



(12)

## BREVET DE INVENȚIE

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

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

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30.08.2013** BOPI nr. **8/2013**

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

(73) Titular:  
• **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  
NR.160, BL.B, SC.A, AP.42 SECTOR 1,  
BUCUREȘTI, B, RO;**  
• **TĂUTAN MARINA, STR.EMIL RACOVIȚĂ  
NR.6, BL.R 1, SC.2, AP.45, SECTOR 4,  
BUCUREȘTI, B, RO;**  
• **RUSU MĂDĂLIN ION, STR.BUȘAGA NR.1,  
CURTEA DE ARGEȘ, AG, RO;**  
• **SAVU VALERIU, STR.CĂTINEI NR.13,  
BL.37 C, SC.C, AP.51, PLOIEȘTI, PH, RO;**  
• **BAȘCHIR LAURENȚIU AURELIAN,  
STR.NICOPOL NR.60, TULCEA, TL, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:  
**US 5377006 A; US 5667300 A;  
US 5657754 A**

(54) **METODĂ NEINVAZIVĂ ȘI DISPOZITIV DE MĂSURARE A  
COEFICIENTULUI DE DIFUZIE TERMICĂ**



# RO 127565 B1

1 Inventția se referă la o metodă neinvazivă și la un dispozitiv de măsurare a coeficien-  
tului de difuzie termică în materiale.

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

11 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:

$$13 \quad T(x,t) = T_0 \cdot R(x) \cdot e^{-kx} \cdot \cos(\omega t - kx).$$

15 Coeficientul  $R(x)$  depinde de configurația geometrică aplicată, de condițiile de încăl-  
zire, de absorbția materialului, de convecție. De remarcat, din expresia pentru temperatură  
 $T(x,t)$ , că amplitudinea oscilațiilor de temperatură se micșorează rapid cu distanța și cu atât  
17 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  
19 când frontul de temperatură ajunge la coordonata  $x$ . Vectorul de undă este  $k = (\pi f / \chi)^{1/2}$ ,  
unde  $\chi$  este coeficientul difuziei termice, iar  $f = \omega/2\pi$  este frecvența de repetiție.

21 Folosind propagarea undelor termice, în brevetul **US 4928254**, s-a propus o metodă  
de măsurare a coeficientului de difuzie termică, în care, drept sursă de căldură, s-a folosit  
23 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  
25 poate fi un 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  
27 caracteristicile termice ale materialului. Un concept similar, bazat pe flash-laser, a fost  
dezvoltat în brevetul **US 5713665** și în cererea de brevet **US 2009/0110025**.

29 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  
31 dimensionarea prealabilă a probei la o anumită grosime, în funcție de valoarea estimată a  
difuziei termice, lucru care reprezintă un alt neajuns.

33 Pentru a măsura difuzia termică explorând doar o singură suprafață de lucru a probei,  
se poate folosi metoda propusă în lucrările lui Murphy și Aamodt [*J. Appl. Phys.*, V. 52,  
35 (1981), p. 4903], Salazar [*Appl. Phys.*, V. 65, (11), (1989), pp. 4150-4156], care folosește  
efectul de miraj pentru caracterizarea difuziei termice. În natură, fenomenul de miraj se  
37 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,  
39 inclusiv la aer. Efectul de miraj se produce atunci când deasupra unei suprafețe încălzite se  
formează un gradient de temperatură. În aer, de exemplu, dispersia indicelui de refracție  
41  $dn/dT$  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 unui laser de sondare,  
43 care se propagă paralel cu suprafața corpului. Suprafața corpului se iradiază cu un fascicul  
de lumină a unui laser de încălzire, care cade perpendicular pe suprafața lui și este absorbit  
45 de probă (fig. 1b și c). Dacă lumina laserului de încălzire este modulată periodic în timp, în  
material și în mediul înconjurător, se produc unde termice.

47 Se cunoaște [*J. Appl. Phys.*, V. 52, (1981), p. 4903] că unghiul de deviere a fasci-  
culului laser de sondare, folosit în metoda prezentată anterior, se calculează, folosind relația:

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

	1
	3
Integrala se calculează pe direcția de propagare a fasciculului laser de sondare.	5
Din cauză că metoda propusă folosește un spot laser de încălzire de formă circulară, undele termice produse de căldura 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 căldură). Pe suprafața obiectului, care poate fi considerată plană, undele termice cu temperatură constantă (izoterme) sau fază constantă (izofaze) reprezintă niște cercuri. Unghiul integral de deviere $\varphi$ va fi alcătuit din superpoziția undelor termice cu fază variabilă și care nu sunt constructive.	9
Neajunsul metodei constă în diminuarea amplitudinii semnalului ce trebuie măsurat, diminuare cauzată tocmai de forma circulară a spotului laser, având ca urmare o determinare imprecisă a fazei.	13
Alt neajuns, 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.	15
Problema tehnică pe care își propune să o rezolve prezenta invenție 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.	17
Metoda neinvazivă 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 cuadrant, 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 $\frac{1}{2}$ .	19
Dispozitivul de aplicare a metodei, conform invenției, este alcătuit dintr-un laser de încălzire ce emite în undă continuă, un modulator care modulează armonic intensitatea fasciculului laser în timp și care furnizează un semnal de referință pentru un amplificator cu detecție sincronă, un laser de sondare ce emite pe o lungime de undă mai mare decât laserul de încălzire, 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 unei probe, sub forma unei fâșii de lumină îngustă și lungă, 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 obiectiv ce focalizează fasciculul laser de sondare pe proba supusă măsurării, un fotodetector cuadrant care determină poziția fasciculului laser de sondare, amplificatorul cu detecție sincronă, care amplifică semnalul generat de fotodetector și furnizează o tensiune proporțională cu deplasarea de fază a semnalului, precum și un osciloscop digital cu memorie sau un înregistrator cu două coordonate, care înregistrează, pe axa ordonatelor, tensiunea furnizată de amplificator, iar pe axa absciselor, tensiunea furnizată de traductorul de poziție.	21
	23
	25
	27
	29
	31
	33
	35
	37
	39
	41
	43
	45
	47

# RO 127565 B1

1           Invenția prezintă următoarele avantaje:  
2           - metoda este neinvazivă și nedistructivă, ea putând fi aplicată și probelor biologice;  
3           - se obține un unghi de deviere a fasciculului laser mai mare, ceea ce conduce la  
4           mărirea semnalului electric produs de fotodetector și, implicit, la mărirea preciziei de  
5           măsurare;

6           - se realizează o variație mai mică a temperaturii pe probă, care nu modifică valoarea  
7           difuziei termice a materialului.

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

10           - fig. 1a...c, ilustrarea fenomenului de miraj (a) și configurația geometrică folosită în  
11           metoda cu spot circular (b și c) din stadiul tehnicii;

12           - fig. 2, dispozitivul de aplicare a metodei conform invenției;

13           - fig. 3, graficul de variație a coeficientului de difuzie termică, respectiv, dependența  
14           fazei  $\vartheta(y)$  în funcție de distanța de la sursa de căldură, măsurată pentru diferiți compuși  
15           vitroși dintr-un sistem As-S. Coeficientul de difuzie termică  $\chi$  este determinat de unghiul de  
16           înclinare pe porțiunea liniară.

17           Dispozitivul de măsurare neinvazivă a coeficientului de difuzie termică în materiale,  
18           conform invenției, este alcătuit dintr-un laser de încălzire **1**, ce emite în undă continuă (se  
19           poate folosi un laser cu argon pe lungimea de undă de 488 nm și o putere de circa 100 mW),  
20           un modulator **2**, care modulează armonic intensitatea fasciculului laser în timp (poate fi un  
21           întrerupător periodic, un modulator electro-optic sau unul acusto-optic), o lunetă de expan-  
22           dare a fasciculului laser **3**, o oglindă plană **4** care deviază fasciculul laser cu 90°, o lentilă  
23           cilindrică **5** care focalizează fasciculul laser pe suprafața unei probe, sub forma unei fâșii de  
24           lumină îngustă și lungă, în scopul măririi preciziei și a sensibilității. Oglinda **4** și lentila **5** sunt  
25           fixate pe un suport de translație **6**. Dispozitivul mai cuprinde un traductor de poziție **7**, care  
26           furnizează o tensiune proporțională cu deplasarea suportului de translație **6**, un laser de  
27           sondare **8** ce emite pe o lungime de undă mai mare decât laserul de încălzire **1** (de exemplu,  
28           un laser HeNe ce emite pe lungimea de undă de 633 nm, cu o putere de 1 mW). Suportul  
29           de translație **6** permite deplasarea fasciculului laser de încălzire pe o direcție perpendiculară  
30           pe fasciculul de sondare. Din dispozitiv, mai fac parte un obiectiv **9** ce focalizează fasciculul  
31           laser de sondare pe proba **10**, supusă măsurării (suprafața probei pe care se focalizează  
32           lumina se șlefuește; în caz că proba nu absoarbe radiația laserului de încălzire, se acoperă  
33           cu un strat subțire de grafit), un fotodetector cuadrant **11**, care determină poziția fasciculului  
34           laser de sondare, un amplificator cu detecție sincronă **12**, care amplifică un semnal generat  
35           de fotodetectorul **11** și furnizează o tensiune proporțională cu deplasarea de fază a  
36           semnalului, folosind, ca referință, semnalul produs de modulatorul **2** și un osciloscop digital  
37           cu memorie sau un înregistrator cu două coordonate **13**, care înregistrează, pe axa  
38           ordonatelor, tensiunea furnizată de amplificatorul cu detecție sincronă **12**, iar pe axa  
39           absciselor, tensiunea furnizată de traductorul de poziție **7**.

# RO 127565 B1

## Revendicări

1. Metodă neinvazivă de măsurare a coeficientului de difuzie termică în materiale, **caracterizată 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 unei probe, 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 cuadrant, 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  $\frac{1}{2}$ . 3 5 7 9 11
2. Dispozitiv de măsurare neinvazivă a coeficientului de difuzie termică în materiale, prin metoda de la 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, 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 unei probe, sub forma unei fâșii de lumină îngustă și lungă, un suport de translație (6) pe care sunt fixate oglinda (4) și lentila (5), 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 pe proba (10) supusă măsurării, un fotodetector cuadrant (11) care determină poziția fasciculului laser de sondare, un amplificator cu detecție sincronă (12) care amplifică un semnal generat de fotodetectorul cuadrant (11) și furnizează o tensiune proporțională cu deplasarea de fază a semnalului, folosind, ca referință, un semnal produs de modulator (2), precum și un osciloscop digital cu memorie sau un înregistrator cu două coordonate (13), care înregistrează, pe axa ordonatelor, tensiunea furnizată de amplificatorul cu detecție sincronă (12), iar pe axa absciselor, tensiunea furnizată de traductorul de poziție (7).** 13 15 17 19 21 23 25 27 29

(51) Int.Cl.

G01N 25/18 (2006.01),

G01N 21/17 (2006.01),

G01N 21/39 (2006.01)

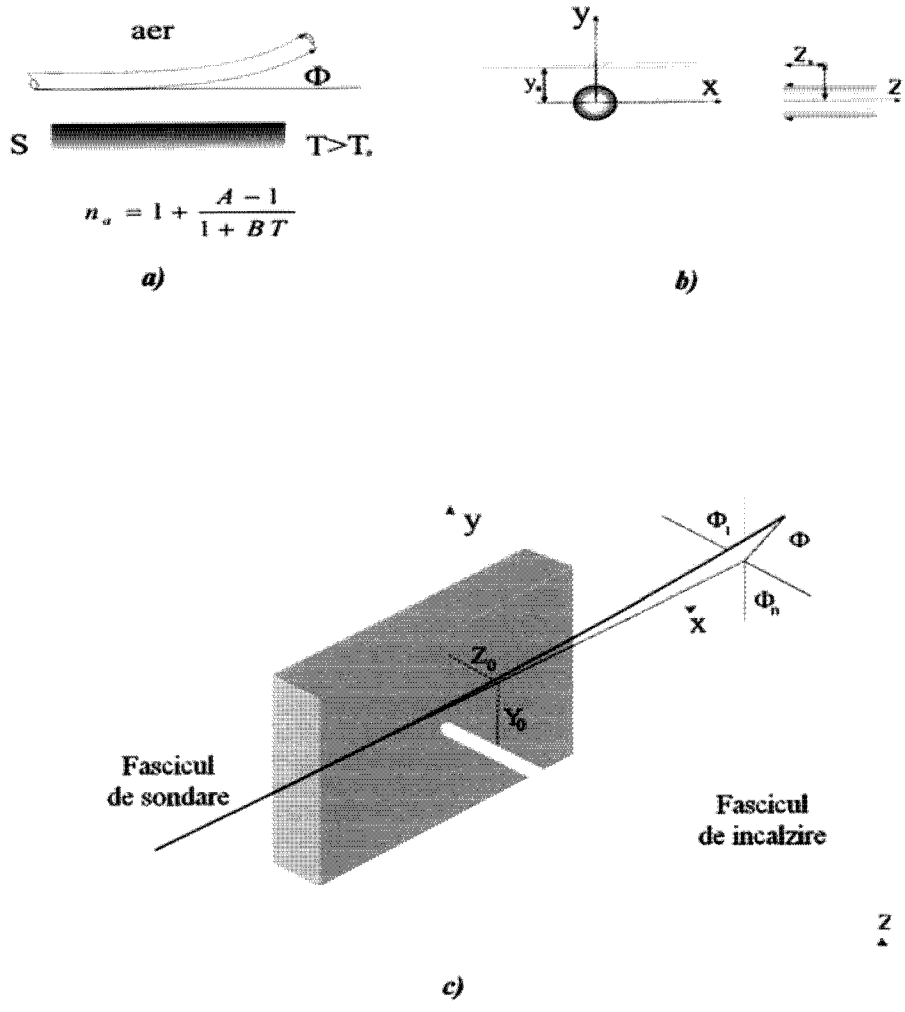


Fig. 1

(51) Int.Cl.

G01N 25/18 (2006.01);

G01N 21/17 (2006.01);

G01N 21/39 (2006.01)

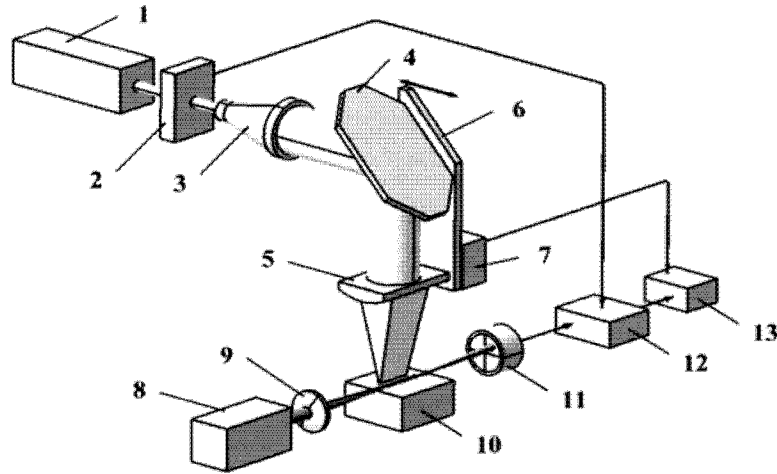


Fig. 2

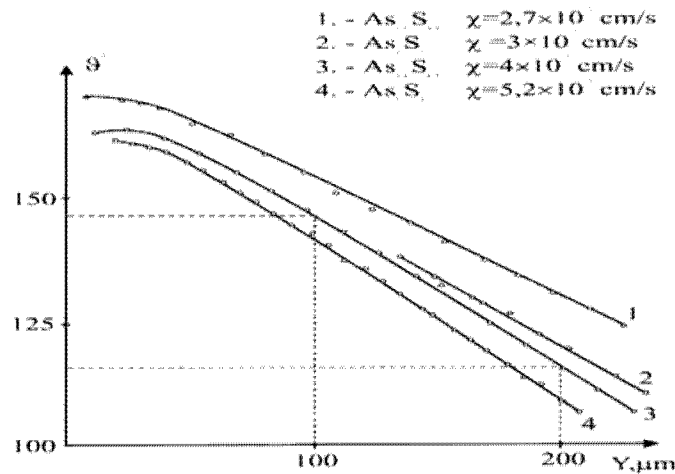


Fig. 3



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM  
 Tipărit la: Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci  
 sub comanda nr. 792/2013