



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2013 00368

(22) Data de depozit: 16.05.2013

(41) Data publicării cererii:
30.12.2014 BOPI nr. 12/2014

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NAȚIONAL 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;
• SPOREA ADELINA, ȘOS. PANTELIMON
NR. 229, BL. 69, ET. 6, AP. 31, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO;
• MIHAI LAURA, STR. SEISMOLOGILOR
NR. 23, MĂGURELE, IF, RO

(54) DOZIMETRU CU FIBRĂ OPTICĂ

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un dozimetru cu fibră optică, pentru radiații ionizante, destinat măsurării în timp real a ratei dozei și a dozei totale, în cazul iradierilor cu radiație gamma, cu fascicule de electroni, fascicule de protoni, cu neutroni, sau la iradierea tip "bremsstrahlung". Dozimetru conform invenției este un echipament compus dintr-o sursă (1) de radiație optică, un atenuator (4) variabil pentru fibre optice, un multiplexor (5) pentru fibre optice, un spectrometru (18) cu fibră optică, un sistem de calcul (20) care controlează funcționarea celorlalte module, calculează și afișează pe un ecran (34) de afișare sub formă grafică și la un sistem (36) de afișare numerică valoarea dozei totale integrate, asociată atenuării optice măsurate la lungimile de undă specifice, și calculează și afișează la un sistem (41) de afișare numerică valoarea medie a ratei dozei pentru un interval de timp selectat de operator cu ajutorul a două repere (39, 40).

Revendicări: 16

Figuri: 12

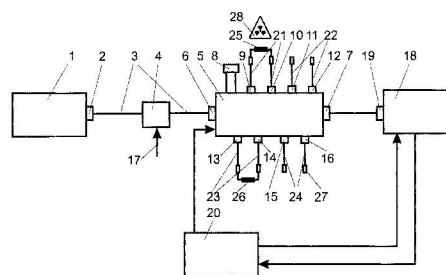
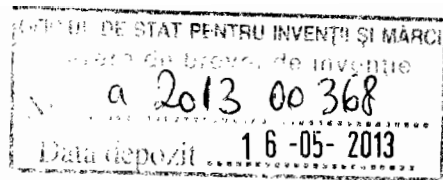


Fig. 10





69

DOZIMETRU CU FIBRA OPTICA

DESCRIERE

Invenția de referă la un dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante și la metoda de realizare a acestuia. Dozimetru cu fibră optică este destinat măsurării în timp real a ratei dozei și a dozei totale în cazul iradierilor cu radiație gamma, cu fascicule de electroni, fascicule de protoni, cu neutroni sau la iradierea tip "bremsstrahlung". Dozimetru cu fibră optică, conform invenției, prezintă simultan următoarele avantaje:

1. dozimetru este unul de tip intrinsec, fibra optică constituie chiar traductorul pentru radiații ionizante, fapt care elimină erorile prezente în alinierea fibrelor optice față de traductorul folosit în cazul dozimetrelor extrinseci, la care fibra optică este numai un mediu de propagare a semnalului spre și dinspre traductor;
2. poate fi adaptat pentru măsurări ale ratei dozei și a dozei totale în conformitate cu tipul iradierii;
3. sensibilitatea poate fi modificată în funcție de tipul iradierii prin selectarea fibrei optice folosite ca traductor de radiație ionizantă;
4. funcționează într-o gamă dinamică mare, în funcție de tipul de fibră optică utilizată ca traductor pentru radiația ionizantă;
5. funcționează în timp real;
6. este ușor de operat, funcționează automat și poate fi etalonat cu ușurință prin metode cunoscute de intercomparare;
7. poate fi realizat cu materiale care se pot procura din comerț, nu este necesară folosirea unor materiale speciale, realizate la comandă sau a căror utilizare este limitată de legislația în vigoare privind proprietatea intelectuală;
8. permite înregistrarea automată și reprezentarea grafică și numerică a variației în timp a dozei totale măsurate;
9. permite determinarea și afișarea numerică a ratei dozei pentru orice interval de iradiere;
10. realizează automat corecția erorilor datorate fie fluctuațiilor puterii optice a sursei folosite pentru citirea semnalului, fie a celor datorate imperfecțiunii de cuplare a fibrelor optice, ca și a degradării în timp a transmisiei fibrelor de conectare;
11. face posibilă dozimetria radiațiilor ionizante simultan în mai multe locații separate în spațiu;
12. face posibilă dozimetria diferențiată a radiațiilor ionizante mixte.

Sunt cunoscute mai multe tipuri de dozimetre pentru dozimetria radiațiilor ionizante care utilizează fibre optice pentru realizarea unor dispozitive intrinseci sau extrinseci de detecție a radiației, bazate pe: modificarea transmisiei optice a fibrei optice, luminescență, termoluminescență, luminescență generată prin stimulare optică, împrăștierea radiației optice în fibra optică. Literatura de specialitate conține lucrări de referință în domeniu [1 - 3]. În continuare vor fi prezentate câteva astfel de implementări față de care va fi raportată soluția propusă. Toate realizările care vor fi descrise fac referire sub o formă sau alta la unul sau mai multe procedee de etalonare prin care semnalul optic detectat este pus în corespondență cu o caracteristică a câmpului de radiație ionizantă (rata dozei sau doza totală integrală). Din acest motiv prezenta descriere nu va face referire la proceduri de etalonare.

Unul dintre cele mai simple metode de realizare a unui dozimetru cu fibre optice intrinsec îl constituie monitorizarea modificării transmisiei optice ca urmare a expunerii fibrei optice la radiații ionizante [1, 2]. Într-o astfel de implementare transmisia spectrală a fibrei optice este monitorizată la o anumită lungime de undă folosindu-se radiația optică a unei diode electroluminescente (LED) care emite la lungimea de undă de interes. În realizările

raportate în literatură sau care constituie obiectul unor patente, fibrele optice utilizate sunt fibre optice din sticlă sau de plastic tip PMMA, lungimile de undă de operare fiind în domeniul *visibil* sau *IR* al spectrului optic. Diferite tipuri de iradiere produc o degradare selectivă a transmisiei optice a fibrei optice la anumite domenii de lungimi de undă. În urma iradierii și a scăderii transmisiei optice a fibrei optice expuse radiației ionizante, semnalul optic generat de către LED ajunge atenuat la celălalt capăt a fibrei optice, la un detector optic atașat fibrei optice. Degradarea monitorizată de acest detector de radiație optică este pusă în corespondență, ca urmare a unui procedeu de etalonare, cu doza totală la care a avut loc expunerea. Etalonarea se realizează prin măsurarea atenuării optice corespunzătoare unor doze totale cunoscute, măsurate prin mijloace clasice și realizarea unei corespondențe între cele două seturi de date. Prin modul lor de funcționare, astfel de dozimetre necesită pentru diferite tipuri de iradiere, selectarea tipului fibrei optice folosite, a diodei electroluminescente și a detectorului.

Deficiența majoră a unei astfel de soluții o constituie dificultatea de a găsi LED-ul corespunzător domeniului spectral în care atenuarea semnalului optic prin fibra optică are dependența cea mai semnificativă pentru tipul de iradiere la care are loc expunerea. În astfel de implementări, domeniul spectral pentru care se modifică atenuarea fibrei optice ca urmare a expunerii la radiații ionizante este un domeniu larg, astfel încât erorile de măsurare sunt mari, radiația optică de citire, emisă de LED fiind mult mai îngustă. În plus, sistemele descrise în literatură nu sunt imune la atenuările optice variabile datorate cuplajului dintre sursa de radiație optică (LED), fibra optică și detectorul de radiație optică. Cuplajul optic repetat al acestor elemente nu asigură o reproductibilitate a atenuării introduse de elementele de cuplare. Sistemele descrise în literatură permit numai măsurarea dozei totale acumulate pe durata expunerii. Ele nu permit măsurarea ratei dozei. Aceste soluții presupun o rată a dozei constantă în timp, considerent care nu este valabil în situațiile reale. Este de interes măsurarea permanentă și a ratei dozei având în vedere faptul că în unele aplicații fie se modifică poziția dozimetrului în câmpul de radiații (de exemplu, deplasarea obiectului supus iradierii), fie câmpul de radiații nu este constant (de exemplu, în cazul baleiajului obiectului de iradiat cu un fascicul de electroni).

Intr-o altă realizare, un dozimetru termoluminescent sensibil la radiație ionizantă, este expus câmpului de radiație și înmagazinează energia transferată de radiație sub forma unor sarcini electrice [4 - 6]. În compunerea dozimetrului se găsește un dispozitiv alcătuit dintr-un material termoluminescent în care, în momentul expunerii la radiație ionizantă, are loc generarea unor sarcini electrice care sunt apoi stocate pe niște nivele energetice intermediare aflate în banda interzisă a materialului. La stimularea acestui material cu o radiație optică având o lungime de undă predeterminată, uzual în domeniul IR, acest material eliberează sarcina electrică sub forma unui semnal optic având o lungime de undă diferită de lungimea de undă a radiației de excitare, uzual în domeniul vizibil al spectrului optic. Eliberarea sarcinilor electrice stocate are loc ca urmare a procesului de încălzire a materialului care alcătuiește dozimetrul. Semnalul optic de excitare provenind de la o sursă optică adecvată este cuplat de la sursa respectivă la materialul dozimetrului termoluminescent prin intermediul unei fibre optice. Semnalul optic emis de materialul termoluminescent ca urmare a excitării este transmis către un detector de radiație optică prin intermediul unei alte fibre optice. Au fost propuse diferite materiale având la baza sulfuri de pământuri rare dopate [4 - 6] sau sticle dopate cu materiale semiconductoare [7]. În acest fel, se poate măsura de la distanță doza totală primită de către dozimetru. Procedeu este specific pentru un dozimetru extrinsec cu fibre optice. Fibra optică folosește numai ca mediu de propagare a semnalului de citire și a celui citit.

O altă implementare propune realizarea unui dozimetru de tipul celor cu luminescență stimulată optic [8]. Conform acestei soluții, detecția radiației ionizante are loc în diferite

materiale (de exemplu, de tipul AES - Alkaline-Earth Sulfides (sulfuri de pământuri rare) dopate, sau cristale de oxid de Al) în care poate fi generată și stocată sarcina electrică sub acțiunea radiației ionizante. "Citirea" acestei sarcini are loc prin stimulare optică cu o radiație optică continuă, având o anumită lungime de undă. Ca urmare a expunerii la această radiație optică sarcina stocată este eliberată și are loc emisia unui semnal optic având o lungime de undă diferită de lungimea de undă a radiației de citire. Si în acest caz, ca și în cazul dozimetrelor de termoluminescență descrise anterior, fibrele optice au numai rolul de a conduce, spre și din zona în care are loc iradierea, radiația optică de stimulare ("citire") și radiația optică generată.

Alte realizări bazate pe același principiu al luminescenței stimulate optic propun folosirea unor radiații optice de citire pulsate sau având diferite lungimi de undă, pentru "citirea" semnalului asociat dozei integrale [9, 10]. Variante ale aceluiași principiu folosesc diferite materiale pentru generarea și stocarea sarcinilor sub acțiunea radiației ionizante [11].

Dozimetrele descrise în referințele citate măsoară numai doză totală integrală din momentul citirii prin interogare cu radiația optică a materialului care alcătuiește dozimetrul. Au existat propuneri de rezolvare a dezavantajului referitor la imposibilitatea măsurării ratei dozei prin "citirea" cu anumită frecvență a sarcinii stocate [12]. Această soluție prezintă o limitare inerentă prin faptul că o creștere a frecvenței de "citire" conduce implicit la scăderea dinamicii de măsură a semnalului, metoda limitând durata de timp pentru care are loc procesul de generare-stocare de sarcină. Deci soluția propusă nu reprezintă o rezolvare, ci un compromis.

Dozimetrele cu fibră optică care funcționează folosind principiul termoluminescenței sau a luminescenței optice stimulate optic prezintă și dezavantajul că pe durata procesului de "citire" nu poate avea loc și procesul complementar de generare și stocare de noi sarcini, dozimetrul fiind în continuare expus radiației ionizante. O soluție parțială constă în introducerea prin calcul a unei corecții asociate procesului de generare-stocare de sarcină care are loc pe durata "citirii" [13]. Limitarea acestei metode constă în prezumția că pe durata citirii rata dozei nu se modifică, ceea ce în situații reale poate fi o ipoteză eronată. În fapt, pe durata "citirii" nu se poate face nici o afirmație certă, ci pot fi formulate numai ipoteze de lucru.

Principalele inconveniente ale dozimetrelor cu fibră optică de tip termoluminescent sau de tip luminescență cu stimulare optică menționate sunt:

- a) Dozimetrul astfel realizat este unul de tip extrinsec, fibra optica constituie numai un mediu de propagare a semnalului optic de excitare și a celui generat în urma excitării. Este dificil să fie păstrată stabilă geometria de excitare, respectiv de citire a semnalului optic generat. Orice dezaliniere optică a celor două fibre, de excitare, respectiv de citire, în raport cu materialul care constituie elementul de detecție conduce implicit la erori în măsurarea dozei la care a avut loc expunerea.
- b) Modificările în timp ale puterii optice ale sursei de excitare pot conduce la erori în valorile energiei înmagazinate care este eliberată și implicit la erori globale de măsură.
- c) În general, dozimetrele descrise anterior prezintă o remanență a semnalului la citire; nu întreaga sarcină stocată în materialul detectorului este "citită", fapt ce poate limita gama dinamică de măsură.

Dozimetrele de acest tip permit numai estimarea dozei totale, la valoarea din momentul aplicării semnalului de citire. Deci nu este posibilă urmărirea continuă în timp real a ratei dozei primite.

O alta categorie de solutii referitoare la dozimetria radiatiilor ionizante folosind fibrele optice se bazează pe fenomenul de scintilație.

O astfel de realizare propune construcția unui dozimetru care încorporează o fibră optică cu proprietăți de scintilație [14, 15]. Sub acțiunea unei radiații ionizante în interiorul unei

fibre optice are loc generarea unui semnal de luminescență optică. Semnalul optic astfel generat se propagă de-a lungul fibrei optice până la un sistem de detecție.

O altă abordare folosind fenomenul de scintilație propune realizarea unui dozimetru de radiații ionizante utilizând un cristal care produce luminescență [16 - 19], cristal care este cuplat la o fibră optică utilizată pentru a transmite semnalul optic către un detector sau un dispozitiv pentru evaluarea vizuală comparativă a acestui semnal optic cu un semnal de referință.

O variantă a patentului prezentat anterior sugerează realizarea unui dozimetru bazat pe fenomenul de scintilație care are în plus și avantajul că discriminează între semnalul optic de scintilație și cel parazit provenind de la radiația Cherenkov [20].

Proceduri de etalonare specifice permit asocierea valorii semnalului optic detectat cu o rată a dozei cunoscută prin expunerea prealabilă a dozimetrului la o radiație ionizantă cunoscută.

Dezavantajul major al dozimetrelor cu fibra optică folosind scintilația, descrise anterior, constă în faptul că ele fac posibilă numai măsurarea ratei dozei nu și a dozei totale integrale.

O variantă a patentelor prezentate anterior propune un dozimetru bazat pe luminescența în fibre optice la care emisia unui semnal optic are loc la două lungimi de undă [21]. Pentru o anumită lungime de undă semnalul luminos depinde atât de doza totală, cât și de rata dozei. La a doua lungime de undă, semnalul optic depinde numai de rata dozei. Prin măsurarea celor două semnale este posibilă dozimetria radiației la care este expusă fibra optică. Cu un astfel de dozimetru poate fi măsurată atât rata dozei, cât și doza integrală. Dezavantajul acestei abordări este dat de faptul că semnalul de luminescență face posibilă măsurarea ratei dozei sau a dozei pentru o gamă dinamică redusă a acestor mărimi.

Un alt patent [22] propune realizarea unui dozimetru extrinsec cu fibre optice conform căruia un material care își modifică o proprietate optică, cum ar fi transmisia optică sau starea de polarizare, este fixat într-o montură astfel încât radiația optică cuplată prin intermediul unei fibre optice de la o sursă de radiație optică la respectivul material, traversează materialul, este reflectată de un element reflectant optic și este dirijat de către o fibră optică de citire către un detector de radiație optică. În realizarea descrisă în patent, radiația ionizantă la care este expus materialul produce o modificare a transmisiei optice a acestuia. În acest fel, radiația optică de citire care traversează materialul, care este reflectată de elementul reflectant și colectată de fibra optică de citire, este atenuată în funcție de condițiile de iradiere la care a fost supus materialul. Implementarea prezentată în patent utilizează, ca material ale cărui proprietăți optice se modifică la iradiere, substanțe de tipul GafChromic® MD-55, GafChromic® HS, GafChromic® EBT a căror transmisie spectrală optică se modifică ca urmare a expunerii la radiații ionizante. Modificările transmisiei spectrale se realizează în domeniul vizibil al spectrului optic, pentru o bandă spectrală foarte largă. În urma efectuării unor calcule complicate se poate deduce în principiu rata dozei și doza totală integrală.

Așa cum rezultă din descrierea invenției aceasta prezintă mai multe dezavantaje majore:

- a) Caracteristica spectrală a materialului este pronunțat dependentă de temperatură, chiar la temperatura ambiantă 20 °C – 38 °C, fapt care conduce la erori foarte mari în dozimetria radiației, având în vedere faptul că atenuarea măsurată datorită iradierii este comparabilă cu efectele induse de modificări minore ale temperaturii la care se găsește detectorul. Din punct de vedere practic este imposibil de a preciza lungimea de undă la care trebuie realizată monitorizarea transmisiei optice.
- b) Materialul detectorului, așa cum este descris în patent, este realizat sub forma unor straturi suprapuse la interfața cărora apar reflexii parazite ale semnalului optic de citire.
- c) Soluția propusă nu consideră modificarea factorului de transmisie optică la interfețele multiple și nici modificarea reflectanței optice a elementului reflectant, sub acțiunea

iradierii. Aceste degradări suplimentare conduc la erori majore în citirea semnalului optic transmis către detector.

- d) În descriere sunt prezentate mai multe intervale spectrale în care ar fi posibilă citirea modificărilor transmisiei optice fără a se preciza care sunt intervalele care conduc la erori minime de detecție.
- e) Citirea transmisiei optice s-a realizat cu o diodă electroluminescentă (LED) care emite la o anumită lungime de undă. Apar erori de citire atâta timp cât radiația de citire are o lungime de undă fixă și spectrul modificat ca urmare a iradierii se schimbă la mai multe lungimi de undă.
- f) În cazul folosirii pentru citire a unei surse optice de bandă largă apar erori datorate polimerizării induse în materialul dozimetrului de către radiația optică.
- g) Soluțiile prezentate nu consideră nici variațiile în timp ale sursei optice care generează semnalul de citire și nici erorile aleatoare introduse de sistemul de conectare a fibrelor optice utilizate.
- h) Ca și în cazul altor dozimetre cu fibră optică extrinseci apar și aici posibile erori datorate geometriei de citire a semnalului optic, respectiv reproductibilitatea alinierii fibrelor optice folosite față de montura care conține materialul care își schimbă caracteristicile optice ca urmare a iradierii.
- i) Variantele de realizare propuse prin folosirea unor materiale cu răspuns linear sau nelinear față de expunerea la radiații ionizante implică algoritmi complicați de determinare a variației mărimii optice măsurate.

Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante și metoda de realizare a acestuia conform invenției se bazează pe utilizarea fibrelor optice pe baza de dioxid de siliciu destinate spectroscopiei în domeniul UV în care, sub acțiunea radiațiilor ionizante, sunt generați centri de culoare specifici care depind de natura dopanților din miezul și din cămasa fibrei optice, și de tehnologia de realizare a fibrei optice. Prezența acestor centri de culoare conduce la modificarea transmisiei optice a fibrei optice la lungimi de undă bine definite asociate centrilor de culoare. Măsurarea în timp real a atenuării optice a fibrelor optice la lungimile de undă de interes reprezintă, în urma unor etalonări cu doze cunoscute, o măsură a dozei totale integrale la care a fost expusă fibra optică. Panta curbei de variație în timp a atenuării optice prin fibra optică reprezintă valoarea instantanee a ratei dozei.

Avantajul principal al dozimetrului cu fibră optică pentru radiații ionizante conform invenției constă în faptul că dozimetrul este unul de tip intrinsec, senzorul este integrat fibrei optice deci nu apar nici un fel de erori de aliniere a senzorului față de fibrele optice cu care se face citirea semnalului detectat.

Un alt avantaj al dozimetrului cu fibră optică pentru radiații ionizante și a metodei de realizare îl constituie faptul că modul de citire a atenuării optice induse de expunerea la radiația ionizantă permite evaluarea în timp real atât a ratei dozei, cât și a dozei totale integrale, la un moment dat fiind posibil ca aceste mărimi să fie citite sub formă numerică sau ca reprezentare grafică în timp.

Un avantaj suplimentar al soluției propuse este conferit de corecția automată, asigurată de modul intrinsec de funcționare, a modificărilor în timp a puterii emise de sursa optică de citire și corecția automată a erorilor de citire ale atenuării optice introduse de sistemul de conectare a fibrelor optice. În acest fel, din punctul de vedere al semnalului optic citit nu este nevoie de o recalibrare. Conectarea și deconectarea fibrelor optice se poate realiza repetat, citirea semnalului nefiind afectată de cuplajul optic imperfect dintre terminalele fibrelor optice și nici de degradarea în timp a transmisiei optice a fibrelor optice de conectare.

Un avantaj important al dozimetrului cu fibră optică pentru radiații ionizante îl constituie și posibilitatea folosirii lui pentru diferite tipuri de iradierii (de exemplu, radiație gamma, "bremsstrahlung", fascicule de electroni, fascicule de protoni, neutroni), prin

utilizarea diferitelor tipuri de fibre optice de UV, păstrând echipamentul de bază același și înlocuind numai fibra optică expusă radiației. Selectarea fibrei optice supusă iradierii se face în funcție de caracteristicile acesteia și de tipul de radiație asupra căreia se realizează dozimetria. Posibilitatea de a folosi diferite tipuri de fibre optice de UV conferă un alt avantaj major dozimetrului cu fibră optică pentru radiații ionizante, acela de a putea alege sensibilitatea și gama dinamică a dozimetrului în funcție de condițiile de iradiere.

Nu în ultimul rând un avantaj al dozimetrului cu fibră optică pentru radiații ionizante îl constituie achiziția, prelucrarea și afișarea automată a datelor, fără a fi necesară intervenția operatorului.

Un alt avantaj important al dozimetrului descris îl constituie faptul că etalonarea sa se poate realiza simplu, prin metode cunoscute, prin corelarea indicației corespunzătoare atenuării optice, la diferite lungimi de undă, cu doze totale integrale de expunere cunoscute.

Un avantaj suplimentar îl reprezintă relația simplă care poate fi stabilită între atenuarea optică indusă de radiația ionizantă la diferite lungimi de undă și doza totală, atât pentru cazul unui răspuns linear dependent de doză, cât și în cazul unui răspuns nelinear.

Un avantaj în plus îl constituie și faptul că dozimetrul cu fibre optice pentru radiații ionizante conform invenției permite dozimetria radiațiilor ionizante simultan, în mai multe locații distribuite spațial.

Un alt avantaj îl constituie posibilitatea realizării dozimetriei diferențiate pentru două tipuri de radiații care coexistă simultan în aceeași locație.

Toate aceste avantaje vor fi ilustrate pe parcursul descrierii dozimetrului cu fibră optică pentru radiații ionizante și a metodei de realizare a acestuia.

În figura 1 este reprodusă modificarea atenuării optice a unei fibre optice de UV rezistentă la solarizare, având diametrul miezului de 400 μm , diametrul cămășii de 440 μm și acoperirea externă din Polyimide, sub acțiunea iradierii cu radiație gamma.

În figura 2 este prezentată variația atenuării optice pentru o fibră optică de UV tip "step-index", multimod, cu conținut standard de OH, având diametrul miezului de 400 μm , cămășa cu diametrul de 440 μm și cu conținut ridicat de fluor și acoperirea externă din Polyimide, la iradierea cu un fascicul de electroni.

Formarea centrilor de culoare care contribuie la modificarea atenuării optice a unei fibre optice cu răspuns îmbunătățit în UV, în situația în care aceasta este expusă la un fascicul de protoni este ilustrată în figura 3.

Ca un alt exemplu de modificare a atenuării optice a unei fibre optice de UV tip "step-index", multimod, cu conținut standard de OH, având diametrul miezului de 200 μm , diametrul cămășii de 220 μm și acoperire externă de Nylon, sub acțiunea unui flux de neutroni de la un reactor de cercetare, sunt reproduse datele experimentale în figura 4.

În figura 5 este prezentată modificarea atenuării optice spectrale în cazul unei fibre optice de UV, cu răspuns îmbunătățit în UV, conținut mare de OH, tip "step-index", multimode, având diametrul miezului de 600 μm , cel al cămășii de 660 μm și acoperirea externă din Polyimide, în situația expunerii la un flux de neutroni de la un reactor de cercetare.

În figurile 6 și 7 sunt ilustrate descompunerile gaussiene ale spectrelor de atenuare optică în cazul unor fibre optice iradiate cu radiație gamma, respectiv cu protoni, corespunzător benzilor de atenuare asociate centrilor de culoare generați de radiația ionizantă.

În figurile 8 și 9 sunt prezentate două exemple de variație a atenuării optice în funcție de doza totală integrală la care a fost expusă fibra optică, pentru diferite lungimi de undă specifice centrilor de culoare generați într-o fibră optică având un răspuns îmbunătățit în UV, un diametru al miezului de 400 μm , un diametru al cămășii de 440 μm , acoperită cu Polyimide, cu un conținut mare de OH, tip "step-index", multimod, dopată cu H_2 ca urmare a expunerii la radiația gamma, la temperatura camerei, respectiv centrul de culoare generați într-

o fibră optică având diametrul miezului de 400 μm, un diametru al cămășii de 440 μm, tip multimod, "step-index", conținut standard de OH, acoperită cu Tefzel, expusă tot la radiație gamma.

Aceste figuri ilustrează modul în care diferite tipuri de fibre optice comerciale destinate spectroscopiei optice de UV pot fi folosite în dozimetria radiațiilor ionizante (radiație gamma, "bremsstrahlung", fascicule de electroni, fascicule de protoni, flux de neutroni) prin măsurarea modificării produse de radiația ionizantă în atenuarea optică spectrală a fibrei optice, pentru lungimi de undă specifice din domeniul UV și vizibil al spectrului optic. Acest fenomen este folosit conform invenției în dozimetria radiațiilor ionizante. Datele prezentate în figurile 1 - 9 sunt date experimentale reale.

Figura 10 prezintă schema bloc a unui exemplu de realizare a dozimetrului cu fibră optică pentru radiații ionizante, schemă bloc utilizată în explicarea principiului de funcționare a acestuia.

În figura 11 este indicată interfața utilizator care permite controlul funcționării dozimetrului cu fibră optică pentru radiații ionizante.

În figura 12 este prezentată ca exemplu o reprezentare grafică a rezultatelor măsurării dozei totale integrale folosind dozimetrul cu fibră optică pentru radiații ionizante.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției.

În funcție de tipul fibrei optice de UV folosite și de tehnologia sa de realizare (rezistență la solarizare, cu răspuns îmbunătățit în UV, cu un conținut normal de OH, cu un conținut mărit de OH, dopată cu hidrogen sau cu fluor, având diferite diametre ale miezului și cămășii, acoperită cu Nylon, Tefzel sau Polyimide) și de tipul iradierii la care este supusă respectiva fibră optică (radiație gamma, "bremsstrahlung", fascicule de electroni, fascicule de protoni, flux de neutroni) are loc o modificare a atenuării optice spectrale a fibrei optice (ca de exemplu, în figurile 1 - 5) în sensul creșterii atenuării pentru anumite lungimi de undă în domeniul UV (între 200 nm și 500 nm, de exemplu, figurile 1 - 3 și 5) sau în domeniul vizibil (500 nm la 680 nm, de exemplu, figura 4). Această creștere a atenuării optice spectrale se datorează apariției unor centri de culoare, în urma iradierii. Acești centri de culoare sunt asociați modificărilor atenuării optice pentru anumite lungimi de undă, cunoscute din literatura de specialitate. Atenuarea optică spectrală globală (figurile 1 - 5) este în fapt o suprapunere a atenuărilor datorate centrilor de culoare asociați anumitor lungimi de undă. În acest sens, această atenuare globală poate fi descompusă în mai multe componente cu profil gaussian, asociate unor centri de culoare. Figurile 6 și 7 ilustrează astfel de descompuneri gaussiene. În conformitate cu modelul prezentat mai sus, efectele diferitelor tipuri de iradiere pot fi asimilate pentru fiecare tip de fibră optică considerat, ca fiind o creștere a atenuării optice la lungimile de undă asociate centrilor de culoare specifici fibrei optice.

Figurile 8 și 9 constituie exemple de modificare a atenuării optice la lungimi de undă discrete în funcție de doza totală integrală la care a fost expusă fibra optică. Măsurarea atenuării pentru diferite lungimi de undă poate fi asociată, în urma unei etalonări prin metode cunoscute, cu doza totală integrală la care a fost expusă fibra optică.

Așa cum rezultă în exemplele prezentate în figurile 1 - 5 și 8, 9 pentru diferite tipuri de iradiere și diferite doze pot fi utilizate în dozimetria radiațiilor ionizante diferite tipuri de fibre optice comerciale care să asigure o anumită sensibilitate, linearitate a răspunsului, gamă dinamică, în conformitate cu aplicația considerată.

Principiul de funcționare a dozimetrului cu fibră optică pentru radiații ionizante conform invenției este același indiferent de tipul de aplicație. În funcție de tipul de iradiere și de condițiile de iradiere (rata dozei și doza totală integrală) la dozimetru este cuplat un anumit tip de fibră optică, care are un răspuns optim pentru respectiva aplicație. În toate cazurile etalonarea se realizează conform unor procedee cunoscute, prin asocierea modificărilor induse

de iradiere în atenuarea optică la lungimile de undă specifice aplicației, cu dozele cunoscute la care se măsoară aceste atenuări optice.

În legătură cu figura 10 este prezentat un exemplu de realizare a dozimetrului cu fibră optică pentru radiații ionizante și este descrisă metoda de realizare a acestuia.

În conformitate cu schema bloc din figura 10, dozimetrul cu fibră optică pentru radiații ionizante este alcătuit din următoarele module: o sursă stabilă de radiație optică (1), care emite la un port de ieșire (2) o radiație optică de bandă largă (3) în domeniul UV - vizibil - IR al spectrului optic (de la 200 nm la 900 nm); un atenuator variabil pentru fibre optice (4), care prezintă o atenuare spectrală independentă de lungimea de undă, în domeniul UV - vizibil - IR al spectrului optic (de la 200 nm la 900 nm); controlat de o comandă externă (17); un multiplexor pentru fibre optice (5) având un port de intrare (6), un port de ieșire (7), o poziție de referință (8) și mai multe porturi intermediare (9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16), multiplexor care funcționează în domeniul spectral UV - vizibil - IR (de la 200 nm la 900 nm); un spectrometru cu fibră optică (18) având un port de intrare (19) și responsivitatea spectrală în domeniul UV - vizibil - IR al spectrului optic (de la 200 nm la 900 nm); un sistem de calcul (20) care poate fi un calculator personal sau un laptop; mai multe seturi de fibre optice de conectare (21, 22, 23, 24) care realizează conectarea dintre module; fibra optică sau fibrele optice care constituie traductorul respectiv traductoarele (25, 26) pentru detecția radiațiilor ionizante; mai multe conectoare (27) folosite pentru cuplarea fibrelor optice.

Sub acțiunea unei radiații ionizante (28), în fibra optică sau fibrele optice care constituie traductorul sau traductoarele dozimetrului cu fibră optică (25, 26) sunt generați centri de culoare care produc o creștere a atenuării fibrei optice la lungimi de undă specifice acestor centri de culoare. Principiul de funcționare a dozimetrului cu fibră optică pentru radiații ionizante folosește măsurarea atenuării optice induse de radiația ionizantă (28) pentru determinarea dozei totale integrale la care a fost expusă fibra optică, în conformitate cu considerentele expuse anterior. Dozimetrul măsoară atenuarea optică spectrală pentru întregul domeniu UV - vizibil și, conform modului său de funcționare care va fi descris în continuare, evaluează valorile acestei atenuări numai la lungimile de undă de interes, care depind de tipul de radiație ionizantă (28) și de tipul fibrei optice utilizate ca traductor (25, 26).

Atenuarea spectrală a fibrelor optice utilizate ca traductoare (25, 26) se determină conform relației cunoscute:

$$\Delta A(\lambda) = \log_{10} [I_m(\lambda) - I_d(\lambda)] / [I_s(\lambda) - I_d(\lambda)], \quad (1)$$

unde $\Delta A(\lambda)$ reprezintă modificarea atenuării optice prin fibra optică utilizată ca traductor (25); $I_m(\lambda)$ este intensitatea semnalului optic măsurat cu spectrometrul cu fibră optică (18) atunci când radiația optică (3) parcurge și fibra optică care constituie traductorul pentru detecția radiației ionizante (25); $I_d(\lambda)$ reprezintă intensitatea optică corespunzătoare semnalului de întuneric al spectrometrului cu fibră optică (18); $I_s(\lambda)$ desemnează intensitatea semnalului optic corespunzător detecției cu ajutorul spectrometrului cu fibră optică (18) a radiației optice (3) emise de sursa de radiație optică (1), în absența fibrei optice utilizată ca traductor pentru radiația ionizantă (25); (λ) semnifică faptul că toate măsurările se realizează la aceeași lungime de undă. Insumarea spectrală a valorilor $\Delta A(\lambda)$ astfel determinate pentru toate lungimile de undă din domeniul UV - vizibil - IR reprezintă atenuarea optică spectrală corespunzătoare graficelor din figurile 1 - 5.

Prin construcția sa, spectrometrul cu fibră optică (18) măsoară spectrul radiației optice cuplate la portul său de intrare (19), pentru domeniul spectral UV - vizibil - IR. Prin intermediul unei conexiuni tip USB (29) spectrometrul cu fibră optică (18) primește comenzi și transmite rezultate de la / către sistemul de calcul (20).

În conformitate cu formula (1), este necesar să fie realizată următoarea secvență de operații:

1. Se obținează din punct de vedere optic portul de intrare (19) al spectrometrului cu fibră optică (18) și se măsoară semnalul de întuneric (I_d) pentru toate lungimile de undă de interes (de la 200 nm la 900 nm).
2. Se cuplează direct la portul de intrare (19) al spectrometrului cu fibră optică (18) semnalul de la portul de ieșire (2) al sursei de radiație optică (1) și se măsoară caracteristica spectrală de emisie (I_s) a sursei de radiație optică (1) pentru toate lungimile de undă din domeniul spectral de interes (de la 200 nm la 900 nm).
3. Se intercalează între portul de ieșire (2) al sursei de radiație optică (1) și portul de intrare (19) al spectrometrului cu fibră optică (18) fibra optică care constituie traductorul pentru detecția radiației ionizante (25) și se măsoară transmisia spectrală prin această fibră optică (25), pentru toate lungimile de undă de interes (de la 200 nm la 900 nm).

Conectarea modulelor care alcătuiesc dozimetrul cu fibră optică pentru radiații ionizante se realizează prin intermediul unor seturi de fibre optice de conectare (21, 22, 23, 24).

4. Folosind formula (1) se calculează atenuarea spectrală (ΔA) a fibrei optice care constituie traductorul pentru radiația ionizantă (25), pentru toate lungimile de undă de interes (de la 200 nm la 900 nm).

Anterior utilizării echipamentului, în funcție de natura radiației ionizante (28) și de condițiile de iradiere (rată a dozei, doza totală integrală), se selectează tipul fibrei optice care va constitui traductorul de radiație ionizantă (25) și se va realiza etalonarea echipamentului prin măsurarea atenuării optice pentru doze totale cunoscute, la lungimile de undă corespunzătoare centrilor de culoare care sunt generați în respectivele condiții de iradiere. Folosind datele de la etalonare echipamentul este utilizat, împreună cu tipul de fibră optică selectat, pentru dozimetria radiațiilor ale caror caracteristici nu se cunosc (rata dozei, doza totală integrală).

Pentru controlul automat al achiziției și prelucrării datelor, exemplul de realizare al dozimetrului cu fibră optică pentru radiații ionizante include un multiplexor pentru fibre optice (5). Funcționarea multiplexorului pentru fibre optice (5) este controlată prin intermediul unei conexiuni seriale sau USB (30) de către sistemul de calcul (20).

Pentru măsurarea semnalului de întuneric (I_d) al spectrometrului cu fibră optică (18) multiplexorul pentru fibre optice (5) este comandat să se poziționeze pe poziția de referință (8), situație în care la portul de intrare (19) al spectrometrului cu fibră optică (18) nu este cuplat nici un semnal optic. Pentru măsurarea intensității (I_s) multiplexorul pentru fibre optice (5) este comandat în poziția în care radiația optică de bandă largă (3) este cuplată direct la portul de intrare (19) al spectrometrului cu fibră optică (18). Pentru măsurarea intensității (I_m) multiplexorul pentru fibre optice (5) este comandat astfel încât radiația optică de bandă largă (3) emisă de sursa de radiație optică (1) să străbată fibra optică care constituie traductorul pentru detecția radiațiilor ionizante (25) înainte de a fi cuplată la portul de intrare (19) al spectrometrului cu fibră optică (18). În toate cele trei situații (măsurarea intensităților semnalelor optice I_m , I_d și I_s) achiziția datelor cu ajutorul spectrometrului cu fibră optică (18) se realizează pentru întregul spectru pentru care acesta este sensibil, la toate lungimile de undă (UV – vizibil – IR). Datele achiziționate de spectrometrul cu fibră optică (18) sunt transmise sistemului de calcul (20) care, folosind un algoritm cunoscut, calculează atenuarea spectrală ΔA , corespunzătoare tuturor lungimilor de undă de interes.

Multiplexorul pentru fibre optice (5) poate fi folosit pentru cuplarea la instrument a unei singure fibre optice care are rol de traductor pentru radiația ionizantă sau mai multe astfel de fibre optice (25, 26). În acest fel, se poate realiza simultan dozimetria radiațiilor în mai multe locații separate spațial. Acest lucru este posibil deoarece fibrele optice având rolul de

traductoare (25, 26) sunt cuplate la sursa de radiație optică (1) și la spectrometrul cu fibră optică (18) prin intermediul unui multiplexor pentru fibre optice (5) și a unor seturi de fibre optice de conectare (21, 22, 23, 24) care pot avea diferite lungimi.

Pentru situația în care radiația optică de bandă largă (3) emisă de sursa de radiație optică (1) este prea intensă și se produce o saturare a semnalului (I_s) detectat de spectrometrul cu fibră optică (18), portul de ieșire (2) al sursei de radiație optică (1) este cuplat la multiplexorul pentru fibre optice (5) prin intermediul unui atenuator variabil pentru fibre optice (4). Atenuatorul variabil pentru fibre optice (4) permite controlul intensității radiației optice de bandă largă (3) transmis către spectrometrul cu fibră optică (18) de către sursa de radiație optică (1). După stabilirea unei valori convenabile a atenuării care să nu producă saturarea semnalului detectat de spectrometrul cu fibră optică (18), această atenuare se pastrează constantă pe toată durata măsurării dozimetrice, ea fiind inclusă ca variabilă și în procesul de etalonare.

În timpul procesului de iradiere, când se realizează măsurarea dozimetrică, sistemul de calcul (20) reia procesul de măsurare a celor trei mărimi (I_m , I_d și I_s) și de calcul al atenuării spectrale (ΔA) cu o frecvență stabilită de operator, printr-o comandă (31) dată prin intermediul interfeței utilizator (32) (figura 11). În funcție de centrul de culoare care sunt generați prin iradiere, de tipul fibrelor optice utilizate ca traductoare de radiație (25, 26) și de caracteristicile radiației ionizante (28), operatorul selectează prin intermediul unui selector (33) al interfeței utilizator (32) lungimile de undă de interes folosite în evaluarea dozimetrică. Fiecărei fibre optice cu rol de traductor de radiație ionizantă (25) sistemul de calcul (20) îi asociază un ecran de afișare sub formă grafică a rezultatelor (34), ca în figura 11. Sistemul de calcul (20) contabilizează intervalul de timp scurs de la începutul procesului de iradiere, moment în care operatorul acționează comanda "Start" (35), până la citirea curentă a atenuării optice pentru fiecare fibră optică cu rol de traductor de radiație (25, 26).

În cazul în care sunt utilizate mai multe fibre optice cu rol de traductor de radiații ionizante (25, 26) operatorul va selecta cu ajutorul selectorului (33) lungimile de undă de interes pentru fiecare fibră optică (25, 26) în parte. Fiecare astfel de fibră optică cu rol de traductor de radiații ionizante (25, 26) este cuplată la câte o pereche de porturi intermediare (9, 10, 11, 12, 13, 14) ale multiplexorului pentru fibre optice (5), folosind un set de fibre optice de conectare (21, 22, 23, 24), ca în figura 10. În cazul în care pentru o anumită fibră optică (25, 26) nu este selectată o valoare a lungimii de undă cuprinsă în intervalul 200 nm – 850 nm sistemul de calcul (20) interpretează acest fapt ca inexistența unei fibre optice cu rol de traductor (25, 26) pentru acel port intermediar (9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16) al multiplexorului pentru fibre optice (5).

Utilizarea simultană a mai multor fibre optice cu rol de traductor de radiații ionizante (25, 26) face posibilă atât dozimetria radiațiilor ionizante (28) în locații diferite separate spațial, cât și dozimetria diferențială a unor radiații diferite care coexistă în aceeași locație. În primul caz, fibrele optice (25, 26) sunt plasate în locații diferite și sunt conectate la dozimetrul cu fibre optice prin intermediul unor fibre optice de conectare (21, 22, 23, 24) având lungimi diferite.

În cea de a doua situație, a existenței simultane a două tipuri diferite de radiații ionizante (28) în aceeași locație, dozimetria acelor două tipuri de radiații se poate realiza simultan folosind un singur dozimetru cu fibre optice utilizând simultan în aceeași locație două tipuri de fibre optice de UV, în care cele două tipuri de radiații ionizante (28) generează centri de culoare diferiți, și citind separat modificările de atenuare optică în cele două fibre optice cu rol de traductor (25, 26) la lungimi de undă specifice fiecărei radiații ionizante. Un exemplu de astfel de realizare îl constituie dozimetria diferențiată a radiației gamma și a neutronilor care coexistă în reactoarele nucleare, prin utilizarea simultană a două tipuri diferite de fibre optice cu rol de traductor de radiații (25, 26) în care radiația gamma și neutronii generează

centri de culoare diferiți. Într-o astfel de realizare, pot fi folosite fibre optice de tipul celor prezentate ca exemplu în figurile 1 și 4. Din compararea celor două figuri se observă că neutronii generează în anumite tipuri de fibre optice un centru de culoare care are asociată o atenuare optică la lungimea de undă de 630 nm (figura 4), centru de culoare care nu este generat de radiația gamma în fibra optică a cărei atenuare optică indusă de iradiere este prezentată în figura 1. În acest fel, prin măsurarea în timp a modificărilor atenuării optice în domeniul UV într-o fibra optica de anumit tip și a modificărilor atenuării optice la lungimea de undă de 630 nm într-o fibră optică de alt tip se poate realiza diferențiat dozimetria radiației gamma și a neutronilor.

Programul de achiziție, prelucrare și afișare a datelor pentru sistemul de calcul (20) utilizează mediul de programare LabVIEW.

Dozimetria radiațiilor începe la comanda "Start" (35) dată de către operator. Incepând cu acel moment, sistemul de calcul (20) citește periodic, cu frecvența stabilită de operator prin comanda (31), rând pe rând atenuarea spectrală pentru toate fibrele optice (25, 26) care sunt expuse la radiații ionizante și în care se dezvoltă centri de culoare specifici. Achiziția datelor pentru mărimile de interes (I_m , I_d și I_s) se realizează prin comenzi adecvate date multiplexorului pentru fibre optice (5), conform algoritmului prezentat anterior, citirea spectrelor de atenuare făcându-se cu ajutorul sursei de radiație optică (1) și a spectrometrului cu fibră optică (18), prin intermediul atenuatorului variabil pentru fibre optice (4) și a multiplexorului pentru fibre optice (5). După achiziționarea acestor spectre sistemul de calcul citește valoarea atenuării optice pentru fiecare fibră optică cu rol de traductor de radiații ionizante (25, 26) în parte, la lungimea de undă de 720 nm și scade această valoare din întregul spectru achiziționat. Datele experimentale au indicat că atenuarea optică în cazul fibrelor optice folosite nu este afectată de iradiere. În acest fel, atenuarea optică corespunzătoare lungimii de undă de 720 nm se datorează în exclusivitate pierderilor în conectoarele (27) pentru fibrele optice folosite. Corecția tuturor spectrelor achiziționate în conformitate cu metoda prezentată anterior face ca rezultatele măsurărilor să fie independente de imperfecțiunile sistemelor de cuplare a fibrelor optice, aceste conexiuni putând fi realizate în mod repetat, având în vedere faptul că erorile de cuplare sunt corectate automat.

Prin citirea de fiecare dată a semnalului furnizat de sursa de radiație optică (1) și introducerea valorilor măsurate în calculul atenuării optice în formula (1) sunt eliminate erorile datorate posibilelor variații în timp a intensității acestei surse.

Spectrele de atenuare achiziționate și corectate sunt memorate în memoria internă a sistemului de calcul (20) prin metode cunoscute. După fiecare astfel de citire a spectrelor de atenuare corespunzătoare tuturor fibrelor optice care au rol de traductoare de radiații ionizante (25, 26), sistemul de calcul (20) determină și memorează valorile atenuării $\Delta A(\lambda)$ pentru toate lungimile de undă selectate de către operator cu ajutorul selectorului (33).

Folosind grafice de etalonare ale fibrelor optice care au rol de traductoare de radiații ionizante (25, 26), grafice de tipul celor prezentate ca model în figurile 9 și 10, sistemul de calcul (20) asociază fiecărei valori a atenuării optice măsurate pentru lungimile de undă selectate o valoare a dozei totale integrale. Această operație este executată de către sistemul de calcul (20) pentru fiecare lungime de undă selectată de operator cu ajutorul selectorului (33), pentru toate fibre optice folosite ca traductoare de radiații ionizante (25, 26). În acest fel, valorile atenuărilor optice măsurate la lungimile de undă selectate sunt convertite în valori ale dozei totale integrale la care a fost expusă respectiva fibră optică (25, 26).

Exemplul de realizare a dozimetrului cu fibră optică pentru radiații ionizante este foarte flexibil deoarece echipamentul de bază compus din sursa de radiație optică (1), atenuatorul variabil pentru fibre optice (4), multiplexorul pentru fibre optice (5), spectrometrul cu fibră optică (18) și sistemul de calcul (20) rămâne același și se schimbă numai fibra optică cu rol de traductor de radiație ionizantă (25, 26), în funcție de tipul și condițiile de iradiere. În acest fel,

pot fi detectate diferite tipuri de radiații ionizante (28), cu diferite sensibilități de detecție și game dinamice diferite ale dozei totale integrale măsurată.

În același timp, sistemul de calcul (20) memorează pentru fiecare fibră optică cu rol de traductor pentru radiații ionizante (25, 26) intervalul de timp dintre comanda de "Start" (35) și momentul respectivei citiri. Folosind perechile de date astfel achiziționate, intervalul de timp după care are loc citirea valorii atenuării pentru fiecare lungime de undă selectată, corespunzătoare unui centru de culoare generat într-o anumită fibră optică (25, 26), și valoarea atenuării optice pentru respectiva lungime de undă sistemul de calcul (20) generează pentru fiecare lungime de undă selectată aparținând fibrelor optice (25, 26) un grafic în care doza totală integrală este reprezentată în funcție de timp, ca în exemplul din figura 12. În fiecare ecran de afișare sub formă grafică a rezultatelor (34) este prezentată variația în timp a dozei totale integrale măsurată de fiecare fibră optică cu rol de traductor (25, 26), pentru locațiile unde au fost plasate aceste fibre optice (25, 26). Fiecărui ecran de afișare sub formă grafică a rezultatelor (34) îi este asociat un sistem de afișare numerică (36) unde este afișată valoarea curentă a dozei totale integrale la care a fost expusă respectiva fibră optică (25, 26). Fiecare ecran de afișare sub formă grafică a rezultatelor (34) este prevăzut cu două repere (37, 38) care pot fi deplasate relativ unul față de celălalt după direcția orizontală (axa timpului) de către operator (figura 12). Cu aceste repere operatorul poate selecta intervalul de timp de expunere pentru care dorește să fie calculată rata dozei pentru fiecare fibră optică cu rol de traductor (25, 26). Sistemul de calcul (20) localizează poziția pe axa timpului a celor două repere (37, 38) și asociază celor două momente de timp valorile corespunzătoare (39, 40) ale dozei totale integrale. Folosind cele patru valori determinate conform procedurii expuse anterior, momentele de timp corespunzătoare reperelor (37, 38) și valorile dozelor totale asociate (39, 40), sistemul de calcul (20) calculează prin metode cunoscute valoarea medie a ratei dozei, pentru fiecare fibra optică cu rol de traductor (25, 26) și afișează aceste valori medii ale ratelor dozelor la niște sisteme de afișare numerică (41). În acest fel, operatorul are acces în timp real la informații referitoare la doza totală integrală, la evoluția acesteia în timp și la rata dozei, pentru fiecare fibră optică cu rol de traductor de radiații ionizante (25, 26), prin intermediul ecranelor de afișare grafică a rezultatelor (34) și a sistemelor de afișare numerică (36, 41).

REVENDICĂRI

1. Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante **caracterizat prin aceea că**, realizează dozimetria în timp real a radiațiilor ionizante prin măsurarea în timp real a atenuării optice induse de către radiațiile ionizante la anumite lungimi de undă într-o fibră optică de UV comercială cu rol de traductor de radiații ionizante (25, 26), lungimi de undă asociate generării de către radiațiile ionizante a unor centri de culoare în fibra optică (25, 26).

2. Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante **caracterizat prin aceea că** o radiație optică de bandă largă (3) emisă de o sursă stabilă de radiație optică (1) este cuplată prin intermediul unor seturi de fibre optice de conectare (21, 22, 23, 24) la un atenuator variabil pentru fibre optice (4), care la rândul său este cuplat prin intermediul unor fibre optice de conectare (21, 22, 23, 24) la portul de intrare (6) al unui multiplexor pentru fibre optice (5), care are conectată între două din porturile sale intermediare (9, 10, 11, 12, 13, 14) o fibră optică de UV cu rol de traductor de radiații ionizante (25, 26) și a cărui port de ieșire (7) este cuplat prin intermediul unei fibre optice de conectare (21, 22, 23, 24) la portul de intrare (19) al unui spectrometru cu fibră optică (18).

3. Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante, conform revendicărilor 1 și 2, **caracterizat prin aceea că** un sistem de calcul (20) controlează funcționarea automată a ansamblului format din sursa de radiație optică (1), atenuatorul variabil pentru fibre optice (4), multiplexorul pentru fibre optice (5), spectrometrul cu fibră optică (18) astfel încât să fie măsurate în timp real intensitatea optică corespunzătoare semnalului de întuneric (I_d) al spectrometrului cu fibra optică (18), intensitatea semnalului optic (I_s) corespunzător radiației optice de bandă largă (3) emise de sursa de radiație optică (1) în absența fibrei optice cu rol de traductor de radiații ionizante (25, 26), intensitatea semnalului optic (I_m) corespunzător radiației optice de bandă largă (3) emise de sursa de radiație optică (1) în prezența fibrei optice cu rol de traductor de radiații ionizante (25, 26), intensități utilizate pentru calcularea atenuării optice spectrale indusă de radiația ionizantă (28) în fibra optică care are rol de traductor de radiații ionizante (25, 26).

4. Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante, conform revendicărilor 2 și 3, **caracterizat prin aceea că** un atenuator variabil pentru fibre optice (4) este folosit pentru controlul nivelului semnalului optic detectat de un spectrometru cu fibre optice (18) astfel încât acest semnal să nu ajungă la nivelul corespunzător saturării.

5. Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante, conform revendicărilor 2 și 3, **caracterizat prin aceea că** un multiplexor pentru fibre optice (5) permite cuplarea pe rând la portul de intrare (19) al unui spectrometru cu fibră optică (18) a unui semnal de referință de întuneric, a unei radiații optice de bandă largă (3) provenind direct de la o sursă de radiație optică (1) sau prin intermediul unei fibre optice cu rol de traductor de radiație ionizantă (25, 26), în vederea măsurării intensităților (I_d), (I_s) și (I_m).

6. Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante, conform revendicării 3, **caracterizat prin aceea că** un sistem de calcul (20) corectează erorile introduse în valoarea măsurată a atenuării spectrale, erori datorate conexiunilor imperfecte și nereproductibile dintre diferitele fibre optice care compun dozimetru cu fibre optice, prin scăderea din atenuarea spectrală măsurată la fiecare lungime de undă a valorii atenuării măsurate la 720 nm, lungime de undă pentru care atenuarea optică nu este afectată de iradiere.

7. Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante, conform revendicării 3, **caracterizat prin aceea că** un sistem de calcul (20) corectează erorile introduse de variația în timp a puterii radiației optice de bandă largă (3) emise de o sursă de radiație optică (1) prin măsurarea continuă a acestei puteri și considerarea valorii ei curente în calculul atenuării optice spectrale.

8. Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante, conform revendicării 3, **caracterizat prin aceea că** un sistem de calcul (20) calculează din atenuările spectrale măsurate valorile atenuării optice la lungimile de undă de interes selectate de operator prin intermediul unui selector (33), lungimi de undă corespunzătoare centrilor de culoare generați ca urmare a iradierii.

9. Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante, conform revendicărilor 1, 3 și 8, **caracterizat prin aceea că** un sistem de calcul (20) asociază, în urma unei operații de etalonare prin metode cunoscute, fiecărei valori a atenuării optice specifice unui centru de culoare o valoare a dozei totale integrale la care a fost expusă fibra optică cu rol de traductor de radiații ionizante (25, 26).

10. Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante, conform revendicărilor 3, 8 și 9, **caracterizat prin aceea că** un sistem de calcul (20) monitorizează duratele de timp dintre un semnal de "Start" (35) dat de operator și momentul calculării atenuărilor optice corespunzătoare lungimilor de undă selectate de operator, și reprezintă pe un ecran de afișare sub formă grafică (34) variația în timp a dozei măsurate, pentru fiecare lungime de undă selectată.

11. Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante, conform revendicărilor 3 și 10, **caracterizat prin aceea că** un sistem de calcul (20) afișează folosind un sistem de afișare numerică (36) valoarea curentă a dozei totale integrale la care a fost expusă fibra optică cu rol de traductor de radiații ionizante (25, 26).

12. Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante, conform revendicărilor 3 și 10, **caracterizat prin aceea că** un sistem de calcul (20) afișează pe un ecran de afișare sub formă grafică (34) două repere (37, 38) corespunzătoare axei timpului, repere care pot fi deplasate relativ unul față de celălalt de către operator pentru a selecta intervalul de timp pentru care un sistem de calcul (20) calculează rata dozei la care a fost expusă fibra optică cu rol de traductor pentru radiații ionizante (25, 26).

13. Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante, conform revendicărilor 3 și 12, **caracterizat prin aceea că** un sistem de calcul (20) afișează la un sistem de afișare numerică (41) rata dozei calculate.

14. Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante, conform revendicării 2, **caracterizat prin aceea că** un multiplexor pentru fibre optice (5), controlat de un sistem de calcul (20), permite cuplarea între portul de ieșire (2) al unei surse de radiație optică (1) și portul de intrare (19) al unui spectrometru cu fibră optică (18), prin intermediul unor seturi de fibre optice de conectare (21, 22, 23, 24), a unor fibre optice cu rol de traductoare de radiații optice (25, 26), făcând posibilă dozimetria radiațiilor ionizante (28) în locații diferite separate în spațiu.

15. Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante, conform revendicărilor 1 și 2, **caracterizat prin aceea că** un multiplexor pentru fibre optice (5), controlat de un sistem de calcul (20), permite cuplarea între portul de ieșire (2) al unei surse de radiație optică (1) și portul de intrare (19) al unui spectrometru cu fibră optică (18), prin intermediul unor fibre optice de conectare (21, 22, 23, 24), a unor fibre optice cu rol de traductoare de radiații optice (25, 26) diferite, făcând posibilă dozimetria diferențiată a unor radiații ionizante (28) care există simultan în aceeași locație.

16. Dozimetru cu fibră optică pentru radiații ionizante, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** permite utilizarea unor fibre optice cu rol de traductor de radiații ionizante (25, 26) diferite în funcție de tipul de radiație ionizantă (28) și de condițiile de iradiere, astfel încât dozimetria radiației să fie optimizată pentru o anumită rată a dozei, doză totală integrală, sensibilitate la detecție și dinamică a semnalului.

DESENE

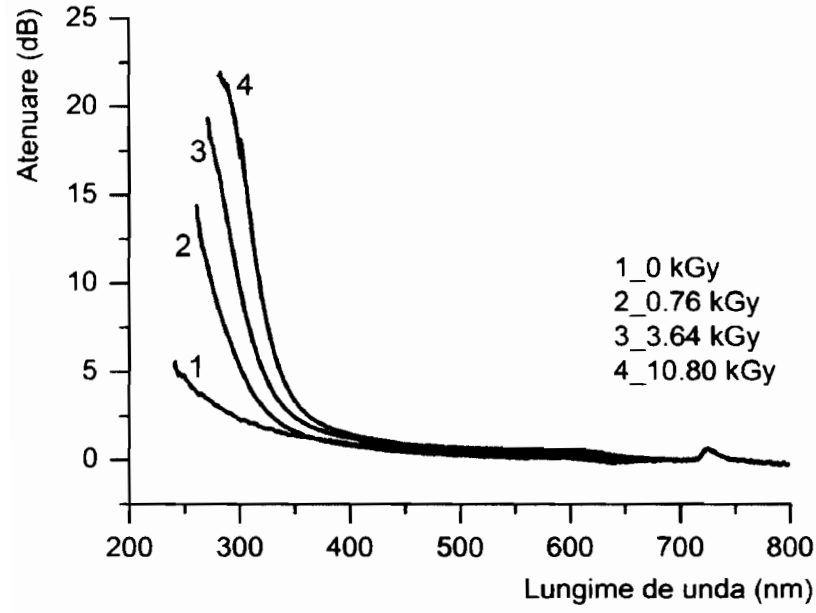


Figura 1

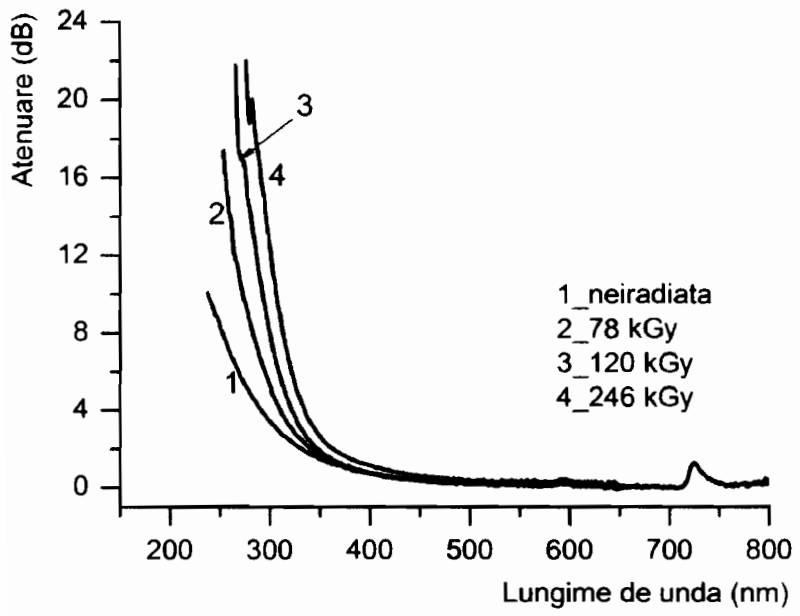


Figura 2

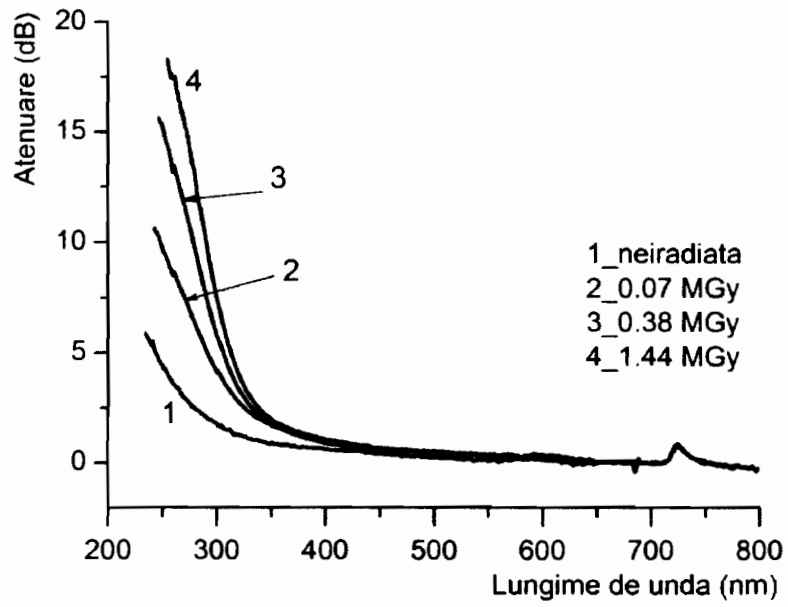


Figura 3

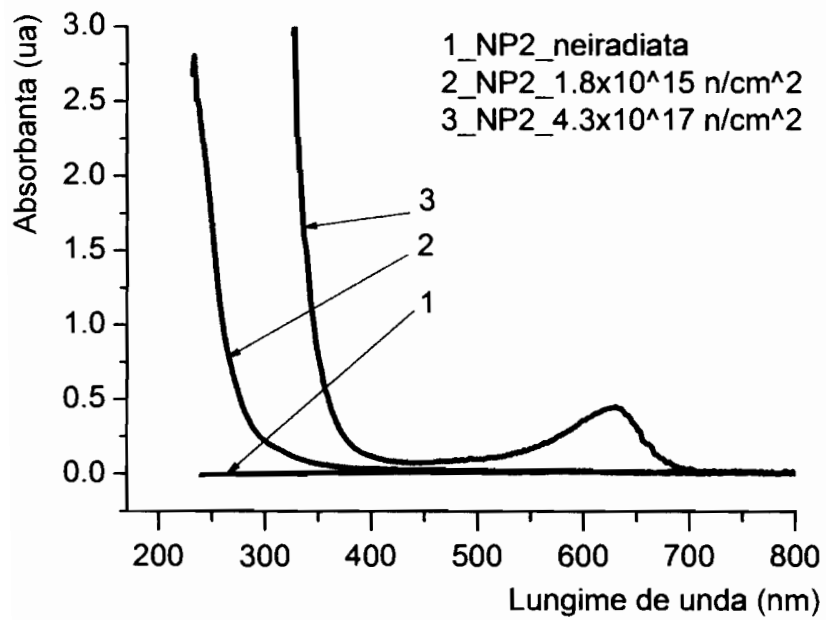


Figura 4

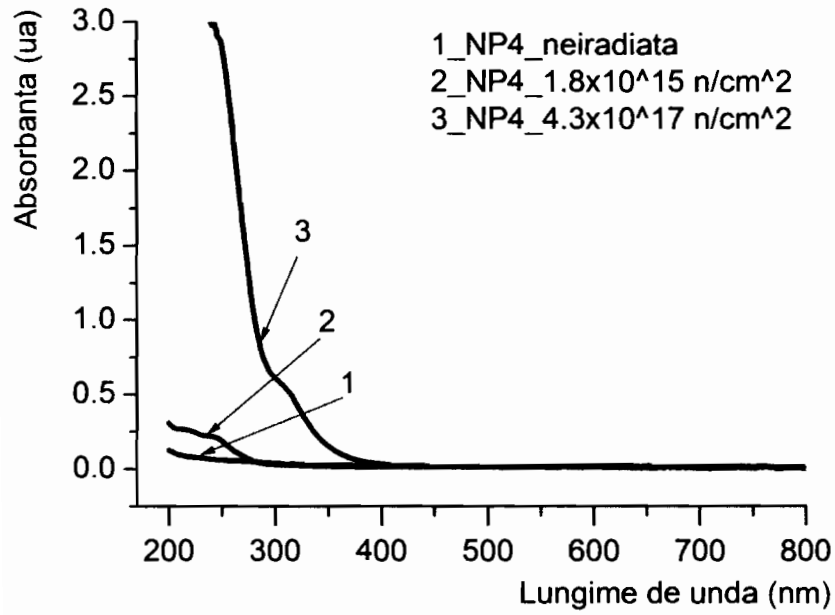


Figura 5

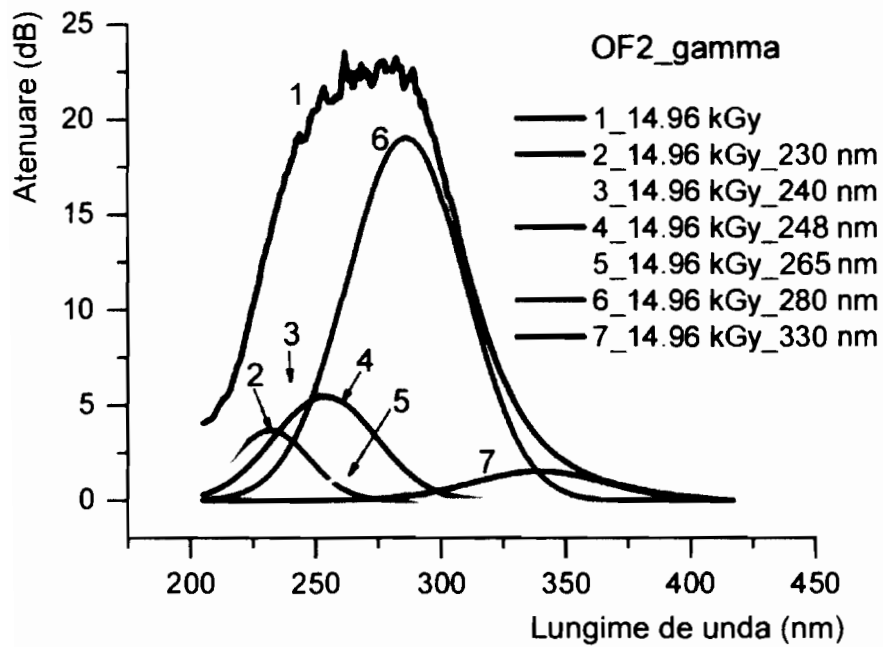


Figura 6

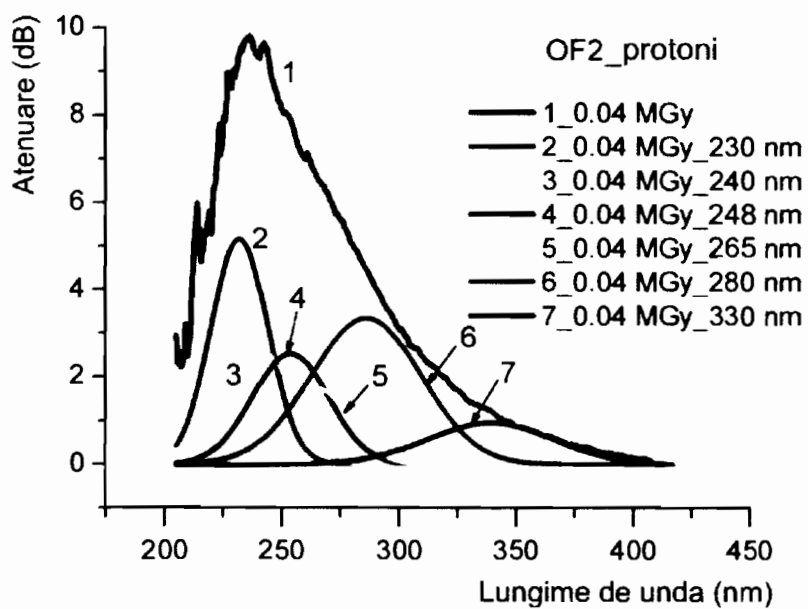


Figura 7

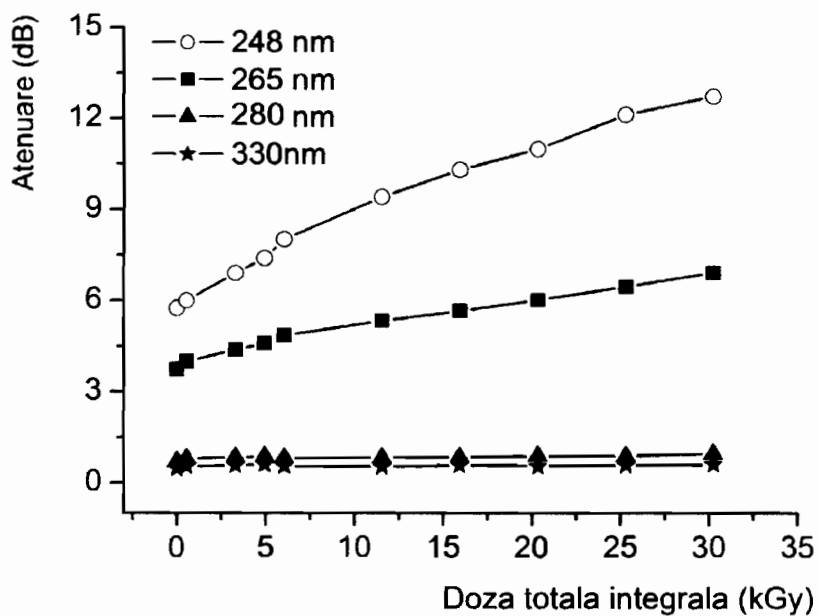


Figura 8

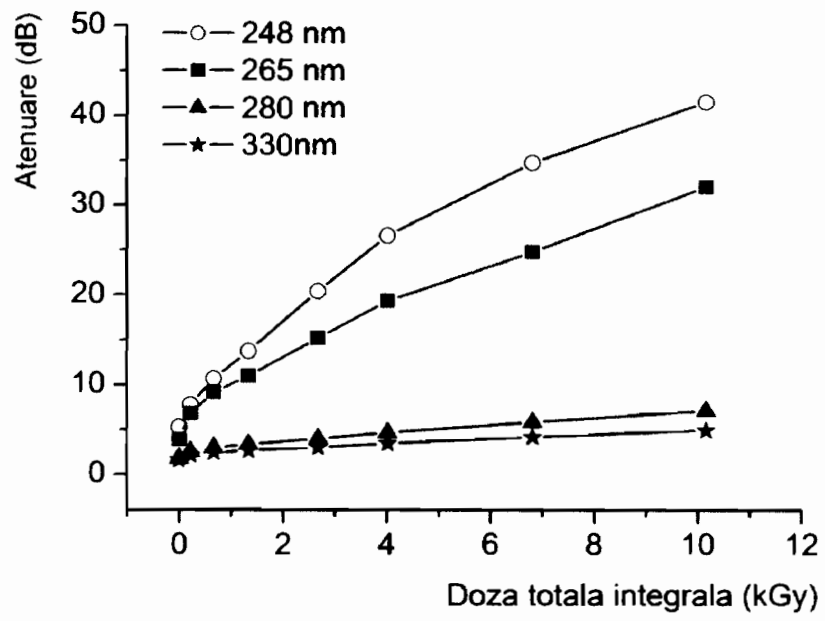


Figura 9

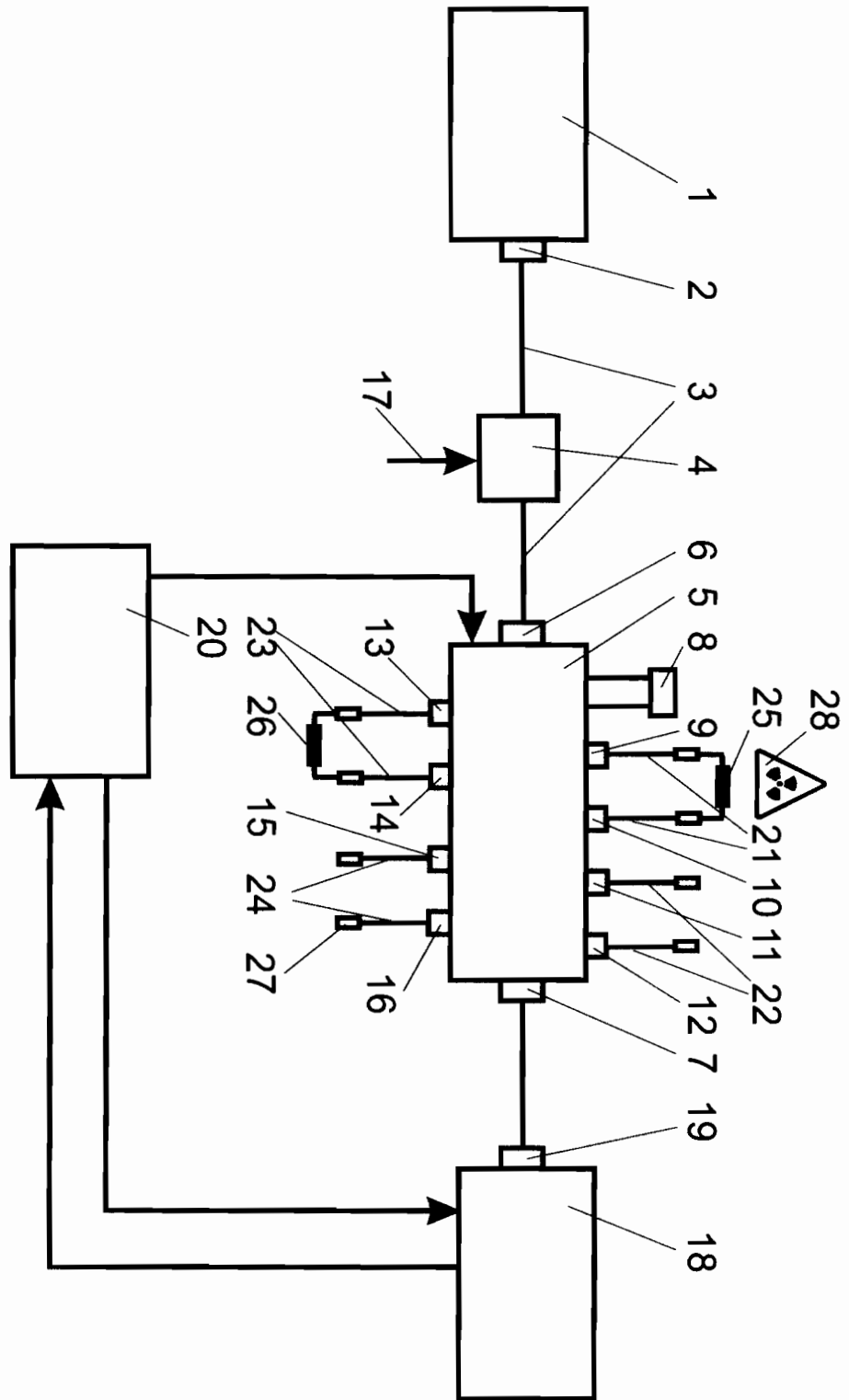


Figura 10

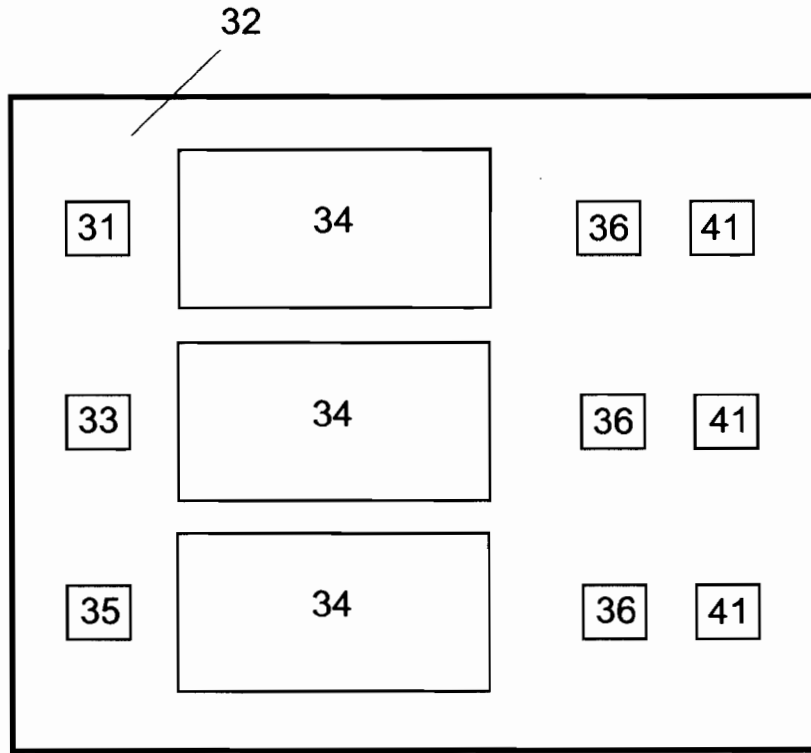


Figura 11

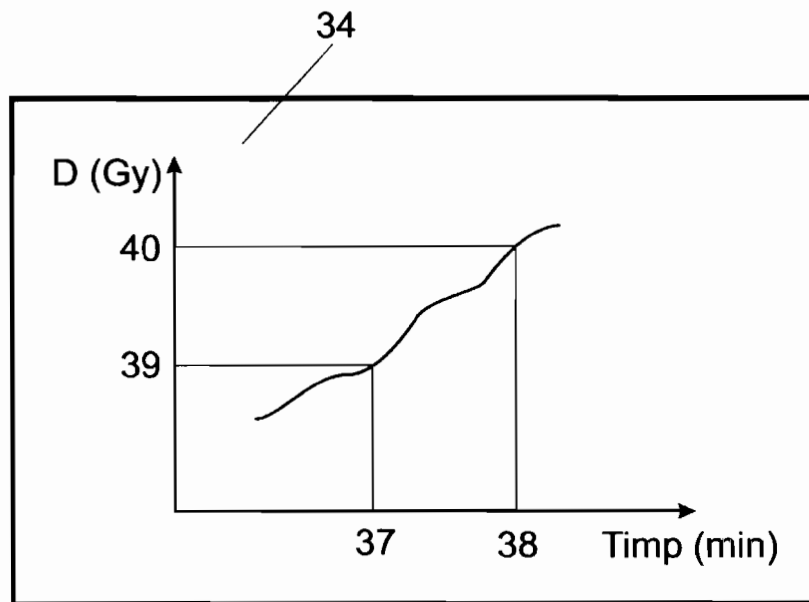


Figura 12