



MD 172 Z 2010.03.31

REPUBLICA MOLDOVA



(19) Agenția de Stat
pentru Proprietatea Intelectuală

(11) **172** ⁽¹³⁾ **Z**

(51) Int. Cl.: *G01B 9/02* (2006.01)
G01J 1/10 (2006.01)
G01J 1/42 (2006.01)

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

(21) Nr. depozit: s 2009 0207 (22) Data depozit: 2009.11.05	(45) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului: 2010.03.31, BOPI nr. 3/2010
(71) Solicitant: INSTITUTUL DE FIZICĂ APLICATĂ AL ACADEMIEI DE ȘTIINȚE A MOLDOVEI, MD (72) Inventatori: CULEAC Ion, MD; IOVU Mihail, MD; NISTOR Iurie, MD; ANDRIEȘ Andrei, MD (73) Titular: INSTITUTUL DE FIZICĂ APLICATĂ AL ACADEMIEI DE ȘTIINȚE A MOLDOVEI, MD (74) Mandatar autorizat: ANISIMOVA Liudmila	

(54) **Senzor cu fibră optică pentru înregistrarea radiației infraroșii**

(57) **Rezumat:**

1

Invenția se referă la optoelectronică, în special la dispozitivele cu fibră optică, și poate fi aplicată în industrie, tehnica militară, cercetări științifice pentru înregistrarea și măsurarea intensității fluxurilor mici de radiație infraroșie.

Senzorul cu fibră optică pentru înregistrarea radiației infraroșii conține o fibră optică, ce cuprinde capătul de intrare, unit cu o sursă de lumină coerentă, suprafața laterală pentru acționarea radiației infraroșii

2

și capătul de ieșire, unde în câmpul îndepărtat al fibrei optice este amplasat un fotoreceptor, conectat la un bloc de înregistrare pentru formarea semnalului de ieșire, valoarea căruia este determinată de intensitatea radiației infraroșii înregistrate.

Revendicări: 2

Figuri: 7

5

10

MD 172 Z 2010.03.31

Descriere:

Invenția se referă la optoelectronică, în special la dispozitivele cu fibră optică, și poate fi aplicată în industrie, tehnica militară, cercetări științifice pentru înregistrarea și măsurarea intensității fluxurilor mici de radiație infraroșie.

- 5 Sunt cunoscute dispozitive pentru înregistrarea radiației infraroșii, care au la bază diferite principii de funcționare - termoelectrice, fotoelectrice, piroelectrice, fotorezistive sau mixte. De exemplu, în cazul receptorilor termoelectrice se înregistrează tensiunea electrică ce apare într-un termocuplu la formarea diferenței de temperatură la acțiunea radiației infraroșii, iar în cazul receptorilor bolometrice intensitatea radiației infraroșii este pusă în corelație directă cu rezistența unui strat subțire metalic sau semiconductor.
- 10 Pentru receptorii piezoelectrice intensitatea radiației infraroșii este pusă în corelație cu tensiunea electrică ce apare pe o placă piezoelectrică la acțiunea unui flux de radiație infraroșie [1].

Dezavantajul acestor dispozitive este sensibilitatea înaltă la interferența câmpurilor electromagnetice.

- Cea mai apropiată soluție de invenția propusă este un dispozitiv de măsurare a intensității fluxului de lumină, în care se utilizează un senzor cu fibre optice pentru înregistrarea intensității radiației optice, care conține un set de fibre optice aranjate într-o rețea, care formează un plan, iar capetele de ieșire ale fibrelor optice sunt conectate la un receptor. Radiația optică cade pe suprafața laterală a fibrelor optice, se propagă prin ele și ajunge la receptor, care servește pentru măsurarea intensității radiației optice. În acest dispozitiv rețeaua de fibre optice reprezintă un colector al radiației de lumină [2].
- 15

- Dezavantajul acestei soluții constă în dependența sensibilității de pierderile de lumină în fibra optică și, în consecință, sensibilitatea redusă în special în spectrul infraroșu, unde majoritatea materialelor folosite la fabricarea fibrelor optice posedă pierderi sporite, determinate de prezența unor benzi de absorbție greu de înlăturat prin metodele de purificare.
- 20

Problema pe care o rezolvă invenția constă în mărirea sensibilității de înregistrare a radiației infraroșii (IR) și lărgirea intervalului dinamic al dispozitivului.

- 25 Senzorul cu fibră optică pentru înregistrarea radiației infraroșii, conform invenției, înlătură dezavantajele menționate mai sus prin aceea că conține o fibră optică, ce cuprinde capătul de intrare, unit cu o sursă de lumină coerentă, radiația căreia este ghidată în fibra optică în formă de două sau mai multe moduri de propagare, suprafața laterală pentru acționarea radiației infraroșii și capătul de ieșire, unde în câmpul îndepărtat al fibrei optice este amplasat un fotoreceptor, conectat la un bloc de înregistrare pentru formarea semnalului de ieșire, valoarea căruia este determinată de intensitatea radiației infraroșii înregistrate.
- 30

Senzorul este dotat cu un dispozitiv de răcire și stabilizare a temperaturii.

Rezultatul invenției constă în mărirea sensibilității de înregistrare a radiației infraroșii și lărgirea intervalului dinamic al intensităților înregistrate.

- 35 Rezultatul se datorează aplicării efectului de interferență a modurilor de propagare în câmpul îndepărtat al unei fibre optice pentru înregistrarea radiației IR. Intensitatea radiației infraroșii este determinată prin punerea în corelație directă a imaginii speckle în câmpul îndepărtat al fibrei optice cu intensitatea radiației infraroșii, care acționează pe suprafața laterală a fibrei. Răcirea fibrei optice permite mărirea sensibilității imaginii speckle în raport cu intensitatea radiației IR pentru înregistrarea unor fluxuri de radiație infraroșie de intensitate extrem de redusă. Rezultatul obținut se datorează faptului că radiația IR ce cade pe suprafața laterală a fibrei optice produce schimbări de fază ale modurilor de propagare în fibra optică și, în consecință, varierea intensității imaginii speckle din câmpul îndepărtat. Radiația IR care este absorbită în fibra optică duce la variații locale ale temperaturii și, în consecință, la modificarea indicelui de refracție și a distanței optice parcurse de fiecare mod de propagare în fibră. Ca rezultat are loc schimbarea distribuției modale a intensității în imaginea speckle din câmpul îndepărtat. Procesarea imaginii speckle permite de a pune în corelație funcțională univocă amplitudinea semnalului de ieșire cu intensitatea radiației infraroșii. Dat fiind că distanța optică parcursă de modurile de propagare în fibra optică este mare, sensibilitatea imaginii de interferență a modurilor la acțiunea radiației infraroșii crește în mod spectaculos.
- 40
- 45

- 50 Invenția se explică prin desenele din fig. 1-7, care reprezintă:

- fig. 1, schema senzorului;
- fig. 2, imaginea de interferență în câmpul îndepărtat al fibrei optice;
- fig. 3, modificarea semnalului la declanșare a radiației IR;
- fig. 4, schema senzorului cu blocul de înregistrare;
- 55 - fig. 5, dependența semnalului de ieșire de intensitatea radiației IR pentru temperatura fibrei $T = 290$ K;
- fig. 6, schema senzorului cu dispozitivul de răcire și stabilizare a temperaturii;
- fig. 7, dependența semnalului de ieșire de intensitatea radiației infraroșii pentru temperaturile $T = 290$ K și $T = 278$ K.

- 60 Senzorul cu fibră optică pentru înregistrarea radiației infraroșii (fig. 1) conține o sursă de lumină coerentă 1 cuplată la o fibră optică 2. La capătul de ieșire al fibrei optice 2 în câmpul îndepărtat este amplasat un fotoreceptor 3, care înregistrează intensitatea fascicolului de lumină coerent 6 în câmpul îndepărtat după propagarea prin fibra optică 2 în funcție de intensitatea radiației IR 4. Fotoreceptorul 3

este conectat la blocul de înregistrare 5, care formează semnalul de ieșire. Blocul de înregistrare 5 este format din matricea de captură/setare a imaginii de referință F_0 7, matricea imaginii curente F_k 8, scăderea matricelor $F_k - F_0$ 9, scăderea matricelor F_k și F_0 10, matricea valorilor absolute ale diferenței de imagini 11, sumarea elementelor matricei F_{dk} 12 și vizualizarea semnalului de ieșire 13. Senzorul este dotat cu un dispozitiv de răcire și stabilizare a temperaturii, executat ca un termostat răcit cu vapori de azot lichid 15.

Dispozitivul funcționează în modul următor.

Fluxul de radiație infraroșie 4 este direcționat spre suprafața laterală a fibrei optice 2. Fascicolul de lumină de la sursa laser 1, injectat în capătul de intrare al fibrei optice 2, se propagă prin aceasta și formează în câmpul îndepărtat al fibrei imaginea de interferență a modurilor de propagare - imaginea speckle (fig. 2). Imaginea speckle în câmpul îndepărtat este dependentă de intensitatea radiației infraroșii ce cade pe suprafața laterală a fibrei optice 2. Distribuția modurilor de propagare în fibra optică 2 este determinată de indicele de refracție al ei, diametrul miezului și de susceptibilitatea acestor parametri la radiația infraroșie. Astfel distribuția intensității luminii de probă în câmpul îndepărtat al fibrei optice conține informație despre perturbațiile, care acționează asupra fibrei optice. Radiația infraroșie, care acționează asupra fibrei, produce schimbări ale temperaturii fibrei și, în consecință, schimbări ale distanței optice parcurse de modurile de propagare. Ca rezultat are loc variația fazei pentru modurile individuale de propagare și respectiv variația distribuției intensității imaginii de interferență în câmpul îndepărtat. Fotoreceptorul 3 plasat în câmpul îndepărtat înregistrează intensitatea luminii de probă în raport cu intensitatea radiației IR, care acționează asupra fibrei optice. În felul acesta este pus în corelație directă semnalul de ieșire al fotoreceptorului 3 cu intensitatea radiației IR, care acționează asupra fibrei optice 2.

În calitate de fotoreceptor 3 este folosit un senzor CCD, iar în calitate de bloc de înregistrare - un calculator, care procesează imaginea speckle din câmpul îndepărtat și formează semnalul de ieșire în raport cu intensitatea radiației infraroșii, care acționează asupra suprafeței laterale a fibrei optice. Astfel, imaginea de interferență din câmpul îndepărtat pentru fiecare moment t_k este pusă în corelație directă cu o matrice de date F_k . Fiecare element $\langle x_i y_i \rangle$ al acestei matrice, numită în continuare matricea curentă F_k , reprezintă intensitatea la momentul t_k într-un anumit pixel al senzorului CCD, având coordonatele $x_i y_i$. Semnalul de ieșire al senzorului este format prin sumarea valorilor absolute ale tuturor elementelor matricei F_{dk} care, la rândul ei, reprezintă diferența dintre matricea curentă F_k și matricea de referință F_0 . Matricea de referință F_0 corespunde imaginii inițiale captate în momentul t_0 , când este declanșat programul.

Algoritmul pentru procesarea imaginii speckle este bazat pe principiul comparării imaginii de referință, captate de CCD în momentul $t=0$ cu fiecare din imaginile ulterioare captate în momentul t_k . Fotoreceptorul CCD captează imaginea speckle în momentul t_0 și această imagine este stocată în memoria - tampon în calitate de imagine de referință. Aici și în continuare, când este vorba despre stocarea și procesarea imaginilor, se subînțelege stocarea și procesarea matricelor imaginilor respective. Următorul cadru al imaginii speckle este captat în momentul t_k . Fiecare din imaginea curentă I_k este scăzută pixel-cu-pixel din imaginea de referință I_0 conform relației:

$$I_k^d(x_i, y_j) = [I_k(x_i, y_j) - I_0(x_i, y_j)],$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, r_1, j = 1, 2, 3, \dots, r_2,$$

unde: I_k^d reprezintă valoarea absolută a diferenței semnalului corespunzător momentului t_k pentru pixelul n cu coordonatele (x, y) . Următorul pas al operației de procesare este sumarea tuturor semnalelor I_k^d de la M -pixeli ($M = r_1 \cdot r_2$) și determinarea valorii absolute S_k pentru momentul t_k :

$$S_k = \sum_{i=1}^{r_1} \sum_{j=1}^{r_2} I_k^d(x_i, y_j),$$

unde r_1 și r_2 reprezintă rezoluția pe axele X și Y respectiv. Valoarea numerică a sumei S_k este afișată pe monitor în formă grafică în calitate de semnal de ieșire al senzorului pentru fiecare moment t_k (fig. 3). Algoritmul de procesare a imaginii speckle și formarea semnalului de ieșire sunt ilustrate în fig. 4.

Senzorul cu fibră optică conform invenției este ilustrat în fig. 1. Un fascicol de lumină de la o sursă coerentă 1 este injectat în capătul de intrare al fibrei optice 2. La capătul de ieșire al fibrei optice în câmpul îndepărtat este poziționat un fotoreceptor 3. Fascicolul de radiație IR, care urmează a fi înregistrat, este direcționat pe suprafața laterală a fibrei optice. Fotoreceptorul 3 este conectat la blocul de înregistrare 5, care pune în corelație directă intensitatea imaginii speckle cu intensitatea radiației infraroșii direcționate pe fibra optică. Fascicolul de lumină 6 se propagă în fibra 2 în formă de două sau mai multe moduri și formează în câmpul îndepărtat al fibrei optice imaginea de interferență (speckle) a cel puțin două moduri (fig. 2). Intensitatea în fiecare punct al imaginii speckle este dependentă funcțional de intensitatea radiației infraroșii 4, care acționează pe suprafața laterală a fibrei optice 2. Radiația infraroșie, ce acționează asupra fibrei optice 2, produce schimbări ale distanței optice parcurse de fiecare mod de propagare în fibra optică. În consecință, are loc modificarea fazei pentru modurile de propagare

individuale, care interferează în câmpul îndepărtat. Astfel variația intensității radiației infraroșii, care acționează asupra fibrei optice, produce variații ale intensității și distribuției spațiale a imaginii speckle în câmpul îndepărtat. În consecință, distribuția intensității în câmpul îndepărtat al fibrei optice 2 poartă informație despre intensitatea radiației IR, care acționează asupra fibrei optice. Fotoreceptorul 3 poziționat în câmpul îndepărtat captează imaginea de interferență (imaginea speckle), care este procesată de blocul de înregistrare 5 și care formează semnalul de ieșire, determinat funcțional și univoc de intensitatea radiației infraroșii direcționate pe fibra optică.

Astfel după declanșarea radiației IR semnalul de ieșire crește rapid de la valoarea „0” până la valoarea staționară, determinată univoc de intensitatea radiației IR care acționează asupra fibrei optice. Dependența amplitudinii semnalului de ieșire de intensitatea radiației IR poartă un caracter liniar (fig. 5).

Exemplul 1

Un laser HeNe de tip JII - 113 injectează în capătul de intrare al fibrei optice 2 un fascicol de lumină coerent 6, iar în câmpul îndepărtat al fibrei optice este poziționat un fotoreceptor 3 CCD, conectat la blocul de înregistrare 5 (fig. 4). Fotoreceptorul CCD reprezintă un senzor tip HDCS-1020 CMOS cu dimensiunile unui pixel $7,4 \times 7,4 \mu\text{m}$ și dimensiunile imaginii VGA 640x480. Blocul de înregistrare 5 este reprezentat de un calculator PC, care formează semnalul de ieșire funcțional și univoc determinat de intensitatea radiației IR, ce cade pe suprafața laterală a fibrei optice. Lungimea fibrei optice cu profilul indicelui de refracție parabolic este 1 m, diametrul miezului este de $50 \mu\text{m}$. Pentru formarea semnalului de ieșire imaginea speckle din câmpul îndepărtat pentru fiecare moment t_k se pune în corelație directă cu o matrice de date curente F_k . Fiecare din elementele $x_i y_j$ ale matricei de date curente F_k reprezintă valoarea intensității înregistrate de pixelul cu coordonatele $x_i y_j$ al senzorului CCD. Semnalul de ieșire este format prin sumarea valorilor absolute ale tuturor elementelor matricei F_{dk} , iar matricea F_{dk} la rândul ei, reprezintă diferența dintre matricea curentă F_k și matricea de referință F_0 obținută în momentul t_0 .

Algoritmul pentru procesarea imaginii speckle din câmpul îndepărtat este bazat pe compararea imaginii de referință, captate de CCD în momentul $t=0$, cu fiecare din imaginile ulterioare captate în momentul t_k . Senzorul CCD captează imaginea de interferență în momentul t_0 și această imagine este stocată în memoria-tampon. Următorul cadru al imaginii de interferență este captat în momentul t_k . Fiecare imagine curentă I_k este scăzută pixel-cu-pixel din imaginea inițială (de referință) I_0 conform relației:

$$I_k^d(x_i, y_j) = [I_k(x_i, y_j) - I_0(x_i, y_j)],$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, r_1, j = 1, 2, 3, \dots, r_2,$$

unde: I_k^d reprezintă valoarea absolută a diferenței semnalului pentru pixelul n cu coordonatele x, y , corespunzător două imagini luate în momentul t_k și în momentul t_0 . Următorul pas al operației de procesare reprezintă sumarea tuturor semnalelor I_k^d pentru M -pixeli și determinarea valorii absolute S_k corespunzătoare momentului t_k :

$$S_k = \sum_{i=1}^{r_1} \sum_{j=1}^{r_2} I_k^d(x_i, y_j),$$

unde: r_1 și r_2 reprezintă rezoluția senzorului CCD pe axele X și Y respectiv. Valoarea numerică a sumei S_k este afișată pe monitor în formă grafică în calitate de semnal de ieșire al senzorului pentru fiecare moment t_k (fig. 3).

Exemplul 2

Un laser HeNe de tip JII-113, la lungimea de undă 633 nm, injectează în capătul de intrare al unei fibre optice 2 un fascicol de lumină coerent 6, iar în câmpul îndepărtat al fibrei optice este poziționat un fotoreceptor 3 tip CCD, conectat la blocul de înregistrare 5, care pune în corelație directă distribuția spațială a imaginii de interferență în câmpul îndepărtat cu intensitatea radiației infraroșii 4 direcționate pe suprafața laterală a fibrei optice 2 (fig. 6). CCD reprezintă un receptor tip HDCS-1020 CMOS cu dimensiunile unui pixel $7,4 \times 7,4 \mu\text{m}$ și dimensiunile imaginii VGA 640 x 480. Fibra optică 2 este plasată într-un termostaț 15, care este răcit cu vapori de azot lichid. Lungimea fibrei optice cu profilul indicelui de refracție parabolic este de 1 m, diametrul miezului este de $50 \mu\text{m}$.

La o intensitate constantă a radiației IR răcirea fibrei optice duce la creșterea diferenței intermodale de fază, și respectiv la creșterea semnalului de ieșire. Creșterea semnalului de ieșire la răcirea fibrei optice este ilustrată în fig. 7. De exemplu, pentru intensitatea radiației infraroșii $P_{IR}=10^{-2} \text{ mW/cm}^2$, răcirea fibrei optice de la 290 K până la 278 K duce la creșterea semnalului de ieșire de ≈ 5 ori (fig. 7).

MD 172 Z 2010.03.31

6

(57) Revendicări:

- 5 1. Senzor cu fibră optică pentru înregistrarea radiației infraroșii, care conține o fibră optică, ce cuprinde capătul de intrare, unit cu o sursă de lumină coerentă, suprafața laterală pentru acționarea radiației infraroșii și capătul de ieșire, unde în câmpul îndepărtat al fibrei optice este amplasat un fotoreceptor, conectat la un bloc de înregistrare pentru formarea semnalului de ieșire, valoarea căruia este determinată de intensitatea radiației infraroșii înregistrate.
- 10 2. Senzor, conform revendicării 1, care este dotat cu un dispozitiv de răcire și stabilizare a temperaturii.

15

(56) Referințe bibliografice:

1. Ишанин О. Е. Источники и приемники излучения. Москва, Радио и связь, 1991, 311 с.
2. «Измеритель мощности светового потока», http://tm.ua/show_art.php?who=207, regăsit în Internet la 2010.01.25

Director Departament:

JOVMIR Tudor

Examinator:

SĂU Tatiana

Redactor:

CANȚER Svetlana

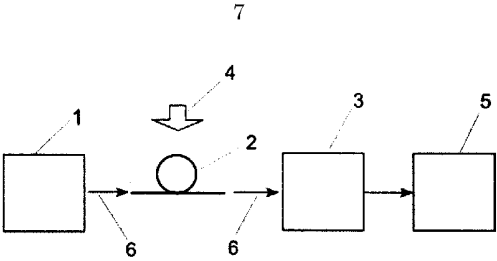


Fig. 1

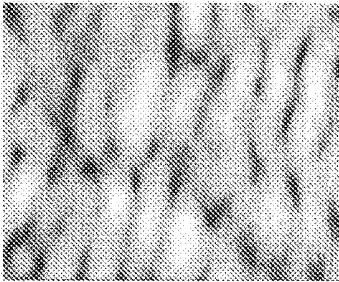


Fig. 2

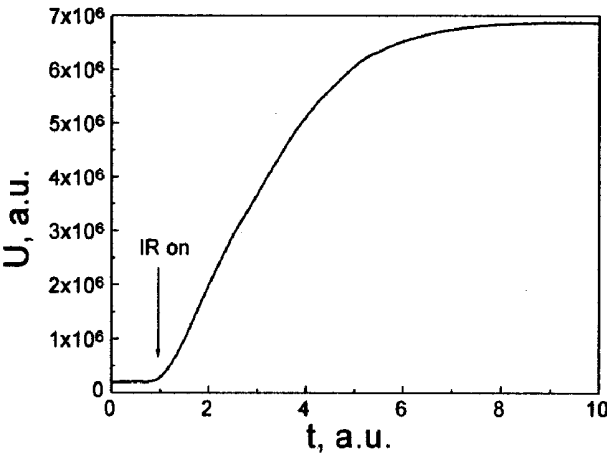


Fig. 3

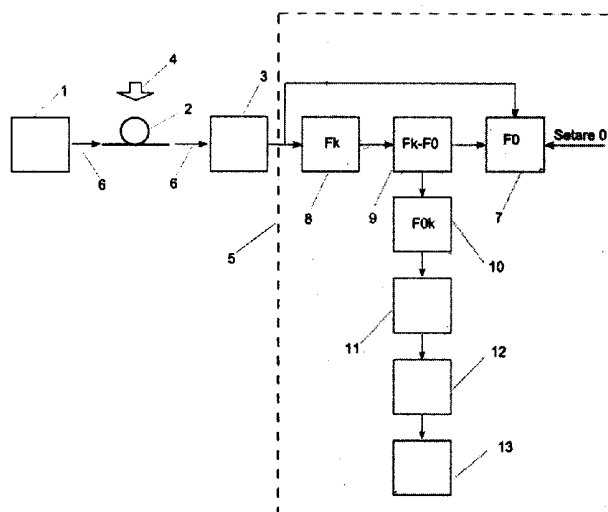


Fig. 4

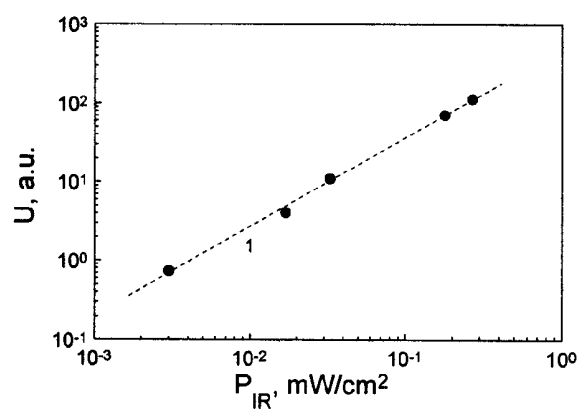


Fig. 5

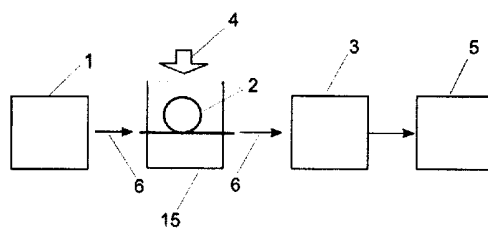


Fig. 6

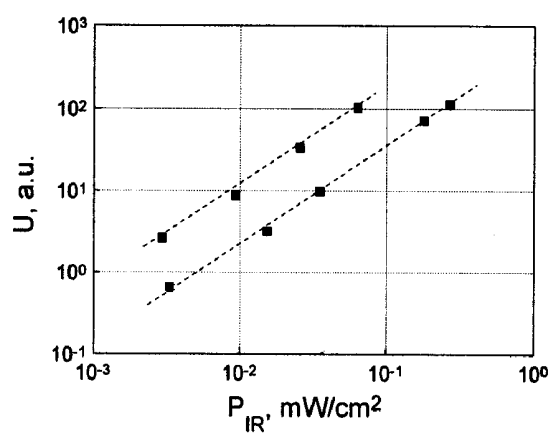


Fig. 7

RAPORT DE DOCUMENTARE

pentru cerere de brevet de invenție de scurtă durată conform art.52(2) a Legii nr. 50/2008

(21) Nr. depozit: s 2009 0207	(85) Data fazei naționale PCT:
(22) Data depozit: 2009.11.05	(86) Cerere internațională PCT:
(51) IPC: Int. Cl.: G01B 9/02 (2006.01) G01J 1/10 (2006.01) G01J 1/42 (2006.01) Alți indici de clasificare: Titlul: Senzor cu fibră optică pentru înregistrarea radiației infraroșii (71) Solicitantul: INSTITUTUL DE FIZICĂ APLICATĂ AL ACADEMIEI DE ȘTIINȚE A MOLDOVEI, MD	
I. Condiția de unitate a invenției ☐ satisface ☐ nu satisface. Notă:	
II. Minimul de documente consultate: MD, EA	
III. Domeniul de documentare: Indicii IPC (ultima redacție): G01B 9/02, G01J 1/10, G01J 1/42 a) Termeni caracteristici, cuvinte-cheie, sinonime: senzor cu fibră optică, radiație infraroșie	
IV. Documente considerate a fi relevante	
Categoria	Date de identificare ale documentelor citate si, unde este cazul, indicarea pasajelor pertinente
A	«Измеритель мощности светового потока», http://tm.ua/show_art.php?who=207 , regăsit în Internet la 2010.01.25
A	MD 2223 C2 2003.07.31
A	MD 2005 C2 2002.09.30
Relevant față de revendicarea nr.	
	1-2
	1-2
	1-2
Categorii de documente citate	
A - document care definește stadiul anterior în general	O - document referitor la o divulgare orală, un act de folosire, la o expunere etc.
X - document de relevanță deosebită: invenția revendicată nu poate fi considerată nouă sau implicând activitate inventivă	P - document publicat înainte de data de depozit dar după data priorității invocate
Y - document de relevanță deosebită: invenția revendicată nu poate fi considerată ca implicând activitate inventivă când documentul este asociat cu unul sau mai multe alte documente de aceeași natură	T - document publicat după data de depozit sau a priorității invocate, citat pentru a pune în evidență principiul sau teoria care fundamentează invenția
E - document anterior dar publicat la data de depozit național reglementar sau după această dată	D - Document menționat în descrierea cererii de brevet
Data finalizării documentării	2010.01.25
Examinatorul	Său Tatiana