

# STUDIUL INFLUENȚEI VARIAȚIILOR DE TEMPERATURĂ ASUPRA MICROGRINZILOR MEMS BICOMPONENTE

CUDALB Radu-Ștefan, CHIUJDEA Cosmina, ANGHELUȚĂ Mihai

Conducători științifici: Prof.dr.ing. **Adriana SANDU**, Prof. dr.ing. **Georgeta IONAȘCU**

**REZUMAT :** În lucrare se propune studiul influenței variației temperaturii asupra unor microgrinzi MEMS compuse dintr-un substrat de Si pe care se depune un strat de material metalic. Sunt comparate mai multe modele de calcul analitice și numerice și se formulează concluzii privind utilizarea acestora pentru structuri de acest fel.

**CUVINTE CHEIE:** Microgrinzi bicomponente , Analiză termo-elastică, Metoda elementelor finite

## 1 INTRODUCERE

Sistemele Micro-Electro-Mecanice (MEMS) reprezintă integrarea pe un singur substrat semiconductor (siliciu în acest caz) de elemente electronice, mecanice, termice, optice și fluidice fiind în stare să măsoare parametri fizici

În structura senzorilor MEMS, se întâlnesc frecvent microgrinzi în consolă, figura 1, ele fiind cele mai simple elemente sensibile rezonante. Microgrinda, cu un vârf de dimensiuni nanometrice, vibrează și interacționează cu o suprafață datorită forțelor intermoleculare.

Siliciul, un material anizotrop, se utilizează la fabricarea microsenzorilor încă din anul 1950. Atunci s-a descoperit că Si are coeficienți piezorezistivi foarte înalți față de cei ai traductoarelor tensometrice metalice ceea ce îl face primul material din categoria celor utilizate la fabricarea MEMS-urilor.

Printre aplicațiile sistemelor MEMS amintim: microsenzori termici, senzori folosiți în microscopia de forță atomică, senzori pentru airbaguri la autovehicule, microsenzori de presiune utilizați în medicină.

În lucrare se propune studiul influenței variației temperaturii asupra unor microgrinzi MEMS compuse dintr-un substrat de Si pe care se depune un strat de material metalic, Au în acest caz.

Variațiile de temperatură au ca efect producerea de tensiuni și deformații în microgrinzile componente, consecință a coeficienților de dilatare liniară diferiți ai celor două materiale.

În funcție de utilizarea microgrinzilor deformațiile pot fi benefice (microsenzori termici) sau nedorite (microscopie de forță atomică).

## 2 CONSIDERAȚII TEORETICE

S-a studiat aplicabilitatea relației (1) cunoscută din literatură [1] pentru calculul săgeții arcurilor bimetalice în cazul unor microgrinzi MEMS bicomponente, Si-metal . Pentru calculul tensiunilor s-au utilizat ecuațiile din lucrările [2],[3],[4].

Structurile bicomponente analizate sunt: microgrinda liberă (fig 1,a) și microgrinda încastrată la un capăt (fig.1,b).

În tabelul 1 sunt date constantele elastice ale materialelor: modulul de elasticitate longitudinal, coeficientul lui Poisson și coeficientul de dilatare termică

**Tabelul 1** Constantele elastice ale materialelor

	<b>Siliciu</b>	<b>Aur</b>
$\nu$	0.22	0.42
$E$ (MPa)	$169 \cdot 10^3$	$79 \cdot 10^3$
$\alpha$ ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )	$2.59 \cdot 10^{-6}$	$14,2 \cdot 10^{-6}$

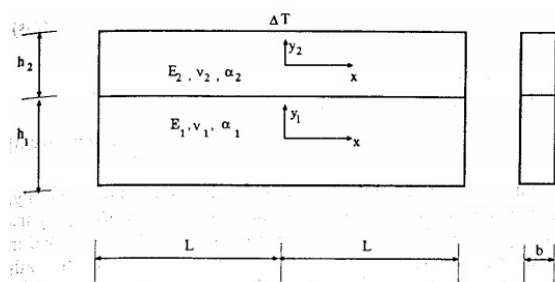


Fig.1,a Microgrinda libera

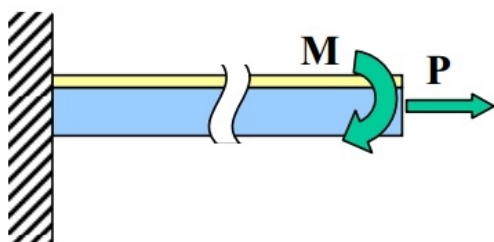


Fig.1,b Microgrinda încastrată la un capăt

Pentru calculul tensiunilor în cele două materiale s-au utilizat relațiile deduse în [4] de Suhir pentru o solicitare combinată la întindere și încovoiere ( relațiile 1- 18).

$$f_0 = \frac{k_0 \Delta t l^2}{h} = \frac{3}{4} (\alpha_1 - \alpha_2) * \Delta t * l^2 \quad (1)$$

$$Q(x) = 2C * f(x) \quad (2)$$

$$M_1(x) = C(\Delta t) * C_1 f(x) \quad (3)$$

$$M_2(x) = C(\Delta t) * C_2 f(x) \quad (4)$$

$$\frac{M_1(x)}{M_2(x)} = \frac{C_1}{C_2} = R \quad (5)$$

$$s_1 = \frac{2(1+\nu_1)}{3E_1} * \frac{h_1}{6} \quad (6)$$

$$s_1 = \frac{2(1+\nu_2)}{3E_2} * \frac{h_2}{6} \quad (7)$$

$$s = b(s_1 + s_2) \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{1-\nu_1^2}{E_1 h_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2 h_2} + \frac{(h_1+h_2)^2}{4 \left( \frac{E_1 h_1^3}{1-\nu_1^2} + \frac{E_2 h_2^3}{1-\nu_2^2} \right)} \quad (9)$$

$$k = \sqrt{\frac{\lambda}{s}} \quad (10)$$

$$f(x) = 1 - e^{-k(L-x)} - e^{-k(L+x)} \quad (11)$$

$$\bar{\sigma}_{x1} = \frac{Q(x)}{A_1} - \frac{M_1(x)}{I_1} \quad (12)$$

$$\bar{\sigma}_{x2} = \frac{Q(x)}{A_2} - \frac{M_2(x)}{I_2} \quad (13)$$

$$f_1(x) = e^{-k(L-x)} + e^{-k(L+x)} \quad (14)$$

$$h = h_1 + h_2 \quad (15)$$

$$C_2 = \frac{\frac{h E_2 I_2}{1-\nu_2^2}}{\frac{E_1 I_1}{1-\nu_1^2} + \frac{E_2 I_2}{1-\nu_2^2}} \quad (16)$$

$$C_1 = \frac{\frac{h E_1 I_1}{1-\nu_1^2}}{\frac{E_1 I_1}{1-\nu_1^2} + \frac{E_2 I_2}{1-\nu_2^2}} \quad (17)$$

$$C = \frac{[\alpha_1(1+\nu_1) - \alpha_2(1+\nu_2)] * \Delta T}{2 \left[ \frac{1-\nu_1^2}{A_1 E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{A_2 E_2} + \frac{(h_1+h_2)^2}{4 \left( \frac{E_1 I_1}{1-\nu_1^2} + \frac{E_2 I_2}{1-\nu_2^2} \right)} \right]} \quad (18)$$

### 3 CALCULUL NUMERIC

S-a utilizat metoda elementelor finite, programul din Solid Works 2013/Cosmos /M /Geostar 256K.

S-a efectuat o analiză termo-elastică considerând o creștere de temperatură  $\Delta T = 20^\circ C$ .

Pentru modelarea structurii s-a utilizat:

1) Model plan: elemente de stare plană de tensiune ( PLANE 2D cu 4 noduri pe element), Au rezultat 14000 de elemente interacționând în 16000 noduri.

2) Elemente spațiale SOLID cu 8 noduri pe element, rezultând 35000 de elemente interacționând în 39390 noduri.

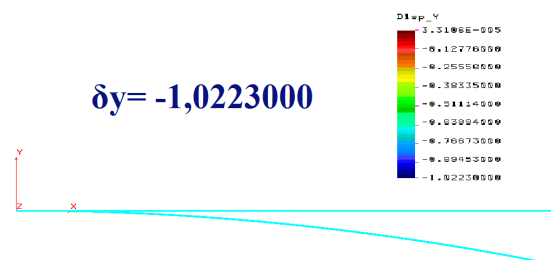
Lățimea microgrinzilor precum și grosimea celor două materiale au fost variabile, păstrându-se înălțimea totală constantă.

S-a constatat că lățimea nu influențează semnificativ nici săgeata și nici tensiunile. De altfel, nici în relațiile analitice de calcul nu intervine.

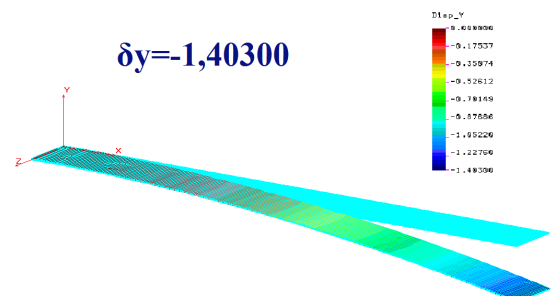
$h_2$ - grosimea stratului, a fost considerată în intervalul 0.02-0.62  $\mu\text{m}$ .

#### 4 REZULTATE OBȚINUTE

Modelele de calcul numeric utilizate conduc la rezultate apropiate și, în consecință, s-a utilizat modelul plan, care necesită un efort de calcul mai redus, pentru studiul influenței grosimii stratului.



**Fig.3** Deformata în cazul modelului plan pentru  $h_2=0.02 \mu\text{m}$



**Fig.4** Deformata în cazul modelului spațial pentru  $h_2=0.02 \mu\text{m}$

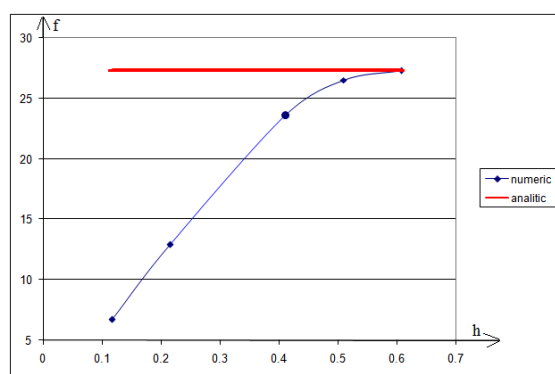
Se constată că valorile obținute pentru săgeată sunt foarte mici în comparație cu cele calculate

cu relația (1) pentru arcuri bimetalice,  $\delta_{\text{max}}=27,31 \mu\text{m}$ .

Cauza acestor diferențe poate fi grosimea prea mică a stratului comparativ cu substratul precum și comportamentul materialului substratului, Si, un material anizotrop, modelat în diferite aplicații MEMS ca material ortotrop. Pe modelul plan au fost modificate grosimile stratului, rezultatele obținute fiind centralizate în figura 5 și în tabelul 2. Se constată că pe măsura creșterii raportului grosimilor strat/substrat (tabelul 2), valoarea săgeții calculate tinde către cea determinată analitic, cu relația 1 (fig.5).

**Tabelul 2.** Valorile deplasărilor calculate numeric și analitic

$h_1$	$h_2$	$H=h_1+h_2$	$f_{\text{max}}$ MEF	$f_{\text{max}}$ analitic
0.9	0.12	1.02	6.712	27.31
0.8	0.22	1.02	12.93	
0.6	0.42	1.02	23.617	
0.5	0.52	1.02	26.525	
0.4	0.62	1.02	27.307	



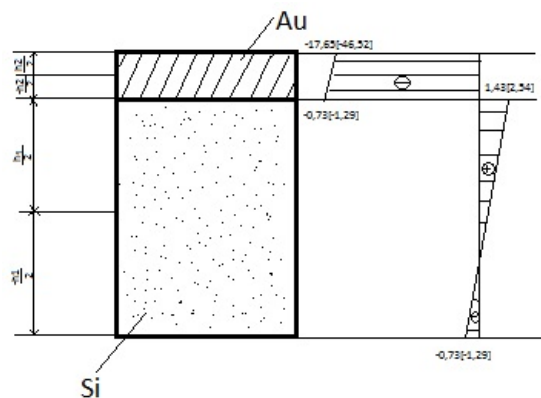
**Fig.5** Grafic comparativ între calculul numeric și calculul analitic

În tabelul 3 sunt prezentate comparativ valorile tensiunilor calculate numeric și

analitic cu relațiile (1-18) în centrul microgrinzii libere (fig 1.a) iar în figura 6 este reprezentată distribuția de tensiuni. Pentru grosimi foarte mici ale stratului se constată de asemenea diferențe mari între valorile determinate analitic și numeric.

**Tabel 3** Valorile tensiunilor calculate numeric si analitic

y	Siliciu		Aur	
	MEF	Analitic	MEF	Analitic
$-\frac{h_1}{2}$	-0,73	-1,29		
$\frac{h_1}{2}$	1,43	2,54		
$-\frac{h_2}{2}$			-17,67	-46,44
$\frac{h_2}{2}$	x		-17,65	-46,52



**Figura 6** Distribuția de tensiuni

## 5 CONCLUZII

Relația pentru calculul săgeții valabilă în cazul arcurilor bimetalice nu se poate aplica pentru grosimi mici ale stratului, ci pentru componente având grosimi comparative ca ordin de mărime. Aceeași concluzie se poate formula și pentru calculul tensiunilor la interfața strat/substrat.

Variațiile de temperatură au ca efect deformarea microgrinzilor, valorile săgeților fiind semnificative având în vedere dimensiunile acestora. De asemenea tensiunile produse în componentele microgrinzii nu sunt neglijabile. Pe această observație se bazează utilizarea structurilor de acest fel ca microsenzori termici .

## BIBLIOGRAFIE

- [1] Demian T., Tudor D., Curita I., *Calculul și construcția elementelor de mecanică fină*, Editura didactică și pedagogică, 1972
- [2] Ramos D. , Mertens J. ,Calleja M. and Tamayo H., *Study of the Origin of Bending Induced by Bimetallic Effect on Microcantilever*, Sensors 2007,7 , 1757-1765
- [3]SchwarzerN., Richter F., *On the determination of film stress from substrate bending: Stoney's formula and it's limits"*
- [4] Eischen J.W., Chung C., Kim J.H., *Realistic modeling of Edge Effect Stresses in Bimaterial Elements"* 16/Vol. 112, March 1990