



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2014 00957**

(22) Data de depozit: **05/12/2014**

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

(71) Solicitant:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
OPTOELECTRONICĂ - INOE 2000,
STR.ATOMIȘTILOR NR.409, MĂGURELE,
IF, RO;**
• **UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN
BUCUREȘTI, SPLAIUL INDEPENDENȚEI
NR.313, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO**

(72) Inventatori:
• **PUȘCAȘ NICOLAE, CALEA CĂLĂRAȘI
NR. 32, ET. 1, AP. 3, SECTOR 3,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **POPEȘCU AURELIAN, STR.ȘELIMBĂR
NR.27, MĂGURELE, IF, RO;**
• **MICLOȘ SORIN, CALEA GRIVIȚEI
NR.160, BL.B, SC.A, ET.9, AP.42,
SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **SAVASTRU DAN, STR.IANI BUZOIANI
NR.3, BL.16, SC.A, AP.2, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO;**

• **STAFE MIHAI, DRUMUL TABEREI NR. 42,
T6-89, SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **NEGUȚU CONSTANTIN, STR.
FĂT-FRŪMOS NR. 10, BL. P15, SC.4, ET.6,
AP. 119, SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **BASCHIR LAURENȚIU, STR. FETEȘTI
NR. 54-56, BL. 1, AP. 1, PARTER,
SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **SAVU VALERIU, STR. CĂTINEI NR.13,
BL.37 C, SC.C, AP.51, PLOIEȘTI, PH, RO;**
• **TĂUTAN MARINA, STR.EMIL RACoviȚĂ
NR.6, BL.R 1, SC.2, AP.45, SECTOR 4,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **VASILE GEORGIANA,
STR. DRUMUL BACRIULUI NR.44A, ET. 2,
AP. 23, SAT ROȘU, COMUNA CHIAJNA, IF,
RO;**
• **MIHĂILESCU MONA,
STR. NERVA TRAIAN NR.12, BL.M37, SC.3,
AP.76, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO**

(54) METODĂ ȘI DISPOZITIV DE MODULARE OPTICĂ A LUMINII

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o metodă și la un dispozitiv de modulare optică a luminii, care pot fi utile pentru elaborarea unor elemente optoelectronice diverse, folosite în procesarea optică a informației. Metoda de modulare optică a luminii, conform invenției, constă în trecerea unui fascicul de lumină monocromatică, ce se dorește a fi modulată, printr-o prismă ce are rolul de a micșora unghiul de incidență a fasciculului pe o structură formată dintr-un substrat realizat din același material cu prisma, sau dintr-un material cu indice de refracție cât mai apropiat de cel al prisme, substrat pe care sunt depuse un film metalic și un film calcogenic, producându-se o undă plasmonică, a cărei constantă de propagare este modificată de o sursă de lumină de excitație, incidentă pe suprafața externă a filmului calcogenic, și care modulează indicele de refracție a filmului calcogenic, producând modulația intensității fasciculului reflectat de pe suprafața filmului metalic, disponibil la ieșirea din prismă. Dispozitivul de modulare optică a luminii, conform invenției, este alcătuit dintr-o sursă (1) de lumină monocromatică, dintr-o prismă (2) ce are rolul de a micșora unghiul de incidență al unui fascicul pe structura modulatorie, dintr-un substrat (3) realizat din același material cu prisma, sau dintr-un material cu

indice de refracție cât mai apropiat de cel al prisme, substrat pe care sunt depuse un film (4) metalic și un film (5) calcogenic, dintr-o sursă (6) de lumină de excitație, și dintr-un fotodetector (8) ce recepționează fasciculul modulată.

Revendicări: 2
Figuri: 5

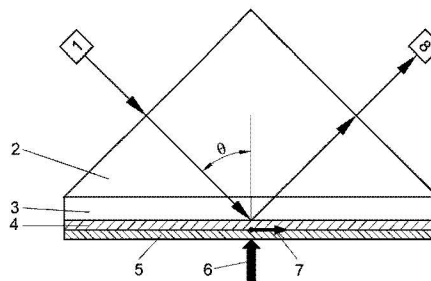


Fig. 4

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 invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



METODĂ ȘI DISPOZITIV DE MODULARE OPTICĂ A LUMINII

Invenția se referă la o metodă de modulare pur optică a luminii, care permite cuplarea luminii în unde plasmonice cu ajutorul unei prisme realizate dintr-un material optic ieftin și de largă răspândire, folosind o structură din patru straturi alcătuind un ghid de undă, și la un dispozitiv care aplică metoda. Invenția poate fi utilă pentru elaborarea a diverse elemente optoelectronice folosite în procesarea optică a informației.

Se cunoaște că în mulți compuși calcogenici amorfii de tip As-S, As-Se și alții, în urma iradierii materialelor, are loc modificarea transmisiei optice dacă energia fotonilor depășește energia benzii interzise. Modificarea transmisiei optice depinde de material, intensitatea luminii, temperatură și altele [V. M. Lyubin în „*Physics of Disordered Materials*”, Editori D. Adler, H.Fritzsche and S.R. Ovshinsky, Plenum Press, 1985, p. 673]. Aceste procese sunt cunoscute ca fenomene fotoinduse. Ele pot fi reversibile sau ireversibile și sunt explicate prin diverse modele, spre exemplu schimbări fotostructurale [H. Fritzsche, *Philosophical Magazine B*, 1993, vol. 68, p. 561-572]. Modificările absorbției optice și a indicelui de refracție sunt caracteristice pentru compușii calcogenici obținuți în stare amorfă, dar aceste modificări sunt, în general, mici pentru aplicații practice.

Pentru aplicații practice sunt necesare configurații optice speciale, care să asigure o sensibilitate mărită. Astfel, în lucrarea [A M Andriesh, I P Culeac and V M Loghin, *Pure Appl. Opt. 1*, 1992, p. 91] se studiază absorbția optică fotoindusă în fibre optice din compuși calcogenici. Ei explică aceste fenomene prin excitarea purtătorilor de sarcini (electroni-găuri) de non-echilibru care pot fi localizați pe diverse niveluri energetice distribuite cvasi-continuu. O consecință a acestui model este posibilitatea de modulare a luminii ce se propagă în fibra optică cu o lumină de excitare, situată lateral, modularea lumină-lumină în fibre optice producându-se la intensități foarte joase. Neajunsul acestei metode se datorează faptului că necesită un drum optic mare, de câțiva metri, precum și dezvoltarea unei tehnologii de obținere a fibrelor optice din aceste materiale.

O altă posibilitate de creștere a sensibilității în vederea depistării unor variații mici a indicelui de refracție constă în realizarea unei configurații din filme subțiri multistrat în care se realizează rezonanța plasmonică de suprafață. Pe acest principiu sunt construiți diverși senzori chimici, în special biosenzori sensibili la mediul ambiant care se află în contact nemijlocit cu structura plasmonică.

O soluție mai bună este modulatorul pur optic de tip „lumină-lumină” al cărui principiu a fost demonstrat experimental în lucrarea [Zsolt L. Sámson, Shih-Chiang Yen, Kevin F.

MacDonald et al., "Chalcogenide glasses in active plasmonics", *Phys. Status Solidi RRL*, Vol. 4, Issue 10, p. 274–276, (2010) / DOI 10.1002/pssr.201004252].

În acest scop s-a folosit o configurație plasmonică din trei straturi cu film calcogenic și cuplarea luminii cu undă plasmonică de suprafață prin metoda câmpului electromagnetic evanescent, cunoscută ca metoda Kretschmann. Pentru ca această configurație să suporte propagarea plasmonilor de suprafață s-a folosit o prismă din rutil cristalin, care se caracterizează printr-un indice de refracție mare, aproximativ egal cu cel al filmului calcogenic. Pe această prismă s-a depus filmul din aur, apoi filmul din compusul calcogenic de tip Ga:La:S. S-a obținut modularea luminii de probă de circa 3 % la iluminarea laterală cu un bec ce radiază lumină albă.

Dezavantajele principale ale acestor soluții constau în aceea că metoda are limitări în privința materialelor folosite pentru prismă, anume sunt necesare materiale cu indice de refracție mare, aproximativ egal cu cel al filmului calcogenic. Gama acestor materiale este limitată și costul lor este considerabil.

Metoda conform invenției înlătură dezavantajele arătate mai înainte prin aceea că ea permite cuplarea luminii în unde plasmonice cu ajutorul unei prisme realizate dintr-un material optic ieftin și de largă răspândire, folosind o structură din patru straturi.

Problema tehnică pe care prezenta invenție își propune să o rezolve constă în elaborarea unei metode care să permită folosirea unei prisme din sticlă oxidică convențională, cu indice de refracție mic, și care să asigure cuplarea luminii în structura plasmonică ce conține un film calcogenic amorf, sensibil la iluminare. Metoda care asigură cuplarea luminii în unde plasmonice folosindu-se prisma dintr-un material optic ieftin și de largă răspândire (sticlă BK7, spre exemplu), conform invenției, constă în folosirea unei structuri din patru straturi, în care filmul calcogenic formează un ghid de undă și care, în anumite intervale de grosimi, are un indice efectiv de refracție mai mic decât cel al prisme.

Configurația constituită din patru straturi de tipul IMII (izolator-metal-izolator/calcogen-izolator) și care formează o structură plasmonică este prezentată în Fig. 1. Stratul 1 e un strat metalic de grosime a , stratul 2 este un film calcogenic de grosime d , iar straturile 3 și 4 sunt considerate semiinfinite și sunt formate din medii dielectrice (unul poate fi aer și altul poate fi prisma).

Pentru a obține ecuația de propagare în structura cu patru straturi de tipul IMII (izolator-metal-izolator/calcogen-izolator, Fig. 1), se scriu ecuațiile de undă pentru fiecare strat, care satisfac condițiile de continuitate la interfața dintre straturi (Se examinează cazul unidimensional după axa z pentru modurile TE, respectiv TM):

$$\frac{\partial^2 \vec{E}_y}{\partial x^2} + (k_0^2 \varepsilon(z) - \beta^2) \vec{E}_y = 0 \quad (1) \quad \text{și} \quad \frac{\partial^2 \vec{H}_y}{\partial x^2} + (k_0^2 \varepsilon - \beta^2) \vec{H}_y = 0 \quad (2)$$

În ecuațiile (1) și (2) $k_0 = \omega/c$ este vectorul de undă, ε_i – constanta dielectrică a mediului respectiv, iar $\beta = k_z$ este constanta de propagare a undelor. Ecuația dispersiei corespunzătoare configurației examinate în Fig. 1 se obține sub forma

$$e^{2k_2 d} = \left(\frac{k_2 + Q \cdot k_3}{k_2 - Q \cdot k_3} \right) \cdot \left(\frac{k_2 - P \cdot k_1}{k_2 + P \cdot k_1} \right) \left(\frac{1 + \frac{(k_2 + P \cdot k_1) \cdot (P \cdot k_1 - R \cdot k_4)}{(k_2 - P \cdot k_1) \cdot (P \cdot k_1 + R \cdot k_4)} e^{-2k_1 a}}{1 + \frac{(k_2 - P \cdot k_1) \cdot (P \cdot k_1 - R \cdot k_4)}{(k_2 + P \cdot k_1) \cdot (P \cdot k_1 + R \cdot k_4)} e^{-2k_1 a}} \right) \quad (3)$$

$$\text{unde } P = \begin{cases} \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} & \text{for TM} \\ 1 & \text{for TE} \end{cases}, \quad Q = \begin{cases} \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_3} & \text{for TM} \\ 1 & \text{for TE} \end{cases}, \quad R = \begin{cases} \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_4} & \text{for TM} \\ 1 & \text{for TE} \end{cases}$$

iar $2a$ este grosimea filmului metalic; k_i sunt vectorii de undă transversali.

Pentru descrierea propagării undelor electromagnetice în medii cu patru straturi, ecuația caracteristică poate fi scrisă sub forma:

$$d = \frac{\arctan(f) + \arctan(g) + m \cdot \pi}{\bar{k}_2}, \quad (4)$$

$$\text{unde } f = \left(\frac{P \cdot k_1}{\bar{k}_2} \right) \frac{1-s}{1+s}, \quad g = \frac{Q \cdot k_3}{\bar{k}_2}, \quad s = \frac{P \cdot k_1 - R \cdot k_4}{P \cdot k_1 + R \cdot k_4} e^{-2k_1 a}$$

d este grosimea filmului calcogenic, f și g sunt parametri caracteristici structurii menționate.

Ecuația (4) fiind de formă transcendențială a fost rezolvată numeric pe baza algoritmului Newton și a unui program elaborat în MATLAB. Pentru simulările numerice în cazul structurii din Fig. 1 s-a considerat că substratul 4 este realizat din sticlă BK7, stratul 1 este din Au ($a = 50$ nm), stratul 2 este filmul calcogenic de As_2S_3 ($n_2 = 2,45$), iar stratul 3 este aerul. În cazul utilizării unui laser cu He-Ne pentru iradiere ($\lambda = 632,8$ nm) au fost evaluate constantele de propagare în cazul modurilor TM și TE funcție de grosimea filmului calcogenic, rezultatele simulărilor numerice fiind prezentate în Fig. 2.

Din Fig. 2 rezultă că în cazul folosirii prisme din BK7, care are indicele de refracție 1,51, modul TM0 nu poate fi excitat, întrucât indicele efectiv de propagare este mai mare decât cel al materialului din care este realizată prisma. Restul modurilor (TM1-TM3 și TE0-TE3), pentru anumite grosimi ale filmului calcogenic, pot fi excitate. Acestea corespund condițiilor de realizare a constantei de propagare în intervalul 1,0-1,51, adică nu mai mare decât indicele de refracție a materialului din care este fabricata prisma. Spre exemplu, din Fig. 2 se vede că modul TM4 poate fi excitat prin metoda undei evanescente doar pentru grosimi ale filmului calcogenic în intervalul 0,4-0,45 μm , iar modul TE1 pentru grosimi în intervalul 0,2-0,25 μm .

În Fig. 3 (sus) este prezentată valoarea reflectanței luminii de probă funcție de unghiul de incidență pentru două valori ale indicelui de refracție, care diferă cu 0,001. Aceasta variație se poate obține în urma iluminării filmului cu lumina de excitație (lumină de culoare verde pentru As_2S_3). Tot în Fig. 3 (jos) este prezentată variația reflectanței funcție de indicele de refracție a filmului. Se observă o schimbare a reflectanței de la 5% la 18% pentru schimbări ale indicelui de numai 0,02.

A fost dezvoltat un montaj experimental, în vederea verificării validității simulărilor efectuate. Montajul corespunde schemei din Fig. 4. Prisma de 90° (2) are un unghi la baza de 45° și este realizată din sticlă BK7. De baza prisme este lipită o lamelă (4) realizată dintr-un material cu parametri optici apropiați de materialul din care este fabricată prisma. Pentru îmbinare se folosește un ulei de imersie (3) în scopul de a elimina reflexia luminii dintre aceste două materiale. Suprafața exterioară a lamelei conține un film din aur (5) cu grosimea 50 nm. Lamela cu filmul depus este una de tip comercial. Laserul utilizat ca radiație de probă este unul de tip He-Ne polarizat. Înregistrarea se face cu o fotodioda (8). Radiația laserului cu argon (6), de culoare verde, induce mici modificări ale indicelui de refracție a filmului format din material As_2S_3 amorf.

Modificările reflectanței obținute în urma modulației cu lumina verde (6) sunt înregistrate și memorizate de un osciloscop digital. La intrare sunt următoarele semnale:

- pe canalul 1 (curbe de culoare galbenă în Fig. 5) se înregistrează semnalul de la ieșirea detectorului optic, după amplificare;
- pe canalul 2 (reprezentat cu culoarea albastră în Fig. 5) semnalul de comanda al obturatorului, nivelul de +5V reprezintă acțiunea fasciculului laserului ce funcționează pe lungimile de undă de 488 nm și 514 nm iar nivelul -5V reprezintă întreruperea acestui fascicul.

În Fig. 5 se observă (cu galben) modificarea intensității luminii reflectate, nivelul maxim este de 900 mV și cel minim de 70 mV. Frontul crescător este de 0,2 s între minim și maxim iar cel descrescător este de 0,2 s de la 900 mV până la 370 mV. În Fig. 5. (dreapta) s-a modificat perioada de acționare a obturatorului de la 4,4 s la 1 s. Valorarea maximă a semnalului de pe

canalul 1 este de 900 mV ca și în cazul precedent (deci nu se modifică amplitudinea efectului rezonanței plasmonice) și are perioada de acționare egală cu semnalul fascicului laser cu argon.

Invenția prezintă următoarele avantaje:

- ieftinirea fabricării prisme, folosindu-se o prismă dintr-un material ieftin și de mai multe ori;
- simplificarea tehnologiei întrucât nu necesită depunerea filmului din aur;
- folosirea unei lamele standard cu film din aur care se pune în contact optic cu prisma prin folosirea uleiului de imersie.

În Fig. 1 este prezentată structura cu 4 straturi IMII (dielectric – metal – dielectric – dielectric) folosită.

Structura cuprinde următoarele 4 medii:

- mediul 1 - filmul metalic de grosime d
- mediul 2 - filmul calcogenic de grosime a
- mediul 3 - aer (mediu dielectric semi-infinit)
- mediul 4 - sticlă (materialul prisme și al substratului, mediu dielectric semi-infinit)

În Fig. 2 este prezentat indicele de refracție efectiv obținut în urma simulărilor numerice a structurii cu patru straturi și variația acestuia funcție de grosimea filmului calcogenic d . În diagrama de sus a Fig. 2 sunt prezentate variațiile indicelui de refracție efectiv cu grosimea filmului calcogenic pentru primele 4 moduri TM (TM_0 , TM_1 , TM_2 și TM_3) iar în diagrama de jos sunt prezentate variațiile indicelui de refracție efectiv cu grosimea filmului calcogenic pentru primele 4 moduri TE (TE_0 , TE_1 , TE_2 și TE_3).

În Fig. 3 sunt prezentate curbele de rezonanță obținute în urma simulărilor numerice efectuate în mediul MATLAB. În partea de jos a acestei figuri este prezentată variația reflectanței obținute în urma schimbărilor indicelui de refracție a filmului din As_2S_3 .

În Fig. 4 este prezentată schema de principiu a dispozitivului. Aici s-au notat cu 1 sursa de lumină monocromatică care generează fascicului de lumină ce se dorește a fi modulată, cu 2 prisma ce permite micșorarea unghiului de incidență a fascicului ce se modulează, cu 3 substratul din aceeași sticlă folosită la realizarea prisme sau alt material cu indice de refracție foarte apropiat, substrat pe care se depun atât filmul metalic cât și filmul calcogenic, cu 4 filmul metalic de pe cealaltă față a substratului decât cea care se lipește de prismă, cu 5 filmul calcogenic de pe filmul metalic, cu 6 sursa de lumină de excitație care asigură modulația fascicului de lumină ce se dorește a fi modulată, cu 7 unda plasmonică rezultată și cu 8 fotodetectorul care recepționează fascicului de lumină modulată.

În Fig. 5 sunt prezentate, ca exemplu de realizare, rezultatele unor experimentări.

O formă preferată de realizare a invenției se prezintă în continuare, în reprezentare schematică, în legătură cu Fig. 4. Conform invenției, dispozitivul este alcătuit dintr-o sursă de lumină monocromatică (1), o prismă (2) ce are rolul de a micșora unghiul de incidență a fasciculului ce se modulează pe structura modulatorie, un substrat (3) realizat din același material cu prisma sau dintr-un material cu indice de refracție cât mai apropiat de cel al prisme, substrat pe care este depus un film metalic (4) și un film calcogenic (5), o sursă de lumină de excitație (6) cu energia fotonilor mai mare decât banda interzisă a filmului calcogenic și un fotodetector (8) care recepționează fasciculul modulat.

REVENDICĂRI

1. Metodă de modulare pur optică a luminii, caracterizată prin aceea că permite cuplarea luminii în unde plasmonice cu ajutorul unei prisme realizate dintr-un material optic ieftin și de largă răspândire, folosind o structură din patru straturi alcătuită dintr-un ghid de undă și un fascicul de lumină monocromatică ce se dorește a fi modulat este trecut printr-o prismă ce are rolul de a micșora unghiul de incidență a fasciculului pe o structură formată dintr-un substrat realizat din același material cu prisma sau dintr-un material cu indice de refracție cât mai apropiat de cel al prisme, substrat pe care este depus un film metalic și un film calcogenic, producându-se o undă plasmonică a cărei constantă de propagare este modificată de o sursă de lumină de excitație cu energia fotonilor mai mare decât banda interzisă a filmului calcogenic incidentă pe suprafața externă a filmului calcogenic și care modulează indicele de refracție a filmului calcogenic, producând modulația intensității fasciculului reflectat de suprafața filmului metalic, ce este disponibil la ieșirea din prismă.
2. Dispozitiv de modulare pur optică a luminii prin metoda definită în revendicarea 1, caracterizat prin aceea că este alcătuit dintr-o sursă de lumină monocromatică (1), o prismă (2) ce are rolul de a micșora unghiul de incidență a fasciculului ce se modulează pe structura modulatorie, un substrat (3) realizat din același material cu prisma sau dintr-un material cu indice de refracție cât mai apropiat de cel al prisme, substrat pe care este depus un film metalic (4) și un film calcogenic (5), o sursă de lumină de excitație (6) cu energia fotonilor mai mare decât banda interzisă a filmului calcogenic și un fotodetector (8) care recepționează fasciculul modulat.

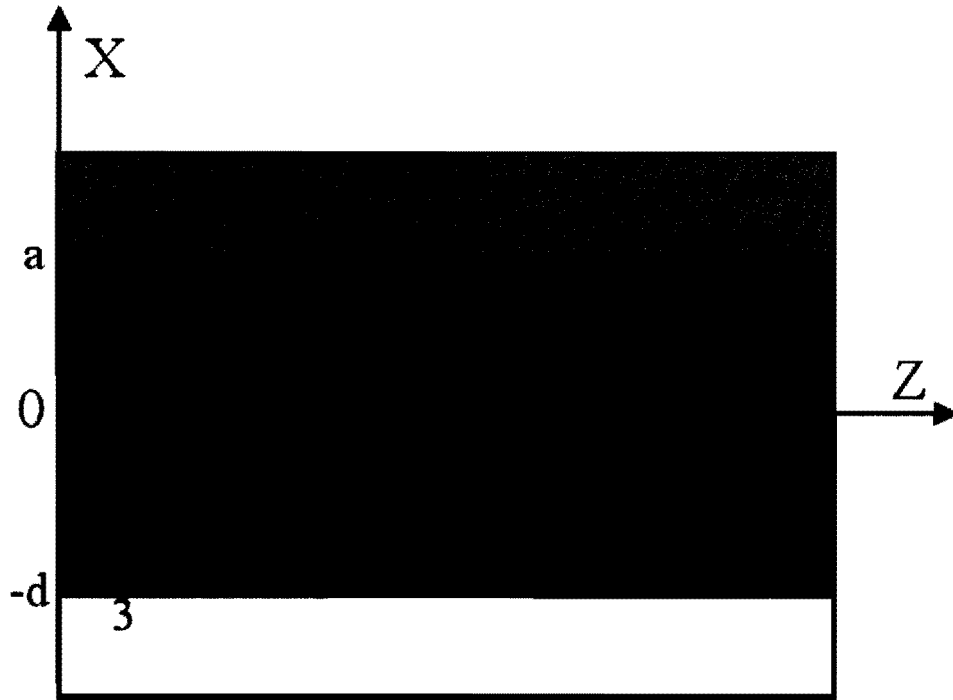


Fig. 1.

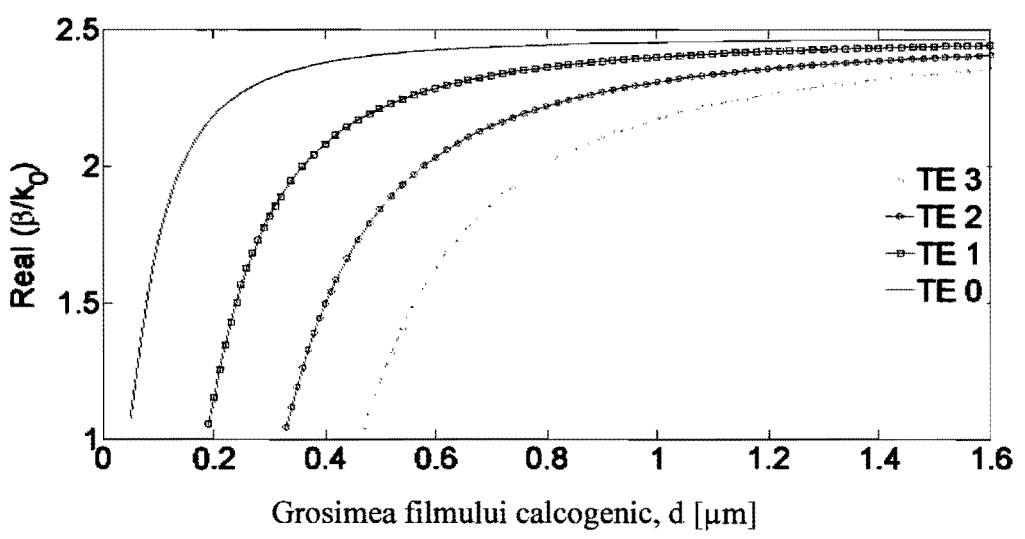
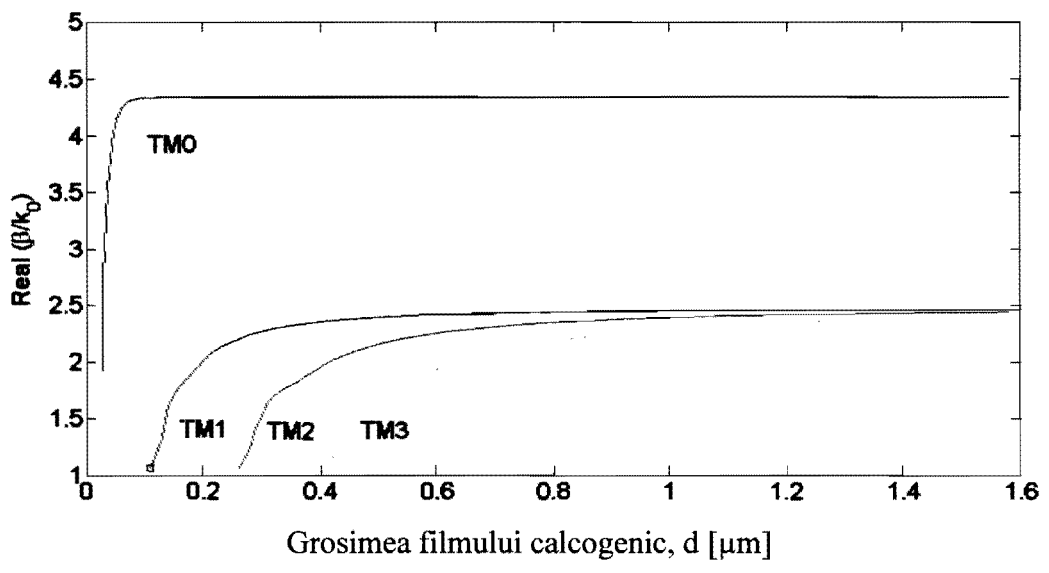


Fig. 2.

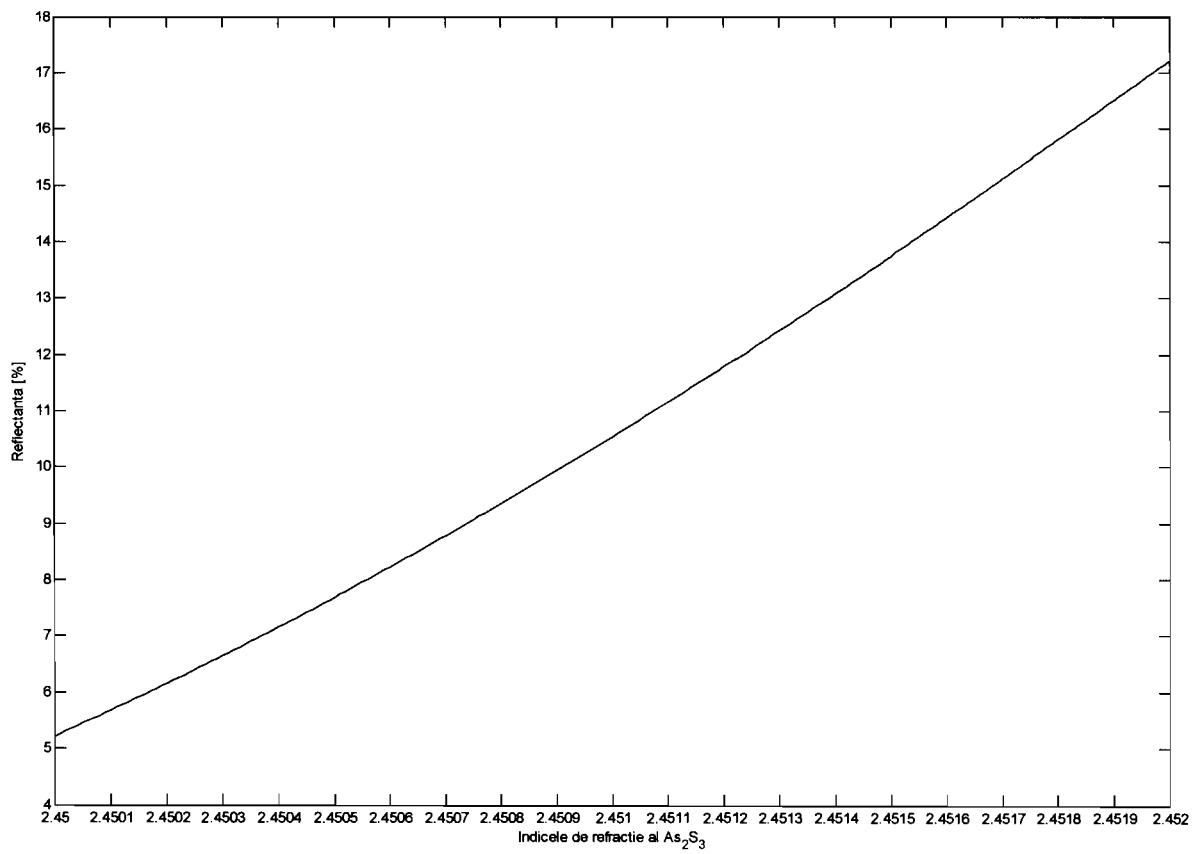
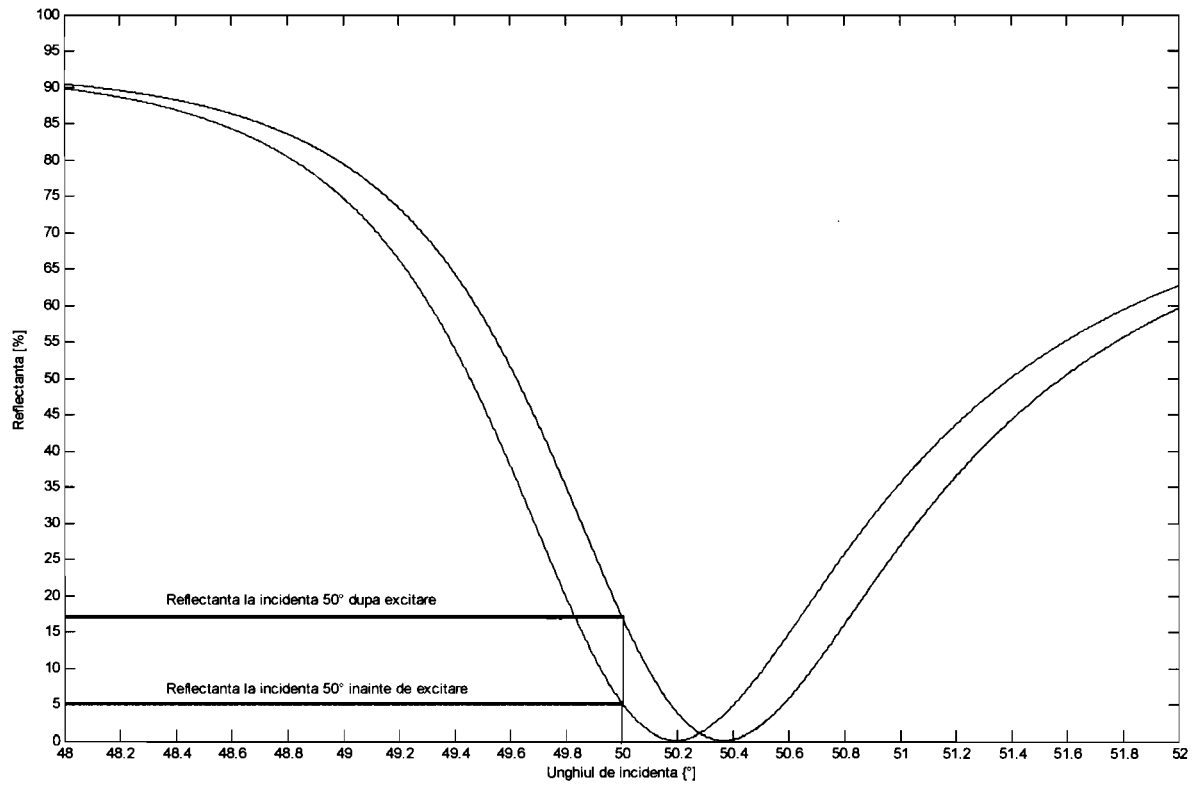


Fig. 3.

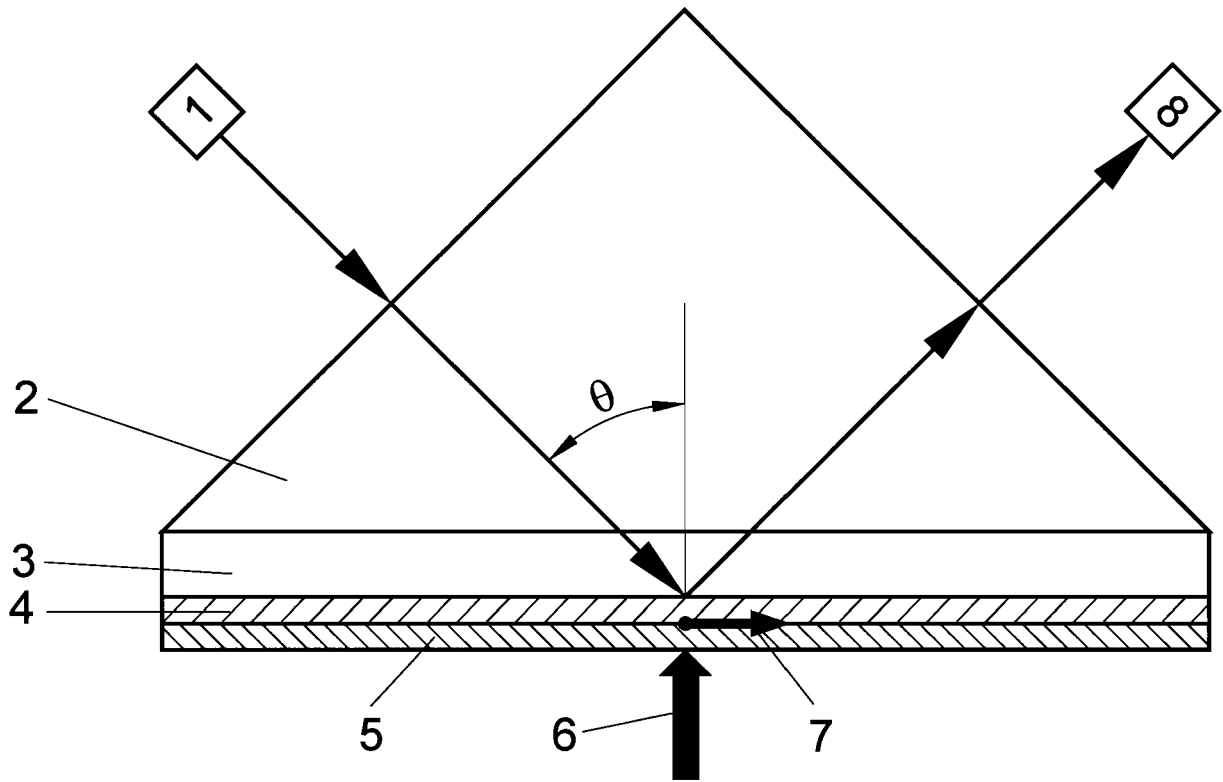


Fig. 4.

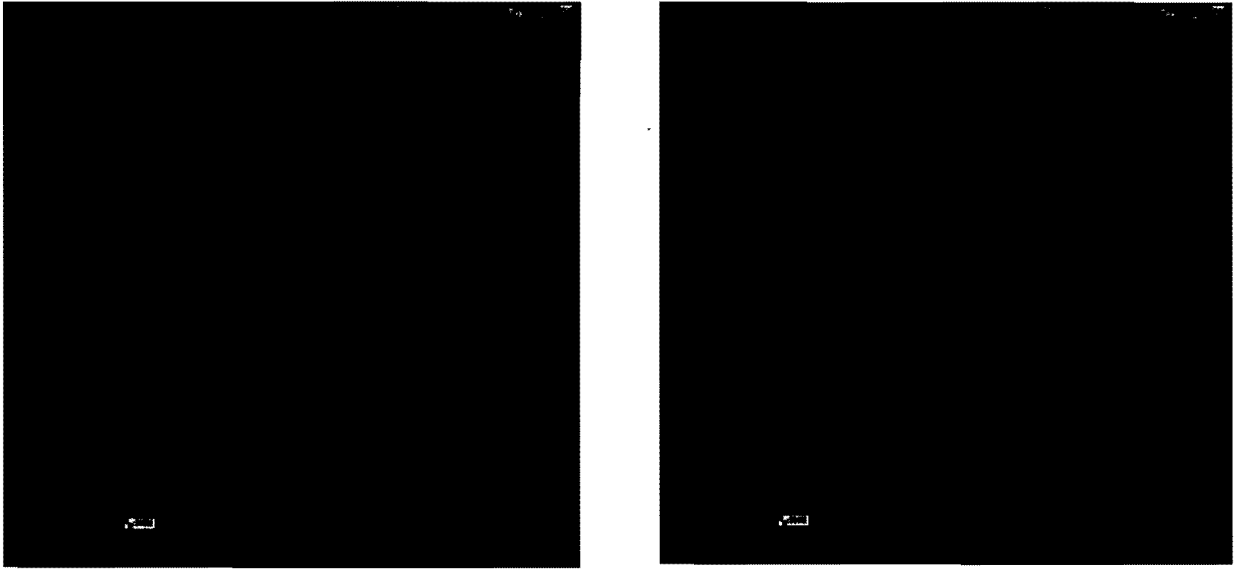


Fig. 5.