



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2012 00732**

(22) Data de depozit: **16/10/2012**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **28/06/2019** BOPI nr. **6/2019**

(41) Data publicării cererii:
30/10/2015 BOPI nr. **10/2015**

(73) Titular:
• **PAVEL EUGEN, CALEA MOȘILOR
NR. 274, BL. 18, SC. A, ET.9, AP. 34,
SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:
• **PAVEL EUGEN, CALEA MOȘILOR
NR. 274, BL. 18, SC. A, ET.9, AP. 34,
SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
**US 5772905; US 2007125969 A1;
US 2008272516 A1; US 2006290018 A1;
US 6132643**

(54) **FABRICAȚIE OPTICĂ TRIDIMENSIONALĂ ÎN DOMENIUL
NANOMETRIC**



RO 130628 B1

1 Prezenta invenție se referă în general la fabricația tridimensională prin mijloace optice
a unor nanostructuri, și în mod particular la o metodă de producere a unor matrițe de diverse
3 tipuri. Metoda descrisă în invenție este utilizabilă pentru producerea dispozitivelor electro-
nice, optice, mecanice, biomedicale și a metamaterialelor care încorporează componente
5 nanometrice.

Realizarea și controlul structurilor la nivel atomic este obiectul de studiu al nano-
7 științelor și al nanotehnologiei. Cuvântul „nano” este utilizat pentru structuri având dimensiuni
mai mici de 100 nm. Fabricația la nivel nanometric include crearea nanostructurilor și
9 manipularea acestora cu aceeași precizie. Conceperea unor tehnici optice noi de nanofabri-
cație, având rezoluția mai bună decât cea indicată de teoria difracției, este necesară pentru
11 producerea unor dispozitive performante.

Capacitatea de a fabrica nanostructuri cu precizie înaltă este importantă pentru
13 dezvoltarea tehnologică. Industria semiconductorilor a impulsat dezvoltarea litografiei de
înaltă precizie, pentru producerea tranzistoarelor de dimensiuni cât mai reduse, și a circui-
15 telor integrate de înaltă densitate. Legea lui Moore indică faptul că numărul de tranzistoare
dintr-un cip se dublează la fiecare 18 luni. Elementele critice, precum rezoluția, fiabilitatea
17 și reproductibilitatea, vor trebui îmbunătățite în cadrul noilor tehnici litografice aflate în faza
de dezvoltare.

19 Cercetările în domeniul litografiei sunt impulsionate de cerințele industriei electronice.
Drept urmare, s-au elaborat tehnologii complexe la un cost exorbitant. Exemple pot fi urmă-
21 toarele realizări: iluminare unghiulară, lentile de imersie și litografierea la 193 nm și 157 nm.
Altă soluție de realizare a structurilor 2D a constat în litografierea cu fascicul de electroni
23 (EBL), care s-a dezvoltat simultan cu microscopia electronică de baleiaj. Structuri complexe
2D se obțin prin iradierea cu fasciculul de electroni a unui material care suferă o transformare
25 fizică sau chimică în urma procesului. Imaginea latentă din material, numit rezist, este
developată printr-un proces chimic umed. În loc de electroni se utilizează și fascicule
27 focalizate de ioni.

Necesitatea acoperirii domeniului 10...100 nm a determinat o proliferare a tehnicilor
29 de imprimare litografică. Acest grup de metode are un potențial mare pentru replicarea
flexibilă de mare precizie. Nanoimprint Lithography - NIL (**S. Y. Chou et. al, Appl. Phys.**
31 **Lett. 1995, 67, 3114**) utilizează turnarea la presiune a polimerilor termoplastici, și Step and
Flash Lithography - SFIL folosește fotopolimerizarea în matriță. O matriță având structura
33 3D este presată ($p < 10^5$ Pa) la temperatura camerei, peste un strat fotopolimerizabil, cu vis-
cozitate scăzută, depus peste o plachetă de siliciu. Fotorezistul se întărește în urma ilumi-
35 nării acestuia, prin matriță, de către o sursă de radiații UV. La sfârșitul procesului, placheta
se separă de matriță. Structura imprimată pe fotorezistul întărit poate fi transferată pe pla-
37 chetă printr-un proces RIE, sau poate fi utilizată ca un element funcțional. Tehnologiile NIL
și SFIL au potențial pentru nanofabricația unor dispozitive la un preț de cost scăzut, și cu
39 productivitate ridicată. Structurile imprimate de către matriță pot avea dimensiuni mai mici
decât 10 nm, și este posibil să se atingă nivelul molecular.

41 Deși metodele de imprimare sunt promițătoare în replicarea pentru domeniul
10...100 nm, ele sunt metode 1x. Aceasta înseamnă că matrița primară trebuie să conțină
43 structurile în același domeniu. Metodele curențe de litografiere: Extreme Ultraviolet (EUV),
Electron Beam Lithography (EBL) și Focus Ion Beam Lithography (FIB) au limitări severe în
45 fabricarea structurilor 2D. Este extrem de dificil să se obțină trăsături cu dimensiuni mai mici
de 100 nm. EBL și FIB sunt limitate din cauza productivității scăzute în realizarea unor arii
47 mari cu nanostructuri (costuri ridicate și timpi lungi de scriere).

În vederea depășirii limitării datorate difracției, s-au conceput noi metode. Probe Lithography are un preț scăzut, și poate fi utilizată cu o varietate mare de laseri și substraturi, spre deosebire de sistemele tradiționale fotolitografice cu mască. Scanning Probe Lithographies (SPL) sunt tehnici promițătoare pentru scrierea la nivel nanometric. De exemplu, se pot muta atomi individuali cu Scanning Tunneling Microscope (STM). Prima variantă comercială care utilizează Atomic Force Microscopy este Dip-Pen Nanolithography (DPN). Metodele SPL pot fi utilizate pentru nanolitografierea de ultraînaltă rezoluție. Aceste tehnici nu sunt adecvate pentru realizarea nanostructurilor pe arii mari, datorită vitezei mici și naturii seriale de scriere. Viteza de scriere este limitată la 5 μm/s.

Odată cu dezvoltarea rețelelor de comunicații având viteze și capacități mari, volumul de date transmise a crescut rapid. Pentru garantarea transmisiei, recepției și a extracției unei cantități uriașe de date, este esențial să se dezvolte tehnologii de stocare a datelor având capacități mari. Două dintre variante sunt: Optical near-field technology și Magnetic nano-patterned media technology. În vederea depășirii barierei difracției și a controlului spațial la nivel nanometric, s-au propus diverse tehnici de nanofabricație, care folosesc optical near field. Tehnologia curentă de stocare optică a datelor este 2D. Discurile optice se produc prin presare la cald, cu ajutorul unei matrițe care conține adâncituri sau șanțuri. Este posibil să se imprime trăsături fine (<50 nm) pe suprafețe mari, utilizând tehnologia de fabricație a CD-urilor (**Imprint lithography for mass production, Heidari, B.; Bogdanov, A.; Keil, M.; Montelius, L.; Microprocesses and Nanotechnology Conference, 2001 International Volume, Issue, 2001, Page(s): 94-95**). Implementarea tehnologiei CD pentru producerea nanostructurilor se poate realiza la un cost scăzut pentru trăsături mai mici de 50 nm, pe suprafețe circulare având diametrul de 6 țoli. Totuși, aceste sisteme au limitări din cauza faptului că matrița se realizează cu EBL.

Concomitent cu creșterea cerinței pentru sisteme de stocare având capacități mari, cercetările în domeniul mediilor structurate magnetic, utilizabile în hard drive-uri, au cunoscut o atenție deosebită, datorită potențialului acestora de a depăși limitările mediilor magnetice continue (superparamagnetismul și zgomotul mediului de stocare). Metodele curente de fabricație a mediilor structurate utilizează scrierea directă și corodarea. Superparamagnetismul apare când bariera de comutare magnetică este mai mică de ~60 kT, unde kT este energia de activare termică. Soluția găsită pentru depășirea acestei bariere constă în creșterea anizotropiei; particulele cu dimensiuni mici au majoritatea atomilor situați în apropierea suprafeței, ceea ce conferă acestora proprietăți magnetice noi. Scrierea pe aceste particule mici este o provocare tehnică datorită coercitivității uriașe; se experimentează efecte noi, precum Heat Assistance (HAMR) sau Spin Transfer. Mediile magnetice structurate sunt candidate promițătoare pentru atingerea densității de stocare de ordinul Tbits/in². Informația de 1 bit poate fi stocată pe o nanostructură conținând un singur domeniu magnetic. Mediile structurate nanometric se pot realiza utilizând diverse tehnologii NEMS. Variantele propuse pentru fabricarea mediilor structurate cuprind EBL și FIB. Aceste proceduri au costuri ridicate și productivitate scăzută.

Sistemele nanofluidice, având dimensiunile critice comparabile cu dimensiunile moleculelor, au deschis noi posibilități pentru observarea directă, manipularea și analiza biomoleculelor (individuale sau aglomerate). Aceasta furnizează o bază nouă pentru proiectarea și realizarea unor senzori și sisteme ultrasensibile de diagnostic medical cu rezoluție înaltă. Dispozitivele nanofluidice au aplicații variate în manipularea lichidelor, în cantități mici, în biologie și chimie, pentru analize și sinteze rapide, de înaltă rezoluție și la un preț de cost redus. Procedul utilizat curent pentru fabricarea canalelor nanofluidice constă în realizarea unor șanțuri nanometrice care se închid ermetic în partea superioară. Dezvoltarea NIL a

RO 130628 B1

1 permis fabricarea dispozitivelor nanofluidice la un preț scăzut. Datorită efectului de confinare,
gradul de alungire a moleculelor de ADN este invers proporțional cu diametrul nanocanalului.
3 Metodele de realizare a canalelor nanofluidice includ fabricarea matrițelor pentru NIL cu EBL
sau FIB.

5 Se constată necesitatea unei metode mai bune, mai versatile și mai comode pentru
nanolitografierea tridimensională.

7 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în nanofabricația tridimensională
a unor structuri cu dimensiuni mai mici de 40 nm.

9 Metoda de nanofabricație a unei matrițe, conform invenției, constă în scrierea directă
cu laser a unei structuri pe suprafața sau în volumul unui substrat confecționat din
11 vitroceramică fluorescentă fotosensibilă, și în controlul dimensiunii structurilor prin controlul
parametrilor iradierii cu laser, precum și în efectuarea unui tratament termic al substratului,
13 pentru cristalizarea structurilor scrise, corodarea structurilor cristalizate, rezultând structuri
de dimensiuni de 500 nm sau mai mici, și controlul dimensiunii structurilor prin controlul
15 tratamentului termic.

Conform unei variante de realizare, metoda de nanofabricație se aplică unei matrițe
17 negative sau pozitive.

Conform unei variante de realizare, în metoda de nanofabricație laserul este o diodă
19 laser.

Conform unei variante de realizare, în metoda de nanofabricație, scrierea se efec-
21 tuează fie cu o rețea de diode laser, fie cu o rețea de fascicule laser controlate individual, fie
cu fasciculele laser controlate de către un modulator spațial de lumină (Space Light
23 Modulator), fie cu un microscop confocal, fie cu un Laser Beam Recorder.

Conform unei variante de realizare, în metoda de nanofabricație structurile cristaline
25 scrise sunt corodate printr-un procedeu chimic umed, cu un amestec de acizi H_2SO_4 și HNO_3 .

Conform unei variante de realizare, cu ajutorul metodei de nanofabricație, se produce
27 fie o matriță pentru Nanoimprint Lithography, fie o matriță pentru discuri optice, fie o matriță
negativă pentru turnarea pieselor metalice nanometrice.

29 Avantajele invenției sunt:

31 - producerea pe scară largă, la preț scăzut, a unei game mari de dispozitive
conținând componente nanometrice;

33 - productivitatea mărită și disponibilitatea 3D față de celelalte metode cunoscute de
nanofabricație;

35 - controlul dimensional al volumului iradiat pentru producerea matrițelor nanostruc-
turate.

37 Se dau în continuare mai multe exemple de realizare a invenției, în legătură cu
figurile ce reprezintă:

39 - fig. 1, imagine de perspectivă, ilustrând metoda de fabricație a matrițelor conform
cu principiile invenției prezente;

41 - fig. 2, diagramă reprezentând distribuția intensității luminii într-un fascicul laser în
funcție de diametrul spotului de lumină;

43 - fig. 3, diagramă schematică arătând localizarea nanobaghetelor de fluorură pe
suprafața substratului.

45 În concordanță cu principiile prezentei invenții, se furnizează o metodă de formare
a matrițelor nanostructurate. Metoda utilizează un substrat de vitroceramică fluorescentă
47 fotosensibilă. Cu ajutorul unui sistem 3D controlat de calculator, se focalizează pulsuri laser
în interiorul materialului. După un tratament termic urmat de o corodare chimică umedă, se
49 obțin nanostructuri tridimensionale. Conform metodei de nanofabricație descrisă în invenție,
dimensiunile nanostructurilor înregistrate se reglează din controlul iradierii și al tratamentului
termic.

RO 130628 B1

Domeniile de aplicare a prezentei invenții se vor exemplifica în descrierea detaliată a invenției. Se consideră că descrierea detaliată și exemplele specifice, indicând elementele preferate ale invenției, sunt prezentate numai pentru ilustrare, și nu limitează scopul invenției.

Descrierea următoare a elementelor favorite ale invenției are caracter exemplificator, și nu se intenționează în niciun fel să limiteze aplicațiile invenției.

Fabricarea structurilor tridimensionale în interiorul materialelor este un domeniu interesant de cercetare, având un potențial mare pentru aplicații diverse. Totuși, tehnologiile convenționale de realizare a acestor structuri, ca, de exemplu, nanolitografia utilizată în industria semiconductoarelor, necesită un proces complex, incluzând procesarea multistrat și lipirea pe substrat. În ciuda structurii multistrat, geometria este 2D sau 2 1/2 D. Fabricarea directă a structurilor 3D în interiorul materialelor transparente este posibilă datorită procesului nelinier de absorbție multifotonică a unui fascicul laser. În urma iradierii are loc o modificare fotochimică a mediului. Caracterul tridimensional al nanostructurilor necesită ca fasciculul laser să traverseze alte zone înainte de a ajunge la punctul unde se va scrie. De aceea este nevoie ca materialul să prezinte neliniarități pentru a se asigura eliminarea interferenței cu alte puncte. Mișcarea unei probe de vitroceramică fluorescentă fotosensibilă în focarul fasciculului laser permite fabricarea unor structuri 3D într-o singură etapă. Întrucât numai fluorurile precipitate în probă sunt dizolvate de un amestec de acizi precum H_2SO_4 și HNO_3 , este posibil ca, în urma corodării selective, să se obțină nanostructurile gravate în interiorul vitroceramicii fluorescente fotosensibile. Acestea au suprafețe netede și dimensiuni nanometrice.

Nanolitografierea bazată pe vitroceramici fluorescente fotosensibile poate fi o soluție alternativă pentru realizarea matritelor la preț redus. Difracția este fenomenul care limitează performanțele fotolitografiei convenționale. Dimensiunile trăsăturilor scrise sunt de ordinul lungimii de undă a radiației utilizate. Combinația dintre litografierea fără măști și vitroceramicile fluorescente fotosensibile permite obținerea de structuri cu dimensiuni mult mai mici decât cele permise de teoria difracției. Această super rezoluție este o consecință a interacțiilor neliniare dintre radiația laser și vitroceramicile fluorescente fotosensibile. Cu ajutorul unui sistem 3D controlat de calculator se pot obține nanostructuri tridimensionale prin scrierea directă cu un fascicul laser în interiorul probei.

Trăsătura minimă care poate fi imprimată cu un sistem de litografiere optică este determinată de ecuația lui Rayleigh : $W = k_1 \lambda / (NA)$, unde k_1 este constanta rezoluției, λ este lungimea de undă a radiației utilizate, și $NA = n \sin \alpha$ este apertura numerică a lentilei de proiecție. În aer valoarea maximă a NA este 1. Parametrul k_1 reprezintă efectul compus al răspunsului probei, iluminării și al formei figurilor înregistrate pe fotomască. Teoria difracției indică pentru k_1 o valoare minimă de 0,25.

Nanolitografia bazată pe vitroceramici fluorescente fotosensibile utilizează pentru k_1 o valoare mai mică decât $1,6 \times 10^{-2}$.

Invenția prezentă este ilustrată în mod particular cu următoarele exemple, care nu vor limita însă invenția numai la aceste exemple.

Exemplul 1

S-a preparat un material vitros cu următoarea compoziție (procente molare): ~30% SiO_2 , 14% Al_2O_3 , 45% PbF_2 , 10% YF_3 , 1% Eu_2O_3 , 0,05% CeO_2 , 0,05% Sb_2O_3 și 0,01% Ag . Pentru a se realiza acest material, s-au amestecat uniform, într-un creuzet de alumină, cantități stoichiometrice de pulberi de SiO_2 , $Al(OH)_3$, PbF_2 , Eu_2O_3 , YF_3 , CeO_2 , Sb_2O_3 și $AgBr$. Topirea amestecului s-a efectuat la $1100^\circ C$ timp de 1 h. Topitura a fost turnată într-o matriță de grafit, și tratată termic 3 h la $350^\circ C$. Discuri cu diametrul de 80 mm și grosimea de 1 mm s-au obținut prin tăierea și polizarea materialului vitros. Suplimentar, prin același procedeu s-au realizat prisme ortogonale cu dimensiunile 12 x 3 x 1 mm.

1 Exemplul 2

3 Se efectuează etapa de scriere directă cu laser a unei structuri. Se cunosc trei posibi-
lități de realizare a echipamentelor de scriere: a) proba mobilă - mișcare liniară, b) proba
5 mobilă - mișcare de rotație, și c) fascicul laser mobil. În fig. 1 se prezintă schema sistemului
folosit pentru mișcarea liniară a probei. Scrierea directă include un stage PZT controlat
7 electronic pe cele trei direcții X, Y și Z. Fasciculul laser furnizat de către un sistem Nd:YAG
($P = 20 \text{ mW}$; $\lambda = 532 \text{ nm}$) se focalizează printr-un obiectiv ($NA = 0,6$) în interiorul probei con-
9 fecționate din vitroceramică fluorescentă fotosensibilă. Scrierea unei linii la viteza de $20 \mu\text{m/s}$
se efectuează prin deplasarea probei în direcția Y. Alte linii paralele se obțin în același plan
11 XY și în planuri paralele. După scriere, urmează etapa de tratament termic al substratului,
prin care proba se tratează termic 5 h la 500°C , urmată de corodarea chimică timp de 5 min
13 într-un amestec 2:1 H_2SO_4 cu HNO_3 . În urma corodării selective în planul XZ se deschid
găuri cu diametrul de 40 nm. Proba corodată de vitroceramică fluorescentă fotosensibilă este
15 o matriță negativă. În fig. 2 se prezintă dependența diametrului spotului de lumină în funcție
de distribuția intensității luminii unui fascicul laser. Întrucât vitroceramica fluorescentă
17 fotosensibilă este un material nelinier, va exista o valoare critică a intensității luminii
începând de la care va fi posibilă scrierea. Reducând intensitatea fasciculului la o valoare
19 superioară intensității critice, se va reduce dimensiunea spotului sub valoarea prezisă de
teoria Rayleigh.

Exemplul 3

21 Alt exemplu de nanofabricație optică tridimensională cu un design rotativ (similar cu
cel utilizat la hard drive-uri) a fost realizat cu un Laser Beam Recorder. În acest caz, viteze
23 mari (20 m/s) sunt accesibile pentru etapa de scriere directă, cu rezoluție în domeniul nano-
metrilor. Fasciculul laser furnizat de un sistem laser Nd:YAG ($P = 500 \text{ mW}$; $\lambda = 532 \text{ nm}$) este
25 trecut printr-un obiectiv cu $NA = 0,6$. Pe un disc realizat în exemplul 1 s-a focalizat fasciculul
laser pe fața superioară a discului. Discul scris a fost tratat termic 5 h la 500°C . Pe fața
27 discului se obțin nanobaghetete de fluorură (fig. 3) cu diametrul de $\sim 40 \text{ nm}$. Discul poate fi
utilizat ca matriță pozitivă în aplicații diverse.

29 Exemplul 4

Sunt aplicații ca, de exemplu, litografia de nanoimprimare (Nanoimprint Lithography -
31 NIL) unde se cere o valoare mare a vitezei liniare de scriere. Microscopia confocală oferă
o soluție la această solicitare (viteza de baleiaj: până la 2 m/s), datorită sistemului mobil de
33 baleiaj al fasciculului laser. Un sistem laser Nd:YAG ($P = 200 \text{ mW}$; $\lambda = 532 \text{ nm}$) a fost montat
pe un microscop confocal FluoView FV100 Olympus la unul dintre cele două porturi dispo-
35 nibile. Fasciculul laser a fost focalizat printr-un obiectiv ($NA = 0,6$) pe fața superioară a unei
prisme confecționate din vitroceramică fluorescentă fotosensibilă. Cu un zoom 10X s-au scris
37 linii pe o suprafață de $31,815 \times 31,815 \mu\text{m}^2$. După un tratament de 5 h la 500°C , s-au obținut
pe suprafața prisme nanobaghetete de fluorură cu diametrul de $\sim 30 \text{ nm}$. Produsul final este
39 o matriță pozitivă.

Metoda de nanofabricație optică tridimensională a matrițelor, conform prezentei
41 invenții, este utilă ca metodă de producere a componentelor nanometrice utilizabile în
dispozitive electronice, optice, mecanice, biomedicale și a metamaterialelor.

43 Descrierea invenției este particulară prin exemplele date, iar alte variante realizate
în spiritul acesteia nu vor fi privite ca o abatere de la scopul invenției.

RO 130628 B1

Revendicări

	1
1. Metodă de nanofabricație a unei matrițe, caracterizată prin aceea că are următoarele etape:	3
- scrierea directă cu laser a unei structuri pe suprafața sau în volumul unui substrat confecționat din vitroceramică fluorescentă fotosensibilă;	5
- controlul dimensiunii structurilor prin controlul parametrilor iradierii cu laser.	7
2. Metodă de nanofabricație a unei matrițe, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că are următoarele etape suplimentare:	9
- efectuarea unui tratament termic al substratului, pentru cristalizarea structurilor scrise;	11
- corodarea structurilor cristalizate, rezultând structuri de dimensiuni de 500 nm sau mai mici;	13
- controlul dimensiunii structurilor prin controlul tratamentului termic.	
3. Metodă de nanofabricație a unei matrițe, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că matrița este negativă.	15
4. Metodă de nanofabricație a unei matrițe, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că matrița este pozitivă.	17
5. Metodă de nanofabricație a unei matrițe, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că laserul este o diodă laser.	19
6. Metodă de nanofabricație a unei matrițe, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că scrierea se efectuează cu o rețea de diode laser.	21
7. Metodă de nanofabricație a unei matrițe, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că scrierea se efectuează cu o rețea de fascicule laser controlate individual.	23
8. Metodă de nanofabricație a unei matrițe, conform revendicării 7, caracterizată prin aceea că scrierea se efectuează cu fasciculele laser controlate de către un modulator spațial de lumină (Space Light Modulator).	25
9. Metodă de nanofabricație a unei matrițe, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că scrierea se efectuează cu un microscop confocal.	27
10. Metodă de nanofabricație a unei matrițe, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că scrierea se efectuează cu un Laser Beam Recorder.	29
11. Metodă de nanofabricație a unei matrițe negative, conform revendicării 1, caracterizată prin aceea că structurile cristaline scrise sunt corodate printr-un procedeu chimic umed cu un amestec de acizi H_2SO_4 și HNO_3 .	31
12. Matriță pentru Nanoimprint Lithography, caracterizată prin aceea că este produsă conform metodei descrise în revendicarea 1.	33
13. Matriță pentru producerea discurilor optice, caracterizată prin aceea că este produsă conform metodei descrise în revendicarea 1.	35
14. Matriță negativă pentru turnarea pieselor metalice nanometrice, caracterizată prin aceea că este produsă conform metodei descrise în revendicarea 1.	37

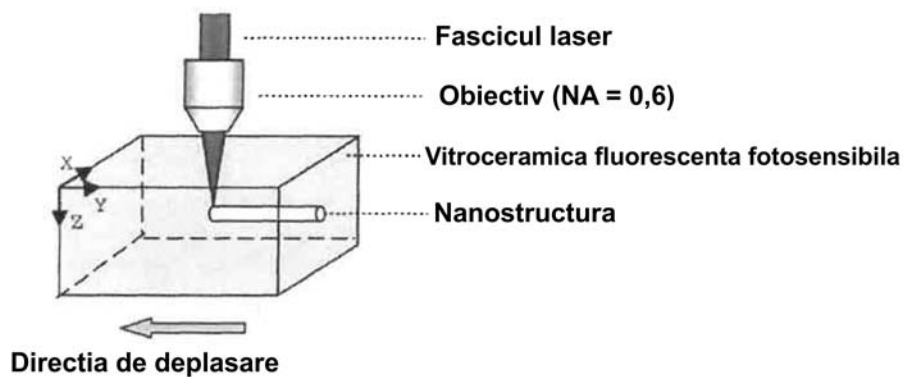


Fig. 1

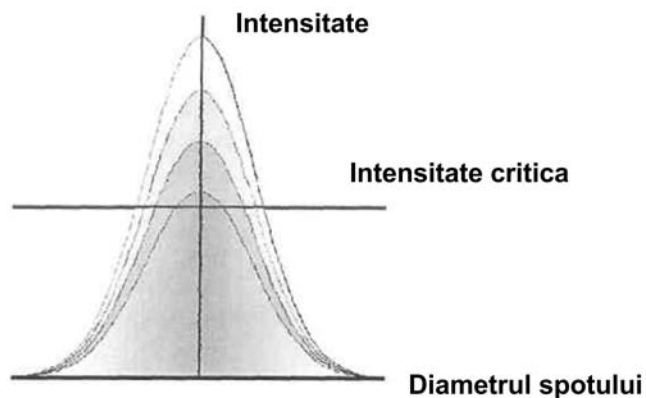


Fig. 2

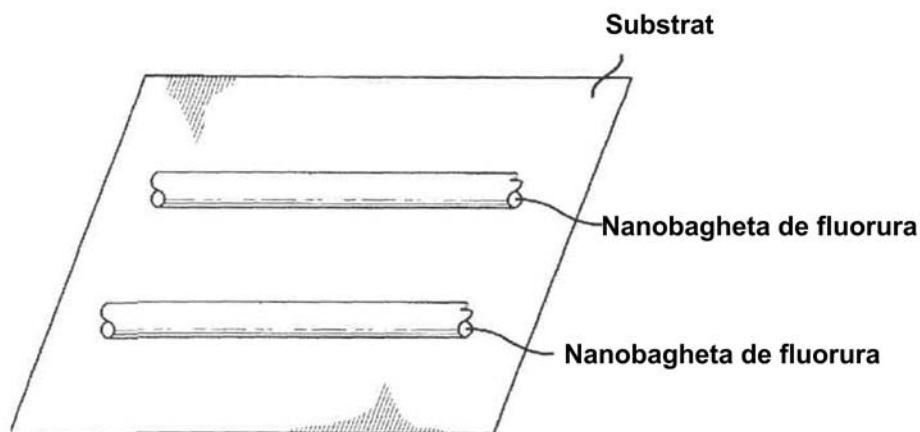


Fig. 3

