



(12)

BREVET DE INVENȚIE

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

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

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/06/2020** BOPI nr. **6/2020**

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

(73) Titular:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE
ȘI DEZVOLTARE PENTRU FIZICA
LASERILOR, PLASMEI ȘI RADIAȚIEI
(INFLPR), STR. ATOMIȘTILOR NR. 409,
MĂGURELE, IF, RO**

(72) Inventatori:
• **SPOREA DAN, ȘOS. PANTELIMON
NR. 229, BL. 69, ET. 6, AP. 31, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO;**

• **STÂNCALIE 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**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
US 5323011; WO 2010/017218 A2

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



RO 130796 B1

1 Invenția de referă la o metodă și la un aparat pentru monitorizarea distribuită în spațiu
a unui câmp de radiații ionizante. Metoda și aparatul sunt destinate monitorizării unor câmpuri
3 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.

5 Metoda și aparatul pentru monitorizarea câmpului de radiații ionizante și măsurarea
dozei și debitului dozei, conform invenției, trebuie să îndeplinească simultan condițiile de mai
7 jos:

9 - să permită detecția în timp real a debitului dozei, în cazul câmpurilor de radiații
ionizante;

11 - să permită detecția în timp real a dozei totale integrale, în cazul câmpurilor de radiații
ionizante;

13 - 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;

15 - să permită achiziția și prelucrarea automată a datelor obținute prin monitorizarea
câmpului de radiații ionizante;

17 - să fie ușor de manipulat.

17 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
19 câteva astfel de soluții.

21 Într-o astfel de realizare este creată o rețea de senzori cu scintilație, care pot fi distribuiți
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 apoi cu o
23 unitate centrală prin conexiune tip wireless. Datele sunt analizate de către o rețea care
înglobează toți senzorii. Sistemul este conceput pentru monitorizarea unor surse mobile de
25 radiații. Această realizare are următoarele inconveniente:

27 - impune folosirea unor dispozitive care necesită consum de energie în diferitele puncte
ale rețelei;

29 - 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.

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

39 - 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
41 gama dinamică de funcționare;

43 - 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.

45 O altă implementare sugerează utilizarea unei matrice 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 sarcinilor generate sub

RO 130796 B1

acțiunea radiației. O variantă sugerează folosirea unei matrice 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. Dezavantajele acestei abordări sunt:	1
- necesitatea unei tehnologii sofisticate pentru realizarea matricei de electrozi și celule detectoare;	3
- nu permite decât măsurări 2D, în planul matricei de detectoare;	5
- permite monitorizarea câmpului de radiație ionizantă numai în cazul unor arii relativ mici, arii comparabile cu aria matricei de detectoare.	7
O altă abordare a problemei propune realizarea 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. Acest dispozitiv prezintă următoarele limitări:	9
- detecția se realizează numai într-un plan;	11
- suprafața pentru care are loc determinarea distribuției spațiale a radiației este limitată la aria camerei de ionizare;	13
- 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.	15
Un alt brevet 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.	17
Dezavantajele acestei soluții sunt:	19
- permite numai monitorizarea distribuției spațiale 2D a unei radiații;	21
- necesită un sistem de baleiaj;	23
- suprafața pentru care se poate face detecția este limitată la aria care poate fi baleiată.	25
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. Această soluție are dezavantajele că:	29
- realizarea mozaicului de detectoare împreună cu circuitele de citire și prelucrare a semnalului detectat necesită tehnologii complicate;	31
- detecția este posibilă numai într-un plan;	33
- aria pentru care se face localizarea radiației incidente este limitată la dimensiunea matricei de senzori.	35
O altă variantă include o folie rezistivă pe care este incidentă radiația de investigat. Folia are o formă circulară și îi sunt atașați la extremitățile a două diametre perpendiculare patru electrozi care culeg sarcina generată la incidența radiației pe folie. Din măsurarea sarcinilor culese după cele patru direcții este evaluată poziția spotului radiației incidente.	37
Dezavantajele acestei abordări sunt:	39
- detecția se realizează numai într-un plan;	41
- aria utilă este limitată la aria foliei rezistive;	43
- 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 fasciculul are un diametru mai mare decât folia rezistivă, dispozitivul este inoperant.	45

RO 130796 B1

1 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
3 practicate în blocul menționat. Și 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
5 relativ complicate de realizare a detectorului 2D.

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

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în monitorizarea în timp real, *in situ*,
13 a debitului dozei și a dozei totale integrate a unui câmp de radiație ionizantă, într-o geometrie
3D.

15 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
17 period", care face posibilă dozimetria câmpurilor de radiație ionizantă prin măsurarea în timp
real a modificării lungimii de undă centrale a fiecărui senzor de tip rețea "long period", la expu-
19 nerea 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
21 fost expusă 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.

23 Prin dispunerea 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
25 diferitele puncte de interes ale câmpului de radiații ionizante. În cazul în care se măsoară durata
expunerii la radiația ionizantă a fiecărui senzor cu fibre optice, din valoarea determinată a dozei
27 totale în acel punct poate fi determinată rata dozei în punctul respectiv. Sensorii cu fibre optice
tip rețea "long period" pot fi conectați în serie și "citiți" cu o singură fibră optică, cu condiția ca
29 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
31 o multiplexare în lungimi de undă a semnalului citit a senzorilor din rețeaua de senzori.

Metoda pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă, conform
33 invenției, constă în măsurarea în timp real a modificării lungimii de undă centrală a unor senzori
de tip rețea "long period" la expunerea acestora la un câmp de radiație ionizantă, determinarea
35 debitului dozei și dozei totale a câmpului de radiație pe baza modificării lungimii de undă,
cuplarea senzorilor prin intermediul unor fibre optice de conexiuni, și în interogarea simultană
37 a senzorilor care compun rețeaua, prin intermediul unei singure fibre optice.

Aparatul pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă, conform
39 invenției, este alcătuit dintr-o rețea formată din niște senzori cu fibră optică tip rețea "long
period" și niște senzori cu fibră optică tip rețea Bragg, cuplați între ei și la o ieșire și, respectiv,
41 la o intrare a unui multiplexor cu fibre optice, a cărui intrare este conectată la o ieșire a unei
surse optice, și a cărui ieșire este cuplată la o intrare a unui analizor de spectru optic, ce are
43 funcția de a citi valorile lungimii de undă centrale a tuturor senzorilor conectați ca mai sus.

Un avantaj al metodei și aparatului pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de
45 radiație ionizantă îl constituie faptul că elementele folosite pentru detecția radiației sunt integrate
fibre optice care ghidează semnalul optic de citire, citirea mai multor senzori structurați într-o
47 rețea de senzori putând fi realizată cu aceeași fibră optică. Acest fapt simplifică mult soluția de

RO 130796 B1

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 baleiaj 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 dispunere 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 realizați prin numeroase procedee, în sine cunoscute. 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 rețelele cu fibră optică tip rețea "long period" pot fi realizate în diferite tipuri de fibră optică, fapt ce le conferă o sensibilitate diferită față de radiația ionizantă; 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, mărindu-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 fibră optică, fapt ce determină un raport S/N mult mai mare decât în cazul în care semnalul optic este citit prin reflexie (semnal retroreflectat).	1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23
Toate aceste avantaje vor fi ilustrate pe parcursul descrierii metodei și aparatului pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă.	25
Se dau în continuare niște exemple de realizare a invenției în legătură cu fig. 1...11, ce reprezintă:	27
- fig. 1, 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;	29
- fig. 2, 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;	31
- fig. 3, modificarea în funcție de temperatură a lungimii de undă centrale în cazul unui senzor cu fibre optice tip rețea "long period" (a), și al unui senzor cu fibre optice tip rețea Bragg (b);	33 35
- fig. 4, exemplu de realizare a aparatului pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă;	37
- fig. 5, alt exemplu de realizare a aparatului pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă;	39
- fig. 6, exemplu de poziționare a rețelei de senzori pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă;	41
- fig. 7, alt exemplu de poziționare a rețelei de senzori pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă;	43
- fig. 8, alt exemplu de poziționare a rețelei de senzori pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă;	45
- fig. 9, alt exemplu de poziționare a rețelei de senzori pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă;	47

RO 130796 B1

1 - fig. 10, modalitate de utilizare a senzorilor cu fibră optică tip rețea Bragg și a celor tip rețea "long period";

3 - fig. 11, altă modalitate de utilizare a senzorilor cu fibră optică tip rețea Bragg și a celor tip rețea "long period".

5 Se dau în continuare câteva exemple de realizare a invenției.

După cum se prezintă în fig. 1, senzorii cu fibre optice de tip rețea "long period" își modifică lungimea de undă centrală când sunt expuși la o radiație ionizantă. În 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, așa cum este exemplificat în fig. 2. Pentru aceleași 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". Și 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 fig. 3 este prezentată, ca exemplu, variația lungimii de undă centrale în funcție de temperatura ambiantă, în cazul unui senzor cu fibre optice de tip rețea "long period" și al 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 drept 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 printr-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, izolarea 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 ambiantă. 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

RO 130796 B1

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 ambiantă, 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 fig. 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 fig. 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 aceeași fibră optică, prin multiplexare în lungime de undă. În plus, trebuie ca în urma variației lungimii de undă centrale a unui senzor cu temperatura, sau ca urmare a iradierii, noile valori să nu se suprapună peste spectrul senzorilor adiacenți din punct de vedere al 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 fig. 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 combinați cu senzori de tip rețea Bragg) se cuplează 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**.

RO 130796 B1

1 În situația descrisă mai sus, unitatea centrală **13** comandă măsurarea prin intermediul
2 analizorului de spectru optic **11** a lungimii de undă centrale a fiecărui senzor din rețea, indiferent
3 de tipul acestuia, **1** sau **3**. Din variația lungimii de undă a senzorilor de tip rețea Bragg **3**, uni-
4 tatea centrală **13** calculează, cu ajutorul curbelor de etalonare (fig. 3) și conform unui algoritm
5 în sine cunoscut, variația de temperatură în fiecare poziție unde sunt amplasați senzorii res-
6 pectivi. Din variația lungimii de undă a senzorilor de tip rețea "long period" **1**, unitatea centrală
7 **13** calculează, folosind curbele de etalonare (fig. 2 și 3) și conform unui algoritm în sine
8 cunoscut, doza totală la care au fost expuși senzorii de tip rețea "long period" **1**, în locațiile în
9 care au fost amplasați. Doza totală în fiecare punct este calculată de unitatea centrală **13**
10 folosind corecții de temperatură deduse din rezultatele obținute în fiecare locație, ca urmare a
11 determinării temperaturii cu ajutorul senzorilor de tip rețea Bragg. În acest fel se realizează o
12 monitorizare spațială distribuită a câmpului de radiație ionizantă, în lungul rețelei de senzori cu
13 fibre optice. Utilizarea informației provenind de la senzorii cu fibre optice tip rețea Bragg **3** nu
14 este necesară pentru corecția cu temperatura a răspunsului senzorilor tip rețea "long period"
15 **1**, în cazul în care acești senzori sunt izolați termic în raport cu mediul ambiant.

16 În situația în care se dorește acoperirea unui volum mai mare, sau o rezoluție spațială
17 mai mare, la ieșirile **5A**, **5B**, **5C** etc. ale multiplexorului cu fibre optice, și la intrările **6A**, **6B**, **6C**
18 etc. ale acestuia se conectează alte rețele de senzori cu fibre optice, ca în fig. 4. Aceste rețele
19 sunt conectate rând pe rând, prin intermediul multiplexorului cu fibre optice, la ieșirea **10** a
20 sursei optice **9** și la intrarea **12** a analizorului de spectru optic **11**. Și în aceste cazuri, unitatea
21 centrală **13** măsoară și calculează distribuția spațială a dozei la care a fost expus fiecare senzor
22 interogat al rețelei.

23 Un alt exemplu de realizare a prezentei invenții este prezentat în continuare, în legătură
24 cu fig. 5. Niște senzori cu fibre optice de tip rețea "long period" **15** sunt cuplați în serie prin
25 intermediul unor fibre optice de conexiuni **16** la o ieșire **17** și, respectiv, la o intrare **18** a unui
26 circulator pentru fibre optice **19**. O intrare **20** a circulatorului **19** este cuplată la o ieșire **21** a unui
27 multiplexor pentru fibre optice **22**. O intrare **23** a multiplexorului **22** este cuplată la o ieșire **24**
28 a unui reflectometru optic în domeniul de frecvență **25**. Circulatorul pentru fibre optice **19**
29 permite numai propagarea unui semnal optic **26** de la ieșirea **17** a circulatorului **19** către intrarea
30 **18** a circulatorului. Reflectometrul optic în domeniul frecvență **25** are ca principiu de funcționare
31 emiterea unui puls de radiație optică la ieșirea **24**, și recepția unui puls optic care se întoarce
32 la același terminal. Prin evaluarea semnalului primit, echipamentul determină pierderile
33 (atenuările) spectrale prin fibra optică la care este conectat. În acest fel, reflectometrul optic în
34 domeniul de frecvență **25** permite determinarea lungimii de undă centrale ale senzorilor cu fibră
35 optică de tip rețea "long period" **15** cuplați în serie, cu condiția menționată anterior, ca acești
36 senzori să prezinte lungimi de undă centrale diferite.

37 Niște senzori cu fibră optică de tip rețea Bragg **27** sunt cuplați în serie prin intermediul
38 unor fibre optice de conexiuni **28**, la o ieșire **29** a unui multiplexor pentru fibre optice **22**. O
39 intrare **30** a multiplexorului pentru fibre optice **22** este cuplată la o ieșire **31** a unui interogator
40 pentru fibre optice **32**. Interogatorul **32** poate măsura lungimile de undă centrale, corespun-
41 zătoare tuturor senzorilor cu fibre optice de tip rețea Bragg **27** cuplați în serie, cu condiția ca
42 aceste lungimi de undă să fie diferite.

43 O unitate centrală **33** de control, prelucrare și afișare a datelor controlează funcționarea
44 reflectometrului optic în domeniul de frecvență **25**, a interogatorului pentru fibre optice **32** și a
45 multiplexorului pentru fibre optice **22**. Unitatea centrală **33** comandă, prin intermediul reflecto-
46 metruului optic în domeniul de frecvență **25**, și al multiplexorului pentru fibre optice **22**, măsurarea

RO 130796 B1

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 interogatorului cu fibre optice **32** și al 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 (fig. 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 (fig. 2 și 3) și conform unui algoritm în sine cunoscut, doza totală la care au 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 interogatorului 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 circuloare 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 fig. 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 formate din niște senzori de tip rețea "long period" **34**, conform fig. 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 fig. 7, distanța dintre doi senzori succesivi 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 fig. 8. După cum se observă în fig. 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, dispunerea unor senzori cu fibră optică tip "long period" **35** și Bragg **36** se poate realiza conform exemplului din fig. 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**.

RO 130796 B1

1 O flexibilitate mărită este conferită aparatului pentru monitorizarea distribuită a unui
câmp de radiație ionizantă, și prin faptul că niște senzori cu fibră optică de tip rețea "long period"
3 **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 fig. 10, sau pot fi
5 încapsulați împreună în aceeași casetă **42**, după cum se arată în fig. 11, în cazul în care este
necesară corecția cu variația temperaturii ambiante a răspunsului senzorilor de tip rețea "long
7 period".

RO 130796 B1

Revendicări

1. Metodă pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă, **caracterizată prin aceea că** va consta în măsurarea în timp real a modificării lungimii de undă centrală a unor senzori (1, 15) de tip rețea "long period" la expunerea acestora la un câmp de radiație ionizantă, determinarea debitului dozei și dozei totale a câmpului de radiație pe baza modificării lungimii de undă, cuplarea senzorilor (1, 15) prin intermediul unor fibre (2, 16) optice de conexiuni, și în interogarea simultană a senzorilor (1, 15) care compun rețeaua, prin intermediul unei singure fibre optice. 3 5 7 9
2. Metodă conform revendicării 1, **caracterizată prin aceea că** mai constă în realizarea corecției cu temperatura a răspunsului senzorilor (1, 15) cu fibre optice de tip rețea "long period", 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). 11 13
3. Aparat pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă, pentru aplicarea metodei de la revendicarea 1, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-o rețea formată din niște senzori (1) cu fibră optică tip rețea "long period", și niște senzori (3) cu fibră optică tip rețea Bragg, cuplați între ei și la o ieșire (5) și, respectiv, la o intrare (6) a unui multiplexor (4) cu fibre optice, a cărui intrare (7) este conectată la o ieșire (10) a unei surse (9) optice, și a cărui ieșire (8) este cuplată la o intrare (12) a unui analizor de spectru optic (11), ce are funcția de a citi valorile lungimii de undă centrale a tuturor senzorilor (1, 3) conectați ca mai sus. 15 17 19 21
4. Aparat conform revendicării 3, **caracterizat prin aceea că** multiplexorul (4) cu fibre optice este controlat de o unitate (13) centrală de control, prelucrare și afișare, astfel încât semnalul optic (14) generat de sursa (9) optică parcurge întregul lanț de senzori (1, 3) cu fibre optice, și ajunge la intrarea (12) analizorului (11) de spectru optic, ce măsoară valorile lungimilor de undă centrale ale tuturor senzorilor (1, 3) cu fibră optică, și le transmite unității (13), 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 (3) cu fibră optică tip rețea Bragg. 23 25 27 29
5. Aparat conform revendicării 4, **caracterizat prin aceea că** unitatea (13) centrală de control, prelucrare și afișare a datelor determină durata de timp cât a fost expus la radiația ionizantă fiecare senzor (1) cu fibră optică tip rețea "long period" al unei rețele de senzori, și calculează debitul dozei pentru fiecare locație unde este poziționat senzorul (1) cu fibră optică tip rețea "long period". 31 33 35
6. Aparat pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă, pentru aplicarea metodei de la revendicările 1 și 2, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-o rețea formată din senzori (15) cu fibră optică tip rețea "long period" cuplați, prin intermediul unor fibre (16) optice de conexiuni, între ei, și conectați la o ieșire (17) și, respectiv, la o intrare (18) a unui circulator (19) pentru fibre optice, o intrare (20) a circulatorului (19) este cuplată la o ieșire (21) a unui multiplexor (22) cu fibre optice, o intrare (23) a multiplexorului (22) cu fibre optice fiind conectată la o ieșire (24) a unui reflectometru (25) optic în domeniul frecvență, ce are funcția de a citi valorile lungimilor de undă centrale ale senzorilor (15) conectați ca mai sus. 37 39 41 43
7. Aparat conform revendicării 6, **caracterizat prin aceea că** mai cuprinde o rețea formată din senzori (27) cu fibră optică tip rețea Bragg cuplați între ei, prin intermediul unor fibre (28) optice de conexiuni, și conectați la o ieșire (29) a multiplexorului (22) cu fibre optice, o intrare (30) a multiplexorului (22) fiind conectată la o ieșire (31) a unui interogator (32) cu fibre optice, care are funcția de a citi valorile lungimilor de undă centrale ale senzorilor (27) conectați ca mai sus. 45 47 49

RO 130796 B1

1 8. Aparat conform revendicărilor 6 și 7, **caracterizat prin aceea că** multiplexorul (22)
2 cu fibre optice este controlat de o unitate (33) centrală de control, prelucrare și afișare, astfel
3 încât un semnal (26) optic generat la o ieșire (24) a reflectometrului (25) optic este cuplat, prin
4 intermediul unui circulator (19) cu fibre optice, la rețeaua de senzori (15) cu fibră optică tip rețea
5 "long period", și este cuplat apoi la ieșirea (24) reflectometrului (25) optic, pentru a măsura
6 valorile lungimilor de undă centrale ale tuturor senzorilor (15), și pentru a calcula doza totală
7 la care a fost expus fiecare senzor (15), corectată cu variația de temperatură în fiecare locație
8 unde sunt plasați senzorii (15), ca urmare a măsurării acestei variații de temperatură cu ajutorul
9 senzorilor (27) cu fibră optică tip rețea Bragg.

10 9. Aparat conform revendicării 8, **caracterizat prin aceea că** unitatea (33) centrală de
11 control, prelucrare și afișare a datelor controlează funcționarea multiplexorului (22) cu fibre
12 optice, astfel încât un semnal (26) optic generat la ieșirea (31) interogatorului (32) pentru fibre
13 optice, cuplat la rețeaua de senzori (27) cu fibră optică tip rețea Bragg, măsoară valorile
14 lungimilor de undă centrale ale tuturor senzorilor (27), și calculează variația de temperatură în
15 fiecare locație unde sunt plasați senzorii (27).

16 10. Aparat conform revendicării 9, **caracterizat prin aceea că** unitatea (33) centrală de
17 control, prelucrare și afișare a datelor măsoară durata de timp cât a fost expus la radiația
18 ionizantă fiecare senzor (15) cu fibră optică tip rețea "long period" al unei rețele de senzori, și
19 calculează debitul dozei pentru fiecare locație unde este poziționat un senzor (15).

20 11. Aparat conform revendicărilor 3 și 4, **caracterizat prin aceea că** multiplexorul (4)
21 cu fibre optice este controlat de unitatea (13) centrală de control, prelucrare și afișare astfel
22 încât să cupleze succesiv ieșirea (10) sursei (9) optice și, respectiv, intrarea (12) analizorului
23 (11) de spectru optic la mai multe rețele de senzori (1, 3) cu fibre optice tip "long period" și
24 Bragg, folosind succesiv niște intrări (5, 5A, 5B, 5C) și niște ieșiri (6, 6a, 6B, 6C) ale multiplexo-
25 rului (4) cu fibre optice, pentru a crește rezoluția spațială, sau pentru a mări volumul în care se
26 realizează monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă.

27 12. Aparat conform revendicărilor 6 și 7, **caracterizat prin aceea că** multiplexorul (22)
28 pentru fibre optice este controlat de unitatea (33) centrală, astfel încât să cupleze succesiv
29 ieșirea (24) reflectometrului (25) optic în domeniul frecvență la mai multe rețele de senzori (15)
30 cu fibre optice tip "long period", folosind succesiv niște intrări (21, 21A, 21B) ale multiplexorului
31 (22) cu fibre optice, pentru a crește rezoluția spațială, sau pentru a mări volumul în care se
32 realizează monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă.

33 13. Aparat conform revendicărilor 6, 7 și 12, **caracterizat prin aceea că** multiplexorul
34 (22) pentru fibre optice poate cupla succesiv ieșirea (31) interogatorului (32) pentru fibre optice
35 la mai multe rețele de senzori (27) cu fibre optice tip rețea Bragg, folosind succesiv niște intrări
36 (29, 29A, 29B).

37 14. Aparat pentru monitorizarea distribuită a unui câmp de radiație ionizantă, conform
38 revendicărilor de la 3 la 13, **caracterizat prin aceea că** face posibilă determinarea distribuită
39 a dozei și a ratei dozei în diferite puncte din spațiu, folosind poziționarea 1D, 2D sau 3D a unor
40 rețele de senzori (34, 35, 36, 37, 38) cu fibre optice.

41 15. Aparat conform revendicărilor de la 3 la 14, **caracterizat prin aceea că** măsurarea
42 dozei și a temperaturii în aceeași locație sau în locații diferite se face în funcție de modul de
43 asamblare a unor senzori (39, 40) cu fibre optice tip rețea "long period" și a celor tip Bragg în
44 aceleași casete (41), respectiv, în casete diferite (42), având ca scop să elimine efectele unor
45 tensiuni mecanice externe.

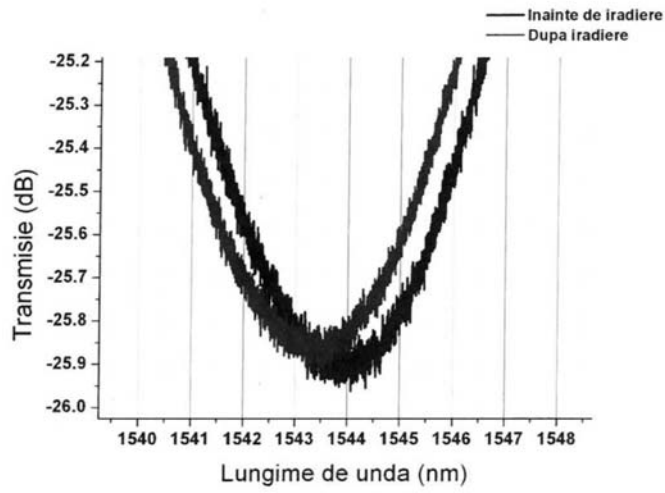


Fig. 1

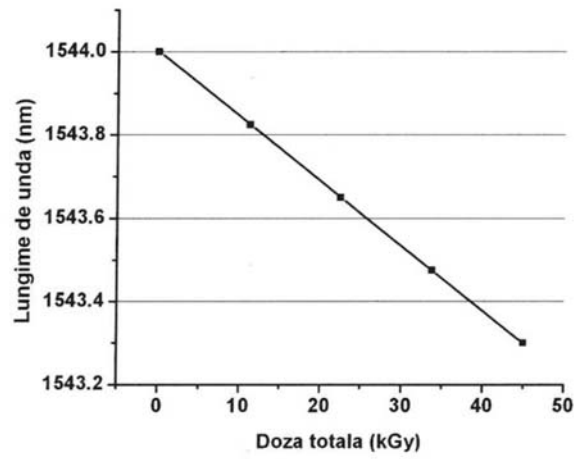


Fig. 2

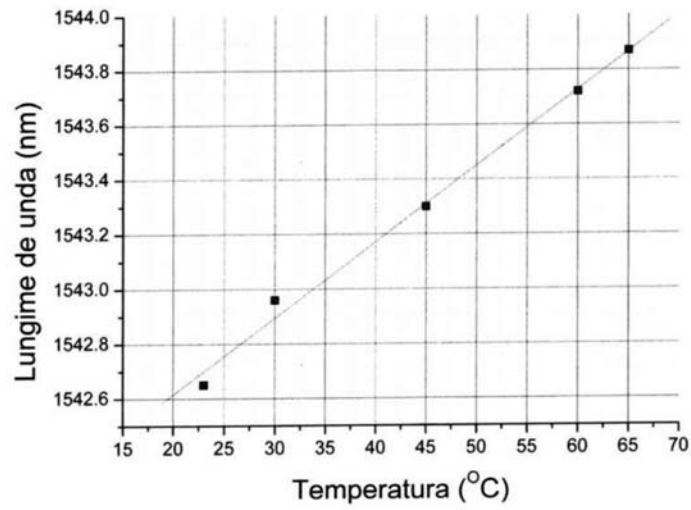


Fig. 3a

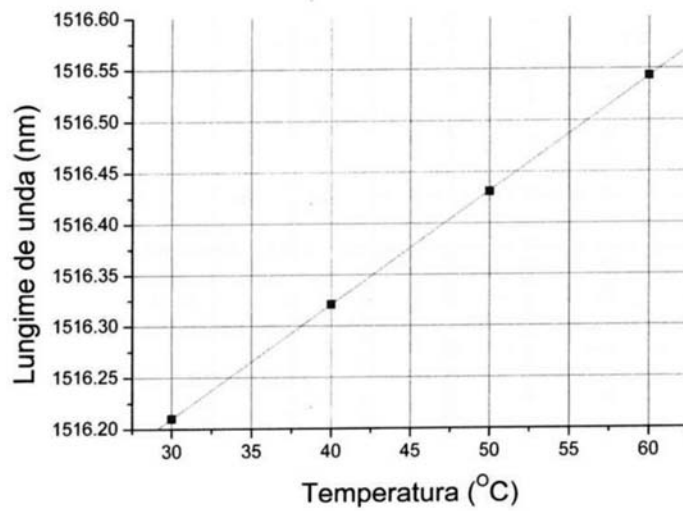


Fig. 3b

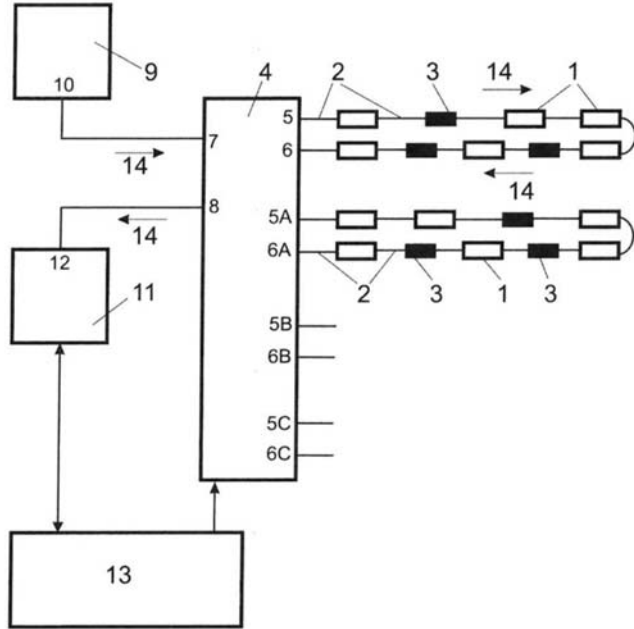


Fig. 4

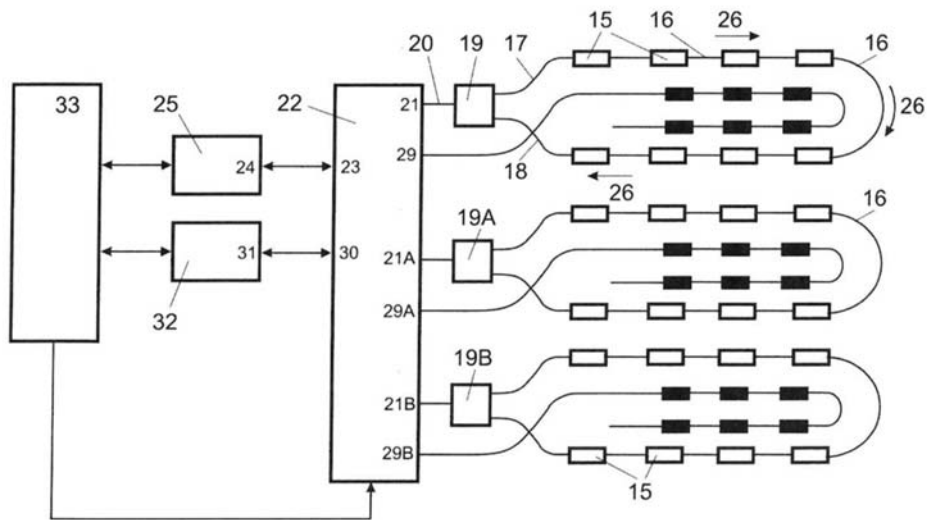


Fig. 5

RO 130796 B1

(51) Int.Cl.
G01T 1/02 (2006.01)

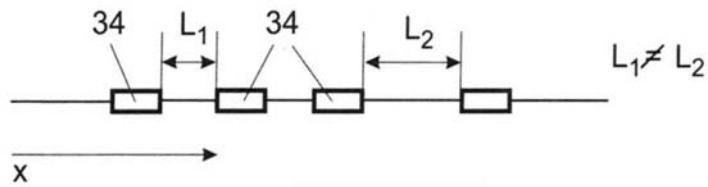


Fig. 6

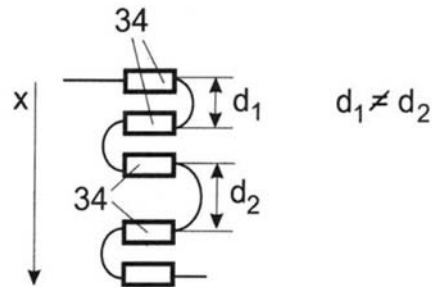


Fig. 7

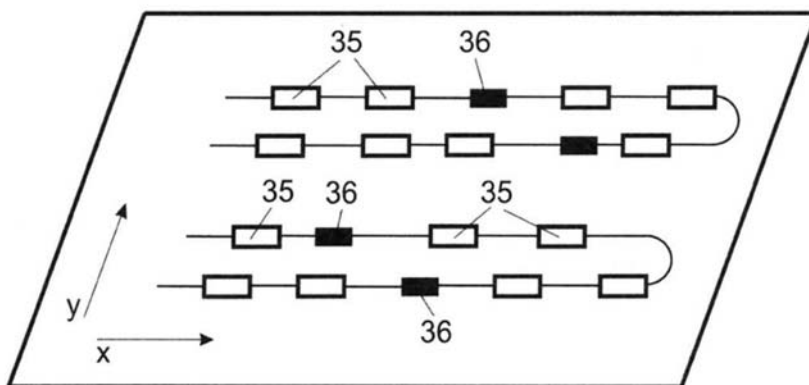


Fig. 8

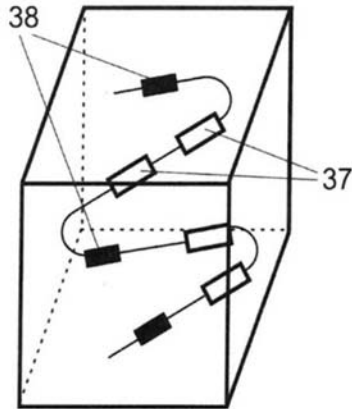


Fig. 9

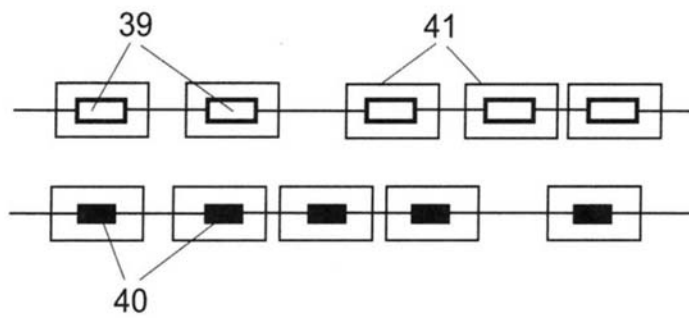


Fig. 10

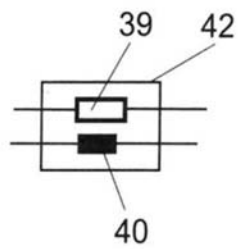


Fig. 11