

ЗАСТОСУВАННЯ САЕ-СИСТЕМ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРУЖНОГО ЕЛЕМЕНТА СЕНСОРА ЄМНІСНОГО ТИПУ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЙОГО ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ

© Лобур М.В., Теслюк В.М., Колесник К.К., Денисюк П.Ю., 2004

На основі розроблених скінченно-елементних моделей пружних елементів сенсора ємнісного типу досліджено їх напружено-деформований стан та функціональні можливості таких електромеханічних перетворювачів. Одержано аналітичні залежності для визначення максимальних напружень і переміщень від робочих тисків, геометричних розмірів та фізичних властивостей пружних елементів сенсорів ємнісного типу.

On a basis of developed finite-element models of the capacitance sensor's their deformed conditional and functionalities of such electromechanical converters are investigated. Analytical dependences for definitions of maximal stresses and deplacements from working strains, geometrical dimensions and physical properties of elastic elements of the capacitance sensors are carried out.

Вступ. До одних із основних компонентів мікроелектромеханічних систем (МЕМС) належать сенсори, більшу частину яких становлять електромеханічні сенсори [1]. Ці сенсори дають змогу сприйняти одну чи декілька вимірювальних величин (наприклад, тиск, температуру тощо) з подальшим перетворенням їх в електричні сигнали.

В електромеханічному сенсорі ємнісного типу, який застосовується для вимірювання тиску, перетворення сприйнятого тиску в зміну ємності проходить завдяки деформуванню пружної частини такого сенсора, яка може мати вигляд пластини з різними конструктивними параметрами [2]. Тому дослідження напружено-деформованого стану пружної частини сенсора за допомогою сучасних систем для автоматизованих інженерних розрахунків (САЕ), які дають змогу проводити обчислення методом скінченних елементів, є важливим етапом у визначенні його функціональних можливостей [3].

Моделювання. Для вимірювання тиску в навколишньому середовищі можна застосувати сенсор ємнісного типу, конструкцію якого зображено на рис. 1.

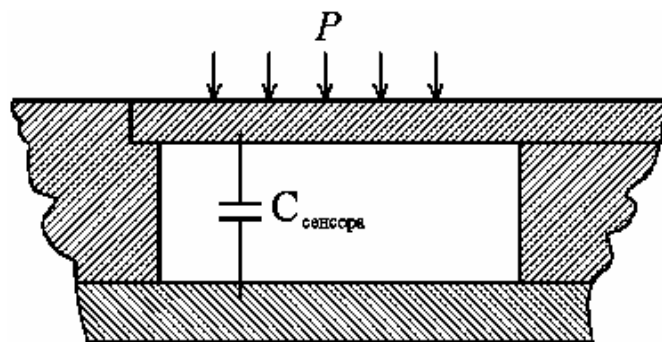


Рис. 1. Конструкція сенсора ємнісного типу для вимірювання тиску

Наведений сенсор дає змогу отримати вихідні параметри електричного сигналу з високою точністю порівняно з існуючими [2]. Принцип роботи такого сенсора базується на зміні ємності залежно від тиску зовнішнього середовища P . Якщо зростає тиск у довкіллі, то верхня пластина конденсатора прогинається і, відповідно, зменшується відстань між пластинами конденсатора, що призводить до зміни ємності. За цією зміною визначається тиск у довкіллі. Дослідити функціональні можливості сенсора тиску можна створенням скінченно-елементних моделей та подальшим розрахунком, аналізуючи їх напружено-деформований стан в сучасних системах для автоматизованих інженерних розрахунків (наприклад, COSMOS, ANSYS, ALGOR та інші) [4, 5].

Скінченно-елементні моделі для дослідження напружено-деформованого стану пружного елемента сенсора ємнісного типу створювалися на основі квадратної, круглої та прямокутних пластин. Під час формування крайових умов скінченно-елементної моделі переміщення вузлів, які розташовані на торцевих поверхнях пластини, в напрямках осей x , y , z , задаємо такими, які дорівнюють 0, а до робочої поверхні пружного елемента сенсора прикладаємо тиск (рис. 2).

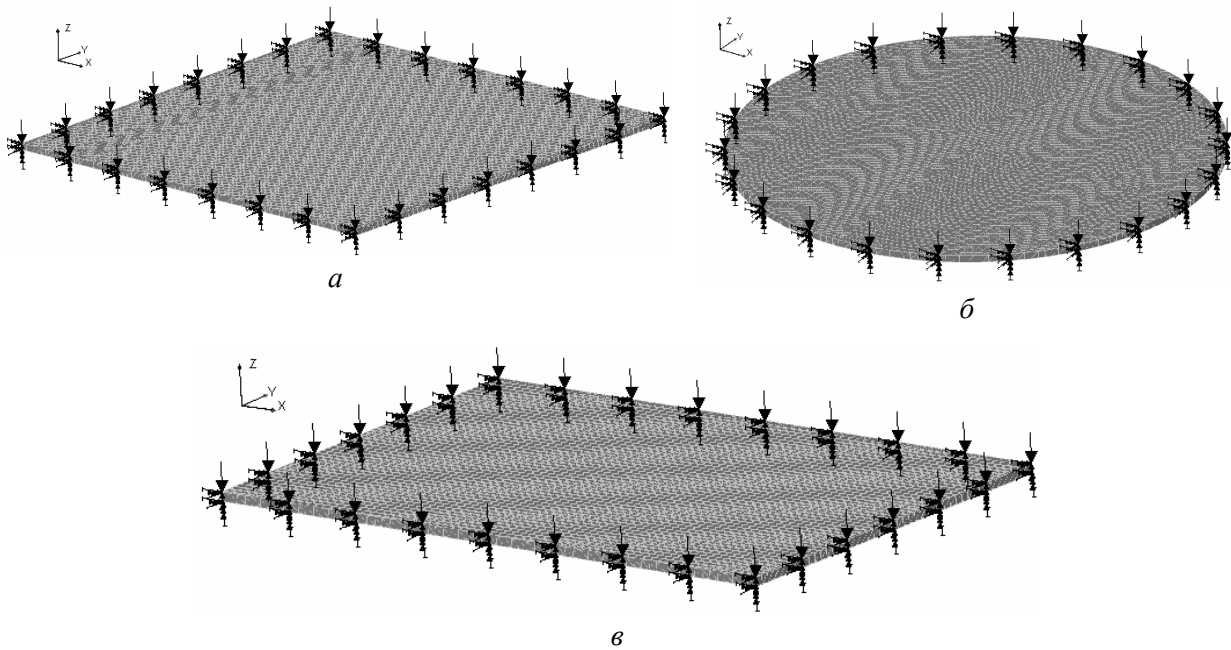


Рис. 2. Скінченно-елементні моделі для розрахунку напружено-деформованого стану пружного елемента сенсора у випадку, коли він має вигляд: а – квадратної пластини; б – круглої пластини; в – прямокутної пластини

Переважаючі пружні елементи у сенсорах тиску виготовляються з діелектриків, характеристики яких подано в табл. 1.

Таблиця 1

Властивості матеріалів з яких виготовляються пружні елементи сенсорів ємнісного типу

Матеріал діелектрику	Si	SiO ₂	Si ₃ N ₄
Модуль пружності E , ГПа	160	73	323
Густина ρ , 10 ³ кг/м ³	2,4	2,3	3,1
Коефіцієнт Пуассона μ	0,22	0,17	0,25
Допустимі напруження $[\sigma]$, ГПа	7	8,4	14

Аналіз одержаних результатів досліджень. Залежності максимальних напружень σ_{max} і переміщень z_{max} від геометричних розмірів, фізичних властивостей пружних елементів актюатора та тиску подано на рис. 3–5, а їх аналітичні залежності зведено в табл. 2. Під час досліджень довжини

сторін квадратної пластини та більшої сторони прямокутної пластини a (співвідношення сторін прямокутної пластини для розрахунків прийнято $3/2$) і діаметр круглої пластини d змінювали в межах 300–1000 мкм. Товщину пластин h змінювали в межах 10–50 мкм, а робочий тиск p , який сприймає сенсор, – в межах 0–30 атм.

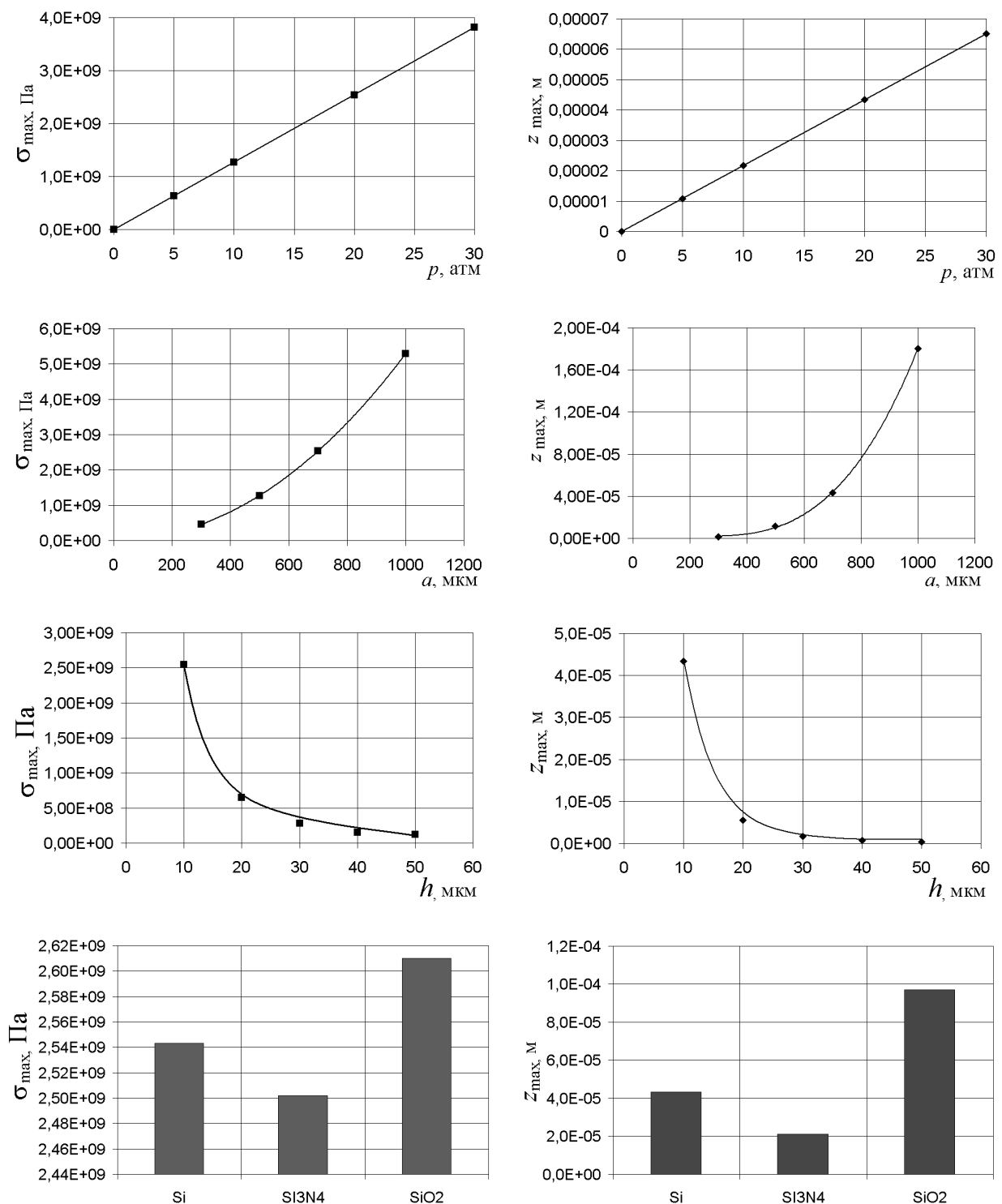


Рис. 3. Залежності максимальних напружень σ_{max} і переміщень z_{max} від тиску, геометричних розмірів та фізичних властивостей пружного елемента сенсора, що має вигляд квадратної пластини

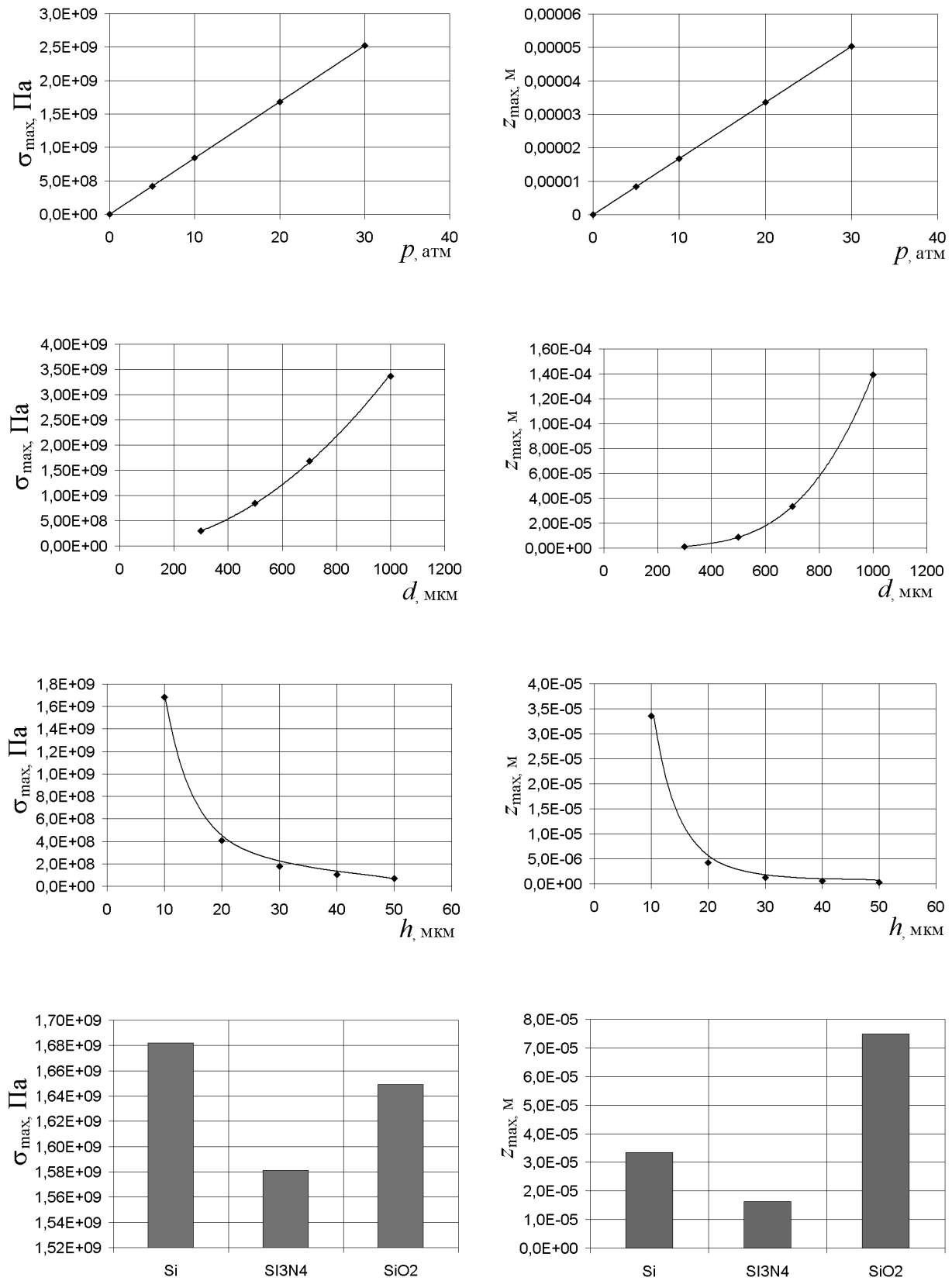
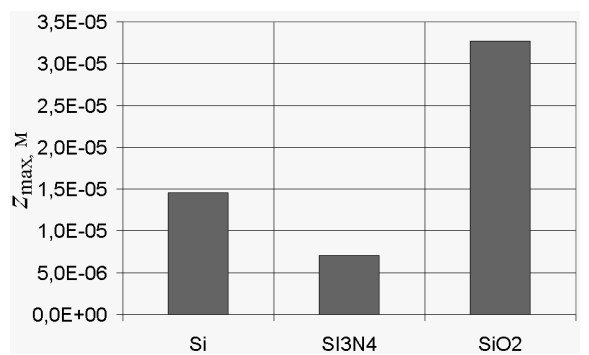
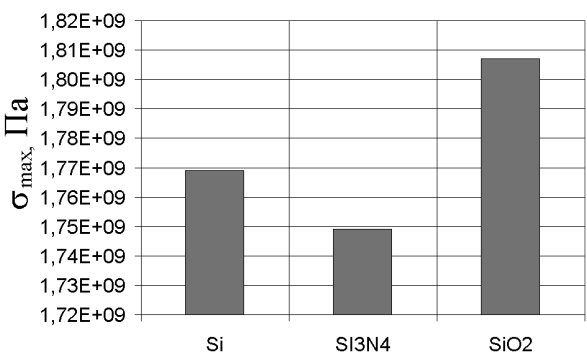
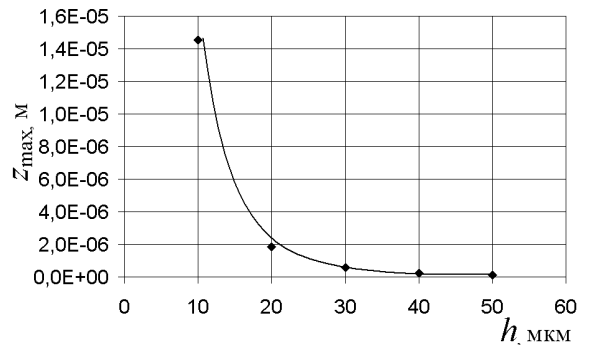
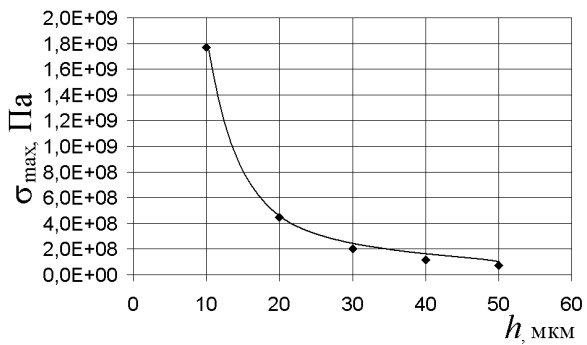
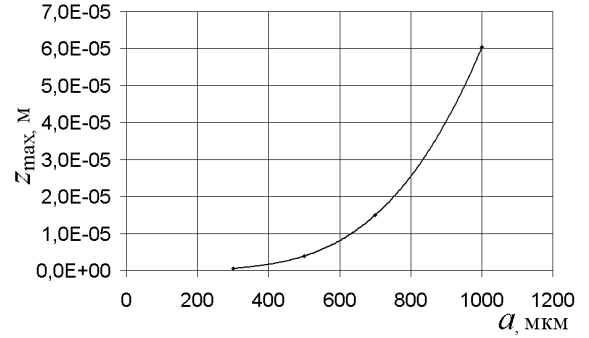
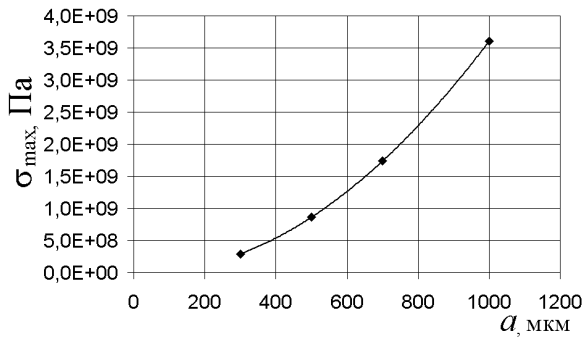
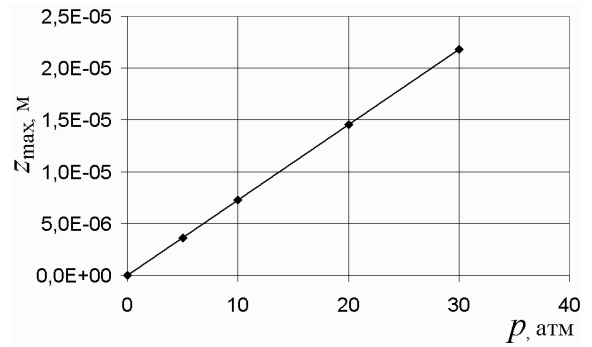
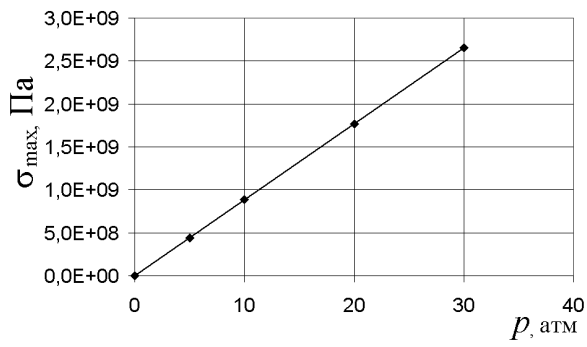


Рис. 4. Залежності максимальних напружень σ_{max} і переміщень z_{max} від тиску, геометричних розмірів та фізичних властивостей пружного елемента сенсора, що має вигляд круглої пластини



* – співвідношення сторін прямокутної пластини для розрахунків прийнято $a/b = 3/2$

Рис. 5. Залежності максимальних напружень σ_{max} і переміщень z_{max} від тиску, геометричних розмірів та фізичних властивостей пружного елемента сенсора, що має вигляд прямокутної пластини

**Аналітичні вирази для визначення максимальних напружень σ_{max} і переміщень z_{max}
від робочих тисків, геометричних розмірів та фізичних властивостей
пружних елементів сенсорів ємнісного типу**

Пружний елемент сенсора, що має вигляд квадратної пластини				
a , мкм	h , мкм	p , атм	σ_{max} , Па	z_{max} , м
–	10	20	$\sigma_{max} = 0,4872a^3 + 4742,5a^2 + 62630a$	$z_{max} = 3,6 \cdot 10^{-13}a^3 - 2,21 \cdot 10^{-10}a^2 + 4,08 \cdot 10^{-8}a$
700	–	20	$\sigma_{max} = 4,77 \cdot 10^3 h^4 - 6,9 \cdot 10^5 h^3 + 4 \cdot 10^7 h^2 - 9 \cdot 10^8 h + 8 \cdot 10^9$	$z_{max} = 1,2 \cdot 10^{-10} h^4 - 1,72 \cdot 10^{-8} h^3 + 9,04 \cdot 10^{-7} h^2 - 2,06 \cdot 10^{-5} h + 1,75 \cdot 10^{-4}$
700	10	–	$\sigma_{max} = 1,27 \cdot 10^8 p$	$z_{max} = 2,17 \cdot 10^{-6} p$
Пружний елемент сенсора, що має вигляд круглої пластини				
d , мкм	h , мкм	p , атм	σ_{max} , Па	z_{max} , м
–	10	20	$\sigma_{max} = 2998,4d^{2,0186}$	$z_{max} = 3 \cdot 10^{-13}d^3 - 3 \cdot 10^{-10}d^2 + 1 \cdot 10^{-7}d - 10^{-5}$
700	–	20	$\sigma_{max} = 3184,5h^4 - 466017h^3 + 3 \cdot 10^7 h^2 - 6 \cdot 10^8 h + 6 \cdot 10^9$	$z_{max} = 9 \cdot 10^{-11} h^4 - 1 \cdot 10^{-8} h^3 + 7 \cdot 10^{-7} h^2 - 2 \cdot 10^{-5} h + 0,0001$
700	10	–	$\sigma_{max} = 8 \cdot 10^7 p$	$z_{max} = 2 \cdot 10^{-6} p$
Пружний елемент сенсора, що має вигляд прямокутної пластини				
a , мкм	h , мкм	p , атм	σ_{max} , Па	z_{max} , м
–	10	20	$\sigma_{max} = -0,1201d^3 + 3983,9d^2 - 276285d + 2 \cdot 10^7$	$z_{max} = 1 \cdot 10^{-13}d^3 - 10^{-10}d^2 + 4 \cdot 10^{-8}d - 4 \cdot 10^{-6}$
700	–	20	$\sigma_{max} = 3355,2h^4 - 488617h^3 + 3 \cdot 10^7 h^2 - 6 \cdot 10^8 h + 6 \cdot 10^9$	$z_{max} = 4 \cdot 10^{-11} h^4 - 6 \cdot 10^{-9} h^3 + 3 \cdot 10^{-7} h^2 - 7 \cdot 10^{-6} h + 6 \cdot 10^{-5}$
700	10	–	$\sigma_{max} = 9 \cdot 10^7 p$	$z_{max} = 7 \cdot 10^{-7} p$

Під час аналізу напружено-деформованих станів досліджуваних пружних елементів сенсорів ємнісного типу встановлено:

- у наведених діапазонах зміни геометричних, фізичних параметрів пружних елементів сенсора та робочого тиску, який він сприймає, максимальні напруження σ_{max} (напруження за енергетичною теорією зміни форми) не перевищують допустимі напруження, які наведені в табл. 1;
- виготовлення мікросенсорів ємнісного типу з двооксиду кремнію SiO_2 у порівнянні з іншими розглянутими матеріалами дозволить збільшити податливість пружного елемента сенсора вдвічі і, як наслідок, забезпечити одержання більш якісного вихідного електричного сигналу, наприклад, для засобів керування МЕМС;
- зростання габаритних розмірів пружного елемента електромеханічного перетворювача (сенсора) дає змогу значно збільшити його функціональні можливості, однак це зростання є обмеженим в мікроелектромеханічних системах;
- пружний елемент сенсора ємнісного типу, який має вигляд квадратної пластини, дозволяє забезпечити найбільшу податливість, порівняно з іншими розглянутими виглядами пружних елементів електромеханічного перетворювача.

Висновки. Виготовлення сенсорів ємнісного типу з двооксиду кремнію дає змогу значно збільшити податливість та достатню міцність їх пружних елементів, при цьому необхідно надавати перевагу у застосуванні в мікроелектромеханічних системах сенсорів з пружним елементом у вигляді квадратної пластини.

1. Hirata M., Suwazono S. and Tanigawa H. *Sensors and Actuators*. 13, 63 (1988). 2. Smith M.S., Bowman L. and Meindl J.D. *Analysis, design, and performance of micropower circuits for a capacitive*

pressure sensor IC // IEEE J. Solid-State Circuits. – Dec. 1986. – Vol. SC-21. – P. 1045–1056. 3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с. 4. Rusinski E. Metoda elementow skonczoney. System Cosmos. – М. – Warszawa: WKL, 1994. – 392 s. 5. Algor: Mechanical event simulation tutorial. Algor.inc, Pittsburgh, 2000.

А.О. Мельник, Р.В. Бачинський
Національний університет “Львівська політехніка”
кафедра електронних обчислювальних машин

ПРОЦЕСОРИ СТИСКУ ДАНИХ З ПЛАВАЮЧИМ ВІКНОМ БУФЕРА ПОПЕРЕДНЬО ЗБЕРЕЖЕНИХ ДАНИХ

© Мельник А.О., Бачинський Р.В., 2004

Описано структуру процесора стиску та відновлення стиснених даних з плаваючим вікном буфера попередньо збережених даних.

Compression and decompression processor structure with floating window buffer is described.

Вступ. Проникнення інформаційних технологій у різні сфери побуту та промисловості спричинило лавиноподібне зростання обсягів інформації, яку необхідно обробляти, передавати та зберігати. Крім цього, постійне зростання кількості користувачів глобальної мережі Internet призводить до необхідності економного та ефективного використання каналів передачі даних для забезпечення всіх абонентів якісним сервісом.

Для ефективного використання ресурсів систем передачі та збереження даних використовуються системи стиску даних. Серед них слід виділити універсальні алгоритми стиску даних без втрат, які забезпечують відновлення стиснених даних без спотворень. Прикладом таких алгоритмів є алгоритми арифметичного кодування та різні варіанти кодування Хаффмана, а також алгоритми стиску даних Лемпеля–Зіва [1]. Тут розглянуто основні вимоги до систем стиску даних, структури процесорів стиску даних з плаваючим вікном буфера попередньо збережених даних та процесора відновлення стиснених даних.

Алгоритму стиску, основанийого на використанні буфера попередньо збережених даних з плаваючим вікном. Алгоритм Лемпеля–Зіва оснований на пошуку однакових послідовностей байт у вхідній інформації і заміні цих послідовностей коротшими кодами, з яких можна під час відновлення отримати вхідні дані. Існує велика кількість реалізацій алгоритму Лемпеля–Зіва, які відрізняються методами пошуку однакових послідовностей та методами формування кодів для їх заміни. Для реалізації цього алгоритму необхідно зберігати частину попередньо прийнятих даних, в яких процесор стиску буде шукати збігання з плинною порцією даних і замінити їх на коди, які залежать від розташування даних, які збігаються в цьому буфері, а процесор відновлення буде використовувати цей буфер для заміни кодів на відповідну їм послідовність. Візьмемо для прикладу варіант алгоритму Лемпеля–Зіва, запропонований для реалізації в RFC-2118 [2] та в RFC-1974 [3]. Цей варіант використовує восьмикілобайтний (RFC-2118) та двокілобайтний (RFC-1974) буфер і коди змінної довжини. Послідовності, які збігаються кодуються парою зміщення/довжина, де зміщення – це зміщення від початку буфера до початку збігання, а довжина – це довжина збігання в байтах. Для того, щоб розрізняти лексеми у вихідному потоці, вони кодуються спеціальним чином.

Основні вимоги до систем стиску даних та їхні характеристики. Оскільки основна задача систем стиску – зменшення об’ємів даних, яку необхідно передавати та зберігати, до більшості з них ставляться однотипні вимоги, хоча різні предметні області їх використання можуть ставити свої специфічні вимоги. Серед найважливіших вимог до систем стиску даних можна виділити такі: