



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2015 00952**

(22) Data de depozit: **02/12/2015**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **28/01/2022** BOPI nr. 1/2022

(41) Data publicării cererii:
30/06/2017 BOPI nr. 6/2017

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

(72) Inventatori:
• **MICLOȘ SORIN, CALEA GRIVIȚEI
NR.160, BL.B, SC.A, ET.9, AP.42,
SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **LĂNCRĂNJAN ION IOAN FERDINAND,
STR. VELEI 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 RACOVIȚĂ NR. 6, BL. R1, SC. 2,
AP. 45, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO;**

• **CĂLIN MIHAELA ANTONINA,
STR.DOBRINA NR.12, BL.49 D 1, SC.1,
ET.9, AP.115, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B,
RO;**
• **MANEA DRAGOȘ, STR. ISLAZ NR. 62,
ADUNAȚII COPĂCENI, GR, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
**GB 2402740 A; PAL BISHNU P., "OPTICAL
FIBER SENSORS: A VERSATILE
TECHNOLOGY PLATFORM FOR
SENSING", JOURNAL OF THE INDIAN
INSTITUTE OF SCIENCE, VOL.94, No.3,
PP. 283-309, 2014; M. J. KIM & CO,
"SIMULTANEOUS MEASUREMENT OF
TEMPERATURE AND STRAIN BASED ON
DOUBLE CLADDING FIBER
INTERFEROMETER ASSISTED BY FIBER
GRATING PAIR" IEEE PHOTONICS
TEHNOLOGY LETTERS, 2008**

(54) **SENZOR OPTOELECTRONIC INTERFEROMETRIC
PENTRU DETERMINAREA ACCELERAȚIEI UNEI STRUCTURI
MECANICE**



RO 132004 B1

1 Inventția se referă la un senzor optoelectronic interferometric cu fibră optică pasivă
2 de tip Twin-LPG (Twin-Long Period Grating) pentru determinarea accelerației unei structuri
3 mecanice.

4 Se cunoaște din literatură faptul că pentru construcția și utilizarea a structurilor
5 mecanice de tipul aeronavelor, navelor maritime sau fluviale, automobilelor sau a instalațiilor
6 industriale este necesară determinarea accelerației imprimate de către o forță aplicată.
7 Măsurarea accelerației imprimate unei structuri mecanice de către o forță aplicată în mod
8 continuu, ca șoc mecanic sau repetitiv este esențială pentru determinarea unor valori
9 maxime admisibile pentru utilizarea respectivei structuri fără distrugerea acesteia, valori
10 definite ca rezistența la rupere impuse de materialele folosite la fabricația structurii.

11 Se cunosc metode ce folosesc dispozitive de măsurare a accelerației imprimate de
12 o forță aplicată unei structuri mecanice utilizând, sub diferite forme montaje care, în esență,
13 au ca asemănări esențiale, o masă denumită inerțială sau gravitațională care se poate
14 deplasa în mod controlat față de direcția și sensul forței exterioare aplicate și care este
15 atașată ferm unui suport care are o componentă semiconductoare și/sau piezoelectrică sub
16 forma unei strat subțire depus chimic sau în vid. Accelerația este măsurată indirect prin
17 evaluarea efectului piezoelectric sau electrostrictiv indus de tensiunile mecanice create de
18 masa inerțială asupra căreia se aplică forța exterioară. În acest sens amintim brevetele
19 S.U.A. nr. **US 3583240**, **US 3628383**, **US 3664196**, **US 3775684** și **US 3926059**, brevetele
20 EP nr. **EP 0247247 A1** și **EP 0274201 A1**, precum și brevetul **WO 1998050794 A1**.

21 De asemenea, se cunosc metode de măsurare a accelerației imprimate unei structuri
22 mecanice asupra căreia acționează o forță folosind dispozitive utilizând fibre optice ca
23 senzor, ca transductor ale unor deformații mecanice induse de forța aplicată. Fibrele optice
24 pot fi utilizate ca atare, fiind atașate unei mase inerțiale, fiind urmărită variația transmitanței
25 acestora la diverse lungimi de undă. În acest sens amintim brevetele S.U.A. nr. **US 4376390**
26 și **US 8770024 B1** precum și brevetul **WO 2004109299 A2**. O a doua modalitate de utilizare
27 a fibrelor optice simple sau active cu rețele de difracție Bragg induse în miez (de tip
28 Distributed FeedBack Fiber Laser - DFB-FL) constă în înglobarea acestora în montaje
29 interferometrice. Accelerația imprimată de forța exterioară structurii de monitorizat devine și
30 accelerația imprimată masei inerțiale/gravitaționale a dispozitivului de măsurare ceea ce se
31 traduce prin tensiuni mecanice modificând, dezechilibrând montajul interferometric. În acest
32 sens amintim brevetele S.U.A. nr. **US 20040046111 A1** și **US 8079261 B2**.

33 Dezavantajele principale ale acestor soluții constau în faptul că necesită costuri mari
34 de fabricație, fiind folosite componente optice, mecanice, electronice și optoelectronice
35 scumpe, unele folosind și acoperiri cu straturi subțiri, de mare precizie asamblate în condiții
36 speciale, în faptul că, date fiind principiile de funcționare și, implicit, tehnologia de fabricație,
37 soluțiile mai sus menționate nu pot fi miniaturizate sub o anumită limită de volum și deci nu
38 au o flexibilitate prea mare de montare pe structuri mecanice de monitorizat.

39 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în determinarea accelerației
40 imprimate unei structuri mecanice de către o forță exterioară aplicată acesteia într-un mod
41 neinvaziv.

42 Senzorul optoelectronic interferometric cu fibră optică pasivă de tip Twin-LPG pentru
43 determinarea accelerației unei structuri mecanice prin măsurarea variațiilor de putere optică
44 a fasciculului incident pe fotodetector, variații produse de deplasările spectrale ale structurilor
45 hiperfine de franje de interferență generate de modificarea lungimii fibrei optice prin
46 alungire/compresie sub efectul accelerației ce se determină, conform invenției, este alcătuit
47 dintr-un LED superluminiscent care emite o radiație luminoasă, cu o putere de 5-20 mW și
o lărgime spectrală de 100-250 nm, cu maximul de emisie la o lungime de undă situată în

RO 132004 B1

domeniul 1300-1600 nm, un circulator, o fibră optică cu ansamblul Twin-LPG, format din două structuri LPG (rețea de perioadă lungă) identice, plaste la o anumită distanță între ele, care este introdusă într-un tub umplut cu un gel siliconic, un disc inerțial cu o masă de 1-5 g, centrul discului fiind lipit de capătul liber al fibrei optice, ansamblu care poate culisa fără să se rotească în tubul umplut cu gel, permițând astfel măsurarea accelerației de-a lungul axei fibrei optice, un fotodetector și amplificatorul său prin care se transformă variațiile de putere optică ale radiației luminoase în al cărei spectru au fost induse structurile hiperfine de franje de interferență prin dublul parcurs optic prin datorită alungirii/compresiei fibrei sub efectul accelerației în semnal electric, un convertor analog-digital, care transformă semnalul electric analogic în semnal digital, o placă achiziție date care preia semnalul digital și îl transformă în date de intrare pentru un PC și un PC pentru prelucrarea datelor în vederea calculării accelerației.

Senzorul conform invenției înlătură dezavantajele arătate mai înainte prin aceea că nu implică costuri mari de fabricație (nu se folosesc componente optice, acoperiri cu straturi subțiri depuse pe suprafețele optice active și nici piese mecanice fine, ce ar necesita o asamblare de precizie), dimensiunile sale sunt foarte mici, permițând evaluarea directă a accelerației imprimate unei structuri mecanice în care este montat de către o forță aplicată acesteia. Determinarea accelerației imprimate unei structuri mecanice de către o forță exterioară aplicată acesteia într-un mod neinvaziv, se face determinând accelerația imprimată unei mase inerțiale mici ce poate culisa pe o direcție dată, prin evaluarea modificărilor celor două căi optice ale unui interferometru cu fibră optică de tip Twin-LPG.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

- permite realizarea unui senzor optoelectronic interferometric cu fibră optică pasivă de tip Twin-LPG de mare sensibilitate, cu o rezoluție foarte fină, de dimensiuni foarte mici și cu o mare versatilitate în ceea ce privește montarea în cadrul structurilor mecanice de monitorizat;

- este extrem de eficientă în ceea ce privește costurile de fabricație.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu figurile care reprezintă:

- fig. 1 este prezentată schematic, funcționarea senzorului de tip Twin-LPG;

- fig. 2 este prezentat schematic senzorul optoelectronic interferometric cu fibră optică pasivă de tip Twin-LPG;

- fig. 3 este prezentat ca detaliu suportul inerțial cu fibra Twin-LPG montată.

Elementul principal al senzorului conform invenției, în legătură cu fig. 1, constă în utilizarea unui senzor optoelectronic interferometric de tip Twin-LPG pentru determinarea accelerației imprimate unei structuri mecanice. Senzorul optoelectronic interferometric de tip Twin-LPG constă din două rețele identice de difracție de tip LPG (Long Period Grating), fiecare având lungimea L și perioada Λ , imprimate în miezul unei fibre optice monomod prin iradiere cu un fascicul laser cu emisie lungime de undă de emisie în UV sau pe suprafața exterioară a învelișului unei fibre optice monomod prin procesare termică cu arc electric sau iradiere cu un fascicul laser CO_2 și aflate la distanța L_{CAV} una de cealaltă. Cele două LPG formează un interferometru, denumit Twin-LPG, având lungimea cavității L_{CAV} . La un capăt al fibrei optice mono mod în care este fabricat montajul interferometric Twin-LPG este atașată masa inerțială/gravitațională care poate culisa într-un ghidaj cilindric. Se cunoaște din literatură faptul că principalul efect al unei LPG pe care este incidentă o radiație electromagnetică având o distribuție spectrală dată, cu o lungime de undă corespunzătoare maximului

RO 132004 B1

1 de intensitate și o anumită lărgime spectrală, constă în apariția unor benzi de absorbție în
această distribuție spectrală. Lărgimile acestor benzi de absorbție sunt de ordinul zecilor de
3 nm. Maximele acestor benzi de absorbție λ^i sunt definite prin ecuația:

$$\lambda^i = (n_{eff}^i - n_{clad}^i) \cdot \Lambda \quad (1)$$

5 unde n_{eff} este indicele de refracție efectiv la lungimea de undă a radiației ce se propagă prin
7 miezul fibrei optice, n_{clad} este valoarea indicelui de refracție efectiv de propagare prin
învelișul fibrei optice corespunzător modului i iar Λ este perioada LPG. Fenomenul fizic
9 datorită căruia se produce apariția benzilor de absorbție în spectrul de transmisie al luminii
prin miezul fibrei optice monomod este, ca rezultat al împrăștierii pe rețeaua de difracție,
11 cuplajul modului de propagare prin miezul fibrei optice cu modurile posibile de propagare prin
învelișul fibrei optice. Energia electromagnetică a modului fundamental ce se propagă prin
13 miezul fibrei optice este transferată modurilor posibile de propagare prin învelișul fibrei optice
pentru care coeficientul tangențial de cuplaj $K_t^{clad-core}$ este maxim. $K_t^{clad-core}$ este definit
15 prin relația:

$$K_t^{clad-core} = \omega \cdot \iint dx \cdot dy \cdot \Delta \epsilon \cdot E_{t-core} \cdot E_{t-clad}^* \quad (2)$$

17 unde ω este frecvența optică a radiației electromagnetice, $\Delta \epsilon$ este variația constantei
19 dielectrice a miezului fibrei optice corespunzătoare variației indicelui de refracție în LPG, x
și y sunt variabile de integrare transversale față de axa fibrei optice iar E_{t-core} este intensitatea
21 câmpului electric al radiației electromagnetice care se propagă prin miez. Utilizarea ca
senzor a unui LPG se bazează pe splitarea și/sau shiftarea acestor benzi de absorbție.
23 Datorită lărgimilor lor spectrale, rezoluția unor senzori folosind LPG unice are o valoare care
poate să fie mult îmbunătățită. Această îmbunătățire a rezoluției senzorilor folosind LPG se
25 poate face prin cuplarea, prin înserierea, pe aceeași fibră optică mono mod, a două sau chiar
trei LPG. Astfel, între două LPG inscripționate una după alta în miezul aceleiași fibre optice
27 se formează un interferometru cu o anumită lungime a cavității, L_{CAV} . O parte din radiația ce
se propagată prin miezul fibrei optice este cuplată în învelișul acesteia la incidența pe primul
29 LPG, propagându-se spre a doua LPG, prin învelișul fibrei ca whispering modes, partea
rămasă continuându-și propagarea prin miez, de asemenea, spre a doua LPG. Aceeași
31 fracțiune din puterea optică este recuplată la modul fundamental ce se propagă prin miez.
Această recuplare va cauza interferența dintre radiația care s-a propagat prin înveliș cu
33 aceea a modului fundamental care s-a propagat neperturbată prin miez. Datorită acestei
interferențe o serie de franje spectrale hiperfine se formează în fiecare dintre benzile largi
35 de absorbție caracteristice fiecăreia dintre cele două LPG considerată independent.

Se poate observa faptul că utilizarea ca senzor a unui interferometru cu fibră optică
37 monomod pasivă de tip Twin-LPG se bazează pe observarea modificărilor L_{CAV} și L datorate
unor acțiuni exterioare fibrei optice monomod, cum ar fi forțe de alungire aplicate la un capăt
39 al acesteia. Modificările L_{CAV} și L datorate unei forțe de deformare, alungire sau comprimare,
a fibrei optice monomod aplicată pe direcția longitudinală vor induce deplasări spectrale ale
41 structurilor hiperfine de franj e de interferență ce pot fi monitorizate cu un fotodetector. De
asemenea, se poate observa că finețea structurilor hiperfine de franj e de interferență care
43 se formează în benzile de absorbție caracteristice fiecărei LPG considerată independent
poate să fie mărită prin asigurarea unui dublu parcurs al radiației prin interferometrul format
45 de cele două rețele de difracție ale Twin-LPG. Acest dublu parcurs se realizează asigurând
ca un anumit procent din radiația luminoasă transmisă de ansamblul Twin-LPG să se
47 propage înapoi prin acesta datorită unei reflexii pe capătul liber al fibrei optice. Distanța, în
lungul fibrei optice, dintre capătul liber al fibrei optice și ansamblul Twin-LPG nu determină
49 structurile hiperfine de franj e de interferență care se formează datorită acestui dublu parcurs
optic al radiației luminoase prin ansamblul Twin-LPG.

RO 132004 B1

Determinarea accelerației unei structuri mecanice se face prin măsurarea variațiilor de putere optică a fasciculului incident pe fotodetector, variații produse de deplasările spectrale ale structurilor hiperfine de franje de interferență generate de modificarea lungimii fibrei optice (implicit și a lungimilor L_{CAV} și L) prin alungire/compresie sub efectul accelerației ce se determină, transmisă fibrei printr-un disc inerțial.

Senzorul optoelectronic interferometric cu fibră optică pasivă de tip Twin-LPG pentru determinarea accelerației este alcătuit dintr-un LED superluminiscent care emite o radiație luminoasă cu o putere de 5-20 mW și o lărgime spectrală de 100-250 nm, cu maximum de emisie în domeniul 1300-1600 nm, un circulator, care permite trecerea radiației luminoase dinspre LED-ul superluminiscent spre o fibră optică cu ansamblul Twin-LPG care este introdusă într-un tub umplut cu un gel siliconic și care are capătul lipit de centrul unui disc inerțial cu o masă de 1-5 g care poate culisa fără să se rotească într-un tub umplut cu un gel siliconic, și a radiației luminoase, în al cărei spectru au fost induse structurile hiperfine de franje de interferență prin dublul parcurs optic prin ansamblul Twin-LPG datorită alungirii/compresiei fibrei sub efectul accelerației, dinspre ansamblul Twin-LPG spre un fotodetector și amplificatorul său prin care se transformă variațiile de putere optică în semnal electric, un convertor analog-digital, care transformă semnalul electric analogic în semnal digital, o placă achiziție date, care preia semnalul digital și îl transformă în date de intrare pentru un PC și un PC pentru prelucrarea datelor în vederea calculării accelerației.

În fig.1 este prezentată, de la stânga la dreapta, propagarea fasciculului emis de un LED superluminiscent în miezul fibrei optice monomod, împrăștierea unei părți din fasciculul emis de LED pe prima rețea de difracție LPG de lungime L , modurile radiației fundamentale și împrăștiate fiind figurate prin săgeți mici negre, propagarea acestor părți de radiație, adică a modului fundamental și a celor împrăștiate, în paralel, pe distanța L_{CAV} , prin miezul fibrei modul fundamental și prin învelișul fibrei, adică prin volumul cilindric adiacent miezului, ca whispering modes, a modurilor împrăștiate, recuplarea la modul fundamental, prin interferență, la întâlnirea celei de a doua LPG, a modurilor împrăștiate.

O formă preferată de realizare a invenției se prezintă în continuare, în legătură cu fig. 2 și 3. Senzorul optoelectronic interferometric cu fibră optică pasivă de tip Twin-LPG este alcătuit dintr-un LED **1** superluminiscent care emite o radiație luminoasă, cu o putere de 5-20 mW și o lărgime spectrală de 100-250 nm, cu maximum de emisie la o lungime de undă situată în domeniul 1300-1600 nm, un circulator **2** care permite trecerea radiației luminoase dinspre LED-ul **1** superluminiscent spre o fibră **3** optică cu ansamblul Twin-LPG care este introdusă într-un tub **4** umplut cu un gel **5** siliconic și care are capătul lipit de centrul unui disc **6** inerțial cu o masă de 1-5 g care poate culisa fără să se rotească în tubul **4** umplut cu un gel siliconic și a radiației luminoase, în al cărei spectru au fost induse structurile hiperfine de franje de interferență datorită alungirii/compresiei fibrei sub efectul accelerației, prin dublul parcurs optic prin fibră **3**, dinspre ansamblul Twin-LPG spre un fotodetector **7** și amplificatorul său, prin care se transformă variațiile de putere optică în semnal electric, un convertor **8** analog-digital, care transformă semnalul electric analogic în semnal digital, o placă **9** achiziție date, care preia semnalul digital și îl transformă în date de intrare pentru un PC **10** și un PC **10** pentru prelucrarea datelor în vederea calculării accelerației.

RO 132004 B1

Revendicare

1

3

5

7

9

11

13

15

17

19

21

Senzor optoelectronic interferometric cu fibră optică pasivă de tip Twin-LPG pentru determinarea accelerației unei structuri mecanice prin măsurarea variațiilor de putere optică a fasciculului incident pe fotodetector, variații produse de deplasările spectrale ale structurilor hiperfine de franje de interferență generate de modificarea lungimii fibrei optice prin alungire/compresie sub efectul accelerației ce se determină, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-un LED (1) superluminiscent care emite o radiație luminoasă, cu o putere de 5-20 mW și o lărgime spectrală de 100-250 nm, cu maximul de emisie la o lungime de undă situată în domeniul 1300-1600 nm, un circulator (2), o fibră (3) optică cu ansamblul Twin-LPG, format din două structuri LPG identice, plaste la o anumită distanță între ele, care este introdusă într-un tub (4) umplut cu un gel (5) siliconic, un disc (6) inerțial cu o masă de 1-5 g, centrul discului (6) fiind lipit de capătul liber al fibrei (3) optice, ansamblu care poate culisa fără să se rotească în tub (4), permițând astfel măsurarea accelerației de-a lungul axei fibrei (3) optice, un fotodetector (7) și amplificatorul său prin care se transformă variațiile de putere optică ale radiației luminoase în al cărei spectru au fost induse structurile hiperfine de franje de interferență prin dublul parcurs optic prin fibra (3) optică datorită alungirii/compresiei fibrei sub efectul accelerației în semnal electric, un convertor analog-digital (8), care transformă semnalul electric analogic în semnal digital, o placă achiziție date (9) care preia semnalul digital și îl transformă în date de intrare pentru un PC (10) care prelucrează datele în vederea calculării accelerației.

(51) Int.Cl.

G01P 15/093^(2006.01);

G01L 1/24^(2006.01)

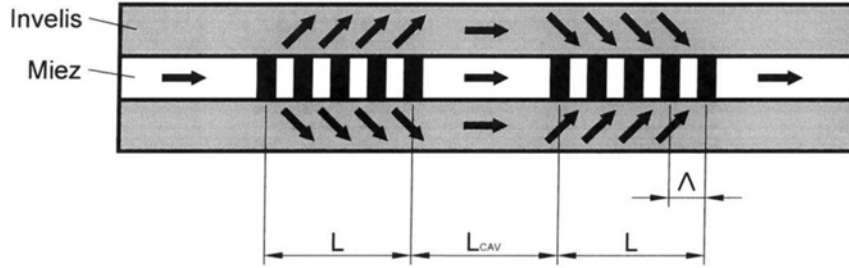


Fig. 1

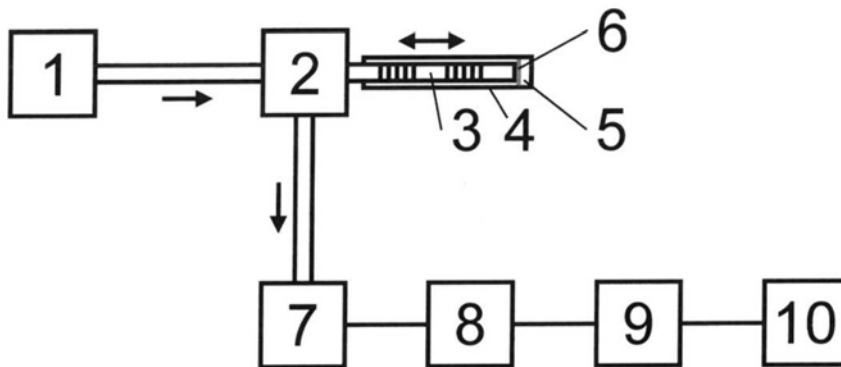


Fig. 2

(51) Int.Cl.

G01P 15/093^(2006.01),

G01L 1/24^(2006.01)

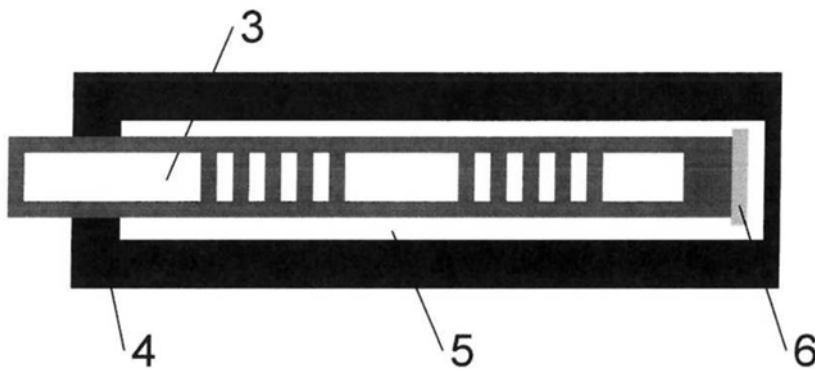


Fig. 3



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
Tipărit la Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci
sub comanda nr. 15/2022