



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2020 00580

(22) Data de depozit: 14/09/2020

(41) Data publicării cererii:
30/03/2022 BOPI nr. 3/2022

(71) Solicitant:
• 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, AP.42, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO;

• LĂNCRĂNȚAN 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;
• BAȘCHIR LAURENȚIU AURELIAN,
STR.THEODOR PALLADY, NR.43C, BL.1,
SC.1, AP.11, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B,
RO;
• TĂUTAN MARINA, STR.EMIL RACOVITĂ
NR.6, BL.R 1, SC.2, AP.45, SECTOR 4,
BUCUREȘTI, B, RO

(54) **SENZOR OPTOELECTRONIC INTERFEROMETRIC CU FIBRĂ
OPTICĂ PASIVĂ DE TIP SILPG PENTRU DETERMINAREA
STĂRII DE SANĂTATE A STRUCTURILOR MECANICE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un senzor optoelectronic interferometric de tip SILPG (Self-Interference Long Period Grating) pentru determinarea stării de sănătate a structurilor mecanice prin măsurarea deplasărilor spectrale ale structurilor hiperfine de franje de interferență create în benzile de absorbție ale spectrului de transmisie al fibrei optice SILPG induse de efortul mecanic. Senzorul conform invenției cuprinde un interogator (1) de fibră optică care emite un fascicul de lumină cu o putere de 1...10 mW, cu o bandă spectrală largă având maximul de emisie la o lungime de undă situată în domeniul 1300...1600nm și care are rolul de a analiza deplasarea spectrală a structurii hiperfine indusă de efortul mecanic ce trebuie monitorizat, o fibră (2) optică monomod în miezul căreia s-a realizat o rețea (3) de difracție de perioadă lungă (LPG), fibră (2) a cărei acoperire de protecție a fost îndepărtată pe o porțiune ce încadrează și este mai mare decât LPG și la capătul căreia a fost depusă o oglindă (4), fibra (2) fiind montată pe sau într-o piesă din structura (5) mecanică asupra căreia se exercită un efort mecanic ce trebuie măsurat, efort ce produce o modificare în spectrul fasciculului reflectat înapoi de către oglindă (4) în intero-

gatorul (1) de fibră optică unde semnalul optic recepționat este transformat în semnal electric, pre-procesat și transmis către un PC sau laptop (6) pentru prelucrarea datelor în vederea calculării efortului mecanic.

Revendicări: 1
Figuri: 2

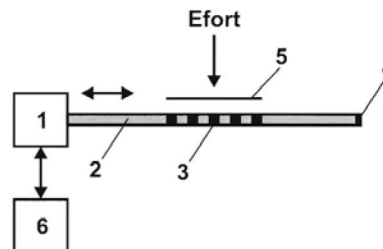


Fig. 2



SENZOR OPTOELECTRONIC INTERFEROMETRIC CU FIBRĂ OPTICĂ PASIVĂ DE TIP SILPG PENTRU DETERMINAREA STĂRII DE SĂNĂTATE A STRUCTURILOR MECANICE

Invenția se referă un senzor optoelectronic interferometric de tip SILPG (Self-Interference Long Period Grating) constituit în miezul unei fibre optice monomod pasive pe o rețea de difracție de tip LPG (Long Period Grating) pentru determinarea stării de sănătate a structurilor mecanice.

Se cunoaște din literatură faptul că pentru construcția și utilizarea structurilor mecanice de tipul aeronavelor, navelor maritime sau fluviale, automobilelor sau a instalațiilor industriale este esențială monitorizarea, așa cum este în general definită, a stării de sănătate, adică, în ultimă instanță, măsurarea tensiunilor mecanice create din perioada fabricației/ construcției în interiorul acestor structuri. Criteriul de departajare dintre regimurile funcțional-nefuncțional pentru structurile mecanice analizate constă în determinarea prin măsurare cu o acuratețe cât mai mare a depășirii unei valori maxime admisibile date a tensiunilor mecanice.

Se cunosc senzori folosiți la determinarea stării de sănătate a structurilor mecanice ce folosesc dispozitive de tipul interferometrelor optice în diferite forme de montaje interferometrice (Michelson, Mach-Zehnder sau Fabry-Pérot), folosind principiile interferometriei optice pentru măsurarea tensiunilor mecanice existente create în componente mecanice ale structurilor de monitorizat. Dispozitivele de acest tip funcționează pe baza detectării și măsurării diferențelor dintre două drumuri optice, de referință și de măsurare, de lungime optică egală în momentul inițial, lungimea drumului optic de măsurare modificându-se datorită tensiunilor mecanice de măsurat. Dispozitivele de acest tip se caracterizează și prin faptul că o componentă optică, în mod uzual o oglindă de pe calea optică de măsurare, este montată pe piesa în care se măsoară tensiunile mecanice. În acest sens amintim brevetele S.U.A. nr. US4225236, US7738108B2, US20050179906A1, US20090122383A1 precum și brevetele WO nr. 1987002448A1, 1993014374A1 și 2003078946A1.

Dezavantajele principale ale acestor soluții constau în costurile mari de fabricație (fiind folosite componente optice, optoelectronice, ambele categorii de componente folosind acoperiri cu straturi subțiri depuse pe suprafețele optice active, precum și piese mecanice fine de mare precizie asamblate în condiții speciale), în faptul că dispozitivele de acest tip nu pot fi miniaturizate sub o anumită limită de volum și în faptul că pot fi utilizate numai montate pe suprafața pieselor/componentelor structurii mecanice a cărei stare de sănătate este de monitorizat.

Senzorul optoelectronic interferometric de tip SILPG conform invenției înlătură dezavantajele de mai sus 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 și poate fi înglobat chiar în materialul componentei care este monitorizată (de exemplu, în materiale compozite).

Problema tehnică pe care prezenta invenție își propune să o rezolve constă în monitorizarea sănătății structurilor mecanice prin măsurarea tensiunilor apărute în aceste structuri folosind un senzor optoelectronic interferometric de tip SILPG de volum mic și care să poată fi montat înglobat în structura monitorizată, prin măsurarea variațiilor de putere optică a fasciculului incident pe fotodetector, variații produse de modificarea caracteristicilor structurii hiperfine din banda de absorbție caracteristică generată de efortul aplicat.

Un senzor interferometric de tip SILPG se bazează pe utilizarea unei rețele de difracție de tip LPG de o anumită lungime L și având perioada Λ creată în miezul unei fibre optice mono mod. 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 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 nm. Maximele acestor benzi de absorbție λ^i sunt definite prin ecuația:

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

unde n_{eff} este indicele de refracție efectiv la lungimea de undă a radiației ce se propagă prin miezul fibrei optice, n_{clad}^i este valoarea indicelui de refracție efectiv de propagare prin învelișul fibrei optice corespunzător modului i iar Λ este perioada LPG. Fenomenul fizic ce se produce se poate analiza ca și cuplajul, ca rezultat al împrăstierii pe rețeaua de difracție, modului de propagare prin miezul fibrei optice cu modurile posibile de propagare prin învelișul fibrei optice. Energia electromagnetică a modului ce se propagă prin miezul fibrei optice este transferată modurilor posibile de propagare prin învelișul fibrei optice pentru care coeficientul tangențial de cuplaj $\kappa_i^{clad-core}$ este maxim. $\kappa_i^{clad-core}$ este definit prin relația:

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

unde ω este frecvența optică a radiației electromagnetice, $\Delta \varepsilon$ este variația constantei 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 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. 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 poate face prin cuplarea, prin inserierea, 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 se formează un interferometru cu o anumită lungime a cavității, L_{CAV} . O parte din radiația ce se propagă prin miezul fibrei optice este cuplată în învelișul acesteia la incidența pe primul 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 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 aceea a modului fundamental care s-a propagat neperturbată prin miez. Datorită acestei interferențe o serie de franje spectrale fine se formează în banda largă de absorbție caracteristică LPG izolate. Același efect de formare a unei structuri hiperfine de linii în banda largă de absorbție caracteristică a unei LPG izolate se poate obține impunând radiației luminoase transmise prin LPG o inversare a sensului de propagare prin fibra optică, inversarea fiind echivalentă cu modificarea cu $-\pi$ a fazei unei electromagnetice care se propagă prin fibra optică. Această inversare a sensului de propagare fibra optică a luminii se poate realiza printr-o reflexie pe o oglindă 100%, adică având un coeficient aproximativ unitar de reflexie) montată transversal față de axa fibrei optice la o distanță $L_{CAV}/2$ care asigură modificarea cu $-\pi$ a fazei unei electromagnetice care se propagă prin fibra optică și care ajunge acum să fie incidentă pe LPG din capătul opus față de situația inițială.

Senzorul optoelectronic interferometric de tip SILPG conform invenției, în legătură cu Fig. 1, permite realizarea unui montaj interferometric cu o anumită lungime a cavității, L_{CAV} , în interiorul unei fibre optice monomod folosind o LPG izolată impunând prin reflexie pe o oglindă de pe suprafața capătului liber al fibrei optice aflat la o distanță $L_{CAV}/2$ de LPG recuplarea la modul fundamental ce se propagă prin miezul fibrei optice a fracțiunii din puterea optică ce se propagă prin învelișul fibrei optice după incidența pe LPG.

Senzorul optoelectronic interferometric de tip SILPG este alcătuit, în legătură cu Fig. 2, dintr-un Interogator de fibră optică (1), o fibră optică (2) monomod în miezul căreia s-a realizat o rețea de difracție de perioadă lungă (LPG) (3), la capătul căreia a fost depusă o oglindă de 100 % (4), fibră montată pe sau în piesa din structura mecanică (5) asupra căreia se exercită un

efort mecanic ce trebuie măsurat, și un PC sau laptop (6) pentru prelucrarea datelor în vederea calculării efortului mecanic ce se măsoară.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

- Permite realizarea unui senzor optoelectronic interferometric cu fibră optică SILPG 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.

În Fig. 1 este prezentată schematic, funcționarea senzorului de tip SILPG. În Fig. 1 a) este prezentată propagarea fasciculului emis de un LED superluminiscent în miezul (1) al fibrei optice, împrăștierea unei părți din fasciculul emis de LED pe rețeaua de difracție LPG de lungime L și propagarea acestei părți din radiație în învelișul (2) al fibrei optice, prin volumul cilindric adiacent miezului, ca whispering mode, reflectarea ambelor fascicule (T_{CO} – cel prin miez și T_{CL} – cel prin înveliș) de către oglinda de argint (3) de pe capătul liber al fibrei, aflată la distanța $L_{CAV}/2$ de rețeaua LPG, unde L_{CAV} este lungimea cavității. În Fig. 1 b) este prezentat drumul înapoi al fasciculelor reflectate de oglinda (3) până la ieșirea din fibră. În Fig. 2 este prezentat schematic senzorul.

O formă preferată de realizare a invenției se prezintă în continuare, în legătură cu fig. 2. Senzorul optoelectronic interferometric de tip SILPG realizat conform invenției este alcătuit dintr-un alcătuit dintr-un Interogator de fibră optică (1) care emite un fascicul de lumină cu o putere de 1-10 mW, cu o bandă spectrală largă având maximul de emisie la o lungime de undă situată în domeniul 1300-1600 nm și care are și rolul de a analiza deplasarea spectrală a structurii hiperfine indusă de efortul mecanic ce trebuie monitorizat, o fibră optică (2) monomod în miezul căreia s-a realizat o rețea de difracție de perioadă lungă (LPG) (3), fibră a cărei acoperire de protecție a fost îndepărtată pe o porțiune ce încadrează și este mai mare decât LPG și la capătul căreia a fost depusă o oglindă de 100 % (4), fibră montată pe sau în piesa din structura mecanică (5) asupra căreia se exercită un efort mecanic ce trebuie măsurat, efort ce produce o modificare în spectrul fasciculului reflectat înapoi de către oglinda (4) în Interogatorul de fibră optică (1), unde semnalul optic recepționat este transformat în semnal electric, pre-procesat și trimis către un PC sau laptop (6) pentru prelucrarea datelor în vederea calculării efortului mecanic ce se măsoară.

REVENDICĂRI

Senzor optoelectronic interferometric cu fibră optică pasivă de tip SILPG pentru determinarea stării de sănătate a structurilor mecanice prin măsurarea deplasărilor spectrale ale structurilor hiperfine de franje de interferență create în benzile de absorbție ale spectrului de transmisie al fibrei optice SILPG induse de efortul mecanic, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-un **Interogator de fibră optică (1)** care emite un fascicul de lumină cu o putere de 1-10 mW, cu o bandă spectrală largă având maximul de emisie la o lungime de undă situată în domeniul 1300-1600 nm și care are și rolul de a analiza deplasarea spectrală a structurii hiperfine indusă de efortul mecanic ce trebuie monitorizat, o **fibră optică (2)** monomod în miezul căreia s-a realizat o rețea de difracție de perioadă lungă (**LPG**) (**3**), fibră a cărei acoperire de protecție a fost îndepărtată pe o porțiune ce încadrează și este mai mare decât **LPG** și la capătul căreia a fost depusă o **oglină** de 100 % (**4**), fibră montată pe sau în **piesa din structura mecanică (5)** asupra căreia se exercită un efort mecanic ce trebuie măsurat, efort ce produce o modificare în spectrul fasciculului reflectat înapoi de către **oglină (4)** în **Interogatorul de fibră optică (1)**, unde semnalul optic recepționat este transformat în semnal electric, pre-procesat și trimis către un **PC** sau **laptop (6)** pentru prelucrarea datelor în vederea calculării efortului mecanic ce se măsoară.

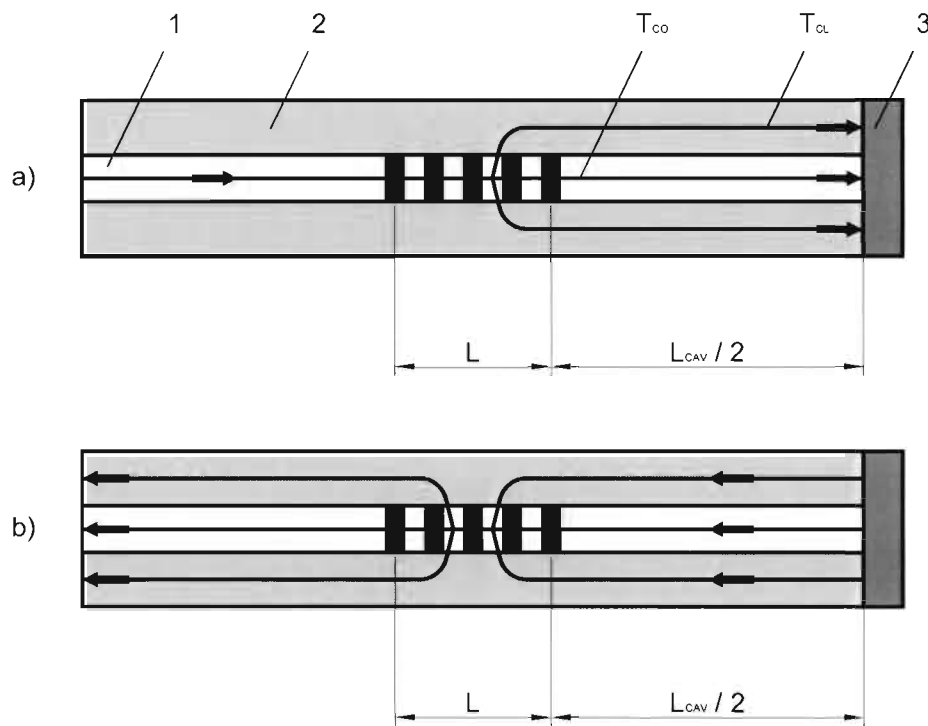


Fig. 1

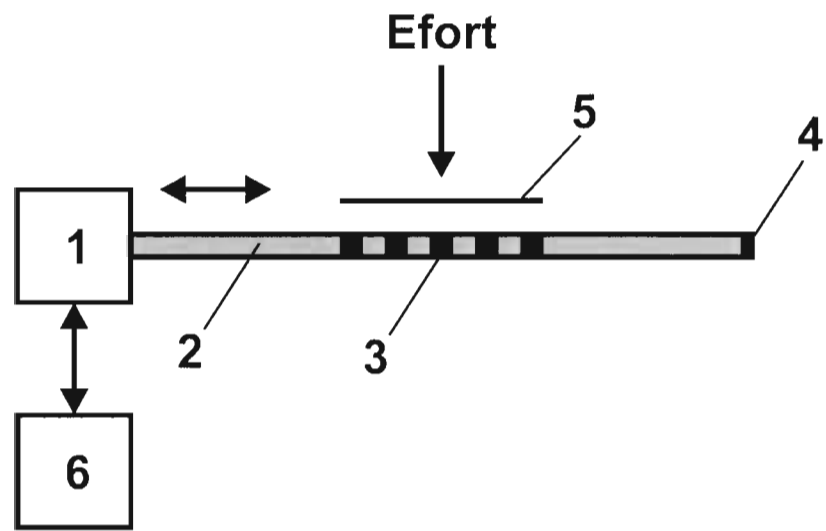


Fig. 2