



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2011 00321**

(22) Data de depozit: **07/04/2011**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **27/04/2018** BOPI nr. **4/2018**

(41) Data publicării cererii:
30/10/2012 BOPI nr. **10/2012**

(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, AP.42, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **LÂNCRÂNJAN 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.R 1, SC.2,
AP.45, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
**HAO XIAO, FANG LI, JUN HE, YU-LIANG
LIU, "A DFB FIBER LASER SENSOR
SYSTEM WITH ULTRA-HIGH RESOLUTION
AND ITS NOISE ANALYSIS", VOL.6, NR.4,
JOURNAL OF ELECTRONIC SCIENCE
AND TECHNOLOGY OF CHINA, 2008;
US 5682236; US 2434029**

(54) **METODĂ ȘI DISPOZITIV NEINVAZIV
PENTRU DETERMINAREA TIPULUI
CURGERII AERULUI PE ARIPA UNUI AVION**



1 Invenția se referă la o metodă neinvazivă de determinare a tipului curgerii aerului pe
bordul de atac al aripii unui avion, cu ajutorul un emițător laser de tip DFB-FL (Distributed
3 FeedBack Fiber Laser - laser cu fibră cu reacție inversă distribuită), și la un dispozitiv care
aplică metoda.

5 Se cunoaște din literatură faptul că aerul, în mod real, chiar dacă are un regim de
curgere declarat ca laminar, este caracterizat prin variații de presiune, corespunzătoare unor
7 fenomene ondulatorii de presiune, unde de presiune. Criteriul de departajare dintre regimurile
de curgere laminar și turbulent ale aerului este constituit de mărirea cu cel puțin un ordin de
9 mărime a amplitudinii acestor unde de presiune, și cu aproximativ două ordine de mărime a
frecvenței acestor unde de presiune, de la o frecvență de ordinul a 100 Hz, în cazul curgerii
11 laminare, la una de ordinul a 10 kHz, în cazul curgerii turbulente.

Se cunosc metode ce folosesc dispozitive de tipul tubului Pitot, pentru determinarea
13 presiunii aerului în proximitatea fuzelajului unei aeronave aflate în zbor. Aceste dispozitive
modifică tipul curgerii aerului pe suprafața aripii, fiind invazive, adică montate în afara fuzelajului
15 sau aripii aeronavei și în curentul de aer. În acest sens amintim brevetele **US 6711959** și
US 4404858, de determinare a vitezei și presiunii aerului în stratul de curgere de lângă fuzelajul
17 sau aripa unei aeronave.

Dezavantajul principal al acestei soluții constă în aceea că dispozitivul de măsură, fiind
19 montat în curentul de aer, prin crearea de turbulențe, modifică tipul curgerii aerului pe suprafața
fuzelajului sau aripii unei aeronave aflate în zbor. De asemenea, un alt dezavantaj al folosirii
21 dispozitivelor de tipul tubului Pitot constă în aceea că această soluție se bazează pe o metodă
de măsură diferențială, a diferenței dintre presiunile dinamice ale curentului de aer și statice a
23 aerului pe suprafața aripii. Utilizarea dispozitivelor de tipul tubului Pitot nu permite, date fiind
principiul de funcționare și, implicit, modul de construcție, determinarea zonei de tranziție de pe
25 suprafața exterioară, de atac, a aripii unei aeronave aflate în zbor, dintre zonele de curgere
laminară și turbulentă a aerului. Acest fapt rezultă direct din aceea că dispozitivele de tipul
27 tubului Pitot sunt invazive, fiind introduse în curentul de aer. De asemenea, un alt dezavantaj
al dispozitivelor de tipul tubului Pitot, conform brevetelor **US 6711959** și **US4404858**, constă în
29 aceea că, bazându-se pe un principiu diferențial, al măsurării presiunii aerului pe două direcții
perpendiculare, nu este permisă măsurarea variațiilor de presiune a aerului în cele două
31 regimuri de curgere, laminar și turbulent.

Din lucrarea „**A DFB Fiber Laser Sensor System with Ultra-High Resolution and Its
33 Noise Analysis**” - Hao Xiao, Fang Li, Jun He, and Yu-Liang Liu publicată în **JOURNAL OF
ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA**, vol. 6, nr. 4, dec. 2008, se
35 cunoaște o metodă de măsurare a unor mărimi fizice cu un dispozitiv optoelectronic cu laser
cu fibră de tip DFB-FL, care constă în utilizarea unei diode laser de pompaj cu lungimea de
37 undă de 980 nm, ce emite în undă continuă prin fibre optice, în legătură cu un multiplexor WDM
instalat în locația implicată, și se măsoară presiuni sau tensiuni, apoi se determină modificările
39 din emițătorul laser DFB-FL la lungimi de undă din domeniul 1450...1550 nm, după care, pentru
mărirea rezoluției, mărimile obținute sunt combinate într-un interferometru Mach-Zender (MZI)
41 și analizate într-un demodulator digital PCG.

Din brevetul **US 5682236** se cunosc o metodă și un dispozitiv optoelectronic neinvaziv,
43 de monitorizare a unor mărimi fizice de pe suprafața probei ori de lângă suprafața acesteia,
într-un strat subțire, superficial, ca, de exemplu, al unui model aerodinamic, prin metoda
45 difracției holografice 2d - tip grilă. Metoda constă în iluminarea de la distanță, într-un tunel
aerodinamic, a suprafeței probei cu o rază laser, paralelă cu axa longitudinală a unei aripi de
47 avion, aripă pe care au fost lipite în prealabil fâșii dintr-un senzor holografic, dispuse echidistant

și perpendicular pe bordul de atac, senzor care produce difracția razei laser. Difracțiile razei sunt colectate de un receptor optic ce include una sau mai multe diode fotodetectoare, și aparatură electronică pentru procesarea semnalului cu care se analizează schimbările din patrunul franjelor optice produse de senzorul fâșie, în ceea ce privește parametrii stratului limită.

Problema tehnică pe care prezenta invenție își propune să o rezolve constă în determinarea tipului curgerii aerului pe bordul de atac al aripii unui avion într-un mod neinvaziv.

Metoda conform invenției înlătură dezavantajele arătate mai înainte, și rezolvă problema tehnică propusă deoarece constă în utilizarea unui dispozitiv optoelectronic cu laser cu fibră, compus dintr-o diodă laser de pompaj, cu lungimea de undă de 980 nm, ce emite în undă continuă prin fibră optică, în legătură cu un multiplexor WDM și cu un emițător DFB-FL, la care se determină modificările puterii de ieșire a emițătorului laser DFB-FL, se amplifică modificările puterii de ieșire a emițătorului laser DFB-FL induse de variațiile neliniare ale presiunii statice a aerului, normală pe suprafața aripii, se măsoară amplitudinea acestei forțe și frecvența ei de aplicare, se determină caracterul curgerii aerului ca fiind dependent de mărimea și frecvența forței variabile, caracteristică presiunii statice a aerului, și apoi se interpretează datele, mărimea și frecvența fiind cu cel puțin un ordin de mărime mai mare, în cazul curgerii turbulente, în comparație cu curgerea laminară.

Dispozitivul neinvaziv, pentru determinarea tipului curgerii aerului pe aripa unui avion, constă dintr-un emițător laser DFB-FL, montat într-o aripă de avion, conectat la un amplificator în legătură cu un sistem de achiziție de date și un computer, unde emițătorul laser DFB-FL este montat paralel cu bordul de atac al aripii, și plasat într-o mică degajare liniară, la o mică adâncime (0,2...0,3 mm) sub suprafața acesteia, încorporat în parafină, și traduce mărimea forței presiunii statice, într-un semnal optic primit de fotodiodele receptor, conectată prin conectori pentru fibră optică la multiplexor, semnalul electric obținut fiind amplificat de amplificator, apoi livrat sistemului de achiziție de date, și interpretat de computer.

Avantajele invenției constau în faptul că:

- permite evaluarea directă a amplitudinii și frecvenței undelor de presiune caracteristice aerului aflat în curgere pe suprafața exterioară a aripii unei aeronave aflate în zbor, unde având direcția de propagare paralelă cu suprafața fuzelajului aeronavei, deci paralelă și cu suprafața aripii. Conform literaturii, propagarea undelor de presiune caracteristice pentru curgerea aerului (laminară sau turbulentă) este preponderent transversală, fiind însoțită de ciocniri ale maximelor de presiune de suprafața fuzelajului aeronavei, deci a aripii aeronavei;

- este neinvazivă față de curgerea aerului pe suprafața aripii avionului, niciun fel de componentă mecanică aferentă dispozitivului de detecție brevetat nefiind introdusă în curentul de aer;

- este sensibilă la valori mici ale amplitudinii forței aplicate pe o direcție normală la suprafața aripii.

În continuare invenția va fi prezentată în legătură și cu fig. 1...3, ce reprezintă:

- fig. 1, este prezentată schematic curgerea aerului în jurul profilului aripii;
- fig. 2, sunt prezentate schematic zonele profilului aripii;
- fig. 3, este prezentat schematic dispozitivul conform invenției.

Elementul principal al metodei conform invenției constă în utilizarea unui senzor optoelectronic de tip DFB-FL. Acest senzor este practic un oscilator laser constituit dintr-o fibră optică monomod, al cărei miez este dopat cu ioni trivalenți de erbiu (Er^{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. Din construcție, valorile indicilor de refracție ai miezului și învelișului, precum și geometria fibrei optice sunt astfel alese încât semnalul laser generat este format din două moduri de oscilație, având frecvențele de oscilație de valori extrem de apropiate, dar diferite.

Funcționarea unui senzor optoelectronic de tip DFB-FL poate fi analizată considerând ecuațiile cuplate de propagare ale amplitudinii câmpului electric al undelor electromagnetice care se propagă în sensul pozitiv al axei fibrei optice (unda „directă”, de amplitudine A_f) și în sensul negativ axei fibrei optice (unda „inversă”, de amplitudine A_b):

$$i \frac{\partial A_f}{\partial z} + \frac{i}{v_g} \frac{\partial A_f}{\partial t} + \delta A_f + \kappa A_b + \gamma \left(|A_f|^2 + 2|A_b|^2 \right) A_f = 0 \quad (1)$$

$$i \frac{\partial A_b}{\partial z} + \frac{i}{v_g} \frac{\partial A_b}{\partial t} + \delta A_b + \kappa A_f + \gamma \left(|A_f|^2 + 2|A_b|^2 \right) A_b = 0 \quad (2)$$

unde δ este factorul de dezacordare a frecvențelor A_f și A_b , v_g este viteza de grup caracteristică oscilatorului laser considerat, κ este coeficientul de cuplaj dintre A_f și A_b , iar γ este un coeficient depinzând de ponderea fenomenelor optice neliniare de auto- și intermodulare a fazei pentru A_f și A_b , fiind deci o constantă de material, amplitudinea câmpului electric reprezentând suma amplitudinilor A_f și A_b .

Rezolvarea sistemului de ecuații diferențiale cuplate, definit mai sus, permite să fie definiți o serie de parametri caracteristici pentru oscilatorul laser analizat. În primul rând valoarea maximă a coeficientului de reflexivitate al rețelei Bragg, r_g , la lungimea de undă Bragg,

$$r_g = \frac{ik \sin(qL)}{q \cos(qL) - i\delta \sin(qL)} \quad (3)$$

unde L este lungimea rețelei Bragg.

Lungimea de undă Bragg, λ_B , este definită prin formula:

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

unde n_{eff} este valoarea efectivă a indicelui de refracție al miezului fibrei optice, iar Λ este perioada modulației spațiale a indicelui de refracție, perioada rețelei Bragg. Modul de funcționare a senzorului se bazează pe măsurarea amplitudinii fenomenelor optice neliniare care se produc în fibra optică din care este constituit oscilatorul laser de tip DFB-FL. Aceste fenomene optice neliniare se produc datorită densităților mari de putere a câmpului electromagnetic în cazul radiației laser pe suprafețe mici, de ordinul μm^2 . Amplitudinea acestor fenomene neliniare este măsurabilă prin variații ale puterii laser emise de oscilatorul DFB-FL, la lungimi de undă fixe sau prin modificări măsurabile ale λ_B .

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 exprimate prin formula

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

Variațiile valorii efective a indicelui de refracție al nucleului fibrei optice sunt exprimate prin birefringența B , care este o măsură a amplitudinii fenomenelor optice neliniare care se produc în interiorul oscilatorului DFB-FL. Birefringența este datorată modificărilor suferite de constantele de propagare ale radiației laser prin fibra optică, fiind în funcție de direcția de

polarizare a câmpului electromagnetic în raport cu rețeaua Bragg, definită față de două axe, paralelă și perpendiculară față de direcția de modulare spațială a indicelui de refracție al miezului fibrei optice.

Birefringența B este definită prin formula:

$$B = \frac{|n_{//} + n_{\perp}|}{n_0} = B_0 + \frac{|\Delta n_{//} + \Delta n_{\perp}|}{n_0} \quad (6)$$

unde n_0 este valoarea inițială, la intensități mici ale câmpului electromagnetic, a indicelui de refracție al miezului fibrei optice, $n_{//}$ și $n_{\perp}$ sunt valorile indicelui de refracție corespunzătoare celor două axe mai sus definite, paralelă și perpendiculară față de direcția de modulare spațială a indicelui de refracție al miezului fibrei optice.

Metoda neinvazivă cu senzor optoelectronic de tip DFB-FL, pentru determinarea tipului curgerii aerului pe bordul de atac al aripii unui avion, conform invenției, constă în aceea că se folosește un dispozitiv optoelectronic laser cu fibră având nucleul dopat cu ioni de erbiu trivalenti (Er^{3+}), și cu indice de refracție modulat sinusoidal sub forma unei rețele de difracție Bragg, denumit emițător laser DFB-FL, montat cât mai aproape de suprafața aripii avionului, într-un strat de parafină, 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 a emițătorului laser DFB-FL la lungimi de undă din domeniul 1450...1550 nm, modificări induse de variațiile neliniare ale indicelui de refracție al nucleului fibrei optice a emițătorului laser DFB-FL, în funcție de mărimea forței variabile, caracteristică presiunii statice a aerului, normală pe suprafața aripii avionului, se măsoară amplitudinea acestei forțe și frecvența acesteia de aplicare, și se determină caracterul curgerii aerului ca fiind dependent de mărimea și frecvența forței variabile, caracteristică presiunii statice a aerului, mărimea și frecvența fiind cu cel puțin un ordin de mărime mai mare, în cazul curgerii turbulente, în comparație cu curgerea laminară.

Dispozitivul conform invenției este alcătuit dintr-o diodă laser de pompaj, ce injectează o radiație laser pe lungimea de undă de 980 nm sau 1480 nm, printr-un multiplexor cu divizarea lungimii de undă (WDM - wavelength division multiplexor) în emițătorul laser DFB-FL plasat într-o mică degajare liniară, la mică adâncime sub suprafața aripii, încorporat în parafină, radiație care este absorbită de ionii activi laser (Er^{3+}), asigurând generarea efectului laser în emițătorul DFB-FL, care generează un semnal laser a cărui putere la o lungime de undă situată în apropierea a 1550 nm variază în funcție de mărimea forței corespunzătoare presiunii statice a aerului aflat în curgere față de suprafața aripii, semnal ce este recepționat de o fotodiodă care generează un semnal electric amplificat de un amplificator, și preluat de un sistem de achiziție de date, într-un computer pentru prelucrare.

În fig. 1 este prezentată schematic, într-o secțiune transversală, problema tehnică pe care prezenta invenție își propune să o rezolve. Sunt figurate zonele de presiune statică negativă **A**, pozitivă **B**, punctul de stagnare **C** din vârful aripii, vectorul vitează a curgerii aerului **D**, stratul de curgere laminară a aerului **E**, punctul de trecere/tranziție dintre curgerile aerului laminară și turbulentă **F**, stratul de curgere turbulentă a aerului **G**, linia de curgere a aerului **H**, punctul de desprindere/separare a curenților de aer de suprafața aripii **I** și zona de desprindere a curgerii aerului de suprafața aripii **J**.

În fig. 2 este prezentată schematic modalitatea de montare a senzorului optoelectronic de tip DFB-FL în aripa unei aeronave. Sunt figurate curenții de aer **L**, zona de curgere laminară a aerului **M**, zona de curgere turbulentă a aerului **N** și senzorul DFB-FL, notat **P**.

1 O formă preferată de realizare a invenției se prezintă în continuare, în legătură cu fig. 3.
2 Dispozitivul de determinare neinvazivă a tipului curgerii aerului pe bordul de atac al aripii unui
3 avion realizat conform invenției este alcătuit dintr-o diodă laser de pompaj **1**, ce injectează o
4 radiație laser pe lungimea de undă de 980 nm sau 1480 nm, printr-un multiplexor **2**, cu divizarea
5 lungimii de undă în emițătorul **3** laser DFB-FL, plasat într-o mică degajare liniară, la mică
6 adâncime (0,2...0,5 mm) sub suprafața aripii, încorporat în parafină, radiație care este absorbită
7 de ionii activi laser (Er^{3+}), asigurând generarea efectului laser în emițătorul **3**, care generează
8 un semnal laser a cărui putere la o lungime de undă situată în apropierea a 1550 nm variază
9 în funcție de mărimea forței corespunzătoare presiunii statice a aerului aflat în curgere față de
10 suprafața aripii, semnal ce este recepționat de o fotodiodă **4**, care generează un semnal electric
11 amplificat de un amplificator **5**, preluat de un sistem de achiziție de date **6**, într-un computer **7**,
pentru prelucrare.

1. Metodă pentru determinarea tipului curgerii aerului pe aripa unui avion, care constă în utilizarea unui dispozitiv optoelectronic cu fibră laser, compus dintr-o diodă laser de pompaj, cu lungimea de undă de 980 nm sau de 1480 nm, ce emite în undă continuă prin fibră optică, în legătură cu un multiplexor WDM și cu un emițător DFB-FL, **caracterizată prin aceea că** se determină modificările puterii de ieșire ale emițătorului laser DFB-FL, se amplifică modificările induse de variațiile neliniare ale presiunii statice a aerului, normală pe suprafața aripii, se măsoară amplitudinea acestei forțe și frecvența ei de aplicare, se determină caracterul curgerii aerului ca fiind dependent de mărimea și frecvența forței variabile, caracteristică presiunii statice a aerului, și apoi se interpretează datele, mărimea și frecvența fiind cu cel puțin un ordin de mărime mai mari în cazul curgerii turbulente, în comparație cu curgerea laminară.

2. Dispozitiv neinvaziv, pentru determinarea tipului curgerii aerului pe aripa unui avion, care constă dintr-o diodă laser de pompaj (1), legată prin fibre optice de un multiplexor (2) și de un emițător (3) DFB-FL montat într-o aripă de avion, care determină niște variații ce sunt trimise către un sistem de achiziție de date (6) și un computer (7), **caracterizat prin aceea că** emițătorul (3) laser DFB-FL este montat paralel cu bordul de atac al aripii, și plasat într-o mică degajare liniară, încorporat în parafină la o adâncime de 0,2....0,5 mm sub suprafața ei, și traduce mărimea forței presiunii statice într-un semnal optic primit de o fotodiodă (4) receptor, conectată prin fibră optică la multiplexor (2), semnalul electric obținut fiind amplificat de un amplificator (5), apoi livrat sistemului de achiziție de date (6) și interpretat de computer (7).

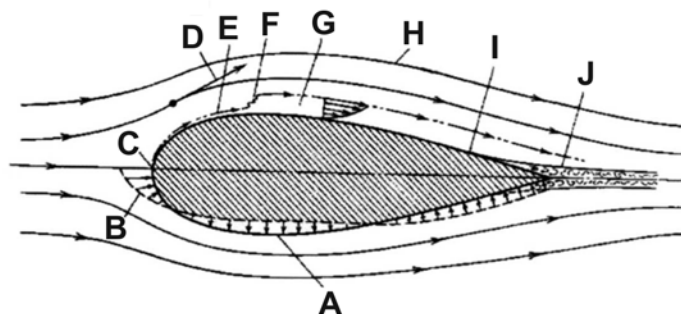


Fig. 1

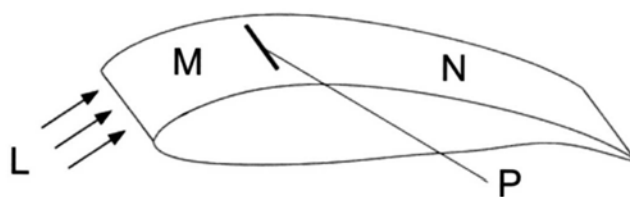


Fig. 2

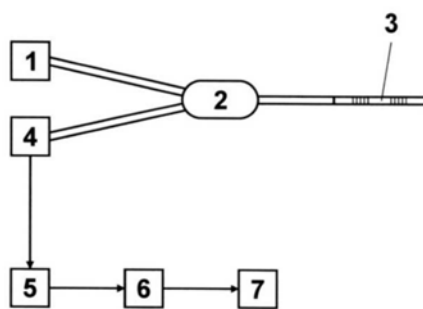


Fig. 3

