



(12)

## BREVET DE INVENȚIE

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

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

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/06/2022** BOPI nr. **6/2022**

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

(73) Titular:  
• **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**

(56) Documente din stadiul tehnicii:  
**KR 20020090401 (A); CN 101693515 A**

(54) **PROCEDEU DE REALIZARE A UNUI DISPOZITIV DE TIP  
MEMS CU ACȚIONARE ELECTRO-TERMICĂ, FOLOSIT  
PENTRU MICRO-MANIPULARE**



# RO 132248 B1

1           Invenția se referă la un procedeu de realizare a unor dispozitive de tip MEMS (micro-  
electromechanical systems) cum ar fi micro-pensetele, acționate electro-termic, cu mișcarea  
3           în planul structurii dispozitivului, cu dimensiuni sub-milimetrice, obținute utilizând  
polimeri/fotopolimeri, cu ajutorul cărora pot fi asamblate, poziționate și manipulate elemente  
5           de dimensiuni micrometrice cum ar fi celule, țesuturi biologice, micro-componente MEMS,  
etc.

7           În literatura de specialitate sunt prezentate unele soluții pentru încapsularea stratului  
metalic care nu aduc toate avantajele metodei propuse de noi. Mulți autori au raportat  
9           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  
11          dispozitivului cu acționare în planul structurii.

13          În literatura de specialitate sunt raportate și 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  
15          structurii și încapsularea straturilor metalice în material dielectric.

17          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  
19          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  
21          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  
23          neizolat electric și asimetric dispus, datorită utilizării unui singur strat de crom pentru  
aderență. De asemenea, structura finală este în ansamblul ei asimetric fabricată, datorită  
25          utilizării unui singur strat de polimer SU-8 și a unui singur strat metalic. În lucrare sunt  
raportate deplasări în afara panului structurii pentru dispozitivele fabricate în acest mod.

27          În altă lucrare, autorii (**N-T. Nguyen et al., „A polymeric microgripper with  
integrated thermal actuators”, J.Micromech. Microeng. 14 (2004), 969-974**) prezintă  
29          modul de fabricare a unui actuator electro-termic cu lungimea de 5 mm utilizând polimerul  
SU-8 cu o grosime de 100 μm și un strat metalic de Ti/Pt cu grosimi de 50 nm, respectiv- de  
31          70 nm. Și în acest caz dispozitivul rezultat este asimetric, iar grosimea stratului polimeric  
este mare.

33          Într-o teză de doctorat (**B. Solano, „A microgripper for single cell manipulation”,  
PhD thesis, 2008, Durham University**) și în alte două publicații științifice [**B. Solano, D.  
35          Wood, „Design and testing of a polymeric microgripper for cell manipulation”,  
Microelectronic Engineering 84 (2007) 1219-1222**] și (**B.P. Solano, A.J. Gallant și D.  
37          Wood, „Design and Optimisation of a Microgripper Demonstration of Biomedical  
Applications Using the Manipulation of Oocytes”, Proc. of Design, Test, Integration  
39          Packaging of MEMS/MOEMS Conference, Rome, DTIP 2009**) sunt prezentate două  
metode de fabricare a dispozitivelor de tip micro-pensetă cu acționare electro-termică  
41          utilizând polimerul SU-8 ca material structural. Unul dintre procedeele de fabricare utilizează  
materialul exfoliant Omnicoat pentru eliberarea dispozitivelor și două straturi polimerice de  
43          SU-8 de grosimi inegale, de 1,5 μm și respectiv, 100 μm; în acest caz, autorii raportează  
deplasări nedorite în afara planului structurii. Cealaltă metodă de fabricare utilizează un alt  
45          procedeu de eliberare a dispozitivelor, bazat pe corodarea uscată, utilizând XeF<sub>2</sub>. Fabricarea  
dispozitivelor în acest caz se bazează pe aceleași tipuri de straturi active cu aceleași grosimi  
47          ca mai sus. Autorii raportează că această metodă este mai costisitoare în comparație cu

primul procedeu. Primul strat de polimer SU-8 este realizat mai subțire față de-al doilea strat pentru a fi utilizat ca strat de aderență. Metodele de fabricare și dispozitivele sus-menționate sunt prezentate și în publicația PCT cu numărul **WO/2007/138266**, (B. Solano și D. Wood, "*Electromechanical actuator device and apparatus incorporating such device*").

O altă metodă de încapsulare a elementului conductiv în polimer este prezentată în 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)] și [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 utilizează plachete SOI, pe de o parte, și nitruură de siliciu ca strat dielectric pe de altă parte, ceea ce face ca procedeul de fabricare descris să aibă costuri de fabricare ridicate. De asemenea, grosimile straturilor de materiale utilizate nu sunt simetric dispuse.

În lucrarea : 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 prezintă o metodă de fabricare de structuri MEMS bazată pe procese UV-LIGA. Procedeul prezentat aici are costuri de fabricare suplimentare datorate pe de o parte unui proces de îngroșare prin electroliză a stratului metalic de aur până la 2 micrometri grosime și- pe de altă parte, prin utilizarea unui strat de sacrificiu de oxid (LTO) cu grosimea de 5 micrometri. Se încearcă o optimizare a deplasărilor în afara planului prin varierea grosimii stratului polimeric. Procedeul de fabricare prezentat utilizează un singur strat de polimer și un singur strat de metal care este neizolat.

Ideea (în baza unor simulări numerice) unei metode pentru reducerea deplasărilor în afara planului utilizând două straturi metalice de Au simetric dispuse față de un singur strat structural de polimer SU-8 a fost propusă și prezentată în anul 2007 în 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 Manufactured 2007, Borovets, Bulgaria, Oct.2007, pp.39-42, 2007.

R. Zhang et.al. au transpus în practică ideea sus-menționată și, folosind Cu în loc de Au, au obținut brevetul **CN 102079498 B** acordat pe 04-07-2012, ("*Flexible electrothermal drive micro-gripper and manufacturing process method*") prezentând un procedeu de fabricare a dispozitivelor actuate electro-termic utilizând procesele UV-LIGA care rezolvă problema deplasărilor în afara planului pentru structurile cu acționare în plan utilizând două straturi metalice dispuse simetric dedesubtul și deasupra stratului polimeric de SU-8. Aceeași metodă împreună cu dispozitivul fabricat este prezentată în referința: R. Zhang, J. Chu, H. Wang, Z. Chen, „*A multipurpose electrothermal microgripper for biological micromanipulation*”, Microsyst. Technol. (2013) 19:89-97. În acest caz, cele două straturi metalice sunt complet neizolate din punct de vedere electric. În plus, această metodă de fabricare are un grad sporit de complexitate datorită procesului care presupune realizarea metalizărilor prin două depuneri de metale folosind o matriță metalică, după eliberarea structurilor din SU-8.

Într-un alt document de brevet 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

# RO 132248 B1

1 de cupru și titan fără a asigura simetria grosimilor dispozitivului. Stratul de cupru are  
2 grosimea de 800 nm, iar cel de titan- de 200 nm . În plus, pentru eliberarea structurilor, se  
3 utilizează un strat de oxid care necesită formarea și corodarea sa la final utilizând soluții pe  
4 bază de acid fluorhidric.

5 Dezavantajele soluțiilor descrise la punctul anterior sunt:

6 - utilizarea de straturi de metale cu grosimi diferite, asimetrice sau fabricate în  
7 procese tehnologice separate;

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

11 - utilizarea de straturi de polimer cu grosimi diferite, în cazul folosirii a două straturi  
12 de polimer, ceea ce se traduce prin lipsă de simetrie în structura verticală care, la rândul ei,  
13 nu rezolvă problema deplasărilor în afara planului dispozitivului;

14 - oxidare prealabilă a plachetelor de siliciu la temperatură înaltă pentru a obține un  
15 strat de sacrificiu cu grosime de cel puțin 1 μm;

16 - nu se asigură izolarea stratului metalic în același timp cu reducerea deplasărilor în  
17 afara planului;

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

20 Mai este cunoscută, prin documentul **KR 20020090401 (A)/2002**, o metodă de  
21 fabricare a unei microantene tridimensionale și a unui ghid de undă prin utilizarea unui  
22 MEMS, prin care un strat de oxid de sacrificiu este format pe un substrat semiconductor și  
23 un prim strat de fotorezist este depus pe acesta, prin utilizarea unei măști de expunere și  
24 apoi un prim strat metalic este depus pe acesta, primul model de strat fotorezistent fiind  
25 expus prin lustruirea primului strat metalic, o micro-structură fiind formată prin îndepărtarea  
26 stratului de oxid de sacrificiu. Un strat de polimer este depus pe toată suprafața structurii  
27 obținute și un al doilea strat fotorezistent este depus pe acesta, un al doilea model de strat  
28 fotorezistent fiind format prin efectuarea unui proces de modelare , prin care un circuit se  
29 formează pe o suprafață a stratului de polimer și un al doilea strat metalic este depus pe  
30 acesta. Circuitul celui de-al doilea strat metalic este îndepărtat prin efectuarea unui proces  
31 de lustruire. Al treilea strat metalic și un al treilea strat fotorezistent sunt depuse pe acesta,  
32 un al treilea model de strat fotorezistent și al treilea model de strat de metal fiind formate prin  
33 efectuarea procesului de modelare. Al treilea model de strat fotorezistent este eliminat. Se  
34 formează un model de strat de polimer. Al patrulea strat metalic este depus pe acesta  
35 utilizând o metodă de placare fără electrolit. Al treilea model de strat metalic și modelul  
36 stratului de polimer sunt îndepărtate de pe substratul semiconductor (100) prin efectuarea  
37 unui proces de plasmă.

38 **CN 101693515 A/2010**, care prezintă o metodă de preparare a unui film subțire de  
39 polimer modelabil în câmpul MEMS ce cuprinde etapele de pulverizare a unui strat de legare  
40 și a unui strat de semințe metalice pe o bază a oricărei structuri modelate, realizarea  
41 modelelor de foto-rezistență și a modelelor foto-gravate pentru a forma un strat de semințe  
42 metalice modelat, tratarea modelelor și implementarea tratamentului de electroforeză pentru  
43 a produce o peliculă subțire de polimer flexibil prin luarea stratului de semințe metalice ca  
44 electrod negativ și a metalului inert ca electrod pozitiv, îndepărtarea stratului de mască foto  
45 rezistentă după tratamentul de solidificare primară, plasarea pe bază a unei folii subțiri de  
46 polimer într-un cuptor pentru a implementa un tratament de solidificare secundar și, în final,  
47 obținerea structurii de film subțire de polimer solidificat, modelat.

# RO 132248 B1

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în stabilirea unor faze de procedeu de realizare a unui dispozitiv MEMS (sistem microelectromecanic) de tip micropensetă, acționabil electrotermic, utilizând polimeri/fotopolimeri și straturi metalice, în mod economic și fiabil, astfel încât să elimine principalele neajunsuri ale dispozitivelor MEMS cunoscute și anume: (a) reducerea efectului tensiunilor mecanice reziduale din metale asupra dispozitivelor actuate electro-termic fabricate din polimeri dielectrice cu mișcare în planul structurii, (b) reducerea deplasărilor în afara planului și (c) izolarea elementului metalic în stratul polimeric, care este un dielectric.	1 3 5 7
Procedeu de realizare a unui dispozitiv de tip MEMS cu acționare electro-termică, conform invenției, rezolvă această problemă tehnică prin aceea că permite fabricarea fie pe substrat de siliciu, fie pe substrat de sticlă a unor dispozitive actuate electro-termic prin suprapunerea a trei straturi active de materiale, după cum urmează:	9 11
Primul strat, ca și strat structural, este realizat dintr-un fotopolimer, cum ar fi polimerul SU-8, depus pe substrat. Al doilea strat, și anume, stratul conductiv, 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 realizare 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 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 elementul metalic în stratul polimeric, care este dielectric. Pentru facilitarea desprinderii și eliberării dispozitivului de pe substrat, între substrat și primul strat de polimer se depune în prealabil un strat exfoliant care nu va face parte din dispozitivul final. Eliberarea dispozitivelor se efectuează fără soluții de corodare, pentru ca procedeu descris în prezenta invenție nu utilizează un strat de sacrificiu. Stratul exfoliant se îndepărtează prin procedee simple chimice umede.	13 15 17 19 21 23 25 27
Procedeu conform invenției prezintă următoarele avantaje în raport cu stadiul tehnicii:	29
- prin aplicarea acestei invenții se obține concomitent: (a)- reducerea efectului tensiunilor mecanice reziduale din metale asupra dispozitivului, (b)- deplasările în afara planului structurii dispozitivului și (c)- izolarea elementului metalic în stratul polimeric, care este dielectric;	31 33
- este realizată izolarea electrică a circuitului electric de încălzire față de obiectul sau proba biologică manipulată fie într-un fluid fie în aer, deoarece stratul metalic care formează rezistența de încălzire este încapsulat între două straturi de aceeași grosime de fotopolimer, cum ar fi SU-8, cu proprietăți dielectrice;	35 37
- procedeu poate fi utilizat pentru realizarea de dispozitive biocompatibile acționate electro-termic utilizate pentru manipulări biologice în diferite medii de operare, aer, alte gaze sau lichide, cât și pentru asamblare și poziționare de micro-componente MEMS;	39 41
- procedeu nu folosește straturi de oxid pe siliciu pentru eliberare și nu se utilizează soluții pe bază de acizi și procese de corodare pentru eliberarea structurilor;	43
- depunerea simetrică a straturilor de metale Cr/Au/Cr și Cr/Pt/Cr utilizând un singur proces de depunere, cu grosimi egale ale straturilor de aderență de crom;	45
- realizarea simplă și (j) rapidă a pașilor de proces necesari fabricării dispozitivelor care, la rândul lor, contribuie la (k) reducerea costurilor și (l) permite producția de serie mare.	47

# RO 132248 B1

1           Invenția este prezentată pe larg în continuare în legătură și cu fig. 1...5 care  
reprezintă:

3           - fig. 1, exemplu de dispozitiv cu acționare electro-termică de tip MEMS, o  
micro-pensetă, utilizat pentru micromanipulare, cu strat metalic încapsulat în fotopolimer  
5 (SU-8) (vedere de asamblu a straturilor ce compun structura);  
- fig. 2, exemplu de dispozitiv cu acționare electro-termică de tip MEMS pentru  
7 micromanipulare, o micro-pensetă cu strat metalic încapsulat; vedere explodată pe straturi:  
- fig. 2A, al doilea strat de polimer SU-8 configurat, cu deschideri pentru accesarea  
9 padurilor metalice;  
- fig. 2B, strat metalic compus de Cr/Au/Cr configurat;  
11 - fig. 2C, primul strat de polimer SU-8 configurat. Numerotarea straturilor se face de  
la substrat în sus, în ordinea procedului de realizare.  
13           - fig. 3, procedeu de realizare pentru obținerea dispozitivelor de tip MEMS cu  
acționare electro-termică, folosite ca efectuatori finali pentru micromanipulare, cu strat  
15 metalic încapsulat în fotopolimer:  
- fig. 3D, placheta inițială de siliciu;  
17 - fig. 3E, depunere strat exfoliant Omniccoat;  
- fig. 3F, depunere fotopolimer și tratament termic;  
19 - fig. 3G, configurare polimer: expunere fotopolimer, tratament și dezvoltare;  
- fig. 3H, depunere, expunere și dezvoltare fotorezist AZ;  
21 - fig. 3I, depunere metale Cr/Au/Cr; fig.3J: lift-off metale prin îndepărtare fotorezist  
AZ;  
23 - fig. 3K, depunere fotopolimer și tratament termic;  
- fig. 3L, configurare polimer: expunere fotopolimer, tratament și dezvoltare;  
25 - fig. 3M, tratament termic final la 195°C;  
- fig. 3N, îndepărtare strat exfoliant Omniccoat - eliberare structuri;  
27 - fig. 3O, legenda culorilor;  
- fig. 4, imagini la microscopul optic cu un exemplu de dispozitiv fabricat din  
29 fotopolimerul SU-8 și Cr/Au/Cr utilizând procedeu de realizare prezentat în invenție:  
- fig. 4P, structura fabricată înainte de eliberarea ei;  
31 - fig. 4R, structura eliberată și pregătită pentru testare;  
- fig. 4S, un cip cu mai multe dispozitive fabricate din SU-8 cu acționare  
33 electro-termică cu mișcare în planul dispozitivului eliberate (imagine fotografică);  
- fig. 5, diferite stagii de operare ale brațelor micro-pensetei prin curent electric  
35 aplicat:  
- fig. 5T, deschiderea inițială a brațelor la 0 mA;  
37 - fig. 5U, deschiderea brațelor la 32 mA.

39           Procedeu conform invenției poate fi folosit pentru realizarea tehnologică a unor  
dispozitive de tip MEMS cu acționare electro-termică, folosite ca efectuatori finali pentru  
micromanipulare. Invenția poate fi utilizată pentru realizarea de micro-dispozitive acționate  
41 electro-termic cu mișcare în planul dispozitivului. Astfel de dispozitive pot fi micro-pensete  
sau micro-dispozitive pentru testare de micro-probe.

43           Aplicații ale dispozitivelor fabricate utilizând procedeu conform invenției sunt în  
domeniul micromanipulării și testării de probe biologice, în industria micro-robotică și în  
45 industria microelectronică, mai precis pentru asamblări și poziționări de componente și  
subansamble MEMS.

47           Dispozitivele fabricate utilizând procedeu conform invenției sunt capabile să  
acționeze în diverse medii de operare cum ar fi aer, gaze, apă sau alte lichide.

# RO 132248 B1

Invenția se referă mai concret la un procedeu de realizare a unor dispozitive de tip MEMS cum ar fi micro-pensetele, acționate 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 acționare electro-termică utilizat ca efectuator final pentru micromanipulare, fabricat utilizând procedeul de realizare prezentat în invenție este o micro-pensetă descrisă conform fig.1 și 2.

Dispozitivul este acționat utilizând efectul electro-termo-mecanic, adică prin trecerea unui curent electric printr-un traseu conductiv se obține încălzirea materialului într-un anumit loc dorit în dispozitiv. La rândul ei creșterea de temperatură va determina expansiunea termică a materialului. Această 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 invenție 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 ușor 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 de realizare descris conform invenției se referă la fabricarea fie pe substrat de siliciu, fie pe substrat de sticlă a unor dispozitive actuate electro-termic. Procedeul de realizare 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 și reducerea deplasărilor în afara planului structurii dispozitivului și în același timp are rolul de a izola electric elementul metalic în stratul polimeric, care este dielectric.

Fotopolimerii, cum ar fi cei din clasele de SU-8, au fost aleși datorită proprietăților lor mecanice, termice și electrice, a posibilităților de micro-prelucrare, precum și datorită proprietăților de biocompatibilitate. De exemplu, polimerul SU-8 este folosit în industria microelectronicii ca fotorezist negativ și este biocompatibil.

Din punct de vedere mecanic, fotopolimerii, cum ar fi clasele de polimeri SU-8, prezintă un modul de elasticitate mic ( $E \sim 4\text{GPa}$ ) și sunt suficient de rezistenți la rupere (34 MPa tensiune mecanică de întindere pentru SU-8). Din punct de vedere termic, de exemplu, fotopolimerii SU-8 prezintă un coeficient de dilatare termică de  $52\text{ ppm}/^\circ\text{C}$ , o conductivitate termică de  $20\text{-}35\text{ W/mK}$  și o temperatură de tranziție la sticlă ( $T_g$ ) de  $210^\circ\text{C}$ .

Metalul intermediar, cum ar fi aurul, a fost ales ca strat conductiv datorită proprietăților sale de biocompatibilitate și a coeficientului de dilatarea termică ridicat în comparație cu alte metale, dar și datorită compatibilității tehnologice cu fotopolimerii, cum ar fi SU-8.

# RO 132248 B1

1 În literatura de specialitate se raportează în general procedee care folosesc un strat  
2 metalic neprotejat deasupra/desubtul stratului de polimer, sau grosimi ale straturilor  
3 de polimer inegale, ceea ce nu este optim pentru funcționarea dispozitivului cu acționare în  
4 planul structurii. Procedeele descrise permite fabricarea dispozitivelor cu straturi de  
5 fotopolimeri, cum ar fi SU-8, dispuse simetric față de planul care conține stratul metalic, ceea  
6 ce reduce efectul tensiunilor mecanice reziduale din metal. În acest sens, un rol important  
7 îl are și utilizarea a două straturi metalice de aderență de aceeași grosime dispuse simetric  
8 față de stratul metalic intermediar.

9 Invenția prezintă un procedeu de realizare pentru dispozitivele acționate  
10 electro-termic descrise anterior, utilizând tehnica de exfoliere a fotopolimerului (SU-8) prin  
11 utilizarea unui strat exfoliant de Omnicoat între substrat și stratul de fotopolimer adiacent. Ca  
12 substrat se folosește o plachetă de siliciu care poate avea orice fel de orientare  
13 cristalografică, grad sau tip de dopare și conductivitate sau o plachetă de sticlă.

14 Fluxul tehnologic de realizare a dispozitivelor acționate electro-termic utilizează 3  
15 măști de configurare, dintre care două pentru configurarea straturilor de fotopolimer și una  
16 pentru configurarea straturilor metalice de Cr/Au/Cr. Fluxul tehnologic cuprinde următoarele  
17 etape prezentate prin corelare cu fig.3, și anume:

- 18 - curățire plachete de siliciu sau de sticlă, (fig. 3D);
- 19 - depunere strat exfoliant de Omnicoat cu grosimea de cel puțin 30 nm folosind  
20 spinerul apoi tratare termică la 200°C pe plită, (fig. 3E);
- 21 - depunere strat fotopolimeric, cum ar fi polimerul SU-8, care reprezintă strat  
22 funcțional, de structură. Tratament termic (soft backing) efectuat la temperaturi de 65°C și  
23 95°C după etalare, (fig. 3F);
- 24 - configurare strat polimeric. Expunere fotorezist prin contact direct urmată de un nou  
25 tratament termic și de dezvoltare. Tratament termic (hard backing), (fig. 3G);
- 26 - depunere, expunere și configurare fotorezist AZ pentru pregătirea procesului de  
27 lift-off al stratului metalic ulterior deasupra, (fig. 3H);
- 28 - depunere metalică: un strat de Cr cu grosimea de 10 nm pentru adeziune, un strat  
29 de Au de 300 nm și apoi din nou un strat de Cr de 10 nm pentru adeziunea stratului următor  
30 de polimer SU-8 deasupra (fig. 3I);
- 31 - îndepărtare fotorezist AZ (realizare lift-off), (fig. 3J);
- 32 - depunere strat fotopolimeric cu deschideri pentru păduri pentru a avea acces la  
33 stratul metalic înainte deasupra și încapsulat în acest pas. Tratament termic (soft backing)  
34 efectuat la temperatura de 65°C și la temperatura de 95°C după etalare, (fig. 3K);
- 35 - configurare strat polimeric. Expunere fotorezist prin contact direct urmată de un nou  
36 tratament termic și de dezvoltare, (fig. 3L);
- 37 - tratamentul termic final al structurii la temperatura de 180...200°C, (fig. 3M);
- 38 - eliberarea structurilor prin exfolierea straturilor de polimer de pe placheta de și prin  
39 îndepărtarea umedă a stratului exfoliant de Omnicoat și curățirea cu soluția piranha și apa  
40 deionizată, (fig. 3N).

## 41 Exemplu de realizare

42 Un exemplu de dispozitiv de tip MEMS cu acționare electro-termică utilizat ca  
43 efectuator final pentru micromanipulare pentru care a fost utilizat procedeele de realizare  
44 prezentat în invenție este o micro-pensetă descrisă conform fig.1 și 2.

45 Micropenseta prezentată este acționată electro-termic cu mișcare în planul structurii.  
46 Brațele dispozitivului sunt în starea inițială închisă. În momentul acționării electro-termice prin  
47 aplicarea unei diferențe de potențial pe pădurile metalice structura își va deschide brațele  
libere care pot prinde sau manipula un micro-obiect.



# RO 132248 B1

Dispozitivul de tip MEMS cu acționare electro-termică a fost realizat tehnologic utilizând procedeul de realizare descris în invenție. Rezultatele privind structura fabricată, alte dispozitive electro-termice aranjate pe un cip și modul lor de operare sunt prezentate în fig. 4 și 5. În fig. 5 se poate observa că imaginea structurii din momentul maxim al acțiunii (fig. 5U) rămâne la fel de clară ca cea în care structura se află în starea inițială (fig. 5T), ceea ce demonstrează reducerea deplasărilor în afara planului. Transparența materialului fotopolimeric SU-8 permite vizualizarea stratului metalic încapsulat în polimer, (fig. 4P). 1  
3  
5  
7

# RO 132248 B1

## Revendicări

1  
3 1. Procedeu de realizare a unui dispozitiv de tip MEMS cu acționare electro-termică,  
5 folosit pentru micro-manipulare, realizat prin fazele de: -depunere pe un substrat (1), în  
7 particular- silicios, a unei succesiuni de straturi care cuprinde un strat exfoliant (2) și un strat  
9 de fotorezist (4) de o anumită grosime compatibilă cu pregătirea procesului de lift-off al  
11 stratului metalic ce se depune ulterior, cu utilizarea unei măști de expunere, -deschiderea  
13 ferestrelor prin măștile aferente și dezvoltarea fotorezistului, -depunerea unui strat (5)  
15 metalic și apoi îndepărtarea stratului de fotorezist depus anterior, urmată de -depunerea și  
17 expunerea prin intermediul unei noi măști a unui strat fotopolimeric care se configurează  
19 adecvat, stratul exfoliant fiind la final îndepărtat, **caracterizat prin aceea că**, peste stratul  
21 exfoliant (2) este depus un strat fotopolimeric (3) paternabil cum ar fi de exemplu cel de tip  
23 SU-8, care se expune utilizând o mască, se configurează prin dezvoltare și apoi se tratează  
termic, reprezentând primul strat funcțional pentru configurarea dispozitivului, peste care se  
depune stratul de fotorezist (4), de exemplu, tip AZ, stratul (5) metalic este simplu sau mixt,  
tip Cr/Au/Cr sau Cr/Pt/Cr, cu grosime egală a straturilor de Cr și este utilizat pentru realizarea  
unor rezistențe pentru încălzire prin depunere într-un singur proces, iar după îndepărtarea  
stratului de fotorezist depus anterior, al doilea strat fotopolimeric, din același material ca și  
stratul (3), se configurează prin dezvoltare pentru a obține deschideri pentru accesul la pad-  
urile metalice configurate din stratul metalic (5), ansamblul de straturi obținut fiind supus unui  
tratament termic final, după îndepărtarea prin umectare a stratului exfoliant (2) suprafața  
ansamblului fiind curățată cu soluție piranha și apă deionizată, pentru eliberarea structurilor  
de pe substrat.

25 2. Procedeu de realizare a unui dispozitiv de tip MEMS cu acționare electro-termică,  
27 conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, straturile de fotopolimer (3 și 6), dispuse  
simetric față de stratul metalic (5), sunt de tip SU-8 și au aceeași grosime, în intervalul 5...20  
μm și sunt tratate în final pe plită la 200° C.

29 3. Procedeu de realizare a unui dispozitiv de tip MEMS cu acționare electro-termică,  
31 conform revendicării 1 sau 2, **caracterizat prin aceea că**, stratul metalic (5) este realizat  
dintr-un singur metal cum ar fi Au, Ni sau Ag.

33 4. Procedeu de realizare a unui dispozitiv de tip MEMS cu acționare electro-termică,  
35 conform revendicării 1 sau 2, **caracterizat prin aceea că**, stratul (5) este realizat dintr-un  
material conductiv electric compatibil cu polimerii/fotopolimerii adiacenți din structura de  
realizare a dispozitivului tip MEMS rezultată.

37 5. Procedeu de realizare a unui dispozitiv de tip MEMS cu acționare electro-termică,  
conform revendicării 1, 2, 3 sau 4, **caracterizat prin aceea că**, structura de obținere a  
dispozitivului tip MEMS este realizată pe un substrat (1) din categoria: sticlă, ceramică sau  
 cuarț.

(51) Int.Cl.

**B81C 1/00** (2006.01);

**H01L 21/31** (2006.01)

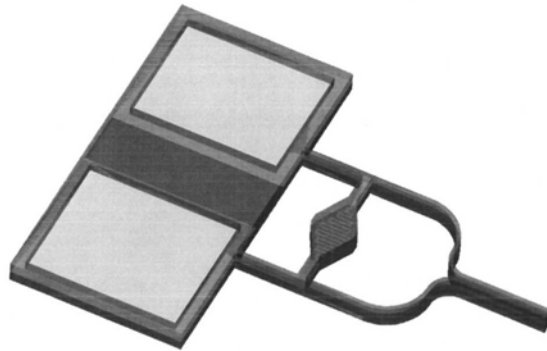


Fig. 1

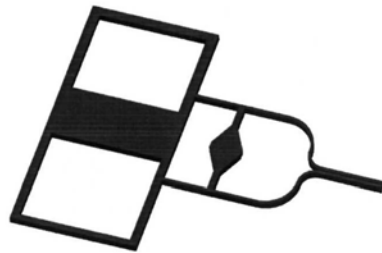


Fig. 2A

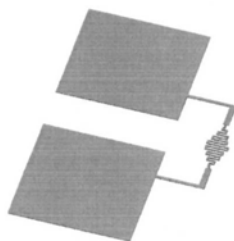


Fig. 2B

(51) Int.Cl.

**B81C 1/00** (2006.01);

**H01L 21/31** (2006.01)

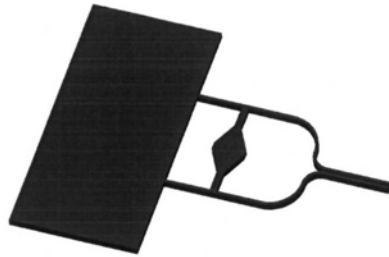


Fig. 2C



Fig. 3D



Fig. 3E



Fig. 3F

(51) Int.Cl.

**B81C 1/00** (2006.01);

**H01L 21/31** (2006.01)

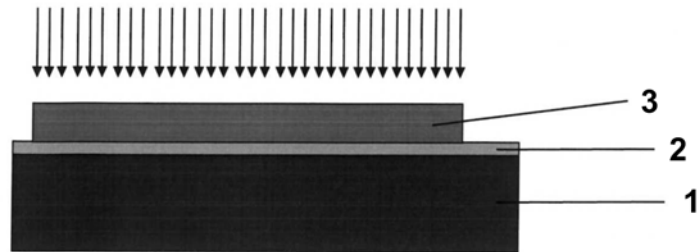


Fig. 3G

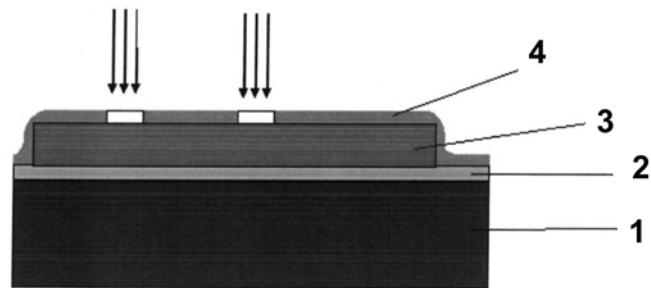


Fig. 3H

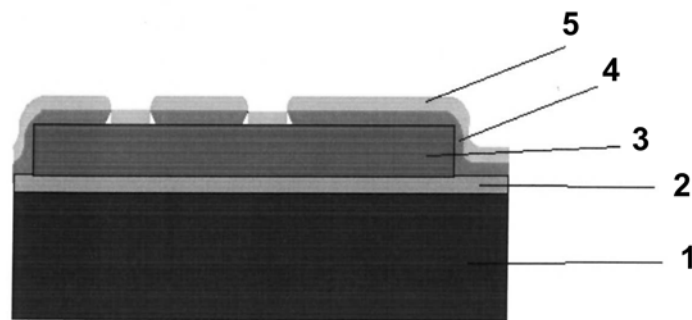


Fig. 3I

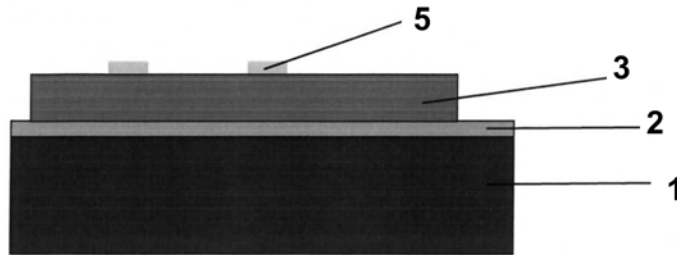


Fig. 3J

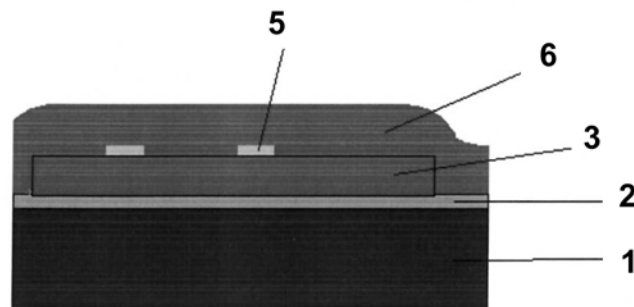


Fig. 3K

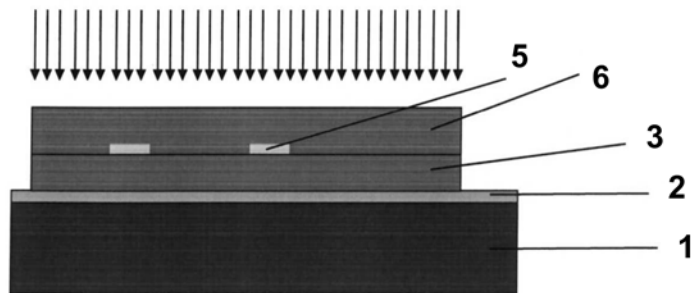


Fig. 3L

(51) Int.Cl.

**B81C 1/00** (2006.01);

**H01L 21/31** (2006.01)

c

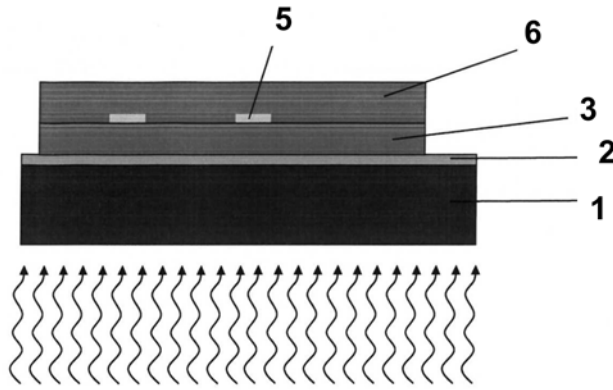


Fig. 3M

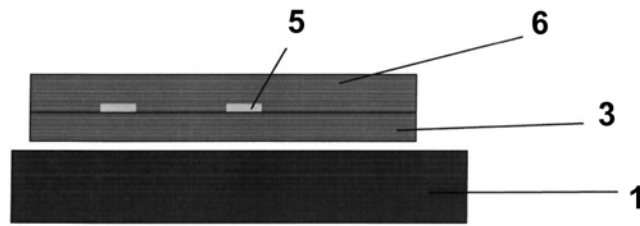


Fig. 3N

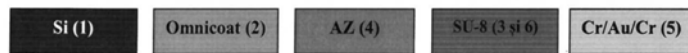


Fig. 3O

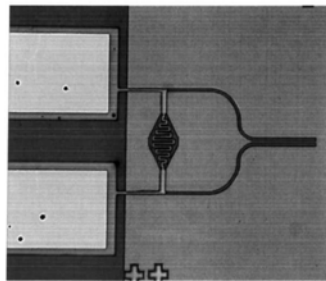
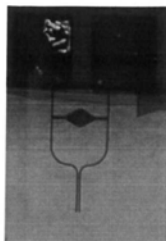


Fig. 4P

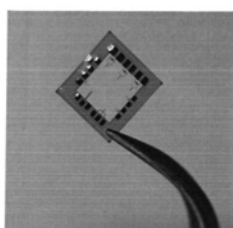
(51) Int.Cl.

**B81C 1/00** (2006.01);

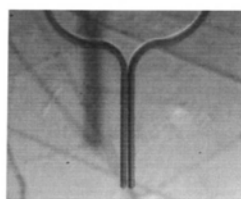
**H01L 21/31** (2006.01)



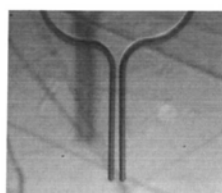
**Fig. 4R**



**Fig. 4S**



**Fig. 5T**



**Fig. 5U**

