



(12)

## CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2016 00360**

(22) Data de depozit: **20/05/2016**

(41) Data publicării cererii:  
**29/11/2017** BOPI nr. **11/2017**

(71) Solicitant:  
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE  
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU  
MICROTEHNOLOGIE - IMT BUCUREȘTI,  
STR. EROU IANCU NICOLAE  
NR. 126A (32B), VOLUNTARI, IF, RO

(72) Inventatori:

• VOICU RODICA-CRISTINA,  
STR. JIRNOVULUI NR. 7,  
COMUNA GRATIA, TR, RO;  
• MULLER RALUCA,  
STR. ȘTEFAN CEL MARE NR. 60, BL. 41,  
SC. 2, AP. 51, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B,  
RO

Această publicație include și modificările descrierii,  
revendicărilor și desenelor depuse conform art. 35,  
alin. (20), din HG nr. 547/2008

(54) **PROCEDEU DE REALIZARE A DISPOZITIVELOR DE TIP  
MEMS CU ACȚIONARE ELECTRO-TERMICĂ, CU STRAT  
METALIC ÎNCAPSULAT ÎN POLIMER SU-8, FOLOSITE  
CA EFECTUATORI FINALI PENTRU MICROMANIPULARE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu de realizare a unor dispozitive de tip MEMS cu acționare electro-termică cu strat metalic încapsulat într-un fotopolimer, dispozitivele, cum ar fi micro-pensetele cu dimensiuni sub-milimetrice, fiind utilizate pentru asamblarea, poziționarea și manipularea unor elemente de dimensiuni micronice, cum ar fi celule, tesuturi biologice, micro-componente MEMS, și altele asemenea. Procedeul conform inventiei constă în depunerea pe un substrat (1), care poate fi o placă de siliciu sau de sticlă, a unui strat (2) exfoliant, cum ar fi, de exemplu, Omnicat, cu grosimea de cel puțin 30 nm și tratat termic pe plătă, după care se depune un strat (3) fotopolimeric, cum ar fi fotopolimerul SU-8, care se tratează termic, se expune și se configuraază prin developare, utilizând o mască, care reprezintă primul strat funcțional, se depune și se configuraază un strat (4) de fotorezist, cum ar fi, de exemplu, AZ, pentru pregătirea procesului de lift-off, urmată de depunerea stratului (5) metalic activ realizat prin depunerea succesivă de metale, cum ar fi Cr/Au/Cr sau Cr/Pt/Cr, unde straturile de aderență de Cr au aceeași grosime, după depunerea și configurarea stratului (5) metalic activ se îndepărtează stratul (4) de fotorezist, se depune, se tratează și se configuraază utilizând o nouă mască un al doilea strat (6) de fotopolimer, din același material ca și stratul (3), având deschideri pentru padurile metalice și care încapsulează stratul (5) metalic activ, iar în final se efectuează un tratament termic final pe plătă a ansamblului de structuri obținute la cel puțin 180°C.

Revendicări: 11  
Figuri: 5

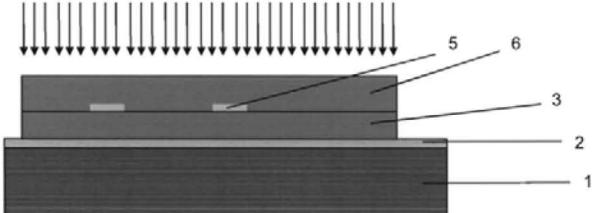


Fig. 3

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozitivelor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de inventie a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de inventie este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).

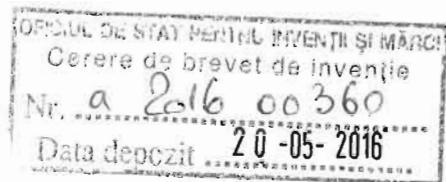


## TITLUL INVENTIEI

2

### PROCEDEU DE REALIZARE A DISPOZITIVELOR DE TIP MEMS CU ACTIONARE ELECTRO-TERMICĂ, CU STRAT METALIC ÎNCAPSULAT ÎN POLIMER SU-8, FOLOSITE CA EFECTUATORI FINALI PENTRU MICROMANIPULARE

**AUTORI:** Rodica-Cristina Voicu, Raluca Müller



### DESCRIERE

#### **SUBIECTUL INVENTIEI**

Invenția se referă la un procedeu de realizare tehnologică utilizând polimeri a unor dispozitive de tip MEMS, cum ar fi micro-pensetele, actionate electro-termic, cu miscarea în planul structurii dispozitivului, cu dimensiuni sub-milimetrice, cu ajutorul cărora pot fi asamblate, poziționate și manipulate elemente de dimensiuni micrometrice cum ar fi celule, tesuturi biologice, micro-componente MEMS, etc.

#### **STADIUL TEHNICII**

În literatura de specialitate sunt prezentate unele soluții pentru incapsularea stratului metalic care nu aduc toate avantajele metodei propuse de noi. Multi autori au raportat folosirea unui strat metalic neprotejat deasupra sau dedesubtul stratului de polimer, și/sau grosimi ale straturilor de polimer inegale, ceea ce nu este optim pentru funcționarea dispozitivului cu acționare în planul structurii.

În literatura de specialitate sunt raportate diverse soluții care nu rezolvă în același timp toate problemele care pot apărea în timpul folosirii dispozitivului, cum ar fi reducerea deplasărilor în afara planului dispozitivului, reducerea stresului mecanic din interiorul structurii și incapsularea straturilor metalice în material dielectric.

Într-una dintre referințele reprezentative din literatura de specialitate pentru actuatorii termici fabricați utilizând polimeri [Nikolas Chronis, Luke P. Lee, „Electrothermally Activated SU-8 Microgripper for Single Cell Manipulation in Solution”, Journal of Microelectromechanical Systems 14 8, 57-63, 2005], este prezentat un dispozitiv acționat electro-termic fabricat dintr-un singur strat structural de polimer SU-8 și care utilizează un singur strat metalic compus de Cr/Au sub stratul polimer. Deoarece metalul este în contact direct cu polimerul, energia termică este transmisă în stratul de polimer. Stratul metalic este neizolat electric și asymmetric

Descriere: pagina 1 din 15

dispus datorita utilizarii unui singur strat de crom pentru aderenta. De asemenea, structura finala este in ansamblul ei asimetric fabricata datorita utilizarii unui singur strat de polimer SU-8 si a unui singur strat metalic. In lucrare sunt raportate deplasari in afara planului structurii pentru dispozitivele fabricate in acest mod.

In alta lucrare, autorii [N-T. Nguyen et al., „A polymeric microgripper with integrated thermal actuators”, J. Micromech. Microeng. 14 (2004), 969-974] prezinta modul de fabricare al unui actuator electro-termic cu lungimea de 5 mm utilizand polimerul SU-8 cu o grosime de 100  $\mu\text{m}$  si un strat metalic de Ti/Pt cu grosimi de 50nm respectiv de 70 nm. Si in acest caz dispozitivul rezultat este asimetric, iar grosimea stratului polimeric este mare.

Intr-o teza de doctorat [B. Solano, „A microgripper for single cell manipulation”, PhD thesis, 2008, Durham University] si in alte doua publicatii stiintifice [B. Solano, D. Wood, „Design and testing of a polymeric microgripper for cell manipulation”, Microelectronic Engineering 84 (2007) 1219–1222] si [B.P. Solano, A.J. Gallant si D. Wood, „Design and Optimisation of a Microgripper: Demonstration of Biomedical Applications Using the Manipulation of Oocytes”, Proc. of Design, Test, Integration Packaging of MEMS/MOEMS Conference, Rome, DTIP 2009] sunt prezentate doua metode de fabricare a dispozitelor de tip micro-penseta cu actionare electro-termica utilizand polimerul SU-8 ca material structural. Unul dintre procedeele de fabricare utilizeaza materialul exfoliant Omnicat pentru eliberarea dispozitelor si doua straturi polimerice de SU-8 de grosimi inegale, de 1.5  $\mu\text{m}$  si respectiv, 100  $\mu\text{m}$ ; autorii raporteaza deplasari nedorite in afara planului structurii. Cealalta metoda de fabricare utilizeaza un alt procedeu de eliberare a dispozitelor, bazat pe corodarea uscata utilizand  $\text{XeF}_2$ . Fabricarea dispozitelor in acest caz se bazeaza pe aceleasi tipuri de straturi active cu aceleasi grosimi ca mai sus. Autorii raporteaza ca aceasta metoda este mai costisitoare in comparatie cu primul procedeu. Primul strat de polimer SU-8 este realizat mai subtire fata de-al doilea strat pentru a fi utilizat ca strat de aderenta. Procedeele de fabricare si dispozitivele sus-mentionate sunt prezentate si in publicatia PCT cu numarul WO/2007/138266 [B. Solano si D. Wood, "Electro-mechanical actuator device and apparatus incorporating such device"].

O alta metoda de incapsulare a elementului conductiv in polimer este prezentata in lucrările [F. Krecinic et al., „Finite element modelling and experimental characterization of an electro-thermally actuated silicon-polymer micro gripper”, J. Micromech. Microeng. 18 (2008), 064007(7pp)] si [G.K.Lau et al., „An in-plane thermal unimorph using confined polymers”, J. Micromech. Microeng. 17 (2007),



S174-S183]. Elementul conductiv utilizat este aluminiul. Pentru fabricare se utilizeaza placete SOI, pe de o parte, si nitrura de siliciu ca strat dielectric pe de alta parte, ceea ce face ca procedeul de fabricare descris sa aiba costuri de fabricare ridicate. De asemenea, grosimile straturilor de materiale utilizate nu sunt simetric dispuse.

În lucrarea urmatoare [K. S. Colinjivadi, J.-B. Lee, R. Draper, „Viable cell handling with high aspect ratio polymer chopstick gripper mounted on a nano precision manipulator”, *Microsyst. Technol.* (2008) 14:1627–1633] se prezinta o metoda de fabricare bazata pe procese UV-LIGA. Procedeul prezentat aici are costuri de fabricare suplimentare datorita, pe de o parte a unui proces de ingrosare prin electroliza a stratului metalic de aur pana la 2 micrometri grosime si, pe de alta parte, prin utilizarea unui strat de sacrificiu de oxid (LTO) cu grosimea de 5 micrometri. Se incearca o optimizare a deplasarilor in afara planului prin varierea grosimii stratului polimeric. Procedeul de fabricare prezentat utilizeaza un singur strat de polimer si un singur strat de metal care este neizolat.

Ideea, in baza unor simulari numerice, a unei metode pentru reducerea deplasarilor in afara planului utilizand doua straturi metalice de Au simetric dispuse fata de un singur strat structural de polimer SU-8 a fost propusa si prezentata in anul 2007 in lucrarea [R. Voicu, D. Esinenco, R. Müller, L. Eftime, C. Tibeica, “Method for overcoming the unwanted displacements of an electro-thermally actuated microgripper”, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Multi-Material Micro Manufacture-4M 2007, Borovets, Bulgaria, Oct.2007, pp.39-42, 2007].

R. Zhang et.al. au transpus in practica ideea sus-mentionata si, folosind Cu in loc de Au, au brevetat [patentul CN 102079498 B acordat pe 04-07-2012, “Flexible electrothermal drive micro-gripper and manufacturing process method”] un procedeu de fabricare a dispozitivelor actuate electro-termic utilizand procesele UV-LIGA care rezolva problema deplasarilor in afara planului pentru structurile cu actionare in plan utilizand doua straturi metalice dispuse simetric dedesubt si deasupra stratului polimeric de SU-8. Aceeasi metoda impreuna cu dispozitivul fabricat este prezentata in urmatoarea referinta: [R. Zhang, J. Chu, H. Wang, Z. Chen, „A multipurpose electrothermal microgripper for biological micro-manipulation”, *Microsyst. Technol.* (2013) 19:89–97]. In acest caz, cele doua straturi metalice sunt complet neizolate din punct de vedere electric. In plus, aceasta metoda de fabricare are un grad sporit de complexitate datorita procesului care



presupune realizarea metalizarilor, doua depuneri de metale folosind o matrita metalica, dupa eliberarea structurilor din SU-8.

Într-un alt patent și anume CN 101759137 B [„Method for manufacturing electrothermal driving photoresist micro gripper”] se prezintă o metodă de fabricare pentru dispozitive electro-termice cu strat metalic încapsulat în polimer utilizând grosimi diferite pentru straturile de SU-8. Metoda propusă folosește două straturi de metale de cupru și titan fără a asigura simetria grosimilor dispozitivului. Stratul de cupru are grosimea de 800 nm, iar cel de titan 200 nm grosime. În plus, pentru eliberarea structurilor, se utilizează un strat de oxid care necesită formarea și corodarea să la final utilizând solutii pe baza de acid fluorhidric.

### **DEZAVANTAJELE SOLUTIILOR PREZENTATE IN STADIUL TEHNICII**

Dezavantajele solutiilor descrise la punctul anterior sunt:

- straturi de metale cu grosimi diferite, asimetrice sau fabricate în procese tehnologice separate.
- în cazul folosirii a unui singur strat de polimer, stratul metalic nu este izolat din punct de vedere electric ceea ce afectează funcționarea dispozitivului în lichide și în cazul probelor biologice.
- straturi de polimer cu grosimi diferite, în cazul folosirii a două straturi de polimer, ceea ce se traduce în lipsa de simetrie în structura verticală care, la rândul ei nu rezolvă problema deplasărilor în afara planului dispozitivului.
- oxidare prealabilă a plachetelor de siliciu la temperatură înaltă pentru a obține un strat de sacrificiu cu grosime de cel puțin 1 µm.
- nu se asigură izolarea stratului metalic în același timp cu reducerea deplasărilor în afara planului.
- grad sporit de complexitate a metodei de fabricare a dispozitivelor datorită numărului mare de etape pe fluxul tehnologic.

### **PROBLEMA TEHNICA PE CARE O REZOLVA INVENTIA**

Invenția rezolvă concomitent trei probleme tehnice, și anume: (a) reducerea efectului tensiunilor mecanice reziduale din metale asupra dispozitivelor actuate electro-termic fabricate din polimeri dielectriți cu miscare în planul structurii, (b) reducerea deplasărilor în afara planului dispozitivului și (c) izolarea electrică a elementului metalic în stratul polimeric, care este un dielectric.



## SOLUTIA INVENTIEI

Procedeul descris in aceasta inventie se refera la fabricarea fie pe substrat de siliciu, fie pe substrat de sticla a unor dispozitive actuate electro-termic. Procedeul tehnologic consta in suprapunerea a trei straturi active de materiale. Primul strat, ca si strat structural, este realizat din polimerul SU-8 depus pe substrat. Urmeaza al doilea strat, si anume, stratul conductiv care, din motive de aderenta, este compus la randul lui din trei straturi metalice si anume crom/aur/crom. Cele doua straturi de aderenta realizate din crom au aceeasi grosime. Grosimea stratului intermediar de aur se ajusteaza in functie de modul de realizarea a conexiunilor electrice. Al treilea strat este realizat tot din polimerul SU-8, este depus peste stratul metalic si se comporta tot ca si strat structural si are aceeasi grosime ca si primul strat de polimer. Scopul acestei geometrii cu un strat metalic plasat intre doua straturi de polimer SU-8 de aceeasi grosime este reducerea efectului tensiunilor mecanice reziduale din metale asupra dispozitivului si reducerea deplasarilor in afara planului structurii dispozitivului si, in acelasi timp are rolul de a izola electric elementul metalic in stratul polimeric, care este dielectric. Pentru facilitarea desprinderii si eliberarii dispozitivului de pe substrat, intre substrat si primul strat de polimer se depune in prealabil un strat exfoliant care nu va face parte din dispozitivul final. Eliberarea dispozitivelor se efectueaza fara solutii de corodare, pentru ca procedeul descris in prezenta inventie nu utilizeaza un strat de sacrificiu. Stratul exfoliant se indeparteaza prin procedee simple chimice umede.

## AVANTAJELE INVENTIEI IN RAPORT CU STADIUL TEHNICII

Prin aplicarea acestei inventii se obtine concomitent (a) reducerea efectului tensiunilor mecanice reziduale din metale asupra dispozitivului, (b) deplasarile in afara planului structurii dispozitivului si (c) izolarea elementului metalic in stratul polimeric, care este dielectric.

Un alt avantaj (d) al dispozitivelor realizate prin procedeul prezentat este izolarea electrică a circuitului electric de încălzire față de obiectul sau proba biologica manipulata fie intr-un fluid fie in aer, deoarece stratul metalic care formeaza rezistenta de incalzire este încapsulat intre doua straturi de aceeasi grosime de polimer SU-8 cu proprietati dielectrice.

Mai mentionam ca (e) procedeul poate fi utilizat pentru realizarea de dispozitive biocompatibile actionate electro-termic utilizate pentru manipulari biologice in diferite medii de operare, aer, alte gaze sau lichide, cat si pentru asamblare si pozitionare de micro-componente MEMS.



Adaugam ca (f) procedeul nu foloseste straturi de oxid pe siliciu pentru eliberare si nu se utilizeaza solutii pe baza de acizi si procese de corodarea pentru eliberarea structurilor.

Un alt avantaj (g) este depunerea simetrica a straturilor de metale Cr/Au/Cr si Cr/Pt/Cr utilizand un singur proces de depunere, cu grosimi egale ale straturilor de aderenta de crom.

Alte avantaje sunt (i) realizarea simpla si (j) rapida a pasilor de proces necesari fabricarii dispozitivelor care, la randul lor, contribuie la (k) reducerea costurilor si (l) permite productia de serie mare.

### **MODUL IN CARE INVENTIA POATE FI EXPLOATATA INDUSTRIAL**

Aceasta inventie poate fi folosita pentru realizarea tehnologica a dispozitivelor de tip MEMS cu actionare electro-termică, folosite ca efectuatori finali pentru micromanipulare. Inventia poate fi utilizata pentru realizarea de micro-dispozitive actionate electro-termic cu miscare in planul dispozitivului. Astfel de dispozitive pot fi micro-pensete sau micro-dispozitive pentru testare de micro-probe.

Aplicatii ale dispozitivelor fabricate utilizand prezenta inventie sunt in domeniul micromanipularii si testarii de probe biologice, in industria micro-robotica si in industria microelectronica, mai precis pentru asamblari si pozitionari de componente si subansamble MEMS.

Dispozitivele fabricate utilizand aceasta inventie sunt capabile sa actioneze in diverse medii de operare cum ar fi aer, gaze, apa sau alte lichide.

### **DESCRIEREA INVENTIEI**

Invenția se referă la un procedeu de realizare tehnologica a unor dispozitive de tip MEMS, cum ar fi micro-pensetele, actionate electro-termic, cu dimensiuni sub-milimetrice cu ajutorul cărora pot fi asamblate sau pozionate și manipulate celule, tesuturi biologice și micro-componente MEMS, cum ar fi lentile, fibre optice. Un exemplu de dispozitiv de tip MEMS cu actionare electro-termică utilizat ca efectuator final pentru micromanipulare fabricat utilizând procedeul de realizare tehnologica prezentat în inventie este o micro-penseta descrisă conform Figurilor 1 și 2.

Dispozitivul este actionat utilizând efectul electro-termo-mecanic, adică prin trecerea unui curent electric printr-un traseu conductiv se obține încalzirea materialului într-un anumit loc dorit în dispozitiv. La randul ei creșterea de temperatură va determina expansiunea termică a materialului. Această expansiune

Descriere: pagina 6 din 15



va genera o deformare care este amplificată mecanic și transmisă bratelor dispozitivului pentru a prinde și manipula un obiect.

Prin procedeul de realizare descris în inventie sunt fabricate dispozitive la care mișcarea are loc în planul structurii, cu deschiderea sau închiderea brațelor, în vederea poziționării sau manipulării unor elemente la scară micro, cum ar fi celule, tesuturi biologice și componente MEMS. Actuatorii termici sunt cunoscuți pentru capacitatea de a genera forte mai mari decât alte tipuri de actuatori. Un dispozitiv fabricat dintr-un singur material activ va fi usor de realizat dar deplasările rezultate în acest caz ca urmare a expansiunii termice sunt mult mai mici în comparație cu deplasările obținute de către dispozitive fabricate utilizând două sau mai multe materiale active.

Procedeul descris în aceasta inventie se referă la fabricarea fie pe substrat de siliciu, fie pe substrat de sticlă a unor dispozitive actuate electro-termic. Procedeul tehnologic constă în suprapunerea a trei straturi active de materiale. Primul strat, ca și strat structural, este realizat din polimerul SU-8 depus pe substrat. Urmează al doilea strat, și anume, stratul conductiv care, din motive de aderență, este compus la randul lui din trei straturi metalice și anume crom/aur/crom. Cele două straturi de aderență realizate din crom au aceeași grosime. Grosimea stratului intermediar de aur se ajustează în funcție de modul de realizarea a conexiunilor electrice. Al treilea strat este realizat tot din polimerul SU-8, este depus peste stratul metallic și se comportă tot ca și strat structural și are aceeași grosime ca și primul strat de polimer. Scopul acestei geometrii cu un strat metallic plasat între două straturi de polimer SU-8 de aceeași grosime este reducerea efectului tensiunilor mecanice reziduale din metale asupra dispozitivului și reducerea deplasărilor în afara planului structurii dispozitivului și, în același timp are rolul de a izola electric elementul metallic în stratul polimeric, care este dielectric.

Polimerul SU-8 a fost ales datorită proprietăților sale mecanice, termice și electrice, a posibilităților de micro-prelucrare, precum și datorită proprietății sale de biocompatibilitate. Polimerul SU-8 este folosit în industria microelectronicii ca fotorezist negativ.

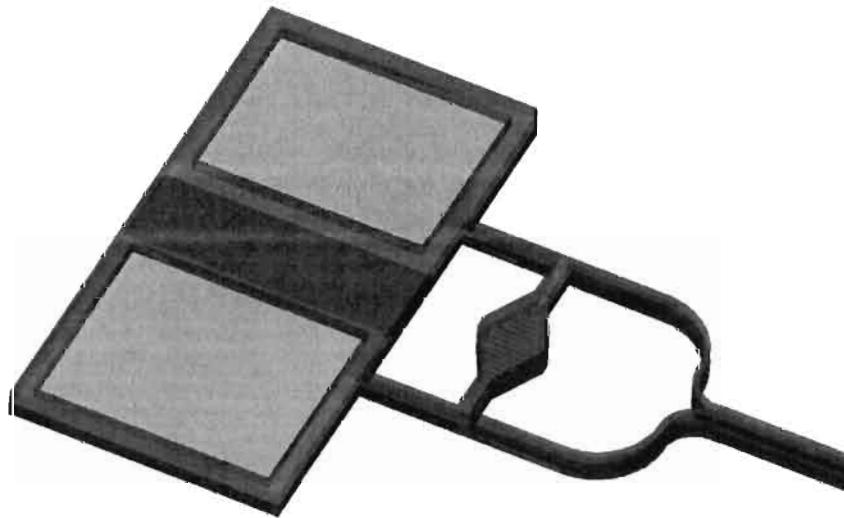
Din punct de vedere mecanic, polimerul SU-8 prezintă un modul de elasticitate mic ( $E \sim 4\text{GPa}$ ) și este suficient de rezistent la rupere (34 MPa tensiune mecanică de întindere). Din punct de vedere termic, polimerul SU-8 prezintă un coeficient de dilatare termică de 52 ppm /°C, o conductivitate termică de 20-35 W/mK și o temperatură de tranziție la sticlă (Tg) de 210 °C.



Metalul intermediar, cum ar fi aurul, a fost ales ca strat conductiv datorita proprietatilor sale de biocompatibilitate si a coeficientului de dilatarea termica ridicat in comparatie cu alte metale, dar si datorita compatibilitatii tehnologice cu polimerul SU-8.

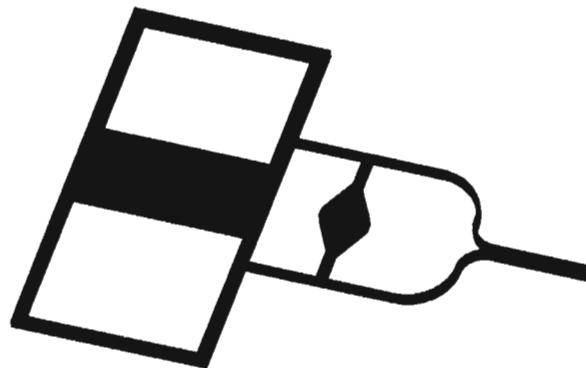
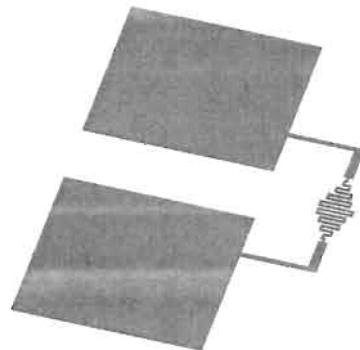
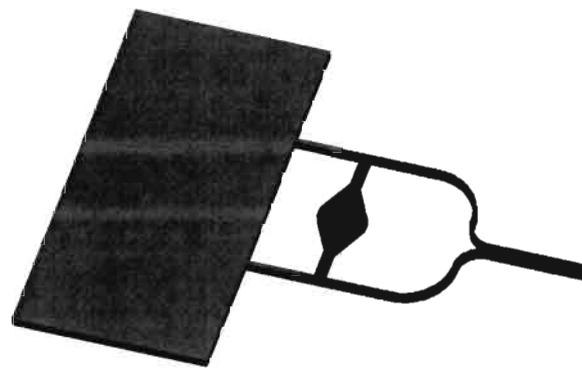
In literatura de specialitate se raporteaza in general procedee care folosesc un strat metalic neprotejat deasupra/dedesubtul stratului de polimer, sau grosimi ale straturilor de polimer inegale ceea ce nu este optim pentru functionarea dispozitivului cu actionare in planul structurii. Procedeul descris permite fabricarea dispozitivelor cu straturi de SU-8 dispuse simetric față de planul care conține stratul metalic, ceea ce reduce efectul tensiunilor mecanice reziduale din metal. In acest sens, un rol important il are si utilizarea a doua straturi metalice de aderenta de aceeasi grosime dispuse simetric fata de stratul metalic intermediar.

Inventia prezinta un procedeu de realizare tehnologică pentru dispozitivele actionate electro-termic descrise anterior, utilizand tehnica de exfoliere a polimerului SU-8 prin utilizarea unui strat exfoliant de Omnicat între substrat și stratul de SU-8 adjacente. Ca substrat se foloseste o placeta de siliciu care poate avea orice fel de orientare cristalografica, grad sau tip de dopare si conductivitate sau o placeta de sticla.



**Figura 1:** Dispozitiv cu actionare electro-termica de tip MEMS, o micro-penseta, utilizat pentru micromanipulare, cu strat metalic incapsulat in polimer (vedere de asamblu a straturilor ce compun structura)

A handwritten signature in black ink, appearing to be a stylized form of the letter 'P'.

**Figura 2A.****Figura 2B.****Figura 2C.**

**Figura 2:** Dispozitiv cu actionare electro-termica de tip MEMS pentru micromanipulare, o micro-penseta cu strat metalic incapsulat; vedere explodata pe straturi: Figura 2A: al doilea strat de polimer SU-8 configurat, cu deschideri pentru accesarea padurilor metalice; Figura 2B: strat metalic compus de Cr/Au/Cr configurat; Figura 2C: primul strat de polimer SU-8 configurat. Numerotarea straturilor se face de la substrat in sus, in ordinea procesului tehnologic.

A handwritten signature in black ink, appearing to be a stylized 'T' or 'F'.

Fluxul tehnologic de realizare a dispozitivelor actionate electro-termic utilizează 3 masti de configurare, dintre care două pentru configurarea straturilor de polimer SU-8 și una pentru configurarea straturilor metalice de Cr/Au/Cr. Fluxul tehnologic cuprinde urmatoarele etape prezentate prin corelare cu Figura 3, și anume:

Figura 3D. Curatire placete de siliciu sau de sticlă

Figura 3E. Depunere strat exfoliant de Omnicontact cu grosimea de cel puțin 30 nm folosind spinnerul apoi tratare termică la 200°C pe plita;

Figura 3F. Depunere strat polimeric de SU-8 care reprezintă stratul funcțional, de structură. Tratament termic (soft backing) efectuat la temperaturi de 65 °C și 95 °C după etalare;

Figura 3G. Configurare strat polimeric. Exponere fotorezist prin contact direct urmată de un nou tratament termic și de developare. Tratament termic (hard backing);

Figura 3H. Depunere, expunere și configurare fotorezist AZ pentru pregătirea procesului de lift-off al stratului metalic ulterior depus.

Figura 3I. Depunere metalică: un strat de Cr cu grosimea de 10 nm pentru adeziune, un strat de Au de 300 nm și apoi din nou un strat de Cr de 10 nm pentru adeziunea stratului urmator de polimer SU-8 depus deasupra.

Figura 3J. Îndepartare fotorezist AZ (realizare lift-off);

Figura 3K. Depunere strat polimeric de SU-8 cu deschideri pentru paduri pentru a avea acces la stratul metalic înainte de a fi încapsulat în acest pas. Tratament termic (soft backing) efectuat la temperatura de 65 °C și la temperatură de 95 °C după etalare.

Figura 3L. Configurare strat polimeric. Exponere fotorezist prin contact direct urmată de un nou tratament termic și de developare.

Figura 3M. Tratamentul final al structurii la temperatură de 180...200°C.

Figura 3N. Eliberarea structurilor prin exfolierea straturilor de polimer de pe placeta de Si prin îndepartarea umedă a stratului exfoliant de Omnicontact și curătarea cu soluția piranha și apă deionizată.

Se prezintă în continuare pasii procedeului tehnologic de realizare a dispozitivelor de tip MEMS pentru micromanipulare (Figura 3).





Figura 3D.

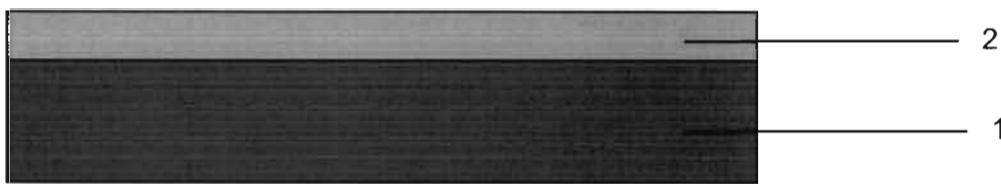


Figura 3E.



Figura 3F.

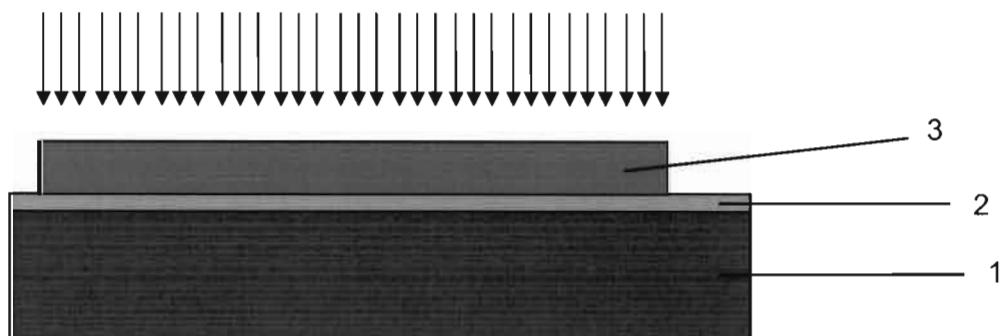


Figura 3G.

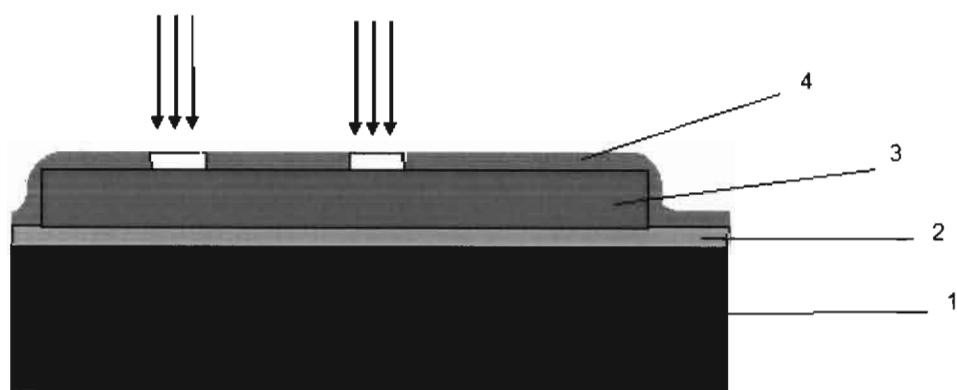


Figura 3H.

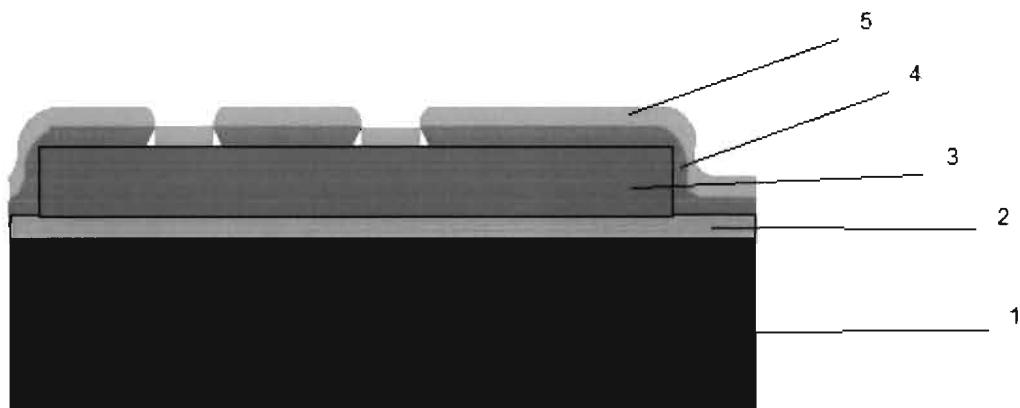


Figura 3I.

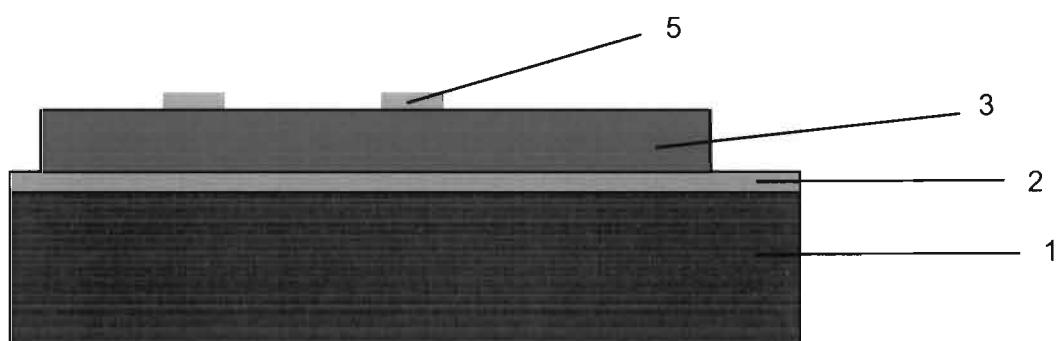


Figura 3J.

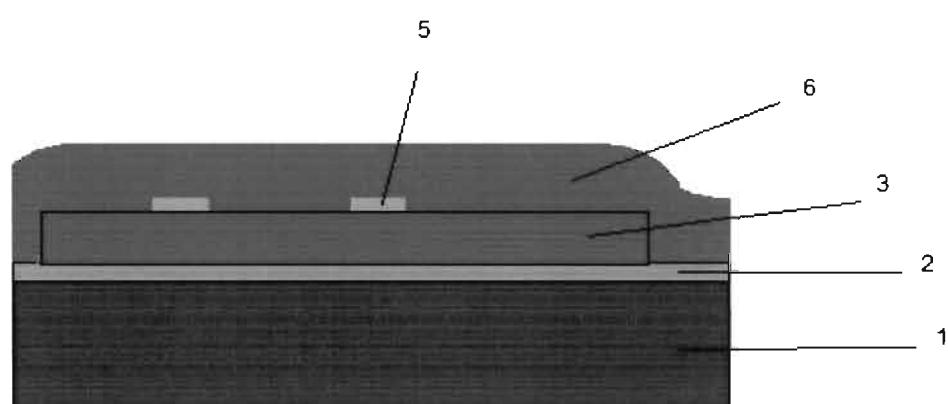


Figura 3K.

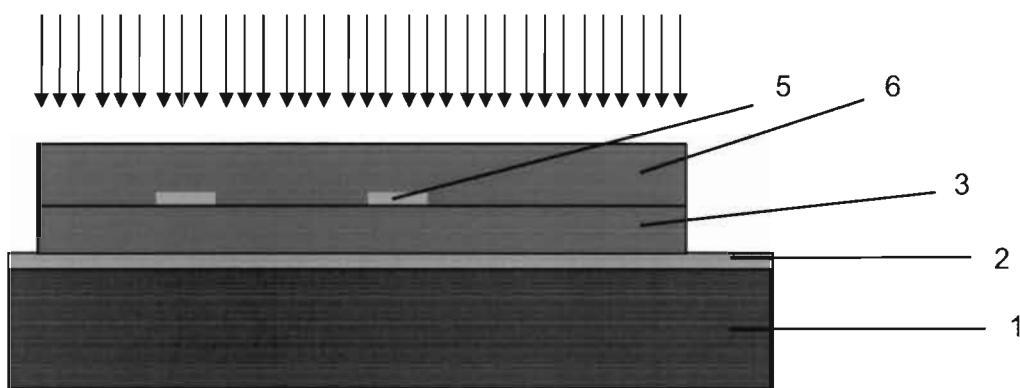


Figura 3L.

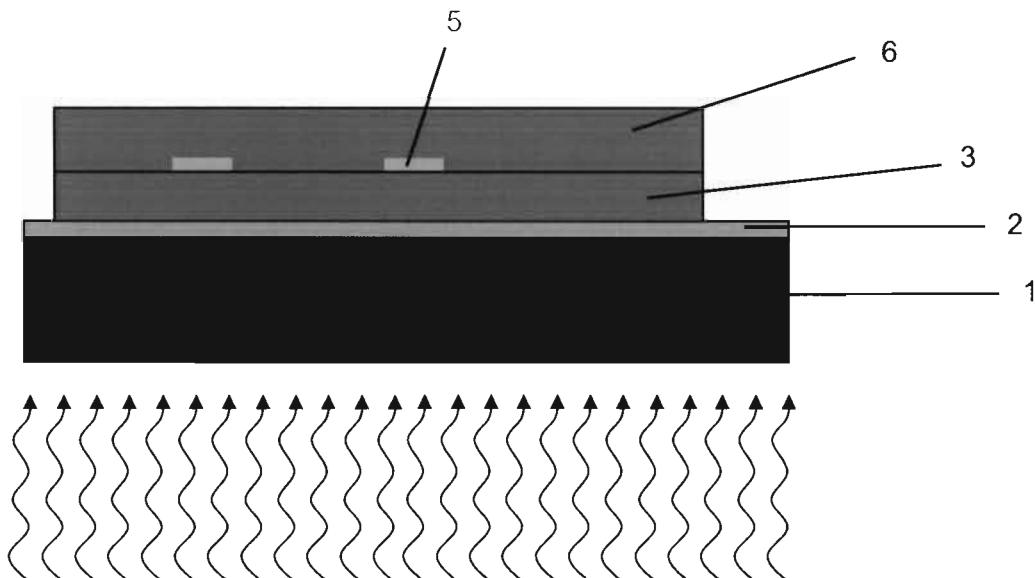


Figura 3M.

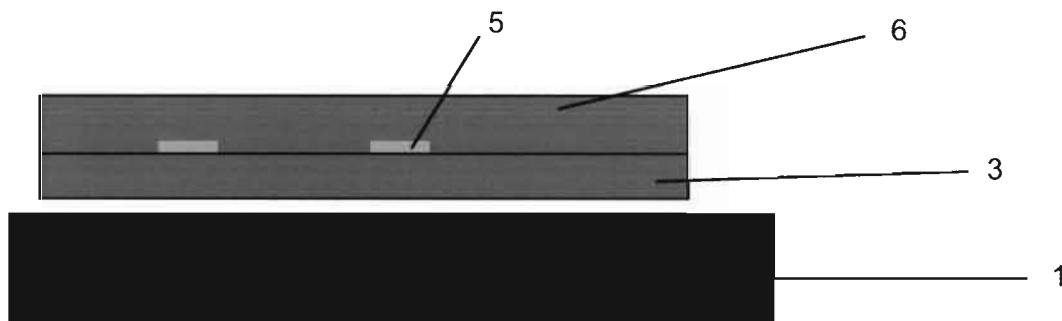


Figura 3N.

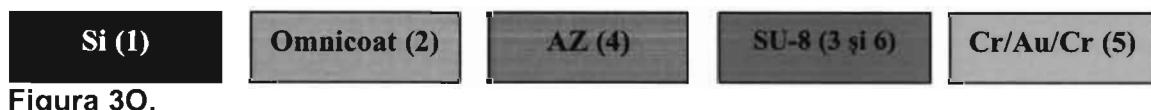


Figura 3O.

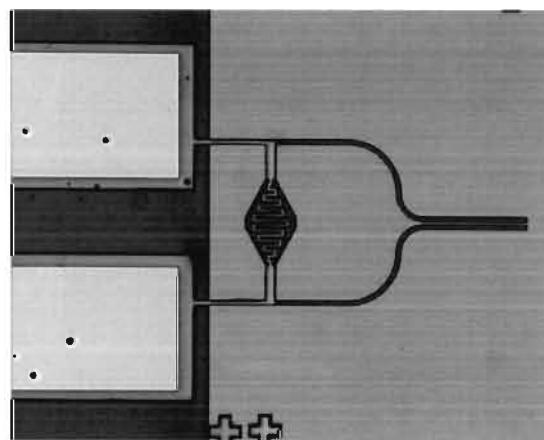
**Figura 3.** Procedeu de realizare tehnologic pentru obtinerea dispozitivelor de tip MEMS cu actionare electro-termica, folosite ca efectuatori finali pentru micromanipulare, cu strat metalic încapsulat în fotopolimer SU-8: Figura 3D:  
Descriere: pagina 13 din 15

Placheta initiala de siliciu; Figura 3E: Depunere strat exfoliant Omnicoat; Figura 3F: Depunere polimer SU-8 si tratament termic; Figura 3G: Configurare polimer: Expunere SU-8, tratament si developare; Figura 3H: Depunere, expunere si developare fotorezist AZ; Figura 3I: Depunere metale Cr/Au/Cr; Figura 3J: Lift-off metale prin indepartare fotorezist AZ; Figura 3K: Depunere polimer SU-8 si tratament termic; Figura 3L: Configurare polimer: Expunere SU-8, tratament si developare; Figura 3M: Tratament termic final la 195 °C; Figura 3N: Indepartare strat exfoliant Omnicoat - eliberare structuri; Figura 3O: Legenda culorilor.

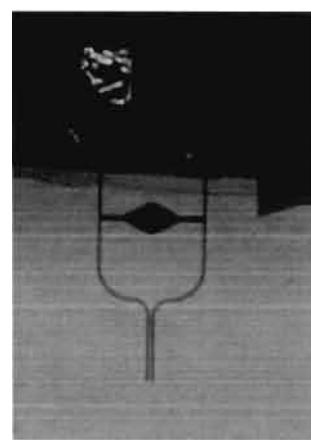
### **EXEMPLU DE REALIZARE CONCRETĂ A INVENTIEI**

Un exemplu de dispozitiv de tip MEMS cu actionare electro-termica utilizat ca efectuator final pentru micromanipulare pentru care a fost utilizat procedeul de realizare tehnologica prezentat in inventie este o micro-penseta descrisa conform Figurilor 1 si 2. Micropenseta prezentata este actuata electro-termic cu miscare in planul structurii. Bratele dispozitivului sunt in starea initiala inchisa. In momentul actionarii electro-termice prin aplicarea unei diferente de potential pe padurile metalice structura isi va deschide bratele libere care pot prinde sau manipula un micro-obiect.

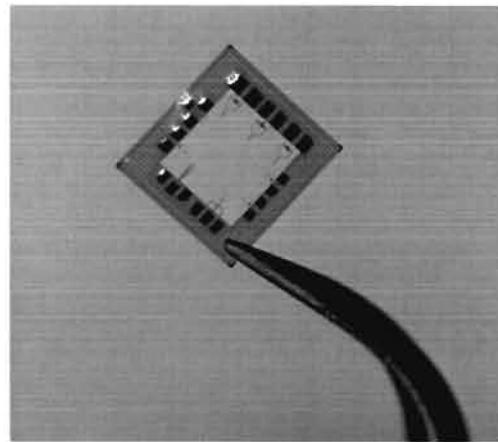
Dispozitivul de tip MEMS cu actionare electro-termica a fost realizat tehnologic utilizand procedeul de realizare descris in inventie. Rezultatele privind structura fabricata, alte dispozitive electro-termice aranjate pe un cip si modul lor de operare sunt prezentate in Figurile 4 si 5. In Figura 5 se poate observa ca imaginea structurii din momentul maxim al actuatorii (Figura 5U) ramane la fel de clara ca cea in care structura se afla in starea initiala (Figura 5T), ceea ce demonstreaza reducerea deplasarilor in afara planului. Transparenta materialului polimeric SU-8 permite vizualizarea stratului metalic incapsulat in polimer (Figura 4P).



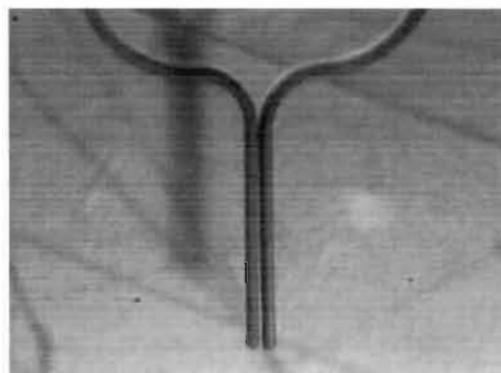
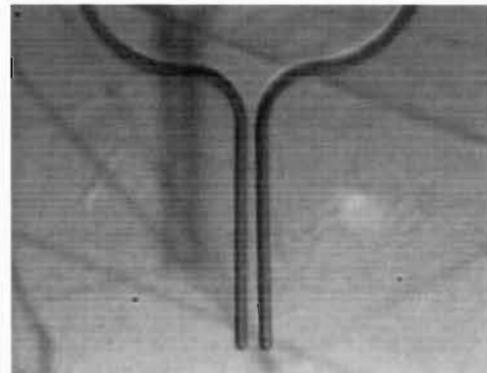
**Figura 4P.**



**Figura 4R.**

**Figura 4S.**

**Figura 4.** Imagini la microscopul optic cu dispozitivul fabricat din SU-8 si Cr/Au/Cr utilizand procedeul de realizare prezentat in inventie: Figura 4P: structura fabricata inainte de eliberarea ei; Figura 4R: structura eliberata si pregatita pentru testare; Figura 4S: un cip cu mai multe dispozitive fabricate din SU-8 cu actionare electrotermica cu miscare in planul dispozitivului eliberate (imagine fotografica)

**Figura 5T.****Figura 5U.**

**Figura 5.** Diferite stagii de operare ale bratelor micro-pensetei pentru un curent electric aplicat: Figura 5T: deschiderea intiala a bratelor la 0 mA; Figura 5U: deschiderea bratelor la 32 mA.

1. **Procedeu de realizare** a dispozitivelor acționate electro-termic (conform Figurii 3), cuprinzand un substrat (1), un strat exfoliant (2), un strat de polimer cum ar fi, de exemplu, SU-8, pentru configurarea dispozitivului în partea inferioară (3), un strat de fotorezist cum ar fi, de exemplu, AZ, cu rol în configurarea metalelor prin metoda lift-off (4), un strat metalic, cum ar fi, de exemplu, un compus Cr/Au/Cr sau Cr/Pt/Cr din care se realizează rezistențele pentru incalzire (5), un al doilea strat de polimer din același material ca și stratul (3) care va forma structura mecanică a dispozitivului în partea superioară și va încapsula stratul metalic cu orificii pentru accesul la padurile metalice (6), dispuse geometric în ordinea descrisă.
2. Referitor la revendicarea 1, **procedeul este caracterizat** prin aceea că utilizează două straturi de polimer biocompatibil SU-8 de aceeași grosime, cu orice valoare în intervalul 5...20 µm, dispuse simetric față de stratul metalic.
3. Referitor la revendicarea 1, **polimerul SU-8 poate fi înlocuit cu orice alt fel de polimer care poate fi paternat simetric** conform descrierii procedeului de realizare a dispozitivelor acționate electro-termic.
4. Referitor la revendicarea 1, procedeul este **caracterizat prin aceea că**
  - utilizează ca **substrat** o placă de siliciu cu orice fel de marime, orientare cristalografică, conductivitate și tip și grad de dopare sau o placă de sticlă,
  - se depune un **strat exfoliant** cum ar fi, de exemplu, Omnicoat, cu grosimea de cel puțin 30 nm tratat termic la 200° C pe plăcă sau orice alt strat de material care poate fi utilizat ca exfoliant;
  - după depunerea stratului exfoliant se depune, se tratează termic, se expune și se configerează prin developare utilizând o masă, un **strat fotopolimeric** cum ar fi, de exemplu, de SU-8 care reprezintă primul strat funcțional și care este ulterior tratat termic,
  - după depunerea și configurarea primului strat funcțional se depune și se configerează un **fotorezist** cum ar fi, de exemplu, AZ de o anumita grosime compatibilă cu pregătirea procesului de lift-off al stratului metalic care se depune ulterior,
  - după depunerea și configurarea stratului de fotorezist se depune stratul metalic activ compus prin depunerea succesiva de **metalele** cum ar fi, de exemplu,

Revendicari: pagina 1 din 2

**crom/aur/crom** sau **crom/platina/crom**<sup>a</sup> intr-un singur proces, **20/05/2016**  
prezentata, si unde straturile de aderenta de crom au aceeasi grosime,

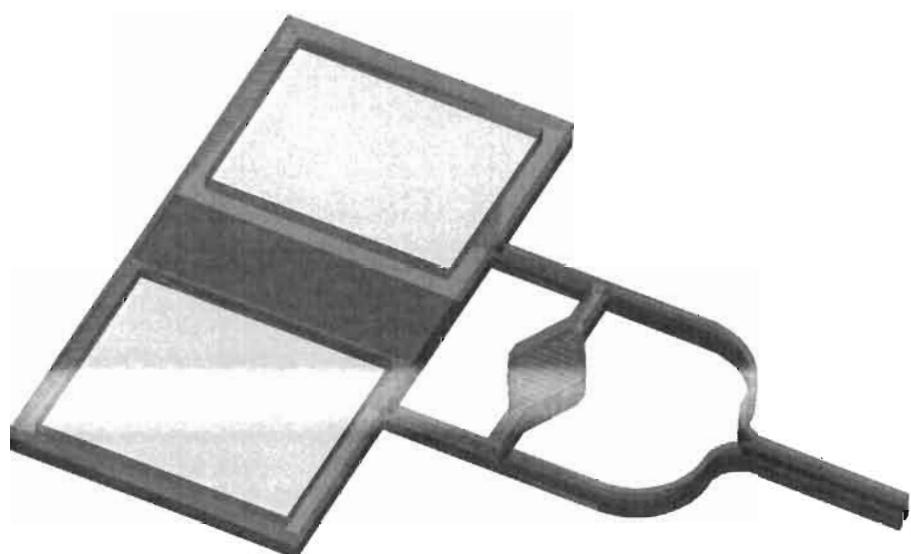
-dupa depunerea si configurarea stratului metalic activ se indeparteaza stratul de fotorezist.

-dupa indepartarea stratului de fotorezist se depune, se trateaza, se expune si se configureaza prin developare utilizand o noua masca un nou **strat foto-polimeric** cum ar fi, de exemplu, **SU-8 cu deschideri** pentru accesul la padurile metalice, care strat foto-polimeric reprezinta al doilea strat functional si care incapsuleaza stratul metalic activ,

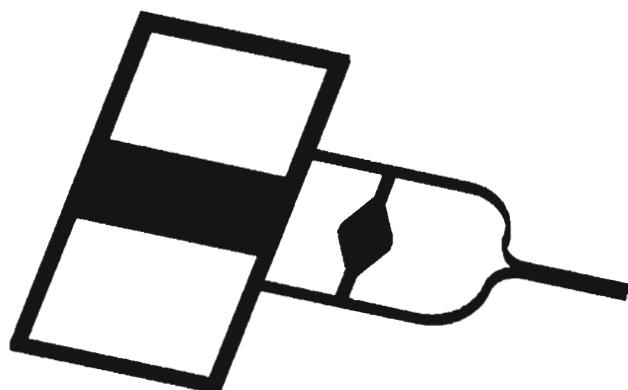
-dupa depunerea si configurarea celui de al doilea strat functional se efectueaza un **tratament final** pe plita a ansamblului de structuri obtinute,

-ca ultima etapa a fluxului tehnologic se indepartaza umed stratul exfoliant urmat de curatirea cu solutia piranha si apa deionizata si astfel se obtine **eliberarea** structurilor de pe substrat.

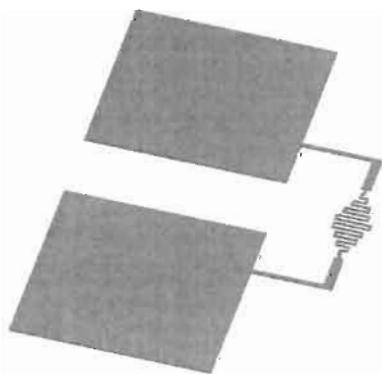
5. Referitor la revendicarile 1 si 4, **procedeul este caracterizat** prin aceea ca utilizeaza ca si strat metalic activ doua straturi pentru adeziune de crom de aceeasi grosime si un strat de metal intermediar, cum ar fi, de exemplu aur sau platina;
6. Referitor la revendicarile 1 si 5, pot fi folosite orice alte metale impreuna cu metalele corespunzatoare de aderenta cu grosimi egale;
7. Referitor la revendicarile 1 si 5, stratul metalic activ poate fi fabricat dintr-un singur metal, cum ar fi, de exemplu nichel sau argint care nu necesita strat de aderenta;
8. Referitor la revendicarile 1 si 5, stratul metalic activ poate fi inlocuit cu un strat polimeric compozit cu proprietati conductoare electric;
9. Referitor la revendicarile 1 si 4, **procedeul este caracterizat** prin aceea ca utilizeaza doua straturi de polimer SU-8 tratate in final pe plita la temperaturi cuprinse in intervalul 180...200 °C.
10. Referitor la revendicarea 4, eliberarea dispozitivului se realizeaza fara a utiliza solutii acide de corodare si se face concomitent cu curatirea dispozitivelor in solutii, cum ar fi, de exemplu solutia piranha si apa deionizata;
11. Referitor la revendicarile 1 si 3, dispozitivele actionate electro-termic fabricate utilizand procedeul de realizare descris in aceasta inventie nu afecteaza din punct de vedere electric proba manipulata in timpul functionarii dispozitivului indiferent de mediul de operare ales.



**Figura 1**



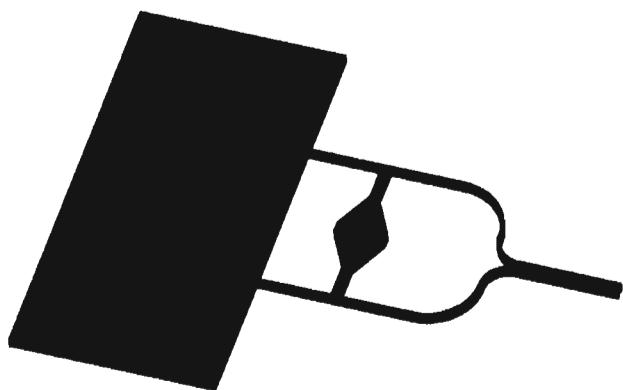
**Figura 2A.**



**Figura 2B.**

Desene: pagina 1 din 6

A handwritten signature in black ink, appearing to read "I.C. Popescu".



**Figura 2C.**



**Figura 3D.**



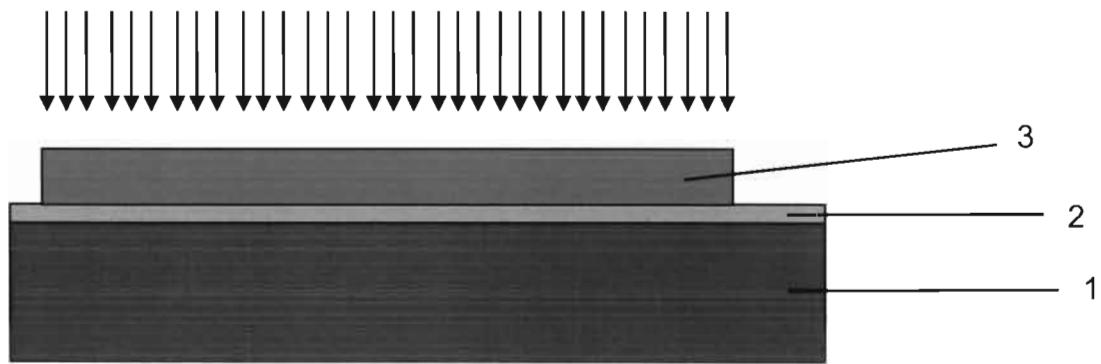
**Figura 3E.**



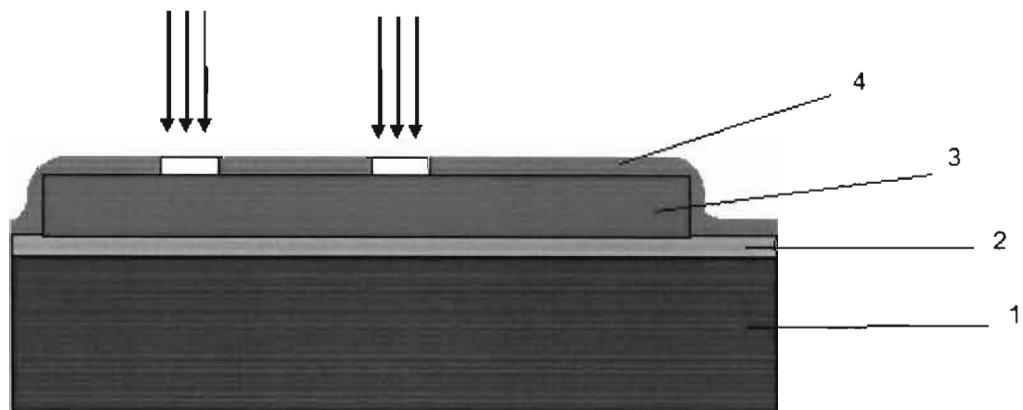
**Figura 3F.**

Desene: pagina 2 din 6

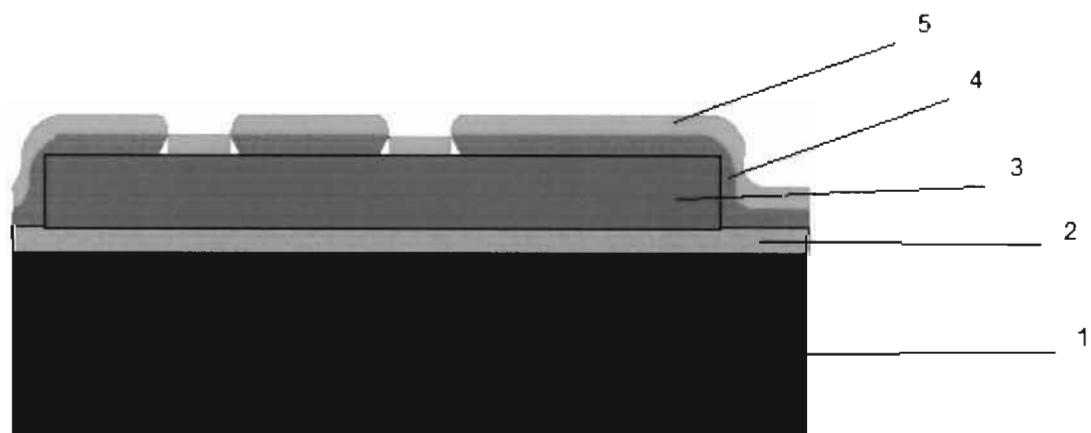
A handwritten signature in black ink, appearing to read "V. D. T." followed by a surname.



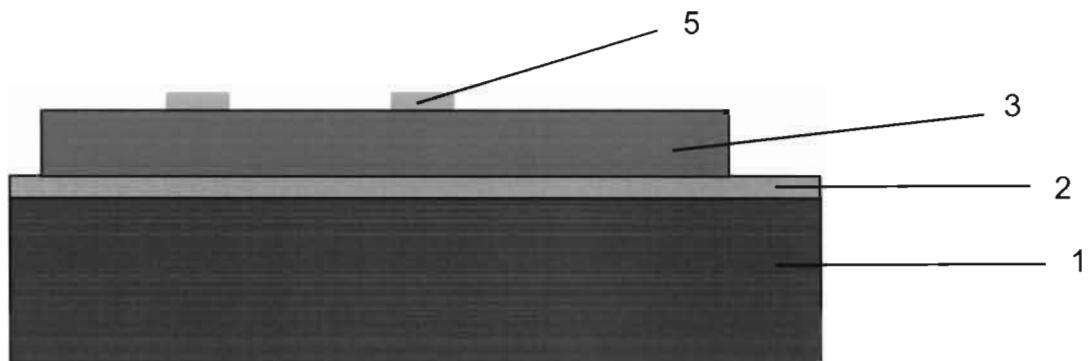
**Figura 3G.**



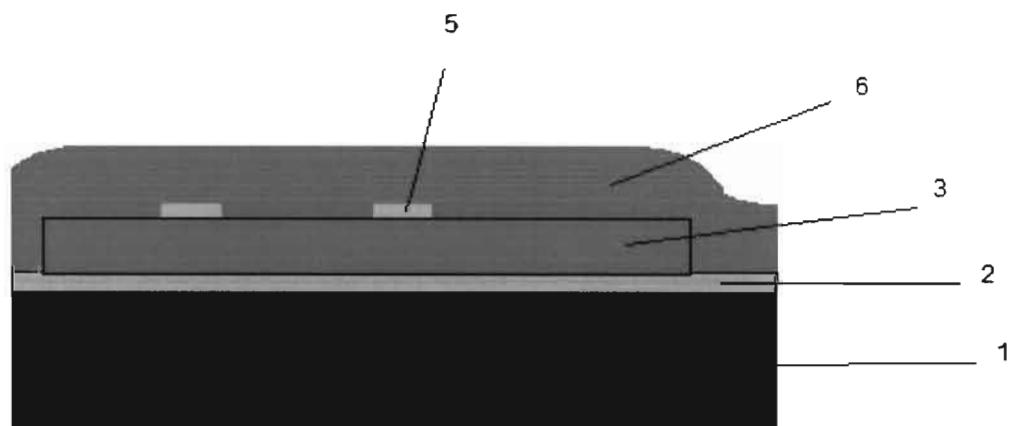
**Figura 3H.**



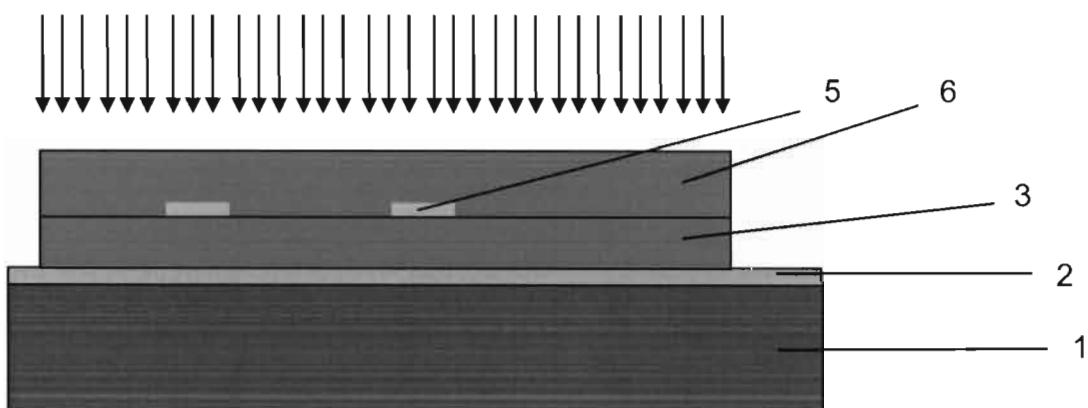
**Figura 3I.**



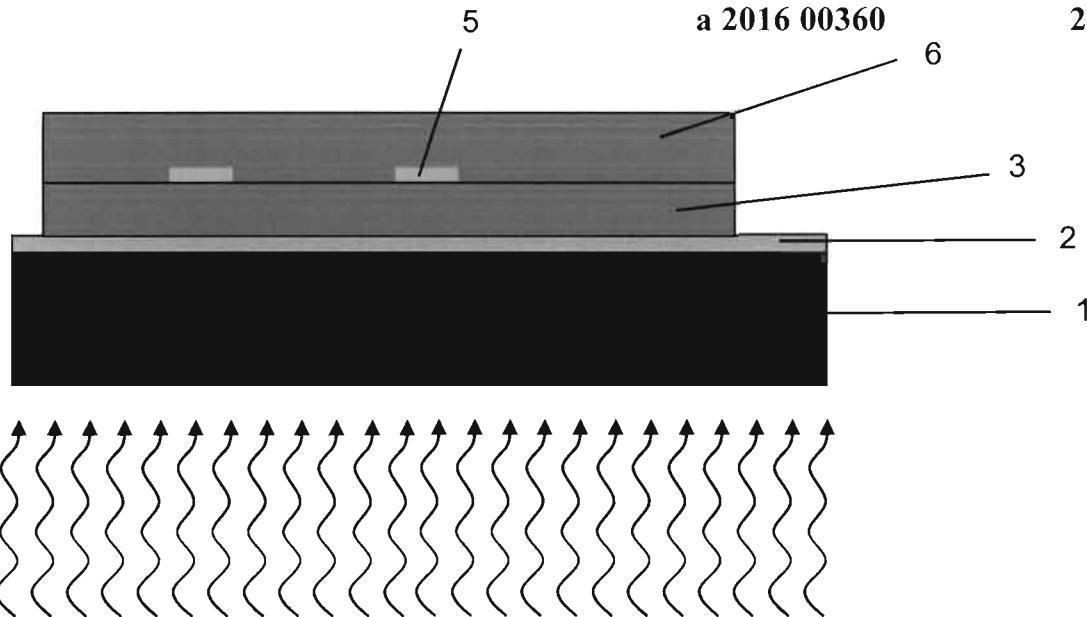
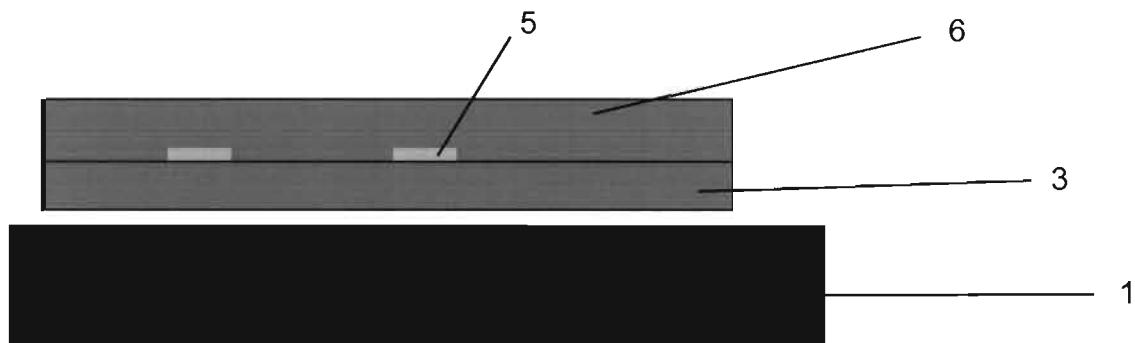
**Figura 3J.**



**Figura 3K.**



**Figura 3L.**

**Figura 3M.****Figura 3N.**

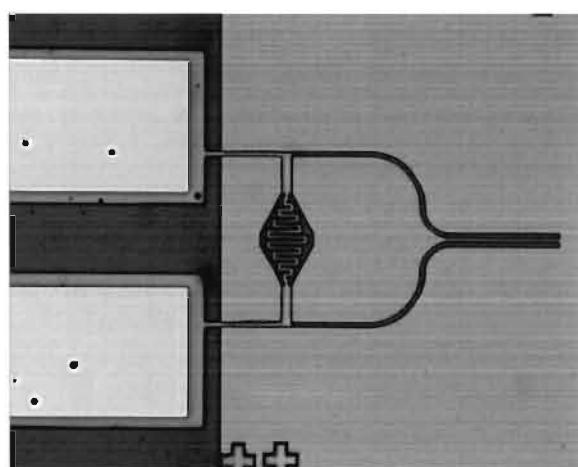
Si (1)

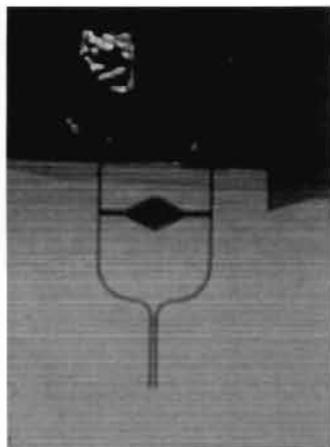
Omnicoat (2)

AZ (4)

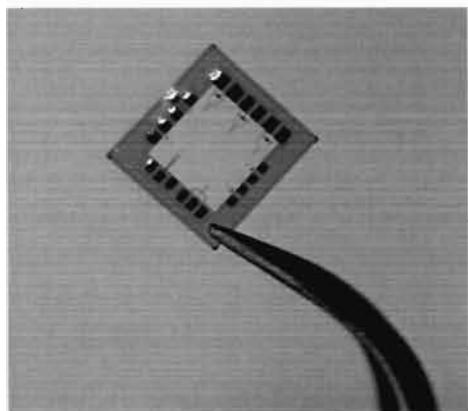
SU-8 (3 și 6)

Cr/Au/Cr (5)

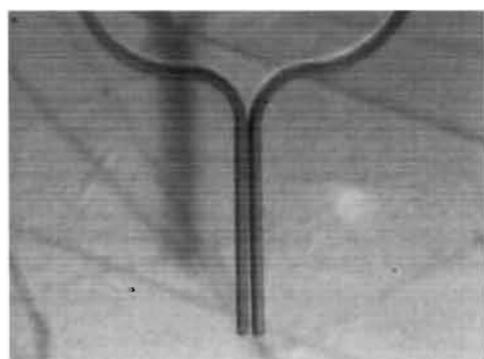
**Figura 3O.****Figura 4P.**



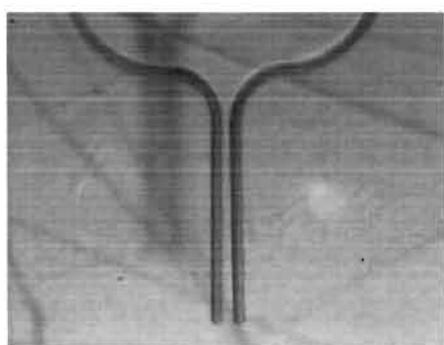
**Figura 4R.**



**Figura 4S.**



**Figura 5T.**



**Figura 5U.**

Desene: pagina 6 din 6

# **TITLUL INVENTIEI**

**PROCEDEU DE REALIZARE A DISPOZITIVELOR DE TIP MEMS CU ACȚIONARE ELECTRO-TERMICĂ, CU STRAT METALIC/CONDUCTIV ÎNCAPSULAT ÎN FOTOPOLIMER, FOLOSITE CA EFECTUATORI FINALI PENTRU MICROMANIPULARE**

**AUTORI:** Rodica-Cristina Voicu, Raluca Müller

## **DESCRIERE**

### **SUBIECTUL INVENTIEI**

Invenția se referă la un procedeu de realizare tehnologică utilizând polimeri a unor dispozitive de tip MEMS, cum ar fi micro-pensetele, actionate electro-termic, cu miscarea în planul structurii dispozitivului, cu dimensiuni sub-milimetrice, cu ajutorul cărora pot fi asamblate, poziționate și manipulate elemente de dimensiuni micrometrice cum ar fi celule, tesuturi biologice, micro-componente MEMS, etc.

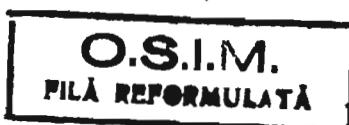
### **STADIUL TEHNICII**

În literatura de specialitate sunt prezentate unele soluții pentru incapsularea stratului metalic care nu aduc toate avantajele metodei propuse de noi. Multi autori au raportat folosirea unui strat metalic neprotejat de sus sau dedesubtul stratului de polimer, și/sau grosimi ale straturilor de polimer inegale, ceea ce nu este optim pentru funcționarea dispozitivului cu acționare în planul structurii.

În literatura de specialitate sunt raportate diverse soluții care nu rezolvă în același timp toate problemele care pot apărea în timpul folosirii dispozitivului, cum ar fi reducerea deplasărilor în afara planului dispozitivului, reducerea stresului mecanic din interiorul structurii și incapsularea straturilor metalice în material dielectric.

Într-una dintre referințele reprezentative din literatura de specialitate pentru actuatorii termici fabricați utilizând polimeri [Nikolas Chronis, Luke P. Lee, „Electrothermally Activated SU-8 Microgripper for Single Cell Manipulation in Solution”, Journal of Microelectromechanical Systems 14(8), 57-63, 2005], este prezentat un dispozitiv acționat electro-termic fabricat dintr-un singur strat structural de polimer SU-8 și care utilizează un singur strat metalic compus de Cr/Au sub stratul polimer. Deoarece metalul este în contact direct cu polimerul, energia termică este transmisă în stratul de polimer. Stratul metalic este neizolat electric și asymmetric

a 2016 00360



04/04/2017

1

dispus datorita utilizarii unui singur strat de crom pentru aderenta. De asemenea, structura finala este in ansamblul ei asimetric fabricata datorita utilizarii unui singur strat de polimer SU-8 si a unui singur strat metalic. In lucrare sunt raportate deplasari in afara panului structurii pentru dispozitivele fabricate in acest mod.

In alta lucrare, autorii [N-T. Nguyen et al., „A polymeric microgripper with integrated thermal actuators”, J.Micromech. Microeng. 14 (2004), 969-974] prezinta modul de fabricare al unui actuator electro-termic cu lungimea de 5 mm utilizand polimerul SU-8 cu o grosime de 100  $\mu\text{m}$  si un strat metalic de Ti/Pt cu grosimi de 50nm respectiv de 70 nm. Si in acest caz dispozitivul rezultat este asimetric, iar grosimea stratului polimeric este mare.

Intr-o teza de doctorat [B. Solano, „A microgripper for single cell manipulation”, PhD thesis, 2008, Durham University] si in alte doua publicatii stiintifice [B. Solano, D. Wood, „Design and testing of a polymeric microgripper for cell manipulation”, Microelectronic Engineering 84 (2007) 1219–1222] si [B.P. Solano, A.J. Gallant si D. Wood, „Design and Optimisation of a Microgripper: Demonstration of Biomedical Applications Using the Manipulation of Oocytes”, Proc. of Design, Test, Integration Packaging of MEMS/MOEMS Conference, Rome, DTIP 2009] sunt prezentate doua metode de fabricare a dispozitelor de tip micro-penseta cu actionare electro-termica utilizand polimerul SU-8 ca material structural. Unul dintre procedeele de fabricare utilizeaza materialul exfoliant Omnicat pentru eliberarea dispozitelor si doua straturi polimerice de SU-8 de grosimi inegale, de 1.5  $\mu\text{m}$  si respectiv, 100  $\mu\text{m}$ ; autorii raporteaza deplasari nedorite in afara planului structurii. Cealalta metoda de fabricare utilizeaza un alt procedeu de eliberare a dispozitelor, bazat pe corodarea uscata utilizand  $\text{XeF}_2$ . Fabricarea dispozitelor in acest caz se bazeaza pe aceleasi tipuri de straturi active cu aceleasi grosimi ca mai sus. Autorii raporteaza ca aceasta metoda este mai costisitoare in comparatie cu primul procedeu. Primul strat de polimer SU-8 este realizat mai subtire fata de-al doilea strat pentru a fi utilizat ca strat de aderenta. Procedeele de fabricare si dispozitivele sus-mentionate sunt prezentate si in publicatia PCT cu numarul WO/2007/138266 [B. Solano si D. Wood, "Electro-mechanical actuator device and apparatus incorporating such device"].

O alta metoda de incapsulare a elementului conductiv in polimer este prezentata in lucrările [F. Krecinic et al., „Finite element modelling and experimental characterization of an electro-thermally actuated silicon-polymer micro gripper”, J. Micromech. Microeng. 18 (2008), 064007(7pp)] si [G.K.Lau et al., „An in-plane thermal unimorph using confined polymers”, J. Micromech. Microeng. 17 (2007), S174-S183]. Elementul conductiv utilizat este aluminiul. Pentru fabricare se



utilizeaza placete SOI, pe de o parte, si nitrura de siliciu ca strat dielectric pe de alta parte, ceea ce face ca procedeul de fabricare descris sa aiba costuri de fabricare ridicate. De asemenea, grosimile straturilor de materiale utilizate nu sunt simetric dispuse.

În lucrarea urmatoare [K. S. Colinjivadi, J.-B. Lee, R. Draper, „Viable cell handling with high aspect ratio polymer chopstick gripper mounted on a nano precision manipulator”, Microsyst. Technol. (2008) 14:1627–1633] se prezinta o metoda de fabricare bazata pe procese UV-LIGA. Procedeul prezentat aici are costuri de fabricare suplimentare datorita, pe de o parte a unui proces de ingrosare prin electroliza a stratului metalic de aur pana la 2 micrometri grosime si, pe de alta parte, prin utilizarea unui strat de sacrificiu de oxid (LTO) cu grosimea de 5 micrometri. Se incearca o optimizare a deplasarilor in afara planului prin varierea grosimii stratului polimeric. Procedeul de fabricare prezentat utilizeaza un singur strat de polimer si un singur strat de metal care este neizolat.

Ideea, in baza unor simulari numerice, a unei metode pentru reducerea deplasarilor in afara planului utilizand doua straturi metalice de Au simetric dispuse fata de un singur strat structural de polimer SU-8 a fost propusa si prezentata in anul 2007 in lucrarea [R. Voicu, D. Esinenco, R. Müller, L. Eftimie, C. Tibeica, “Method for overcoming the unwanted displacements of an electro-thermally actuated microgripper”, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Multi-Material Micro Manufacture-4M 2007, Borovets, Bulgaria, Oct.2007, pp.39-42, 2007].

R. Zhang et.al. au transpus in practica ideea sus-mentionata si, folosind Cu in loc de Au, au brevetat [patentul CN 102079498 B acordat pe 04-07-2012, “Flexible electrothermal drive micro-gripper and manufacturing process method”] un procedeu de fabricare a dispozitivelor actuate electro-termic utilizand procesele UV-LIGA care rezolva problema deplasarilor in afara planului pentru structurile cu actionare in plan utilizand doua straturi metalice dispuse simetric dedesubt si deasupra stratului polimeric de SU-8. Aceeasi metoda impreuna cu dispozitivul fabricat este prezentata in urmatoarea referinta: [R. Zhang, J. Chu, H. Wang, Z. Chen, „A multipurpose electrothermal microgripper for biological micro-manipulation”, Microsyst. Technol. (2013) 19:89–97]. In acest caz, cele doua straturi metalice sunt complet neizolate din punct de vedere electric. In plus, aceasta metoda de fabricare are un grad sporit de complexitate datorita procesului care presupune realizarea metalizarilor, doua depuneri de metale folosind o matrita metalica, dupa eliberarea structurilor din SU-8.

a 2016 00360



04/04/2017

3

Într-un alt patent și anume CN 101759137 B [„Method for manufacturing electrothermal driving photoresist micro gripper”] se prezintă o metodă de fabricare pentru dispozitive electro-termice cu strat metalic încapsulat în polimer utilizând grosimi diferite pentru straturile de SU-8. Metoda propusă folosește două straturi de metale de cupru și titan fără a asigura simetria grosimilor dispozitivului. Stratul de cupru are grosimea de 800 nm, iar cel de titan 200 nm grosime. În plus, pentru eliberarea structurilor, se utilizează un strat de oxid care necesită formarea și corodarea să la final utilizând solutii pe baza de acid fluorhidric.

## **DEZAVANTAJELE SOLUȚIILOR PREZENTATE ÎN STADIUL TEHNICII**

Dezavantajele soluțiilor descrise la punctul anterior sunt:

- straturi de metale cu grosimi diferite, asimetrice sau fabricate în procese tehnologice separate.

- în cazul folosirii a unui singur strat de polimer, stratul metalic nu este izolat din punct de vedere electric ceea ce afectează funcționarea dispozitivului în lichide și în cazul probelor biologice.

- straturi de polimer cu grosimi diferite, în cazul folosirii a două straturi de polimer, ceea ce se traduce în lipsa de simetrie în structura verticală care, la rândul ei nu rezolvă problema deplasărilor în afara planului dispozitivului.

- oxidare prealabilă a placătelor de siliciu la temperatură înaltă pentru a obține un strat de sacrificiu cu grosime de cel puțin 1 µm.

- nu se asigură izolarea stratului metalic în același timp cu reducerea deplasărilor în afara planului.

- grad sporit de complexitate a metodei de fabricare a dispozitivelor datorită numărului mare de etape pe fluxul tehnologic.

## **PROBLEMA TEHNICA PE CARE O REZOLVA INVENTIA**

Invenția rezolvă concomitent trei probleme tehnice, și anume: (a) reducerea efectului tensiunilor mecanice reziduale din metale asupra dispozitivelor actuate electro-termic fabricate din polimeri dielectrici cu mișcare în planul structurii, (b) reducerea deplasărilor în afara planului și (c) izolarea elementului metalic în stratul polimeric, care este un dielectric.

## **SOLUTIA INVENTIEI**

Procedeul descris în această inventie se referă la fabricarea fie pe substrat de siliciu, fie pe substrat de sticlă a unor dispozitive actuate electro-termic. Procedeul tehnologic constă în suprapunerea a trei straturi active de materiale.

a 2016 00360



04/04/2017

4

Primul strat, ca si strat structural, este realizat dintr-un fotopolimer, cum ar fi polimerul SU-8, depus pe substrat. Urmeaza al doilea strat, si anume, stratul conductiv care, din motive de aderenta, este compus la randul lui din trei straturi metalice si anume crom/aur/crom. Cele doua straturi de aderenta realizate din crom au aceeasi grosime. Grosimea stratului intermediar de aur se ajusteaza in functie de modul de realizarea a conexiunilor electrice. Al treilea strat este realizat din acelasi fotopolimer, este depus peste stratul metalic si se comporta tot ca si strat structural si are aceeasi grosime ca si primul strat de polimer. Scopul acestei geometrii cu un strat metalic plasat intre doua straturi de fotopolimer de aceeasi grosime este reducerea efectului tensiunilor mecanice reziduale din metale asupra dispozitivului si reducerea deplasarilor in afara planului structurii dispozitivului si, in acelasi timp are rolul de a izola elementul metallic in stratul polimeric, care este dielectric. Pentru facilitarea desprinderii si eliberarii dispozitivului de pe substrat, intre substrat si primul strat de polimer se depune in prealabil un strat exfoliant care nu va face parte din dispozitivul final. Eliberarea dispozitivelor se efectueaza fara solutii de corodare, pentru ca procedeul descris in prezenta inventie nu utilizeaza un strat de sacrificiu. Stratul exfoliant se indeparteaza prin procedee simple chimice umede.

#### **AVANTAJELE INVENTIEI IN RAPORT CU STADIUL TEHNICII**

Prin aplicarea acestei inventii se obtine concomitent (a) reducerea efectului tensiunilor mecanice reziduale din metale asupra dispozitivului, (b) deplasările in afara planului structurii dispozitivului si (c) izolarea elementului metallic in stratul polimeric, care este dielectric.

Un alt avantaj (d) al dispozitivelor realizate prin procedeul prezentat este izolarea electrică a circuitului electric de încălzire față de obiectul sau proba biologica manipulata fie intr-un fluid fie in aer, deoarece stratul metallic care formeaza rezistenta de incalzire este încapsulat intre doua straturi de aceeasi grosime de fotopolimer, cum ar fi SU-8, cu proprietati dielectrice.

Mai mentionam ca (e) procedeul poate fi utilizat pentru realizarea de dispozitive biocompatibile actionate electro-termic utilizate pentru manipulari biologice in diferite medii de operare, aer, alte gaze sau lichide, cat si pentru asamblare si pozitionare de micro-componente MEMS.

Adaugam ca (f) procedeul nu foloseste straturi de oxid pe siliciu pentru eliberare si nu se utilizeaza solutii pe baza de acizi si procese de corodarea pentru eliberarea structurilor.

a 2016 00360



04/04/2017

5

Un alt avantaj (g) este depunerea simetrica a straturilor de metale Cr/Au/Cr si Cr/Pt/Cr utilizand un singur proces de depunere, cu grosimi egale ale straturilor de aderenta de crom.

Alte avantaje sunt (i) realizarea simpla si (j) rapida a pasilor de proces necesari fabricarii dispozitivelor care, la randul lor, contribuie la (k) reducerea costurilor si (l) permite productia de serie mare.

#### **MODUL IN CARE INVENTIA POATE FI EXPLOATATA INDUSTRIAL**

Aceasta inventie poate fi folosita pentru realizarea tehnologica a dispozitivelor de tip MEMS cu actionare electro-termică, folosite ca efectuatori finali pentru micromanipulare. Inventia poate fi utilizata pentru realizarea de micro-dispozitive actionate electro-termic cu miscare in planul dispozitivului. Astfel de dispozitive pot fi micro-penseste sau micro-dispozitive pentru testare de micro-probe.

Aplicatii ale dispozitivelor fabricate utilizand prezenta inventie sunt in domeniul micromanipularii si testarii de probe biologice, in industria micro-robotica si in industria microelectronica, mai precis pentru asamblari si pozitionari de componente si subansamble MEMS.

Dispozitivele fabricate utilizand aceasta inventie sunt capabile sa actioneze in diverse medii de operare cum ar fi aer, gaze, apa sau alte lichide.

a 2016 00360



04/04/2017

6

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Ilie Popescu".

## DESCRIEREA INVENTIEI

Invenția se referă la un procedeu de realizare tehnologică a unor dispozitive de tip MEMS, cum ar fi micro-pensetele, actionate electro-termic, cu dimensiuni sub-milimetrice cu ajutorul cărora pot fi asamblate sau poziționate și manipulate celule, țesuturi biologice și micro-componente MEMS, cum ar fi lentile, fibre optice. Un exemplu de dispozitiv de tip MEMS cu acțiune electro-termică utilizat ca efectuator final pentru micromanipulare este fabricat utilizând procedeul de realizare tehnologică prezentat în inventie este o micro-penseta descrisă conform Figurilor 1 și 2.

Dispozitivul este acționat utilizând efectul electro-termo-mecanic, adică prin trecerea unui curent electric printr-un traseu conductiv se obține încalzirea materialului într-un anumit loc dorit în dispozitiv. La rândul ei creșterea de temperatură va determina expansiunea termică a materialului. Aceasta expansiune va genera o deformare care este amplificată mecanic și transmisă brațelor dispozitivului pentru a prinde și manipula un obiect.

Prin procedeul de realizare descris în inventie sunt fabricate dispozitive la care mișcarea are loc în planul structurii, cu deschiderea sau închiderea brațelor, în vederea poziționării sau manipulării unor elemente la scară micro, cum ar fi celule, țesuturi biologice și componente MEMS. Actuatorii termici sunt cunoscuți pentru capacitatea de a genera forțe mai mari decât alte tipuri de actuatori. Un dispozitiv fabricat dintr-un singur material activ va fi usor de realizat dar deplasările rezultate în acest caz ca urmare a expansiunii termice sunt mult mai mici în comparație cu deplasările obținute de către dispozitive fabricate utilizând două sau mai multe materiale active.

Procedeul descris în această inventie se referă la fabricarea fie pe substrat de siliciu, fie pe substrat de sticlă a unor dispozitive acționate electro-termic. Procedeul tehnologic constă în suprapunerea a trei straturi active de materiale. Primul strat, ca și strat structural, este realizat dintr-un fotopolimer, cum ar fi SU-8, depus pe substrat. Urmează al doilea strat, și anume, stratul conductiv care, din motive de aderență, este compus la rândul lui din trei straturi metalice și anume crom/aur/crom. Cele două straturi de aderență realizate din crom au aceeași grosime. Grosimea stratului intermediar de aur se ajustează în funcție de modul de realizarea a conexiunilor electrice. Al treilea strat este realizat din același fotopolimer, este depus peste stratul metalic și se comportă tot ca și strat structural și are aceeași grosime ca și primul strat de polimer. Scopul acestei geometrii cu un strat metalic plasat între două straturi de fotopolimer, cum ar fi SU-8, de aceeași



grosime este reducerea efectului tensiunilor mecanice reziduale din metale asupra dispozitivului si reducerea deplasarilor in afara planului structurii dispozitivului si, in acelasi timp are rolul de a izola electric elementul metalic in stratul polimeric, care este dielectric.

Fotopolimerii, cum ar fi cei din clasele de SU-8, au fost alesi datorita proprietatilor lor mecanice, termice si electrice, a posibilitatilor de micro-prelucrare, precum si datorita proprietatilor de biocompatibilitate. De exemplu, polimerul SU-8 este folosit in industria microelectronicii ca fotorezist negativ si este biocompatibil.

Din punct de vedere mecanic, fotopolimerii, cum ar fi clasele de polimeri SU-8, prezinta un modul de elasticitate mic ( $E \sim 4\text{GPa}$ ) si sunt suficient de rezistenti la rupere (34 MPa tensiune mecanica de intindere pentru SU-8). Din punct de vedere termic, de exemplu, fotopolimerii SU-8 prezinta un coeficient de dilatare termica de 52 ppm /°C, o conductivitate termica de 20-35 W/mK si o temperatura de tranzitie la sticla (T<sub>g</sub>) de 210 °C.

Metalul intermediar, cum ar fi aurul, a fost ales ca strat conductiv datorita proprietatilor sale de biocompatibilitate si a coeficientului de dilatarea termica ridicat in comparatie cu alte metale, dar si datorita compatibilitatii tehnologice cu fotopolimerii, cum ar fi SU-8.

In literatura de specialitate se raporteaza in general procedee care folosesc un strat metalic neprotejat deasupra/dedesubtul stratului de polimer, sau grosimi ale straturilor de polimer inegale ceea ce nu este optim pentru functionarea dispozitivului cu actionare in planul structurii. Procedeul descris permite fabricarea dispozitivelor cu straturi de fotopolimeri, cum ar fi SU-8, dispuse simetric fata de planul care contine stratul metalic, ceea ce reduce efectul tensiunilor mecanice reziduale din metal. In acest sens, un rol important il are si utilizarea a doua straturi metalice de aderenta de aceeasi grosime dispuse simetric fata de stratul metalic intermediar.

Inventia prezinta un procedeu de realizare tehnologică pentru dispozitivele actionate electro-termic descrise anterior, utilizand tehnica de exfoliere a fotopolimerului (SU-8) prin utilizarea unui strat exfoliant de Omnicat intre substrat si stratul de fotopolimer adjacente. Ca substrat se foloseste o placeta de siliciu care poate avea orice fel de orientare cristalografica, grad sau tip de dopare si conductivitate sau o placeta de sticla.

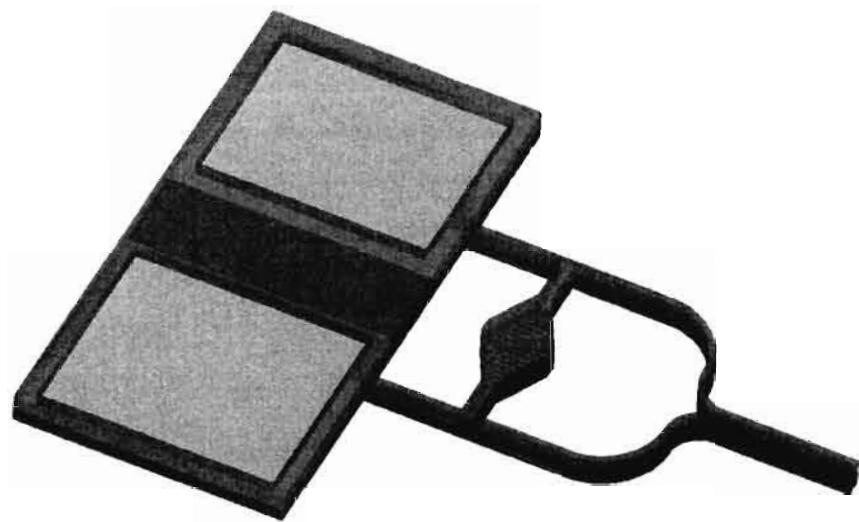
a 2016 00360



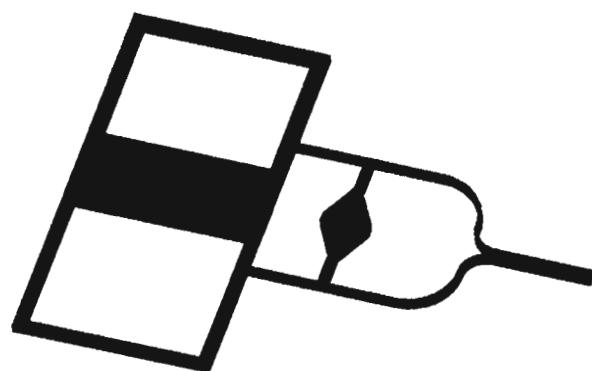
04/04/2017

8

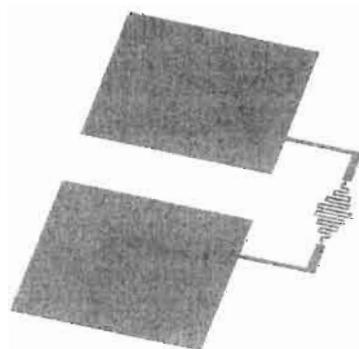
A handwritten signature in black ink, appearing to be a stylized "P" or "F" followed by other characters.



**Figura 1:** Exemplu de dispozitiv cu actionare electro-termica de tip MEMS, o micro-penseta, utilizat pentru micromanipulare, cu strat metalic incapsulat in fotopolimer (SU-8) (vedere de asamblu a straturilor ce compun structura)



**Figura 2A.**

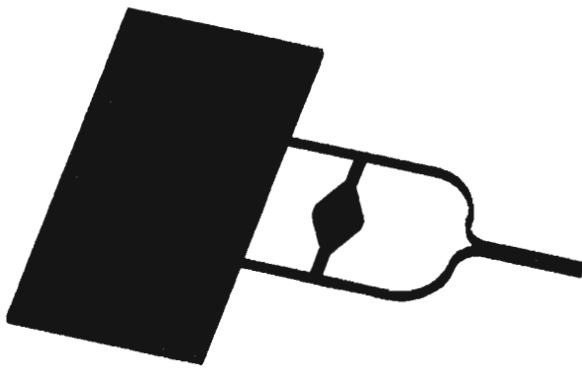


**Figura 2B.**

a 2016 00360



04/04/2017



**Figura 2C.**

**Figura 2:** Exemplu de dispozitiv cu actionare electro-termica de tip MEMS pentru micromanipulare, o micro-penseta cu strat metalic encapsulat; vedere explodata pe straturi: Figura 2A: al doilea strat de polimer SU-8 configurat, cu deschideri pentru accesarea padurilor metalice; Figura 2B: strat metalic compus de Cr/Au/Cr configurat; Figura 2C: primul strat de polimer SU-8 configurat. Numerotarea straturilor se face de la substrat in sus, in ordinea procesului tehnologic.

**Fluxul tehnologic de realizare** a dispozitivelor actionate electro-termic utilizeaza 3 masti de configurare, dintre care doua pentru configurarea straturilor de fotopolimer si una pentru configurarea straturilor metalice de Cr/Au/Cr. Fluxul tehnologic cuprinde urmatoarele etape prezentate prin corelare cu Figura 3, si anume:

Figura 3D. Curatire placete de siliciu sau de sticla

Figura 3E. Depunere strat exfoliant de Omnicat cu grosimea de cel putin 30 nm folosind spinnerul apoi tratare termica la 200° C pe plita;

Figura 3F. Depunere strat fotopolimeric, cum ar fi polimerul SU-8, care reprezinta strat functional, de structura. Tratament termic (soft backing) efectuat la temperaturi de 65 °C si 95 °C dupa etalare;

Figura 3G. Configurare strat polimeric. Expunere fotorezist prin contact direct urmata de un nou tratament termic si de developare. Tratament termic (hard backing);

Figura 3H. Depunere, expunere si configurare fotorezist AZ pentru pregatirea procesului de lift-off al stratului metalic ulterior depus.

Figura 3I. Depunere metalica: un strat de Cr cu grosimea de 10 nm pentru adeziune, un strat de Au de 300 nm si apoi din nou un strat de Cr de 10 nm pentru adeziunea stratului urmator de polimer SU-8 depus deasupra.

Figura 3J. Indepartare fotorezist AZ (realizare lift-off);

Figura 3K. Depunere strat fotopolimeric cu deschideri pentru paduri pentru a avea acces la stratul metalic inainte depus si incapsulat in acest pas. Tratament termic (soft backing) efectuat la temperatura de 65 °C si la temperatyura de 95 °C dupa etalare.

Figura 3L. Configurare strat polimeric. Exponere fotorezist prin contact direct urmata de un nou tratament termic si de developare.

Figura 3M. Tratamentul termic final al structurii la temperatura de 180...200°C.

Figura 3N. Eliberarea structurilor prin exfolierea straturilor de polimer de pe placheta de Si prin indepartarea umeda a stratului exfoliant de Omnicontact si curatirea cu solutia piranha si apa deionizata.

Se prezinta in continuare pasii procedeului tehnologic de realizare a dispozitivelor de tip MEMS pentru micromanipulare (Figura 3).



Figura 3D.

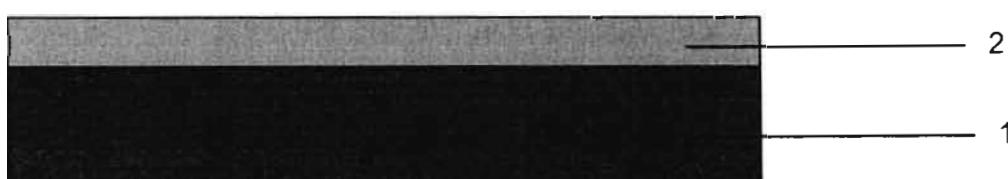


Figura 3E.



Figura 3F.

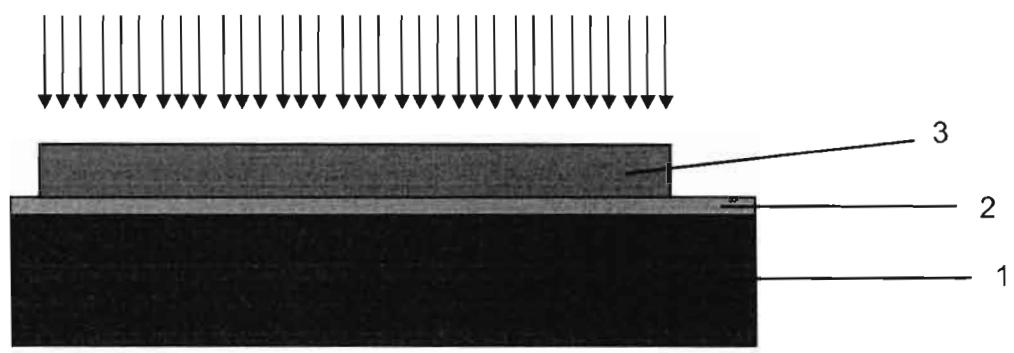


Figura 3G.

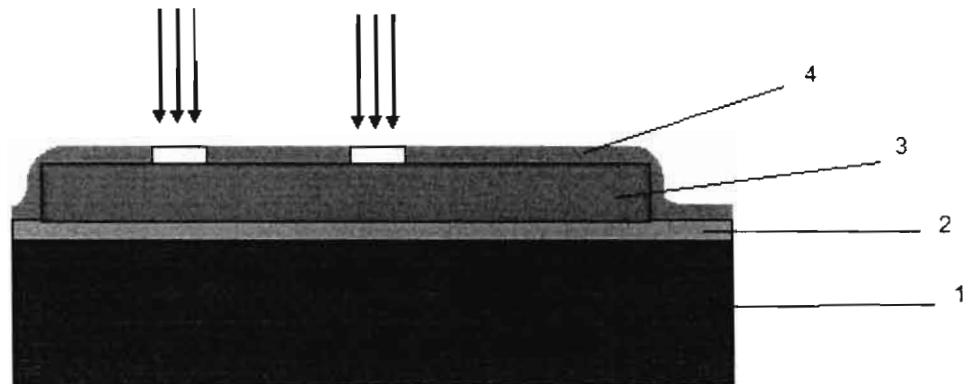


Figura 3H.

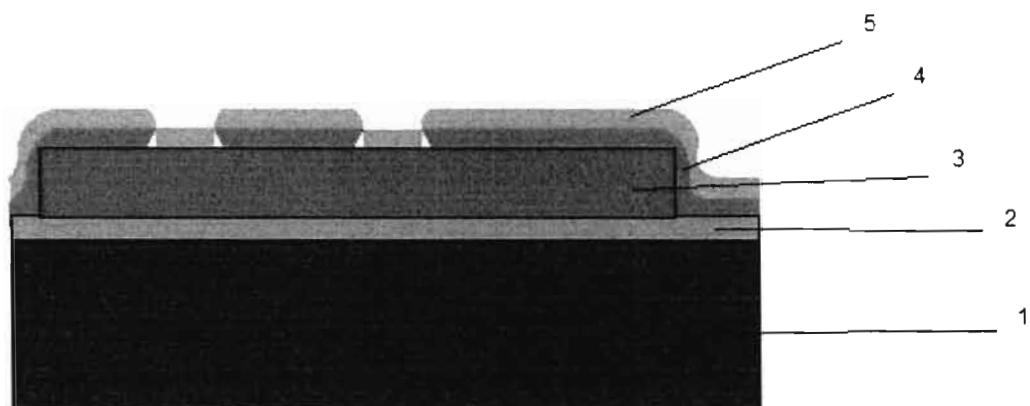


Figura 3I.

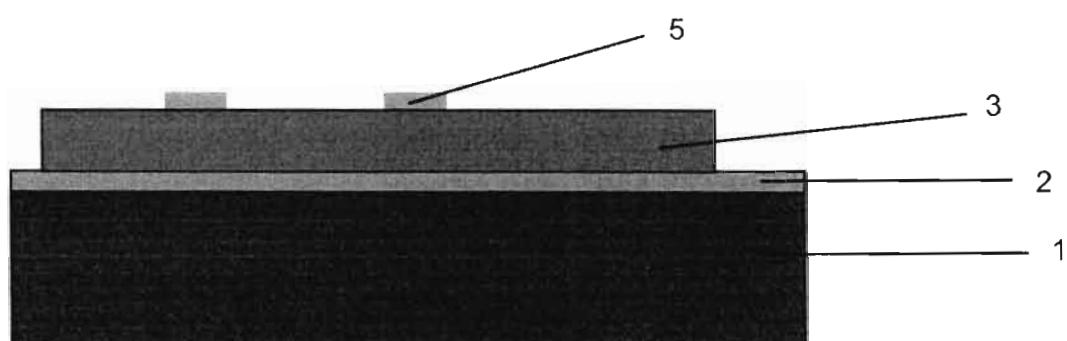


Figura 3J.

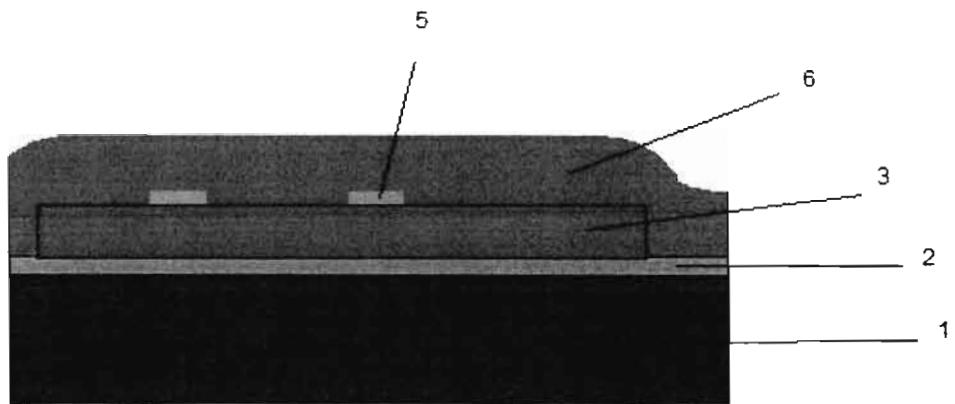


Figura 3K.

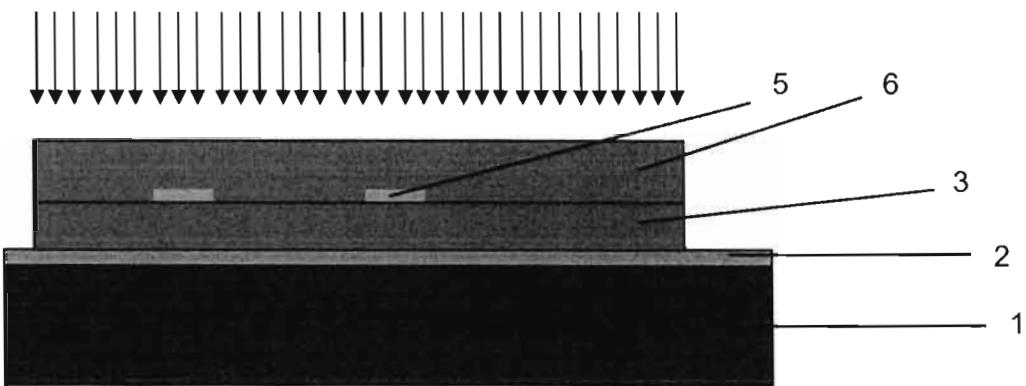


Figura 3L.

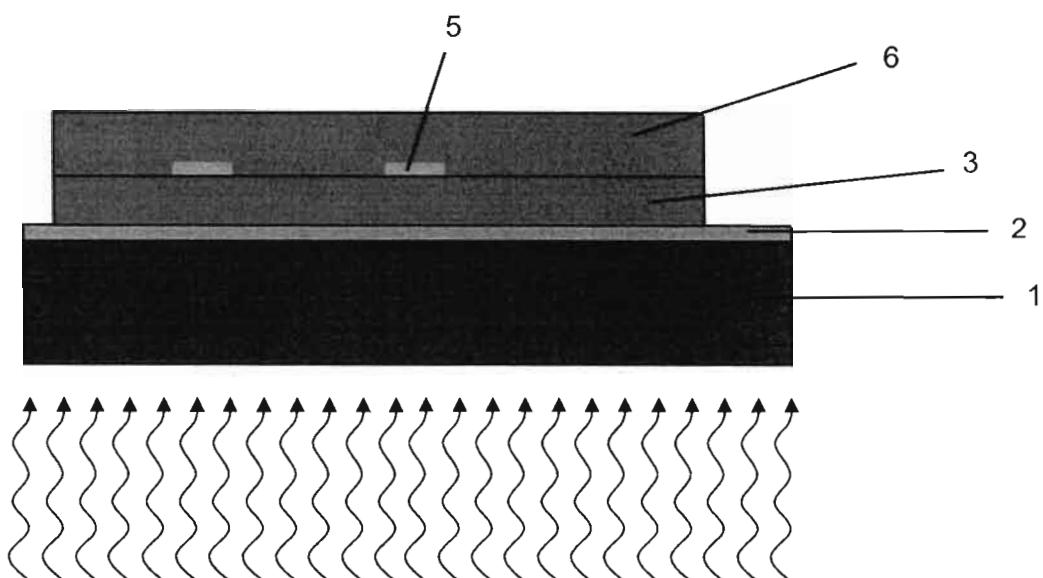
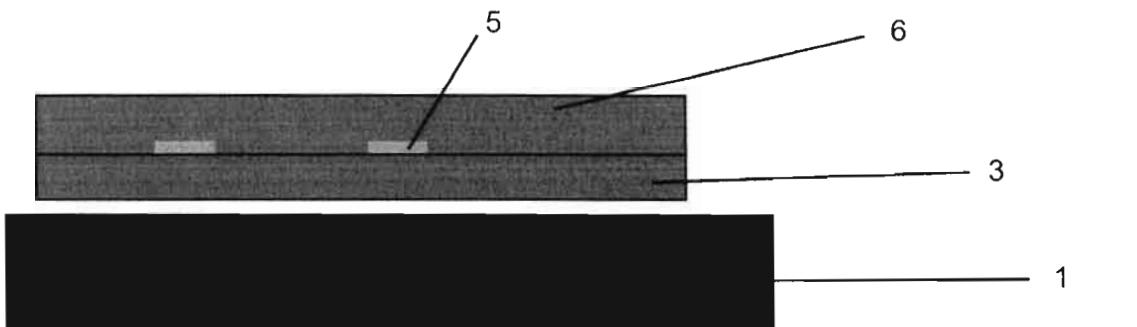


Figura 3M.

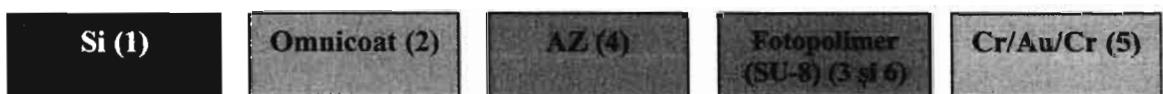
a 2016 00360



04/04/2017



**Figura 3N.**



**Figura 3O.**

**Figura 3.** Procedeu de realizare tehnologic pentru obtinerea dispozitivelor de tip MEMS cu actionare electro-termica, folosite ca efectuatori finali pentru micromanipulare, cu strat metalic încapsulat în fotopolimer: Figura 3D: Placheta initială de siliciu; Figura 3E: Depunere strat exfoliant Omnicoat; Figura 3F: Depunere fotopolimer și tratament termic; Figura 3G: Configurare polimer: Expunere fotopolimer, tratament și developare; Figura 3H: Depunere, expunere și developare fotorezist AZ; Figura 3I: Depunere metale Cr/Au/Cr; Figura 3J: Lift-off metale prin indepartare fotorezist AZ; Figura 3K: Depunere fotopolimer și tratament termic; Figura 3L: Configurare polimer: Expunere fotopolimer, tratament și developare; Figura 3M: Tratament termic final la 195 °C; Figura 3N: Indepartare strat exfoliant Omnicoat - eliberare structuri; Figura 3O: Legenda culorilor.

#### **EXEMPLU DE REALIZARE CONCRETĂ A INVENTIEI**

Un exemplu de dispozitiv de tip MEMS cu actionare electro-termica utilizat ca efectuator final pentru micromanipulare pentru care a fost utilizat procedeul de realizare tehnologica prezentat in inventie este o micro-penseta descrisa conform Figurilor 1 si 2. Micropenseta prezentata este actuata electro-termic cu miscare in planul structurii. Bratele dispozitivului sunt in starea initiala inchisa. In momentul actionarii electro-termice prin aplicarea unei diferente de potential pe padurile metalice structura isi va deschide bratele libere care pot prinde sau manipula un micro-obiect.

Dispozitivul de tip MEMS cu actionare electro-termica a fost realizat tehnologic utilizand procedeul de realizare descris in inventie. Rezultatele privind structura fabricata, alte dispozitive electro-termice aranjate pe un cip si modul lor de operare sunt prezentate in Figurile 4 si 5. In Figura 5 se poate observa ca imaginea

structurii din momentul maxim al actuatorii (Figura 5U) ramane la fel de clara ca cea in care structura se afla in starea initiala (Figura 5T), ceea ce demonstreaza reducerea deplasarilor in afara planului. Transparenta materialului fotopolimeric SU-8 permite vizualizarea stratului metalic incapsulat in polimer (Figura 4P).

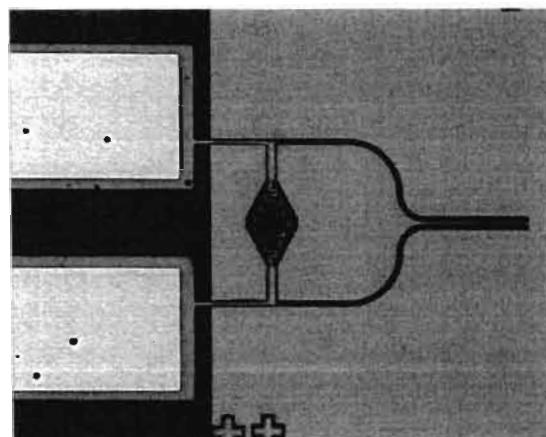


Figura 4P.



Figura 4R.

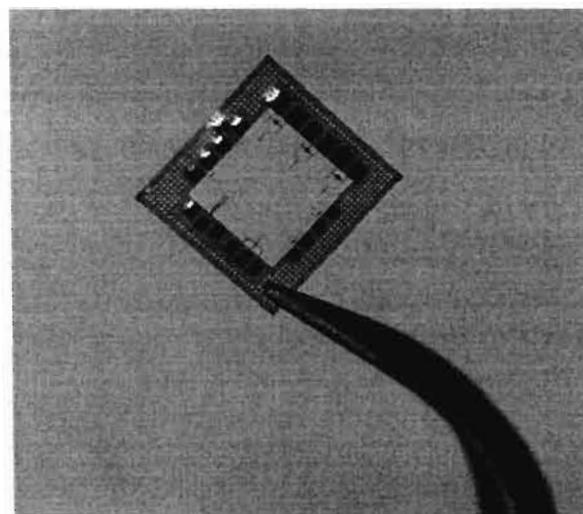
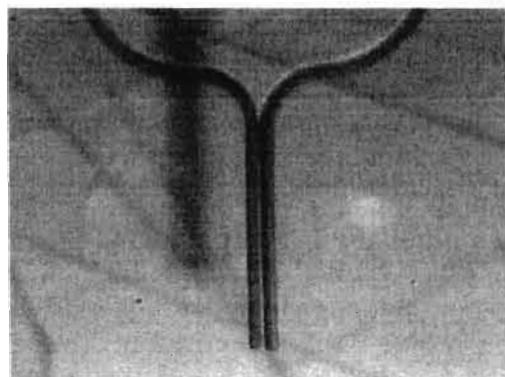
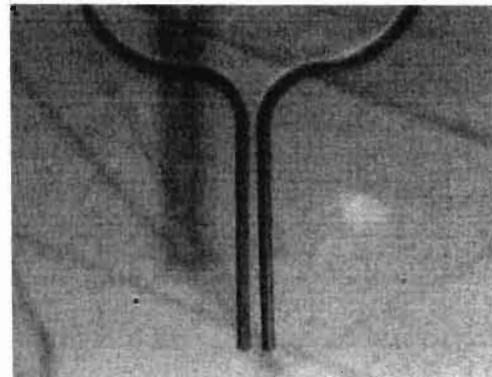


Figura 4S.

**Figura 4.** Imagini la microscopul optic cu un exemplu de dispozitiv fabricat din fotopolimerul SU-8 si Cr/Au/Cr utilizand procedeul de realizare prezentat in inventie: Figura 4P: structura fabricata inainte de eliberarea ei; Figura 4R: structura eliberata si pregetita pentru testare; Figura 4S: un cip cu mai multe dispozitive fabricate din SU-8 cu actionare electro-termica cu miscare in planul dispozitivului eliberate (imagine fotografica)



**Figura 5T.**



**Figura 5U.**

**Figura 5.** Diferite stagiile de operare ale bratelor micro-pensetei pentru un curent electric aplicat: Figura 5T: deschiderea intiala a bratelor la 0 mA; Figura 5U: deschiderea bratelor la 32 mA.

a 2016 00360



04/04/2017

16

A handwritten signature in black ink, appearing to be a stylized form of the letter "P".

## REVENDICARI

1. **Procedeu de realizare** a dispozitivelor actionate electro-termic **caracterizat prin aceea ca** este alcătuit dintr-un substrat (1), un strat exfoliant (2), un strat de fotopolimer cum ar fi, de exemplu, SU-8, pentru configurarea dispozitivului în partea inferioara (3), un strat de fotorezist cum ar fi, de exemplu, AZ, cu rol în configurarea metalelor prin metoda lift-off (4), un strat metalic, cum ar fi, de exemplu, un compus Cr/Au/Cr sau Cr/Pt/Cr din care se realizează rezistențele pentru încalzire (5), un al doilea strat de polimer din același material ca și stratul (3) care va forma structura mecanică a dispozitivului în partea superioară și va încapsula stratul metalic cu orificii pentru accesul la padurile metalice (6), dispuse geometric în ordinea descrisă.
2. Referitor la revendicarea 1, **procedeul este caracterizat prin aceea ca** utilizează două straturi de polimer biocompatibil SU-8 de aceeași grosime, cu orice valoare în intervalul 5...50 µm, dispuse simetric față de stratul metalic.
3. Referitor la revendicarea 1, **procedeul este caracterizat prin aceea ca** polimerul SU-8 poate fi înlocuit cu orice alt fel de polimer/fotopolimer care poate fi paternat simetric conform descrierii procedeului de realizare a dispozitivelor actionate electro-termic.
4. Referitor la revendicarea 1, **procedeul este caracterizat prin aceea ca**
  - utilizează ca **substrat** o placă de siliciu cu orice fel de marime, orientare cristalografică, conductivitate și tip și grad de dopare sau o placă de sticlă,
  - se depune un **strat exfoliant** cum ar fi, de exemplu, Omnicat, cu grosimea de cel puțin 30 nm tratat termic la 200° C pe plăcă sau orice alt strat de material care poate fi utilizat ca exfoliant;
  - după depunerea stratului exfoliant se depune, se tratează termic, se expune și se configerează prin developare utilizând o masă, un **strat fotopolimeric** cum ar fi, de exemplu, de fotopolimerul SU-8 care reprezintă primul strat funcțional și care este ulterior tratat termic,
  - după depunerea și configurarea primului strat funcțional se depune și se configerează un **fotorezist** cum ar fi, de exemplu, AZ de o anumita grosime compatibilă cu pregătirea procesului de lift-off al stratului metalic care se depune ulterior,
  - după depunerea și configurarea stratului de fotorezist se depune stratul metalic activ compus prin depunerea succesiva de **metalele** cum ar fi, de exemplu, crom/aur/crom sau crom/platina/crom într-un singur proces, în ordinea prezentată, și unde straturile de aderență de crom au aceeași grosime,

a 2016 00360

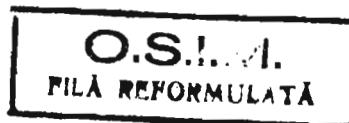


04/04/2017

17

- dupa depunerea si configurarea stratului metalic activ se indeparteaza stratul de fotorezist.
  - dupa indepartarea stratului de fotorezist se depune, se trateaza, se expune si se configureaza prin developare utilizand o noua masca un nou **strat fotopolimeric** cum ar fi, de exemplu, SU-8 cu deschideri pentru accesul la padurile metalice, care strat foto-polimeric reprezinta al doilea strat functional si care incapsuleaza stratul metalic activ,
  - dupa depunerea si configurarea celui de al doilea strat functional se efectueaza un **tratament final** pe plita a ansamblului de structuri obtinute,
  - ca ultima etapa a fluxului tehnologic se indeparteaza umed stratul exfoliant urmat de curatirea cu solutia piranha si apa deionizata si astfel se obtine **eliberarea** structurilor de pe substrat.
5. Referitor la revendicarile 1 si 4, **procedeul este caracterizat prin aceea ca** utilizeaza ca si strat metalic activ doua straturi pentru adeziune de crom de aceeasi grosime si un strat de metal intermediar, cum ar fi, de exemplu aur sau platina;
  6. Referitor la revendicarile 1 si 5, **procedeul este caracterizat prin aceea ca** pot fi folosite orice alte metale impreuna cu metalele corespunzatoare de aderenta cu grosimi egale;
  7. Referitor la revendicarile 1 si 5, **procedeul este caracterizat prin aceea ca** stratul metalic activ poate fi fabricat dintr-un singur metal, cum ar fi, de exemplu nichel sau argint sau doar aur care nu necesita strat de aderenta;
  8. Referitor la revendicarile 1 si 5, **procedeul este caracterizat prin aceea ca** stratul metalic activ poate fi inlocuit cu un strat polimeric compozit cu proprietati conductoare electric sau orice alt material conductiv electric compatibil cu fotopolimerii utilizati;
  9. Referitor la revendicarile 1 si 4, **procedeul este caracterizat prin aceea ca** utilizeaza doua straturi de fotopolimer SU-8 tratate in final pe plita la temperaturi cuprinse in intervalul 180...200 °C.
  10. Referitor la revendicarea 4, **procedeul este caracterizat prin aceea ca** eliberarea dispozitivului se realizeaza fara a utiliza solutii acide de corodare si se face concomitent cu curatirea dispozitivelor in solutii, cum ar fi, de exemplu solutia piranha si apa deionizata;
  11. Referitor la revendicarile 1 si 3, **procedeul este caracterizat prin aceea ca** dispozitivele actionate electro-termic fabricate utilizand procedeul de realizare descris in aceasta inventie nu afecteaza din punct de vedere electric proba manipulata in timpul functionarii dispozitivului indiferent de mediul de operare ales.

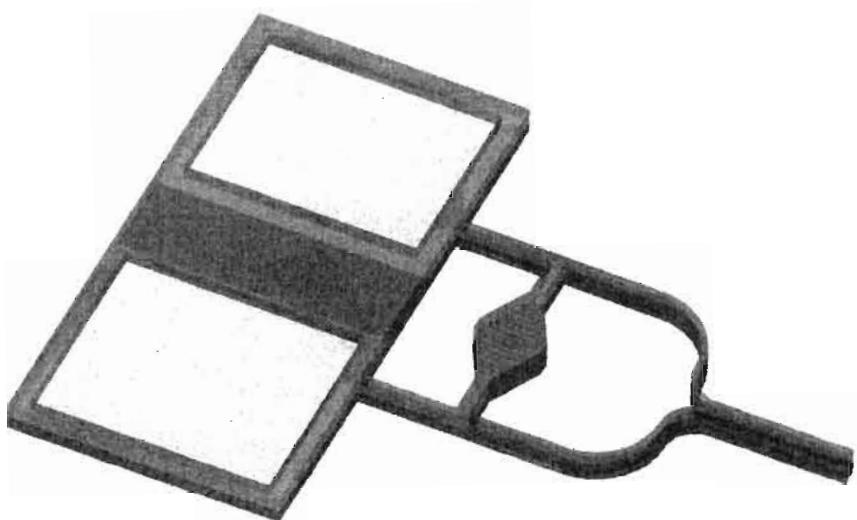
a 2016 00360



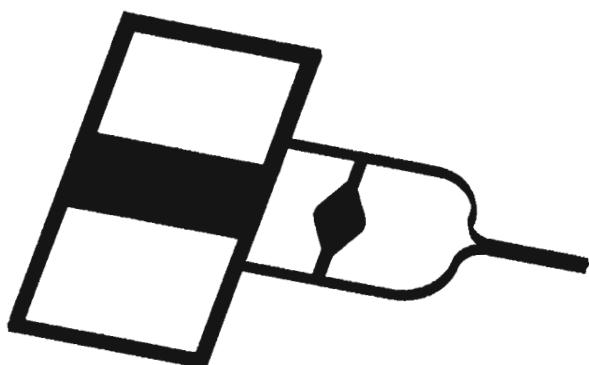
04/04/2017

18

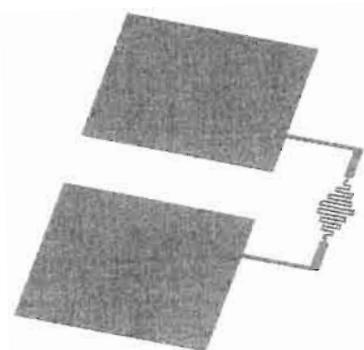
**DESENE**



**Figura 1**



**Figura 2A.**



**Figura 2B.**

a 2016 00360



04/04/2017

19

A handwritten signature in black ink, appearing to read "D. Gheorghe".

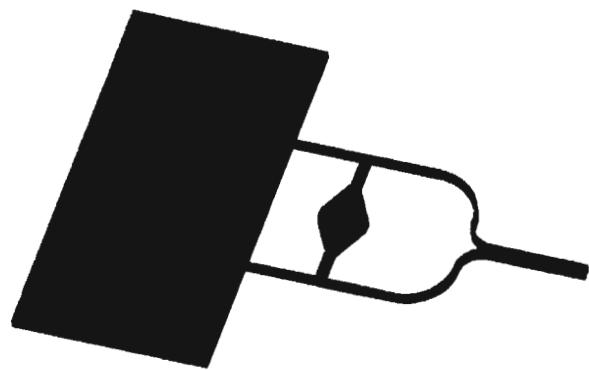


Figura 2C.



Figura 3D.



Figura 3E.

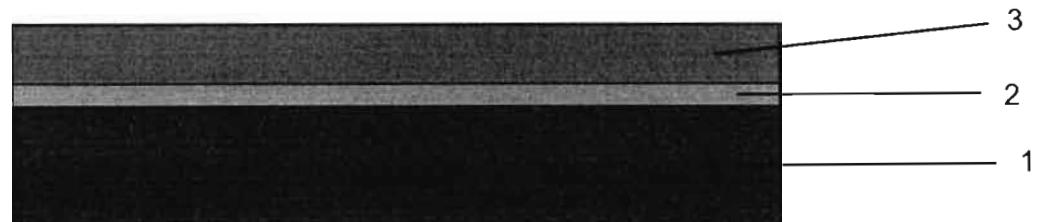


Figura 3F.

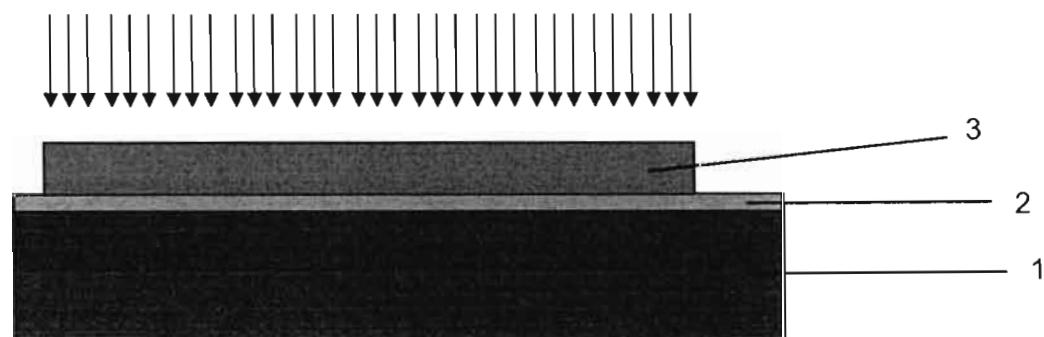


Figura 3G.

a 2016 00360



04/04/2017

20

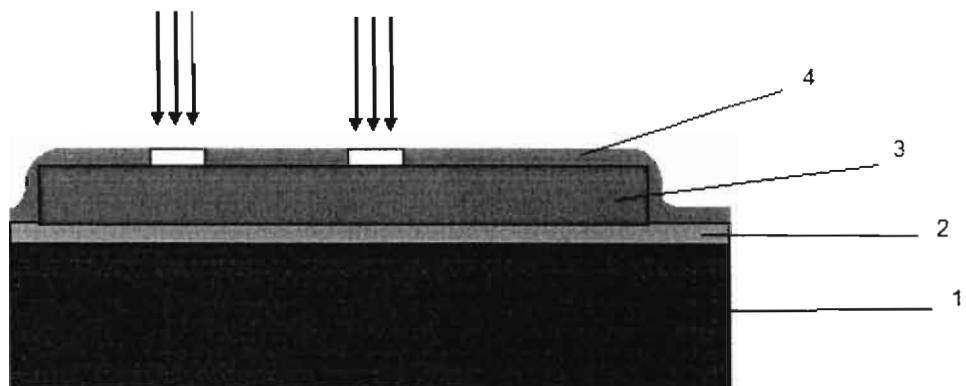


Figura 3H.

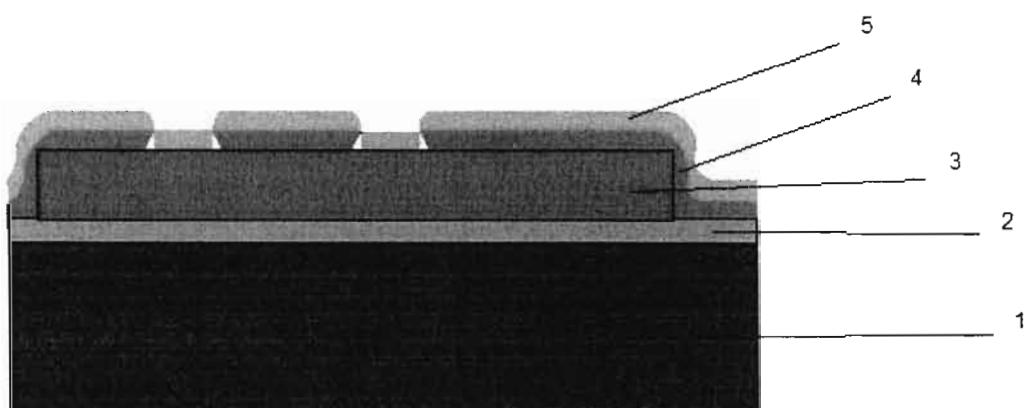


Figura 3I.

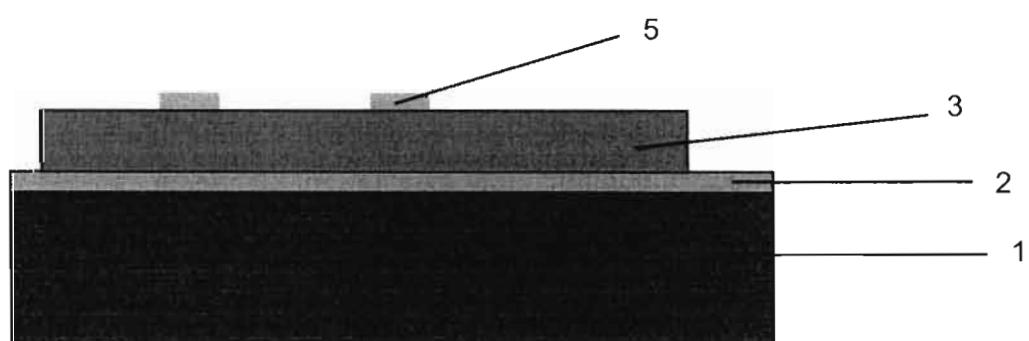


Figura 3J.

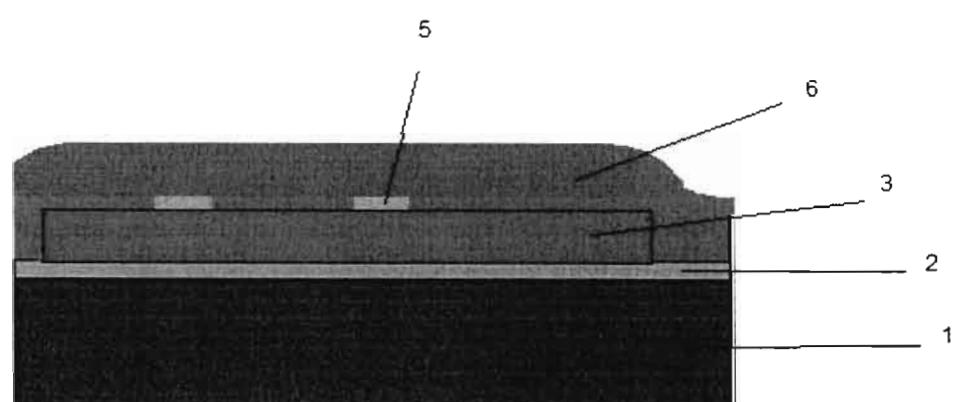


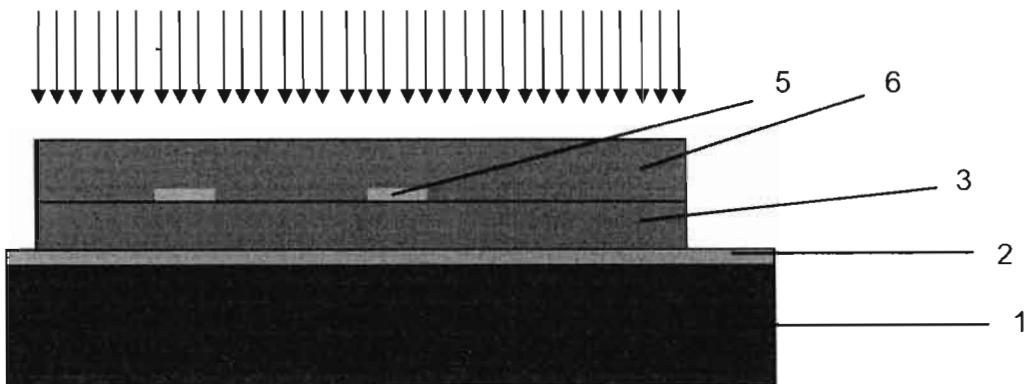
Figura 3K.

a 2016 00360

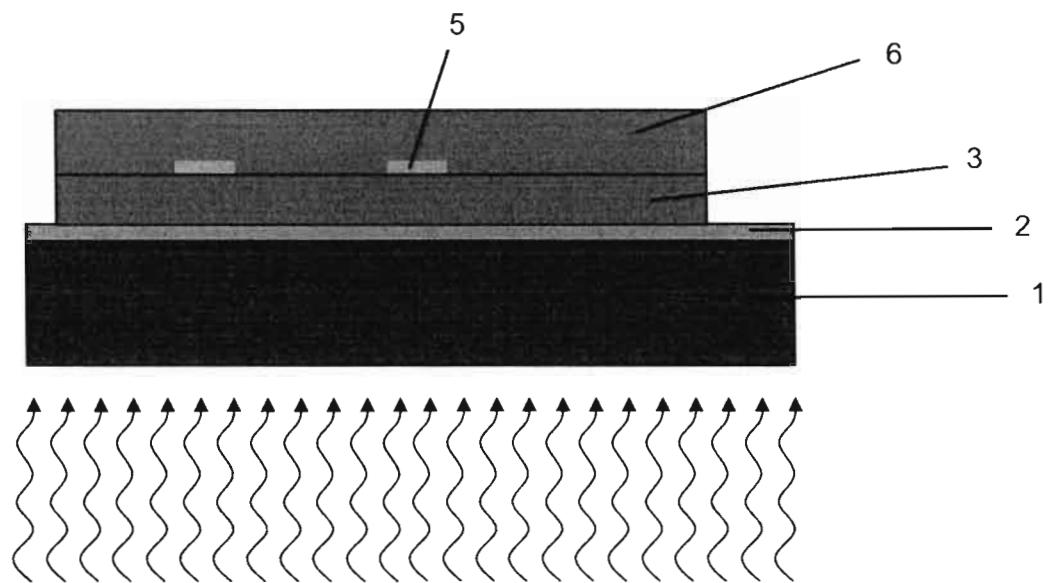
**O.S.I.M.  
FILA REFORMULADA**

04/04/2017

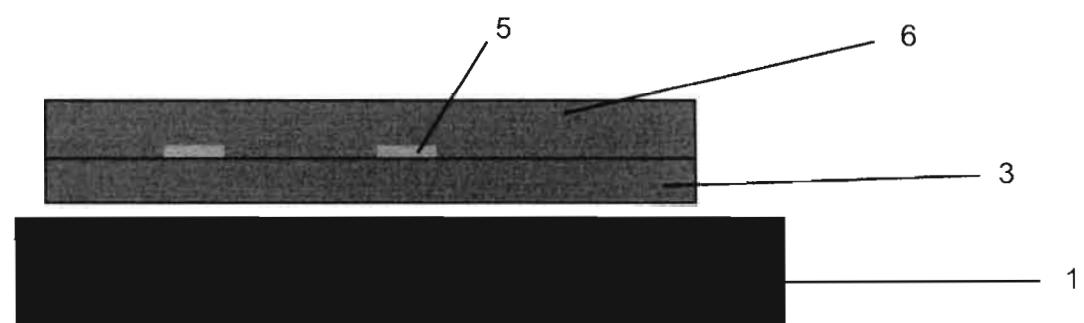
21



**Figura 3L.**



**Figura 3M..**



**Figura 3N.**



**Figura 3O.**

a 2016 00360

**O.S.I.M.  
FILÀ REFORMULADA**

04/04/2017

22

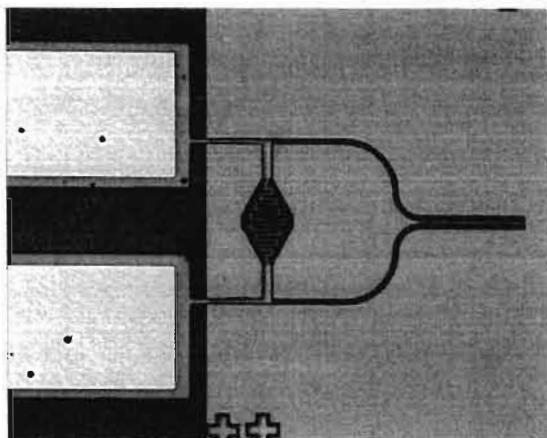


Figura 4P.



Figura 4R.

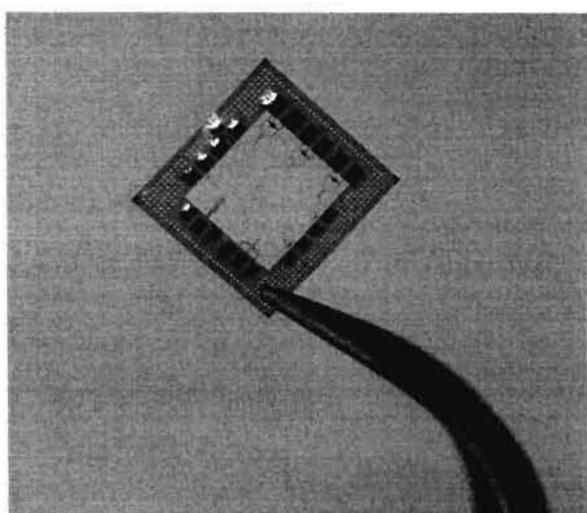


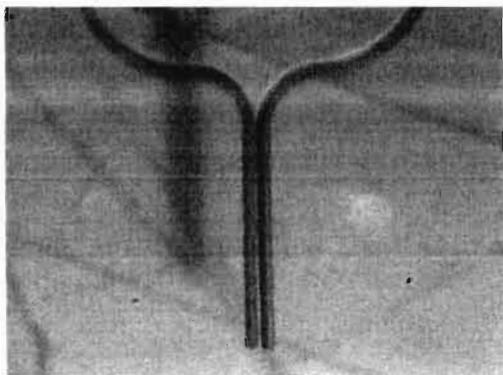
Figura 4S.

a 2016 00360

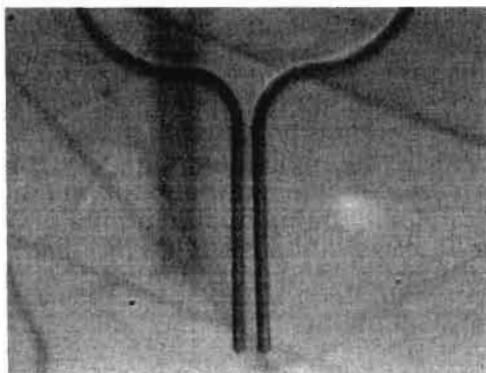


04/04/2017

23



**Figura 5T.**



**Figura 5U.**

a 2016 00360



04/04/2017

24