



(11) **RO 126394 B1**

(51) **Int.Cl.**

G01Q 40/02 (2010.01),

G01Q 40/00 (2010.01),

B05D 1/26 (2006.01),

G03F 1/38 (2012.01),

G01Q 10/00 (2010.01),

B82Y 40/00 (2011.01)

(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2009 00687**

(22) Data de depozit: **07.09.2009**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30.01.2013** BOPI nr. 1/2013

(41) Data publicării cererii:
30.06.2011 BOPI nr. 6/2011

(73) Titular:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
MICROTEHNOLOGIE,
STR.EROU IANCU NICOLAE NR.32B,
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;**
• **MOAGĂR- POLADIAN VICTOR,
ALEEA STĂNILĂ NR.6, BL.H10, SC.C, ET.2,
AP.51, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
US 7541062 B2

(54) **PROCEDEU PENTRU CALIBRAREA DILATĂRII TERMICE A
CANTILEVERULUI ÎN NANOLITOGRAFIA DE TIP DIP-PEN
TERMIC**



1 Invenția se referă la un procedeu de calibrare a dilatării termice a cantileverului în
nanolitografia de tip dip-pen termic, în vederea asigurării unei acurateți de aliniere similare
3 cu cea din nanolitografia de tip dip-pen cu cerneală lichidă.

 Este cunoscut (**US 7541062 B2**, Sheehan Paul, 2009) faptul că, pentru a depune,
5 prin nanolitografie de tip dip-pen, materiale care la temperatura camerei sunt solide, este
necesară încălzirea cantileverului până la temperatura de topire a solidului de interes, astfel
7 încât să se poată face depunerea respectivă. În multe situații, depunerea trebuie să se facă
în raport cu anumite semne de aliniere, astfel încât să se obțină structurile dorite.

9 Dezavantajul nanolitografiei de tip dip-pen termic este:

 - datorită încălzirii, cantileverul se dilată termic și pierde poziționarea în raport cu
11 marcajele de aliniere, poziționare care se face cu cantileverul la temperatura ambiantă.

 Problema pe care o rezolvă invenția constă în calibrarea dilatării termice a
13 cantileverului, astfel încât alinierea să se poată reface cu precizia specifică nanolitografiei
de tip dip-pen uzuale, adică cu o eroare de poziționare de ± 2 nm.

15 Soluția propusă, conform invenției, elimină dezavantajul de mai sus, prin aceea că
măsoară alungirea cantileverului la diferite temperaturi, datele respective fiind apoi transmise
17 software-ului, care realizează alinierea în raport cu marcajele, pentru a face corecția
respectivă, aceste măsurători fiind efectuate la diferite temperaturi, din intervalul de lucru
19 pentru care este proiectat cantileverul respectiv. Odată efectuat setul de măsurători, se pot
face oricâte procese de nanolitografie, fără a mai fi necesară reluarea calibrării. Calibrarea
21 se poate repeta după un anumit interval de timp, dacă acest lucru este considerat necesar,
de exemplu, din cauza îmbătrânirii materialului din care este realizat cantileverul.

23 Avantajele procedeuului pentru calibrarea dilatării termice a cantileverului în
nanolitografia de tip dip-pen termic sunt:

25 - permite calibrarea pe un domeniu larg de temperatură, chiar dacă relația alungire
- temperatură nu este liniară;

27 - se realizează o singură dată, pentru un cantilever dat;

29 - menține acuratețea de poziționare specifică nanolitografiei de tip dip-pen uzuale,
și anume cea de ± 2 nm;

 - este aplicabilă oricărui tip de cantilever conductor sau care poate fi încălzit prin
31 diferite procedee în sine cunoscute.

 Se prezintă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu
33 fig. 1...3, care reprezintă:

 - fig. 1, un exemplu de marcaj de aliniere, folosit pentru calibrarea cantileverului;

35 - fig. 2, reprezentarea imaginii care este citită cu cantilever la temperatura ambiantă;

37 - fig. 3, reprezentarea modului în care se deplasează marcajul de aliniere, în cadrul
imaginii, ca urmare a dilatării termice a cantileverului.

 Procedeul pentru calibrarea dilatării termice a cantileverului în nanolitografia de tip
39 dip-pen termic, conform invenției, este alcătuit din mai multe etape, astfel:

 - În prima etapă, se realizează un marcaj **1**, pe substratul **2**, marcaj care poate fi
41 reprezentatm de exemplu, de o cruce, cu o lățime a brațelor de 25 nm și o lungime a brațelor
de 1 μ m. Acest marcaj **1** este preferabil să fie din metal și nu dintr-un material organic,
43 deoarece, pe parcursul etapelor următoare, cantileverul va fi încălzit la temperaturi de sute
de grade Celsius, lucru care ar putea afecta integritatea marcajului realizat. Un mod de a
45 realiza marcajul **1** de aliniere constă în depunerea, pe un substrat **2** din sticlă plan de
rugozitate foarte mică, sub 5 nm, a unui strat din crom de 10 nm, urmată apoi de depunerea,
47 peste stratul din crom, a unui strat din aur de 20 nm grosime. Peste stratul din aur, se
desenează, într-un anumit loc, crucea, folosind procedeul dip-pen la temperatura camerei,
49 iar ca cerneală, folosind MHA, adică acid 16-mercaptohexadecanoic.

Această cerneală joacă rol de rezist. După desenarea marcajului 1 de aliniere, se corodează stratul din aur, folosind compoziția în sine cunoscută, pe bază de fero- și feri-cianură, iar după corodarea stratului din aur, se îndepărtează cerneala de pe suprafață, prin procedee în sine cunoscute.	1
Cantileverul folosit pentru realizarea marcajului 1 de aliniere este bine să fie diferit de cel care este supus calibrării.	5
- În a doua etapă, se realizează o imagine, de tip AFM, a zonei care conține marcajul de aliniere, zona scanată fiind de aproximativ $10 \times 10 \mu\text{m}$, iar cantileverul fiind la temperatura ambiantă. Scanarea începe din poziția A și se face de la stânga la dreapta și de sus în jos. Se memorează poziția marcajului 1 de aliniere în cadrul imaginii. Modul de imagine este cel de fricțiune sau, cum se mai numește, modul LFM - microscopie de forță laterală. După preluarea imaginii, sistemul aduce cantileverul înapoi în poziția inițială, cu ajutorul sistemului piezo.	7
- În etapa a treia, cantileverul este încălzit la o anumită temperatură peste temperatura camerei. Se așteaptă până când cantileverul ajunge la noua temperatură de echilibru. Fără a modifica setările de imagine, cum ar fi feedback-ul, adică parametrii PID de feedback și setpoint, frecvența de scanare, rezoluția, latura ariei de scanare, unghiul de scanare, se reia o nouă imagine de tip AFM - LFM a regiunii respective. AFM este acronimul în limba engleză al microscopiei de forță atomică, PID este acronimul pentru proporțional-integral-derivative, un mecanism de control al buclei de reacție într-un sistem de măsurare a unei variabile de proces, iar setpoint este valoarea-țintă către care tinde variabila de proces. De asemenea, se păstrează constanți parametrii din cutia de lucru, cum ar fi compoziția gazului, temperatura acestuia, umiditatea. Se notează temperatura cantileverului și/sau curentul electric care circulă prin acesta și care este folosit la încălzirea lui. Dacă se utilizează alt procedeu de încălzire decât cel electric prin efect Joule, se memorează valoarea parametrului de lucru care produce încălzirea cantileverului. Aceste date pot fi memorate de un software dedicat activității de calibrare. Deoarece punctul A de început al scanării regiunii s-a deplasat ca urmare a dilatării termice a cantileverului cu o distanță Δx , poziționarea marcajului 1 de aliniere inițial în cadrul imaginii AFM-LFM s-a deplasat pe direcția lungimii cantileverului cu o valoare egală cu alungirea termică a cantileverului. Poziția marcajului inițial, obținută în etapa 2, se află acum în poziția 1', în timp ce 1 reprezintă marcajul de aliniere poziționat în imaginea obținută în etapa 3. După preluarea imaginii, cantileverul este adus în poziția inițială, cu ajutorul sistemului piezo. Se determină noua poziție a marcajului 1 de aliniere în raport cu poziția de început a scanării, adică în raport cu punctul A.	9
- Se repetă etapa trei la alte temperaturi, astfel încât să se obțină valoarea alungirii până la temperatura maximă de lucru pentru care se dorește a fi utilizat cantileverul. Este recomandat ca pasul de temperatură de la o etapă la alta să fie de $10 \dots 20^\circ\text{C}$, astfel încât să se poată pune în evidență eventualele neliniarități de dilatare termică ale cantileverului, realizându-se în acest fel o calibrare precisă. Dacă dilatarea este prea mică pentru a fi pusă în evidență mutarea marcajului de aliniere în cadrul imaginii, pasul de temperatură poate fi pus la valori mai mari. Dacă cantileverul va fi folosit pentru a depune întotdeauna numai un singur tip de material, atunci calibrarea se poate face direct la temperatura de lucru, fără pași intermediari de temperatură. La fel, dacă se vor depune numai anumite substanțe cu cantileverul respectiv, mereu aceleași, pașii de temperatură pot fi chiar cei corespunzători temperaturilor de lucru ale acestor substanțe, fără temperaturi intermediare.	11
- După ce au fost parcurse toate temperaturile de interes, se inserează datele obținute într-o curbă de etalonare. Curba astfel obținută, mai precis expresia matematică care o descrie, este apoi transferată software-ului de comandă a temperaturii cantileverului. Curba poate fi de tip alungire - temperatură sau de tip alungire - curent prin cantilever sau, în general, alungire - parametru de comandă a încălzirii cantileverului.	13

1 - Atunci când se stabilește temperatura de lucru a cantileverului pentru un proces
nanolitografic, software-ul de comandă a temperaturii cantileverului calculează, pe baza
3 curbei de etalonare, care este alungirea acestuia și transferă valoarea alungirii către
software-ul de aliniere. Software-ul de aliniere preia valoarea alungirii și face corecția de
5 poziționare a cantileverului.

Deoarece cantileverul este supus în timp unor cicluri de tip încălzire-răcire, materialul
7 din care este alcătuit acesta va suferi un proces de îmbătrânire. Acest proces de îmbătrânire
poate duce la variația proprietăților de material, inclusiv, a coeficientului de dilatare termică,
9 ceea ce face necesară o nouă calibrare. Calibrarea se poate relua și efectua la orice moment
ulterior de timp.

11 Menționăm faptul că am considerat că, pe durata încălzirii, cantileverul nu se îndoaie
semnificativ, singurul efect important al temperaturii fiind cel de alungire. Din acest punct de
13 vedere, cantileverul poate fi alcătuit dintr-unul sau mai multe materiale, important fiind ca
aceste materiale să aibă coeficienți de dilatare termică apropiați. De asemenea, cantileverul
15 poate avea oricare dintre formele geometrice acceptate de practica actuală din domeniul
microscopiei de forță atomică - AFM și al nanolitografiei de tip dip-pen.

17 Este important de precizat faptul că, pe durata calibrării, cantileverul nu trebuie să
conțină cerneală solidă sau lichidă.

19 Menționăm faptul că acest procedeu de calibrare este aplicabil oricărei tehnici
nanolitografice în care se folosește un cantilever încălzit, pentru a obține configurația dorită
21 și nu doar nanolitografiei de tip dip-pen termic.

În continuare, prezentăm exemple referitoare la acest procedeu. Considerăm un
23 cantilever cu o lungime de 200 μm , care trebuie să depună indiu pe un substrat. Indiu se
topește la 156°C, iar cantileverul trebuie încălzit la 175°C, pentru a asigura un coeficient de
25 difuzie corespunzător pentru indiu topit pe suprafața substratului. Ca marcaj 1 de aliniere,
se folosește o cruce ca cea menționată mai sus, cu o lățime a brațelor de 25 nm și o lungime
27 a brațelor de 1 μm . Crucea este din aur pe un substrat din crom. Aria de scanare este de 5
x 5 μm , cu o rezoluție de 1024 pixeli.

29 Aceasta înseamnă că schimbarea minimă observabilă a poziției crucii în imagine este
de aproximativ 5 nm. Modul de obținere a imaginii este microscopia LFM - microscopie de
31 forță laterală.

În primul exemplu considerăm un cantilever făcut din siliciu. Coeficientul de dilatare
33 termică a siliciului este de $4,5 \cdot 10^{-6}/\text{K}$. Aceasta înseamnă că, dacă se pornește de la o
temperatură de 25°C, cantileverul se va alungi cu 135 nm. Pasul minim de temperatură care
35 permite sesizarea deplasării crucii în cadrul imaginii de microscopie LFM este de 5,5°C.
Aceasta înseamnă că dacă se lucrează cu pași de temperatură de 10°C, se poate face o
37 calibrare precisă a dilatării cantileverului. Deoarece se dorește utilizarea cantileverului și
pentru depunerea unui aliaj de compoziție eutectică $\text{Au}_{80}\text{Sn}_{20}$ a cărui temperatură de topire
39 este de 280°C, calibrarea se face până la o temperatură de 300°C. Vor fi astfel 27 de pași
de temperatură. La fiecare pas, crucea se deplasează în imagine cu o distanță de
41 aproximativ 10 nm. La temperatura de 300°C, crucea se va fi deplasat cu 1,2 μm .

În al doilea exemplu, considerăm un cantilever din platină. Platina are un coeficient
43 de dilatare termică de $9 \cdot 10^{-6}/\text{K}$. La temperatura de 175°C, cantileverul se va alungi cu
270 nm. Alungirea la 300°C este de aproximativ 2,5 μm , egală cu distanța pe care se
45 deplasează marcajul de aliniere. Ca pas de temperatură, se folosește tot un pas de 10°C.

1. Procedeu de calibrare a dilatării termice a cantileverului în nanolitografia de tip dip-pen termic, **caracterizat prin aceea că** se desfășoară în următoarele etape: 3
- în prima etapă, se realizează un marcaj (1) de aliniere pe un substrat (2), printr-o tehnologie în sine cunoscută, în cazul în care marcajul (1) este realizat prin nanolitografie de tip dip-pen, folosindu-se un alt cantilever decât cel care este supus calibrării; 5
 - în a doua etapă, se realizează o imagine de tip AFM a zonei care conține marcajul (1) de aliniere, folosind modul LFM, cantileverul fiind la temperatura ambiantă și se memorează poziția marcajului (1) de aliniere în cadrul imaginii, în raport, de exemplu, cu un punct (A) de început al scanării, iar după preluarea imaginii, se aduce cantileverul înapoi în poziția inițială, cu ajutorul unui sistem piezo; 7
 - în etapa a treia, cantileverul este încălzit la o anumită temperatură peste temperatura camerei și, după ce acesta a ajuns la temperatura de echilibru, se preia o nouă imagine a marcajului (1) în modul LFM, fără a modifica setările de imagine și păstrând constante parametrii din cutia de lucru, și ulterior se memorează temperatura cantileverului și/sau valoarea parametrului de comandă folosit pentru încălzirea cantileverului, avută pe durata scanării, după care cantileverul este adus în poziția inițială, cu ajutorul sistemului piezo, noua poziție a marcajului (1) de aliniere, în raport cu poziția punctului (A) de început a scanării, este de asemenea memorată și se calculează totodată valoarea deplasării marcajului (1) de aliniere în cadrul imaginii, deplasare care este egală cu alungirea cantileverului ca urmare a dilatării lui termice; 9
 - se repetă etapa a treia, la alte temperaturi, astfel încât să se obțină valoarea alungirii până la temperatura maximă de lucru pentru care se dorește a fi utilizat cantileverul, pasul de temperatură de la o etapă la alta fiind ales, astfel încât să se poată pune în evidență eventualele neliniarități de dilatare termică ale cantileverului, realizându-se astfel o calibrare precisă; 11
 - după ce au fost parcurse toate temperaturile de interes, se inserează, într-o curbă de calibrare, datele obținute referitoare la deplasarea poziției marcajului de aliniere în cadrul imaginii, ca funcție de temperatura cantileverului, se interpolează, iar expresia matematică a curbei de calibrare astfel obținute este apoi transferată unui sistem software de comandă a temperaturii cantileverului, curba de calibrare fiind de tip alungire-valoare a parametrului de comandă a încălzirii cantileverului; 13
 - apoi se stabilește temperatura de lucru a cantileverului pentru un proces nanolitografic, iar sistemul software de comandă a temperaturii cantileverului calculează, pe baza curbei de calibrare, care este alungirea acestuia și transferă valoarea alungirii unui sistem software de aliniere, care face corecția de poziționare a cantileverului. 15
2. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** setările de imagine cuprind parametrii PID de feedback și setpoint, frecvența de scanare, rezoluția, latura ariei de scanare, unghiul de scanare. 17
3. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** parametrii din cutia de lucru, luați în considerare, sunt compoziția gazului, temperatura acestuia, umiditatea. 19
4. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, într-una dintre variante, parametrul de comandă pentru încălzirea cantileverului este curentul electric care circulă prin acesta. 21
5. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, la folosirea cantileverului pentru depunerea unui singur tip de material, calibrarea se face direct la temperatura de lucru, fără pași intermediari de temperatură. 23

1 6. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că**, dacă se depun
numai anumite substanțe cu același cantilever, pașii de temperatură sunt chiar cei
3 corespunzători temperaturilor de lucru ale acestor substanțe, fără temperaturi intermediare.

5 7. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** curba de calibrare
este de tip alungire-temperatura cantileverului.

7 8. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** curba de calibrare
este de tip alungire-curent prin cantilever.

9 9. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** este aplicabil pentru
orice tip de cantilever conductiv, alcătuit dintr-un singur material, astfel încât, în urma
încălzirii, cantileverul să nu se îndoie, ci doar să se alungească.

11 10. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** este aplicabil pentru
orice tip de cantilever conductiv sau neconductiv, alcătuit din mai multe materiale, care au
13 coeficienții de dilatare termică apropiați ca valoare, astfel încât, în urma încălzirii, cantileverul
să nu se îndoie, ci doar să se alungească.

15 11. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** acțiunea de
calibrare se face o singură dată înainte de a începe procesul nanolitografic, cu cantileverul
17 fără cerneală și se repetă în timp ori de câte ori este nevoie, calibrarea făcându-se pentru
întreaga gamă de temperatură pentru care este proiectat cantileverul să lucreze.

19 12. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** este aplicabil pentru
cantilevere având orice formă acceptată de către nanolitografia de tip dip-pen.

21 13. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** asigură, pentru
nanolitografia de tip dip-pen termic, aceeași acuratețe de poziționare ca și pentru
23 nanolitografia de tip dip-pen obișnuită, cu cantilever la temperatură ambiantă.

25 14. Procedeu conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** este aplicabil
oricărui tip de nanolitografie care folosește un cantilever încălzit, încălzirea făcându-se printr-
un procedeu în sine cunoscut, în vederea obținerii configurațiilor dorite.

(51) Int.Cl.

G01Q 40/02 (2010.01)

G01Q 40/00 (2010.01);

B05D 1/26 (2006.01);

G03F 1/38 (2012.01);

G01Q 10/00 (2010.01);

B82Y 40/00 (2011.01)

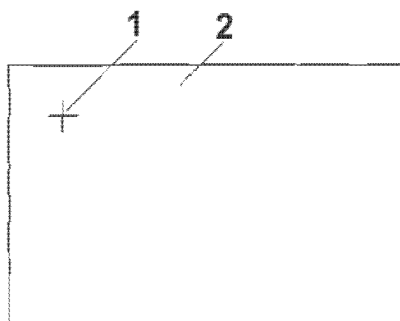


Fig. 1

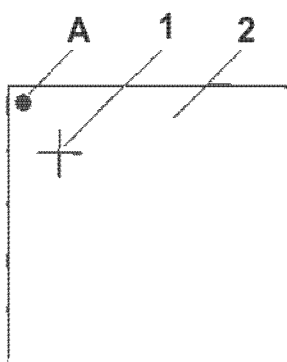


Fig. 2

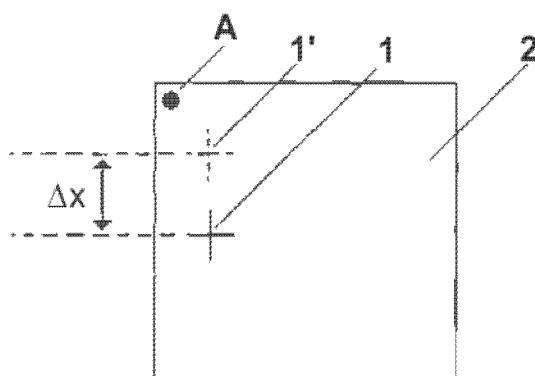


Fig. 3

