



MD 412 Z 2012.03.31

REPUBLICA MOLDOVA



(19) Agenția de Stat
pentru Proprietatea Intelectuală

(11) **412** ⁽¹³⁾ **Z**
(51) Int.Cl: *G02B 6/28* (2006.01)
G01T 1/20 (2006.01)
G01T 1/00 (2006.01)

(12) **BREVET DE INVENȚIE
DE SCURTĂ DURATĂ**

(21) Nr. depozit: s 2011 0013 (22) Data depozit: 2011.01.13	(45) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2011.08.31, BOPI nr. 8/2011
(71) Solicitant: INSTITUTUL DE FIZICĂ APLICATĂ AL ACADEMIEI DE ȘTIINȚE A MOLDOVEI, MD (72) Inventatori: CULEAC Ion, MD; NISTOR Iurie, MD; IOVU Mihail, MD; ANDRIEȘ Andrei, MD; BUZDUGAN Artur, MD; PETRENKO Piotr, MD; CIORNEA Viorel, MD (73) Titular: INSTITUTUL DE FIZICĂ APLICATĂ AL ACADEMIEI DE ȘTIINȚE A MOLDOVEI, MD (74) Mandatar autorizat: ANISIMOVA Liudmila	

(54) **Senzor interferometric cu fibră optică pentru înregistrarea radiației ionizante**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la optoelectronică, în special la dispozitive cu fibră optică pentru înregistrarea radiației ionizante, care pot fi aplicate pentru înregistrarea și măsurarea intensității radiației ionizante în cercetări științifice, medicină, industrie.

Senzorul interferometric cu fibră optică pentru înregistrarea radiației ionizante conține o sursă de lumină coerentă, conectată cu un divizor de fascicul, cuplat cu brațele unui interferometru Mach-Zehnder cu fibră optică, care sunt recombinate prin intermediul unui cuplor de fibră optică pentru formarea imaginii de interferență pe suprafața fotosensibilă a unui fotoreceptor conectat la blocul de formare a semnalului de ieșire, totodată fibra optică din

brațul de măsurare este dotată cu un dispozitiv pentru răcire și stabilizarea temperaturii. Fotoreceptorul este conectat la un procesor pentru formarea semnalului de ieșire, univoc determinat de intensitatea radiației ionizante direcționate pe suprafața laterală a fibrei optice din brațul de măsurare. Senzorul conține în calitate de bloc de formare a semnalului de ieșire un calculator, prevăzut cu un soft pentru procesarea imaginii de interferență și formarea semnalului de ieșire.

Rezultatul invenției constă în mărirea substanțială a sensibilității de înregistrare a radiației ionizante și a diapazonului dinamic.

Revendicări: 2

Figuri: 4

MD 412 Z 2012.03.31

(54) Interferometric fiber-optical sensor for recording of ionizing radiation

(57) Abstract:

1 The invention relates to optoelectronics, particularly to fiber-optical devices for recording of ionizing radiation, which can be used for recording and measuring of ionizing radiation intensity in research, medicine and industry.

Interferometric fiber-optical sensor for recording of ionizing radiation contains a coherent light source, connected to a beam splitter, coupled with the arms of a fiber-optical Mach-Zehnder interferometer, which are recombined through a fiber-optical connector to form an interferometric pattern on the photosensitive surface of a photodetector connected to the output signal forming unit, at the same time the optical fiber of the measuring arm is equipped with a temperature cooling and stabilization device. The

2 photodetector is connected to an output signal forming processor, uniquely determined by the intensity of ionizing radiation directed on the lateral surface of the optical fiber of the measuring arm. The sensor contains as an output signal forming unit a computer, equipped with an interference pattern processing and output signal formation software.

The result of the invention is to substantially increase the sensitivity of recording of ionizing radiation and dynamic range.

Claims: 2

Fig.: 4

(54) Интерферометрический волоконно-оптический датчик для регистрации ионизирующего излучения

(57) Реферат:

1 Изобретение относится к оптоэлектронике, особенно к волоконно-оптическим устройствам для регистрации ионизирующего излучения, которые могут быть применены для регистрации и измерения интенсивности ионизирующего излучения в научных исследованиях, медицине, промышленности.

Интерферометрический волоконно-оптический датчик для регистрации ионизирующего излучения содержит когерентный источник света, подключенный к светоделителю, связанный с плечами волоконно-оптического интерферометра Маха-Цандера, которые рекомбинируют посредством волоконно-оптического соединителя для формирования интерферометрической картины на фоточувствительной поверхности фотоприемника, подключенного к блоку формирования выходного

2 сигнала, в тоже время оптическое волокно измерительного плеча оснащено устройством для охлаждения и стабилизации температуры. Фотоприемник подключен к процессору для формирования выходного сигнала, однозначно определенного интенсивностью ионизирующего излучения, направленного на боковую поверхность оптического волокна измерительного плеча. Датчик содержит в качестве блока формирования выходного сигнала компьютер, оснащенный программным обеспечением для обработки интерференционной картины и формирования выходного сигнала.

Результат изобретения состоит в существенном повышении чувствительности регистрации ионизирующего излучения и динамического диапазона.

П. формулы: 2

Фиг.: 4

Descriere:

Invenția se referă la optoelectronică, în special la dispozitivele cu fibră optică pentru înregistrarea radiației ionizante, care pot fi aplicate pentru înregistrarea și măsurarea intensității radiației ionizante în cercetări științifice, medicină, industrie.

5 Este cunoscut un senzor cu fibră optică, în care este folosit efectul de fotoîntunecare a unei fibre optice la acțiunea radiației ionizante. Ca rezultat al efectului de fotoîntunecare, în sticla de cuarț are loc formarea centrelor de culoare, ceea ce duce la creșterea coeficientului de absorbție a luminii de probă care se propagă prin fibra optică. Intensitatea semnalului de ieșire este pusă în corelație cu intensitatea radiației ionizante direcționate pe suprafața laterală a fibrei optice [1].

10 Dezavantajul acestui dispozitiv este sensibilitatea redusă și diapazonul dinamic mic.

Este cunoscut, de asemenea, un dispozitiv pentru înregistrarea radiației ionizante, care conține o fibră optică bifurcată în două fibre optice identice, la capetele de ieșire ale acestor fibre este poziționat câte un fotoreceptor care înregistrează intensitatea radiației de probă, transmisă de fiecare din cele două fibre optice. Fotoreceptorii sunt conectați în schema electronică diferențiată, care amplifică diferența semnalelor acestor două receptoare. Radiația gamma acționează asupra fibrei optice din brațul de măsurare, iar fotodiodele înregistrează intensitatea luminii de probă, care este univoc determinată de intensitatea radiației gamma ce acționează pe fibra optică [2].

Dezavantajul acestui dispozitiv constă în sensibilitatea joasă și influența puternică a câmpurilor electromagnetice.

20 Cea mai apropiată soluție este interferometrul, în care un fascicul de lumină coerentă de la o sursă laser este direcționat printr-un divizor de fascicul, apoi se propagă prin brațele unui interferometru Mach-Zehnder formate de două fibre optice monomod. Fasciculele care au parcurs brațele interferometrului sunt suprapuse la ieșire prin intermediul unui divizor de fascicul secund, formând astfel imaginea de interferență, care este proiectată pe suprafața de recepție a unei fotodiode. Schimbarea indicelui de refracție al fibrei optice de pe brațul de măsurare al interferometrului determină interferența semnalului de ieșire. Modificarea indicelui de refracție datorită acțiunii radiației poate fi detectată prin convertirea semnalului optic în curent electric cu ajutorul unui fotodetector [3].

Dezavantajul acestei soluții tehnice constă în sensibilitatea joasă de înregistrare a radiației ionizante.

30 Problema pe care o rezolvă invenția este mărirea sensibilității de înregistrare a radiației ionizante și lărgirea diapazonului dinamic.

Dispozitivul, conform invenției, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că conține o sursă de lumină coerentă, conectată cu un divizor de fascicul, cuplat cu brațele unui interferometru Mach-Zehnder cu fibră optică, care sunt recombinate prin intermediul unui cuplor de fibră optică pentru formarea imaginii de interferență pe suprafața fotosensibilă a unui fotoreceptor conectat la blocul de formare a semnalului de ieșire. Fibra optică din brațul de măsurare este prevăzută cu un dispozitiv pentru răcire și stabilizarea temperaturii. Blocul de formare a semnalului de ieșire constituie un calculator prevăzut cu un soft pentru procesarea imaginii de interferență și formarea semnalului de ieșire.

Rezultatul invenției constă în mărirea substanțială a sensibilității de înregistrare a radiației ionizante și a diapazonului dinamic. Rezultatul invenției se datorează faptului că fibra optică din brațul de măsurare este dotată cu un dispozitiv pentru răcire și stabilizarea temperaturii. La răcirea fibrei optice are loc micșorarea capacității termice specifice a sticlei de cuarț. În urma absorbției unei părți de energie a fasciculului de radiație ionizantă E_{abs} în fibra optică se degajă o cantitate de căldură ΔQ , ceea ce duce la creșterea temperaturii în segmentul de fibră optică supus iradierii. Valoarea ΔT de creștere a temperaturii este invers proporțională cu capacitatea termică specifică a sticlei de cuarț c și poate fi exprimată în felul următor [F. Barone, U. Bernini, M. Conti, A. D. Guerra, L. Di Fiore, M. Gambaccini, R. Liuzzi, L. Milano, G. Russo, P. Russo and M. Salvato. Detection of x rays with a fiber-optic interferometric sensor. Applied Optics, 1993, vol. 32, p. 1229-1233]:

$$\Delta T = \frac{\eta E_{abs}}{\pi d^2 l \rho c} = \frac{\Delta Q}{\pi d^2 l \rho c},$$

unde E_{abs} este cantitatea de energie a radiației ionizante care este absorbită în segmentul de fibră optică iradiat; η – partea din energia totală absorbită în fibra optică E_{abs} care este transformată în căldură, $\eta = \Delta Q/E_{abs}$; d – diametrul miezului fibrei optice monomod; l – lungimea segmentului de fibră optică iradiat; ρ – densitatea specifică a sticlei de cuarț; c – capacitatea termică specifică a sticlei de cuarț.

Creșterea temperaturii ΔT în fibra optică din brațul de măsurare duce la majorarea distanței optice parcurse de unda electromagnetică în brațul de măsurare și, respectiv, la creșterea diferenței de fază $\Delta\theta$ între unda din brațul de măsurare și brațul de referință. La micșorarea capacității termice specifice a sticlei de cuarț aceeași cantitate de căldură ΔQ absorbită de fibra optică duce la o creștere mai mare a temperaturii ΔT :

$$\Delta T = \Delta Q / c.$$

Variația de fază $\Delta\theta$ în fibra optică monomod, care este produsă de absorbția aceleiași cantități de căldură ΔQ este mai mare în cazul când fibra optică se află la o temperatură mai joasă [F. Barone, U. Bernini, M. Conti, A. D. Guerra, L. Di Fiore, M. Gambaccini, R. Liuzzi, L. Milano, G. Russo, P. Russo and M Salvato. Detection of x rays with a fiber-optic interferometric sensor. Applied Optics, 1993, vol. 32, p. 1229-1233]:

$$\Delta\theta \approx \frac{2\pi}{\lambda} \frac{dn}{dT} l \Delta T + \frac{2\pi}{\lambda} \frac{dl}{dT} n \Delta T$$

unde c este capacitatea termică specifică a sticlei de cuarț; $\frac{dn}{dT}$ – coeficientul termic al indicelui de refracție; l – lungimea segmentului de fibră iradiat; ΔT – creșterea temperaturii în urma

absorbției energiei ionizante E_{abs} ; $\frac{dl}{dT}$ – coeficientul de dilatare termică al sticlei de cuarț.

Invenția se explică prin desenele din figurile 1...4, care reprezintă:

- fig. 1, schema senzorului;
- fig. 2, dependența de temperatură a capacității termice specifice a sticlei de cuarț;
- fig. 3, imaginea de interferență înregistrată de fotoreceptorul CCD la ieșirea din cuplul de fibră optică;
- fig. 4, algoritmul pentru procesarea imaginii de interferență și formarea semnalului de ieșire.

Senzorul constă din: 1 – sursă de lumină coerentă; 2 – capătul de intrare al divizorului de fibră optică; 3 – divizor de fascicul de 3 dB; 4 – fibră optică monomod din brațul de măsurare; 5 – fibră optică monomod din brațul de referință; 6 – cuplul 2x1 de fibră optică de 3 dB; 7 – segment de fibră optică la ieșire din cuplul; 8 – fotoreceptor CCD; 9 – blocul de formare a semnalului de ieșire; 10 – dispozitiv pentru răcirea și stabilizarea temperaturii fibrei optice din brațul de măsurare; 11 – radiația ionizantă; 13 – scanarea pe direcție perpendiculară a imaginii curenților I_k și obținerea graficului 2D al franjelor de interferență; 14 – filtrarea numerică a graficului 2D; 15 – aplicarea primei derivate și găsirea coordonatei maximurilor P ale franjelor; 16 – determinarea distanței medii dintre franje și scara reală S_m ; 17 – alegerea a 3 maximi consecutive și calcularea distanței d medii de la origine; 18 – afișarea rezultatului pe display.

Senzorul interferometric cu fibră optică pentru înregistrarea radiației ionizante funcționează în felul următor.

Un fascicul de la sursa de lumină coerentă 1 este injectat în capătul de intrare 2 al divizorului de fascicul 3 de fibră optică ce divizează unda în două fascicule, care se propagă prin fibra optică monomod din brațul de măsurare 4 și fibra optică monomod din brațul de referință 5 al interferometrului Mach-Zehnder. Fasciculele de lumină din brațul de referință și brațul de măsurare sunt recombinate prin intermediul cuplului 2x1 de fibră optică 6 și interferă pe suprafața fotosensibilă a fotoreceptorului CCD 8.

Fotoreceptorul CCD reprezintă un senzor de tip HDCS-1020 CMOS cu dimensiunile unui pixel 7,4x7,4 μm și dimensiunile imaginii VGA 640x480 pixeli. Fibră optică din brațul de măsurare este amplasată în dispozitivul de răcire 10 cu azot lichid pentru răcirea și stabilizarea temperaturii la 77 K. Fotoreceptorul CCD 8 este conectat la un bloc 9. Blocul 9 reprezintă un calculator care procesează imaginea de interferență pentru determinarea schimbării de fază $\Delta\theta$ produse de acțiunea radiației ionizante 11, schimbării dintre faza undei din brațul de măsurare 4 în comparație cu faza undei în brațul de referință 5 și formează semnalul de ieșire care este proporțional cu intensitatea radiației ionizante 11. Radiația ionizantă este direcționată pe suprafața laterală a fibrei optice din brațul de măsurare. Pentru procesarea imaginii de interferență este folosit softul LabVision, care permite de a pune în corelație unu-la-unu intensitatea radiației ionizante direcționate de suprafața fibrei optice și semnalul de ieșire, format prin procesarea și contorizarea deplasării franjelor de interferență.

- 5 Fibra optică monomod din brațul de referință are profilul indicelui de referință parabolic, diametrul miezului de 8 μm și lungimea de 5 m. Capacitatea termică specifică a sticlei de cuarț la temperatura camerei este de 703 J/kg·K. Pentru temperatura de 100K capacitatea termică specifică a sticlei de cuarț este de $C_v \sim 300$ J/kgK. Răcirea fibrei optice de la temperatura de 300K până la temperatura de 100K duce la micșorarea capacității termice specifice, de aici rezultă că absorbția uneia și aceleiași cantități de căldură la temperatura de 100K duce la creșterea temperaturii locale ΔT în comparație cu iradierea la temperatura de 300K:

$$\Delta T = \frac{\eta E_{abs}}{\pi d^2 l \rho c}.$$

- 10 [J. Horbach, W. Kob, K. Binder, S. Weg. Specific heat of amorphous silica within the harmonic approximation. J. Phys. Chem. B, 1999, vol. 103 nr. 20, p. 4104-4108].

Algoritmul pentru procesarea imaginii de interferență și formarea semnalului de ieșire este ilustrat în fig. 4:

1. Se memorizează imaginea curentă I_k (12);
2. Se scanează pe direcție perpendiculară imaginea curentă I_k cu obținerea graficului 2D al franjelor de interferență (13);
- 15 3. Se filtrează numeric graficul 2D obținut (14);
4. Se aplică prima derivată care permite găsirea coordonatei maximurilor P ale franjelor de interferență (15);
5. Se află distanța medie dintre franje și, respectiv, scara reală S_m (16);
- 20 6. Se aleg 3 maximuri consecutive și se află distanța lor (reală) d medie de la origine, ceea ce în realitate reprezintă deplasarea franjelor de interferență (17);
7. Se afișează rezultatul pe display (18).

25

(56) Referințe bibliografice citate în descriere:

1. Stanley Kronenberg and Carl R. Siebentritt. Fiber optics dosimetry. Nuclear Instruments and Methods, september 1980, vol. 175, p. 109-111
2. T. P. Yanukovich and K. V. Kurilo. Radiation sensors based on optic fibers. Journal of Optical Technology, 2004, vol. 71, p. 628-630
3. F. Barone, U. Bernini, M. Conti, A. D. Guerra, L. Di Fiore, M. Gambaccini, R. Liuzzi, L. Milano, G. Russo, P. Russo and M. Salvato. Detection of x rays with a fiber-optic interferometric sensor. Applied Optics, 1993, vol. 32, p. 1229-1233

(57) Revendicări:

1. Senzor interferometric cu fibră optică pentru înregistrarea radiației ionizante care conține o sursă de lumină coerentă, conectată cu un divizor de fascicul, cuplat cu brațele unui interferometru Mach-Zehnder cu fibră optică, care sunt recombinate prin intermediul unui cuplor de fibră optică pentru formarea imaginii de interferență pe suprafața fotosensibilă a unui fotoreceptor conectat la blocul de formare a semnalului de ieșire, **caracterizat prin aceea că** fibra optică din brațul de măsurare este prevăzută cu un dispozitiv pentru răcire și stabilizarea temperaturii.
2. Senzor interferometric cu fibră optică pentru înregistrarea radiației ionizante, conform revendicării 1, **caracterizat prin aceea că** blocul de formare a semnalului de ieșire constituie un calculator prevăzut cu un soft pentru procesarea imaginii de interferență și formarea semnalului de ieșire.

Șef Secție:

SĂU Tatiana

Examinator:

GHÎȚU Irina

Redactor:

LOZOVANU Maria

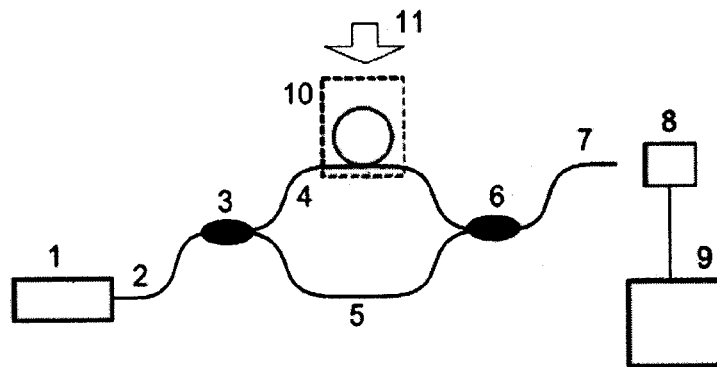


Fig. 1

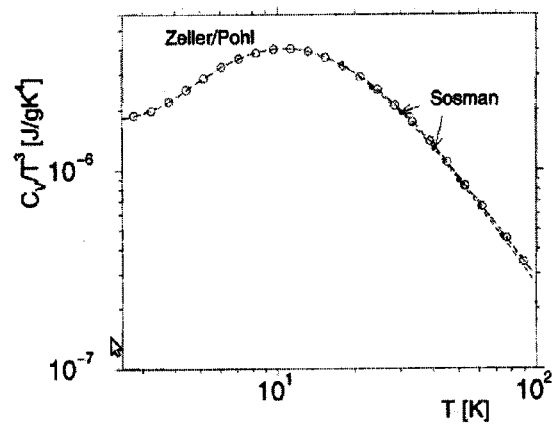


Fig. 2

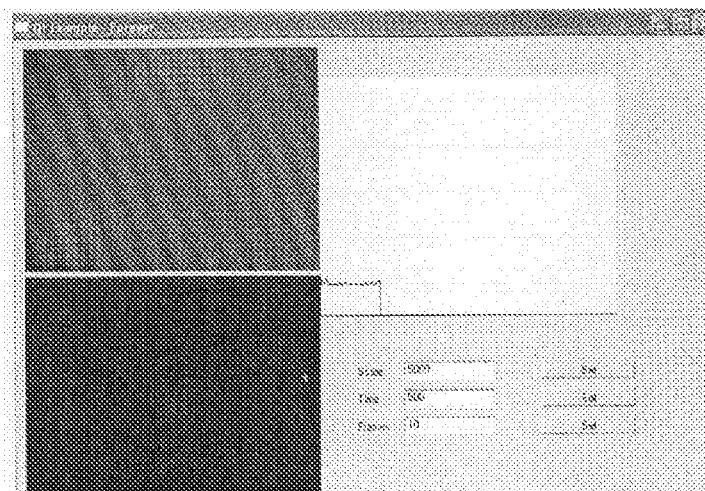


Fig. 3

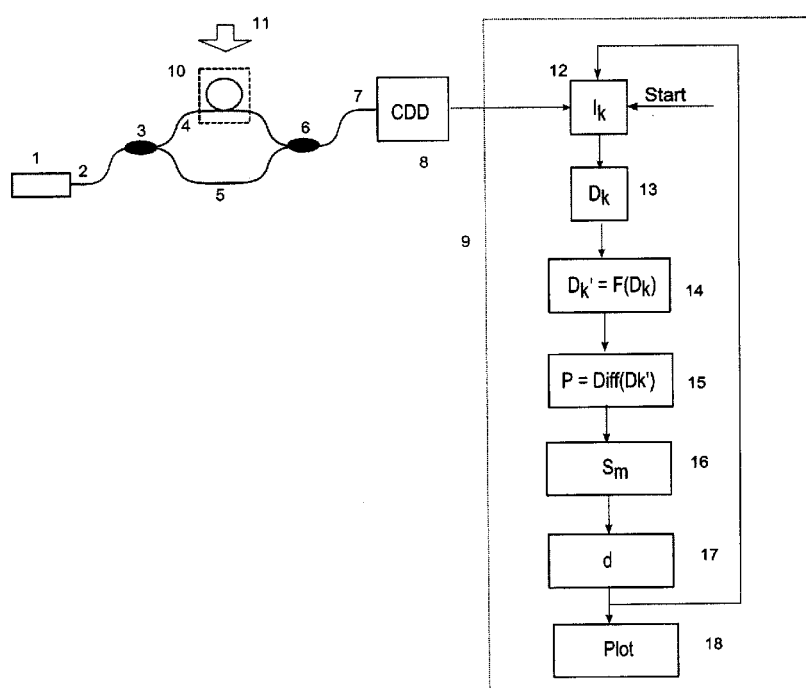


Fig. 4

RAPPORT DE DOCUMENTARE

I. Datele de identificare a cererii		
(21) Nr. depozit: s 2011 0013		
(22) Data depozit: 2011.01.13		
(54) Titlul: Senzor interferometric cu fibră optică pentru înregistrarea radiației ionizante		
(71) Solicitant: INSTITUTUL DE FIZICĂ APLICATĂ AL ACADEMIEI DE ȘTIINȚE A MOLDOVEI, MD		
(51) (Int.Cl): Int. Cl.: G02B 6/28 (2006.01) G01T 1/20 (2006.01) G01T 1/00 (2006.01)		
II. Condiții de unitate a invenției: ☒ satisface ☐ nu satisface		
Note:		
III.Revendicări: claritatea, susținerea de descriere		
Note: ☒ satisface ☐ nu satisface		
IV. Colecții și Baze de date de brevete cercetate (denumirea, termeni caracteristici, ecuații de căutare)		
MD (Documentare Invenții (inclusiv cereri nepublicate)) - G02B 6/ or G01T 1/ or interferometr or Mach or		
EA, CIS (Eapatis) – G02B 6/* or G01T 1/* or ионизирую* and радиаци* or интерфер* and датчик*		
V. Baze de date și colecții de literatură nonbrevet cercetate		
http://www.cnaa.md http://www.google.ru/ http://journals.ioffe.ru/ftp/ http://ru.wikipedia.org/ http://ieeexplore.ieee.org		
VI. Documente considerate a fi relevante		
Categoria*	Date de identificare ale documentelor citate si, unde este cazul, indicarea pasajelor pertinente	Numărul revendicării vizate
A, D	Stanley Kronenberg and Carl R. Siebentritt. Fiber optics dosimetry. Nuclear Instruments and Methods, september 1980, vol. 175, p. 109-111	1
A, D	T. P. Yanukovich and K. V. Kurilo. Radiation sensors based on optic fibers. Journal of Optical Technology, 2004, vol. 71, p. 628-630	1
A, D	J. Horbach, W. Kob, K. Binder, S. Weg. Specific heat of amorphous silica within the harmonic approximation. J. Phys. Chem. B, 1999, vol. 103 nr. 20, p. 4104-4108	1, 2
A	MD 172 Z 2010.03.31	1
A, C, D	F. Barone, U. Bernini, M. Conti, A. D. Guerra, L. Di Fiore, M. Gambaccini, R. Liuzzi, L. Milano, G. Russo, P. Russo and M Salvato. Detection of x rays with a fiber-optic interferometric sensor. Applied Optics, 1993, vol. 32, p. 1229-1233	1

* categoriile speciale ale documentelor citate:	
A – document care definește stadiul anterior general	T – document publicat după data depozitului sau a priorității invocate, care nu aparține stadiului pertinent al tehnicii, dar care este citat pentru a pune în evidența principiul sau teoria pe care se bazează invenția
X – document de relevanță deosebită: invenția revendicată nu poate fi considerată nouă sau implicând activitate inventivă când documentul este luat în considerație de unul singur	E – document anterior dar publicat la data depozit național reglementar sau după aceasta dată
Y – document de relevanță deosebită: invenția revendicată nu poate fi considerată ca implicând activitate inventivă când documentul este asociat cu unul sau mai multe documente de aceeași categorie	D – document menționat în descrierea cererii de brevet
O - document referitor la o divulgare orală, un act de folosire, la o expoziție sau la orice alte mijloace de divulgare	C – document considerat ca cea mai apropiată soluție
	& – document, care face parte din aceeași familie de brevete
P - document publicat înainte de data de depozit, dar după data priorității invocate	L – document citat cu alte scopuri
Data finalizării documentării 2011-06-20	
Examinator GHIȚU Irina	