



(12) **BREVET DE INVENȚIE**

Hotărârea de acordare a brevetului de invenție poate fi revocată
în termen de 6 luni de la data publicării

(21) Nr. cerere: **a 2002 01075**

(61) Perfecționare la brevet:
Nr.

(22) Data de depozit: **05.08.2002**

(62) Divizată din cererea:
Nr.

(30) Prioritate:

(86) Cerere internațională PCT:
Nr.

(41) Data publicării cererii:
28.02.2003

BOPI nr. 2/2003

(87) Publicare internațională:
Nr.

(42) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului:
29.10.2004

BOPI nr. 10/2004

(56) Documente din stadiul tehnicii:
US 6020272; JP 2001129798

(45) Data eliberării și publicării brevetului:
BOPI nr.

(71) Solicitant: **INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU MICROTEHNOLOGIE, BUCUREȘTI, RO**

(73) Titular: **INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU MICROTEHNOLOGIE, BUCUREȘTI, RO**

(72) Inventatori: **CRISTEA MIHAELA DANA, BUCUREȘTI, RO; MANEA ELENA, BUCUREȘTI, RO**

(74) Mandatar:

(54) **PROCEDEU DE REALIZARE DE STRUCTURI MICROMECHANICE
SUSPENDATE PRIN MICROPRELUCRAREA SILICIULUI CU ORIENTAREA <111>**

(57) **Rezumat:** Invenția se referă la un procedeu de realizare, prin microprelucrarea siliciului cu orientarea <111>, a unor structuri micromecanice suspendate (membrane, punți, console), din material dielectric sau din siliciu monocristalin, cu aplicații în microfonică și sisteme opto-electro-mecanice. Procedul conform invenției este caracterizat prin aceea că, pentru obținerea unor structuri suspendate, din material dielectric, membrane, punți, utilizează corodarea anizotropă a plachetelor de Si (1) în soluție KOH 25...45%, la $T=80^{\circ}\text{C}$, precedată de o etapă de corodare izotropă necesară pentru corodarea șanțurilor cu pereți verticali, în scopul expunerii planurilor {110} corodării anizotrope și pentru stabilirea adâncimii finale a interstițiului, realizată într-o soluție: HF (50%): $5\text{CH}_3\text{COOH}$ (100%): 15HNO_3 (70%), la temperatura camerei. Pentru obținerea structurilor din siliciu monocristalin, utilizează o etapă de precorodare izotropă, realizată în plasmă, la o adâncime egală cu grosimea dorită pentru structura suspendată, urmată de pasivarea pereților verticali, o a doua etapă de corodare izotropă, pentru stabilirea adâncimii finale a interstițiului și o etapă de corodare anizotropă în soluție KOH 45%, la $T=80^{\circ}\text{C}$.

Revendicări: 2
Figuri: 7



Fig. 3



Fig. 7



Invenția se referă la un procedeu de realizare, prin microprelucrarea siliciului cu orientarea $\langle 111 \rangle$, a unor structuri micromecanice suspendate (membrane, punți, console) din material dielectric sau din siliciu monocristalin, cu aplicații în microfonică și micro-sisteme opto-electro-mecanice.

În scopul realizării structurilor micromecanice suspendate, se cunoaște tehnica microprelucrării de volum a plachetelor de siliciu cu orientarea $\langle 100 \rangle$ (M.C.Wu, "Micromachining for optical and optoelectronic systems", *Proc. IEEE*, vol.85 (1997), pp. 1833-1856; G.T.A. Kovacs, N.I. Maluf, K.E. Petersen, "Bulk micromachining of silicon", *Proc. IEEE*, vol.86 (1998), pp. 1536-1551; H. Fujita, H. Toshiyoshi, "Optical MEMS", *IEICE Trans. Electron.*, vol.E83-C (1999), pp. 1427-1434). Procedeu constă în corodarea anizotropă, prin mască, a siliciului de pe spatele plachetei, până se ajunge la grosimea dorită a structurii suspendate. Dezavantajele acestei tehnici sunt timpul mare de realizare a structurii suspendate (de ordinul a 6-8 h), necesitatea utilizării unui procedeu de stopare a corodării și costul ridicat.

În același scop, se cunoaște și procedeu de corodare, de pe fața plachetei, a siliciului cu orientarea $\langle 100 \rangle$ sau $\langle 111 \rangle$ (M. Hoffmann, P.Kopka, and E.Voges, "All-Silicon Bistable Micromechanical Fiber Switch Based on Advanced Bulk Micromachining", *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, STQE - 5 (1999), pp.46-51; F. Chollet, M. de Labachellerie and H.Fujita, "Compact evanescent optical switch and attenuator with electromechanical actuation", *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics* STQE-5 (1999) pp. 52-59; Eric Ollier, "Optical MEMS Devices Based on Moving Waveguides", *IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics*, 8,2002 155-162). În cazul acestei tehnici, procesul de obținere a structurii suspendate este mai scurt decât în cazul anterior. Dezavantajele acestui proces sunt: nu se pot obține interstiții dintre structura suspendată și substrat de orice valoare; în cazul în care se dorește obținerea unei structurii suspendate din siliciu, este necesară utilizarea unui procedeu de stopare a corodării.

Tot în același scop se cunoaște și tehnica microprelucrării de suprafață, utilizând ca strat de sacrificiu siliciul policristalin sau dioxidul de siliciu dopat cu P (J.Han, J.Kim, T-S Kim, J-S Kim, "Performance of Fabry-Perot microcavity structures with corrugated diaphragms", *Sensors and actuators* 79 (2000), 162-170; R.S. Muller, K.Y.Lau, "Surface-Micromachined Microoptical Elements and System", *Proc. of the IEEE*, vol 86, 1998, pp. 1705-1720; J.Comtois, A.Michalick, W.Cowan, J.Butler, "Surface-Micromachined polysilicon MOEMS for adaptive optics", *Sensors and actuators* 78 (1999) 54-62; H. Fujita, H. Toshiyoshi, "Optical MEMS", *IEICE Trans. Electron.*, vol E 83-C (1999), pp.1427-1434). Această tehnică permite realizarea unei game largi de structuri micromecanice suspendate mobile, cu un interstițiu între structură și substrat de grosime controlabilă, dar prezintă dezavantajul că necesită o etapă tehnologică suplimentară: depunerea unui strat de sacrificiu.

Procedeu de realizare de structuri micromecanice suspendate prin microprelucrarea siliciului cu orientarea $\langle 111 \rangle$, conform invenției, permite obținerea unor structuri suspendate (membrane, punți, console) din material dielectric dioxid de siliciu, nitrură de siliciu, oxinitură de siliciu (SiO_2 , Si_3N_4 , SiON sau straturi multiple SiON/SiO_2 , Si_3N_4 , SiO_2) sau din siliciu monocristalin. Pentru fiecare din cele două tipuri de structuri se prezintă câte un procedeu de realizare. Deoarece rata de corodare laterală de-a lungul direcțiilor $\langle 110 \rangle$ este mult mai mare decât rata de corodare verticală, se produce supracorodarea și, dacă două ferestre de corodare sunt suficient de aproape, regiunile corodate pe sub mască se pot uni, rezultând o structură suspendată.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția este obținerea de structuri micromecanice suspendate, prin microprelucrarea siliciului cu orientarea $\langle 111 \rangle$.

Procedeul de realizare de structuri micromecanice suspendate prin microprelucrarea siliciului cu orientarea $\langle 111 \rangle$, conform invenției, prezintă următoarele avantaje:

- necesită numai o mască pentru structurile dielectrice sau două măști pentru structurile din Si monocristalin;

- timp de corodare scurt;

- nu necesită procedeu de stopare a corodării;

- cost scăzut de fabricație;

- suprafețele rezultate în urma corodării (a structurii suspendate și a substratului) au o rugozitate extrem de redusă, putând fi astfel folosite la reflexia luminii (corodarea se stopează la planele $\langle 111 \rangle$ - paralele cu suprafața plachetei, producând o polizare a acestor suprafețe).

- grosimea interstițiului dintre structura suspendată și substrat poate fi controlată, fiind stabilită printr-un proces de precorodare.

Se dau în continuare două exemple de aplicare a procedurii de realizare de structuri micromecanice suspendate prin microprelucrarea siliciului cu orientarea $\langle 111 \rangle$, conform invenției, în legătură cu fig. 1...7, care reprezintă:

- fig. 1, secțiune transversală prin structură după etapa de fotogravură;

- fig. 2, secțiune transversală prin structură după etapa de precorodare-fluxul pentru structura de SiO_2 ;

- fig. 3, secțiune transversală prin structura suspendată de SiO_2 ;

- fig. 4, secțiune transversală prin structură după prima etapă de precorodare-fluxul pentru structura de Si monocristalin;

- fig. 5, secțiune transversală prin structură după etapa de pasivare a pereților verticali - fluxul pentru structura de Si monocristalin;

- fig. 6, secțiune transversală prin structură după a doua etapă de precorodare - fluxul pentru structura de Si monocristalin;

- fig. 7, secțiune transversală prin structura suspendată de Si monocristalin.

Cele două exemple se referă la realizarea unor structuri suspendate din SiO_2 și, respectiv, din Si monocristalin.

Procedeul de realizare de structuri micromecanice suspendate prin microprelucrarea siliciului cu orientarea $\langle 111 \rangle$, conform invenției, utilizează plachete din siliciu 1 n sau p, cu orientarea cristalografică $\langle 111 \rangle$, rezistivitatea 3-20 Ωcm .

Procedeul de realizare a structurilor micromecanice prin microprelucrarea siliciului cu orientarea $\langle 111 \rangle$, conform invenției, are ca primă etapă oxidarea inițială la 1100°C, pentru obținerea unui strat de oxid 2 de 1,7 μm grosime.

Fluxul tehnologic de realizare a structurilor suspendate din SiO_2 continuă cu o etapă de precorodare izotropă, necesară pentru corodarea șanțurilor cu pereți verticali în scopul expunerii planelor $\{110\}$ corodării anizotrope și pentru stabilirea adâncimii finale a interstițiului, realizată într-o soluție de acid fluorhidric, acid acetic, acid azotic: HF (50%): $5\text{CH}_3\text{COOH}$ (100%) : 15HNO_3 (70%) la temperatura camerei - fig.2. Timpul de corodare se stabilește în funcție de adâncimea dorită pentru interstițiul dintre structură și substrat.

Procedeul de realizare de structuri micromecanice suspendate din SiO_2 , prin microprelucrarea siliciului cu orientarea $\langle 111 \rangle$, conform invenției, continuă cu etapa de corodare anizotropă realizată în soluție de hidroxid de potasiu KOH 25-45% la temperatura de 80°C. Timpul de corodare depinde de lățimea structurii suspendate. Secțiunea transversală prin structura suspendată din SiO_2 , obținută prin procedeul de realizare de structuri micromecanice suspendate prin microprelucrarea siliciului cu orientarea $\langle 111 \rangle$, conform invenției, este dată de fig. 3.

Fluxul tehnologic de realizare a structurilor din Si monocristalin, după etapa de fotograbură inițială, se continuă cu o primă etapă de precorodare, realizată în plasmă, la o adâncime egală cu grosimea dorită pentru structura suspendată - fig.4. Procedul de realizare de structuri micromecanice suspendate prin microprelucrarea siliciului cu orientarea <111>, conform invenției, utilizează pentru pasivarea pereților laterali ai structurii de Si monocristalin un strat 3 de oxid de 500 nm grosime, obținut prin oxidare termică la temperatura de 1100°C, fig.5.

Fluxul tehnologic continuă cu o a doua etapă de fotograbură pentru deschiderea ferestrelor în masca de oxid. Procedul de realizare de structuri micromecanice suspendate din Si monocristalin, prin microprelucrarea siliciului cu orientarea <111> utilizează, pentru expunerea planelor {110} corodării anizotrope și pentru stabilirea adâncimii finale a interstițiului dintre structura suspendată și substrat, o etapă de precorodare în soluție HF(50%): 5CH₃COOH(100%) : 15HNO₃(70%) sau în plasmă - fig.6. Fluxul tehnologic de realizare a structurilor din Si monocristalin continuă cu etapa de corodare anizotropă realizată în soluție KOH 45% la temperatura de 80°C, urmată de îndepărtarea stratului de oxid. Timpul de corodare depinde de lățimea structurii suspendate. Secțiunea transversală prin structura suspendată din Si monocristalin, obținută prin procedul de realizare de structuri micromecanice suspendate prin microprelucrarea siliciului cu orientarea <111>, conform invenției, este dată în fig.7.

Revendicări

1. Procedul de realizare a structurilor micromecanice suspendate prin microprelucrarea siliciului cu orientare <111>, **caracterizat prin aceea că**, pentru obținerea de structuri suspendate din bioxid de siliciu, într-o primă etapă are loc oxidarea substratului (1) și obținerea unui strat de oxid (2) de 1,7μm grosime, urmată de o precorodare izotropă, necesară pentru obținerea șanțurilor cu pereți verticali și pentru stabilirea adâncimii finale a interstițiului, într-o soluție HF (50%): 5CH₃COOH(100%): 15 HNO₃ (70%), la temperatura camerei, urmată de o corodare anizotropă, într-o soluție de hidroxid de potasiu 25...45% la 80°C, timpul de corodare depinzând de lățimea structurii suspendate.

2. Procedul conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, pentru obținerea de structuri suspendate din Si monocristalin, este necesară o primă etapă de precorodare în plasmă la o adâncime egală cu grosimea dorită pentru structura suspendată, după care se realizează pasivarea pereților laterali ai șanțurilor verticale, creându-se prin oxidare termică la 1100°C un strat de oxid de 500 nm grosime, apoi are loc o etapă de precorodare în soluție HF(50%): 5CH₃COOH(100%): 15 HNO₃ (70%), sau în plasmă și într-o altă etapă are loc o corodare anizotropă în soluție de hidroxid de potasiu 45% la temperatura de 80°C, timpul de corodare depinzând de lățimea structurii suspendate.

Președintele Comisiei de examinare: **ing. Erhan Valeriu**

Examinator: **ing. Dumitru Daniela**



Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3



Fig. 4



Fig. 5



Fig. 6



Fig. 7