



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENTIE

(21) Nr. cerere: **a 2011 00771**

(22) Data de depozit: **02.08.2011**

(41) Data publicării cererii:
29.03.2013 BOPI nr. **3/2013**

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

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

• OPROIU CONSTANTIN, STR. TUNARI
NR. 46C, AP. 1, SECTOR 2, BUCUREȘTI, B,
RO;
• STĂNCĂLIE ANDREI, STR. VULCAN
NR. 31-35, BL. 3A, ET. 7, AP. 47, SECTOR
3, BUCUREȘTI, B, RO;
• SPOREA ADELINA, ȘOS. PANTELIMON
NR. 229, BL. 69, ET. 6, AP. 31, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO;
• CIUPITU MIRCEA, CALEA RAHOVEI
NR. 321, BL. 28, SC. D, ET. 10, AP. 133,
SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO

(54) DOZIMETRU CALORIMETRIC CU FIBRĂ OPTICĂ

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un dozimetru de tip calorimetru cu fibră optică, folosit pentru măsurarea dozei integral absorbite, în cazul iradiierii cu fascicule de particule accelerate. Dozimetru conform inventiei se bazează pe utilizarea unui senzor intrinsec, constând dintr-o fibră (3) optică, în care este montată o rețea (4) de difracție Bragg, pentru măsurarea variației de temperatură produsă ca urmare a transferului de energie de la un fascicul (11) de particule accelerate la un corp (15) calorimetric din grafit, având montată, în interiorul său, porțiunea fibrei (3) optică unde este localizată rețeaua (4) de difracție Bragg, corpul (15) fiind izolat față de mediul înconjurător cu ajutorul unei incinte (14) realizate din spumă de polistiren, izolatoare termic, variația de temperatură fiind evidențiată ca modificare a lungimii de undă nominale a rețelei (4) de difracție Bragg, modificare ce este determinată cu ajutorul unui echipament (6) de spectroscopie optică la care este cuplată fibra (3) optică.

Revendicări: 13

Figuri: 11

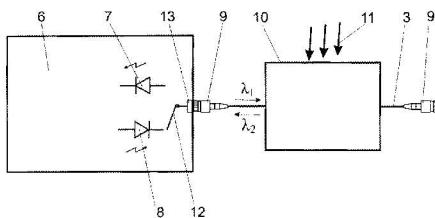


Fig. 4

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



DOZIMETRU CALORIMETRIC CU FIBRA OPTICA

DESCRIERE

Invenția de referă la un dozimetru cu fibra optică de tip calorimetric folosit pentru măsurarea dozei integral absorbite în cazul iradierii cu fascicule intense de particule accelerate, dozimetru având ca senzor de temperatură un sensor cu fibră optică tip rețea de difracție Bragg.

In construcția acceleratoarelor de particule încărcate și a surselor de iradiere trebuie elaborate mijloace de măsură și metode pentru determinarea parametrilor fasciculului: energie, intensitate, distribuție spațială a câmpului de iradiere, valoarea dozei absorbite la suprafață și în adâncime de către materialul expus iradierii. Doza totală absorbită de un material iradiat cu un fascicul de particule accelerate depinde de compoziția, dimensiunile, densitatea și configurația materialului, de parametrii fasciculului: energie, intensitate, de existența unui sistem conveier pentru transportul materialelor în câmpul de iradiere, de existența unor mijloace de uniformizare sau intensificare a câmpului de radiații.

In dozimetria radiațiilor există trei metode standard de determinare a expunerii sau a dozei integrale absorbite:

Metoda calorimetrică reprezintă singura metodă dozimetrică absolută prin care se măsoară direct cantitatea de energie absorbită de un material expus influenței câmpului de radiații și transformată, prin efecte de excitare și ionizare, în caldură. Cantitatea de energie absorbită pentru producerea unor transformări chimice în sistemul iradiat poate genera erori în măsurări. Această metodă fiind o metodă absolută este utilizată în special pentru calibrarea altor sisteme dozimetrice.

Metoda ionometrică are la bază principiul camerei de ionizare prin care se măsoară numărul de ioni produși de câmpul de radiații în aer sau în alt gaz. Currentul de ionizare se măsoară prin culegerea sarcinilor electrice generate de radiație în această cameră cu ajutorul a doi electrozi între care se aplică o diferență constantă de potențial.

Metoda chimică prin care se determină mărimea schimbărilor radiochimice produse într-un material expus influenței câmpului de energia absorbită. Dintre metodele chimice cele mai răspândite soluția dozimetrică Fricke este recunoscută de toate laboratoarele și reprezintă cea de a treia metodă standard de calibrare a sistemelor dozimetrice.

Sunt cunoscute multe metode **secundare** în care sunt incluse metode având la bază măsurarea anumitor efecte produse în diverse materiale expuse în câmp de radiații. Precizia de măsură a acestor metode nu este de prim ordin, dar ele oferă avantaje de manipulare și preț de cost redus, având contribuții importante în evaluarea activităților de iradiere. Un exemplu îl reprezintă determinarea distribuției de doză cu ajutorul filmului dozimetric.

Calorimetria poate fi utilizată pentru măsurarea dozei integral absorbite, determinând cantitatea de căldură generată de un material absorbant, presupunând că întreaga energie disipată de fascicul se transformă în căldură. Comparativ cu alte tipuri de dozimetre în calorimetrie apar unele particularități, ca de exemplu în cazul fasciculelor de electroni accelerati.

1. Iradierile cu fascicule de electroni sunt însoțite întotdeauna de variații rapide ale dozei la suprafață și în profunzimea materialului iradiat, în funcție de distribuția energetică a electronilor și de configurația geometriei de iradiere. De aceea, pentru măsurări de precizie ale distribuției dozei sunt necesare calorimetre simple, de dimensiuni reduse, comparative cu parcursul electronilor în material.
2. Existența unor impurități în compoziția materialului calorimetric influențează nivelul dozei măsurate și, din acest motiv, corpul calorimetric trebuie să fie realizat dintr-un material unic, fară incluziuni.

3. Majoritatea materialelor care prezintă structură moleculară suferă transformări chimice atunci când sunt expuse acțiunii câmpului de radiații. Un exemplu este apa, elementul chimic cel mai utilizat în calorimetrie, caz în care o parte a energiei cedate de fascicul va fi consumată pentru disocierea moleculelor în procesul de radioliză care se produce. Acest consum energetic este mult diminuat în sistemele închise, comparativ cu cele deschise, datorită atingerii unui regim de saturare între radioliza inițială și reacția inversă, de formare a apei din H_2 și H_2O_2 . În acest caz, numai o fracție de procent din energia absorbită este consumată pentru reacția de radioliză.

În metale cantitatea de energie consumată pentru a produce dislocări atomice este extrem de redusă, reprezentând aproximativ 0,001 % din cantitatea de energie absorbită. Din acest motiv metalele pot fi utilizate pentru realizarea corpului calorimetric în dozimetria radiației de frânare și a fasciculelor de electroni.

Sunt cunoscute mai multe dozimetre folosite pentru măsurarea dozei totale la care este expus un obiect. În continuare vor fi prezentate câteva astfel de soluții.

Intr-o astfel de realizare [US Patent 4 381 450], un detector de radiație este cuplat la un circuit integrator, conectat la rândul său la un circuit de eşantionare, afişarea rezultatelor realizându-se cu un circuit de afişare. Aceasta realizare are inconvenientul că semnalul util poate fi perturbat de radiația electromagnetică.

O alta implementare [US Patent 4 413 184] folosește o fibră optică pentru a detecta prezența radiației ionizante și a măsura doza totală, prin determinarea intensității semnalului de luminescență generat la două lungimi de undă (450 nm și 650 nm) în fibra optică de radiația ionizantă. Dezavantajele acestei metode sunt:

1. nu consideră modificările transmisiei fibrei optice ca urmare a expunerii sale la radiația ionizantă;
2. nu consideră faptul ca în cazul unor particule accelerate (de exemplu, electroni) apare suprapus peste semnalul de luminescență, în domeniul spectral UV-vizibil, o emisie optică datorată radiației Cerenkov, fapt care deteriorează raportul semnal-zgomot la detecția celor două emisii luminescente la 450 nm și 650 nm;
3. prin construcția sa, invenția utilizează o lungime mare de fibră optică care încadă zona în care există radiații ionizante, dozimetru propus măsoară doza totală integrată pe toată lungimea de fibră optică, deci nu poate fi localizată spațial valoarea dozei totale măsurate.

O alta invenție [US Patent 4 596 932] sugerează utilizarea unei camere de ionizare cuplată la un echipament de prelucrare a semnalului în vederea dozimetriei radiațiilor ionizante. Dezavantajele acestei soluții constau în aceea că elementul de detecție are un volum semnificativ, astfel încât nu permite o bună rezoluție spațială. Un alt dezavantaj îl reprezintă faptul că măsurările și citirea rezultatelor nu poate fi realizată de la distanță.

O altă abordare a problemei [US Patent 4 831 271] propune o monitorizare a dozei asociate unui fascicul de ioni prin expunerea la acest fascicul a unui material pe bază de oxizi a cărui culoare se modifică ca urmare a iradierii. Dezavantajul major al acestei invenții îl constituie faptul că evaluarea modificării culorii oxidului se realizează vizual, deci este complet subiectivă.

O altă soluție [US Patent 4 999 504] propune măsurarea de la distanță a dozei prin utilizarea unui fascicul laser pentru stimularea unei probe dintr-un material luminescent expus radiației ionizante. Ca urmare a acestei stimulații materialul luminescent produce o radiație optică care este detectată, cantitatea de radiație detectată fiind corelată cu doza totală primită de probă. Dezavantajele majore al acestei metode sunt datorate complexității montajelor optice utilizate pentru transmiterea radiației laser de stimulare și detecția radiației optice generate de materialul luminescent, ca și de faptul că echipamentul nu este portabil.

Un alt brevet [US Patent 5 006 714] utilizează un material scintilator care, în urma iradiierii, generează un semnal optic care este cuplat prin intermediul unui ghid de radiație optică la un fotomultiplicator. În paralel cu ghidul de radiație optică care conduce semnalul optic de la materialul scintilator, echipamentul include și un al doilea ghid pentru radiație optică care este folosit pentru a scădea din semnalul optic condus de primul ghid de radiație optică un semnal optic egal cu fondul. Impedimentul pe care îl prezintă acest echipament este asociat faptului că ghidurile optice utilizate sunt și ele expuse radiației ionizante și în acest fel măsurările de semnal optic pot fi alterate de modificările de transmisie ale ghidurilor optice, sub acțiunea acestor radiații. În plus, acest dozimetru măsoară debitul dozei și nu doza totală.

Un alt brevet [US Patent 5 015 855] propune ca și în cazul referinței [US Patent 4 999 504] realizarea unui dozimetru pentru măsurarea dozei totale prin utilizarea unui element dozimetric care, sub acțiunea radiației ionizante, stochează energie care este eliberată sub acțiunea unui fascicul laser. Dezavantajele majore al acestei metode sunt datorate complexității montajelor optice utilizate pentru transmiterea radiației laser de stimulare și detecția radiației optice generate de materialul luminescent, ca și de faptul că echipamentul nu este portabil.

O altă soluție [US Patent 6 232 610 B1] propune realizarea unui dozimetru constituit prin asocierea unor straturi de material radiocromic, care se colorează în urma expunerii la radiații ionizante. Modificările de culoare induse astfel sunt evaluate cu ajutorul unui spectrometru. Principalul dezavantaj al acestui dozimetru îl reprezintă faptul că necesită citirea modificării culorii cu un spectrometru, deci nu funcționează în timp real.

O altă implementare [US Patent 6 583 421 B2] propune utilizarea unei cupe tip Faraday care să colecteze sarcina depusă de fascicul de particule încărcate, sarcină care fiind citită cu un sistem de circuite electroice este pusă în corespondență cu doza totală. Invenția are dezavantajul că prezintă rezoluție spațială redusă, determinată de dimensiunile cupei Faraday și că nu poate funcționa ca un dozimetru pentru efectuarea unor măsurări la distanță. În plus, instrumentul nu este imun la radiația electromagnetică, având circuite electronice expuse acestor câmpuri.

O variantă de realizare a unui dozimetru calorimetric [US Patent 6 762 418 B2] presupune folosirea unui calorimetru cu termocuplu pentru citirea diferenței de temperatură rezultată în urma transferului de energie de la fascicul de particule încărcate la calorimetru. În implementarea descrisă, calorimetru este deplasat de către o bandă transprotoare de la o poziție inițială aflată în afara zonei de iradiere, într-o poziție în zona de iradiere unde calorimetru este expus radiației ionizante. După iradiere, calorimetru este readus de banda transportoare în poziția inițială. Prin intermediul unui termocuplu atașat calorimetrelui se realizează citirea temperaturii calorimetrelui înainte și după expunerea la radiații. Dezavantajul metodei propuse constă în aceea că măsurarea de temperatură deci implicit evaluarea dozei totale nu se realizează în timp real, în intervalul de timp scurs între expunere și cea de a două citire a valorilor indicate de termocuplu, calorimetru își reduce prin convecție termică temperatură, apărând erori în determinarea dozei totale. În plus, instrumentul necesită prezența unui braț robotic prin intermediul căruia au loc citirile semnalului de la termocuplul. O soluție asemănătoare celei pezentate anterior [US Patent 5 015 855] utilizează metoda OSL (Optically Stimulated Luminescence) [US Patent 6 936 830 B2] care rezolvă problemele asociate suprapunerii peste semnalul util de luminescență stimulată, a radiației Cerenkov și a fluorescenței induse de radiația ionizantă în fibra optică dar, prin fapul că operează în regim de echilibru între procesul de iradiere și luminescența stimulată cu laser, are o dinamică a semnalului util foarte mică, maximum un ordin de mărime.

O variantă de realizare [US Patent 7 439 524 B2] indică utilizarea fenomenului de stimulare optică sub acțiunea energiei termice, prin care un material luminescent acumulează energie pe durata expunerii la o radiație ionizantă și eliberează această energie sub formă de

luminescență când este este încălzit. Invenția propune în principiu două abordări majore de interes: cazul în care încălzirea materialului luminescent și citirea semnalului de luminescență se realizează direct și cazul în care cele două operații se realizează prin intermediul unor fibre optice. În primul caz, dezavantajul este că măsurarea dozei totale nu se poate face de la distanță, iar în cel de al doilea caz, măsurarea dozei este perturbată după cum s-a arătat mai sus de radiația Cerenkov și emisia de fluoerescență din fibrele optice de conexiuni.

Un alt brevet [US Patent 2010/0069749 A1] descrie o variantă de realizare a dozimetrlui conform căreia un material luminescent este montat la extremitatea unei fibre optice. La expunerea acestui material la o radiație ionizantă este generat un semnal optic de luminescență care este cuplat prin intermediul fibrei optice la un sistem de detecție a semnalului optic. Materialul luminescent, conform invenției, emite un semnal optic în domeniul UV al spectrului optic. O fibră optică suplimentară este folosită pentru a compensa, prin masurări diferențiale, semnalul parazit care apare la detecție. Dezavantajul acestei soluții constă în aceea că nu prezintă nici o posibilitate de compensare a atenuării induse în cele două fibre optice de către iradierea cu radiație ionizantă, știut fiind că expunerea fibrelor optice la astfel de radiații generează centri de culoare numeroși, în special în domeniul UV. În acest fel, rezultatul măsurării este viciat de creșterea atenuării fibrei optice ca urmare a formării centrilor de culoare amintiți, fapt care denaturează amplitudinea semnalului de luminescență detectat. În plus, instrumentul descris în acest brevet nu măsoară doza totală.

Dozimetru calorimetric cu fibră optică, conform invenției, prezintă simultan următoarele avantaje:

1. permite măsurarea de la distanță a dozei integral absorbite;
2. este imun la radiația electromagnetică;
3. este imun la semnalul optic parazit generat în fibrele optice ca urmare a iradierii, respectiv la radiația Cerenkov și radiația de fluorescență;
4. este imun la degradarea transmisiei optice a fibrei optice ca urmare a iradierii cu radiație penetrantă;
5. prezintă o bună rezoluție spațială deoarece permite măsurarea punctuală a dozei totale;
6. are o sensibilitate ridicată;
7. funcționează într-o gamă dinamică mare, de câteva ordine de mărime;
8. operează în timp real;
9. este portabil.

În alegerea metodei calorimetrice cea mai avantajoasă pentru dozimetria fasciculelor de particule încărcate accelerate, în contextul prezentei inventii, trebuie avute în vedere câteva considerente practice. Este vorba în primul rând de alegerea unor dispozitive care să permită, pe de o parte, penetrația cu ușurință a fasciculului de particule (de exemplu fascicul de electroni cu energie medie cuprinsă în domeniul 2 - 10 MeV) către corpul calorimetric activ și pe de alta parte, să asigure o izolare termică eficientă a corpului calorimetric activ față de mediul înconjurător.

Doza medie integral absorbită (D) în corpul calorimetric se determină cu urmatoarea relație:

$$\Delta D \text{ (kGy)} = 10 \cdot K \cdot \Delta T \text{ (}^{\circ}\text{C)}, \quad (1)$$

unde: ΔT reprezintă variația de temperatură a corpului calorimetric la expunerea în fasciculul de particule, iar K este constanta caracteristică a calorimetrlui:

$$K = \frac{\sum m_i c_i}{2,389 \sum m_i s_i}, \quad (2)$$

în care, m_i este masa în grame a componentului ‘ i ’ al calorimetrlui; c_i - căldura specifică (cal/g*grad) a componentului ‘ i ’ față de apă; s_i - raportul puterii de oprire al componentului

"i" față de apă. Factorul 2,389 reprezinta numarul de calorii echivalent la $1g \cdot 10^4$ Gy sau $1g \cdot 10^8$ erg.

Dozimetru calorimetric cu fibră optică, conform invenției, se bazează pe utilizarea unui senzor intrinsec cu fibră optică, de tipul unei rețele de difracție Bragg, pentru măsurarea variației de temperatură produsă ca urmare a transferului de energie de la fasciculul de particule accelerate către un corp calorimetric din grafit, separat față de mediul înconjurător de o incintă din spumă de polistiren, izolatoare termic, variație de temperatură evidențiată ca modificare a lungimii de undă nominale a rețelei de difracție Bragg, modificare determinată cu ajutorul unui echipament de spectroscopie optică la care este atașată fibra optică.

Avantajul principal al dozimetru calorimetric cu fibră optică, conform invenției, față de dispozitivele descrise în conformitate cu stadiul tehnicii descris anterior, constă în faptul că permite măsurarea în timp real, de la distanță a dozei integral absorbite în cazul iradierii cu un fascicule de particule încărcate. Un alt avantaj al dozimetru calorimetric cu fibră optică îl constituie faptul că este imun la radiația electromagnetică prezentă în zona de funcționare a acceleratoarelor de particule încărcate. Un avantaj suplimentar este conferit de imunitatea sistemului față de semnalul optic parazit (radiație Cerenkov și/ sau radiație de fluoerescență) care apare în fibrele optice iradiate. Un avantaj important al dozimetru calorimetric cu fibră optică este că este imun la degradarea transmisiei optice, degradare care apare în condițiile în care fibrele optice sunt iradiate. Un alt avantaj se referă la faptul că permite măsurări ale dozei integral absorbite cu rezoluție spațială ridicată și cu sensibilitate ridicată. Un alt avantaj major al soluției propuse este conferit de gama sa dinamică mare, de trei ordine de mărime, pentru determinarea dozei integral absorbite, prin echivalarea acestei doze cu măsurări de temperatură. Un alt avantaj al dozimetru calorimetric cu fibră optică îl constituie faptul că este portabil. Toate aceste avantaje vor fi ilustrate pe parcursul descrierii dozimetru calorimetric cu fibră optică.

Figura 1 prezintă principiul de funcționare a unui senzor cu fibră optică cu rețea de difracție tip Bragg.

Figura 2 ilustrează stabilitatea în raport cu iradierea folosind fascicule de particule încărcate a caracteristicii de transfer a unui senzor cu fibră optică cu rețea Bragg.

In figura 3 este reprobus un detaliu al caracteristicii de transfer a unui senzor cu fibră optică cu rețea de difracție tip Bragg, înainte și după iradierea cu un fascicul de electroni accelerati.

Un exemplu de realizare a dozimetru calorimetric cu fibră optică este prezentat în figura 4, unde sunt ilustrate componente sale constitutive și modul lor de asamblare în cazul utilizării unui echipament de spectroscopie optică tip interogator cu funcționare prin reflexie.

In figura 5 este prezentat în detaliu principiul calorimetru cu fibra optică.

Figura 6 redă variația în timp a temperaturii în cazul unui calorimetru quasiadiabatic.

In figura 7 este prezentată reproductibilitatea măsurărilor realizate cu dozimetru calorimetric cu fibră optică, pentru cazul a trei iradieri repetate cu doze integral absorbite de câte 2 kGy.

Figura 8 ilustrează linearitatea bună și gama dinamică mare a dozimetru calorimetric cu fibră optică, prin modificarea valorii lungimii de undă centrale a semnalului reflectat de rețeaua Bragg în cazul unei doze integral absorbite de 8 kGy (marcată cu $\Delta\lambda_{0.8}$) și a unei doze integral absorbite de 16 kGy (marcată cu $\Delta\lambda_{1.6}$).

In figura 9 este prezentat un exemplu de realizare a dozimetru calorimetric cu fibră optică în cazul utilizării unui echipament de spectroscopie optică tip interogator cu funcționare prin transmisie.

In figura 10 este indicat un exemplu de realizare a dozimetru calorimetric cu fibră optică în cazul utilizării unui echipament de spectroscopie optică tip spectrometru.

In figura 11 este ilustrat un exemplu de realizare a dozimetru calorimetric cu fibră optică în cazul utilizării unui echipament de spectroscopie optică tip analizor de spectru.

Se dau în continuare câteva exemple de realizare ale invenției.

Principiul de funcționare a unei rețele de difracție de tip Bragg este explicitat în legătură cu figura 1. O rețea de difracție Bragg (4), realizată prin metode cunoscute în zona centrală (core) a fibrei optice (3), reprezintă o modificare spațială periodică, în lungul axei fibrei optice, a indicelui de refracție a materialului acesteia. În cazul în care este injectat un semnal optic (λ_1) de bandă spectrală largă la una din extremitățile fibrei optice (3), acest semnal se propagă în interiorul fibrei optice (3) până în zona unde este localizată rețeaua de difracție Bragg (4). În acest moment au loc două procese: o parte din semnalul optic injectat se propagă, sub forma unui semnal reflectat (λ_2) către o extremitate a fibrei optice (3) unde a avut loc injecția, iar restul de semnal optic se propagă ca semnal optic transmis (λ_3) către extremitatea opusă a fibrei optice (3). Caracteristicile: lungimea de undă centrală (λ_c), lărgimea spectrală de bandă (FBHW) și amplitudinea semnalului (A) ale celor două semnale, reflectat (λ_2) și transmis (λ_3), identificate în figura 3, depind de caracteristicile constructive ale rețelei de difracție Bragg (4). Semnalul optic (λ_1) injectat în fibra optică (3) este generat de o sursă optică (1). Semnalul optic reflectat (λ_2) este detectat cu ajutorul unui echipament de detecție (2), iar semnalul optic transmis (λ_3) este detectat cu ajutorul unui al doilea echipament de detecție (5). În conformitate cu cele cunoscute din literatura de specialitate, lungimea de undă centrală (λ_c) a semnalului optic reflectat (λ_2) sau a celui transmis (λ_3) variază în funcție de temperatura la care se găsește rețeaua de difracție Bragg (4). Lărgimea de bandă spectrală (FBHW) a semnalului optic reflectat (λ_2) și a celui transmis (λ_3) nu sunt influențate de temperatura la care se găsește rețeaua de difracție Bragg (4). Amplitudinea (A) semnalelor optice provenind de la rețeaua de difracție Bragg (λ_2 , λ_3) nu se modifică la modificarea temperaturii la care se găsește rețeaua de difracție Bragg (4). Prin acest mod de operare, rețeaua de difracție Bragg (4) realizată în fibra optică (3) este utilizată pentru măsurarea temperaturii la care se găsește aceasta, în urma determinării modificării lungimii de undă centrală (λ_c) a unuia din semnalele optice (λ_2 , λ_3).

În vederea utilizării rețelei de difracție Bragg pentru măsurarea dozei integral absorbite pe durata iradierii cu un fascicul accelerat de particule încarcate au fost realizate încercări pentru a constata stabilitatea caracteristicilor rețelei - lungime de undă centrală (λ_c), lărgime de bandă spectrală (FBHW), amplitudinea semnalului (A) în cazul iradierii rețelei de difracție Bragg cu un fascicul de electroni accelerati. Rezultatul este prezentat în figura 2 pentru un spectru al semnalului optic de reflexie (λ_2) de o rețea de difracție Bragg (4) în urma iradierii cu o doză integral absorbită de 108 kGy, pentru domeniul spectral 1510 nm - 1590 nm. În figura 3 este indicat un detaliu al imaginii din figura 2, respectiv maximul semnalului optic de reflexie (λ_2). Determinările au fost realizate măsurând semnalul reflectat de către rețeaua de difracție Bragg (4) înainte și după iradierea cu o doză integral absorbită de 108 kGy, în ambele cazuri rețeaua de difracție Bragg (4) realizată în fibra optică (3) fiind menținută într-o etuvă izolată termic, la temperatura de 60 °C. În acst fel, modificările care ar fi putut să apară referitoare la valoarea lungimii de undă centrale (λ_c) a semnalului optic reflectat de rețeaua de difracție Bragg (4) s-ar datora numai iradierii acesteia și nu modificării temperaturii sale. Se poate observa că iradierea cu un fascicul de electroni accelerati până la o doză integral absorbită mare de 108 kGy nu produce modificări ale caracteristicilor rețelei de difracție Bragg (4). Deci ea poate fi expusă fasciculelor de particule încărcate accelerate fără a se degrada.

Un exemplu de realizare a unui dozimetru calorimetric cu fibră optică este prezentat în figura 4, în cazul utilizării unui echipament de spectroscopie optică tip interrogator (6) cu funcționare prin reflexie. Fibra optică (3) în care este realizată rețeaua de difracție Bragg (4) este cuplată la una dintre extremități la un echipament de spectroscopie optică tip integrator

(6), fibra optică (3) fiind montată în interiorul calorimetruului (10), calorimetru care este expus unui fascicul de particule încărcate accelerate (11). Un detaliu de realizare a calorimetruului (7) este prezentat în figura 5, construit pentru a funcționa în regim evasiadiabatic. Calorimetru este format dintr-un corp calorimetric (15) sub forma unui paralelogram de grafit care are dimensiuni reduse și care este izolat termic față de mediul înconjurător de un paralelipiped din polistiren expandat (14), având grosimea convenabilă deosebită pentru a realiza izolarea termică a corpului calorimetric și în același timp, să asigure trecerea cu ușurință a electronilor având o energie de câțiva MeV spre corpul calorimetric (15). Corpul calorimetric permite montarea în interiorul său a porțiunii din fibra optică (3) unde este localizată rețeaua de difracție Bragg (4), fibra optică (3) având montate la cele două extremități conexoare fixe (9). În momentul iradierii calorimetruului (10) cu un fascicul de particule accelerate încărcate (de exemplu, electroni) (11), energia particulelor este transferată corpului calorimetric (15) care fiind din grafit își crește temperatura și transmite această variație de temperatură rețelei de difracție Bragg (4). Izolația din polistiren expandat (14) asigură menținerea constantă a temperaturii corpului calorimetric (15) pe durata măsurării și în acest fel se asigură precizia ridicată a determinării. Un echipament de spectroscopie optică tip interogator (6) prevăzut cu un emițător optic acordabil (8) transmite, prin intermediul unui comutator pentru fibre optice (12), un semnal optic în infraroșu, în lungul fibrei optice (3) care este cuplată, prin intermediul unui conector fix (9), la un port al său de ieșire (13). Semnalul optic transmis de echipamentul de spectroscopie optică tip interogator (6) este baleiat în domeniul lungimilor de undă astfel încât să acopere domeniul spectral corespunzător rețelei de difracție Bragg (4) din fibra optică (3). Conform prezentei realizări a invenției, în momentul în care distribuția spectrală a semnalului optic transmis de către echipamentul de spectroscopie optică tip interogator (6) corespunde cu distribuția spectrală caracteristică rețelei de difracție Bragg (4), o parte din el este reflectat (λ_2) de rețeaua de difracție Bragg (4) iar o parte este transmis (λ_3), conform figurii 1. Semnalul optic reflectat (λ_2) este cuplat, prin același port de ieșire (13) și un comutator pentru fibre optice (12), la un detector pentru semnale optice în infraroșu (7) montat în interiorul echipamentului de spectroscopie optică tip interogator (6). Comutatorul pentru fibre optice (12) din interiorul echipamentului de spectroscopie optică tip interogator (6) are rolul de a separa semnalul emis de cel recepționat, având în vedere că se utilizează același port de intrare (13) pentru ambele semnale. Prin baleierea lungimii de undă a semnalului optic de infraroșu realizată cu emițătorul optic acordabil (8) și prin detectarea corespunzătoare a semnalului optic reflectat (λ_2) cu ajutorul detectorului pentru semnale optice în infraroșu (7), echipamentul de spectroscopie optică tip interogator (6) generează o caracteristică asemănătoare celei prezентate în figurile 2 și 3, din care poate fi determinată variația lungimii de undă centrală (λ_c) a radiației optice refelectate (λ_2). Creșterea temperaturii rețelei de difracție Bragg (4) conduce la modificarea valorii lungimii de undă centrale (λ_c) a semnalului optic reflectat (λ_2) detectat de echipamentul de spectroscopie optică tip interogator (6). Corespondența dintre variația temperaturii rețelei de difracție Bragg (4) și modificarea lungimii de undă centrale (λ_c) a semnalului optic reflectat (λ_2) se realizează prin etalonarea sistemului format din echipamentul de spectroscopie optică tip interogator (6) și fibra optică (3), care include rețeaua de difracție Bragg (4), folosind o etuvă termostatată având temperatură controlată.

Funcționarea dozimetruului calorimetric cu fibră optică este de tip quasiadiabatic, variația în timp a temperaturii la nivelul rețelei de difracție Bragg (4) corespunzând graficului din figura 6. În figură se disting trei domenii de variație în timp a temperaturii. În intervalele I și III rețeaua de difracție Bragg (4) urmărește schimbările termice dintre corpul calorimetric (15) și mediul, în absența iradierii. În intervalul II, corpul calorimetric absorbe o energie Q în intervalul de timp $t = t_b - t_a$, rezultând o variație de temperatură a acestuia $\Delta T = T_B - T_A$. Adevarata variație de temperatură pentru cazul adiabatic ideal se obține prin extrapolarea în

regiunea II a zonei liniare a curbei caracteristice din regiunile I și III, presupunând că întreaga energie este absorbită instantaneu la momentul t_X . Dreapta $T_B T_A$ trebuie astfel trasată încât ariile $T_A T'_A M$ și $T_B T'_B M$ să fie egale. Graficul din figura 6 este folosit pentru corectarea temperaturii determinate prin citirea variației lungimii de undă centrale (λ_c) a radiației optice reflectate (4), astfel încât dozimetru calorimetric cu fibră optică, conform invenției, să poată fi echivalat cu un calorimetru adiabatic ideal.

Încercările efectuate cu dozimetru calorimetric cu fibră optică au indicat o reproductibilitate mai bună de 2 % (figura 7) a relației dintre doza integrală absorbită de corpul calorimetric (15) și modificarea lungimii de undă centrale (λ_c) determinată cu ajutorul echipamentului de spectroscopie optică tip interogator (6).

Linearitatea bună a răspunsului dozimetru calorimetric cu fibră optică precum și dinamica semnalului asociat variației lungimii de undă centrale (λ_c) sunt demonstate de datele experimentale prezentate în figura 8.

Semnalul util corespunzător modificărilor lungimii de undă centrale (λ_c) detectate cu echipamentul de spectroscopie optică tip interogator (6), modificări proporționale cu doza integrală absorbită de corpul calorimetric (15), se obține prin diferența dintre vârful semnalului (S_v) corespunzător iradierei și semnalul corespunzător palierului (S_p) anterior lui, corespunzător duratei cât nu are loc iradierea (figurile 7 și 8). Măsurările efectuate au demonstrat o dinamică de trei ordine de mărime (între 10^2 Gy și 10^5 Gy).

Etalonarea dozimetru calorimetric cu fibră optică se poate realiza fie prin compararea cu un calorimetru etalon, fie prin calcul folosind formulele (1) și (2) în cazul în care se cunosc mărimile m_i , c_i și s_i pentru materialele care alcătuiesc calorimetru.

Un alt exemplu de realizare a unui dozimetru calorimetric cu fibră optică este prezentat în figura 9, caz în care o fibra optică (3), folosită pentru măsurarea variației de temperatură a unui calorimetru (10) ca urmare a iradierei cu fascicule de particule încarcate (11), este montată astfel încât rețeaua de difracție Bragg (4) realizată în fibra optică (3) să se afle în interiorul corpului calorimetric (15) de grafit, fibra optică (3) fiind cuplată cu o extremitate, prin intermediul unui conector fix (9) și a unui port de ieșire (13) aparținând unui echipament de spectroscopie optică tip interogator (6), la un emițător optic acordabil (8), iar cu celălaltă extremitate este conectată, după ce trece printr-un dispozitiv circulator pentru fibre optice (16) prin intermediul unui conector fix (9) la un port de intrare (17) al unui echipament de spectroscopie optică tip interogator (6), unde se găsește un detector de radiație optică infraroșie (7). Conform acestui exemplu de realizare, dozimetru calorimetric cu fibră optică funcționează prin transmisie, conform principiului prezentat în figura 1. Prin baleierea lungimii de undă a radiației optice infraroșii emise de emițătorul optic acordabil (8) și detectarea corespunzătoare, cu ajutorul detectorului de radiație infraroșie (7), a semnalului optic transmis (λ_3) de rețeaua de difracție Bragg (4) se generează o caracteristică complementară celei prezentate în figurile 2 și 3, conform figurii 1, din care poate fi determinată variația lungimii de undă centrale (λ_c) a radiației optice transmisse (λ_3), variație datorată creșterii de temperatură a corpului calorimetric (15) ca urmare a iradierei sale. În acest exemplu de realizare a invenției între una dintre extremitățile fibrei optice (3) și portul de intrare (17) al echipamentului de spectroscopie optică tip interogator (6) a fost intercalat un dispozitiv circulator (16) pentru a separa la detecție semnalul transmis (λ_3) de semnalul emis la nivelul portului de intrare.

În figura 10 este dat un exemplu de realizare a unui dozimetru calorimetric cu fibră optică pentru cazul în care semnalul transmis de rețeaua de difracție Bragg (4) este detectat cu ajutorul unui mini spectrometru cu fibre optice (18). O sursă optică de bandă largă (19) emite un semnal optic care este cuplat prin intermediul unui conector fix (9) la o fibra optică (3) care este realizată în interiorul ei o rețea de difracție Bragg, rețea de difracție care este montată în interiorul unui corp calorimetric (15) al unui calorimetru (10). Cealaltă extremitate a fibrei

optice este cuplată prin intermediul unui conector fix (9) la intrarea unui mini spectrometru cu fibre optice (18). Minispectrometrul cu fibre optice (18) are în interior o rețea lineară de detectoare optice (20) care permit generarea unui semnal care să reproducă distribuția spectrală a semnalului cuplat la intrarea sa. Mini spectrometru cu fibre optice (18) detectează radiația optică transmisă (λ_3) de rețea de difracție Bragg și generează o caracteristică complementară celei prezentate în figurile 2 și 3, conform principiului de funcționare prezentat în figura 1. Din această caracteristică poate fi determinată variația lungimii de undă centrale (λ_c) a radiației optice transmise (λ_3), variație datorată creșterii de temperatură a corpului calorimetric (15) ca urmare a iradierii sale.

Un alt exemplu de realizare a unui dozimetru calorimetric cu fibră optică este prezentat în figura 11. Principiul de funcționare este tot prin transmisie ca și în soluția ilustrată în figura 10. Deosebirea între cele două realizări constă în faptul că în prezență implementare, minispectrometrul cu fibră optică (18) este înlocuit de un analizor de spectru optic (21). Analizorul de spectru optic are un singur detector (22), caracteristica spectrală a semnalului optic transmis de rețea de difracție Bragg (4) se obține în acest caz prin baleierea spectrului cu ajutorul unui element dispersiv (23). Ca și în cazul mini spectrometrului cu fibre optice și în această realizare se obține o caracteristică complementară celei prezentate în figurile 2 și 3, principiul de funcționare fiind cel de transmisie de către rețea de difracție a unei radiații optice (figura 1). Din această caracteristică poate fi determinată variația lungimii de undă centrale (λ_c) a radiației optice transmise (λ_3), variație datorată creșterii de temperatură a corpului calorimetric (15) ca urmare a iradierii sale.

Sensibilitatea ridicată a rețelei de difracție Bragg (4), la variații foarte mici (de $0,01^{\circ}\text{C}$) de temperatură, permite măsurări foarte precise ale unor valori mici (de 100 Gy) ale dozei integral absorbite, ideal pentru domeniul iradierilor tehnologice curente. Utilizarea unei fibre optice (3) pentru determinarea temperaturii corpului calorimetric (15) prin sesizarea modificărilor intervenite în lungimea de undă centrală (λ_c) a radiației optice reflectate (λ_2) sau transmise (λ_3) asigură măsurarea de la distanță a unei mărimi aflate în relație de proporționalitate cu doza integral absorbită de corpul calorimetric (15) ca urmare a iradierii cu particule încărcate accelerate (11).

Folosirea fibrei optice (3) pentru detectarea modificărilor de temperatură ale corpului calorimetric (15) garantează și imunitatea dozimetrlui la radiația electromagnetică asociată acceleratoarelor de particule încărcate. Prin utilizarea unei radiații optice infra roșii emise (λ_1), respectiv recepționate (λ_2) sau transmise (λ_3) de un echipament de spectroscopie optică tip interogator (6) se obține imunitatea dozimetrlui calorimetric cu fibra optică față de semnalul optic parazit datorat radiației Cerenkov și a radiației de fluorescență, având în vedere faptul că aceste radiații sunt localizate în domeniul UV și vizibil al spectrului optic, deci sunt separate de radiația optică purtătoare de informație utilă, care este în domeniul infra roșu al spectrului optic.

Experimentele realizate cu dozimetru calorimetric cu fibră optică sub forma unor iradieri cu fascicul de electroni accelerați și ilustrate în figurile 2 și 3 demonstrează imunitatea dozimetrlui față de degradarea transmisiei optice a fibrelor optice iradiate având în vedere faptul că amplitudinea semnalului optic (A) reflectat nu se modifică după o iradiere cu o doză integral absorbită de până la 108 kGy.

Dimensiunile mici ale rețelei de difracție Bragg (4) de câțiva milimetri lungime și de circa 0,3 mm diametru asigură rezoluția spațială foarte bună a dozimetrlui.

Comutarea rapidă între semnalul optic emis (λ_1) de echipamentul de spectroscopie optică tip interogator (6) și cel detectat (λ_2) de către acesta ca urmare a reflexie în regiunea unde se găsește rețea de difracție Bragg (4), baleajul rapid a lungimii de undă realizat de echipamentul de spectroscopie optică tip interogator (6) sau de analizorul de spectru (21), ca și generarea practic instantanea a spectrului de către mini spectrometru cu fibră optică (18),

face posibilă funcționarea în timp real a dozimetrlui, considerând variația mult mai lentă a temperaturii corpului calorimetric (15).

Dozimetru calorimetric cu fibră optică folosește, în toate exemplele de realizare prezentate, surse de radiație optică și echipamente de detectie ușor de transportat, astfel încât în ansamblul lui dozimetru este un instrument portabil.

REVENDICĂRI

1. Dozimetru calorimetric cu fibră optică care permite măsurarea de la distanță a dozei integral absorbite **caracterizat prin aceea că** este compus dintr-un calorimetru (10) care funcționează în regim quasiadiabatic, a cărui variație de temperatură, datorată expunerii sale la un fascicul de particule încărcate accelerate (11), determină modificarea unei lungimi de undă centrale (λ_c) a unei rețele de difracție Bragg (4), fenomen sesizat prin intermediul unui semnal optic (λ_1) generat de o sură optică (1) și detectat de un echipament de detecție (2, 5), semnal optic (λ_1) transmis prin intermediul unei fibre optice (3), fibra optică (3) în care este realizată o rețea de difracție Bragg (4), localizată în interiorul calorimetrului (10).
2. Dozimetru calorimetric cu fibră optică conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că** folosește o fibră optică (3) pentru a conecta un calorimetru (10), o sură optică (1) și un echipament de detecție (2, 5), astfel încât semnalul transmis să nu fie perturbat de radiația electromagnetică asociată acceleratoarelor de particule.
3. Dozimetru calorimetric cu fibră optică conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că** utilizează radiație optică infraroșie pentru ca semnalul transmis în lungul unei fibre optice (3) să nu fie perturbat de radiația Cerenkov și cea de fluorescentă care apar în fibrele optice la iradierea cu fascicule de particule încărcate accelerate (11).
4. Dozimetru calorimetric cu fibră optică conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că** utilizează ca mărime asociată variațiilor de temperatură a unui calorimetru (10) iradiat cu fascicule de particule încărcate (11) modificarea unei lungimi de undă centrale (λ_c) a unei rețele de difracție Bragg (4), parametru care nu este afectat de iradiere.
5. Dozimetru calorimetric cu fibră optică conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că** folosește un calorimetru (10) alcătuit dintr-un corp calorimetric (15) de grafit, izolat termic de un paralelipiped de polistiren expandat (14) și având montat în interiorul corpului calorimetric (15) o rețea de difracție Bragg (4) realizată într-o fibra optică (3).
6. Dozimetru calorimetric cu fibră optică conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că** utilizează, pentru detecția modificărilor lungimii de undă centrale (λ_c) ale unei rețele de difracție Bragg (4), modificări datorate creșterii temperaturii unui corp calorimetric (15) ca urmare a iradierii acestuia, un echipament de spectroscopie optică tip interogator (6) prevăzut cu un emițător optic acordabil (8) care realizează un baleaj spectral al semnalului optic de infraroșu (λ_1) care este transmis prin intermediul unei fibre optice (3) către o rețea de difracție Bragg (4) și cu un detector pentru semnale optice în infraroșu (7) care detectează semnalul optic reflectat (λ_2) de rețeaua de difracție Bragg (4).
7. Dozimetru calorimetric cu fibră optică conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că** utilizează, pentru detecția modificărilor lungimii de undă centrale (λ_c) ale unei rețele de difracție Bragg (4), modificări datorate creșterii temperaturii unui corp calorimetric (15) ca urmare a iradierii acestuia, un echipament de spectroscopie optică tip interogator (6) prevăzut cu un emițător optic acordabil (8) care realizează un baleaj spectral al semnalului optic de infraroșu (λ_1) care este transmis prin intermediul unei fibre optice (3) către o rețea de difracție Bragg (4), un dispozitiv circulator (16) și cu un detector pentru semnale optice în infraroșu (7) care detectează semnalul optic transmis (λ_3) de rețeaua de difracție Bragg (4).
8. Dozimetru calorimetric cu fibră optică conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că** utilizează, pentru detecția modificărilor lungimii de undă centrale (λ_c) ale unei rețele de difracție Bragg (4), modificări datorate creșterii temperaturii unui corp calorimetric (15) ca urmare a iradierii acestuia, o sursă optică de bandă largă (19) emite un semnal optic (λ_1) care este cuplat, prin intermediul unui conector fix (9) la o fibra optică (3) care

are realizată în interiorul ei o rețea de difracție Bragg (4), și la un mini spectrometru cu fibre optice (18) prevăzut cu o rețea lineară de detectoare (20), care generează o caracteristică specifică semnalului optic transmis (λ_3) de rețeaua de difracție Bragg (4).

9. Dozimetru calorimetric cu fibră optică conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că** utilizează, pentru detecția modificărilor lungimii de undă centrale (λ_c) ale unei rețele de difracție Bragg (4), modificări datorate creșterii temperaturii unui corp calorimetric (15) ca urmare a iradierii acestuia, o sursă optică de bandă largă (19) pentru a emite un semnal optic (λ_1) care este cuplat prin intermediul unui conector fix (9) la o fibra optică (3) care are realizată în interiorul ei o rețea de difracție Bragg (4), și un analizor de spectru optic (21) prevăzut cu un sistem de baleaj a spectrului optic, care generează o caracteristică specifică semnalului optic transmis (λ_3) de rețeaua de difracție Bragg (4).
10. Dozimetru calorimetric cu fibră optică conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că** folosește, pentru măsurarea variațiilor de temperatură ale corpului calorimetric (15) ca urmare a iradierii sale, o rețea de difracție Bragg (4) cu sensibilitate, linearitate și gamă dinamică mari.
11. Dozimetru calorimetric cu fibră optică conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că** utilizează o rețea de difracție Bragg (4) de dimensiuni mici pentru a măsura punctual doza integral absorbită în cazul iradierii cu fascicule de particule încărcate accelerate.
12. Dozimetru calorimetric cu fibră optică conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că** include în toate soluțiile revendicate instrumente portabile pentru generarea și detecția semnalului optic transmis de o fibră optică (3): un echipament de spectroscopie optică tip interrogator (6); o sursă optică de bandă largă (19); un mini spectrometru cu fibre optice (18); un analizor de spectru optic (21).
13. Dozimetru calorimetric cu fibră optică conform revendicării 1 **caracterizat prin aceea că** este folosită o caracteristică de variație în timp a temperaturii unui calorimetru (10) quasiadiabatic pentru a calcula temperatura reală a corpului calorimetric pentru cazul unui calorimetru ideal.

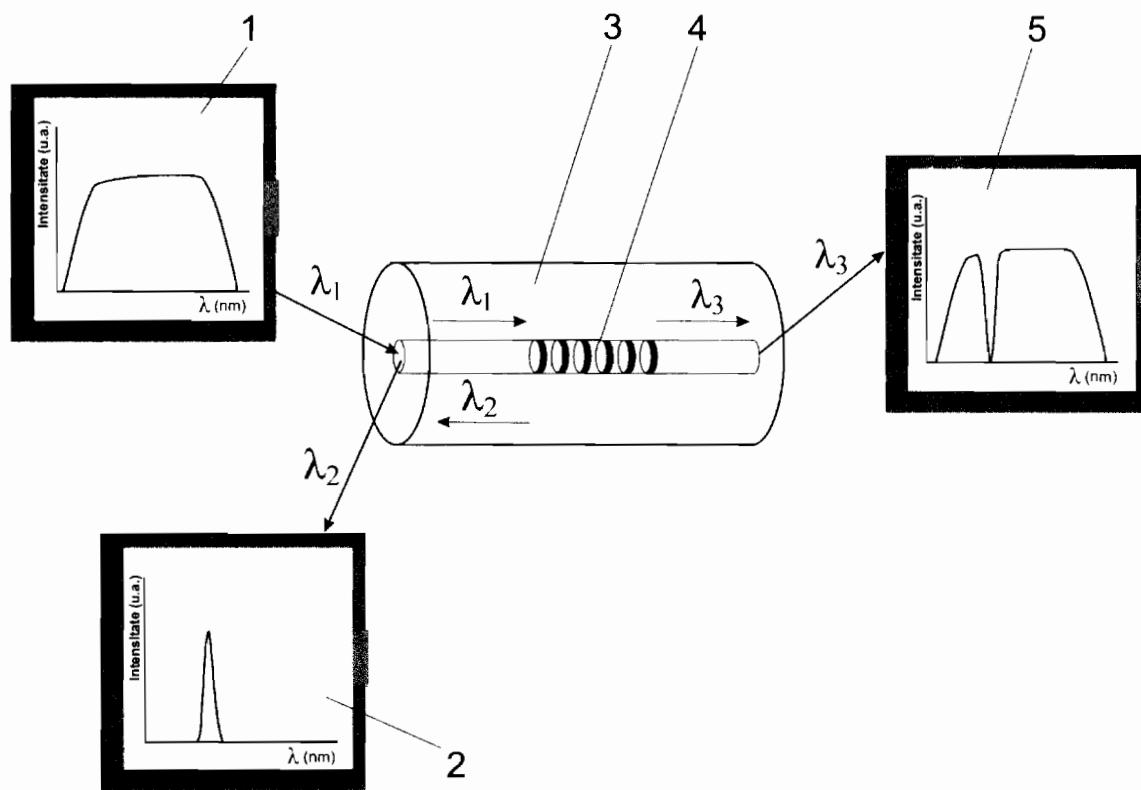


Figura 1

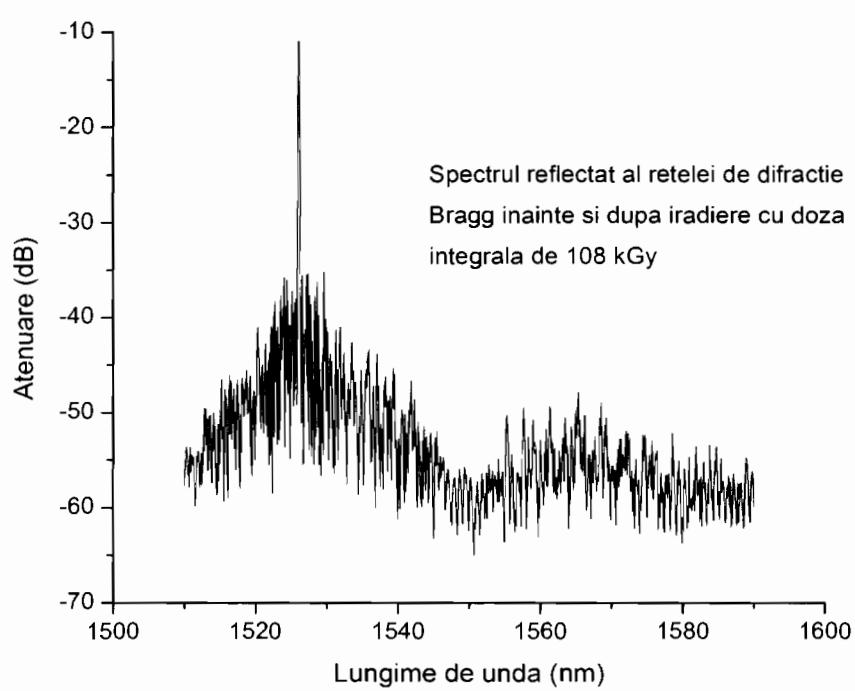


Figura 2

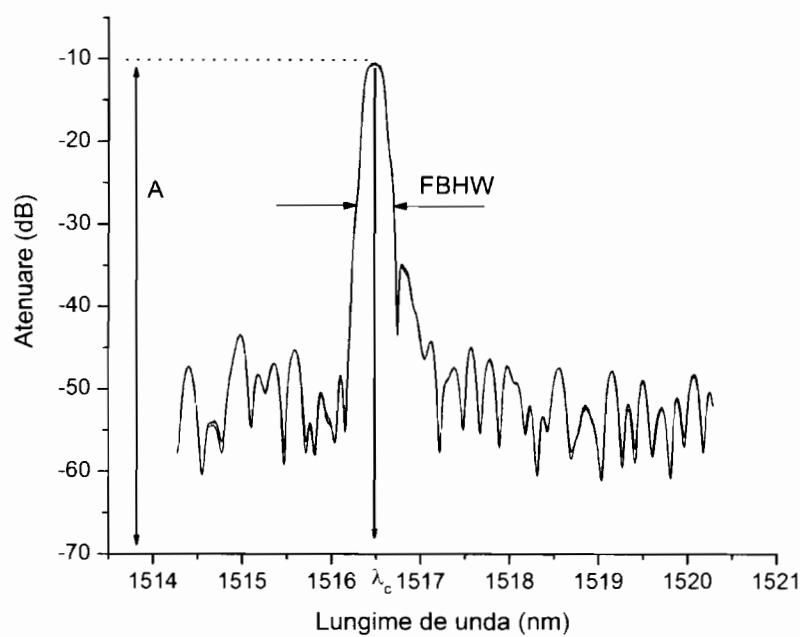


Figura 3

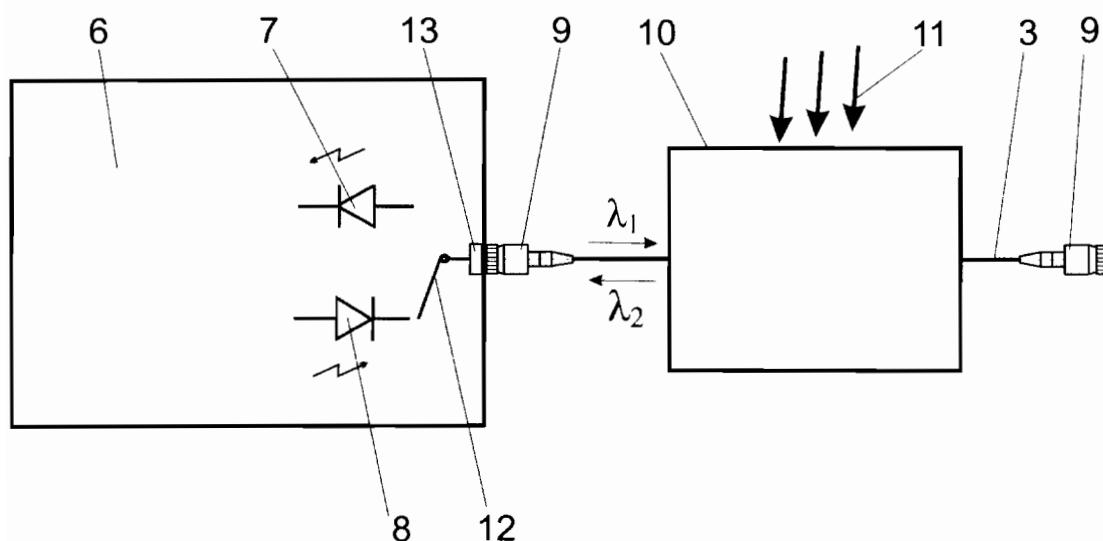


Figura 4

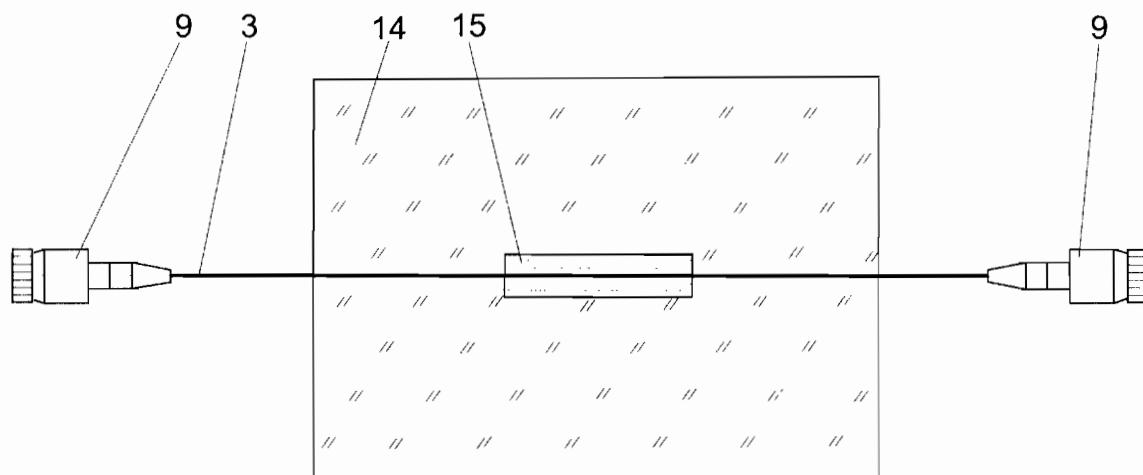


Figura 5

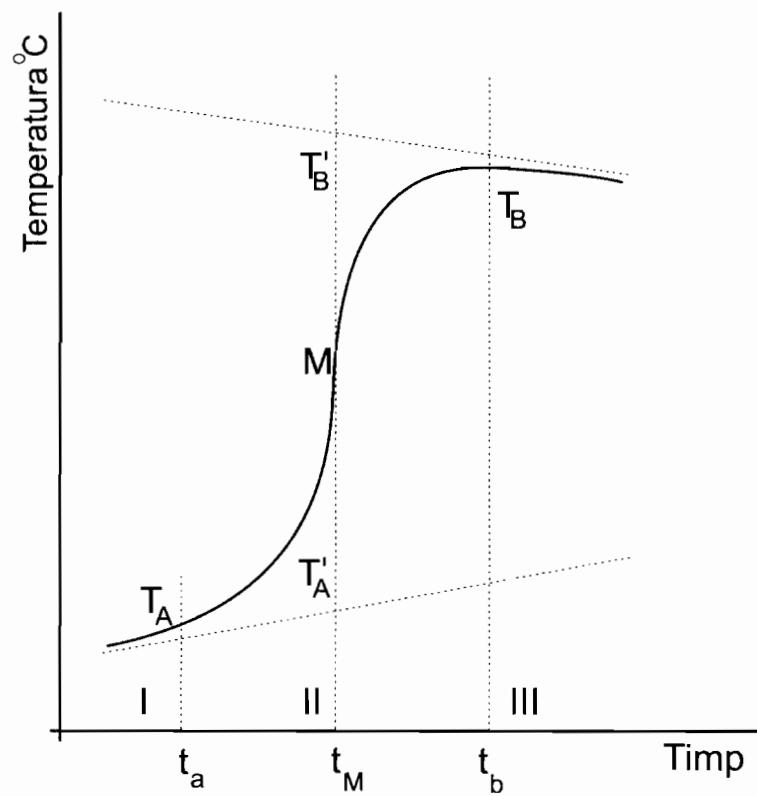


Figura 6

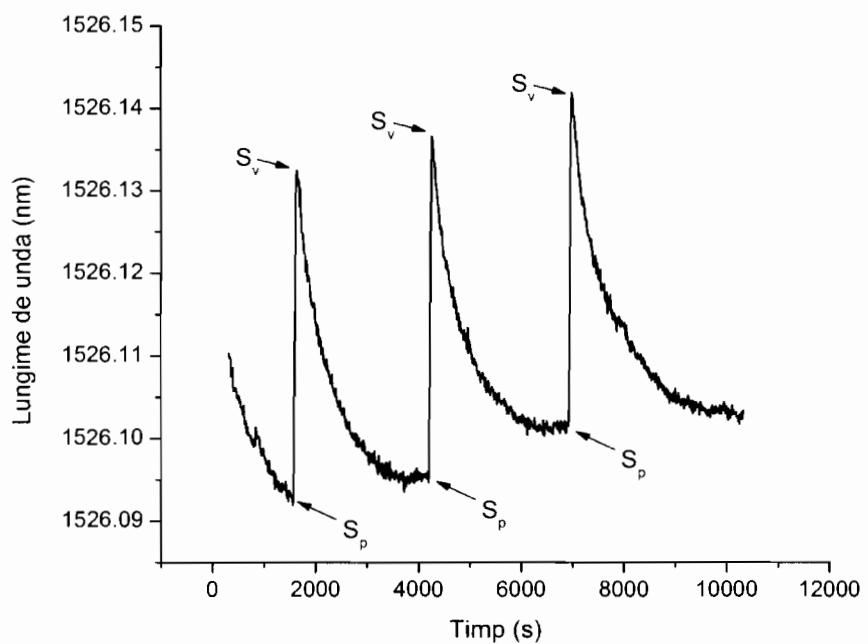


Figura 7

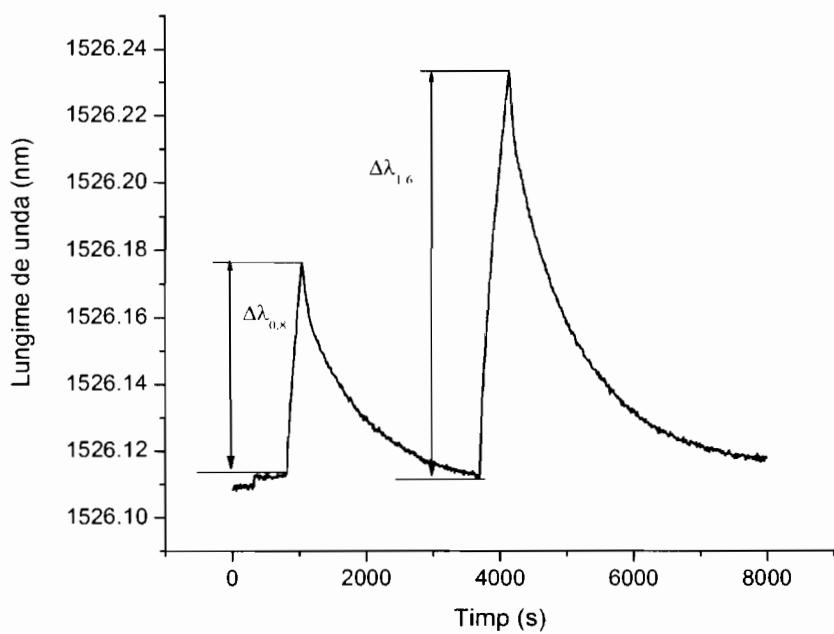


Figura 8

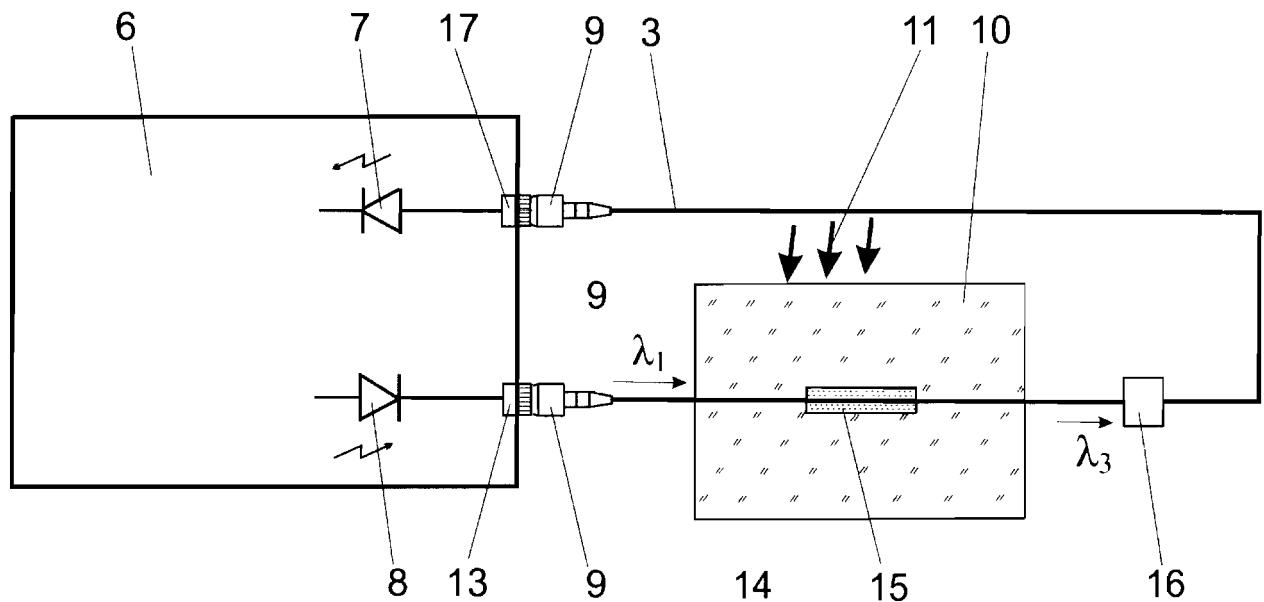


Figura 9

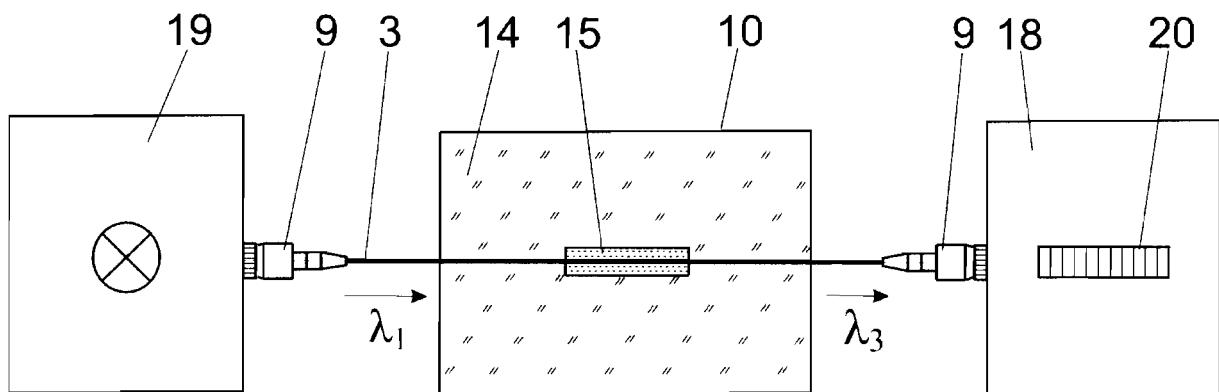


Figura 10

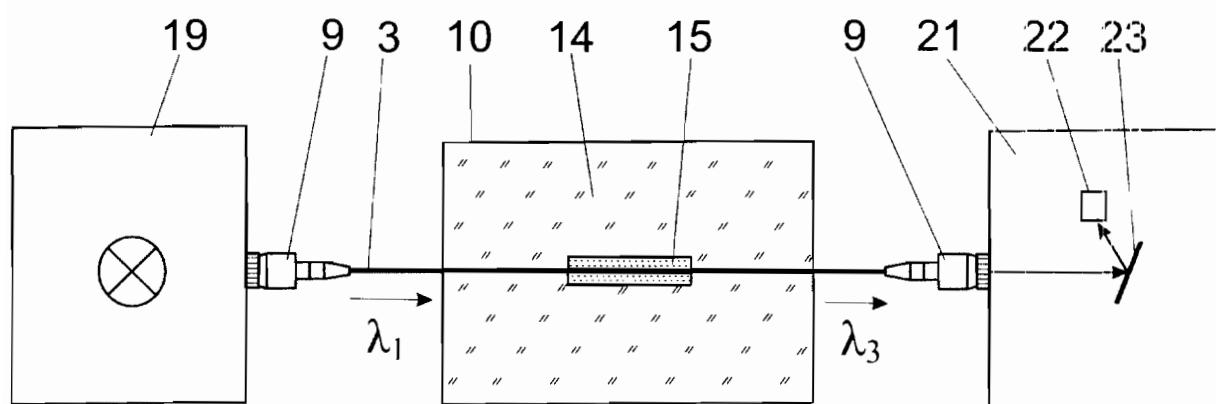


Figura 11