



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2011 00571**

(22) Data de depozit: **16/06/2011**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/04/2019** BOPI nr. **4/2019**

(41) Data publicării cererii:
30/01/2013 BOPI nr. **1/2013**

(73) Titular:
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
MICROTEHNOLOGIE,
STR.EROU IANCU NICOLAE NR.126 A,
BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• MOAGĂR-POLADIAN GABRIEL, ALEEA
FUIORULUI NR. 6, BL.Y3A, SC. 1, ET. 6,
AP. 27, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO

(56) Documente din stadiul tehnicii:
**US 2004/0026007 A1; US 2004/01175631
A1; NICOLAIE MOLDOVAN Ș.A., "A
MULTI-INK LINEAR ARRAY OF
NANOFOUNTAIN PROBES", JOURNAL OF
MICROMECHANICS AND
MICROENGINEERING, INSTITUTE OF
PHYSISC PUBLISHING, VOL. 16,
PP. 1935-1972, 2006**

(54) **PROCEDEU DE NANOLITOGRAFIE 2D ȘI 3D DE TIP
FOUNTAIN PEN ASISTAT OPTIC**



1 Invenția se referă la un procedeu de nanolitografie 2D și 3D de tip fountain pen care
este asistat optic pentru a obține trasee la scară nanometrică care să aibă o calitate mai
3 bună a marginilor și o rezoluție mai bună decât nanolitografia fountain pen uzuală. În acest
tip de nanolitografie, materialul sub formă lichidă, numit cerneală, trece dintr-un dispozitiv
5 microfluidic pe substrat, curgând prin vârful perforat al unui cantilever.

 Este cunoscut un procedeu de nanolitografie constând în scrierea unui material lichid,
7 cu ajutorul unui vârf de cantilever, pe un substrat, numit nanolitografie de tip dip pen, lichidul
aflându-se pe suprafața exterioară a vârfului cantileverului și vârful nefiind perforat. Lichidul
9 respectiv, ajuns în contact cu substratul, difuzează pe acesta. Difuzia depinde de proprie-
tățile perechii lichid-substrat, temperatură, umiditate și de rugozitatea substratului.
11 Temperatura și umiditatea pot fi controlate.

 Este cunoscut un procedeu de nanolitografie de tip fountain pen, în care cerneala
13 curge prin vârful cantileverului din microrezervor pe substrat, unde difuzează. Difuzia depinde
de proprietățile perechii lichid-substrat, temperatură, de umiditate și de rugozitatea
15 substratului.

 Este cunoscut un procedeu de tip fountain pen în care se depune un material
17 fotopolimer și, după depunere, acesta este iradiat cu lumină, având lungimea de undă
corespunzătoare și fotopolimerizat.

19 Dezavantajele procedurii nanolitografice de tip dip pen sunt:

 - depinde puternic de rugozitatea locală a substratului, parametru care nu poate fi
21 controlat în niciun fel;

 - dependența de rugozitatea locală a substratului face ca lățimea traseelor realizate
23 să nu poată fi controlată corespunzător;

 - dependența de rugozitatea locală a substratului face ca liniile trasate să aibă
25 marginii franjurate;

 - dependența de rugozitatea locală a substratului face ca să nu se poată obține o
27 rezoluție foarte bună pe substraturi care au o rugozitate locală mai mare de 10 nm;

 - pentru a obține difuzii mici pe suprafață, se pot folosi cerneluri vâscoase, dar
29 acestea se depun greu și nu permit obținerea unei game variate de lățimi ale traseelor
realizate;

31 - nu permite obținerea unor structuri 3D, cerneala fiind lichidă la temperatura camerei.

 Dezavantajele procedurii nanolitografice de tip fountain pen sunt:

33 - depinde puternic de rugozitatea locală a substratului, parametru care nu poate fi
controlat în niciun fel;

35 - dependența de rugozitatea locală a substratului face ca lățimea traseelor realizate
să nu poată fi controlată corespunzător;

37 - dependența de rugozitatea locală a substratului face ca liniile trasate să aibă
marginii franjurate;

39 - dependența de rugozitatea locală a substratului face ca să nu se poată obține o
rezoluție foarte bună pe substraturi care au o rugozitate locală mai mare de 10 nm;

41 - pentru a obține difuzii mici pe suprafață, se pot folosi cerneluri vâscoase, dar
acestea se depun greu și nu permit obținerea unei game variate de lățimi ale traseelor
43 realizate;

 - nu permite obținerea unor structuri 3D, cerneala fiind lichidă la temperatura camerei.

45 Dezavantajele procedurii nanolitografice de tip fountain pen cu utilizare de
fotopolimer sunt:

47 - depinde puternic de rugozitatea locală a substratului, parametru care nu poate fi
controlat în niciun fel;

- dependența de rugozitatea locală a substratului face ca lățimea traseelor realizate să nu poată fi controlată corespunzător;	1
- dependența de rugozitatea locală a substratului face ca liniile trasate să aibă margini franjurate;	3
- dependența de rugozitatea locală a substratului face ca să nu se poată obține o rezoluție foarte bună pe substraturi care au o rugozitate locală mai mare de 10 nm;	5
- pentru a obține difuzii mici pe suprafață, se pot folosi cerneluri vâscoase, dar acestea se depun greu și nu permit obținerea unei game variate de lățimi ale traseelor realizate.	7
	9
Deși fotopolimerul este supus fotopolimerizării, procesul are loc după ce cerneala a difuzat pe suprafață, în acest fel nefiind eliminate dezavantajele enumerate mai sus.	11
Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în reducerea dependenței difuziei cernelii pe suprafața substratului de rugozitatea acestuia, oferind astfel posibilitatea de a obține trasee cu o bună rezoluție spațială și cu o bună calitate a marginilor și, totodată, asigurând o viteză corespunzătoare de depunere.	13
	15
Soluția propusă, conform invenției, elimină dezavantajele de mai sus prin faptul că permite controlul coeficientului de difuzie pe suprafață chiar în timpul depunerii materialului pe substrat. Mai precis, coeficientul de difuzie pe suprafață este redus, astfel încât dependența difuziei materialului de rugozitatea suprafeței este redusă semnificativ. Viscositatea inițială este suficient de mică pentru a asigura o depunere relativ rapidă. În acest fel, calitatea traseelor și rezoluția spațială sunt îmbunătățite. Procedul de nanolitografie 2D și 3D de tip fountain pen asistat constă în depunerea unei cerneli pe un substrat prin intermediul unui cantilever perforat de tip fountain pen, în timpul depunerii fiind aplicat, pe zona de depunere, fasciculul optic al cărui rol este fie de a iniția fotopolimerizarea cernelii atunci când aceasta este fotopolimerizabilă, fie de a accelera evaporarea solventului care intră în compoziția cernelii atunci când aceasta conține cel puțin un solvent în compoziția sa, în ambele cazuri efectul fasciculului optic fiind acela de a reduce difuzia cernelii pe suprafața substratului, în acest fel putându-se obține trasee mai înguste și cu margini mai bine controlate, cerneala difuzând mai mult în absența fasciculului optic, fasciculul optic iluminând substratul în zona de depunere a cernelii din cel puțin două direcții diferite, astfel încât, indiferent de mișcarea cantileverului, fasciculul optic să ajungă pe cerneală.	17
	19
	21
	23
	25
	27
	29
	31
Avantajele procedurii de nanolitografie de tip fountain pen folosind fotopolimeri sunt:	
- depinde foarte puțin de rugozitatea locală a substratului, parametru care nu poate fi controlat în niciun fel;	33
- dependența redusă de rugozitatea locală a substratului face ca lățimea traseelor realizate să poată fi controlată corespunzător;	35
- dependența redusă de rugozitatea locală a substratului face ca liniile trasate să nu mai aibă margini franjurate;	37
- dependența redusă de rugozitatea locală a substratului face ca să se poată obține o rezoluție foarte bună pe substraturi care au o rugozitate locală mai mare de 10 nm;	39
- se utilizează cerneluri a căror viscozitate este redusă, ceea ce face ca depunerea să se poată desfășura relativ ușor și permițând, astfel, obținerea unei game variate de lățimi ale traseelor realizate.	41
	43
Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției, în legătură și cu fig. 1 și 2, care reprezintă:	45
- fig. 1, reprezentarea schematică a structurii părții de depunere a cernelii, în care cantileverul 2 este reprezentat în secțiune pentru a înlesni înțelegerea funcționării;	47
- fig. 2, reprezentarea schematică a ansamblului folosit pentru aplicarea procedurii.	

Invenția constă, într-una dintre variantele de asistare optică, în folosirea unui fotopolimer care, în fază obișnuită, neiluminată, are o viscozitate mică, fiind de exemplu format dintr-o soluție de monomer fotopolimerizabilă. Această soluție/cerneală 1 este depusă, prin intermediul unui cantilever 2 atașat unui sistem 3 de scanare a probei, pe un substrat 4, prin tehnicile în sine cunoscute ale nanolitografiei de tip fountain pen. Simultan cu depunerea cernelii 1 pe substratul 2, se aplică un fascicul de lumină 5 care are o astfel de lungime de undă încât produce fotopolimerizarea cernelii 1. Cerneala 1 este aleasă în așa fel încât timpul de reticulare să fie foarte scurt. Astfel, în loc ca cerneala 1 să se răspândească pe suprafața substratului 4, conform doar coeficientului de difuzie al monomerului și doar a rugozității locale a suprafeței, aceasta se va răspândi mai lent, deoarece reticularea indusă de fasciculul 5 de lumină face ca materialul să devină mai vâscos și, astfel, cerneala 1 să difuzeze mai greu. Cu alte cuvinte, cerneala 1 este depusă ca o cerneală de viscozitate redusă, specifică monomerului, fapt ce ușurează procesul de transport prin circuitul 6 microfluidic legat de cantileverul 2, dar difuzia are loc conform unui material mai vâscos datorită inițierii reticulării prin fotopolimerizare. În acest fel, traseele care se pot obține au lățimi mai mici decât cele care s-ar putea realiza în aceleași condiții de mediu, pe același tip de substrat și cu aceeași cerneală, dar fără a iniția fotopolimerizarea.

În cealaltă variantă de asistare optică, fasciculul 5 optic produce evaporarea accelerată a solventului care, în anumite aplicații, intră în compoziția cernelii 1, făcând astfel ca difuzia cernelii 1 pe substratul 4 să fie redusă ca durată de desfășurare. Evaporarea solventului se produce prin încălzirea cernelii 1, produsă de către fasciculul 5 optic, lungimea de undă a fasciculului 5 optic fiind astfel aleasă încât să producă încălzirea cernelii 1. Solventul poate fi cel de dizolvare a unei substanțe solide, cum ar fi apa pentru săruri solide solubile în apă, respectiv al unei substanțe lichide, cum ar fi un anumit tip de solvent care diluează o substanță lichidă specifică.

Folosind tehnicile cunoscute din nanolitografia de tip fountain pen, respectiv de tip dip pen, cantileverul 2 și/sau substratul 4 sunt deplasate/scanate, cu viteze corespunzătoare, în planul suprafeței substratului 4 astfel încât să se obțină traseele dorite în 2D. De asemenea, presiunea și/sau debitul cernelii 1 prin sistemul microfluidic 6 sunt astfel reglate încât să se obțină lățimea și grosimea dorită a traseului. În plus, temperatura cernelii 1 poate fi variată astfel încât să se obțină viscozitatea inițială dorită. De asemenea, intensitatea fasciculului 5 este astfel aleasă încât să inițieze o reticulare mai rapidă sau mai lentă, după necesități, a fotopolimerului, respectiv o evaporare mai rapidă sau mai lentă a solventului care intră în compoziția cernelii 1.

În cazul în care se dorește realizarea de structuri în 3D, atunci cantileverul 2 va avea, alături de mișcarea în planul X-Y paralel cu suprafața substratului 4, și o mișcare pe direcția verticală Z perpendiculară pe suprafața substratului 4. Această mișcare pe verticală poate fi realizată în trei moduri, în primul caz, se folosește doar mișcarea pe verticală produsă de actuatorii piezoelectrice ai ansamblului asociat sistemului 3 de scanare, actuatori specifici oricărui tip de microscopie de forță atomică. În al doilea caz, este folosit un cantilever 2 de tip bimorf, care poate fi încovoiat în plan vertical prin variația temperaturii sale. Variația de temperatură se poate obține fie prin efect Joule la trecerea curentului prin cantileverul 2, fie prin efect termoelectric la trecerea curentului prin cantileverul 2 dacă traseul de conducție electrică presupune existența a două materiale conductoare sau semiconductoare diferite, iar curentul trece prin interfața dintre aceste materiale pentru a genera efectul termoelectric, fie prin orice altă metodă de încălzire convenabilă acestui scop. Încovoierea cantileverului 2 în plan vertical face ca vârful acestuia, prin care iese cerneala 1, să fie urcat sau coborât în raport cu substratul 4, după necesități. Al treilea caz de mișcare pe verticală este cel în care este folosită combinarea celor două cazuri menționate anterior, și anume actuarea piezoelectrică și, respectiv, încovoierea termică a unui cantilever 2 bimorf.

Viteza de mișcare pe verticală a capătului cantileverului 2, debitul de cerneală 1 și intensitatea fascicului 5 optic sunt astfel corelate încât structura 3D care este construită să nu sufere ruperi și nici curgeri de cerneală 1 pe la marginile sale.	1 3
Mișcarea cantileverului 2 se poate face nu numai pe verticală, ci și combinat pe toate cele trei direcții X, Y, Z. Realizarea de structuri 3D se poate face, astfel, fie prin mișcarea de tip XYZ a cantileverului 2 în raport cu suprafața substratului 4, conform geometriei dorite pentru structura 3D cu depunere de cerneală 1 asistată de fasciculul 5 optic, fie prin depunerea cernelii 1 strat cu strat pe verticală, asistată de fasciculul 5 optic, până când se obține structura 3D dorită.	5 7 9
Pe toată durata depunerii cernelii 1, fasciculul 5 optic va fi prezent și va avea intensitatea astfel reglată încât să asigure procesul optim de depunere. Cantileverul 2, care trebuie să fie opac la radiația fascicului 5 optic, se poate mișca și fără a depune cerneală 1, și anume între două poziții în care nu trebuie să depună cerneală 1, respectiv când trece de la o figură desenată la următoarea figură care trebuie desenată/depusă. Fasciculul 5 optic iluminează substratul 4 în zona de depunere din cel puțin două direcții diferite, astfel încât, indiferent de mișcarea cantileverului 2, fasciculul 5 optic să ajungă pe cerneala 1.	11 13 15
Pentru procedeul nanolitografic 2D sau 3D se poate folosi un singur cantilever 2 sau o arie de cantilevere 2 identice, comandate separat sau împreună, pentru a depune cerneala 1 pe substratul 4 în același timp și a crește astfel viteza procesului tehnologic. De asemenea, pot exista un număr de cantilevere 2 alăturate, fiecare depunând un alt tip de cerneală 1.	17 19
Pentru depunere, cantileverul 2 este coborât ușor către suprafața substratului 4, prin procedeele menționate anterior pentru mișcarea pe verticală, până când intră în feedback conform parametrilor indicați de utilizator. Procedeul de detecție a feedback-ului este cel în sine cunoscut întâlnit în microscopia de forță atomică. Deflexia cantileverului 2 este citită printr-una dintre metodele în sine cunoscute din microscopia de forță atomică, și anume sau optic prin urmărirea deplasării unui fascicul de lumină reflectat de către cantileverul 2, sau piezorezistiv prin citirea variației rezistivității unui material piezorezistiv montat într-o anumită poziție pe cantileverul 2, sau capacitiv, sau inductiv, sau prin orice altă metodă în sine cunoscută.	21 23 25 27 29
O variantă a desfășurării acestui procedeu de nanolitografie 2D și 3D asistată optic este cea în care cantileverul 2 urmărește în timp real topografia suprafeței substratului 4 și își corectează poziția față de acesta în mod corespunzător. Acest lucru este posibil prin urmărirea în timp real a deflexiei cantileverului 2 și menținerii acesteia, prin bucla de reacție în sine cunoscută, la valoarea setată de către utilizator. Este procedeul în sine cunoscut al regimului de forță constantă în imagistică de tip microscopie de forță atomică.	31 33 35
O variantă alternativă a desfășurării acestui procedeu de nanolitografie 2D și 3D asistată optic o constituie scanarea preliminară a suprafeței substratului 4. În acest caz, se folosește un cantilever obișnuit folosit pentru microscopia de forță atomică, care are un vârf ascuțit, neperforat, ce permite obținerea unei bune rezoluții spațiale a topografiei de suprafață. Acest cantilever folosit pentru obținerea de imagini de microscopie de forță atomică poate fi montat alături de cantileverul 2 folosit pentru depunere, adică pe același cip cu acesta. În această variantă, zona de interes a substratului 4 este scanată, înainte de depunere, în regim de microscopie de forță atomică cu forță constantă, pentru a se obține imaginea topografiei de suprafață a substratului 4. Apoi se face o scanare în regim de înălțime constantă a aceleași porțiuni a zonei de substrat 4, pentru a identifica poziționarea planului de scanare X-Y în raport cu suprafața substratului 4. Folosind datele din cele două scanări, calculatorul care controlează procesul de nanolitografie calculează modul în care	37 39 41 43 45 47

trebuie mișcat cantileverul 2 pe verticală în timpul depunerii cernelii 1, astfel încât să compenseze variațiile topografiei de suprafață a substratului 4. Această variantă este mai indicată, deoarece nu trebuie să urmărească topografia suprafeței în timpul depunerii, forța care acționează în acest caz fiind datorată atât forțelor de interacție dintre vârful cantileverului 2 și substratul 4, cât și forțelor de capilaritate produse de către cerneala 1 atunci când atinge atât vârful cantileverului 2, cât și suprafața substratului 4, astfel încât determinarea riguroasă a topografiei de suprafață devine mai puțin precisă.

Cerneala 1 poate fi un monomer, un monomer într-o soluție de solvent, un monomer în amestec cu alte substanțe organice, cu sau fără solvenți, un monomer sau orice alt lichid care conține un coloid de nanoparticule, aceste nanoparticule putând fi, fără a restrânge tipul, metalice, semiconductoare, izolatoare din punct de vedere electric, putând avea proprietăți magnetice și/sau optice specifice.

Într-o altă situație, cerneala 1 poate fi formată dintr-o substanță solidă dizolvată într-un solvent specific ei sau, în altă situație, o substanță lichidă organică sau anorganică dizolvată într-o altă substanță lichidă cu care este miscibilă.

De asemenea, compoziția cernelii 1 poate varia în timpul depunerii prin folosirea unui mixer microfluidic în sine cunoscut, situat în cipul microfluidic 6, care amestecă unul sau mai multe tipuri de cerneală 1 în proporțiile dorite de utilizator, variabile pe durata depunerii.

Fluxul de cerneală 1 prin vârful cantileverului 2 poate fi continuu, intermitent sau sub formă de picături separate de bule de gaz, după caz.

Procedeu de nanolitografie 2D și 3D se execută în așa fel încât să existe o corelație permanentă între viteza de mișcare a cantileverului 2, debitul de cerneală 1 și intensitatea de iluminare a fasciculului 5 optic, astfel încât depunerea cernelii 1 să se facă în condiții optime, fără "ruperea" acestora și fără apariția unor fenomene care să reducă calitatea structurilor obținute. În anumite situații, se poate face o calibrare anterioară procesului de depunere, la diferite viteze ale cantileverului 2, la diferite valori ale debitului de cerneală 1 și, respectiv, la diferite valori ale intensității fasciculului 5 optic, din acest proces de calibrare obținându-se datele de proces care să asigure cea mai bună calitate pentru procesul ulterior de nanolitografie. Acest proces de calibrare se poate face, de asemenea, ținându-se cont de temperatura substratului și de gradul de umiditate al atmosferei de lucru.

Într-un alt exemplu de realizare a invenției, cerneala 1 este formată dintr-o soluție de fotorezist fotosensibil la lumină albastră, similar celui folosit în procesele de fotolitografie la fabricarea circuitelor integrate. Acest fotorezist este depus prin intermediul cantileverului 2 perforat la vârf, orificiul având un diametru de 20 nm, pe un substrat 4 din Siliciu, depunerea fiind asistată de iluminarea cu un fascicul 5 care produce fotopolimerizarea fotorezistului. Depunerea se face în 2D pe suprafața substratului 4 sau în 3D, după necesități.

Într-o altă variantă, cerneala 1 este formată dintr-un polimer dizolvat într-un solvent specific, în acest caz fasciculul 5 optic care asistă depunerea fiind în domeniul infraroșu și producând încălzirea cernelii 1, și, prin aceasta, evaporarea accelerată a solventului respectiv.

Într-o altă variantă, cerneala 1 este formată dintr-o sare solubilă, de exemplu ZnS, dizolvată în apă, în acest caz fasciculul 5 optic care asistă depunerea fiind în domeniul infraroșu și producând încălzirea cernelii 1, și, prin aceasta, evaporarea accelerată a apei.

Într-o altă variantă, cerneala 1 este formată dintr-un amestec de săruri solubile, de exemplu ZnS și CdS, dizolvate în apă, în acest caz fasciculul 5 optic care asistă depunerea fiind în domeniul infraroșu și producând încălzirea cernelii 1, și, prin aceasta, evaporarea accelerată a apei, depunerea făcându-se în așa fel încât proporția de CdS în raport cu ZnS să varieze în timpul depunerii, obținându-se o compoziție variabilă de la un capăt la celălalt al figurii desenate/depuse.

Într-o altă variantă, cerneala 1 este formată dintr-un amestec de soluție de fotorezist în sine cunoscut și un colid pe bază de nanoparticule de Ag, soluția de fotorezist și coloidul fiind miscibile, iar depunerea fiind asistată de un fascicul 5 optic din domeniul albastru al spectrului care produce fotopolimerizarea fotorezistului.

1. Procedeu de nanolitografie 2D și 3D de tip fountain pen asistat optic, **caracterizat prin aceea că** va consta în depunerea unei cerneli (1) pe un substrat (4) prin intermediul unui cantilever (2) perforat de tip fountain pen, în timpul depunerii fiind aplicat, pe zona de depunere, fasciculul (5) optic al cărui rol este fie de a iniția fotopolimerizarea cernelii (1) atunci când aceasta este fotopolimerizabilă, fie de a accelera evaporarea solventului care intră în compoziția cernelii (1) atunci când aceasta conține cel puțin un solvent în compoziția sa, în ambele cazuri efectul fasciculului (5) optic fiind acela de a reduce difuzia cernelii (1) pe suprafața substratului (4), în acest fel putându-se obține trasee mai înguste și cu margini mai bine controlate, cerneala (1) difuzând mai mult în absența fasciculului (5) optic, fasciculul (5) optic iluminând substratul (4) în zona de depunere a cernelii (1) din cel puțin două direcții diferite, astfel încât, indiferent de mișcarea cantileverului (2), fasciculul (5) optic să ajungă pe cerneală (1). 3 5 7 9 11 13
2. Procedeu de nanolitografie 2D și 3D de tip fountain pen asistat optic, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** este realizat direct, cu urmărirea în timp real a topografiei suprafeței substratului (4) sau folosind compensarea topografiei suprafeței substratului (4) pornind de la datele de topografie de suprafață obținute printr-o scanare anterioară de tip microscopie de forță atomică a zonei de lucru. 15 17 19
3. Procedeu de nanolitografie 2D și 3D de tip fountain pen asistat optic, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** deflexia cantileverului (2) poate fi citită prin oricare dintre metodele în sine cunoscute, adică optic, piezorezistiv, capacitiv, inductiv sau oricare altă tehnică de citire în sine cunoscută. 21 23
4. Procedeu de nanolitografie 2D și 3D de tip fountain pen asistat optic, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** se realizează cu un singur cantilever (2), cu o arie de cantilevere (2) identice acționate separat sau împreună, sau cu un număr de cantilevere (2) alăturate, fiecare dintre aceste cantilevere (2) alăturate depunând un alt tip de cerneală (1). 25 27
5. Procedeu de nanolitografie 2D și 3D de tip fountain pen asistat optic conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** structura 3D realizată se face cu mișcarea cantileverului (2) pe cele trei axe X, Y, Z spațiale, utilizând în acest scop procedee și sisteme (3) de scanare în sine cunoscute sau prin depunerea cernelii (1) strat cu strat pe verticală, până la obținerea structurii 3D dorite. 29 31 33
6. Procedeu de nanolitografie 2D și 3D de tip fountain pen asistat optic, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** mișcarea pe verticală a cantileverului (2) se realizează fie prin utilizarea unui sistem de actuare piezoelectrică în sine cunoscut, existent în cadrul sistemului (3) de scanare, actuator piezoelectric specific oricărui tip de microscopie de forță atomică, fie prin variația temperaturii cantileverului (2), dacă cantileverul (2) este de tip bimorf, variație de temperatură care se obține prin efect Joule la trecerea curentului prin cantilever (2) sau prin efect termoelectric la trecerea curentului prin cantilever (2), dacă traseul de conducție electrică presupune existența a două materiale conductoare sau semiconductoare diferite, iar curentul trece prin interfața dintre aceste materiale pentru a genera efectul termoelectric, fie prin orice altă metodă de încălzire convenabilă acestui scop, fie prin combinarea acestor două cazuri, și anume actuarea piezoelectrică și, respectiv, încovoierea termică a unui cantilever (2) bimorf, actuarea pe direcția verticală având ca efect urcarea sau coborârea vârfului cantileverului (2), vârf prin care iese cerneala (1), în raport cu suprafața substratului (4). 35 37 39 41 43 45 47

1 7. Procedeu de nanolitografie 2D și 3D de tip fountain pen asistat optic, conform
2 revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** există o corelație între viteza de mișcare a
3 cantileverului (2), debitul de cerneală (1) și intensitatea de iluminare a fasciculului (5) optic,
4 astfel încât depunerea cernelii (1) să se facă în condiții optime, în anumite situații
5 utilizându-se datele unui proces anterior de calibrare a procesului de depunere.

6 8. Procedeu de nanolitografie 2D și 3D de tip fountain pen asistat optic conform
7 revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** fluxul de cerneală (1) poate fi continuu, intermitent
8 sau sub formă de picături separate de bule de gaz.

9 9. Procedeu de nanolitografie 2D și 3D de tip fountain pen asistat optic, conform
10 revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** cerneala (1) este un monomer, un monomer într-o
11 soluție de solvent, un monomer în amestec cu alte substanțe organice cu sau fără solvenți,
12 un monomer sau orice alt lichid care conține un coloid de nanoparticule metalice,
13 semiconductoare sau izolatoare din punct de vedere electric, putând avea proprietăți
14 magnetice și/sau optice specifice, monomerul putând fi fotopolimerizabil, cerneala (1) fiind
15 formată dintr-o substanță solidă dizolvată într-un solvent specific ei sau o substanță lichidă
16 organică sau anorganică dizolvată într-o altă substanță lichidă cu care este miscibilă.

17 10. Procedeu de nanolitografie 2D și 3D de tip fountain pen asistat optic, conform
18 revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, pe durata depunerii, compoziția cernelii (1) poate
19 varia, prin folosirea unui mixer microfluidic în sine cunoscut, situat în cipul microfluidic (6),
20 care amestecă în proporția variabilă cerută de utilizator cel puțin două tipuri de cerneală (1),
21 în acest fel obținându-se structuri 2D sau 3D cu compoziție variabilă.

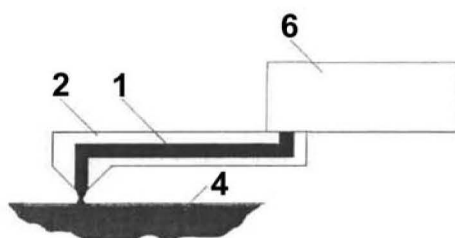


Fig. 1

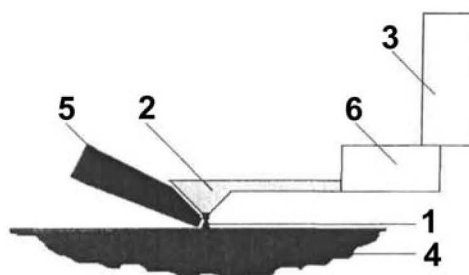


Fig. 2