікромініатюризація.

APPLICATION OF CONVERGENCE FOR MEMS ACTUATORS

O. Hnidenko, O. Badaiev

Kharkiv National University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, Nauky av.,14

E-mail: oleh.hnidenko@nure.ua; oleksandr.badaiev@nure.ua

Annotation: Microactuators consist of devices different physical nature such as air-, hydro-, acoustic-, mechanical, opto-, electrical, etc and its special qualities. Convergence such device in single whole is main principle of microsystems technologies. Flexibility is great value in microdomain and is base for systems with distributed and concentrated flexible elements.

Keywords: microelectromechanical actuators, convergence, microsystems technology, microminiaturization.

Основними видами компонентів мікросистемної техніки (МСТ) є сенсори та актюатори. Напрямок робіт, пов'язаний зі створенням мікроманіпуляторів, мікророботів та малих машин є дуже важливим зважаючи на їх високі показники точності маніпулювання, швидкодії, рівню керованості, інтелектуальності та низькому споживанню енергії, матеріалоємності, вартості при масовому виробництві [1].

Ефективними сферами застосування мікроактюаторів є хірургія і медицина взагалі, космічна та військова техніка, приладо- та машинобудування, інтелектуальні технології, побутова техніка, техніка, що працює в надзвичайних ситуаціях.

Актуальною задачею є створення базового комплексу типових компонентів таких як мініатюрні приводи, перетворювачі енергії, мікромеханічні з'єднувачі з робочим інструментом, інструмент надзвичайної твердості.

Враховуючи вплив скейлінгу, згідно «вектору сил» [2] $F = [L_1, L_2, L_3, L_4]^T$, який вказує на швидкість зменшення сил від зменшення розмірів, ефективними джерелами енергії для мікроактюаторів стають електростатичні, п'єзоелектричні, електро-мікрорідинні сили, реактивні сили термічних процесів, сили поверхневого натягу та сили, що завдаються тиском газів та рідин. Малоефективними стають сили електромагнітної взаємодії.

Нижче наведений перелік різних фізичних явищ та створюваних ними сил, які в різних сполученнях їх в МСТ можуть забезпечити поліпшення властивостей мікропристроїв у порівнянні макроаналогами:

- повітряні (аеро-, газові) середовища характеризуються статичним тиском, динамічною можливістю створювати підйомну та реактивну силу, здатність проникнення в мікро- та мезопори, проміжки, передавати звукові, електромагнітні та світлові хвилі;

- акустичні середовища здатні змінювати свої властивості під дією механічних сил та електричної напруги (прямий та зворотній п'єзоєфекти), електрострикція, інтроскопія УЗ та мегазвуковими хвилями, перетворення енергії механічної, електричної, звукової; взаємодія акустичних та електромагнітних хвиль, інтенсивність УЗ коливань пропорційна квадрату частоти;

- гідравлічні (рідинні) – поверхневий натяг, тиск, капілярні сили, кавітація, гідроудар, гідроакустичні хвилі, мала стискаємість, різні фазові стани та їх зміна, гідростатичні сили, реактивні сили горіння;

- механічні явища та відповідні їх характеристики – вага (маса), інерція, жорсткість при різних видах деформації (розтяг, стискання, згин, зсув, крутіння, зріз), узагальнені сили, які залежать від конфігурації деформуємих (рухливих) елементів, зосереджені та розподілені пружності керована конфігурація деталей, збільшення швидкодії при мініатюризації, беззбірні структури, кристалічний та аморфний стан, анізотропія властивостей;

- оптичні явища – прозорість, поглинання, заломлення, відбиття, випромінювання, фотозбудження, керування характеристиками за допомогою механічних, електричних, магнітних, хімічних дій, перетворення сонячної енергії, ВОЛЗ, активні та пасивні компоненти телекомунікацій, мініатюрні оптоз'єднувачі;

- фотонні явища – збудження, ініціалізація, іонізація, полімеризація, поліконденсація, фотосинтез, люмінесценція, когерентне випромінювання, оптична розв'язка, дистанційна дія та обробка матеріалів, зміна властивостей матеріалів, лазерне охолодження;

- електричні явища – електростатичні, електродинамічні, гальванічні, електромагнітні та інші види дій та взаємодії;

- магнітні явища – різні види магнітоопору (балістичний, гігантський, колосальний, тунельний, екстраординарний), особлива поведінка феромагнітних рідин;

- термoeфекти: (тепло) Джоуля – Ленца, Зеєбека, Пельтьє, тепловий запис інформації, ІЧБ, датчики високих температур, перегріта рідина, горіння, напрямлений та не напрямлений вибух, (крио) надпровідність, конденсат Бозе – Ейнштейна, матеріали з запам'ятовуванням форми, нульові коливання;

– хемоефекти – окислення – відновлення, іонізація, каталіз, гальванічні процеси, полімеризація, самоскладання, самовідновлення, переключення електропровідності та інші;

– мікроелектроніка – основні технологічні операції (вакуумні методи нанесення, фотолітографія, мікрозварювання, лазерної, електронної, іонної та плазмової обробки, наноімпринтінг);

– атомно – молекулярні – самореплікація, самоорганізація, самовідновлення, цілеспрямований фізико-хімічний синтез, напівпровідникові ефекти, нульові коливання, конденсат Бозе – Ейнштейна, полімеризація, поліконденсація;

– нові матеріали – матеріали з інтелектуальними властивостями, нові стани речовини (квантові точки, стрижні...), графен, графан, фулерени, ВНТ, пористі кераміки, органічні мало дефектні полімери, ДНК, фотонні кристали, мікроструктуровані оптичні волокна, феромагнітні рідини, перовскітові плівки.

Аналіз фізико-математичних основ мікромініатюризації компонентів, що входять до складу МЕМС, а також об'єднання в одному чипі (корпусі) пристроїв різної природи: механічних, електричних (електронних), акустичних, оптичних, магнітних, теплових, аеро-, гідро, хімічних та інших взаємодіючих компонентів МСТ (МЕМС, МАЕМС, МОЕМС, МРЕМС) приводять до зміни електрофізичних параметрів систем. Саме цілеспрямована конвергенція (сумісне використання) діючих явищ різної фізичної природи з урахуванням зменшення лінійних розмірів і аналогій фізичних процесів є основним принципом створення компонентів мікросистемних пристроїв.

Зменшення розмірів мікроблоків та їх компонентів ускладнює процеси складання пристроїв. З метою вирішення проблем трудоемності складання та підвищення надійності розробляються основи теорії безскладальних гнучких пристроїв на основі аеро-, гідростатичних, електростатичних, п'єзоелектричних та інших ефектів [3]. Прикладами такої техніки є об'єкти живої природи. Черв'яки, восьминоги, хобот слона та багато інших істот слугують прототипами безскладальних та одночасно надзвичайно універсальних «механізмів» і взірцями для втілення.

Корисною властивістю таких конструкцій є гнучкість, яка використовується для збереження міцності в протилежність звичному для техніки способу зміцнення за рахунок збільшення розмірів, маси, використання надміцних матеріалів тощо. При цьому варіанти використання гнучкості можуть бути різними: гнучкість може бути розподіленою (як у лука для стрільби), гнучкість може бути зосередженою (як у цільній конструкції корпус-плоска пружина-кришка), гнучкість, що забезпечує змінність форми, морфінг (крило літака, човна), аеро- та гідростатичні каркаси, космічні платформи станцій великої площі, платформи морського видобутку нафти, панелі фотоелектричних батарей).

Змінність форми досягається комбінованим використанням перших двох форм гнучкості.

МЕМС конструкції такого типу демонструють надзвичайно високу надійність. Так, пристрій для оптичного перемикавання (фототиристор), який змінює кут повороту дзеркала та напрям світлового сигналу, створено у вигляді монолітного підсилювача руху, спроможного при з'єднанні з електростатичним двигуном забезпечити пересування на 20 мкм. Підсилювач виготовлено з монолітного полікремнію. При випробуваннях на 10^{10} перемикань не було жодного збою. Слід зазначити, що гнучкість елементів конструкції заощаджує значну кількість матеріалів, які потрібні для виготовлення актуаторів. Це дає можливість використання у конструкції більш якісних матеріалів, наприклад, дорогоцінних металів, що сприяє підвищенню надійності пристроїв.

Гнучкі конструкції з гідростатичним каркасом витискають роботів – змії з рухомо-з'єднаними елементами і знайдуть широке застосування в гнучких і безпечних для людини маніпуляторах промислових роботів.

Гнучкі конструкції виготовляються як монолітні структури придатні для масового виготовлення, наприклад, у вигляді рою комах, бджіл, мурашок.

Застосування актюаторів у вигляді множини однотипових або ієрархічно організованих структур дозволить виконувати складні функції навіть з втратою деякої підмножини керованих об'єктів.

Гнучкі безскладальні конструкції в майбутньому займуть в техніці визначне місце.

Висновки. Основним принципом створення МЕМС актюаторів високої ефективності є конвергенція діючих в межах одного пристрою явищ різної фізичної природи з урахуванням зменшення лінійних розмірів елементів та аналогій фізичних процесів. Гнучкі конструкції є ефективним засобом створення МЕМС актюаторів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Семенець В. В. Введення в мікросистемну техніку та нанотехнології. Підручн. для ВНЗ / В. В. Семенець, І. Ш. Невлюдов, В. А. Палагін // Харків.: СМІТ, 2011. 416с.
2. Trimmer, W.S.N. Sensors and Actuators / W.S.N. Trimmer// JSA, Volume 19, Number 3, September 1989, pp. 267–287
3. Кота Сридхар. Конструкции переменной формы /Сридхар Кота// «В мире науки» №7–8, 2014, С. 82–90.

Науковий керівник: Аллаxверанов Рауф Юсіфович, к.т.н., доцент кафедри КІТАМ Харківського національного університету радіоелектроніки.

УДК 004:67

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ОДНОЧАСНОГО 3D ДРУКУ ДЕКІЛЬКОМА МАТЕРІАЛАМИ

Боклаг Д. К.

Харківський університет радіоелектроніки

Україна, 61166, Харків, пр. Науки, 14

E-mail: danylo.boklah@nure.ua

Анотація: В даній роботі було розглянуто та описано конструкційні рішення 3D принтерів, що дозволяють одночасно використовувати декілька матеріалів для друку.

Ключові слова: 3-D друк, технологія, 3D принтер, матеріал, система.

TYPES OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR 3D PRINTERS THAT PRINT MULTIPLE MATERIALS SIMULTANEOUSLY

D. Boklah

Kharkiv University of Radio Electronics

Ukraine, 61166, Kharkiv, 14 Nauki Ave.

E-mail: danylo.boklah@nure.ua

Abstract: In this paper we have considered and described 3-D printer systems that allow the simultaneous use of several materials for printing.

Keywords: 3-D printing, technology, 3D printer, material, system.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ: На сьогоднішній день 3-D принтери мають велике розповсюдження в багатьох сферах нашого життя, технологія FDM друку відкриває Аможливість виготовлення складних конструкцій за низьку вартість. Сьогодні кожний власник 3-D принтеру має бажання модернізувати свій пристрій. На даний момент є велика кількість способів покращити свій 3-D принтер, одним із способів є встановлення hotend