



(12)

## CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2016 00932

(22) Data de depozit: 29/11/2016

(41) Data publicării cererii:  
30/05/2018 BOPI nr. 5/2018

(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, ET.9, 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, STR.EMIL RACOVIȚĂ  
NR.6, BL.R 1, SC.2, AP.45, SECTOR 4,  
BUCUREȘTI, B, RO

(54) **DISPOZITIV DE DETECȚIE ȘI DETERMINARE  
A CONCENTRAȚIEI URMELOR DE SUBSTANȚE CHIMICE  
CU SENZOR OPTOELECTRONIC CU FIBRĂ OPTICĂ  
MONOMOD AVÂND GĂURI TRANSVERSALE STRĂPUNSE  
FOLOSIND MODIFICAREA CÂMPULUI ELECTROMAGNETIC  
PENTRU DETERMINAREA INDICELUI DE REFRACȚIE AL  
MEDIULUI ÎN CARE ESTE AMPLASAT**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un dispozitiv de detecție și evaluare directă a concentrațiilor urmelor de substanțe chimice aflate în medii gazoase sau lichide. Dispozitivul conform invenției se bazează pe efectul de modificare a distribuțiilor de intensitate ale câmpurilor electrice și magnetice ale radiației luminoase care se propagă printr-o fibră optică, și este alcătuit dintr-o sursă (1) de radiație luminoasă cu lungime de undă din domeniile spectrale vizibil sau infraroșu apropiat, o fibră optică (2) monomod, în care se injectează radiația, și în care este practică cel puțin o gaură transversală străpunsă, astfel încât zona (3) găurii străpunse să fie plasată într-un mediu (4) în care se găsesc urmele de substanțe (5) de detectat, un fotodetector (6) și un amplificator (7) cuplat cu o placă (8) de achiziție conectată la un calculator (9).

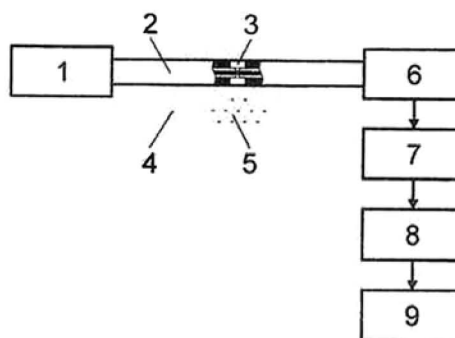


Fig. 2

Revendicări: 1  
Figuri: 2

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



**DISPOZITIV DE DETECȚIE ȘI DETERMINARE A CONCENTRAȚIEI URMELOR  
DE SUBSTANȚE CHIMICE CU SENZOR OPTOELECTRONIC CU FIBRĂ OPTICĂ  
MONOMOD AVÂND GĂURI TRANSVERSALE STRĂPUNSE FOLOSIND  
MODIFICAREA CÂMPULUI ELECTROMAGNETIC PENTRU DETERMINAREA  
INDICELUI DE REFRAȚIE AL MEDIULUI ÎN CARE ESTE AMPLASAT**

Invenția se referă la un dispozitiv de determinare a concentrației urmelor de substanțe chimice aflate în mediu lichid sau gazos prin măsurarea indicelui de refracție al mediului în care se găsesc acestea folosind un senzor optoelectronic cu fibră optică monomod având găuri transversale străpunse funcționând pe baza modificărilor câmpului electromagnetic al luminii care se propagă prin fibra optică monomod în zona acestor găuri.

Se cunosc metode și dispozitive construite pe baza unor principii de optică și fonică utilizând fibre optice monomod, având învelișul cu diametrul de 125  $\mu\text{m}$  și miezul cu diametrul de 5-10  $\mu\text{m}$ , cu sau fără rețele de difracție înscrise în ele, ca atare sau incluse în montaje interferometrice sau utilizând nano-micro fibre, cu diametrul învelișului de 10  $\mu\text{m}$  și miezul cu diametrul de până la 1  $\mu\text{m}$  folosite pentru detecția și/sau determinarea concentrațiilor urmelor, cantităților infime de substanțe chimice aflate în medii gazoase sau lichide, acestea din urmă fiind mai ales soluții apoase. Aceste dispozitive sunt cunoscute în literatura de specialitate ca senzori chimici și/sau biochimici. Aceste metode și dispozitive sunt caracterizate de un principiu comun: detecția și/sau determinarea concentrațiilor urmelor de substanțe rezultă din măsurarea valorii indicelui de refracție al mediului în care se găsesc aceste urme iar aceasta înseamnă contactul direct al acestui mediu cu materialul fibrei optice indiferent de tipul acesteia. Ca o consecință logică, acest contact direct al mediului de măsurat cu materialul fibrei optice echivalează cu înlăturarea, pe porțiuni cu lungimi de până la zeci de mm a acoperirii din acrilat pentru protecția mecanică a fibrei optice, implicând o fragilitate termomecanică deosebită a unor astfel de dispozitive. Aceste metode și dispozitive se bazează pe folosirea unor senzori optoelectronici cu preț de cost și de utilizare mare și complicat de montat și utilizat. În acest sens amintim brevetele S.U.A. nr. US5157457, US6358748 și US7702189 precum și brevetele U.E. nr. EP0453228A2, EP0534670A1 și EP2000795A2 care se referă la metode și aparate de detecție și/sau determinare a concentrațiilor urmelor de substanțe chimice aflate în medii gazoase sau lichide folosind montaje interferometrice cu fibre optice. Tot în acest sens amintim și brevetele S.U.A. nr. US2005/0287042A1, US20150007927A1 și US2016/0041135A1 precum și



brevetul U.E. nr. EP/1/700/103B1 și internaționale/mondiale nr. WO/2004/019115A2 și WO/2014/145745A1 care se referă la metode și aparate de detecție și/sau determinare a concentrațiilor urmelor de substanțe chimice aflate în medii gazoase sau lichide folosind nano- sau micro- fibre optice. Dezavantajul principal al acestor soluții este acela al necesității unor precauții mecanice și prețuri de fabricație mari datorate fragilității mecanice în care condițiile de utilizare pot să fie restricționate semnificativ tot datorită acestei fragilități termo-mecanice.

Dispozitivul conform invenției înlătură dezavantajele arătate mai înainte prin aceea că permite detecția și evaluarea directă a concentrațiilor urmelor de substanțe chimice aflate în medii gazoase sau lichide. Acesta se realizează prin utilizarea senzorilor cu fibră optică ce folosesc efectul de modificare a distribuțiilor de intensitate ale câmpurilor electric și magnetic ale radiației luminoase care se propagă prin fibra optică datorită variației valorii indicelui de refracție a mediului în care este montat senzorul. Senzorul cu fibră optică destinat construcției unui dispozitiv conform invenției este constituit din fibră optică monomod care are găuri transversale străpunse pe diametrul secțiunii fibrei optice având simetrie cilindrică și un diametru pe axa fibrei optice mai mic decât diametrul miezului fibrei optice și care utilizează ca sursă de radiație luminoasă ce se propagă prin fibră având o lungime de undă din domeniile spectrale vizibil sau infraroșu apropiat un LED sau o diodă laser de mică putere. Senzorul cu fibră optică destinat construcției unui dispozitiv conform invenției este constituit din fibră optică monomod care are găuri transversale străpunse pe diametrul secțiunii fibrei optice de pe care stratul exterior de protecție termo-mecanică din material plastic, acrilat, nu este îndepărtat cu excepția zonelor de intrare și ieșire ale găurilor străpunse. Conform invenției propuse nu există specificații restrictive stricte referitoare la caracteristicile spectrale ale radiației luminoase folosite, în afară de faptul că are lungimea de undă situată în domeniile vizibil sau infraroșu apropiat.

Problema tehnică pe care prezenta invenție își propune să o rezolve constă în detecția și evaluarea directă a concentrațiilor urmelor de substanțe chimice aflate în medii gazoase sau lichide. Detecția și evaluarea directă a concentrațiilor urmelor de substanțe chimice aflate în medii gazoase sau lichide se face măsurând variația puterii optice transmise printr-o fibră optică mono mod având găuri transversale supusă unui efect de modificare a distribuțiilor de intensitate ale câmpurilor electric și magnetic ale radiației luminoase care se propagă prin fibra optică în zonele găurilor transversale străpunse funcție de valoarea variabilă a indicelui de refracție al mediului în care se efectuează detecția și evaluarea concentrațiilor urmelor de substanțe chimice.



Funcționarea unui senzor optoelectronic cu fibră optică având găuri transversale străpunse pe baza efectului de modificare a distribuțiilor de intensitate ale câmpurilor electric și magnetic ale radiației luminoase care se propagă prin fibra optică în zonele găurilor transversale străpunse poate fi analizată considerând ecuațiile de propagare ale câmpurilor electric și magnetic ale modurilor prin fibra optică mono mod ale radiației luminoase care se propagă în sensul pozitiv al axei fibrei optice optice, denumită axa  $z$ . Analiza are ca punct de start reproducerea situației experimentale, adică este considerat cazul unui semnal luminos având lungimea de undă  $\lambda$  injectat în miezul având raza  $a_1$  și indicele de refracție  $n_1$  al unei fibre optice monomod ce are învelișul cu raza  $a_2$  și indicele de refracție  $n_2$ , la  $z = 0$ . Relațiile matematice pe baza cărora se poate proiecta un senzor optoelectronic cu fibră optică având găuri transversale străpunse sunt obținute ca soluții posibile ale ecuațiilor Helmholtz, ca moduri posibile de propagare prin fibra optică, descriind propagarea luminii printr-o fibră optică. Este considerat cazul modului fundamental  $LP_{01}$  având amplitudinea  $E_{01}^{co}$  care se propagă prin miezul fibrei optice, având componentele radială,  $E_r^{co}$ , și azimutală,  $E_\phi^{co}$ , ambele în plan transversal, ambele fiind funcții de coordonata radială, definite prin relațiile:

$$E_r^{co} \cong iE_{01}^{co} J_0 \left( V \sqrt{1-b} \frac{r}{a_1} \right) \exp(i\phi) \exp[i(\beta z - \omega t)] \quad (1)$$

$$E_\phi^{co} \cong -E_{01}^{co} J_0 \left( V \sqrt{1-b} \frac{r}{a_1} \right) \exp(i\phi) \exp[i(\beta z - \omega t)] \quad (2)$$

unde amplitudinea  $E_{01}^{co}$  este definită prin ecuația

$$E_{01}^{co} \cong \sqrt{\frac{Z_0 b}{\pi n_2 \sqrt{1+2b\Delta}}} \frac{1}{a_1 J_1(V \sqrt{1-b})} \quad (3)$$

În Ecuațiile (1), (2) și (3) sunt introduși parametrii  $Z_0$  - impedanța caracteristică a vidului, având valoarea de  $377 \Omega$ ,  $\omega$  - frecvența unghiulară a radiației luminoase injectate,  $V$  - frecvența spațială normalată,  $b$  - valoarea normalată a indicelui efectiv de refracție,  $n_{eff}$  - valoarea efectivă a indicelui de refracție al miezului fibrei optice, definite prin relațiile:

$$V = \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right) a_1 \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (4)$$

$$b = \frac{(n_{eff}^2 - n_2^2)}{(n_1^2 - n_2^2)} \quad (5)$$

Valoarea normalată a indicelui efectiv de refracție  $b$  este o soluție a ecuației

$$V \sqrt{1-b} \frac{J_1(V \sqrt{1-b})}{J_0(V \sqrt{1-b})} = V \sqrt{b} \frac{K_1(V \sqrt{b})}{K_0(V \sqrt{b})} \quad (6)$$



unde  $J$  este funcția Bessel de primul tip iar  $K$  reprezintă funcția Bessel de tipul 2 modificată.

În Ecuțiile (1) și (2) este introdusă constanta de propagare  $\beta$  definită prin relația

$$\beta = \left( \frac{2\pi}{\lambda} \right) n_{eff} \quad (7)$$

În mod similar sunt definite și modurile posibile de propagare prin învelișul fibrei optice de tip  $LP_{1v}$ , având amplitudinea  $E_{1v}^{cl}$  și componentele radială,  $E_r^{cl}$ , azimutală,  $E_\phi^{cl}$ , și longitudinală,  $E_z^{cl}$ , ale componentei câmp electric și componentele radială,  $H_r^{cl}$ , azimutală,  $H_\phi^{cl}$ , și longitudinală,  $H_z^{cl}$  ale componentei câmp magnetic pentru propagarea prin miez, adică având coordonata radială  $r \leq a_1$ , pentru propagarea prin înveliș, adică având coordonata  $a_1 \leq r \leq a_2$  precum și pentru propagarea în exteriorul fibrei optice, adică având coordonata  $a_2 \leq r$ .

Pentru modurile posibile de propagare prin cladding-ul fibrei optice de tip  $LP_{1v}$ , sunt definite distribuția radială de intensitate a radiației care se propagă ca mod  $LP_{1v}$  prin miezul fibrei optice,  $I_z(r)$ , precum și puterea integrată,  $P$ , prin relațiile,  $\hat{z}$  fiind versorul axei  $z$ :

$$I_z(r) = \frac{1}{2} \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}^*) \cdot \hat{z} = \frac{1}{2} \text{Re}(E_r^{cl} H_\phi^{cl*} - H_r^{cl*} E_\phi^{cl}) \quad (8)$$

$$P = \frac{1}{2} \text{Re} \int_0^{2\pi} d\phi \int_0^\infty r dr (E_r^{cl} H_\phi^{cl*} - H_r^{cl*} E_\phi^{cl}) = 1 \quad (9)$$

Pentru analiza funcționării unui dispozitiv conform invenției, de detecție și măsurare a concentrațiilor urmelor de substanțe aflate în medii gazoase sau lichide, la o lungime de undă dată  $\lambda$  a radiației injectate prin miezul fibrei optice, din ecuațiile (8) și (9) se poate defini un parametru de interes, și anume puterea optică totală transmisă prin fibra optică, inclusiv prin zona găurii transversale, funcție de coordonata  $z$  pe axa fibrei optice:

$$P(z) = P(0) e^{-\gamma z} \quad (10)$$

unde  $\gamma$  este un coeficient de atenuare care poate să fie calculat ca funcție de dimensiunile fibrei optice, indicii de refracție ai miezului și cladding-ului fibrei optice precum și de dimensiunile găurii transversale străpunse.

Metoda folosită de dispozitivul conform invenției pentru detecția și determinarea rapidă și directă a concentrațiilor urmelor de substanțe chimice aflate în medii gazoase sau lichide, constă în aceea că se măsoară variația puterii emise de o sursă de radiație luminoasă, de tipul diodă laser sau LED, având lungimea de undă situată în domeniul spectral al modurilor posibile de propagare a radiației luminoase prin fibra optică, în domeniile spectrale vizibil și infraroșu apropiat, unde atenuarea este mult redusă, la propagarea prin fibra optică având o gaură transversală străpunsă cu o geometrie cilindrică al cărei ax de simetrie



intersectează axa fibrei optice și diametrul minim în miezul fibrei optice, pe axa acesteia, valoarea diametrului minim al găurii străpunse fiind de 0.25 - 0.40 din diametrul miezului, prin gaura transversală străpunsă putând să circule gazul sau lichidul în care se găsesc urmele de de substanță de detectat și ale căror concentrații urmează să fie determinate. Este o măsurare relativă, determinându-se, în etape succesive, cu un fotodetector, puterea luminoasă transmisă prin fibra optică având gaura străpunsă și plasată în mediul lichid sau gazos neinfestat cu urme de substanțe unde urmează să fie utilizat dispozitivul și prin fibra optică având gaura străpunsă și plasată în mediul lichid sau gazos infestat cu urme de substanțe.

Dispozitivul conform invenției este alcătuit dintr-o sursă de radiație în infraroșu apropiat (diodă laser sau LED) ce injectează radiația în miezul fibrei a optice având o gaură transversală străpunsă, provocând modificarea puterii radiației transmise prin fibra optică, modificare înregistrată de o fotodiodă care generează o tensiune măsurată printr-o placă de achiziție conectată la un computer.

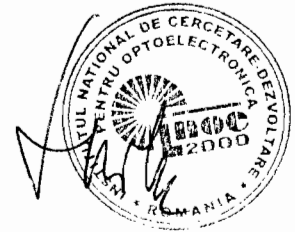
Invenția prezintă următoarele avantaje:

- Dispozitivul folosește o metodă neinvazivă în raport cu sistemul de măsurat, nefiind nevoie să se scoată probe de analizat din sistemul pe care se efectuează măsurătorile.
- Metoda folosită este mai sensibilă decât alte metode destinate aceluiași scop, fiind sensibilă la valori extrem de mici ale concentrațiilor urmelor de substanță.
- Dispozitivul este ieftin, folosirea lui nu necesită cheltuieli deosebite de realizare, montare și exploatare.
- Dispozitivul păstrează caracteristicile mecanice ale fibrei optice monomod deoarece învelișul mecanic de protecție de plastic (acrilat) nu este îndepărtat de pe fibră decât în zonele de orificiilor de intrare și de ieșire ale găurii transversale străpunse, fiind posibilă realizarea principiului de bază de construcție a senzorilor cu fibră optică cu rețele de difracție încorporată, acela al contactului dintre mediul de determinat, învelișul și miezul fibrei optice.

În fig. 1 este prezentă schematic o fibră optică având găuri transversale străpunse pentru care se înregistrează efectul de modificare a distribuțiilor de intensitate ale câmpurilor electric și magnetic ale radiației luminoase care se propagă prin fibra optică în zonele găurilor transversale străpunse. În fig. 1 se pot observa, în secțiune longitudinală, stratul de acrilat de protecție mecanică a fibrei optice 1, învelișul fibrei optice 2, miezul fibrei optice 3, degajările 4 din zonele capetelor găurii transversale străpunse prin fibra optică 5, gaura transversală străpunsă de simetrie cilindrică având cea mai mică valoare a diametrului la intersecția cu miezul fibrei optice, o valoare de 0,25 – 0,40 din diametrul miezului fibrei optice.



O formă preferată de realizare a invenției se prezintă în continuare, în legătură cu fig. 2. În fig. 2, este prezentată schema dispozitivului realizat conform invenției, unde se pot observa sursa de radiație luminoasă 1 (LED sau diodă laser) cu lungime de undă din domeniile spectrale vizibil sau infraroșu apropiat, radiație care este injectată în miezul fibrei optice monomod cu găuri transversale străpunse 2, astfel încât zona găurii străpunse 3 să fie plasată în mediul 4 în care se găsesc urmele de substanțe 5 de detectat și ale căror concentrații sunt de măsurat prin determinarea modificărilor valorilor indicelui de refracție al mediului în zona 3 și care induc modificări în distribuțiile de intensitate ale câmpurilor electric și magnetic ale radiației luminoase care se propagă prin fibra optică, ceea ce are ca efect modificarea puterii radiației transmise prin fibra optică 2, modificarea astfel indusă fiind măsurată folosind fotodetectorul 6, realizat dintr-o fotodiodă cu siliciu montată într-un circuit de polarizare inversă, fotodetectorul generând o tensiune electrică procesată printr-un amplificator 7 cuplat cu o placă de achiziție 8 conectată la un computer 9.



**REVENDICARE**

Dispozitiv de detecție și evaluare directă a concentrațiilor urmelor de substanțe chimice aflate în medii gazoase sau lichide prin efectul de modificare a distribuțiilor de intensitate ale câmpurilor electric și magnetic ale radiației luminoase care se propagă printr-o fibră optică, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-o sursă **1** de radiație luminoasă în vizibil sau infraroșu apropiat (diodă laser sau LED), o fibră optică monomod **2**, în care se injectează radiația vizibilă sau infraroșie și în care este practică cel puțin o gaură transversală străpunsă, astfel încât zona găurii străpunse **3** să fie plasată în mediul **4** în care se găsesc urmele de substanțe **5** de detectat și ale căror concentrații sunt de măsurat, un fotodetector **6**, un amplificator **7** cuplat cu o placă de achiziție **8** conectată la un computer **9**.





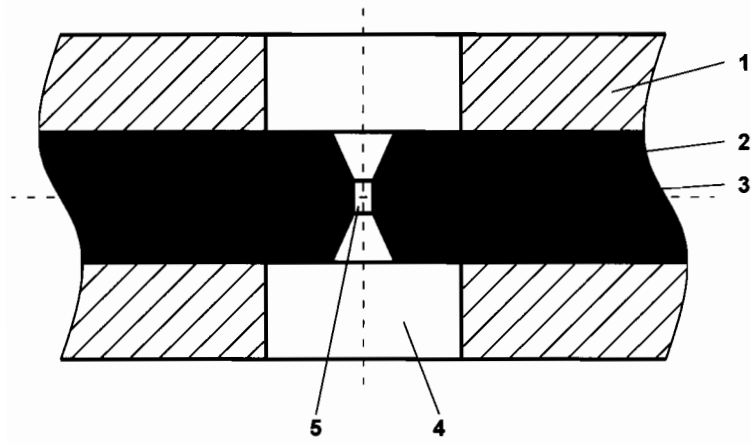


Fig. 1



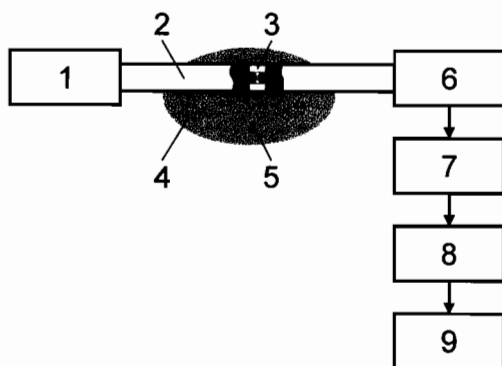


Fig. 2