



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2011 00424**

(22) Data de depozit: **04.05.2011**

(41) Data publicării cererii:
28.12.2012 BOPi nr. **12/2012**

(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;**
• **TĂUTAN MARINA NICOLETA,
STR.EMIL RACOVITĂ NR.6, BL.R1, SC.2,
AP.45, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO**

(54) **METODĂ ȘI DISPOZITIV PENTRU MONITORIZAREA
SĂNĂTĂȚII STRUCTURILOR MECANICE AERONAUTICE
FOLOSIND UN SENZOR OPTOELECTRONIC DE TIP FIBRĂ
OPTICĂ ACTIVĂ AVÂND O MODULAȚIE SPAȚIALĂ A
INDICELUI DE REFRAȚIE AL MIEZULUI**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un dispozitiv pentru monitorizarea sănătății structurilor mecanice aeronautice, fără a le afecta caracteristicile de zbor sau de utilizare. Metoda conform invenției constă în folosirea unei diode laser de pompaj, ce injectează o radiație laser de pompaj cu o anumită distribuție spectrală a puterii printr-un multiplexor, cu divizarea lungimii de undă în fibra optică monomod, dopată cu ioni de erbiu trivalent Er^{3+} , în al cărei miez este indusă o rețea Bragg de difracție, ce asigură, prin reflexie, reacția distribuită, necesară generării efectului laser cu o distribuție spectrală diferită de aceea a radiației laser de pompaj, și care variază în funcție de mărirea forței aplicate fibrei optice, forță corespunzătoare tensiunii mecanice create în structura mecanică de monitorizat. Dispozitivul conform invenției este alcătuit dintr-o diodă (1) laser, un multiplexor (2) cu divizarea lungimii de undă, o fibră optică în al cărei miez este indusă o rețea Bragg (3), o fotodiodă (4), un amplificator (5), un sistem (6) de achiziție de date și un computer (7).

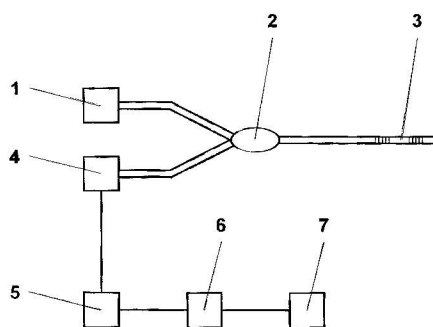


Fig. 2

Revendicări: 2
Figuri: 2



20

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 2011 00424
Data depozit 04-05-2011.

**METODĂ ȘI DISPOZITIV PENTRU MONITORIZAREA SĂNĂTĂȚII
STRUCTURILOR MECANICE AERONAUTICE FOLOSIND UN SENZOR
OPTOELECTRONIC DE TIP FIBRĂ OPTICĂ ACTIVĂ AVÂND O MODULAȚIE
SPAȚIALĂ A INDICELUI DE REFRACTIE AL MIEZULUI**

Invenția se referă la o metodă de monitorizare a sănătății structurilor mecanice aeronautice prin măsurarea tensiunilor mecanice apărute în aceste structuri folosind un senzor optoelectronic cu fibră optică activă dopată cu ioni de Er^{3+} având o modulație spațială a indicelui de refracție al miezului acesteia dopat cu ioni de erbium și la un dispozitiv care aplică metoda.

Se cunoaște din literatură faptul că noțiunea de sănătate a structurilor mecanice aeronautice este exprimată prin mărimea tensiunilor mecanice apărute în aceste structuri. De asemenea, se cunoaște din literatură faptul că în structurile mecanice aeronautice realizate din materiale metalice și/sau compozite, din fabricație și/sau din cauza exploatării, apar tensiuni mecanice având ca rezultat final deteriorări ireversibile care pot periclita siguranța zborului aeronavelor. Aceste tensiuni mecanice sunt datorate, în principal, microdefectelor având dimensiuni de ordinul micronilor sau mai mici apărute în structurile mecanice aeronautice datorită tehnologiei de fabricație sau datorită solicitărilor din timpul zborului, în mod deosebit datorită suprasolicitărilor legate de manevre bruște efectuate din cauza condițiilor de zbor mult diferite de cazul ideal.

Se cunosc dispozitive construite pe baza unor metode ce se bazează pe modificarea rezistivității electrice a unui material sub acțiunea deformărilor mecanice induse de tensiunile apărute în structurile mecanice. Dispozitivele ce aplică aceste metode utilizează cristale piezoelectrice sau semiconductoare sau din straturi rezistive electric depuse pe substraturi de sticlă cristalizată pe un suport metalic, dispozitive ce se lipesc folosind diverși adezivi pe structurile mecanice de monitorizat. Aceste metode se caracterizează printr-o sensibilitate limitată și pe folosirea de semnale electrice de excitare sau de ieșire aplicate pieselor mecanice de monitorizat având diverse frecvențe, existând astfel posibilitatea de apariție a interferenței câmpurilor electromagnetice din aeronavă și din aerul prin care zboară aceasta, situație periculoasă în cazul furtunilor. Aceste metode sunt caracterizate de timpi de propagare a semnalului util mai mari decât cei caracteristici folosirii de dispozitive optoelectronice, fapt ce poate deveni important în condiții de zbor nefavorabile. În acest sens amintim brevetele

acesteia. Ideea principală a metodei conform invenției constă în folosirea sensibilității extreme a rezonatorului laser distribuit al unei structuri DFB-FL sub acțiunea forțelor care modifică parametrii geometrici și optici (variații neliniare ale indicelui de refracție) ai fibrei optice monomod. Aceste forțe sunt induse de tensiunile mecanice create în structurile mecanice aeronautice de monitorizat. Măsurarea variațiilor de putere laser pentru oricare din cele două fascicule laser emise de senzorul optoelectronic de tip DFB-FL permite evaluarea forțelor aplicate fibrei optice și deci a tensiunilor mecanice din structurile mecanice aeronautice monitorizate.

Problema tehnică pe care prezenta invenție își propune să o rezolve constă în monitorizarea stării structurilor mecanice aeronautice prin măsurarea tensiunilor mecanice apărute în aceste structuri folosind un senzor optoelectronic constituit dintr-un emițător laser de tip DFB-FL înglobat în interiorul componentelor mecanice ale acestor structuri aeronautice sau lipit intim, ferm pe aceste componente mecanice, inclusiv în șanțulețe, degajări practicate în aceste componente mecanice, folosind metoda descrisă mai înainte. În funcție de situațiile concrete de aplicare, pozițiile în care sunt amplasați senzorii cu fibră optică activă cu rețea Bragg în și/sau pe structurile mecanice de monitorizat sunt evaluate din faza de proiectare, ca rezultate ale calculelor de rezistența materialelor.

Se cunoaște din literatură faptul că funcționarea unui senzor optoelectronic de tip DFB-FL poate fi descrisă riguros prin considerarea unor relații care definesc parametrii de emisie ai emițătorului laser DFB-FL. Astfel, în ecuația (1) este definită legea de distribuție a indicelui de refracție, $n(z)$, caracteristică rețelei de difracție Bragg:

$$n(z) = n_{co} + \delta n \left[1 + \cos \left(\frac{2\pi z}{\Lambda} \right) \right] \quad (1)$$

unde δn este amplitudinea modulației spațiale a indicelui de refracție al miezului fibrei optice, n_{co} este valoarea indicelui de refracție al miezului fibrei optice iar Λ este perioada de modulație spațială a indicelui de refracție al miezului fibrei optice. În ecuația (2) este definită lungimea de undă Bragg, λ_B , adică valoarea lungimii de undă la care se găsește maximul distribuției spectrale a unei rețele de difracție Bragg:

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

unde n_{eff} este valoarea efectivă a indicelui de refracție al miezului fibrei optice, de o valoare puțin mai mică decât valoarea indicelui de refracție al sticlei optice din care este confecționat miezul fibrei optice, fiind obținută prin rezolvarea numerică a ecuației cu valori proprii caracteristică pentru propagarea câmpului electromagnetic prin fibra optică monomod având

un diametru și indice de refracție ale miezului date. Generarea efectului laser de către emițătorul laser de tip DFB-FL poate fi explicată prin rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale cuplate care descriu propagarea câmpului electromagnetic printr-o rețea de difracție Bragg. Apariția semnalului laser este o consecință a faptului că rețeaua Bragg, o structură cu modulație periodică a indicelui de refracție, în conformitate cu teoria propagării câmpului electromagnetic, permite cuplarea radiației luminoase de la modurile de propagare “înainte” (forward modes) prin fibra optică monomod la modurile de propagare “înapoi” (backward modes) prin aceasta. În funcție de structura dată, geometrie și valorile indicelui de refracție, precum și concentrația de ioni Er^{3+} , la o valoare mai mare a puterii de pompaj decât valoarea de prag, se produce un transfer de energie de la subsistemul ionilor Er^{3+} excitați pe nivelul laser superior datorită radiației de pompaj la câmpul electromagnetic care se propagă prin fibra optică având o distribuție spectrală practic identică emisiei de fluorescență a ionilor Er^{3+} , o distribuție spectrală largă, mult mai extinsă decât λ_B . Condiția necesară pentru declanșarea emisiei laser este ca λ_B să aibă o valoare cât mai apropiată de maximul emisiei de fluorescență. Lungimea de undă Bragg corespunde maximului de distribuție a semnalului reflectat de o rețea de difracție Bragg. Este îndeplinită condiția ca, pentru subsistemul ionilor Er^{3+} , emisia stimulată să devină cu ordine de mărime mai mare decât cea de fluorescență, astfel încât devine posibilă emisia laser. Din această analiză calitativă a funcționării unei structuri DFB-FL, se poate observa faptul că orice variație a λ_B , care este inclusă în banda spectrală de fluorescență a ionilor Er^{3+} poate produce modificări semnificative ale puterii laser pentru cele două fascicule posibile de emisie ale unui emițător laser de tip DFB-FL. Cantitativ, această dependență este exprimată prin deplasarea lungimii de undă Bragg, $\delta\lambda_B$ în funcție de tensiunile mecanice din fibra optică, fiind definită prin ecuația:

$$\delta\lambda_B = 2n_e\Lambda\varepsilon_z - 2n_e\Lambda\left[\frac{n_e^2}{2}((p_{11} + p_{12})\varepsilon_r + p_{12}\varepsilon_z)\right] \quad (3)$$

unde ε_z și ε_r sunt componentele longitudinală și tangențială ale tensiunilor mecanice apărute în fibra optică, iar p_{11} și p_{12} sunt coeficienții elasto-optici ai sticlei optice din care este confecționat miezul fibrei optice a emițătorului DFB-FL.

Metoda de monitorizare a sănătății structurilor mecanice aeronautice constă în aceea că se măsoară tensiunile mecanice apărute în aceste structuri folosind un senzor optoelectronic cu fibră optică monomod activă dopată cu ioni Er^{3+} (mediu activ laser) și având o modulație spațială sinusoidală a indicelui de refracție al miezului fibrei optice sub forma unei rețele de difracție Bragg, montată în interiorul materialului structurii mecanice

- Metoda are timpi foarte scurți de reacție, prin intermediul forțelor măsurate, la modificări rapide ale diferiți factori ai mediului de utilizare a structurilor mecanice aeronautice monitorizate, permițând astfel transformarea acestora prin automatizare în timp real în sisteme inteligente.

În fig. 1 este prezentat schematic modul de funcționare a unui senzor optoelectronic de tip DFB-FL, în legătură cu metoda mai sus definită. Astfel, în fig. 1 se pot observa miezul (1), învelișul (2), rețeaua de difracție Bragg (3), radiația de pompaj (4), injectată în miezul, radiația emisă de emițătorul laser DFB-FL (5) și forța aplicată rezultată din tensiunile mecanice create în structura mecanică aeronautică monitorizată (6). În fig. 1 (4), (5) și (6) sunt prezentate schematic, figurativ, ca sens de producere a fenomenului pe care îl reprezintă. În fig. 1 se pot observa figurate și cele două axe de polarizare ale celor fascicule laser emise de emițătorul laser DFB-FL, e_1 și e_2 , definite în raport cu planul de modulație spațială a indicelui de refracție al miezului fibrei optice monomod.

O formă preferată de realizare a invenției se prezintă în continuare, în legătură cu fig. 2. Dispozitivul de monitorizare a sănătății structurilor mecanice aeronautice realizat conform invenției este alcătuit dintr-o diodă laser de pompaj (1) ce injectează o radiație laser de pompaj la lungimea de undă de 980 nm printr-un un multiplexor cu divizarea lungimii de undă (2) în emițătorul laser DFB-FL (3) plasat în sau lipit pe structura mecanică aeronautică de monitorizat, radiație care este absorbită de ionii activi laser (Er^{3+}) asigurând generarea efectului laser în emițătorul (3), care generează un semnal laser a cărui putere la o lungime de undă situată în apropierea a 1550 nm variază funcție de mărimea forței corespunzătoare tensiunilor mecanice create în structura mecanică aeronautică de monitorizat, radiația laser astfel emisă fiind recepționată de o fotodiodă (4), generând un semnal electric amplificat de un amplificator (5) și preluat de un sistem de achiziție de date (6) într-un computer (7) pentru prelucrare.

REVENDICĂRI

1. Metodă de monitorizare a sănătății structurilor mecanice aeronautice **caracterizată prin aceea că** se măsoară tensiunile mecanice apărute în aceste structuri folosind un senzor optoelectronic cu fibră optică activă monomod dopată cu ioni Er^{3+} având o modulație spațială sinusoidală a indicelui de refracție al nucleului fibrei optice sub forma unei rețele de difracție Bragg, montată în interiorul materialului structurii mecanice aeronautice de monitorizat sau lipită ferm, intim pe suprafața acesteia, prin fibra optică activă fiind injectat un fascicul laser de pompaj cu lungimea de undă în domeniul 970-990 nm care este absorbit de ioni Er^{3+} care sunt astfel excitați pe nivelul laser superior și emițând, astfel, în domeniul spectral 1525-1575 nm, o radiație de fluorescență transformată în radiație laser datorită reacției distribuite asigurate de reflexia pe rețeaua de difracție Bragg, radiație laser emisă prin două fascicule laser cu distribuții spectrale de putere cu maximum la lungimea de undă Bragg a rețelei de difracție Bragg, modificările acestor distribuții spectrale de putere laser induse de variațiile neliniare ale indicelui de refracție al miezului fibrei funcție de mărimea forței variabile generate de tensiunile mecanice apărute în interiorul structurilor mecanice monitorizate fiind măsurate la valoarea lungimii de undă Bragg, determinând mărimea tensiunilor mecanice existente în structurile mecanice aeronautice monitorizate.

2. Dispozitiv de monitorizare a sănătății structurilor mecanice aeronautice prin prin metoda definită în revendicarea 1, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-o diodă laser de pompaj (1) ce injectează o radiație laser de pompaj ce injectează o radiație laser de pompaj la lungimea de undă de 980 nm printr-un un multiplexor cu divizarea lungimii de undă (2) în emițătorul laser DFB-FL (3) plasat în sau lipit pe structura mecanică aeronautică de monitorizat, radiație care este absorbită de ioni activi laser (Er^{3+}) asigurând generarea efectului laser în emițătorul (3), care generează un semnal laser a cărui putere la o lungime de undă situată în apropierea a 1550 nm variază funcție de mărimea forței corespunzătoare tensiunilor mecanice create în structura mecanică aeronautică de monitorizat, radiația laser astfel emisă fiind recepționată de o fotodiodă (4), generând un semnal electric amplificat de un amplificator (5) și preluat de un sistem de achiziție de date (6) într-un computer (7) pentru prelucrare.

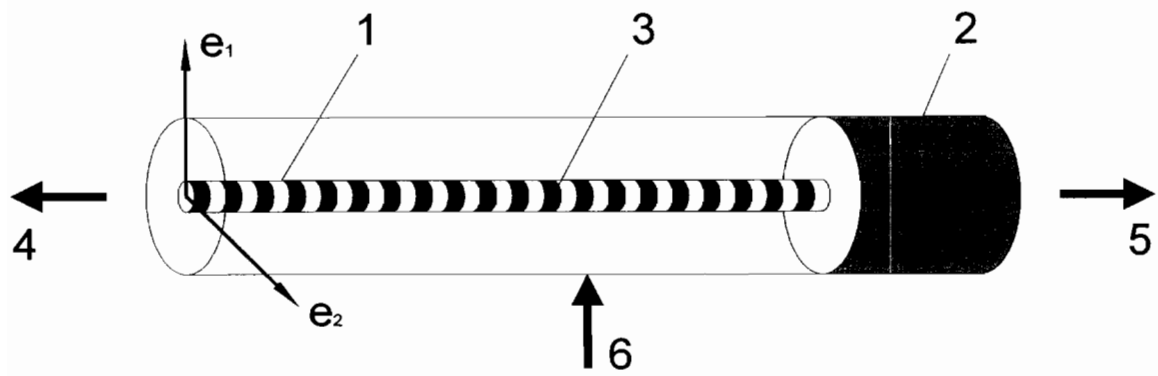


Fig. 1

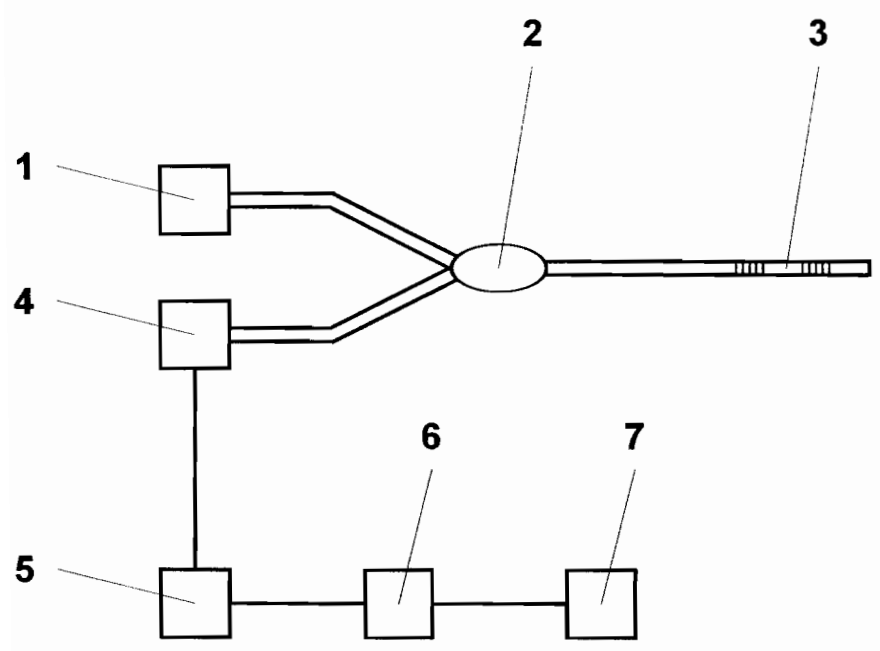


Fig. 2