



(12)

## CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2014 00988

(22) Data de depozit: 15/12/2014

(41) Data publicării cererii:  
29/07/2016 BOPI nr. 7/2016

(71) Solicitant:  
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE  
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU  
MICROTEHNOLOGIE,  
STR. EROU IANCU NICOLAE NR. 126A,  
BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:  
• VARSESCU DRAGOȘ- ALEXANDRU-  
CRISTIAN, STR. AMETISTULUI NR. 19,  
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;  
• PACHIU IONELA- CRISTINA,  
BD. IULIU MANIU NR. 52-72, BL. 3, SC. C,  
AP. 112, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO

## (54) PROCEDEU PENTRU MĂSURAREA EMISIVITĂȚII SPECIFICE UNEI CAMERE ÎN INFRAROȘU

### (57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu pentru măsurarea emisivității unei suprafețe. Procedeu conform invenției constă într-o primă etapă în care proba (3) ce se dorește a fi măsurată este vopsită pe jumătate cu o vopsea având o emisivitate apropiată de 1, considerată o bună aproximare a unui corp negru, și folosită ca referință, apoi proba (3) se încălzește uniform cu ajutorul unui încălzitor (2), la o temperatură la care se dorește determinarea emisivității, încălzitorul (2) fiind controlat și alimentat de la o sursă (5), iar temperatura de la suprafața probei (3) fiind măsurată cu ajutorul unui termometru (4) de contact, în timp ce un al doilea încălzitor (6) este încălzit la o temperatură  $T_1$ , iar cu ajutorul unei camere (1) în infraroșu se determină radiația ( $E_{bb}$ ) emisă de jumătatea vopsită a probei, și radiația ( $E_{p1}$ ) emisă de jumătatea nevopsită a probei, care va conține și radiația ( $E_{r1}$ ) provenită de la încălzitor (6), reflectată de aceasta, se repetă apoi etapa anterioară pentru încălzitorul (6) încălzit la temperatura  $T_2$ , și se determină radiația ( $E_{bb}$ ) emisă de zona vopsită a probei, și radiația emisă ( $E_{p2}$ ) de zona nevopsită a probei, care va conține și radiația ( $E_{r2}$ ) provenită de la încălzitor (6) și reflectată de aceasta. Pentru că cele două determinări au fost făcute în aceeași poziție, se cunoaște  $E_{r1}/E_{r2}=E_1(T_1)/E_2(T_2)$ , iar raportul  $E_1(T_1)/E_2(T_2)$  se cunoaște din caracterizarea prealabilă din punct de

vedere radiativ a încălzitorului (6), obținându-se astfel un sistem de ecuații cu ajutorul căruia se poate calcula emisivitatea probei specifice camerei (1) în infraroșu, la temperatura dată de încălzitor (2).

Revendicări: 2  
Figuri: 5

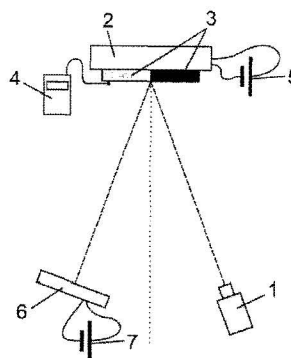
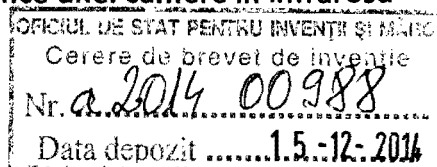


Fig. 5



## Procedeu pentru masurarea emisivitatii specifice unei camere in infrarosu



### Descrierea inventiei

#### Stadiul tehnicii

Sunt cunoscute din literatura mai multe procedee de masurare a emisivitatii unei suprafete. Aceste procedee, in marea lor majoritate, folosesc sfere (sau semisfere) de integrare si masoara emisivitatea spectrala semisferica (emisivitatea sub un unghi solid de  $2\pi$  la o anumita lungime de unda). Aceste masuratori, sunt facute, in general, in scopuri de cercetare fundamentala si au o serie de dezavantaje cand rezultatele lor sunt folosite de utilizatorul unei camere IR:

1. O camera IR nu inregistreaza radiatia sub un unghi solid de  $2\pi$ , ci sub un unghi solid mult mai mic, dat de sistemul optic al camerei. Deoarece emisivitatea unui corp real poate depinde de directie, rezulta ca emisivitatea totala a acestuia poate fi diferita de emisivitatea directionala, sub un unghi mai mic de  $2\pi$ , care este de interes in cazul unei camere IR. O astfel de situatie este prezentata in figura 1, care reprezinta radiatia unui corp negru (figura 1.a), aceeași in toate directiile, comparativ cu radiatia unui corp real (figura 1.b), care poate varia cu directia. In aceasta situatie, emisivitatea semisferica a corpului real (raportul dintre radiatia semisferica emisa de corpul real si radiatia semisferica emisa de corpul negru la aceeasi temperatura) va diferi de emisivitatea sa pe directia normala, care, la randul sau, va diferi de emisivitatea pe o directie laterala.

2. O camera IR inregistreaza radiatia intr-un anumit interval spectral. Dupa cum emisivitatea din majoritatea surselor stiintifice este data la o anumita lungime de unda, este posibil ca acea lungime de unda sa nu se afle in intervalul spectral la care sunt sensibili senzorii camerei IR. Chiar daca acea lungime de unda la care se da emisivitatea se afla in intervalul de sensibilitate al senzorilor camerei IR, deoarece emisivitatea unui corp real poate varia cu lungimea de unda, este posibil ca acea emisivitate sa nu fie corecta pe tot intervalul. Poate aparea chiar situatia din figura 2, care reprezinta emisivitatile a doua suprafete diferite in intervalul  $\lambda_1 - \lambda_2$ , considerat a fi intervalul de sensibilitate al senzorilor unei camere IR. In aceasta situatie, este posibil ca la o anumita temperatura, camera IR sa inregistreze exact aceeasi cantitate de radiatie, desi emisivitatile celor doua suprafete difera in acel interval. Variatiile de emisivitate din intervalul de sensibilitate al senzorilor camerei IR sunt transparente camerei IR.

3. De asemenea, emisivitatea unui obiect depinde de compozitia sa exacta cat si de calitatea suprafetei.

Din aceste motive, pentru cele mai bune rezultate, posesorul unei camere IR, trebuie sa isi faca propriile masuratori de emisivitate, folosind chiar camera IR. Aceste masuratori vor da cele mai bune rezultate doar pentru acea camera IR sau pentru o camera IR similara (avand acelasi unghi de cuprindere si aceeasi curba de sensibilitate a senzorilor).

Pentru a masura emisivitatea specifica unei camere IR, setupul de baza este prezentat in figura 3.1, care reprezinta schematic camera IR (1) pentru care se fac determinarile, un heater (2) folosit pentru a incalzi proba (3) la temperatura la care se doreste a se masura emisivitatea. Heaterul (2), care trebuie sa produca o temperatura uniforma pe suprafata sa, este alimentat si controlat cu ajutorul unei surse (5), iar temperatura este masurata cu ajutorul unui termometru de contact (4). Proba (3), pentru care se doreste masurarea emisivitatii va fi vopsita pe jumatate cu o vopsea avand o emisivitate foarte apropiata de 1, considerata a fi o buna aproximare a unui corp negru, care va fi folosita ca referinta.

Camerele IR profesioniste dispun de un software de achizitie, in interiorul caruia se poate vedea harta intensitatii radiatiei captata de camera si transformata, de obicei, in gradient de culoare. O astfel de imagine este prezentata schematic in figura 3.2, unde se pot observa heaterul (2) folosit pentru a incalzi proba (3), alimentat prin sursa (5) si termometrul (4) folosit pentru a seta temperatura la care se fac determinarile. In mod normal, software-ul unei astfel de camere permite selectia uneia sau a mai multor regiuni pentru a face o medie pe ele (3'). Desi, conform



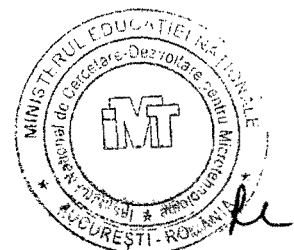
setupului, temperatura este uniforma pe suprafata probei, este mai bine sa se faca o medie pe o anumita regiune decat sa se selecteze un singur pixel, deoarece pot aparea mici fluctuatii de la pixel la pixel datorate zgomotului. In acest moment, raportarea radiatiei obtinuta de la zona nevopsita a probei la radiatia obtinuta de la zona vopsita a probei pentru a determina emisivitatea suprafetei ar fi eronata, deoarece radiatia provenita din zona nevopsita a probei contine atat radiatie emisa de aceasta cat si radiatie reflectata de aceasta. Conform legii lui Kirchhoff a radiatiei, pentru un corp opac, emisivitatea este complementara cu reflectivitatea ( $\epsilon + \alpha = 1$ ). Cum emisivitatea suprafetei ce se doreste a fi masurata este mai mica decat 1, rezulta ca reflectivitatea sa este diferita (mai mare) de 0. In aceste conditii, pentru o determinare corecta a radiatiei emisa de suprafata, respectiv a emisivitatii sale, se poate fie a bloca reflexiile, fie a le calcula, ambele metode fiind extrem de dificil, daca nu chiar imposibil, de realizat in practica.

Problema tehnica pe care o rezolva inventia consta in aceea ca permite diferentierea radiatiei emisa de suprafata pentru care se determina emisivitatea de radiatia reflectata de aceasta.

## 2.2 Descrierea inventiei

Inventia se refera la un procedeu de masurare a emisivitatii unei suprafete, specifica unei camere IR (1). Procedeu presupune incalzirea probei (3) cu ajutorul unui heater (2), construit astfel incat sa produca o temperatura uniforma pe suprafata sa, temperatura ce va fi controlata cu o sursa de tensiune (5). Adicional, un termometru de contact (4) va fi folosit pentru a stabili exact temperatura suprafetei probei (2) la care se determina emisivitatea. Proba (2) va fi, in prealabil, vopsita pe jumătate cu o vopsea avand o emisivitate apropiata de 1, considerata a fi o buna aproximare a unui corp negru si care va fi folosita ca referinta. Cu ajutorul heaterului (2), proba (3) va fi incalzita la temperatura la care se doreste a fi masurata emisivitatea sa. Proba (2) va fi "privita" cu camera IR (1) pentru care se face determinarea. Raportarea, in acest moment, a radiatiei obtinuta de la zona nevopsita a probei la radiatia obtinuta de la zona vopsita a probei pentru a determina emisivitatea suprafetei ar fi eronata, deoarece radiatia provenita de la zona nevopsita a probei contine atat radiatie emisa de aceasta cat si radiatie reflectata de aceasta. Pentru a putea calcula cat mai exact radiatia reflectata, respectiv radiatie emisa de proba (2) se va introduce un al doilea heater (6) care va produce "radiatia ambientala" ce va fi reflectata de partea nevopsita a probei (2). Acest al doilea heater (6) va fi, de asemenea, construit astfel incat sa produca pe suprafata de emisie o temperatura uniforma, ce va fi controlata precis cu o a doua sursa de tensiune (7). Suprafata de emisie a celui de-al doilea heater (6) va fi, de asemenea, vopsita cu o vopsea avand emisivitatea apropiata de 1, pentru a ne asigura ca radiatia provenita de la acesta este exclusiv radiatia emisa de acesta si nu contine, la randul sau, radiatie reflectata din mediu. Acest al doilea heater (6) va fi construit si pozitionat astfel incat radiatia reflectata de suprafata nevopsita a probei (2) sa provina in exclusivitate de la el. Deoarece, chiar si in acest caz, o estimare exacta a radiatiei provenita de la cel de-al doilea heater (6) si reflectata de zona nevopsita a probei (2) este dificil de realizat, se va folosi urmatorul procedeu. Cu ajutorul camerei IR (1), cel de-al doilea heater (6) va fi caracterizat radiativ la doua temperaturi diferite,  $T_1$  si  $T_2$ , si se va calcula raportul  $E(T_1)/E(T_2)$ . Valorile exacte ale  $E_1(T_1)$  si  $E_2(T_2)$ , inregistrate de camera IR (1), vor depinde de geometria heaterului (6), de pozitionarea sa fata de camera IR (1), cat si de proprietatile camerei (1), inasa, indiferent de forma si pozitia heaterului (6), raportul  $E_1(T_1)/E_1(T_2)$  va fi intotdeauna acelasi. In acelasi mod, pentru o geometrie a heaterului (6) si o pozitie data, radiatia provenita de la acesta si reflectata de zona nevopsita a probei (2), in obiectivul camerei IR (1), la temperaturile  $T_1$  si  $T_2$  va avea raportul  $R_1(T_1)/R_1(T_2) = E_1(T_1)/E_1(T_2)$ . Aceasta proprietate va fi folosita pentru a crea un sistem de ecuatii din care se poate calcula radiatia emisa de suprafata nevopsita a probei, respectiv emisivitatea sa.

Dam in continuare un exemplu de punere in practica a procedurii de masurare a emisivitatii IR a unei suprafete specifica unei camere IR (1) in legatura cu figurile 4.1 si 4.2, care reprezinta schematic, in sectiune, de sus, camera IR (1), heaterul (2), proba (3), vopsita pe jumătate cu vopsea avand emisivitatea apropiata de 1 si heaterul (6) folosit pentru a controla reflexiile, vopsit, de asemenea, pe suprafata de emisie, cu vopsea avand emisivitatea apropiata de 1. Heaterul (2) este incalzit la temperatura la care se doreste masurarea emisivitatii cu ajutorul sursei (5), in timp ce heaterul (6) va fi incalzit cu ajutorul sursei (7). Temperaturile probei (3) si a heaterului (6) vor fi controlate cu ajutorul termometrului de contact (4). Se pot, de asemenea, folosi termometre diferite.



Pentru materialele având reflexia predominant difuză (în speta nemetale), cel mai potrivit mod de a realiza heaterul (6) este în forma de con, cu o mică fanta în vârf prin care privește camera IR (1). Heaterul (6) este poziționat ca în figura 4.2, astfel încât toată radiația reflectată de zona nevopsită a probei (3) în obiectivul camerei IR (1) să provină exclusiv de la heater (6).

Procedeeul de măsurare a emisivității probei (3) are următorii pași:

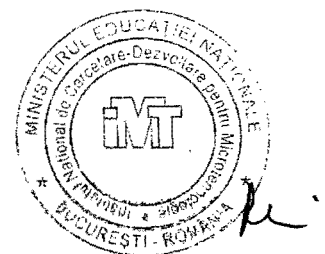
1. Se realizează un set-up precum cel din figura 4.1, care reprezintă schematic, în secțiune, de sus, camera IR (1) și heaterul (6), alimentat de sursă (7).
  2. Heaterul (6) este încălzit la o temperatură  $T_1$ .
  3. Se notează cantitatea de radiație emisă de heater (6) la această temperatură și recepționată de camera IR (1) -  $E_1(T_1)$ .
  4. Heaterul (6) este încălzit la o temperatură  $T_2$ , diferită de  $T_1$ .
  5. Se notează cantitatea de radiație emisă de heater (6) la această temperatură și recepționată de camera IR (1) -  $E_2(T_2)$ .
  6. Se calculează raportul  $E_1(T_1)/E_2(T_2)$ . Acest raport este independent de geometria set-upului și depinde exclusiv de temperaturile  $T_1$  și  $T_2$  și de curba de răspuns a senzorilor camerei IR (1). (Cunoscând cu precizie curba de răspuns a senzorilor camerei IR (1), acest raport poate fi calculat și teoretic, dar este mai sigur să fie măsurat direct).
  7. Se realizează set-upul din figura 4.2, care reprezintă schematic, în secțiune, de sus, camera IR (1), heaterul (2), proba (3), vopsită pe jumătate cu vopsea având emisivitatea apropiată de 1 și heaterul (6).
  8. Heaterul (1) este încălzit la temperatura la care se dorește să se măsoare emisivitatea probei.
  9. Heaterul (6) este încălzit la temperatura  $T_1$ .
  10. Cu ajutorul camerei IR (1) se determină radiația emisă de zona vopsită a probei -  $E_{bb}$  și radiația provenită de la zona nevopsită a probei -  $E_{p1}$ . Radiația provenită de la zona nevopsită a probei va conține radiația emisă de aceasta  $E_{e1}$  și radiația provenită de la heaterul (5) și reflectată de aceasta -  $E_{r1}$ . Deci  $E_{p1} = E_e + E_{r1}$ .
  11. Heaterul (6) este încălzit la temperatura  $T_2$ .
  12. Cu ajutorul camerei IR (1) se determină radiația emisă de zona vopsită a probei -  $E_{bb}$  și radiația provenită de la zona nevopsită a probei -  $E_{p2}$ . Radiația provenită de la zona nevopsită a probei va conține radiația emisă de aceasta  $E_e$  și radiația provenită de la heaterul (6) și reflectată de aceasta -  $E_{r2}$ . Deci  $E_{p2} = E_e + E_{r2}$ .
- Deoarece cele două determinări au fost făcute în aceeași poziție se cunoaște  $E_{r1}/E_{r2} = E_1(T_1)/E_2(T_2)$  și astfel se obține un sistem de ecuații cu ajutorul cărora se poate calcula emisivitatea probei specifică camerei IR (1), respectiv  $E_e/E_{bb}$  la temperatura dată de heaterul (2).

Dăm în continuare un exemplu de punere în practică a procedeeului de măsurare a emisivității IR a unei suprafețe specifice unei camere IR (1) în legătură cu figurile 5.1, 5.2 și 5.3, care reprezintă schematic, în secțiune, de sus, camera IR (1), heaterul (2), proba (3), vopsită pe jumătate cu vopsea având emisivitatea apropiată de 1 și heaterul (6) folosit pentru a controla reflexiile, vopsit, de asemenea, pe suprafața de emisie, cu vopsea având emisivitatea apropiată de 1. Heaterul (2) este încălzit la temperatura la care se dorește măsurarea emisivității cu ajutorul sursei (5), în timp ce heaterul (6) va fi încălzit cu ajutorul sursei (7). Temperaturile probei (3) și a heaterului (6) vor fi controlate cu ajutorul termometrului de contact (4). Se pot, de asemenea, folosi termometre diferite.

Pentru materialele având reflexia predominant speculară (în speta metale), cel mai potrivit set-up este cel din figura 5.2, în care heaterul (6) și camera IR (1) sunt așezate sub un unghi față de normală la proba (3) ce se dorește a fi caracterizată, astfel încât întreaga radiație reflectată de jumătatea nevopsită a probei (3) și captată de camera IR (1) să provină exclusiv de la heater (6).

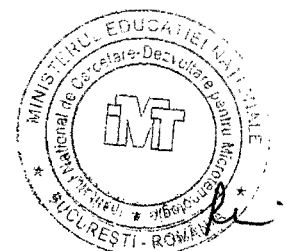
Procedeeul de măsurare a emisivității probei (3) are următorii pași:

1. Se realizează un set-up precum cel din figura 4.1, care reprezintă schematic, în secțiune, de sus, camera IR (1) și heaterul (6), alimentat de sursă (7).
2. Heaterul (6) este încălzit la o temperatură  $T_1$ .
3. Se notează cantitatea de radiație emisă de heater (6) la această temperatură și recepționată de camera IR (1) -  $E_1(T_1)$ .
4. Heaterul (6) este încălzit la o temperatură  $T_2$ , diferită de  $T_1$ .



5. Se noteaza cantitatea de radiatie emisa de heater (6) la acesta temperatura si receptionata de camera IR (1) -  $E_2(T_2)$ .
  6. Se calculeaza raportul  $E_1(T_1)/E_1(T_2)$ . Acest raport este independent de geometria setupului si depinde exclusiv de temperaturile  $T_1$  si  $T_2$  si de curba de raspuns a senzorilor camerei IR (1). (cunoscand cu precizie curba de raspuns a senzorilor camerei IR (1), acest raport poate fi calculat si teoretic, dar este mai sigur sa fie masurat direct).
  7. Se realizeaza setupul din figura 4.2, care reprezinta schematic, in sectiune, de sus, camera IR (1), heaterul (2), proba (3), vopsita pe jumatate cu vopsea avand emisivitatea apropiata de 1 si heaterul (6).
  8. Heaterul (1) este incalzit la temperatura la care se doreste a se masura emisivitatea probei.
  9. Heaterul (6) este incalzit la temperatura  $T_1$ .
  10. Cu ajutorul camerei IR (1) se determina radiatia emisa de zona vopsita a probei -  $E_{bb}$  si radiatia provenita de la zona nevopsita a probei -  $E_{p1}$ . Radiatia provenita de la zona nevopsita a probei va contine radiatia emisa de aceasta  $E_{e1}$  si radiatia provenita de la heaterul (5) si reflectata de aceasta -  $E_{r1}$ . Deci  $E_{p1} = E_e + E_{r1}$ .
  11. Heaterul (6) este incalzit la temperatura  $T_2$ .
  12. Cu ajutorul camerei IR (1) se determina radiatia emisa de zona vopsita a probei -  $E_{bb}$  si radiatia provenita de la zona nevopsita a probei -  $E_{p2}$ . Radiatia provenita de la zona nevopsita a probei va contine radiatia emisa de aceasta  $E_e$  si radiatia provenita de la heaterul (6) si reflectata de aceasta -  $E_{r2}$ . Deci  $E_{p2} = E_e + E_{r2}$ .
- Deoarece cele doua determinari au fost facute in aceeasi pozitie se cunoaste  $E_{r1}/E_{r2} = E_1(T_1)/E_2(T_2)$  si astfel se obtine un sistem de ecuatii cu ajutorul caruia se poate calcula emisivitatea probei specifica camerei IR (1), respectiv  $E_e/E_{bb}$  la temperatura data de heaterul (2).

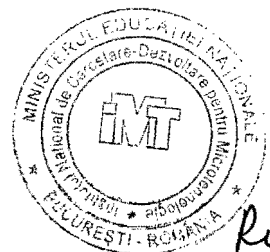
Deoarece acest setup nu permite masurarea directa a emisivitatii normale, se poate folosi solutia prezentata in figura 5.3, care reprezinta schematic, in sectiune, de sus, heaterul (2), proba (3), camera IR (1) si heaterul (6). Se masoara emisivitate probei (2) sub diferite unghiuri, de la unghiuri mai mari la unghiuri mai mici si se extrapoleaza pentru a afla emisivitatea normala.



## Procedeu pentru masurarea emisivitatii specifice unei camere in infrarosu

### Revendicari

1. Procedeu de masurare a emisivitatii unei suprafete, specifica unei camere IR (1), **caracterizat prin aceea ca** proba (3), ce se doreste a fi caracterizata, este vopsita pe jumatate cu o vopsea avand o emisivitate apropiata de 1, considerata ca referinta de corp negru, si incalzita uniform cu un heater (2) la temperatura la care se doreste a se masura emisivitatea, heaterul (2) fiind alimentat de o sursa (5), iar temperatura fiind controlata cu un termometru de contact (4), setupul avand un al doilea heater (6) controlat cu o sursa (7), folosit pentru a controla radiatia reflectata de jumatatea nevopsita a probei (3), ce va fi caracterizat radiativ, in prealabil, la doua temperaturi diferite,  $T_1$  si  $T_2$ , stiind ca raportul radiatiei emisa de acesta la cele doua temperaturi, va fi egal cu raportul radiatiei emisa de acesta la cele doua temperaturi si reflectata de jumatatea nevopsita a probei, ceea ce permite realizarea unui sistem de ecuatii din care se poate calcula emisivitatea probei (3).
2. Procedeu de masurare a emisivitatii unei suprafete, specifica unei camere IR (1), **caracterizat prin aceea ca** poate fi folosit si la obtinerea unei imagini termografice reale, data de radiatia emisa de o suprafata.



Ru

### Procedeu pentru masurarea emisivitatii specifice unei camere in infrarosu

Desene

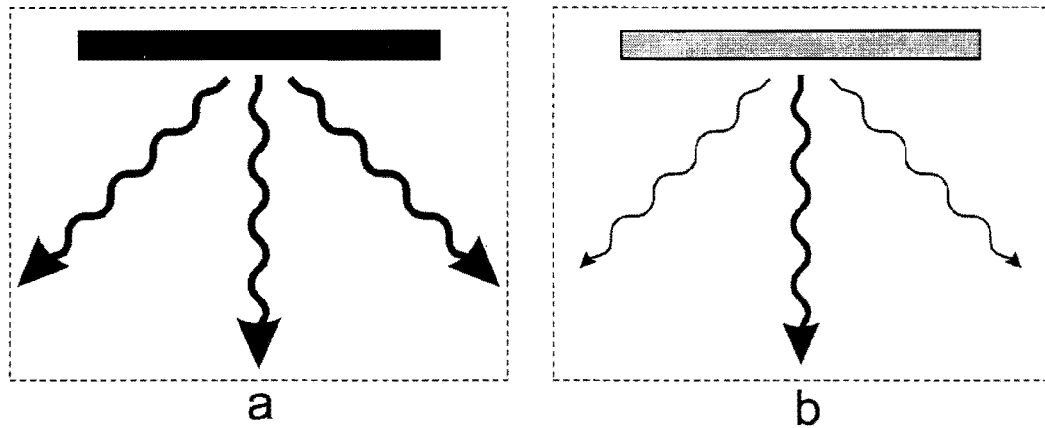


Figura 1

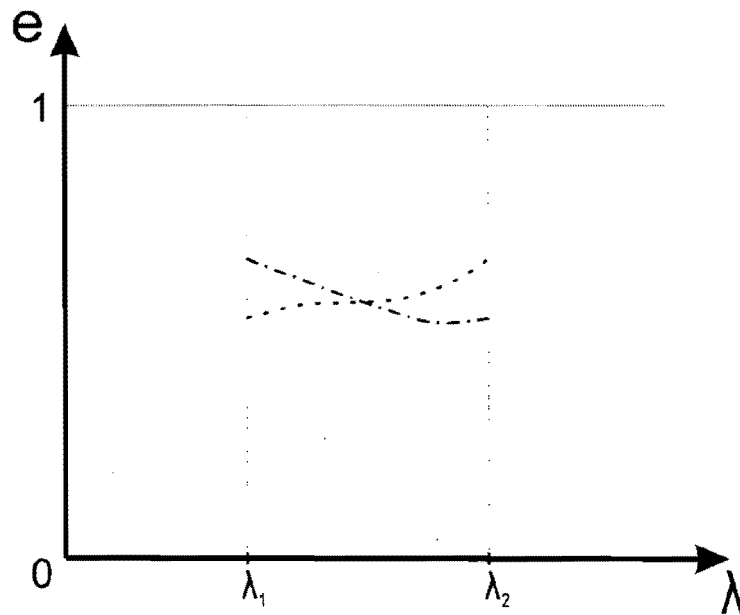


Figura 2



28

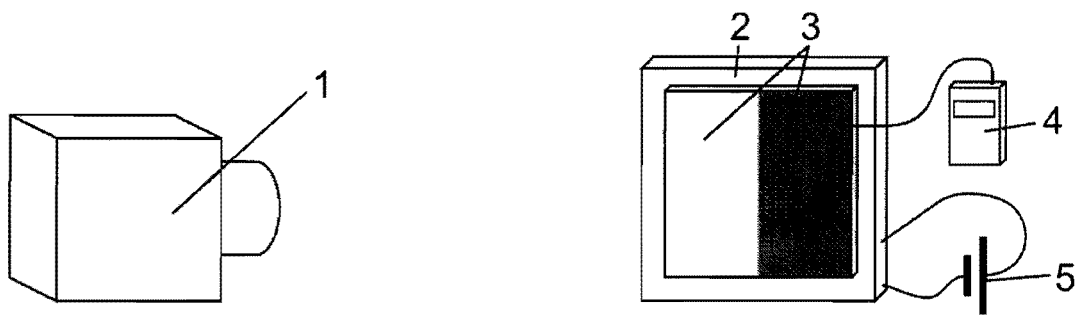


Figura 3.1

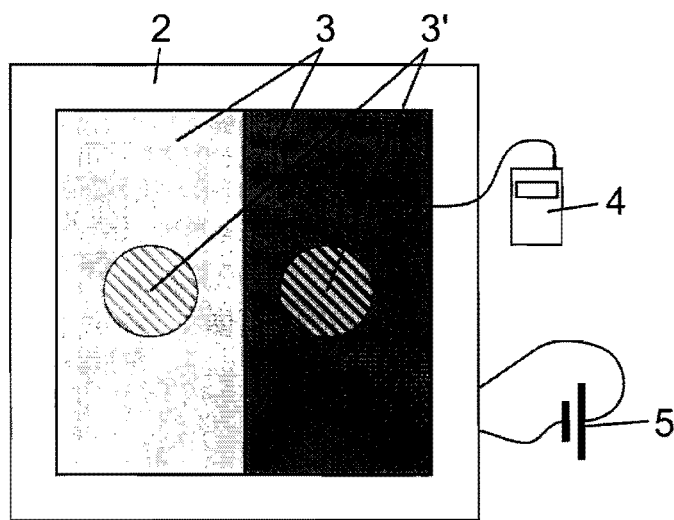
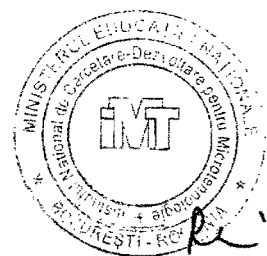


Figura 3.2





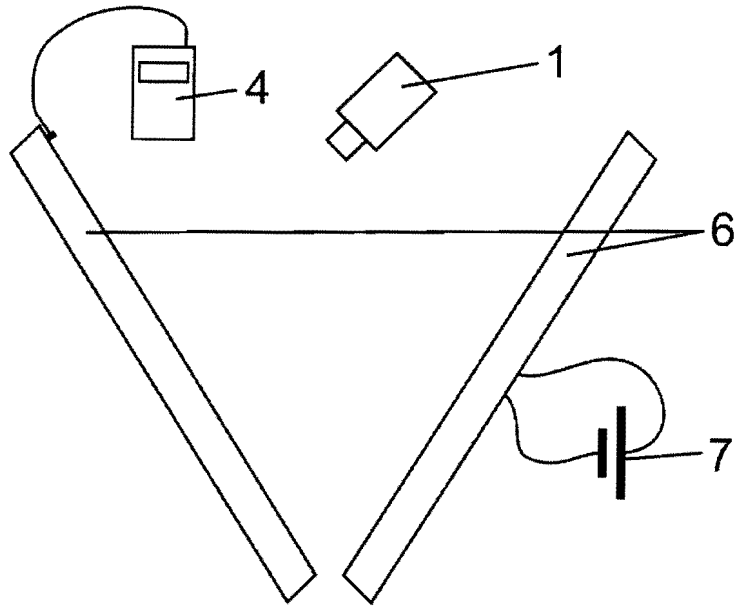


Figura 4.1

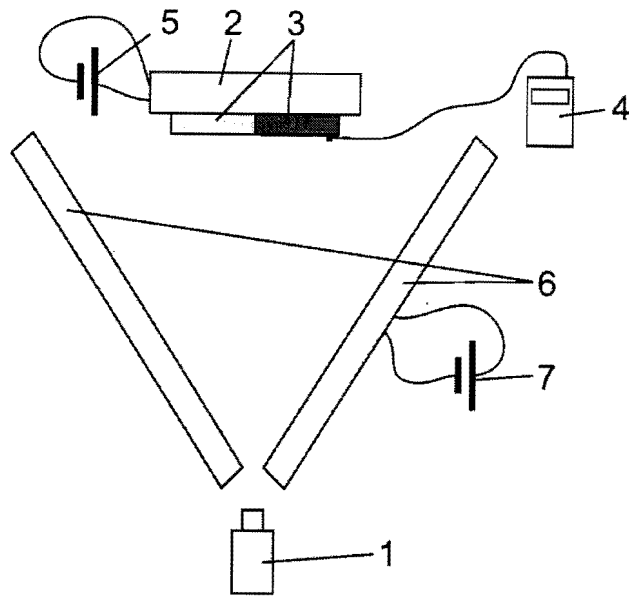


Figura 4.2



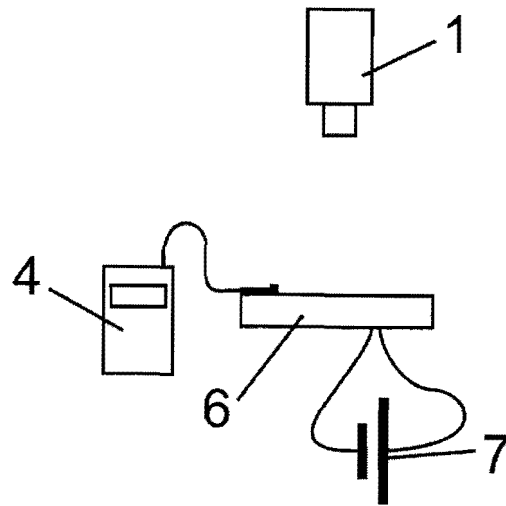


Figura 5.1

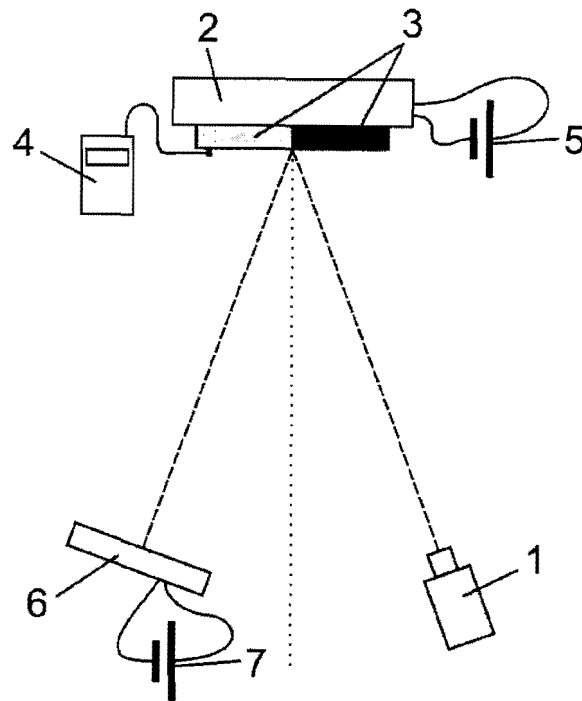
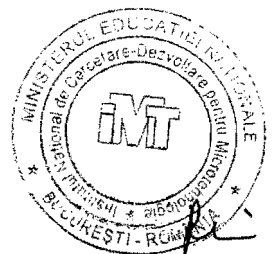


Figura 5.2



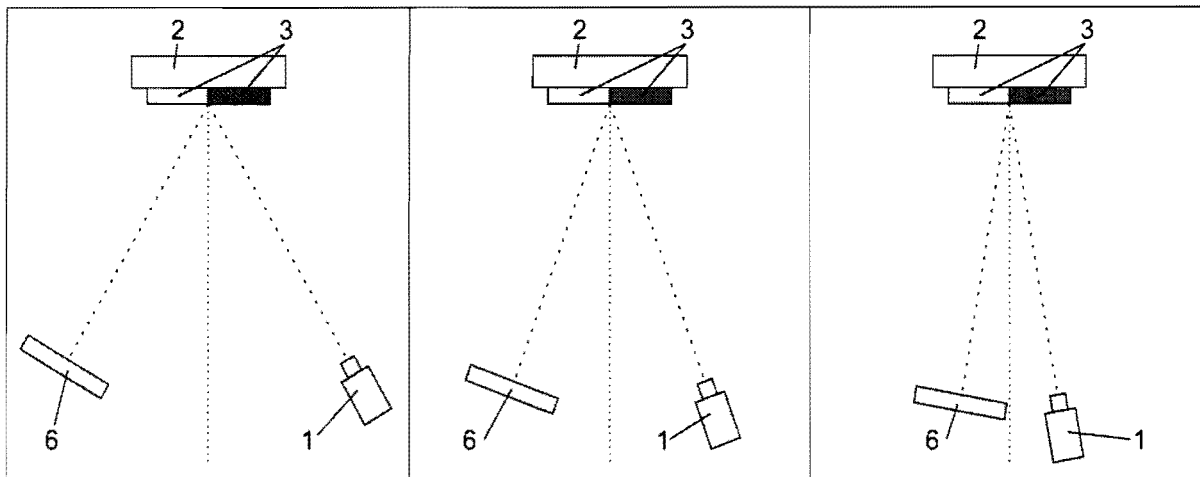


Figura 5.3

