



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

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

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

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

(71) Solicitant:
• 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

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

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu pentru calibrarea dilatării termice a unui cantilever în nanolitografia de tip dip-pen termic. Procedeu conform invenției constă din mai multe etape, astfel: într-o primă etapă se realizează un semn (1) de aliniere pe un substrat (2); într-o a doua etapă se preia, prin microscopie de forță atomică, o imagine a zonei care cuprinde semnul (1) de aliniere, folosind un cantilever la temperatura ambiantă, se memorează poziția semnului (1) de aliniere în cadrul imaginii, după care cantileverul este readus în poziția inițială; într-o a treia etapă se încălzește cantileverul, după care se preia o nouă imagine a zonei respective, păstrând constante parametrii de lucru și setările imaginii, se memorează temperatura cantileverului și/ sau curentul electric folosit la încălzirea lui, și se determină noua poziție a semnului (1) de aliniere care s-a deplasat pe imagine, pe direcția lungimii cantileverului, cu o valoare egală cu alungirea termică a acestuia, după care cantileverul este readus în poziție inițială; se repetă etapa a treia și la alte temperaturi, astfel încât să se obțină valoarea alungirii cantileverului până la temperatura maximă de lucru pentru care se dorește a fi utilizat cantileverul, după care, cu datele obținute, se realizează o curbă de etalonare cu ajutorul căreia cantileverul va putea fi corect poziționat în cadrul unui proces de depunere prin nanolitografie de tip dip-pen termic. Invenția este aplicabilă, de asemenea, oricărui tip de nanolitografie care folosește un cantilever încălzit în vederea realizării configurațiilor dorite.

Revendicări: 6
Figuri: 3

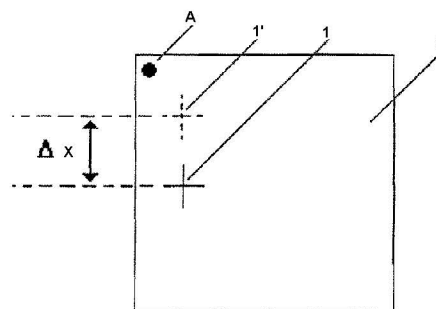
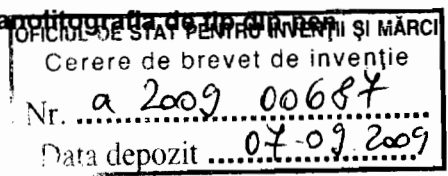


Fig. 3

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



Procedeu pentru calibrarea dilatării termice a cantileverului în nanolitografia de tip dip-pen termic



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

Este cunoscut faptul că pentru a depune, 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 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.

Dezavantajul nanolitografiei de tip dip-pen termic este:

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

Problema pe care o rezolvă invenția constă în aceea că permite calibrarea dilatării termice a 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.

Soluția propusă, conform invenției, elimină dezavantajul de mai sus prin aceea că măsoară alungirea cantileverului la diferite temperaturi, datele respective fiind apoi transmise software-ului care realizează alinierea în raport cu semnele, pentru a face corecția respectivă, aceste măsurători fiind efectuate la diferite temperaturi din intervalul de lucru pentru care este proiectat cantileverul respectiv. O dată efectuat setul de măsurători, se pot face oricâte procese de nanolitografie fără a mai fi necesară reluarea calibrării. Calibrarea 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.

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

- permite calibrarea pe un domeniu larg de temperatură, chiar dacă relația alungire – temperatură nu este liniară.
- se realizează o singură dată, pentru un cantilever dat.



- 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 diferite procedee în sine cunoscute.

Dăm în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu figurile 1..3 care reprezintă:

- figura 1: un exemplu de semn de aliniere folosit pentru calibrarea cantileverului
- figura 2: reprezentarea imaginii care este citită cu cantileverul la temperatura ambiantă
- figura 3: reprezentarea modului în care se deplasează semnul de aliniere, în cadrul imaginii, ca urmare a dilatării termice a cantileverului.

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

- în prima etapă se realizează un semn 1 pe substratul 2, semn care poate fi reprezentat de exemplu de o cruce cu o lățime a brațelor de 25 nm și o lungime a brațelor de 1 μm. Acest semn 1 este preferabil să fie din metal și nu dintr-un material organic, deoarece pe parcursul etapelor următoare cantileverul va fi încălzit la temperaturi de sute de grade Celsius, lucru care ar putea afecta integritatea semnului realizat. Un mod de a realiza semnul 1 de aliniere constă în depunerea, pe un substrat 2 de sticlă plan de rugozitate foarte mică, sub 5 nm, a unui strat de Crom de 10 nm urmat apoi de depunerea, peste stratul de Crom, a unui strat de Aur de 20 nm grosime. Peste stratul de Aur se desenează, într-un anumit loc, crucea folosind procedeul dip-pen la temperatura camerei iar ca cerneală folosind MHA, adică acid 16-mercaptohexadecanoic. Această cerneală joacă rol de rezist. După desenarea semnului 1 de aliniere, se corodează stratul de Aur folosind compoziția în sine cunoscută pe bază de fero- și feri-cianură iar după corodarea stratului de Aur se îndepărtează cerneala de pe suprafață prin procedee în sine cunoscute. Cantileverul folosit pentru realizarea semnului 1 de aliniere este bine să fie diferit de cel care este supus calibrării.

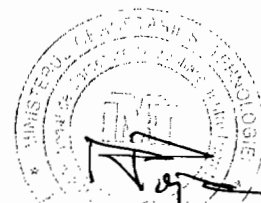
- în a doua etapă se realizează o imagine de tip AFM a zonei care conține semnul de aliniere, zona scanată fiind de aproximativ 10 μm x 10 μm, iar cantileverul fiind la temperatura ambiantă. Scanarea începe din poziția A și se face de la stânga la dreapta și de sus în jos. Se memorează poziția semnului 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.

- 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, 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 engleză al microscopiei de forță atomică. De asemenea, se păstrează constanți parametri 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 semnului 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 semnului inițial, obținută în etapa 2, se află acum în poziția 1', în timp ce 1 reprezintă semnul 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 semnului 1 de aliniere în raport cu poziția de început a scanării, adică în raport cu punctul A.

- 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 $10^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$, 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 semnului 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.



- după ce au fost parcurse toate temperaturile de interes, se fitează datele obținute. 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.

- atunci când se stabilește temperatura de lucru a cantileverului pentru un proces nanolitografic, software-ul de comandă a temperaturii cantileverului calculează pe baza 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 poziționare a cantileverului.

Deoarece cantileverul este supus în timp unor cicluri de tip încălzire-răcire, materialul 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, ceea ce face necesară o nouă calibrare. Calibrarea se poate relua și efectua la orice moment ulterior de timp.

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 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 poate fi avea oricare dintre formele geometrice acceptate de practica actuală din domeniul microscopiei de forță atomică – AFM și al nanolitografiei de tip dip-pen.

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

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

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



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 forță laterală.

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

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



Revendicări

1. Procedeu de calibrare a dilatării termice a cantileverului în nanolitografia de tip dip-pen termic conform invenției, caracterizat prin aceea că cuprinde următoarele etape:

- în prima etapă se realizează un semn (1) pe un substrat (2), printr-o tehnologie în sine cunoscută, în cazul utilizării nanolitografiei de tip dip-pen folosindu-se de preferință un alt cantilever decât cel care este supus calibrării.

- în a doua etapă se realizează o imagine de tip AFM a zonei care conține semnul (1) de aliniere, cantileverul fiind la temperatura ambiantă, și se memorează poziția semnului (1) de aliniere în cadrul imaginii în raport, de exemplu, cu punctul (A) de început al scanării, modul de obținere a imaginii fiind cel de fricțiune sau, cum se mai numește, modul LFM – microscopie de forță laterală, iar după preluarea imaginii sistemul aduce cantileverul înapoi în poziția inițială cu ajutorul sistemului piezo.

- în etapa a treia, cantileverul este încălzit la o anumită temperatură peste temperatura camerei și, după ce acesta a ajuns la temperatura de echilibru, preia o nouă imagine a semnului (1) în modul LFM fără a modifica setările de imagine, cum ar fi feedback-ul, frecvența de scanare, rezoluția, latura ariei de scanare, unghiul de scanare și păstrând constanți parametri din cutia de lucru, cum ar fi compoziția gazului, temperatura acestuia, umiditatea, după preluarea imaginii memorându-se temperatura cantileverului și / sau curentul electric care circulă prin acesta și care este folosit la încălzirea lui și / sau valoarea parametrului de comandă folosit pentru încălzirea cantileverului, iar după preluarea imaginii, cantileverul este adus în poziția inițială cu ajutorul sistemului piezo, noua poziție a semnului (1) de aliniere în raport cu poziția (A) de început a scanării fiind de asemenea memorată și calculându-se totodată valoarea deplasării semnului (1) de aliniere în cadrul imaginii, deplasare care este egală cu alungirea cantileverului ca urmare a dilatării termice a acestuia.

- 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, pasul de temperatură de la o etapă la alta fiind ales în așa fel încât să se poată pune în evidență eventualele neliniarități de dilatare termică ale cantileverului, realizându-se în acest fel o calibrare precisă. 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.

- după ce au fost parcurse toate temperaturile de interes, se fitează datele obținute referitoare la deplasarea poziției semnului de aliniere în cadrul imaginii, iar expresia matematică a curbei de fitare este apoi transferată software-ului de comandă a temperaturii cantileverului, curba de fitare putând fi de tip alungire – temperatură sau de tip alungire – curent prin cantilever sau de tip alungire – valoare a parametrului de comandă a încălzirii cantileverului.

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

2. Procedeu de calibrare a dilatării termice a cantileverului în nanolitografia de tip dip-pen termic conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că este aplicabil pentru orice tip de cantilever conductiv alcătuit dintr-un singur material sau din mai multe materiale care au coeficienții de dilatare termică apropiați ca valoare astfel încât în urma încălzirii cantileverul să nu se îndoie ci doar să se alungească, respectiv pentru orice cantilever conductiv sau neconductiv care, încălzit printr-un procedeu în sine cunoscut, se dilată termic.

3. Procedeu de calibrare a dilatării termice a cantileverului în nanolitografia de tip dip-pen termic conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că se face o singură dată înainte de a începe procesul nanolitografic, cu cantileverul fără cerneală, și se poate repeta în timp ori de câte ori este nevoie, calibrarea făcându-se pentru întreaga gamă de temperatură pentru care este proiectat cantileverul să lucreze.

4. Procedeu de calibrare a dilatării termice a cantileverului în nanolitografia de tip dip-pen termic conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că este aplicabil pentru cantileverele având orice formă acceptată de către nanolitografia de tip dip-pen.

5. Procedeu de calibrare a dilatării termice a cantileverului în nanolitografia de tip dip-pen termic conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că asigură pentru nanolitografia de tip dip-pen termic aceeași acuratețe de poziționare ca și pentru nanolitografia de tip dip-pen obișnuită / rece.



6. Procedeu de calibrare a dilatării termice a cantileverului în nanolitografia de tip dip-pen termic conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că este aplicabil oricărui tip de nanolitografie care folosește un cantilever, încălzit printr-un procedeu în sine cunoscut, în vederea obținerii configurațiilor dorite.



Desene

Figura 1

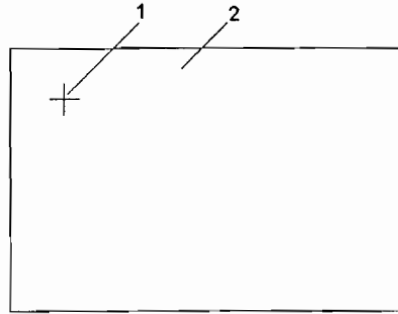


Figura 2

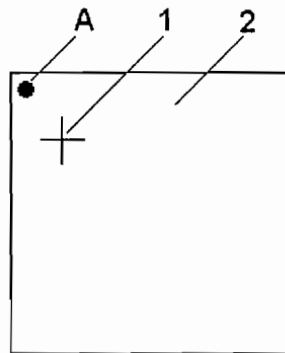


Figura 3

