



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2014 00452**

(22) Data de depozit: **17/06/2014**

(41) Data publicării cererii:
30/12/2015 BOPI nr. **12/2015**

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCERARE
ȘI DEZVOLTARE PENTRU FIZICA
LASERILOR, PLASMEI ȘI RADIAȚIEI
(INFLPR), STR. ATOMIȘTILOA NR. 409,
MĂGURELE, IF, RO

(72) Inventatori:
• **SPOREA DAN**, ȘOS. PANTELIMON
NR. 229, BL. 69, ET. 6, AP. 31, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO;
• **STĂNCALIE ANDREI OCTAVIAN**,
STR. VULCAN-JUDEȚU NR. 31-35, BL.B3A,
ET. 6, AP. 47, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B,
RO;
• **SPOREA ADELINA**, ȘOS. PANTELIMON
NR. 229, BL. 69, ET. 6, AP. 31, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO

(54) METODĂ ȘI ECHIPAMENT PENTRU MONITORIZAREA DISTRIBUITĂ A UNUI CÂMP DE RADIAȚIE IONIZANTĂ

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un aparat pentru monitorizarea, distribuită în spațiu, a unui câmp de radiație ionizantă. Metoda conform inventiei se bazează pe folosirea unei rețele de senzori cu fibră optică, de tip "long period", și constă în măsurarea în timp real a modificării lungimii de undă centrale a fiecărui senzor, la expunerea la un câmp de radiație ionizantă, modificarea lungimii de undă fiind proporțională cu doza totală la care a fost expusă rețeaua, iar prin dispunerea în anumite poziții a senzorilor cu fibre optice care alcătuiesc rețeaua de senzori, se poate monitoriza variația spațială, 3D, a dozei în diferite puncte de interes ale câmpului de radiație ionizante. Aparatul conform inventiei este alcătuit dintr-o rețea de senzori (15) cu fibră optică de tip "long period", cuplați prin intermediul unor fibre optice (16) de conexiuni, a unui circulator (19) cu fibre optice și a unui multiplexor (22) cu fibre optice, la un reflectometru (25) optic în domeniul frecvență, și dintr-o rețea de senzori (27) cu fibră optică de tip rețea Bragg, cuplați, prin intermediul altor fibre optice (28) de conexiuni și a multiplexorului (22), la un interrogator (32) pentru fibre optice, atât reflectometrul (25) optic, cât și interrogatorul (32) pentru fibre optice fiind conectate la o unitate centrală (33) care măsoară valorile lungimilor de undă centrale ale

senzorilor (15) cu fibră optică tip "long period", și calculează doza totală și rata dozei la care au fost expuși senzorii (15), rezultatele fiind corectate cu variațiile de temperatură determinate de unitatea centrală (33) prin măsurarea variațiilor lungimilor de undă centrale ale senzorilor (27) cu fibră optică tip rețea Bragg.

Revendicări: 15

Figuri: 11

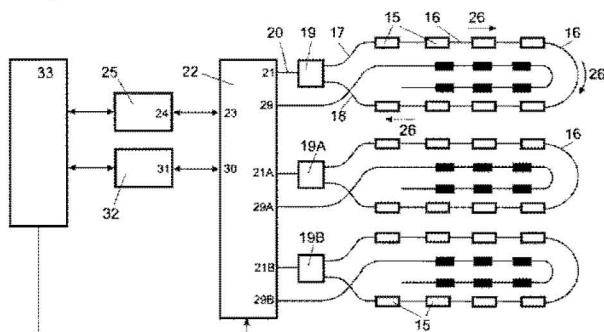


Fig. 5

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



METODA SI ECHIPAMENT PENTRU MONITORIZAREA DISTRIBUITA A UNUI CAMP DE RADIATIE IONIZANTA DESCRIERE

Invenția de referă la o metodă și un aparat pentru monitorizarea distribuită în spațiu a unui câmp de radiații ionizante. Metoda și aparatul sunt destinate monitorizării unor câmpuri de radiații ionizante (de exemplu radiație gamma) și măsurării atât a debitului dozei, cât și a dozei totale integrale în mai multe locații distribuite spațial. Metoda și aparatul pentru monitorizarea câmpului de radiații ionizante și măsurarea dozei și debitului dozei, conform invenției, trebuie să îndeplinească simultan condițiile de mai jos:

1. Să permită detecția în timp real a debitului dozei în cazul câmpurilor de radiații ionizante.
2. Să permită detecția în timp real a dozei totale integrale în cazul câmpurilor de radiații ionizante.
3. Să permită monitorizarea distribuită într-un spațiu limitat, în mod 3D, după direcții și într-un volum determinate de operator, a debitului dozei și a dozei totale integrale.
4. Să permită achiziția și prelucrarea automată a datelor obținute prin monitorizarea câmpului de radiații ionizante.
5. Să fie ușor de manipulat.

Sunt cunoscute mai multe echipamente pentru monitorizarea câmpurilor de radiații ionizante și/ sau măsurarea dozei și/sau măsurarea ratei dozei. În continuare vor fi prezentate câteva astfel de soluții.

Intr-o astfel de realizare, este creată o rețea de senzori cu scintilație care pot fi distribuți arbitrar în spațiu și care detectează radiațiile ionizante. Senzorii au autonomie atât din punct de vedere al alimentării, cât și al prelucrării de date. Detectoarele pot comunica cu o unitate centrală prin conexiune tip wireless.[1,2]. Datele sunt analizate de către o rețea care înglobează toți senzorii. Sistemul este conceput pentru monitorizarea unor surse mobile de radiații. Această realizare are următoarele inconveniente:

- a. Impune folosirea unor dispozitive care necesită consum de energie în diferitele puncte ale rețelei.
- b. Circuitele de control, de prelucrare locală a datelor și cele de comunicații între sistemele de detectoare și unitatea centrală nu pot funcționa în câmpuri de radiații permanente, intense, având în vedere efectele radiațiilor ionizante asupra componentelor electronice.

O altă implementare propune realizarea unui dozimetru distribuit pentru câmpuri de radiații ionizante prin măsurarea atenuării induse în fibre optice dopate sub acțiunea radiației, folosind tehnica tip OTDR (optical time domain reflectometry) [3]. În această realizare, detecția locului unde radiația ionizantă afectează fibra optică se face prin măsurarea timpului de zbor al semnalului retroreflectat din punctul respectiv către emițătorul aflat la unul din capetele fibrei optice. Estimarea dozei la care a fost expusă fibra optică în fiecare punct de măsură se face prin măsurarea atenuării pulsului optic retroreflectat către sursă. Un astfel de detector are următoarele dezavantaje:

- a. Fiind un sistem de detecție bazat pe evaluarea semnalului retroreflectat necesită o sensibilitate mare la detecție și este susceptibil de un raport mic S/N, condiții care limitează gama dinamică de funcționare.
- b. Rezoluția spațială a detecției, deci localizarea fiecărui punct de măsură este limitată la distanțe de ordinul a un metru, fiind determinată de rezoluția sistemului de citire, tip OTDR.

O altă implementare sugerează utilizarea unei matrici de electrozi colectori de sarcină electrică, între care sunt plasate celule formate din materiale care convertesc radiația incidentă în sarcină electrică. Un circuit special permite “citirea” succesivă a sarcilor generate sub acțiunea radiației. [4-10]. O variantă sugerează folosirea unei matrici de celule umplute cu un lichid a cărui culoare se modifică sub acțiunea radiației. Măsurarea acestei schimbări de culoare furnizează informații asupra distribuției spațiale a radiației [11]. Dezavantajele acestei abordări sunt:

- a. Necesitatea unei tehnologii sofisticate pentru realizarea matricei de electrozi și celule detectoare.
- b. Nu permite decât măsurări 2D, în planul matricei de detectoare.
- c. Permite monitorizarea câmpului de radiație ionizantă numai în cazul unor arii relativ mici, arii comparabile cu aria matricei de detectoare.

O altă abordare a problemei propune relizarea unui detector pentru evaluarea distribuției spațiale a radiației, detector format dintr-o cameră de ionizare și un sistem de obturare mecanică. Semnalul furnizat de camera de ionizare este corelat cu poziția obturatorului care blochează o parte din radiație să ajungă la camera de ionizare. În acest fel, poate fi determinată distribuția spațială a radiației în planul camerei de ionizare. [12]. Acest dispozitiv prezintă următoarele limitări:

- a. Detecția se realizează numai într-un plan.
- b. Suprafața pentru care are loc determinarea distribuției spațiale a radiației este limitată la aria camerei de ionizare.
- c. Sistemul de detecție include componente mecanice în mișcare, a căror deplasare trebuie sincronizată cu citirea semnalului furnizat de camera de ionizare. În plus, rezoluția spațială este limitată de raportul dintre aria camerei de ionizare și aria suprafeței care nu este obturată.

Un alt patent propune realizarea unui sistem pentru monitorizarea distribuției spațiale a unei radiații care folosește un set de detectoare individuale de radiație care pot fi deplasate sau rotite astfel încât să fie baleiat un plan de detecție [13-15]. Dezavantajele acestei soluții sunt:

- a. Permite numai monitorizarea distribuției spațiale 2D a unei radiații.
- b. Necesită un sistem de baleaj.
- c. Suprafața pentru care se poate face detecția este limitată la aria care poate fi baleiată.

O altă soluție propune construcția unui echipament pentru determinarea distribuției spațiale a unei radiații alcătuit din mai multe celule de detecție elementare, dispuse în același plan, celule care pot fi interogate secvențial [16,17]. Această soluție are dezavantajele că:

- a. Realizarea mozaicului de detectoare împreună cu circuitele de citire și prelucrare a semnalului detectat necesită tehnologii complicate.
- b. Detecția este posibilă numai într-un plan.
- c. Aria pentru care se face localizarea radiației incidente este limitată la dimensiunea matricei de senzori.

O altă variantă include o folie rezistivă pe care este incidentă radiația de investigat. Folia are o formă circulară și ei îi sunt atașați la extremitățile a două diametre perpendiculare patru electrozi care culeg sarcina generată la incidenta radiației pe folie. Din măsurarea sarcinilor culese după cele patru direcții este evaluată poziția spotului radiației incidente [18]. Dezavantajele acestei abordări sunt:

- a. Detecția se realizează numai într-un plan.
- b. Aria utilă este limitată la aria foliei rezistive.
- c. Echipamentul nu poate detecta decât poziția unui fascicul de radiație cu un diametru mai mic decât diametrul foliei rezistive. În cazul în care cele două diametre sunt egale sau dacă fascicul are un diametru mai mare decât folia rezistivă dispozitivul este inoperant.

O altă implementare se referă la un bloc de material care sub incidența radiației emite o radiație secundară care la rândul ei este detectată de un fluid care circulă prin niște canale practicate în blocul menționat. [19]. Si acest fel de detector limitează detecția într-un plan, pe o arie determinată de secțiunea blocului folosit. O altă limitare este dată de procedurile tehnologice relativ complicate de realizare a detectorului 2D.

Un alt patent propune folosirea unui mănușchi de fibre optice prevăzute la unul din capete cu elemente fosforescente sensibile la radiația care urmează a fi detectată [20]. La capătul opus al mănușchii de fibre optice este cuplată o matrice de detectoare optice. Dezavantajul acestei soluții constă în aceea că nu permite decât evaluarea unui câmp de radiații având secțiunea comparabilă cu aria transversală a mănușchii de fibre optice. În plus, detecția are loc numai după două direcții.

Metoda și aparatul pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă, conform invenției, se bazează pe folosirea unei rețele de senzori cu fibră optică tip rețea "long period", care face posibilă dozimetria câmpurilor de radiație ionizantă prin măsurarea în timp real a modificării lungimii de undă centrale a fiecarui senzor de tip rețea "long period" la expunerea acestora la un câmp de radiație ionizantă. În anumite limite ale dozei totale, modificarea lungimii de undă centrale a rețelelor cu fibre optice este proporțională cu doza totală la care a fost expusa fiecare rețea. Folosind fenomenul descris anterior este evaluată doza primită de fiecare senzor, deci doza totală din locația în spațiu unde este poziționat respectivul senzor. Prin disponerea într-un volum definit de operator în anumite poziții a senzorilor cu fibre optice care alcătuiesc rețeaua de senzori se poate monitoriza variația spațială, 3D, a dozei în diferitele puncte de interes ale câmpului de radiații ionizante. În cazul în care se măsoară durata expunerii la radiația ionizantă a fiecarui senzor cu fibre optice, din valoarea determinată a dozei totale în acel punct poate fi determinată rata dozei în punctul respectiv. Senzorii cu fibre optice tip rețea "long period" pot fi conectați în serie și "cîști" cu o singură fibră optică, cu condiția ca lungimile de undă centrale ale acestor senzori să fie diferite între ele; să nu existe în lanțul de senzori doi sau mai mulți senzori cu aceeași lungime de undă centrală. În acest mod, are loc o multiplexare în lungimi de undă a semnalului citit a senzorilor din rețeaua de senzori.

Avantajul principal al metodei și aparatului pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă, conform invenției, față de soluțiile descrise în conformitate cu stadiul tehnicii prezentat anterior, constă în faptul că permite monitorizarea în timp real, in-situ, atât a debitului dozei, cât și a dozei totale integrate, în cazul unor câmpuri de radiații ionizante, într-o geometrie 3D, deci într-un volum oricăr de complex. Un alt avantaj al metodei și aparatului pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă îl constituie faptul că elementele folosite pentru detecția radiației sunt integrate fibrei optice care ghidează semnalul optic de citire, citirea mai multor senzori structurați într-o rețea de senzori putând fi realizată cu aceeași fibră optică. Acest fapt simplifică mult soluția de accesare a rețelei de senzori. Un avantaj important este conferit de faptul că în zona unde are loc expunerea la radiații ionizante nu există componente sau circuite electronice a căror funcționare poate fi perturbată de radiația ionizantă. Un avantaj major al aparatului pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă este conferit și de faptul că nu implică folosirea unor sisteme mecanice (translație sau rotație) de baleaj a câmpului de radiație. Un alt avantaj se referă la faptul că rețeaua de senzori cu fibră optică de tip rețea "long period" poate fi configurată în orice mod (unidimensional, bidimensional, tridimensional), cu rezoluție spațială mare, în funcție de modalitatea de disponere în spațiu a acestor senzori, în acest fel rezoluția spațială a rețelei de senzori este mult îmbunătățită față de soluțiile similare care utilizează fibre optice. Un alt avantaj al soluției propuse este conferit de folosirea în constituirea rețelei distribuite a unor senzori cu fibră optică tip rețea "long period" care pot fi realizati prin numeroase procedee, în sine cunoscute [21-25]. Un alt avantaj major al soluției

propuse îl constituie faptul că metoda face posibilă măsurarea, în timp real, atât a dozei totale integrale cât și a ratei dozei. Alt avantaj îl reprezintă faptul că rețele cu fibră optică tip rețea "long period" pot fi realizate în diferite tipuri de fibră optică [22, 23, 25, 26-31], fapt ce le conferă o sensibilitate diferită față de radiația ionizantă [32-34], în acest fel, se pot realiza rețele de senzori specifice unei anumite rate a dozei sau a dozei totale, deci o dinamică mare a semnalului de monitorizat. Un alt avantaj foarte important al soluției propuse îl constituie compensarea cu temperatura a răspunsului rețelei de senzori cu fibră optică. Un alt avantaj al soluției propuse îl constituie faptul că, în plus față de multiplexarea în lungimi de undă, se poate realiza și o multiplexare spațială, mărfindu-se în acest fel numărul de senzori care sunt distribuiți spațial. Un avantaj în plus îl constituie citirea prin transmisie (semnal transmis de fibra optică) a semnalului de la senzorii cu fibra optică fapt ce determină un raport S/N mult mai mare decât în cazul în care semnalul optic este citit prin reflexie (semnal retroreflectat).

Toate aceste avantaje vor fi ilustrate pe parcursul descrierii metodei și aparatului pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă.

In figura 1 este prezentată variația transmitanței spectrale în funcție de lungimea de undă centrală a unui senzor cu fibre optice tip rețea "long period" înainte și după expunerea sa la radiația gamma.

In figura 2 este reprodusă cu titlu de exemplu, dependența lungimii de undă centrale a unui senzor cu fibră optică tip rețea "long period" de doza totală a radiației gamma la care a fost expus.

Figura 3 reproduce modificarea în funcție de temperatură a lungimii de undă centrale în cazul unui senzor cu fibre optice tip rețea "long period" (a) și a unui senzor cu fibre optice tip rețea Bragg (b).

In figura 4 este reprobus un exemplu de realizare a aparatului pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă.

In figura 5 este indicat un alt exemplu de realizare a aparatului pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă.

Figura 6 ilustreaza un exemplu de poziționare a rețelei de senzori pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă.

Figura 7 ilustreaza un alt exemplu de poziționare a rețelei de senzori pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă.

Figura 8 ilustreaza un alt exemplu de poziționare a rețelei de senzori pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă.

Figura 9 ilustreaza un alt exemplu de poziționare a rețelei de senzori pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă.

In figura 10 este prezentată o modalitate de utilizare a senzorilor cu fibră optică tip rețea Bragg și a celor tip rețea "long period".

In figura 11 este prezentată o altă modalitate de utilizare a senzorilor cu fibră optică tip rețea Bragg și a celor tip rețea "long period".

Se dau în continuare câteva exemple de realizare ale invenției.

După cum se prezinta în figura 1, senzorii cu fibre optice de tip rețea "long period" își modifică lungimea de undă centrală când sunt expuși la o radiație ionizantă. In momentul expunerii la o radiație ionizantă, anumiți senzori cu fibre optice de tip rețea "long period" își modifică lungimea de undă centrală cu o valoare proporțională, în anumite limite, cu doza totală la care au fost expuși, aşa cum este exemplificat în figura 2. Pentru aceleasi doze totale s-a constatat că senzorii cu fibre optice tip Bragg sunt practic insensibili la radiația ionizantă, lungimea de undă centrală în cazul acestor senzori rămânând constantă cu creșterea dozei, sau variind nesemnificativ în comparație cu modificările survenite în cazul senzorilor cu fibră optică tip rețea 'long period'. Si în cazul senzorilor cu fibră optică de tip rețea "long period" și în cazul senzorilor cu fibră optică de tip rețea Bragg, modificarea temperaturii ambiante sau

aplicarea unor tensiuni mecanice asupra senzorilor produc o variație a lungimii de undă centrale. În figura 3 este prezentată, ca un exemplu, variația lungimii de undă centrale în funcție de temperatura ambientă, în cazul unui senzor cu fibre optice de tip rețea "long period" și a unui senzor cu fibre optice de tip Bragg. Sensibilitatea față de variațiile temperaturii ambiante sau față de tensiunea mecanică aplicată depinde de modalitatea de realizare a senzorului cu fibră optică și de compoziția fibrei optice în care este realizat senzorul respectiv. Ca o concluzie la cele expuse mai sus se poate afirma că la iradierea cu o radiație ionizantă a unui senzor cu fibră optică de tip rețea "long period" lungimea de undă centrală a senzorului se poate modifica ca urmare a variației temperaturii ambiante, a aplicării unor tensiuni mecanice asupra senzorului și a efectului radiației ionizante. În cazul unui senzor cu fibră optică de tip rețea Bragg, pe durata expunerii sale la o radiație ionizantă, lungimea de undă a senzorului poate varia ca răspuns la o modificare a temperaturii ambiante sau în urma aplicării unor tensiuni mecanice asupra senzorului. Deci, în situația iradierii cu o radiație ionizantă cei doi senzori se deosebesc între ei prin sensibilitatea senzorului cu fibră optică de tip rețea "long period" față de radiația incidentă și prin imunitatea față de această radiație a senzorului cu fibră optică de tip rețea Bragg. În acest fel, dacă ambii senzori sunt fixați într-o montură care poate fi realizată printr-o metodă în sine cunoscută, montură care este transparentă față de radiația ionizantă, de exemplu o montură de plastic sau sticlă, dar care să îi fixeze rigid și care să nu permită exercitarea unor acțiuni mecanice asupra senzorilor, cei doi senzori vor fi stabili în raport cu tensiunile mecanice care ar putea fi exercitate din exterior, iar lungimea de undă centrală a acestor senzori nu va fi influențată de tensiunile mecanice externe. În cazul în care, cei doi senzori sunt izolați termic față de mediul înconjurător print-o metodă în sine cunoscută (de exemplu, vată de sticlă, material termoizolant) care să nu constituie un ecran pentru radiația ionizantă, acești senzori nu vor fi influențați de variația temperaturii ambiante pe durata iradierii. Dacă cele două condiții, izolare termică și protecția față de tensiunile mecanice externe, sunt realizate simultan, atunci variația lungimii de undă centrale a celor doi senzori va depinde numai de doza totală primită, așa cum s-a arătat mai sus. În cazul în care nu se poate realiza o izolare termică eficientă pentru cei doi senzori, pe durata iradierii lungimea de undă centrală a senzorilor va depinde atât de doza totală primită, cât și de temperatura ambientă. În această situație, senzorul cu fibre optice de tip Bragg va fi folosit numai pentru măsurarea variațiilor de temperatură astfel încât în baza datelor achiziționate de la acest senzor să poată fi realizată corecția cu temperatura a răspunsului senzorului de tip rețea "long period". În acest fel, expunând în aceeași locație senzorii cu fibră optică de tip rețea "long period" și de tip rețea Bragg, poate fi evaluat, prin citire diferențială în raport cu temperatura ambientă, numai efectul iradierii. Un astfel de sistem permite dozimetria radiațiilor ionizante, on-line și distribuit, după cum se va arăta în continuare.

Buna funcționare a unui astfel de sistem de senzori distribuiți implică:

- protecția senzorilor cu fibră optică în raport cu solicitări mecanice externe, condiție care se poate realiza prin metode în sine cunoscute;
- etalonarea modificării lungimii de undă centrale a senzorilor în raport cu variația temperaturii ambiante așa cum se arată în figura 3, condiție care se poate realiza prin metode în sine cunoscute;
- etalonarea modificării lungimii de undă centrale a senzorului cu fibre optice de tip rețea "long period" în raport cu doza totală la care a fost expus așa cum se arată în figura 2, condiție care se poate realiza prin metode în sine cunoscute;

Pentru senzorii cu fibre optice conectați serial, lungimea de undă centrală trebuie să difere de la senzor la senzor, astfel încât acești senzori să poată fi interogați prin același fibră optică, prin multiplexare în lungime de undă. În plus, trebuie ca în urma variației lungimii de undă centrale a unui senzor cu temperatură sau ca urmare a iradierii, noile valori să nu se

suprapună peste spectrul senzorilor adiacenți din punctul de vedere a lungimii de undă, astfel încât să poată fi decelați senzorii între ei la citire.

Un exemplu de realizare a invenției este prezentat în continuare în legătură cu figura 4. Pentru a realiza o monitorizare distribuită a unui câmp de radiații ionizante, niște senzori cu fibre optice de tip rețea "long period" (1) sunt conectați în serie prin intermediul unor fibre optice de conexiuni (2). Dacă acești senzori cu fibre optice sunt izolați termic ei sunt conectați între ei în mod direct. În cazul în care acești senzori nu sunt izolați termic și este necesară compensarea variațiilor temperaturii ambiante pe durata iradierii, în conformitate cu cele expuse anterior, între acești senzori cu fibre optice de tip rețea "long period" se conectează și niște senzori cu fibre optice de tip rețea Bragg (3), insensibili la radiații și sensibili la variațiile temperaturii ambiante. În ambele cazuri, toți senzorii sunt protejați față de solicitările mecanice externe. Numărul și poziționarea senzorilor cu fibre optice de tip rețea Bragg se stabilește în funcție de gradientul de temperatură în volumul în care are loc iradierea. Cele două extremități ale unui șir complet de senzori (numai senzori tip rețea "long period" sau combinații cu senzori de tip rețea Bragg) se cuplază la o ieșire (5), respectiv la o intrare (6) a unui multiplexor cu fibre optice (4). O altă intrare (7) a multiplexorului cu fibre optice (4) este cuplată la ieșirea (10) a unei surse optice cu spectru larg de emisie (9). O altă ieșire (8) a multiplexorului cu fibre optice (4) este cuplată la intrarea (12) a unui analizor de spectru optic (11). La alte ieșiri (5A, 5B, 5C etc.) și la alte intrări (6A, 6B, 6C etc.) ale multiplexorului cu fibre optice (4) pot fi cuplate, în cazul unei multiplexări spațiale mai multe șiruri de senzori cu fibre optice simple, alcătuite numai din senzori de tip rețea "long period" sau complexe, care să includă și senzori de tip rețea Bragg.

Funcționarea multiplexorului cu fibre optice (4) este controlată de o unitate centrală (13) de control, prelucrare și afișare a datelor. Aceeași unitate centrală (13) de control, prelucrare și afișare a datelor controlează și funcționarea analizorului de spectru (11). Ca urmare a unor comenzi furnizate de unitatea centrală (13), intrarea (7) a multiplexorului cu fibre optice (4) este cuplată la ieșirea (5) a acestuia, simultan cu cuplarea ieșirii (8) a multiplexorului cu fibre optice (4) la intrarea (6) a acestuia. În acest fel, semnalul optic (14) generat de sursa optică (9) parcurge întregul lanț de senzori cu fibre optice și ajunge la intrarea (12) a analizorului de spectru optic (11).

În situația descrisă mai sus, unitatea centrală (13) comandă măsurarea prin intermediul analizorului de spectru optic (11) a lungimii de undă centrale a fiecărui senzor din rețea, indiferent de tipul acestuia (1 sau 3). Din variația lungimii de undă a senzorilor de tip rețea Bragg (3), unitatea centrală (13) calculează, cu ajutorul curbelor de etalonare (figura 3) și conform unui algoritm în sine cunoscut, variația de temperatură în fiecare poziție unde sunt amplasați senzorii respectivi. Din variația lungimii de undă a senzorilor de tip rețea "long period" (1), unitatea centrală (13) calculează, folosind curbele de etalonare (figurile 2 și 3) și conform unui algoritm în sine cunoscut, doza totală la care au fost expuși senzorii de tip rețea "long period" (1), în locațiile în care au fost amplasați. Doza totală în fiecare punct este calculată de unitatea centrală (13) folosind corecții de temperatură deduse din rezultatele obținute în fiecare locație ca urmare a determinării temperaturii cu ajutorul senzorilor de tip rețea Bragg. În acest fel, se realizează o monitorizare spațială distribuită a câmpului de radiație ionizantă, în lungul retelei de senzori cu fibre optice. Utilizarea informației provenind de la senzorii cu fibre optice tip rețea Bragg (3) nu este necesară pentru corecția cu temperatura a răspunsului senzorilor tip rețea "long period" (1) în cazul în care acești senzori sunt izolați termic în raport cu mediul ambient.

În situația în care se dorește acoperirea unui volum mai mare sau o rezoluție spațială mai mare, la ieșirile 5A, 5B, 5C etc. ale multiplexorului cu fibre optice și la intrările 6A, 6B, 6C etc. ale acestuia se conectează alte rețele de senzori cu fibre optice, ca în figura 4. Aceste rețele sunt conectate rând pe rând, prin intermediul multiplexorului cu fibre optice, la ieșirea

(10) a sursei optice (9) și la intrarea (12) a analizorului de spectru optic (11). Si în aceste cazuri, unitatea centrală (13) măsoară și calculează distribuția spațială a dozei la care a fost expus fiecare senzor interrogat al rețelei

Un alt exemplu de realizare a prezentei invenții este prezentat în continuare în legătură cu figura 5. Niște senzori cu fibre optice de tip rețea "long period" (15) sunt cuplați în serie prin intermediul unor fibre optice de conexiuni (16) la o ieșire (17) și respectiv la o intrare (18) a unui circulator pentru fibre optice (19). O intrare (20) a circulatorului (19) este cuplată la o ieșire (21) a unui multiplexor pentru fibre optice (22). O intrare (23) a multiplexorului (22) este cuplată la o ieșire (24) a unui reflectometru optic în domeniul frecvență (25). Circulatorul pentru fibre optice (19) permite numai propagarea unui semnal optic (26) de la ieșirea (17) a circulatorului (19) către intrarea (18) a circulatorului. Reflectometrul optic în domeniul frecvență (25) are ca principiu de funcționare emitera unui puls de radiație optică la ieșirea (24) și recepția unui puls optic care se întoarce la același terminal. Prin evaluarea semnalului primit, echipamentul determină pierderile (atenuările) spectrale prin fibra optică la care este conectat. În acest fel, reflectometrul optic în domeniul frecvență (25) permite determinarea lungimii de undă centrale ale senzorilor cu fibră optică de tip rețea "long period" (15) cuplați în serie, cu condiția menționată anterior ca acești senzori să prezinte lungimi de undă centrale diferite.

Niște senzori cu fibră optică de tip rețea Bragg (27) sunt cuplați în serie prin intermediul unor fibre optice de conexiuni (28) la o ieșire (29) a unui multiplexor pentru fibre optice (22). O intrare (30) a multiplexorului pentru fibre optice (22) este cuplată la o ieșire (31) a unui interrogator pentru fibre optice (32). Interrogatorul (32) poate măsura lungimile de undă centrale corespunzătoare tuturor senzorilor cu fibre optice de tip rețea Bragg (27) cuplați în serie, cu condiția ca aceste lungimi de undă să fie diferite.

O unitate centrală (33) de control, prelucrare și afișare a datelor controlează funcționarea reflectometrului optic în domeniu frecvență (25), a interrogatorului pentru fibre optice (32) și a multiplexorului pentru fibre optice (22). Unitatea centrală (33) comandă prin intermediul reflectometrului optic în domeniu frecvență (25) și a multiplexorului pentru fibre optice (22) măsurarea valorii lungimii de undă centrale a senzorilor cu fibră optică de tip rețea "long period" (15) cuplați la circulatorul pentru fibre optice (19) și prin intermediul interrogatorului cu fibre optice (32) și a multiplexorului pentru fibre optice (22) a valorii lungimii de undă centrale a senzorilor cu fibre optice de tip rețea Bragg (27) cuplați la multiplexorul cu fibre optice (22). Din variația lungimii de undă a senzorilor de tip rețea Bragg (27), unitatea centrală (33) calculează, cu ajutorul curbelor de etalonare (figura 3) și conform unui algoritm în sine cunoscut, variația de temperatură în fiecare poziție unde sunt amplasați senzorii respectivi. Din variația lungimii de undă a senzorilor de tip rețea "long period" (15), unitatea centrală (33) calculează, folosind curbele de etalonare (figurile 2 și 3) și conform unui algoritm în sine cunoscut, doza totală la care a fost expuși senzorii de tip rețea "long period" (15), în locațiile în care au fost amplasați. Doza totală în fiecare punct este calculată de unitatea centrală (33) folosind corecții de temperatură deduse din rezultatele obținute în fiecare locație ca urmare a determinării temperaturii cu ajutorul senzorilor de tip rețea Bragg (27). În acest fel, se realizează o monitorizare spațială distribuită a câmpului de radiație ionizantă, în lungul rețelei de senzori cu fibre optice.

În situația în care senzorii cu fibre optice de tip rețea "long period" (15) sunt izolați termic față de mediul ambiant, nu mai este necesară utilizarea rețelei de senzori de tip Bragg (27) și a interrogatorului pentru fibre optice (32).

În cazul în care se dorește o rezoluție spațială mai bună sau este necesară monitorizarea unui volum mai mare expus la radiații ionizante, la ieșirea multiplexorului (22) se cuplează circulațioare adiționale (19A, 19B etc.) și rețele de senzori de tip rețea "long period" (15A, 15B etc.) sau rețele de senzori de tip Bragg (27A, 27B etc.), ca în figura 5.

Unitatea de comandă (13) sau unitatea de comandă (33) pot fi programate să înregistreze, prin metode în sine cunoscute, durata de timp pentru care are loc expunerea la radiația ionizantă astfel încât ele pot calcula, în timp real, pentru fiecare punct din spațiu unde a fost montat un senzor cu fibre optice de tip rețea "long period" (1) sau (15), din doza totală măsurată în fiecare punct, rata dozei.

Prin metode de comparare, în sine cunoscute, aparatul pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă poate fi etalonat în raport cu un dozimetru etalon, prin etalonarea individuală a senzorilor cu fibre optice de tip rețea "long period" care intră în compunerea rețelei de senzori.

Pentru monitorizarea unui câmp de radiații ionizante după o singură direcție în spațiu, poate fi utilizată poziționarea rețelei formată din niște senzori de tip rețea "long period" (34) conform figurii 6. Distanța dintre senzori poate să fie constantă sau variabilă, în conformitate cu particularitățile aplicației. În cazul în care se dorește o rezoluție spațială mai ridicată senzorii pot fi dispuși ca în figura 7, distanța dintre doi senzori succesiivi fiind constantă sau variabilă.

În cazul în care se dorește monitorizarea într-un plan a unui câmp de radiații ionizante, poate fi adoptată geometria de poziționare a unor senzori cu fibră optică tip rețea "long period" (35) în conformitate cu figura 8. După cum se observă în figura 8 poziția relativă a senzorilor cu fibră optică tip rețea "long period" într-un plan se poate modifica în conformitate cu cerințele aplicației.

Pentru aplicații care impun monitorizarea în spațiu, 3D, a unui câmp de radiații ionizante disponerea unor senzori cu fibră optică tip "long period" (35) și Bragg (36) se poate realiza conform exemplului din figura 9.

Faptul că senzorii sunt intrinseci fibrei optice și pentru că ei sunt conectați tot prin fibră optică face posibilă realizarea oricărei geometrii de monitorizare a unui câmp de radiație ionizantă, 1D, 2D sau 3D poziționând niște senzori cu fibră optică tip "long period" (37) și niște senzori cu fibră optică tip Bragg (38).

O flexibilitate marită este conferintă aparatului pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă și prin faptul că niște senzori cu fibră optică de tip rețea "long period" (39) și niște senzori cu fibră optică tip Bragg (40) pot fi poziționați separat în niște casete (41), având ca scop să elimine efectele unor tensiuni mecanice externe, ca în figura 10, sau pot fi încapsulați împreună în aceeași casetă (42), după cum se arată în figura 11, în cazul în care este necesară corecția cu variația temperaturii ambiante a răspunsului senzorilor de tip rețea "long period".

Referinte bibliografice:

1. R. J. Nemzek, J. S. Dreicer, D. C. Torney, and T. T. Warnock, Distributed sensor networks for detection of mobile radioactive sources, IEEE Trans. Nucl. Scie., vol. 51, No. 4, pp. 1693-1700, August 2004.
2. S. M. Brennan, A. B. Maccabe, A. M. Mielke, D. C. Torney, Radiation detection with distributed sensor networks, IEEE Computer, vol. 37, No. 8, pp. 1-10, August 2004.
3. H. Henschel, M. Körfer, K. Wittenburg, F. Wulf, Fiber optic radiation sensing systems for TESLA, TESLA Report No. 2000-26, 2000.
4. WO 94/25878.
5. US5693947.
6. US4365161.
7. US6627897B1.
8. US2002/0036269A1.
9. US7902976B2.
10. US2011/0121980A1.
11. US7750317B2.
12. 0524752A1.
13. EP1474704B1.
14. US5025376.
15. US6794656B2.
16. EP2028509A1
17. US3703638.
18. US3843886.
19. WO00/50922.
20. US5391879.
21. J. M. P. Ceolho, M.C. Nespereira, M. Abreu, and J..M. Rebordão, "Modeling refractive index change in writing long-period fiber gratings using mid-Infrared laser radiation," Photonic Sensors, vol. 3, no. 1, pp. 67–73, 2013.
22. D. Sáez-Rodríguez, J.L. Cruz Munoz, I. Johnson, D.J. Webb, and M.C.J. Large, "Alexander Argyros, Long period fibre gratings photoinscribed in a microstructured polymer optical fibre by UV radiation," Photonic Crystal Fibers III, K. Kalli, Ed., Proc. of SPIE, vol. 7357, pp. 73570L-1 – 7350L-8, 2009, doi: 10.1117/12.823292.
23. P.G. Kryukov, Yu.V. Larionov, A.A. Rybaltovskii, K.A. Zagorul'ko, A. Dragomir, D.N. Nikogosyan, and A.A. Ruth, "Long-period fibre grating fabrication with femtosecond pulse radiation at different wavelengths," Microelectronic Engineering, vol. 69 pp. 248–255 2003.
24. Y. Kondo, K. Nouchi, T. Mitsuyu, M. Watanabe, P. G. Kazansky, and K. Hirao, "Fabrication of long-period fiber gratings by focused irradiation of infrared femtosecond laser pulses," Optics Letters, vol. 24, Issue 10, pp. 646-648, 1999, <http://dx.doi.org/10.1364/OL.24.000646>.
25. M. Smietana, W.J. Bock and P. Mikulic, "Comparative study of long-period gratings written in a boron co-doped fiber by an electric arc and UV irradiation," Meas. Sci. Technol., vol. 21 025309 (8pp), 2010, doi:10.1088/0957-0233/21/2/025309.
26. G. Rego, A.F. Fernandez, G. Gusarov, B. Brichard, F. Berghmans, J. L. Santos, and H.M. Salgado, "Effect of ionizing radiation on the properties of arc-induced long-period fiber gratings," App. Opt., vol. 44, No. 29, pp. 6258-6263, 10 October 2005.
27. B.A. Tahir, M. A. Saeed, R. Ahmed, M. Ahmed, and M. Gul Bahar Ashiq, "Long-period gratings as strain sensor," Journal of Ovonic Research, vol. 8, No. 5, pp. 113 – 120, September – October 2012.

28. S.A. Vasiliev, E.M. Dianov, K.M. Golant, O.I. Medvedkov, A.L. Tomashuk, V.I. Karpov, M.V. Grekov, A.S. Kurkov, B. Leconte, and P. Niay, "Performance of Bragg and long-period gratings written in N- and Ge-doped silica fibers under γ -radiation," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 45, No. 3, pp. 1580-1583, JUNE 1998.
29. V.M. Churikov, V.I. Kopp, and A. Z. Genack, "Dual-twist fiber long period gratings," Optical Components and Materials VI, Jiang, S. Digonnet, M. J. F. J. W. Glesener, and J. C. Dries, Eds., Proc. of SPIE, vol. 7212, pp. 72120H-1 - 72120H-9, 2009, doi: 10.1117/12.809236.
30. A. A. Fotiadi, G. Brambilla, T. Ernst, S. A. Slattery, and D. N. Nikogosyan, "TPA-induced long-period gratings in a photonic crystal fiber: inscription and temperature sensing properties," J. Opt. Soc. Am. B, vol. 24, No. 7, pp. 1475-1481, July 2007.Y.
31. Wang, "Review of long period fiber gratings written by CO₂ laser," J. Appl. Phys., vol. 108, 081101 (2010).
32. H. Henschel, S.K. Hoeffgen, J. Kuhnhenn, and U. Weinand, "High radiation sensitivity of chiral long period gratings," IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. 57, Issue 5, pp. 2915 – 2922, 2010, doi: 10.1109/TNS.2010.2059043.
33. S. Kher, S., Chaubey, R. Kashyap, and S.M. Oak, "Turnaround-Point Long period fiber gratings (TAP-LPGS) as high radiation dose sensors," IEEE Photonics Techn Lett., vol. 24, Issue 9, pp. 742 – 744, 2012, doi: 10.1109/LPT.2012.2187637.
34. D. Sporea, A. Stancalie, D. Negut, G. Pilorget, S. Delepine-Lesoille, L. Lablonde, "On-line tests of an optical fiber long-period grating subjected to gamma irradiation", Third Mediterranean Photonics Conference, 7-9 May 2014, Trani, Italia

REVENDICĂRI

1. Metodă pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă, **catasterizată prin aceea că**, pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă și pentru evaluarea în timp real, in-situ, a debitului dozei și a dozei totale ale unui câmp de radiație ionizantă, utilizează modificarea, în funcție de doza totală, a lungimii de undă centrale a unor senzori cu fibre optice de tip rețea "long period" (1) sau (15), senzori care compun o rețea spațială ca urmare a cuplării lor prin intermediul unor fibre optice de conexiuni (2) sau (16), astfel încât senzorii care compun rețeaua pot fi interogați simultan, prin intermediul unei singure fibre optice.
2. Metodă pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă, **caracterizată prin aceea că**, utilizează, pentru a realiza corecția cu temperatură a răspunsului unor senzori cu fibre optice de tip rețea "long period" (1) sau (15), măsurarea variației temperaturii în locațiile unde sunt poziționați acești senzori cu ajutorul unei rețele de senzori cu fibre optice tip rețea Bragg (3) sau (27) cuplați între ei prin intermediul unor fibre optice de conexiuni (16) și (28).
3. Aparat pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă conform revendicărilor 1 și 2, **caracterizat prin aceea că**, este alcătuit în unul dintre exemplele de realizare dintr-o rețea formată din senzori cu fibră optică tip rețea "long period" (1) și senzori cu fibră optică tip rețea Bragg (3) cuplați între ei și la ieșirea (5) și respectiv la intrarea (6) a unui multiplexor cu fibre optice (4), a cărui intrare (7) este conectată la ieșirea (10) a unei surse optice (9) și a cărui ieșire (8) este cuplată la intrarea (12) a unui analizor de spectru optic (11), care are funcția de a citi valorile lungimii de undă centrale a tuturor senzorilor cu fibră optică (1) și (3) conectați ca mai sus.
4. Aparat pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă conform revendicărilor 1, 2 și 3, **caracterizat prin aceea că**, folosește în unul din exemplele de realizare o unitate centrală (13) de control, prelucrare și afișare a datelor pentru a controla funcționarea unui multiplexor cu fibre optice (4), astfel încât un semnal optic (14) generat de o sursă optică (9) este cuplat la rețeaua de senzori cu fibră optică (1) și (3) și este cuplat apoi la o intrare (12) a unui analizor de spectru optic (11), pentru a măsura, cu ajutorul analizorului de spectru optic (11), valorile lungimilor de lundă centrale ale tuturor senzorilor cu fibră optică (1) și (3) și pentru a calcula doza totală la care a fost expus fiecare senzor cu fibră optică tip rețea "long period" (1), corectată cu variația de temperatură în fiecare locație unde sunt plasați senzorii (1), ca urmare a măsurării acestei variații de temperatură cu ajutorul senzorilor cu fibră optică tip rețea Bragg (3).
5. Aparat pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă conform revendicărilor 1, 2, 3 și 4, **caracterizat prin aceea că**, folosește în unul din exemplele de realizare o unitate centrală (13) de control, prelucrare și afișare a datelor pentru a măsura durata de timp cât a fost expus la radiația ionizantă fiecare senzor cu fibră optică tip rețea "long period" (1) al unei rețele de senzori și calculează, pentru fiecare locație unde este poziționat un senzor cu fibră optică tip rețea "long period" (1), debitul dozei.
6. Aparat pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă conform revendicărilor 1 și 2, **caracterizat prin aceea că**, este alcătuit în unul din exemplele de realizare dintr-o rețea formată din senzori cu fibră optică tip rețea "long period" (15) cuplați, prin intermediul unor fibre optice de conexiuni (16), între ei și conectați la o ieșire (17) și respectiv la o intrare (18) a unui circulator pentru fibre optice (19), o intrare (20) a circulatorului (19) este cuplată la o ieșire (21) a unui multiplexor cu fibre optice (22), o intrare a multiplexorului cu fibre optice (22) fiind conectată la o ieșire (24) a unui reflectometru optic în domeniul frecvență (25), care are funcția de a citi valorile lungimilor

- de undă centrale ale senzorilor cu fibră optică tip rețea "long period" (15) conectați ca mai sus.
7. Aparat pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă conform revendicărilor 1 și 2, **caracterizat prin aceea că**, este alcătuit în unul din exemplele de realizare dintr-o rețea formată din senzori cu fibră optică tip rețea Bragg (27) cuplați între ei, prin intermediul unor fibre optice de conexiuni (28) și conectați la o ieșire (29) a unui multiplexor cu fibre optice (22), o intrare a multiplexorului cu fibre optice (22) fiind conectată la o ieșire (31) a unui interogator cu fibre optice (32), care are funcția de a citi valorile lungimilor de undă centrale ale senzorilor cu fibră optică tip rețea Bragg (27) conectați ca mai sus.
 8. Aparat pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă conform revendicărilor 1, 2 și 6, **caracterizat prin aceea că**, folosește în unul din exemplele de realizare o unitate centrală (33) de control, prelucrare și afișare a datelor pentru a controla funcționarea unui multiplexor cu fibre optice (22), astfel încât un semnal optic (26) generat la o ieșire (24) a unui reflectometru optic în domeniul frecvență (25) este cuplat, prin intermediul unui circulator cu fibre optice (19) la rețeaua de senzori cu fibră optică tip rețea "long period" (15) și este cuplat apoi la ieșirea (24) reflectometrului optic în domeniul frecvență (25), pentru a măsura, cu ajutorul reflectometrului optic în domeniul frecvență (25), valorile lungimilor de lundă centrale ale tuturor senzorilor cu fibra optica tip rețea "long period" (15) și pentru a calcula doza totală la care a fost expus fiecare senzor cu fibră optică (15), corectată cu variația de temperatură în fiecare locație unde sunt plasați niște senzori cu fibră optică tip rețea "long period" (15), ca urmare a măsurării acestei variații de temperatură cu ajutorul senzorilor cu fibră optică tip rețea Bragg (27).
 9. Aparat pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă conform revendicărilor 1, 2 și 7, **caracterizat prin aceea că**, folosește în unul din exemplele de realizare o unitate centrală (33) de control, prelucrare și afișare a datelor pentru a controla funcționarea unui multiplexor cu fibre optice (22), astfel încât un semnal optic (26) generat la ieșirea (31) a interogatorului pentru fibre optice (32) este cuplat la rețeaua de senzori cu fibră optică tip rețea Bragg (27), pentru a măsura, cu ajutorul interogatorului pentru fibre optice (32), valorile lungimilor de lundă centrale ale tuturor senzorilor cu fibra optica (27) și pentru a calcula variația de temperatură în fiecare locație unde sunt plasați senzorii (27).
 10. Aparat pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă conform revendicărilor 1, 2, 7 și 8, **caracterizat prin aceea că**, folosește în unul din exemplele de realizare o unitate centrală (33) de control, prelucrare și afișare a datelor pentru a măsura durata de timp cât a fost expus la radiația ionizantă fiecare senzor cu fibră optică tip rețea "long period" (15) al unei rețele de senzori și calculează, pentru fiecare locație unde este poziționat un senzor cu fibră optică (15), debitul dozei.
 11. Aparat pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă conform revendicărilor 1, 2, 3 și 4, **caracterizat prin aceea că**, folosește, în unul din exemplele de realizare, un multiplexor pentru fibre optice (4), controlat de o unitate centrală (13), pentru a cupla succesiv la o ieșire (10) a unei surse optice (9) și respectiv la o intrare (12) a unui analizor de spectru optic (11) mai multe rețele de senzori cu fibre optice tip "long period" (1) și Bragg (3), folosind succesiv niște intrări (5, 5A, 5B, 5C etc.) și niște ieșiri (6, 6A, 6B, 6C etc.) ale multiplexorului cu fibre optice (4), pentru a crește rezoluția spațială sau pentru a mări volumul în care se realizează monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă.
 12. Aparat pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă conform revendicărilor 1, 2, 6 și 8, **caracterizat prin aceea că**, folosește, în unul din exemplele de realizare, un multiplexor pentru fibre optice (22), controlat de o unitate centrală (33), pentru a cupla succesiv la o ieșire (24) a unui reflectometru optic în domeniul frecvență

- (25) mai multe rețele de senzori cu fibre optice tip "long period" (15), folosind succesiv niște intrări (21, 21A, 21B etc.) ale multiplexorului cu fibre optice (22), pentru a crește rezoluția spațială sau pentru a mări volumul în care se realizează monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă.
13. Aparat pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă conform revendicărilor 1, 2 și 9, **caracterizat prin aceea că**, folosește, în unul din exemplele de realizare, un multiplexor pentru fibre optice (22) pentru a cupla succesiv la o ieșire (31) a unui interogator pentru fibre optice (32) mai multe rețele de senzori cu fibre optice tip rețea Bragg (27), folosind succesiv niște intrări (29, 29A, 29B etc.) ale multiplexorului cu fibre optice (22).
14. Aparat pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă conform revendicărilor 1, 2, 3, 4, 6, 7 și 8, **caracterizat prin aceea că**, face posibilă determinarea distribuită a dozei și a ratei dozei în diferite puncte din spațiu folosind poziționarea 1D, 2D sau 3D a unor rețele de senzori cu fibre optice (34), (35), (36), (37) sau (38).
15. Aparat pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă conform revendicărilor 1, 2, 3, 6, și 7, **caracterizat prin aceea că**, permite măsurarea dozei și a temperaturii în aceeași locație sau în locații diferite, în funcție de modul de asamblare a senzorilor cu fibre optice tip rețea "long period" (39) și a celor tip Bragg (40), în aceleași casete (41), respectiv în casete diferite (42), având ca scop să eliminate efectele unor tensiuni mecanice externe.

2014 - 00452 -
17-06-2014 76

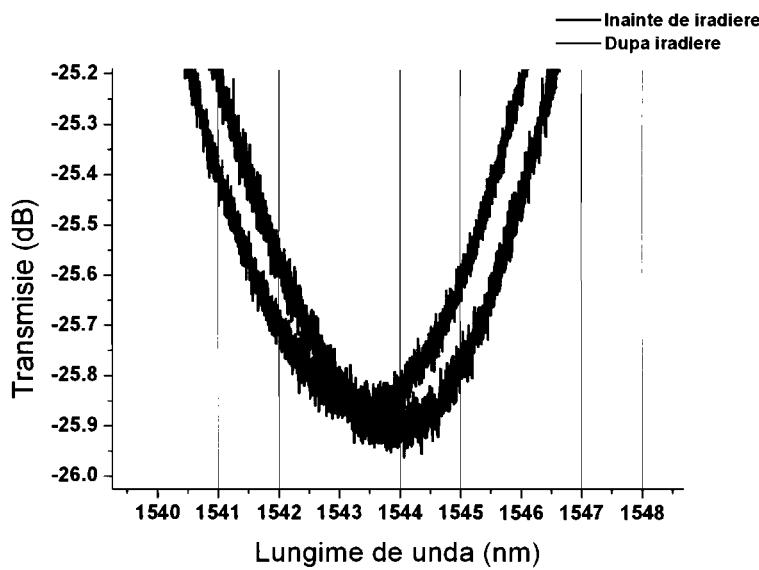


Figura 1

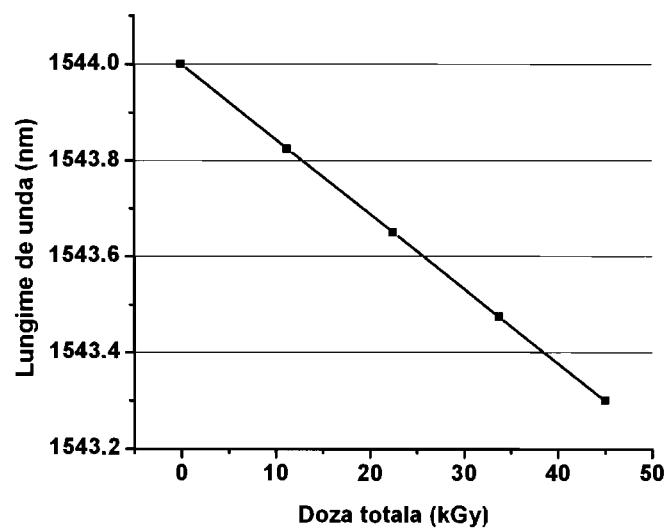


Figura 2

2014 - 00452 - 45
17-06-2014

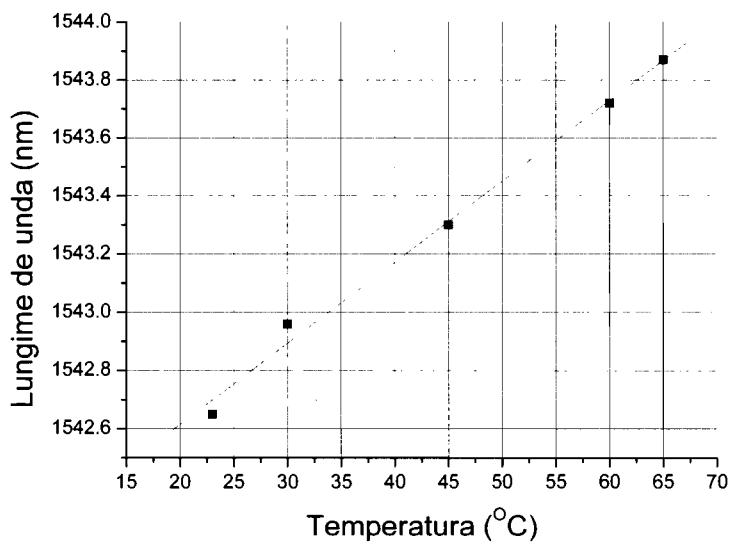


Figura 3a

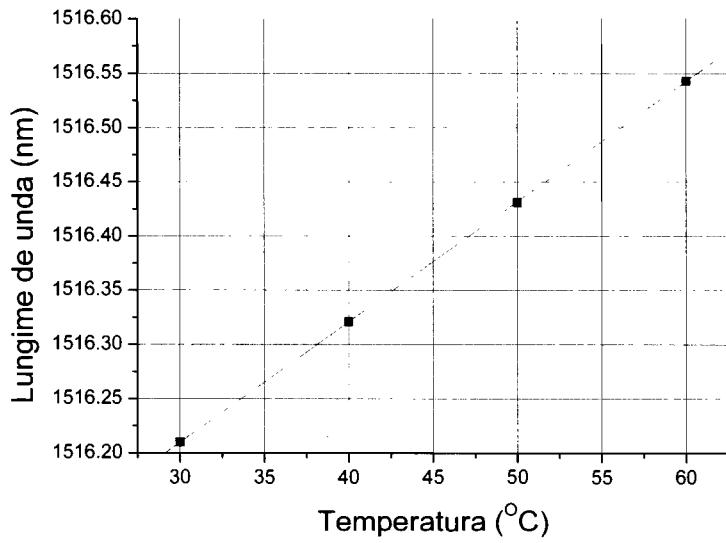


Figura 3b

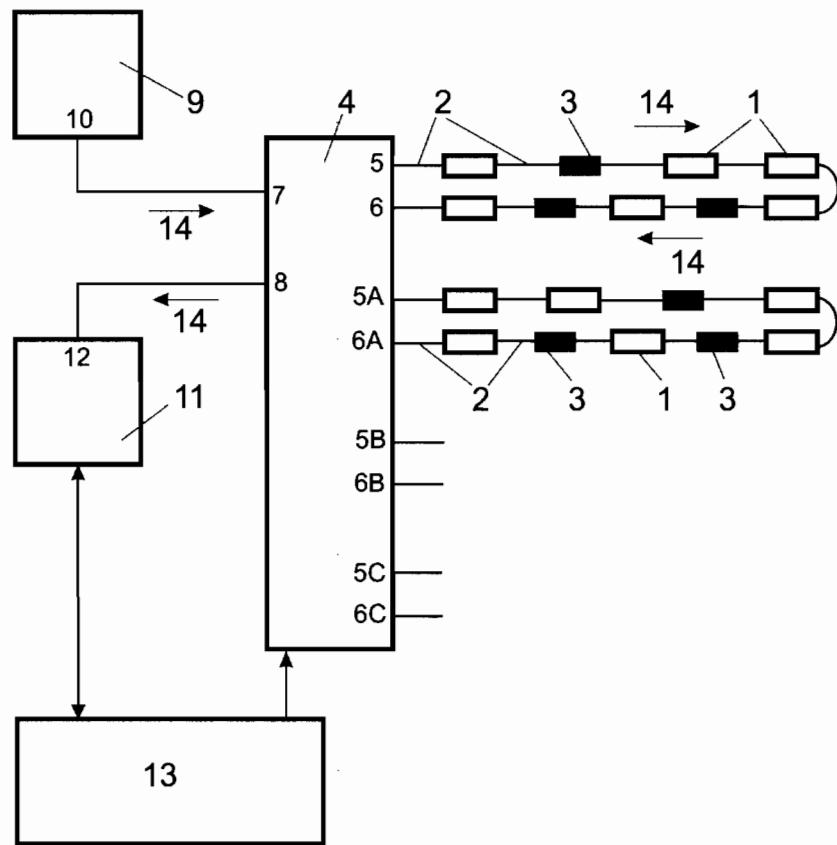


Figura 4

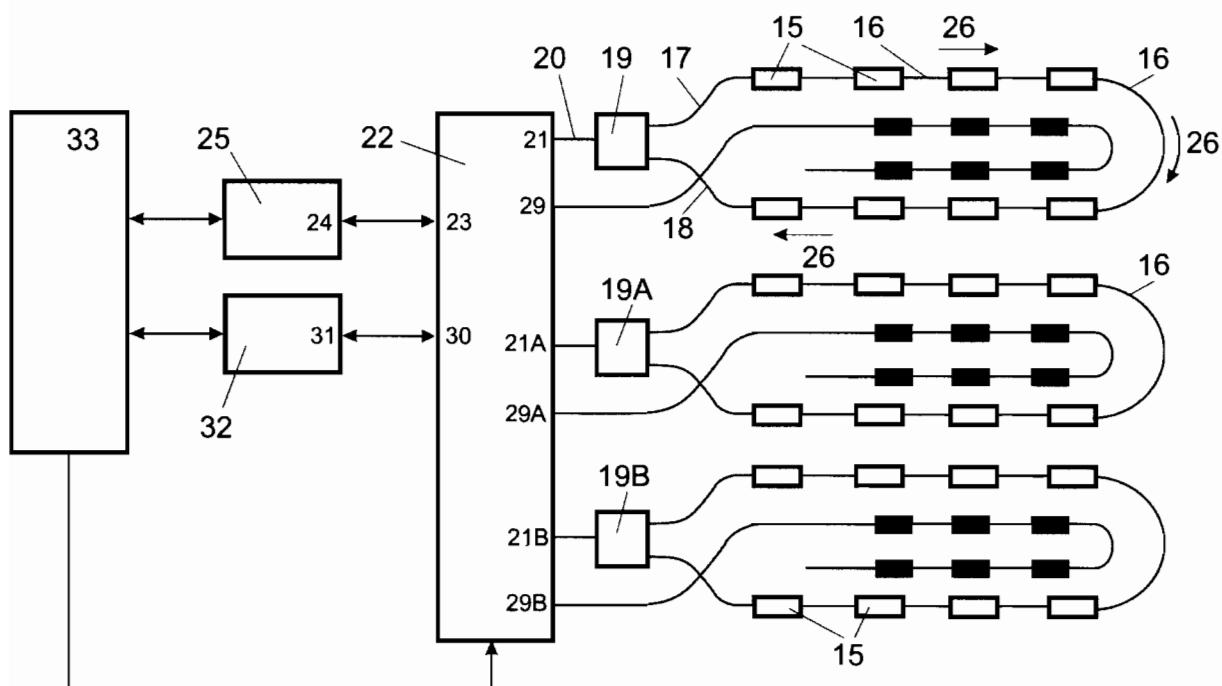


Figura 5

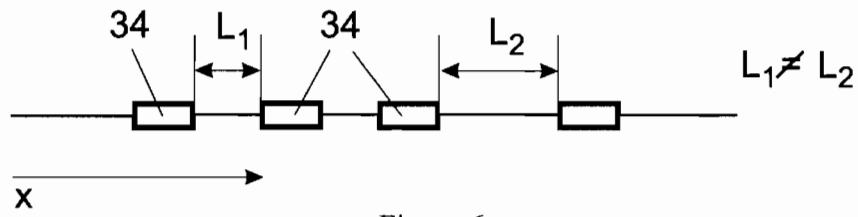


Figura 6

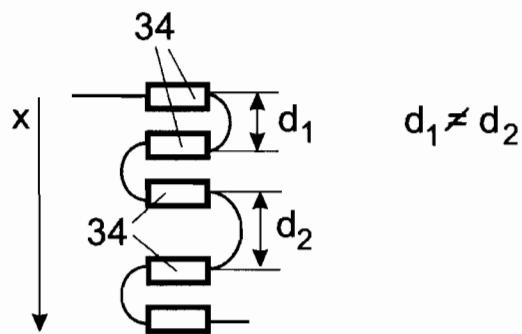


Figura 7

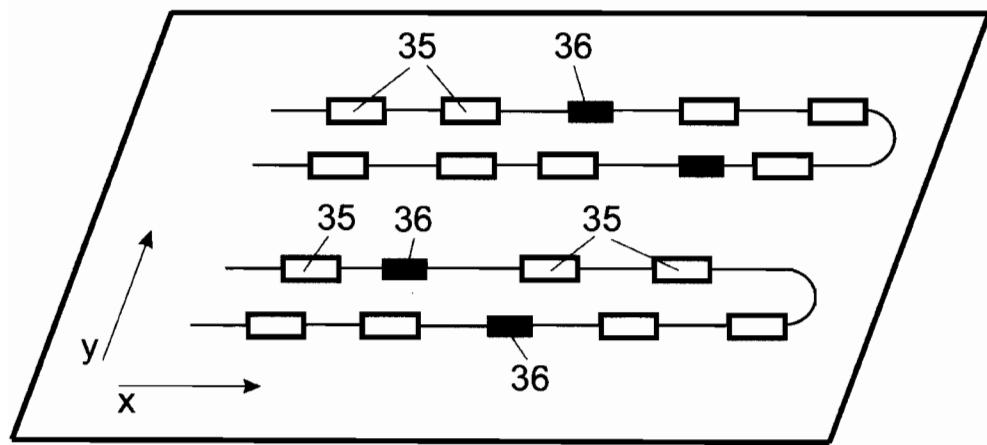


Figura 8

2014 - 00452 - 42
17-06-2014

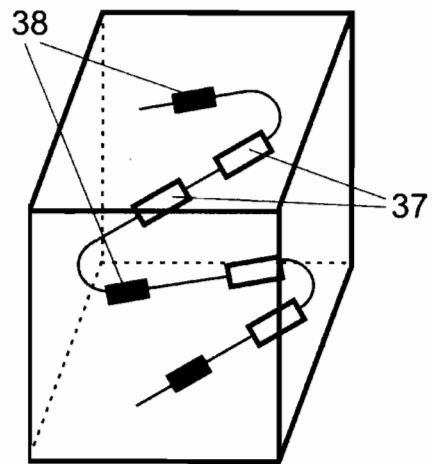


Figura 9

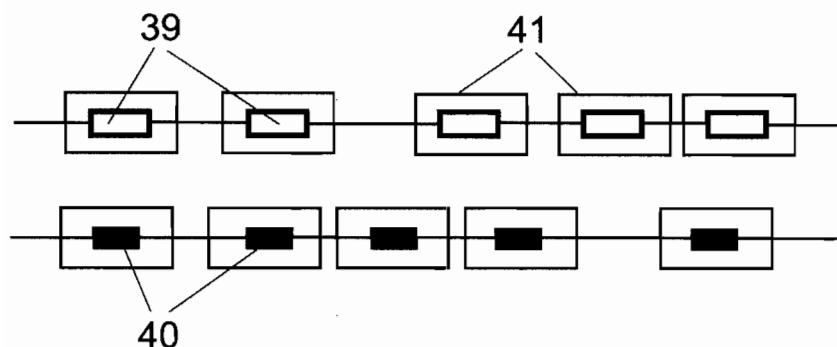


Figura 10

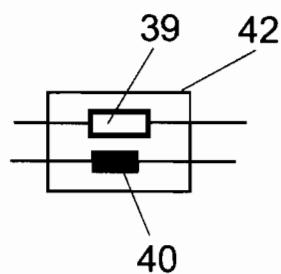


Figura 11