

(12)

## CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2010 01286**

(22) Data de depozit: **08.12.2010**

(41) Data publicării cererii:  
**29.06.2012** BOPI nr. **6/2012**

(71) Solicitant:  
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE  
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU  
OPTOELECTRONICĂ - INOE 2000,  
STR.ATOMIȘTILOR NR.409, MĂGURELE,  
IF, RO**

(72) Inventatori:  
• **POPESCU AURELIAN, STR. ȘELIMBĂR  
NR.27, MĂGURELE, IF, RO;**  
• **SAVASTRU DAN, STR. IANI BUZOIANI  
NR.3, BL.16, SC.A, AP.2, SECTOR 1,  
BUCUREȘTI, B, RO;**

• **MICLOȘ SORIN, CALEA GRIVIȚEI 160,  
BL. B SC. 1 AP. 42 SECTOR 1,  
BUCUREȘTI, B, RO;**  
• **TĂUTAN MARINA, STR.EMIL RACOVIȚĂ,  
NR.6, BL.R1, SC.2, AP.45, SECTOR 4,  
BUCUREȘTI, B, RO;**  
• **RUSU MĂDĂLIN ION, STR. BUȘAGA  
NR.1, CURTEA DE ARGÈȘ, AG, RO;**  
• **SAVU VALERIU, STR.CĂTINEI NR.13,  
BL.37C, SC.C, AP.51, PLOIEȘTI, PH, RO;**  
• **BAȘCHIR LAURENȚIU AURELIAN,  
STR. NICOPOL NR.60, TULCEA, TL, RO**

## (54) PROCEDEU NEINVAZIV ȘI DISPOZITIV DE MĂSURARE A DIFUZIEI TERMICE

### (57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu neinvaziv de măsurare a coeficientului de difuzie termică în materiale, și la un dispozitiv care aplică procedeul. Procedeul conform invenției constă în încălzirea unei probe supuse măsurării, cu ajutorul unui fascicul laser de încălzire, focalizat pe suprafața probei sub forma unei fâșii de lumină îngustă și lungă, determinarea poziției unui fascicul laser de sondare pe un fotodetector cuadrant, măsurarea fazei semnalului furnizat de fotodetector și calculul coeficientului de difuzie termică. Dispozitivul conform invenției este alcătuit dintr-un laser (1) de încălzire care emite în undă continuă, un modulator (2) care modulează armonic intensitatea unui fascicul laser în timp, și care furnizează un semnal de referință pentru un amplificator (12), o lunetă (3) de expandare a fasciculului laser, o oglindă (4) plană, care deviază fasciculul laser cu 90°, o lentilă (5) cilindrică, ce focalizează fasciculul laser pe suprafața unei probe (10) supuse măsurării, sub forma unei fâșii de lumină îngustă și lungă, un suport (6) de translație, pe care sunt fixate oglinda (4) și lentila (5), un traductor (7) de poziție care furnizează o tensiune proporțională cu deplasarea suportului (6) de translație, un laser (8) de sondare, ce emite pe o lungime de undă mai mare decât laserul (1) de încălzire, un obiectiv (9) care focalizează fasciculul laser (8) de sondare, un fotodetector

(11) cuadrant, care determină poziția fasciculului laser (8) de sondare pe fotodetector (11), și un osciloscop (13) digital cu memorie sau un înregistrator cu două coordonate, care înregistrează, pe axa ordonatelor, tensiunea furnizată de amplificatorul (12) cu detecție sincronă, iar pe axa absciselor, tensiunea furnizată de traductorul (7) de poziție.

Revendicări: 2  
Figuri : 3

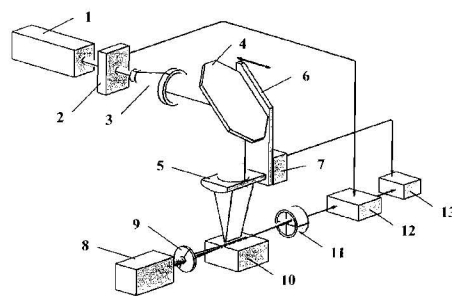


Fig. 2



## PROCEDEU NEINVAZIV ȘI DISPOZITIV DE MĂSURARE A DIFUZIEI TERMICE

Invenția se referă la un procedeu neinvaziv de măsurarea coeficientului de difuzie termică în materiale și la un dispozitiv care aplică procedeul.

Se cunosc metode bazate pe măsurarea valorilor de temperaturi, ale fluxului de căldură sau a cantității de căldură pentru o configurație geometrică anumită a probei, care să corespundă modelului matematic, și care pot fi clasificate în metode staționare și nestaționare. Metodele staționare, bazate pe un transfer constant de căldură, necesită mult timp pentru stabilizarea temperaturii. În asemenea cazuri se cerea și pregătirea unui corp cu anumită geometrie (de exemplu bară, disc, fir etc.) din materialul supus testării. Timpul necesar pentru efectuarea măsurărilor este mai mic în cazul metodelor bazate pe transferul nestaționar de căldură.

Se cunoaște că în cazul aplicării unei surse localizate și armonice de căldură în corpul material se formează și se propagă unde termice de forma:  $T(x,t) = T_0 \cdot R(x) \cdot e^{-kx} \cdot \cos(\omega t - kx)$ . Coeficientul  $R(x)$  depinde de configurația geometrică aplicată, de condițiile de încălzire, de absorbția materialului, de convecție. De remarcat, din expresia pentru temperatura  $T(x,t)$ , că amplitudinea oscilațiilor de temperatură se micșorează rapid cu distanța și cu atât mai repede cu cât frecvența este mai mare. De aceea în măsurători se folosește, în special, determinarea deplasării de fază  $\Delta\theta = k \cdot \Delta x$  a semnalului termic sau a timpului până când frontul de temperatură ajunge la coordonata  $x$ . Vectorul de undă  $k = (\pi f / \chi)^{1/2}$ , unde  $\chi$  este coeficientul difuziei termice, iar  $f = \omega / 2\pi$  este frecvența de repetiție.

Folosind propagarea undelor termice s-a propus în brevetul US 4.928.254 o metodă de măsurare a coeficientului de difuzie termică, în care drept sursă de căldură s-a folosit un laser, care emite impulsuri de lumină cu o anumită perioadă de repetiție. Energia radiației se absoarbe pe suprafața materialului ce trebuie investigat. Un senzor de temperatură care poate fi termocuplu sau un fotodetector de radiație infraroșie este plasat pe partea opusă a obiectului. Din prelucrarea variației în timp a temperaturii măsurate de senzor se identifică caracteristicile termice ale materialului. Un concept similar, bazat pe flash-laser a fost dezvoltat în brevetul US 5.713.665 și în cererea de brevet US 2009/0110025.

Neajunsul metodelor propuse în aceste brevete constă în folosirea geometriei axiale și explorarea a două suprafețe de lucru – fața și spatele probei. Aceste metode necesită dimensionarea prealabilă a probei la o anumită grosime în funcție de valoarea estimată a difuziei termice, lucru care reprezintă un alt neajuns.

Pentru a măsura explorând doar o singură suprafeță de lucru a probei se poate folosi metoda propusă în lucrările lui Murphy și Aamodt [J.Appl.Phys., V.52, (1981), p.4903], Salazar [Appl.Phys., V.65, (11), (1989), p. 4150-4156] care folosește efectul de miraj pentru caracterizarea difuziei termice. În natură fenomenul de miraj se întâlnește atunci când are loc încălzirea aerului de la nisipul fierbinte. Conceptul acestei metode este bazat pe dispersia termică a indicelui de refracție existentă la toate materialele, inclusiv la aer. Deasupra unei suprafețe încălzite se formează un gradient de temperatură. În aer, de exemplu, dispersia indicelui de refracție  $dn/dT$  este negativă, de aceea fasciculul de lumină deviază de la suprafața încălzită (Fig. 1a). O deviere controlată a unghiului  $\phi$  se realizează folosind un fascicul al laserului de sondare care se propagă paralel cu suprafața corpului. Suprafața corpului se iradiază cu un fascicul de lumină al laserului de încălzire, care cade perpendicular pe suprafața lui și este absorbit de probă (Fig. 1 b și c). Dacă lumina laserului de încălzire este modulată periodic în timp, în material și în mediul înconjurător se produc unde termice.

Se cunoaște că [J.Appl.Phys., V.52, (1981), p. 4903] unghiul de deviere al fasciculului laser de sondare folosit în metoda prezentată mai sus se calculează folosind relația :

$$\phi = \frac{1}{n} \cdot \frac{dn}{dT} \int \nabla_{\perp} T (r, t) dS \quad (1)$$

Integrala se calculează pe direcția de propagare a fasciculului laser de sondare.

Din cauză că metoda propusă folosește un spot laser de încălzire de formă circulară, undele termice produse de caldura degajată local în urma absorbției fasciculului de lumină au formă sferică cu centrul în locul unde a fost absorbită radiația laserului de încălzire (sursa de caldură). Pe suprafața obiectului, care poate fi considerată plană, undele termice cu temperatura constantă (izoterme) sau faza constantă (izofaze) reprezintă niște cercuri. Unghiul integral de deviere  $\phi$  va fi alcătuit din superpoziția undelor termice cu fază variabilă și care nu sunt constructive.

Neajunsul metodei constă în diminuarea amplitudinii semnalului ce trebuie măsurat, care are ca urmare o determinare imprecisă a fazei, diminuare cauzată tocmai de forma circulară a spotului laser.

Alt neajuns este cauzat tot de folosirea unui spot circular, este densitatea mare de energie în spotul laser. Ori, absorbția puterii laser într-un spot așa de mic conduce la creșteri locale foarte mari de temperatură, care modifică valoarea difuziei termice a materialului.

Metoda propusă înlătură aceste neajunsuri.

Problema tehnică pe care prezenta invenție își propune să o rezolve constă în măsurarea coeficientului de difuzie termică în materiale într-un mod neinvaziv, folosind o singură suprafață a probei și fără a afecta caracteristicile materialului probei.

Procedeul neinvaziv de măsurare a coeficientului de difuzie termică în materiale, conform invenției, constă în aceea că se încălzește proba cu ajutorul unui fascicul laser de încălzire (emis în undă continuă) cu intensitate modulată armonic în timp, focalizat pe suprafața probei sub forma unei fâșii de lumină îngustă și lungă, se aplică un fascicul laser de sondare cât mai aproape de suprafața testată a probei și aliniat paralel cu sursa de căldură sub formă de fâșie produsă de fasciculul laser de încălzire, se determină poziția fasciculului laser de sondare pe un fotodetector quadrant, se măsoară faza semnalului furnizat de fotodetector și se calculează coeficientul de difuzie termică ca fiind tangenta unghiului de înclinare a dependenței fazei de distanța față de sursa de căldură sau de frecvența de modulație la puterea  $\frac{1}{2}$ .

Dispozitivul conform invenției este alcătuit dintr-un laser de încălzire ce emite în undă continuă, un modulator care modulează armonic intensitatea fasciculului laser în timp (poate fi un întrerupător periodic, un modulator electro-optic sau unul acusto-optic) și care furnizează un semnal de referință pentru amplificatorul lock-in, o lunetă de expandare a fasciculului laser, o oglindă plană care deviază fasciculul laser cu  $90^\circ$ , o lentilă cilindrică care focalizează fasciculul laser pe suprafața probei sub forma unei fâșii de lumină îngustă și lungă, în scopul măririi preciziei și a sensibilității, un suport de translație pe care sunt fixate oglinda și lentila și care permite deplasarea acestora și, implicit, a fasciculului laser de încălzire pe o direcție perpendiculară pe fasciculul de sondare, un traductor de poziție care furnizează o tensiune proporțională cu deplasarea suportului de translație, un laser de sondare ce emite pe o lungime de undă mai mare decât laserul de încălzire, un obiectiv ce focalizează fasciculul laser de sondare, proba care este supusă măsurării, un fotodetector quadrant care determină poziția fasciculului laser de sondare pe fotodetector, un amplificator lock-in care amplifică semnalul generat de fotodetectorul și furnizează o tensiune proporțională cu deplasarea de fază a semnalului, folosind ca referință semnalul produs de modulatorul și un osciloscop digital cu memorie sau un înregistrator cu două coordonate, care înregistrează pe axa ordonatelor tensiunea furnizată de amplificatorul lock-in iar pe axa absciselor tensiunea furnizată de traductorul de poziție.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

- metoda este neinvazivă și nedistructivă, ea putând fi aplicată și probelor biologice.

- se obține un unghi de deviere a fasciculului laser mai mare, ceea ce conduce la mărirea semnalului electric produs de fotodetector și deci se mărește precizia de măsurare.
- se realizează o variație mai mică a temperaturii pe probă, care nu modifică valoarea difuziei termice a materialului.

Fig. 1 prezintă explicarea fenomenului de miraj (a) și configurația geometrică folosită în metoda cu spot circular (b și c). Fig. 2 prezintă un mod de realizare a invenției. Fig. 3 prezintă modul de stabilire a coeficientului de difuzie termică. Este prezentată dependența fazei  $\vartheta(\gamma)$  în funcție de distanța de la sursa de caldura, măsurată pentru diferiți compuși vitroși din sistemul As-S. Coeficientul de difuzie termică  $\chi$  este determinat de unghiul de înclinare pe porțiunea liniară.

O formă preferată de realizare a invenției se prezintă în continuare, în legătură cu fig. 2. Dispozitivul de măsurare neinvazivă a coeficientului de difuzie termică în materiale realizat conform invenției este alcătuit dintr-un laser de încălzire (1) ce emite în undă continuă (se poate folosi un laser cu argon pe lungimea de undă de 488 nm și o putere de circa 100 mW), un modulator (2) care modulează armonic intensitatea fasciculului laser în timp (poate fi un întrerupător periodic, un modulator electro-optic sau unul acusto-optic) și care furnizează un semnal de referință pentru amplificatorul lock-in (12), o lunetă de expandare a fasciculului laser (3), o oglindă plană (4) care deviază fasciculul laser cu 90°, o lentilă cilindrică (5) care focalizează fasciculul laser pe suprafața probei sub forma unei fâșii de lumină îngustă și lungă, în scopul mării preciziei și a sensibilității, un suport de translație (6) pe care sunt fixate oglinda (4) și lentila (5) și care permite deplasarea acestora și, implicit, a fasciculului laser de încălzire pe o direcție perpendiculară pe fasciculul de sondare, un traductor de poziție (7) care furnizează o tensiune proporțională cu deplasarea suportului de translație (6), un laser de sondare (8) ce emite pe o lungime de undă mai mare (de exemplu un laser HeNe ce emite pe lungimea de undă de 633 nm, cu o putere de 1 mW) decât laserul de încălzire (1), un obiectiv (9) ce focalizează fasciculul laser de sondare, proba (10) care este supusă măsurării (suprafața probei pe care se focalizează lumina se șlefuieste; în caz că proba nu absoarbe radiația laserului de încălzire ea se acoperă cu un strat subțire de grafit), un fotodetector quadrant (11) care determină poziția fasciculului laser de sondare pe fotodetector, un amplificator lock-in (12) care amplifică semnalul generat de fotodetectorul (11) și furnizează o tensiune proporțională cu deplasarea de fază a semnalului, folosind ca referință semnalul produs de modulatorul (2) și un osciloscop digital cu memorie sau un înregistrator cu două

coordonate (13), care înregistrează pe axa ordonatelor tensiunea furnizată de amplificatorul lock-in (12) iar pe axa absciselor tensiunea furnizată de traductorul de poziție (7).

## REVEDICĂRI

1. Procedeu neinvaziv de măsurare a coeficientului de difuzie termică în materiale **caracterizat prin aceea că** se încălzește proba cu ajutorul unui fascicul laser de încălzire (emis în undă continuă) cu intensitate modulată armonic în timp, focalizat pe suprafața probei sub forma unei fâșii de lumină îngustă și lungă, se aplică un fascicul laser de sondare cât mai aproape de suprafața testată a probei și aliniat paralel cu sursa de căldură sub formă de fâșie produsă de fasciculul laser de încălzire, se determină poziția fasciculului laser de sondare pe un fotodetector quadrant, se măsoară faza semnalului furnizat de fotodetector și se calculează coeficientul de difuzie termică ca fiind tangenta unghiului de înclinare a dependenței fazei de distanța față de sursa de căldură sau de frecvența de modulație la puterea  $\frac{1}{2}$ .

2. Dispozitiv de măsurare neinvazivă a coeficientului de difuzie termică în materiale prin procedeul definit în revendicarea 1, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-un laser de încălzire (1) ce emite în undă continuă, un modulator (2) care modulează armonic intensitatea fasciculului laser în timp (poate fi un întrerupător periodic, un modulator electro-optic sau unul acusto-optic) și care furnizează un semnal de referință pentru amplificatorul lock-in (12), o lunetă de expandare a fasciculului laser (3), o oglindă plană (4) care deviază fasciculul laser cu  $90^\circ$ , o lentilă cilindrică (5) care focalizează fasciculul laser pe suprafața probei sub forma unei fâșii de lumină îngustă și lungă, în scopul măririi preciziei și a sensibilității, un suport de translație (6) pe care sunt fixate oglinda (4) și lentila (5) și care permite deplasarea acestora și, implicit, a fasciculului laser de încălzire pe o direcție perpendiculară pe fasciculul de sondare, un traductor de poziție (7) care furnizează o tensiune proporțională cu deplasarea suportului de translație (6), un laser de sondare (8) ce emite pe o lungime de undă mai mare decât laserul de încălzire (1), un obiectiv (9) ce focalizează fasciculul laser de sondare, proba (10) care este supusă măsurării, un fotodetector quadrant (11) care determină poziția fasciculului laser de sondare pe fotodetector, un amplificator lock-in (12) care amplifică semnalul generat de fotodetectorul (11) și furnizează o tensiune proporțională cu deplasarea de fază a semnalului, folosind ca referință semnalul produs de modulatorul (2) și un osciloscop digital cu memorie sau un înregistrator cu două coordonate (13), care înregistrează pe axa ordonatelor tensiunea furnizată de amplificatorul lock-in (12) iar pe axa absciselor tensiunea furnizată de traductorul de poziție (7).

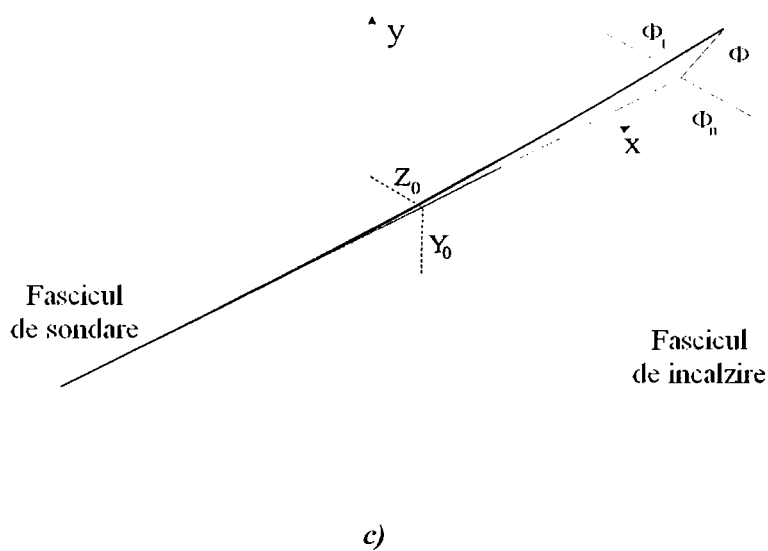
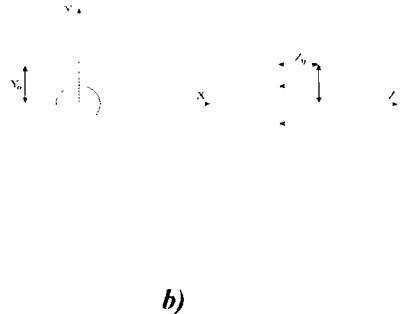
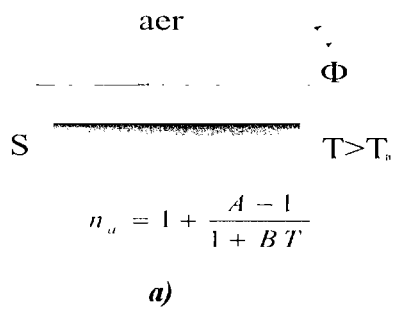


Fig.1



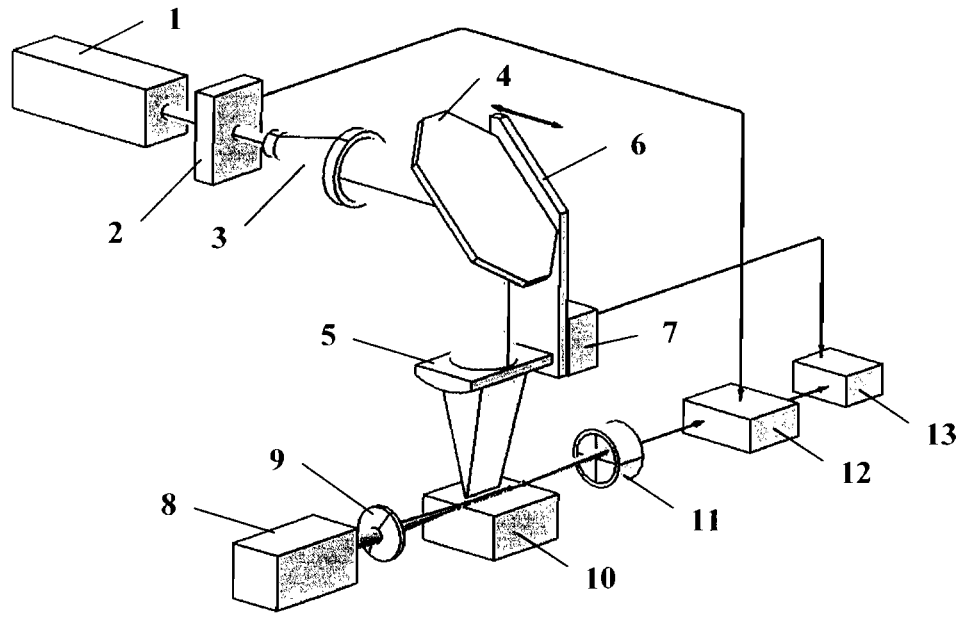


Fig. 2

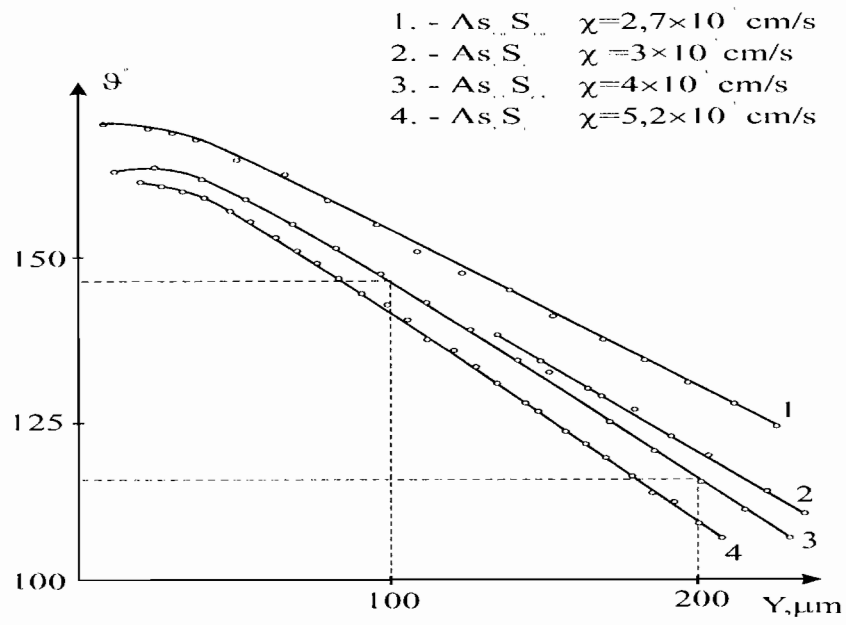


Fig. 3