



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2014 00571

(22) Data de depozit: 28/07/2014

(41) Data publicării cererii:  
29/01/2016 BOPI nr. 1/2016

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

(72) Inventatori:  
• MICLOȘ SORIN, CALEA GRIVIȚEII  
NR.160, BL.B, SC.A, ET.9, AP.42,  
SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;

• LĂNCRĂNȚAN ION IOAN-FERDINAND,  
STR.VELEII NR.2, BL.2, SC.2, AP.57,  
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;  
• SAVASTRU DAN, STR.IANI BUZOIANI  
NR.3, BL.16, SC.A, AP.2, SECTOR 1,  
BUCUREȘTI, B, RO;  
• TĂUTAN MARINA NICOLETA,  
STR.EMIL RACOVITĂ NR.6, BL.R1, SC.2,  
AP.45, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO

(54) METODĂ NEINVAZIVĂ ȘI DISPOZITIV PENTRU  
LOCALIZAREA SURSELOR DE EMISIE DE UNDE SONORE  
DIN STRUCTURI SOLIDE FOLOSIND SENZORI  
OPTOELECTRONICI DE TIP FIBRĂ OPTICĂ ACTIVĂ AVÂND  
O MODULAȚIE SPAȚIALĂ A INDICELUI DE REFRAȚIE AL  
MIEZULUI

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă neinvazivă și un dispozitiv pentru localizarea surselor de unde sonore aflate în interiorul unei structuri solide de tipul unei construcții civile sau industriale, fără a afecta caracteristicile materialului structurii solide. Metoda conform invenției constă în folosirea unui senzor optoelectronic din fibră optică monomod activă în al cărei miez sunt create trei rețele Bragg de lungimi egale, sub forma a trei emițătoare laser de tipul cu fibră cu reacție inversă distribuită, funcționând la lungimi de undă apropiate dar diferite, pompate cu un fascicul laser emis de o diodă laser, fibra optică monomod fiind dispusă sub forma unui triunghi echilateral cu colțurile rotunjite cu câte un singur emițător laser pe fiecare latură și determinarea modificărilor puterilor de ieșire a fiecărui emițător laser, induse de variațiile neliniare ale indicelui de refracție al nucleului fibrei optice a fiecărui emițător laser, în funcție de mărirea forței variabile caracteristică presiunii undei acustice incidente. Dispozitivul conform invenției este alcătuit dintr-o diodă (1) laser de pompaj care injectează o radiație laser, printr-un izolator (2) optic și printr-un multiplexor (3) cu divizarea lungimii de undă, într-o fibră optică activă în care există o structură de trei emițătoare laser (4, 5, 6) de tipul cu fibră cu reacție inversă distribuită, înseriate, având lungimi de undă de emisie diferite, și plasată la mică adâncime sub suprafața unei plăci plane, dintr-un interferometru (7) Michelson realizat din fibră optică având una dintre căi sub acțiunea

vibrațiilor generate de un dispozitiv (8) piezoelectric modulată cu frecvență variabilă, dintr-un dispozitiv (9) multiplexor cu divizarea lungimii de undă pe cele trei domenii spectrale, detectate de trei fotodiode (10) și amplificate prin trei amplificatoare (11) lock-in cu detecție de fază și preluate de un sistem de achiziție (12) de date și transferate într-un computer (13) pentru prelucrare.

Revendicări: 2  
Figuri: 3

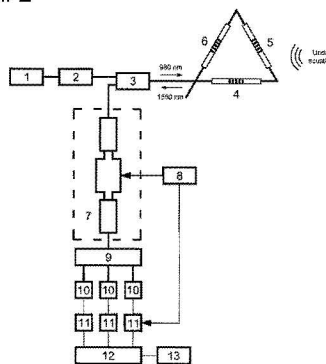


Fig. 3



**METODĂ NEINVAZIVĂ ȘI DISPOZITIV PENTRU LOCALIZAREA SURSELOR DE EMISIE DE UNDE SONORE DIN STRUCTURI SOLIDE FOLOSIND SENZORI OPTOELECTRONICI DE TIP FIBRĂ OPTICĂ ACTIVĂ AVÂND O MODULAȚIE SPAȚIALĂ A INDICELUI DE REFRACTIE AL MIEZULUI**

Invenția se referă la o metodă neinvazivă de localizare a surselor de emisie de unde sonore de pe suprafața și din interiorul unui corp solid cu ajutorul unor senzori optoelectronici constituiți din fibre optice active având o modulație spațială longitudinală a indicelui de refracție al miezului (emițătoare laser de tip DFB-FL, adică Distributed FeedBack Fiber Laser - laser cu fibră cu reacție inversă distribuită) și la un dispozitiv care aplică metoda.

Se cunoaște din literatură faptul că pentru mărirea duratei de funcționare, pentru mărirea fiabilității și siguranței în exploatare a structurilor mecanice solide construite din materiale de construcții și metal (oțel) de genul construcțiilor civile și/sau industriale, sau de genul aeronavelor și autovehiculelor este necesară monitorizarea calității, a stării de sănătate a structurii lor de rezistență. Pentru efectuarea unei astfel de monitorizări este de interes depistarea și localizarea posibilelor surse de vibrații mecanice, de unde acustice, primare (de exemplu: două bucăți de beton dintr-un zid care s-au desprins una de cealaltă și se deplasează cu fricțiune una față de cealaltă cu viteză mică) sau secundare (de exemplu: neuniformități, goluri care împrăștie o undă mecanică de testare indusă în structura mecanică analizată). Este clar că sursele de vibrații mecanice investigate pot să emită, într-un domeniu dat de frecvențe, în undă continuă sau în impulsuri singulare, în șocuri. Localizarea, în interiorul structurii mecanice monitorizate a surselor de vibrații mecanice mai sus enumerate, se poate face folosind metoda triangulației, cu rezultate cu atât mai bune cu cât senzorii folosiți au caracteristici mai bune.

Se cunosc metode ce folosesc dispozitive de tipul microfoanelor piezoelectrice unidirecționale sau chiar bidirecționale ce pot fi folosite pentru astfel de aplicații. Aceste dispozitive funcționează pe baza fenomenului piezoelectric desfășurat prin două conversii succesive, prima fiind aceea a undelor de presiune acustică în tensiuni mecanice în armături metalice elastice iar a doua constând în transferarea acestor tensiuni mecanice la cristalul piezoelectric în care apare o sarcină electrică, adică ale cărui caracteristici electrice se modifică. Aplicarea metodei triangulației folosind microfoane piezoelectrice unidirecționale, pentru a se obține o acuratețe cât de cât acceptabilă, impune folosirea unor matrici circulare concentrice de 6, 12, 24 sau chiar 48 de astfel de microfoane, ceea ce implică instalații cu gabarite ce nu pot fi neglijabile, încorporând circuite electronice complicate și care nu au

flexibilitatea necesară pentru realizarea scopului propus în condiții diversificate. În acest sens amintim brevetele S.U.A. nr. US7903829B2, US8041065B2, US8150077B2, US8620014B2 și US20120288113A1.

Dezavantajul principal al acestor soluții constă în aceea că dispozitivul de măsură este o structură rigidă, încorporând circuite electronice complicate, cu volum mare și cu o flexibilitate redusă ce nu permite utilizarea în condiții dintr-o gamă extinsă. De asemenea, un alt dezavantaj al folosirii dispozitivelor de tipul microfoanelor unidirecționale piezoelectrice pentru localizarea surselor de vibrații mecanice rezidă din principiul de funcționare și, implicit, din modul de construcție, constând în aceea că are o sensibilitate și acuratețe limitate.

Metoda conform invenției înlătură dezavantajele arătate mai înainte prin aceea că permite detecția și localizarea directă surselor de unde sonore din interiorul și de pe suprafața unei structuri mecanice, făcând posibilă și evaluarea altor parametri de interes, de genul temperaturii, prin folosirea unui algoritm de triangulație bazat pe utilizarea de senzori optoelectronici de tipul DFB-FL, de volum mult mai mic, având o sensibilitate și o direcționalitate a semnalului optic de răspuns la stimuli mecanici externi mult mai mari în comparație cu microfoanele piezoelectrice unidirecționale.

Problema tehnică pe care prezenta invenție își propune să o rezolve constă în localizarea în interiorul structurilor solide a surselor de emisie sonoră în undă continuă sau modulate în timp, inclusiv în impulsuri singulare, de vibrații sonore într-un mod neinvaziv, determinând apariția vibrațiilor mecanice apărute în interiorul structurilor solide monitorizate prin evaluarea variațiilor amplitudinii tensiunilor mecanice caracteristice propagării undelor sonore, folosind un senzor optoelectronic de tip DFB-FL și tehnica triangulației 3D. Într-o tratare mai analitică, problema tehnică pe care metoda conform invenției își propune să o rezolve constă în localizarea unei surse de energie sonoră, a unei surse de vibrații mecanice (denumită T - ținta) situate în interiorul unei structuri mecanice solide. Metoda conform invenției folosește un senzor optoelectronic format din trei emițătoare de tip DFB-FL (denumite FL<sub>1</sub>, FL<sub>2</sub>, FL<sub>3</sub>) înseriate create în miezul unei fibre optice active care este pasiv în raport cu producerea undelor sonore și care este montat sub formă triunghiulară astfel încât să formeze un plan. Aplicarea tehnicii triangulației 3D implică definirea clară a unui sistem de coordonate (denumit SC) atașat acestui plan, a coordonatelor (x,y,z) fiecărui emițător laser în acest SC precum și a două unghiuri, azimutul și elevația ( $\theta, \phi$ ) pentru fiecare dintre cele trei axe, drepte T - FL<sub>i</sub>. Aplicarea tehnicii triangulației este făcută pentru obținerea coordonatelor

T,  $(x_i, y_i, z_i)$ . Sistemul de ecuații de geometrie analitică prin care este aplicată metoda conform invenției este definit în legătură cu fig. 1 unde se pot observa definițiile parametrilor necesari:

$$x_i = \frac{[x_2 \tan(\theta_1) - x_1 \tan(\theta_2) + (y_1 - y_2) \tan(\theta_1) \tan(\theta_2)]}{\tan(\theta_1) - \tan(\theta_2)} \quad (1)$$

$$y_i = \frac{[y_1 \tan(\theta_1) - y_2 \tan(\theta_2) + (x_2 - x_1)]}{\tan(\theta_1) - \tan(\theta_2)} \quad (2)$$

$$r_i = \sqrt{(x_i - x_i)^2 + (y_i - y_i)^2} \leftarrow i = 1, 2 \quad (3)$$

$$z_i = r_i \tan(\phi_i) + z_i \leftarrow i = 1, 2 \quad (4)$$

În fig. 1 este prezentată prima determinare efectuată în cazul subsistemului (T-FL<sub>1</sub>, FL<sub>2</sub>). Metoda conform invenției înseamnă efectuarea simultană și a determinărilor pe subsistemele (T-FL<sub>1</sub>, FL<sub>3</sub>) și (T-FL<sub>2</sub>, FL<sub>3</sub>). Sistemul de ecuații de geometrie analitică este rezolvat pentru fiecare dintre cele trei subsisteme (T-FL<sub>i</sub>, FL<sub>j</sub>) unde  $i \neq j$ ,  $i, j = 1, 2, 3$ . Pentru înțelegerea metodei conform invenției, în legătură cu fig.1, este necesar să fie precizat detaliul că axa x este axa fibrei optice.

Elementul principal al metodei conform invenției constă în utilizarea unor senzori optoelectronici de tip DFB-FL. În acest sens, pentru definirea cât mai precisă a metodei conform invenției, sunt de menționat două detalii referitoare la senzorii optoelectronici de tip DFB-FL, ambele referitoare la modul de funcționare al acestora și ambele rezultând din tehnologia de fabricație a acestora. Aceste două detalii sunt observate și utilizate pentru aplicarea tehnicii de triangulație pentru localizarea surselor de producere de energie, în cazul metodei conform invenției, sub formă de vibrații mecanice, în undă continuă sau în impulsuri (șocuri) singulare, mai precis pentru obținerea azimutului și elevației  $(\theta, \phi)$  pentru fiecare dintre cele trei axe, drepte T - FL<sub>i</sub>. Conform literaturii, în esență, tehnica de triangulație poate însemna și folosirea simultană a minim trei seturi de măsurători obținute de la trei senzori precis identificabili. Cele trei seturi de măsurători constă, fiecare, în definirea unui punct de referință pe o axă și în determinarea valorilor a două unghiuri relative la această axă.

Primul detaliu referitor la senzorii optoelectronici de tip DFB-FL, de interes pentru metoda conform invenției, definește o modalitate de identificare a acestora după lungimea de undă de emisie, egală cu lungimea de undă Bragg, definită în continuare. Acest prim detaliu constă din aceea că senzorii optoelectronici de tip DFB-FL sunt, practic, oscilatoare laser constituite din fibre optice monomod având miezul este dopat cu ioni trivalenți de erbiu ( $Er^{3+}$ ) sau co-dopat și cu ioni trivalenți de yterbiu ( $Yb^{3+}$ ) și în care a fost creată cel puțin o rețea Bragg, adică o zonă din miez în care a fost creată o modulație spațială longitudinală,

aproximativ sinusoidală, a indicelui de refracție al miezului fibrei optice, rețea Bragg funcționând ca rezonator laser, asigurând reacția la amplificarea radiației laser, reacție necesară declanșării oscilației laser. Pentru aplicarea metodei conform invenției sunt semnificativi doi parametri ai unui DFB-FL:

- valoarea maxima a coeficientului de reflexie al rețelei Bragg,  $r_g$ , la lungimea de undă Bragg, definit prin relația

$$r_g = \frac{ik \sin(qL)}{q \cos(qL) - i\delta \sin(qL)} \quad (5)$$

unde  $L$  este lungimea rețelei Bragg iar  $q$ ,  $\delta$  și  $k$  sunt parametri de material ai fibrei optice;

- lungimea de undă Bragg,  $\lambda_B$ , este definită prin formula:

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda \quad (4)$$

unde  $n_{eff}$  este valoarea efectivă a indicelui de refracție al nucleului fibrei optice iar  $\Lambda$  este perioada modulației spațiale a indicelui de refracție, perioada rețelei Bragg.

Modul de funcționare a senzorului DFB-FL se bazează pe măsurarea amplitudinii fenomenelor optice neliniare care se produc în fibra optică din care este constituit. Amplitudinea acestor fenomene optice neliniare este măsurabilă prin variații ale puterii laser emise de oscilatorul DFB-FL, la lungimi de undă fixe sau prin modificări măsurabile ale  $\lambda_B$  la valori de maxim ale puterii laser emise. Deoarece lungimea de undă Bragg depinde de perioada de modulație spațială și de valoarea efectivă a indicelui de refracție, variațiile presiunii,  $P$ , și temperaturii,  $T$ , ale mediului în care este montat oscilatorul DFB-FL induc variații ale indicelui de refracție al fibrei optice și/sau ale  $\Lambda$ , variații exprimabile prin formula:

$$d\lambda_B = \left[ 2\lambda_{B,0} \left( \frac{\partial n_{eff}}{\partial P} \right) + 2n_{eff,0} \left( \frac{\partial \lambda_B}{\partial P} \right) \right] dP + \left[ 2\lambda_{B,0} \left( \frac{\partial n_{eff}}{\partial T} \right) + 2n_{eff,0} \left( \frac{\partial \lambda_B}{\partial T} \right) \right] dT \quad (5)$$

unde sunt folosiți coeficienții liniari de variație cu presiunea și temperatura ai  $n_{eff}$  și  $\Lambda$ .

Al doilea detaliu referitor la senzorii optoelectronici de tip DFB-FL, de interes pentru metoda conform invenției, constă în observarea faptului că, din construcție precum și din tehnologia laser de inscripționare a rețelei Bragg în miezul fibrei optice, se pot defini două planuri, două axe în raport cu care pot fi analizate fenomenele care se produc la interacțiunea dintre fibra optică și mediul în care se găsește aceasta. Din construcție, valorile indicilor de refracție ai miezului și învelișului precum și geometria fibrei optice sunt astfel alese încât aceasta să funcționeze ca atare pe baza fenomenului de reflexie totală. Cele două planuri menționate, unul longitudinal celălalt transversal față de axa fibrei optice, rezultă din tehnologia laser de inscripționare a rețelei Bragg, tehnologie constând în înscrierea, în

impregnarea, în miezul fibrei optice, a unei figuri de interferență a două unde electromagnetice plane obținute prin splitarea aceluiași fascicul laser și parcurgerea a două drumuri optice de lungimi egale. Ca urmare, în legătură cu fig. 1, se pot defini o axă paralelă cu planul modulației indicelui de refracție, paralel cu axa fibrei optice, axa  $y$ , precum și o axă perpendiculară pe acesta, axa  $z$ , axa care “intră” în structura mecanică de monitorizat. La modul general, vibrațiile mecanice de detectat și cu o amplitudine de măsurat se pot propaga ca unde approximate ca fiind plane, ținând cont de dimensiunile fibrei optice în comparație cu valoarea caracteristică a lungimii de undă a undelor sonore incidente, sub un anumit unghi de incidență față de axa fibrei optice, deci față planul modulației indicelui de refracție. Calitativ, este justificată teoretic afirmația că modificarea  $\lambda_B$  datorită acțiunii unor perturbații mecanice exterioare fibrei optice va depinde de poziția relativă a direcției acestor acțiuni față de axa fibrei optice. Rezultă, ca o consecință logică, seturile de măsurători  $(\theta, \phi)$  necesare tehnicii triangulației.

Metoda neinvazivă cu senzor optoelectronic de tip DFB-FL pentru localizarea surselor de unde sonore din interiorul structurilor mecanice, conform invenției, constă în aceea că se folosește un dispozitiv optoelectronic laser cu fibră optică monomod având nucleul dopat cu ioni de erbiu trivalenți ( $\text{Er}^{3+}$ ) sau co-dopat și cu ioni trivalenți de yterbiu ( $\text{Yb}^{3+}$ ) montată printr-un strat de parafină într-o degajare de mică adâncime (0,2 .. 0,5 mm), pătrată în secțiune și de formă triunghi echilateral cu colțurile rotunjite cu rază suficient de mare astfel încât să nu provoace ruperea fibrei optice, aproape de suprafața unei plăci metalice plane în care este frezată degajarea, suprafața acestei plăci constituind planul  $(x,y)$  al unui sistem rectangular de coordonate (SC), indicele de refracție al miezului fiind modulat sinusoidal cu valori măsurabil diferite ale perioadei de modulație spațială  $\Lambda$ , și anume  $\Lambda_1$ ,  $\Lambda_2$ , și  $\Lambda_3$ , pe trei porțiuni de lungime egală,  $L$ , având fiecare mijlocul în punctele de coordonate  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$  și  $(x_3, y_3)$ , pe fiecare sub forma câte unei rețele de difracție Bragg având lungimi de undă Bragg,  $\lambda_B$ , puțin diferite, și anume  $\lambda_{B1}$ ,  $\lambda_{B2}$ , și  $\lambda_{B3}$ , situate, fiecare la mijlocul câte unui domeniu spectral  $\Delta\lambda_{B1}$ ,  $\Delta\lambda_{B2}$ , și  $\Delta\lambda_{B3}$ , domenii spectrale care nu au nici o valoare comună, și care au plane de modulație spațială paralele cu planul  $(x,y)$  al SC, formându-se astfel o structură de trei emițătoare laser DFB-FL înseriate cu lungimi de undă de emisie diferite,  $\text{FL}_1$ ,  $\text{FL}_2$  și  $\text{FL}_3$ , fiecare fiind caracterizat printr-o direcționalitate a răspunsului optic la acțiunile stimulilor externi, aplicată cât mai aproape de suprafața structurii mecanice de analizat, pompată cu un fascicul laser de pompaj cu lungimea de undă de 980 nm sau 1480 nm, emis în undă continuă de către o diodă laser și se determină modificările puterilor de ieșire ale celor

trei emițătoare laser DFB-FL înseriate față de valorile caracteristice determinate printr-o calibrare anterioară în momentul în care asupra lor acționează undele, vibrațiile mecanice ale unei surse aflate în structura mecanică analizată, obținându-se astfel, pentru fiecare dintre cele trei emițătoare DFB-FL seturi de date  $(x_i, y_i, \theta_i, \phi_i)$ , aceste seturi de date fiind corelate două câte două ceea ce permite definirea seturilor de coordonate  $(x_4, y_4, z_4)$ ,  $(x_5, y_5, z_5)$  și  $(x_6, y_6, z_6)$  a trei puncte din interiorul structurii mecanice monitorizate, cele trei puncte astfel definite formând un triunghi în interiorul căruia se este localizată sursa de oscilații sonore care trebuie găsită.

Dispozitivul conform invenției este alcătuit dintr-o diodă laser de pompaj ce injectează o radiație laser pe lungimea de undă de 980 nm printr-un izolator și un multiplexor cu divizarea lungimii de undă (WDM - wavelength division multiplexor) în cele trei emițătoare laser DFB-FL înseriate pe aceeași fibră optică plasată într-o mică degajare triunghiulară liniară la mică adâncime sub suprafața unei plăci plane încorporată în parafină, radiație care este absorbită ionii activi laser ( $Er^{3+}$ ) asigurând generarea efectului laser în emițătoarele DFB-FL la trei lungimi de undă Bragg,  $\lambda_B$ , diferite, și anume  $\lambda_{B1}$ ,  $\lambda_{B2}$ , și  $\lambda_{B3}$ , situate în domeniul spectral 1450 - 1550 nm, puterile semnalelor laser astfel generate variind funcție de mărimea forței corespunzătoare presiunii undelor sonore generate de o sursă aflată în interiorul structurii mecanice investigate, semnale ce sunt recepționate de trei fotodiode care generează fiecare un semnal electric, semnale preluate de un sistem de achiziție de date și transferate într-un computer pentru prelucrare.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

- Este neinvazivă față de structura mecanică în care se localizează posibila sursă de vibrații mecanice, nici un fel de componentă mecanică aferentă dispozitivului de detecție brevetat nefiind introdusă în structura mecanică monitorizată.
- Este sensibilă la valori mici ale amplitudinii forței aplicate datorate undelor de vibrații mecanice generate în interiorul structurii mecanice monitorizate.

În fig. 1 este prezentat schematic, principiul de triangulație folosit în cadrul metodei conform invenției. Sunt figurate, considerându-se procedura pentru primii doi senzori,  $FL_1$  și  $FL_2$ , procedura fiind repetată pentru perechile  $(FL_1, FL_3)$  și  $(FL_2, FL_3)$ , sistemul de coordonate  $(x, y, z)$  relativ la  $FL_1$  și  $FL_2$ , sursa  $S(x_i, y_i, z_i)$  de unde sonore, distanțele  $L_1$  și  $L_2$  dintre  $S$  și  $FL_1$  respectiv  $FL_2$ , cele două unghiuri de înălțare  $\phi_1$  și  $\phi_2$  formate de dreptele  $S-FL_1$  și  $S-FL_2$  cu planul  $(x, y)$ , cele două unghiuri de azimut  $\theta_1$  și  $-\theta_2$  formate de cele două drepte definite de piciorul perpendicularei  $S$  pe planul  $(x, y)$  și  $FL_1$  respectiv  $FL_2$ , distanțele  $r_1$  și  $r_2$  dintre

picioarul perpendicularei S pe planul (x,y) și FL<sub>1</sub> respectiv FL<sub>2</sub>, unghiul  $\theta_{sep}$  format de cele două drepte definite de picioarul perpendicularei S pe planul (x,y) și FL<sub>1</sub> respectiv FL<sub>2</sub>.

În fig. 2 este prezentată schematic, problema tehnică pe care prezenta invenție își propune să o rezolve. Sunt figurate senzorul optoelectronic (1) format din cele trei oscilatoare laser DFB-FL (2), (3), (4) înseriate pe aceeași fibră optică monomod, cele trei drepte (5), (6), (7) de localizare a sursei de vibrații mecanice definite prin calibrare pentru cele trei oscilatoare laser DFB-FL, iar în detaliu sunt figurate cele trei puncte de intersecție (8), (9) și (10) din zona sursei de unde de vibrație (11) ale celor trei drepte de localizare. Fig. 3 prezintă un mod de realizare a invenției.

O formă preferată de realizare a invenției se prezintă în continuare, în legătură cu fig. 3. Dispozitivul de localizare a surselor de unde de vibrație mecanică realizat conform invenției este alcătuit dintr-o diodă laser de pompaj (1) ce injectează o radiație laser pe lungimea de undă de 980 nm printr-un izolator (2) și un multiplexor cu divizarea lungimii de undă (3) în cele trei emițătoare laser DFB-FL (4), (5) și (6) înseriate pe aceeași fibră optică plasată, fiind încorporată în parafină, într-o mică degajare triunghiulară la mică adâncime (0,2 .. 0,5 mm) sub suprafața unei plăci plane, radiație care este absorbită ioni activi laser ( $Er^{3+}$ ) asigurând generarea efectului laser în emițătoarele DFB-FL (4), (5) și (6) la trei lungimi de undă Bragg,  $\lambda_B$ , diferite, și anume  $\lambda_{B1}$ ,  $\lambda_{B2}$ , și  $\lambda_{B3}$ , situate în domeniul spectral 1450 - 1550 nm, puterile semnalelor laser astfel generate variind funcție de mărimea forței corespunzătoare presiunii undelor sonore generate de o sursă aflată în interiorul structurii mecanice investigate, semnale ce sunt recepționate printr-un interferometru Michelson neechilibrat (7) realizat din fibră optică având una dintre căi sub acțiunea vibrațiilor generate de un dispozitiv piezoelectric (8) modulată cu o frecvență variabilă ce poate să fie prestabilită, și printr-un dispozitiv multiplexor cu divizarea lungimii de undă (DWDM - dense wavelength division multiplexor) (9) pe cele trei domenii spectrale, detectate de trei fotodiode (10) și amplificate prin trei amplificatoare lock-in (11) cu detecție de fază și preluate de un sistem de achiziție de date (12) fiind transferate într-un computer (13) pentru prelucrare.



## REVENDICĂRI

1. Metodă de măsură neinvazivă pentru localizarea surselor de unde sonore aflate în interiorul structurilor solide **caracterizată prin aceea că** se folosește un dispozitiv optoelectronic cu fibră optică activă monomod având nucleul dopat cu ioni de erbiu trivalenti ( $\text{Er}^{3+}$ ) sau co-dopată și cu ioni de yterbiu trivalenti ( $\text{Yb}^{3+}$ ) și cu indicele de refracție modulată sinusoidal cu valori diferite ale perioadei de modulație spațială  $\Lambda_1$ ,  $\Lambda_2$ , și  $\Lambda_3$ , pe trei porțiuni de lungime egală, sub forma câte unei rețele de difracție Bragg având lungimi de undă Bragg diferite  $\lambda_{B1}$ ,  $\lambda_{B2}$ , și  $\lambda_{B3}$ , situate în domenii spectrale diferite  $\Delta\lambda_{B1}$ ,  $\Delta\lambda_{B2}$ , și  $\Delta\lambda_{B3}$ , și care au plane de modulație spațială paralele cu planul triunghiului echilateral cu vârfurile rotunjite în care este aplicat, într-un strat de parafină, senzorul pe structura de monitorizat, formându-se astfel o structură de trei emițătoare laser DFB-FL înseriate cu lungimi de undă de emisie diferite,  $\text{FL}_1$ ,  $\text{FL}_2$  și  $\text{FL}_3$ , fiecare fiind caracterizat printr-o diagramă de direcționalitate a răspunsului optic la acțiunile stimulilor externi, și pompat cu un fascicul laser de pompaj cu lungimea de undă de 980 nm, emis în undă continuă de către o diodă laser și se determină modificările puterii de ieșire ale  $\text{FL}_1$ ,  $\text{FL}_2$  și  $\text{FL}_3$  la lungimi de undă din domeniul 1450-1550 nm, modificări induse de presiunea undelor sonore incidente, modificările fiind comparate cu diagramele de direcționalitate a răspunsului optic ale  $\text{FL}_1$ ,  $\text{FL}_2$  și  $\text{FL}_3$  printr-un algoritm de calcul și obținându-se astfel trei drepte iar intersecțiile două câte două definind vârfurile unui triunghi în interiorul căruia se află sursa de unde sonore localizat.

2. Dispozitiv de determinare neinvazivă a localizării surselor de unde sonore aflate în interiorul structurilor solide prin metoda definită în revendicarea 1, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-o diodă laser de pompaj (1) ce injectează o radiație laser pe lungimea de undă de 980 nm printr-un izolator optic (2) și printr-un un multiplexor cu divizarea lungimii de undă (WDM -wavelength division multiplexor) (3) într-o fibră optică activă în care există o structură de trei emițătoare laser DFB-FL înseriate cu lungimi de undă de emisie diferite,  $\text{FL}_1$  (4),  $\text{FL}_2$  (5) și  $\text{FL}_3$  (6), și plasată la mică adâncime (0,2 .. 0,5 mm) sub suprafața unei plăci plane, încorporată în parafină într-o mică degajare în formă de triunghi echilateral cu vârfuri rotunjite, radiație care este absorbită de ionii activi laser ( $\text{Er}^{3+}$ ) asigurând generarea efectului laser în (4), (5) și (6), care generează, fiecare, câte un semnal laser a cărui putere la lungimile de undă  $\lambda_{B1}$ ,  $\lambda_{B2}$ , respectiv  $\lambda_{B3}$ , situate în domenii spectrale diferite  $\Delta\lambda_{B1}$ ,  $\Delta\lambda_{B2}$ , și  $\Delta\lambda_{B3}$ , în apropierea a 1550 nm variază funcție de mărimea forței

corespunzătoare presiunii undelor sonore, semnale ce sunt recepționate printr-un interferometru Michelson neechilibrat (7) realizat din fibră optică având una dintre căi sub acțiunea vibrațiilor generate de un dispozitiv piezoelectric (8) modulată cu o frecvență variabilă ce poate să fie prestabilită, și printr-un dispozitiv multiplexor cu divizarea lungimii de undă (DWDM - dense wavelength division multiplexor) (9) pe cele trei domenii spectrale, detectate de trei fotodiode (10) și amplificate prin trei amplificatoare lock-in (11) cu detecție de fază și preluate de un sistem de achiziție de date (12) fiind transferate într-un computer (13) pentru prelucrare.

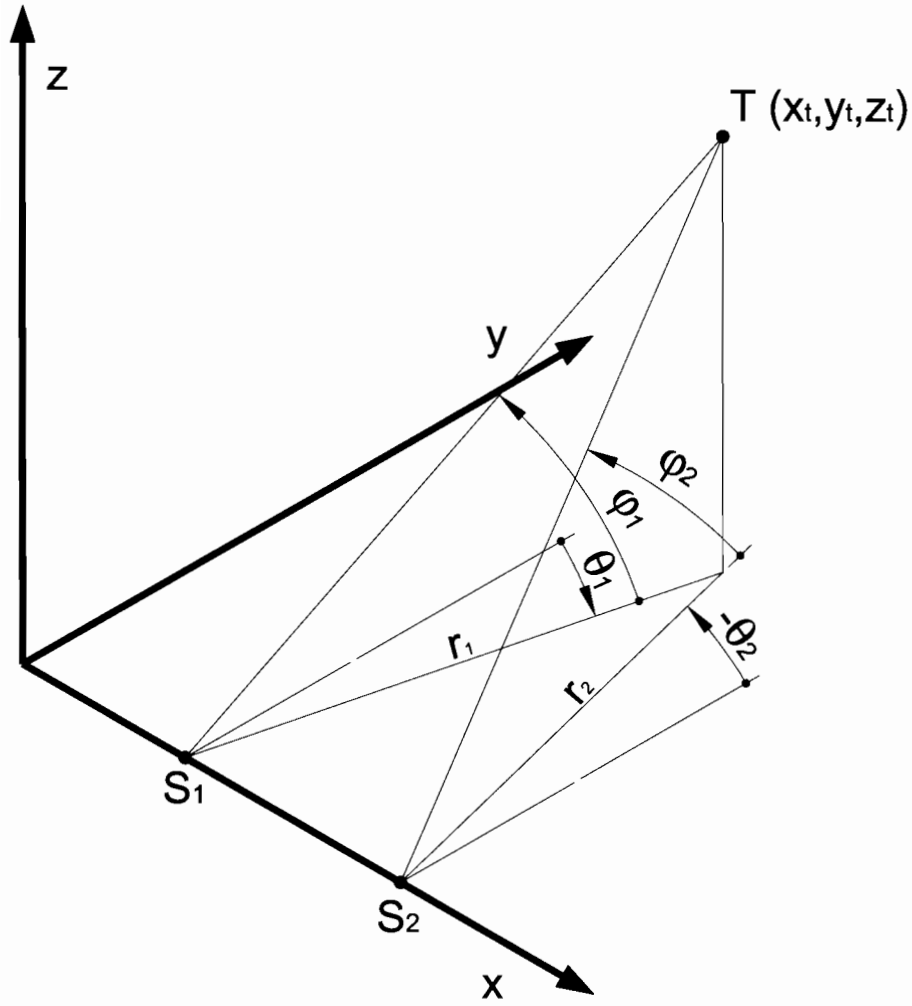


Fig. 1

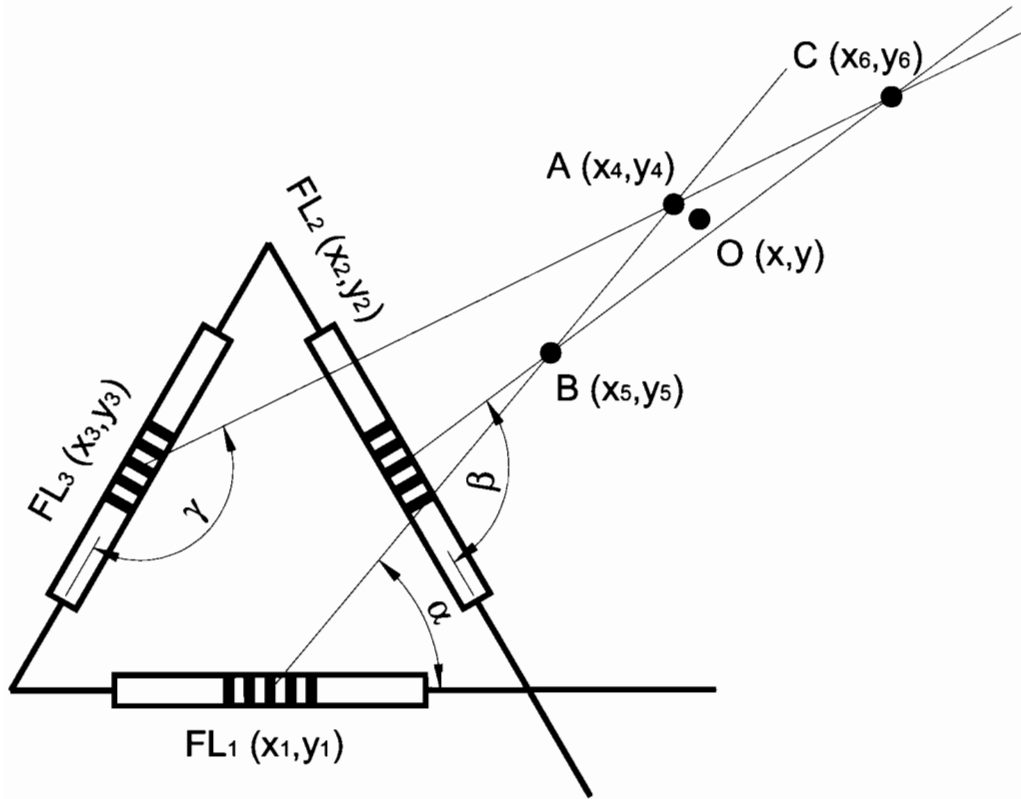


Fig. 2

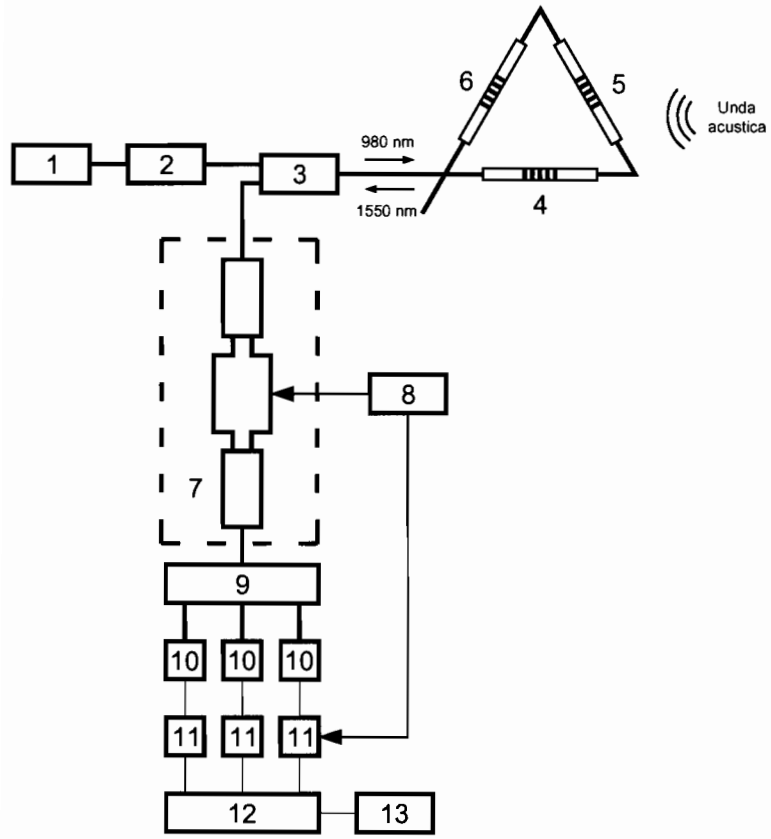


Fig. 3