



(12)

## BREVET DE INVENȚIE

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

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

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/09/2021** BOPI nr. **9/2021**

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

(73) Titular:

- **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;**
- **POPESCU 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-FRUMOS 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**

(56) Documente din stadiul tehnicii:

**CN 1818742 A; CN 104020589**

(54) **STRUCTURĂ ȘI DISPOZITIV DE MODULARE OPTICĂ**



# RO 131293 B1

1           Invenția se referă la o structură de modulare pur optică a luminii fără a folosi  
conexiuni electrice și la un dispozitiv de modulare optică a luminii care aplică această struc-  
3           tură. Invenția este utilă pentru elaborarea a diverse elemente optoelectronice folosite în  
procesarea optică a informației și în comunicații optice.

5           În prezent, pentru compușii calcogenici amorfii de tip As-S, As-Se este cunoscut  
faptul că în urma iradierii materialelor cu lumină are loc modificarea transmisiei optice dacă  
7           energia fotonilor depășește energia benzii interzise a materialului. Modificarea transmisiei  
optice depinde de material, de intensitatea luminii, de temperatură ș.a [V. M. Lyubin în  
9           cartea „*Physics of Disordered Materials*”, Editori D. Adler, H.Fritzsche and S.R.  
Ovshinsky, Plenum Press, 1985, pag.673]. Aceste procese sunt cunoscute ca fenomene  
11          fotoinduse. Acestea pot fi reversibile sau ireversibile și sunt explicate prin diverse modele  
respectiv schimbări fotostructurale [1. H. Fritzsche, “*Philosophical Magazine B*”, 1993,  
13          vol. 68, pag. 561-572]. Modificările absorbției optice și a indicelui de refracție sunt  
caracteristice pentru compușii calcogenici obținuți în stare amorfă, dar aceste modificări sunt  
15          în general mici pentru aplicații practice.

17          Pentru aplicații practice sunt necesare configurații optice speciale care să asigure o  
sensibilitate mărită. Astfel, în lucrarea [2. A. M. Andriesh, I. P. Culeac and V. M. Loghin,  
19          *Pure Appl. Opt.* 1, 1992, pag. 91] se studiază absorbția optică fotoindusă în fibre optice  
din compuși calcogenici. Se explică ea aceste fenomene prin excitarea purtătorilor de sarcini  
(electroni-găuri) de non-echilibru care pot fi localizate pe diverse niveluri energetice distribuite  
21          cuasi-continuu. O consecință a acestui model constă în posibilitatea de modulare a luminii  
ce se propagă în fibra optică cu o altă lumină, numită lumină de excitare, situată lateral și  
23          care iluminează fibra din exterior. Modularea lumină-lumină în fibre optice producându-se  
la intensități foarte joase. Neajunsul acestei metode se datorează faptului că necesită un  
25          drum optic mare, de câțiva metri precum și dezvoltarea unei tehnologii de obținere a fibrelor  
optice din aceste materiale.

27          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  
29          se realizează rezonanța plasmonică de suprafață. La interfața metal-izolator se poate pro-  
paga o undă plasmon-polaritonică confinată pe suprafață la distanțe mai mici decât lungimea  
31          de undă. În condiții când viteza de propagare a luminii incidente coincide cu viteza undei  
plasmon-polaritonice are loc o interacțiune puternică, lumina este absorbită iar intensitatea  
33          luminii reflectate scade până la zero. Reflectanta devine zero pentru anumite valori ale  
unghiului de incidență a luminii pe structură și depinde atât de indicele de refracție a  
35          izolatorului cât și a mediului ambiant.

37          Pe acest principiu sunt construiți diverși senzori chimici, în special bio-senzori,  
sensibili la indicele de refracție al mediului ambiant care se află în contact nemijlocit cu  
39          structura plasmonică. O altă aplicație a rezonanței plasmonice constă în realizarea modula-  
torilor optici, care are loc atunci când indicele de refracție al izolatorului (izolatorul are sens  
și de dielectric) este modificat de un camp extern. Aceasta duce la deplasarea minimumului de  
41          rezonanță și respectiv la modularea luminii reflectate de structura plasmonică. Se cunosc  
mai multe principii de modulare a luminii și anume modulare electro-optică, magneto-optică,  
43          acusto-optică, modulare mecanică ș.a.

45          Modularea electro-optică este cea mai răspândită și constă în modificarea indicelui  
de refracție al izolatorului într-un câmp electric obținut prin aplicarea tensiunii electrice pe  
electrozi metalici.

# RO 131293 B1

Pe acest principiu s-a bazat invenția **CN 1818742 A** din 03.16.2006, care protejează o metodă și dispozitiv de modulare electro-optică a luminii. Modulatorul constă dintr-o prismă pe baza căreia s-a creat o structură multistrat ce conține doi electrozi metalici între care se află un strat din polimer poliacril ca mediu activ și un strat izolator din polimetil-metacrilat. În invenție se folosește efectul electro-optic secundar de tip Kerr. Prisma are indicele de refracție 1,78 și este o sticlă oxidică de tip flint greu iar poliacrilul are indicele de refracție 1.616. Electrocul metalic de la baza prisme este din aur. Așa cum este menționat în acest brevet s-a urmărit ca indicele de refracție al prisme să fie mai mare decât al polimerului poliacrilic, astfel prin ajustarea unghiului de incidență a luminii pe prismă să fie posibilă excitarea spectrului modurilor pe care acest polimer le susține ca ghid de undă.

În brevetul **CN 104020589 A** din 09.03.2014 se descrie o structură de modulator electro-optic cu grafen. Grafenul este un material modern nano structurat ce reprezintă o structură cristalină 2D care se poate auto-asambla. Grafenul conduce curentul electric și este transparent optic. Aplicarea tensiunii modifică nivelul Fermi și totodată indicele de refracție corelat cu acesta. Structura conține un sistem de cuplare compus dintr-o prismă cu indice de refracție mai mare (1,6 în exemplul prezentat) și un dielectric cu indice de refracție mai mic (1,37 în exemplul prezentat). Fasciculul de lumină este orientat pe stratul de grafen sub un unghi aproape de reflecția totală. Structura conține de asemenea un electrod transparent realizat din ZnO-dopat. Aplicarea tensiunii electrice între stratul de grafen și filmul din ZnO perturbă reflecția totală și modulează intensitatea luminii reflectate.

Dezvoltarea rețelelor de fibre optice și de optică integrată necesită modulatele de lumină pur optice, astfel ca semnalul optic să fie modulată cu alt fascicul de lumină. Aceste modulatele nu conțin electrozi metalici pe care să fie aplicată o tensiune și pot funcționa în câmpuri electrice mari fiind acționate de la distanțe de ordinul kilometrului și nu sunt sensibili la zgomotul electromagnetic. Dezvoltarea acestui tip de modulatele prezintă un interes de actualitate pentru fonică și opto-electronică.

O soluție apropiată de esența invenției noastre este modulatorul pur optic de tip „lumină-lumină” principiul căruia a fost demonstrat experimental în lucrarea [3. **Zsolt L. Sámson, Shih-Chiang Yen, Kevin F. MacDonald et al, "Chalcogenide glasses in active plasmonics", Phys. Status Solidi RRL, Vol. 4, Issue 10, pages 274-276, (2010)/DOI 10.1002/pssr. 201004252**].

În acest scop s-a folosit o configurație multistrat în care se realizează rezonanța plasmonică de suprafață ce constă dintr-un film subțire din aur și un film calcogenic de tip GaLaS. Cuplarea fluxului de lumină cu unda plasmonică de suprafață prin metoda câmpului electromagnetic evanescent este cunoscută ca metoda Kretschmann. Pentru ca și configurația să suporte propagarea undei plasmonice de suprafață s-a folosit o prismă din material TiO<sub>2</sub> (rutil) cristalin, care se caracterizează printr-un indice de refracție mare, aproximativ egal cu cel al filmului calcogenic GaLaS. Pe suprafața de la baza acestei prisme s-a depus filmul subțire din aur, apoi filmul din compusul calcogenic de tip GaLaS. Astfel s-a obținut o modulare a luminii ce se reflectă de pe baza prisme numită lumină de probă, de circa 3% la iluminarea laterală cu un bec ce emite lumină albă.

Dezavantajele principale ale acestei soluții constau în faptul că metoda are limitări în privința materialelor folosite pentru obținerea prisme și anume sunt necesare materiale cu indice de refracție aproximativ egal sau mai mare decât cel al filmului calcogenic. Materialele calcogenice amorfă se caracterizează printr-un indice de refracție mai mare de 2,4. Conform analizelor, pentru fabricarea prisme sunt necesare materiale cu indice de refracție mai mare de 2,4. Astfel, poate fi selectat monocristalul din fosfură de galiu care are indicele de refracție 3,20 sau diamantul care are indicele de refracție 2,42.

# RO 131293 B1

1 Gama acestor materiale este limitată și costul lor este considerabil ridicat.  
2 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în cuplarea luminii într-o structură  
3 plasmonică pentru modularea optică a luminii reflectate de această structură.

4 Soluția tehnică propusă este bazată pe utilizarea modificării fotoinduse a indicelui de  
5 refracție în urma iluminării filmelor din materiale cu efect fotoindus cat mai pronunțat.  
6 Fenomenul cel mai pronunțat este caracteristic filmelor din materiale calcogenice amorf.  
7 Pentru mărirea efectului de schimbare a reflectantei optice este propusă o soluție tehnică  
8 bazată pe încadrarea filmului calcogenic amorf într-o structură de rezonanță plasmonică.  
9 Referitor la cuplarea luminii este importantă utilizarea prismelor din materiale cu indice de  
10 refracție mai mic decât cel al filmului calcogenic spre exemplu sticlele oxidice. Tehnologia  
11 acestor materiale este dezvoltată (cunoscută) și ieftină.

12 Structura de modulare pur optică a luminii, conform invenției, include o prismă de  
13 cuplare a luminii, un substrat în formă de lamelă pe care, pe partea din față, sunt depuse un  
14 film metalic și un film din material calcogenic amorf care împreună formează o configurație  
15 de rezonanță plasmonică, substratul fiind alipit cu partea din spate de prisma de cuplare  
16 folosind ulei de imersie, structura fiind caracterizată prin aceea că indicele de refracție al  
17 prisme este mai mic decât cel al filmului calcogenic, iar pentru cuplarea luminii filmul  
18 calcogenic are anumite grosimi, valoarea cărora iese din calcule.

19 Dispozitivul de modulare pur optică a luminii folosind structura definită mai sus,  
20 conform invenției, este alcătuit dintr-o sursă de lumină monocromatică, o prismă, un substrat,  
21 în formă de lamelă, realizat din același material cu prisma sau dintr-un material cu indice de  
22 refracție cât mai apropiat de cel al prisme, substrat pe care este depus un film metalic și un  
23 film calcogenic, o sursă de lumină de excitație cu energia fotonilor mai mare decât banda  
24 interzisă a filmului calcogenic și un fotodetector care recepționează fasciculul modulat.

25 Invenția prezintă următoarele avantaje:

26 - costul scăzut pentru fabricarea prisme, utilizandu-se prisme dintr-un material cu un  
27 cost scăzut având la baza o tehnologie dezvoltată (sticle oxidice de tip crown flint și alte  
28 materiale cu indice de refracție în domeniul 1,4-1,68);

29 - folosirea unei lamele standard cu film din aur în contact optic cu prisma prin  
30 folosirea unui ulei de imersie;

31 - modulatorul nu necesită curent electric și nu este supus interferențelor electromag-  
32 netice, bruiajului fiind dirijat de la mare distanță (transmiterea luminii efectuându-se prin fibre  
33 optice).

34 Se dă în continuare un exemplu de realizare în legătură și cu figurile care reprezintă:

35 - fig. 1, structura cu 4 straturi IMII de tip izolator-metal-izolator-izolator;

36 - fig. 2, indicele de refracție efectiv  $N_{ef} = \beta/k$  obținut în urma simulărilor numerice ale  
37 structurii cu patru straturi;

38 - fig. 3 (sus), valoarea reflectanței luminii de probă funcție de unghiul de incidență;

39 - fig. 3 (jos), variația reflectanței funcție de indicele de refracție a filmului;

40 - fig. 4, schema de principiu a dispozitivului;

41 - fig. 5, rezultatele experimentelor.

42 Structura conform fig.1 este utilizată ca model teoretic pentru obținerea formulelor de  
43 calcul. Structura cuprinde următoarele 4 medii:

44 - mediul 1 - film metalic cu grosimea  $d$ ;

45 - mediul 2 - film izolator cu grosimea  $a$ ;

46 - mediul 3 - izolator considerat semi-infinit;

47 - mediul 4 - izolator considerat semi-infinit.

# RO 131293 B1

În fig. 2 este reprezentat indicele de refracție efectiv  $N_{ef} = \beta/k$  obținut în urma simulărilor numerice ale structurii cu patru straturi folosind formula (4) și variația acestuia în funcție de grosimea filmului calcogenic  $d$  (micrometri). În diagrama de sus a fig.2 sunt reprezentate variațiile indicelui efectiv de refracție cu grosimea filmului calcogenic pentru primele 4 moduri TM ( $TM_0$ ,  $TM_1$ ,  $TM_2$  și  $TM_3$ ) iar în diagrama de jos sunt reprezentate variațiile indicelui efectiv de refracție cu grosimea filmului calcogenic pentru primele 4 moduri TE ( $TE_0$ ,  $TE_1$ ,  $TE_2$  și  $TE_3$ ). Calculele prezentate ca exemplu sunt referitoare la structura cu film izolator **2** (vezi fig. 1) care constă din film calcogenic amorf cu indicele de refracție 2,45 (corespunde filmelor din  $As_2S_3$ ) și izolator semi-infinit **4** cu indicele de refracție 1.51 (corespunde sticlei BK7). Mediul izolator **3** reprezintă mediul ambient - aer care are indicele de refracție 1,0. Filmul metalic **1** este considerat din aur cu grosimea 50 nm. Din grafice rezultă că la utilizarea unei prisme cu indice de refracție mic, lumina poate fi cuplată cu modurile respective ale structurii plasmonice doar pentru acele grosimi ale filmului calcogenic care asigură un indice efectiv de refracție mai mic de 1,51. Calculele pot fi efectuate și pentru alte materiale folosind formula (4).

În fig. 3 sunt prezentate curbele de rezonanță ce reprezintă intensitatea luminii reflectate de structură în funcție de unghiul de incidență care este reprezentat de unghiul față de normală în interiorul mediului izolator **4**. Simulările numerice au fost efectuate în limbajul MATLAB folosind formula (4). În partea de jos a acestei figuri este reprezentată variația reflectantei obținute în urma schimbărilor indicelui de refracție al filmului calcogenic din  $As_2S_3$ .

În fig. 4 este reprezentată schema de principiu a dispozitivului. S-au notat cu **5** sursa de lumină monocromatică care generează fasciculul de lumină ce se dorește a fi modulată.

Poziția **4** corespunde semnelui de referință din fig. 1, dar constructiv se realizează sub formă de prismă. Aceasta permite ca în interior fasciculul să fie propagat sub unghiuri mai mari de  $45^\circ$  față de normală. Din cauza refracției nu ar fi posibil dacă mediul **4** ar fi realizat sub formă de placă paralelă. Lamela **4a** este în contact optic cu partea din spate sau atașată cu ulei de imersie de baza prisme. Materialul lamelei **4a** trebuie să fie apropiat din punct de vedere al indicelui de refracție sau să fie identic cu materialul din care este realizată prisma și de aceea în fig. 1 care este un model teoretic, semnul de referință **4a** nu apare. Lamela **4a** reprezintă un substrat transparent pe care se depun în vid înainte de asamblarea structurii atât filmul metalic **1** cât și filmul calcogenic **2**. Semnul de referință **3** reprezintă aerul și corespunde mediului izolator **3** din fig. 1.

Cu **6** s-a notat fasciculul luminii de excitare care iluminează filmul calcogenic și asigură modularea fasciculului de lumină **8** reflectat de pe structura plasmonică. Semnul **7** reprezintă unda plasmonică rezultată la interfața filmului metalic cu filmul din material calcogenic amorf și cu **8** este notat fotodetectorul care recepționează fasciculul de lumină modulată.

În fig. 5 sunt reprezentate ca exemplu rezultatele experimentărilor.

O formă preferată de realizare a invenției este prezentată în continuare și se referă la reprezentarea schematică din fig. 4. Conform invenției dispozitivul este alcătuit dintr-o sursă de lumină monocromatică **5**, o prismă **4** ce are rolul de a majora unghiul de incidență al fasciculului ce se modulează față de baza prisme, un substrat izolator **4a** în formă de lamelă pe care este depus un film metalic **1** și un film calcogenic **2**. Filmul metalic poate fi din aur, argint, platină sau alte metale care se caracterizează prin constanta dielectrică nega

# RO 131293 B1

1 tivă în domeniul optic. Filmul calcogenic **2** trebuie sa fie un material cu efect de fotoinducere  
 2 al indicelui de refracție cât mai pronunțat. Modulatorul conține de asemenea o sursă de lumină  
 3 de excitație **6** cu energia fotonilor mai mare decât banda interzisă a filmului calcogenic și un  
 fotodetector **8** care recepționează fasciculul modulat de lumina sursei **6**.

5 Configurația este constituită din patru straturi de tipul IMII (izolator-metal-izolator/  
 izolator) ce formează o structura plasmonică. Aceasta este reprezentată în fig.1. Stratul 1  
 7 este un strat metalic de grosimea  $a$ , stratul 2 este un film izolator de grosimea  $d$ , iar straturile  
 3 și 4 sunt considerate semi-infinite și sunt formate din medii dielectrice (unul poate fi aer iar  
 9 altul poate fi prisma).

11 Pentru a obține ecuația de propagare m referitor la structura cu patru straturi de tipul  
 IMII (izolator-metal-izolator/izolator, vezi fig. 1), sunt scrise ecuațiile de undă pentru fiecare  
 strat care satisfac condițiile de continuitate la interfața dintre straturi (Se examinează cazul  
 13 unidimensional după axa  $z$  pentru modurile TE, respectiv TM):

$$15 \quad \frac{\partial^2 \vec{E}_y}{\partial x^2} + (k_0^2 \varepsilon(z) - \beta^2) \vec{E}_y = 0 \quad (1) \quad \text{și}$$

$$19 \quad \frac{\partial^2 \vec{H}_y}{\partial x^2} + (k_0^2 \varepsilon - \beta^2) \vec{H}_y = 0 \quad (2)$$

21 În ecuațiile (1), (2)  $k_0 = \omega/c$  este vectorul de undă,  $\omega$  - constanta dielectrică a mediului  
 23 respectiv,  $N_{\text{ef}} = \text{Real}((\beta/k_0)$  - indice efectiv de refracție iar  $\beta = k_z$  - constanta de propagare  
 a undelor. Ecuația dispersiei corespunzătoare configurației examinate în fig. 1 se obține sub  
 25 forma:

$$27 \quad e^{2k_2 d} = \left( \frac{k_2 + Q \cdot k_3}{k_2 - Q \cdot k_3} \right) \cdot \left( \frac{k_2 - P \cdot k_1}{k_2 + P \cdot k_1} \right) \left( \frac{1 + \frac{(k_2 + P \cdot k_1) \cdot (P \cdot k_1 - R \cdot k_4)}{(k_2 - P \cdot k_1) \cdot (P \cdot k_1 + R \cdot k_4)} e^{-2k_1 a}}{1 + \frac{(k_2 - P \cdot k_1) \cdot (P \cdot k_1 - R \cdot k_4)}{(k_2 + P \cdot k_1) \cdot (P \cdot k_1 + R \cdot k_4)} e^{-2k_1 a}} \right) \quad (3)$$

$$31 \quad \text{unde } P = \begin{cases} \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} & \text{for TM} \\ 1 & \text{for TE} \end{cases}, \quad Q = \begin{cases} \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_3} & \text{for TM} \\ 1 & \text{for TE} \end{cases}, \quad R = \begin{cases} \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_4} & \text{for TM} \\ 1 & \text{for TE} \end{cases}$$

35 iar  $a$  este grosimea filmului metalic,  $d$ -grosimea filmului izolator,  $k_i$  sunt vectorii de undă  
 37 transversali.

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

$$41 \quad d = \frac{\arctan(f) + \arctan(g) + m \cdot \pi}{k_2}, \quad (4)$$

$$43 \quad \text{unde } f = \left( \frac{P \cdot k_1}{k_2} \right) \frac{1-s}{1+s}, \quad g = \frac{Q \cdot k_3}{k_2}, \quad s = \frac{P \cdot k_1 - R \cdot k_4}{P \cdot k_1 + R \cdot k_4} e^{-2k_1 a}$$

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

# RO 131293 B1

Ecuția (4) fiind de formă transcendențială a fost rezolvată numeric pe baza algoritmului Newton și a unui program elaborat în limbajul de programare MATLAB. Pentru simulările numerice în cazul structurii din fig. 1 s-a considerat că mediul izolator **4** este fabricat din sticlă BK7, stratul metalic **1** este din Au ( $a=50$  nm), stratul izolator **2** este filmul calcogenic din  $As_2S_3$  ( $n_2 = 2.45$ ), 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 în funcție de grosimea filmului calcogenic iar rezultatele simulărilor numerice fiind prezentate în fig. 2.

Din fig. 2 rezultă că utilizând prisma din BK7 care are indicele de refracție 1,51 modul TM0 nu poate fi excitat întrucât indicele efectiv de propagare este mai mare decât 2. Restul modurilor (TM1-TM3 și TE0-TE3) pentru anumite grosimi ale filmului calcogenic pot fi excitate. Condiția corespunde realizării indicelui efectiv de propagare în intervalul 1,0-1,51, adică nu mai mare decât indicele de refracție al materialului din care este fabricată prisma. Spre exemplu, din fig. 2 reiese faptul că modul TM4 poate fi excitat prin metoda de undă evanescentă doar pentru grosimi ale filmului calcogenic în intervalul 0,4-0,45  $\mu$ m; modul TE1 - aproximativ pentru grosimi în intervalul 0,2-0,25  $\mu$ m.

În fig. 3 (sus) este prezentată valoarea reflectantei luminii de probă în funcție de unghiul de incidență pentru două valori ale indicelui de refracție care diferă cu 0,001. Această variație poate fi obținută în urma iluminării filmului cu lumina de modulare (lumina de culoare verde în cazul filmului din  $As_2S_3$ ). Tot în fig. 3 (jos) este prezentată variația reflectantei în funcție de indicele de refracție al filmului. Astfel se observă o schimbare a reflectantei de la 5% la 18% pentru schimbări ale indicelui de 0,02.

Exemplu de realizare. A fost dezvoltat un montaj experimental în vederea verificării validității simulărilor realizate. Montajul corespunde schemei din fig.4. Prisma **4** este o prismă de 90° cu unghiul la bază de 45° și este fabricată din sticlă BK7 cu indicele de refracție 1,51. De baza prisme este alipită o lamelă **4a** realizată din material cu parametri optici apropiați de parametrii optici ai materialului din care este fabricată prisma. Pentru îmbinarea suprafeței din spate a lamelei cu prisma se folosește un ulei de imersie (nu este prezentat în fig. 4) în scopul de a exclude reflexia luminii la interfața dintre aceste două materiale. Uleiul de imersie se alege în așa fel încât indicele de refracție să fie egal cu cel al prisme. Aceste uleiuri se comercializează pe larg întorcând se folosesc la microscopul optic pentru mărirea aperturii numerice și a puterii de rezoluție a microscopului. Suprafața exterioară (opusă) a lamelei conține un film din aur **1** cu grosimea 50 nm. Lamela cu filmul de aur deja depus este una de tip comercial și se folosește pentru biosenzori plasmonici. A se vedea spre exemplu, produsele firmei Xantec ([www.Xantec.com](http://www.Xantec.com)) unde lamela din aur se numește „chipset”. Deasupra filmului din aur de pe suprafața lamelei s-a depus prin evaporare termică un strat din  $As_2S_3$ . După depunere acest ansamblu (chipset) este alipit la suprafața din spate de baza prisme. Pentru aceasta, pe centrul lamelei este aplicată o picătură de ulei de imersie de pe vârful acului iar suprafețele se apropie și se presează. Astfel picătura de ulei se împrăștie pe toată suprafața într-un strat subțire. Prin această metoda aceeași prismă poate fi utilizată în mod repetat cu diverse chipseturi. Laserul utilizat ca lumina de proba **5** este unul de tip He-Ne continuu și polarizat. Înregistrarea se realizează cu fotodioda **8**. Laserul de iluminare **6** este unul de tip argon continuu de culoare verde ce corespunde energiei fotonilor mai mare decât banda interzisă a  $As_2S_3$  și se absoarbe în filmul **2**. Radiația laserului **6** induce mici modificări ale indicelui de refracție în filmul ce constă din material  $As_2S_3$  amorf.

# RO 131293 B1

1 Structura se instalează pe o mäsutä de rotație. Prin rotația mäsuței se obține un  
2 unghi de incidență a fasciculului **5** pe baza prisme care corespunde unghiului de rezonanță  
3 (vezi fig. 3) de  $50,2^\circ$  pentru care intensitatea luminii reflectate este minimală. În aceste  
4 condiții schimbările mici fotoinduse ale indicelui de refracție al filmului  $As_2S_3$  amorf contribuie  
5 la schimbări majore în intensitatea luminii reflectate **8**, astfel se obține un coeficient de  
6 modulație satisfăcător.

7 Modificările reflectantei obținute în urma modulației cu lumină verde **6** sunt recepțio-  
8 nate de fotodoioda **8** și apoi înregistrate și memorizate de un osciloscop digital. Imaginea de  
9 pe ecranul osciloscopului reprezintă următoarele semnale:

10 - pe canalul 1 (curbele de culoare galbenă în fig. 5) se înregistrează semnalul de la  
11 ieșirea detectorului optic după amplificare;

12 - pe canalul 2 (reprezentat de culoarea albastră în fig. 5) este semnalul de comandă  
13 al obturatorului iar nivelul +5V reprezintă acțiunea fasciculului laser ce funcționează pe  
14 lungimile de undă de 488 nm și 514 nm. -5V reprezintă întreruperea acestui fascicul.

15 În fig. 5 se observă (cu galben) modificarea intensității luminii reflectate, nivelul maxim  
16 este de 900 mV și minim de 70 mV. Frontul crescător este de 0,2 s între minim și maxim iar  
17 cel descrescător este de 0,2 s de la 900 mV până la 370 mV. În alte experimente a fost  
18 modificată perioada de acționare a obturatorului de la 4,4 s la 1 s. Valoarea maximă a sem-  
19 nalului de pe canalul 1 este de 900 mV ca și în cazul precedent (deci nu se modifică amplitu-  
20 dinea efectului rezonanței plasmonice) și are perioada de acționare egală cu cea a fascicu-  
21 lului laserului cu argon.



# RO 131293 B1

## Revendicări

1. Structură de modulare pur optică a luminii ce include o prismă de cuplare a luminii, un substrat în forma de lamela pe care, pe partea din față, sunt depuse un film metalic și un film din material calcogenic amorf care împreună formează o configurație de rezonanță plasmonică, substratul fiind alipit cu partea din spate de prisma de cuplare folosind ulei de imersie, structura fiind **caracterizată prin aceea că** indicele de refracție al prisme este mai mic decât cel al filmului calcogenic, iar pentru cuplarea luminii filmul calcogenic are anumite grosimi, valoarea cărora iese din calcule.
2. Dispozitiv de modulare pur optică a luminii folosind structura definită în revendicarea 1, **caracterizat prin aceea că** este alcătuit dintr-o sursă de lumină monocromatică (5), o prismă (4), un substrat (4a) în forma de lamela realizat din același material cu prisma (4) sau dintr-un material cu indice de refracție cât mai apropiat de cel al prisme, substrat (4a) pe care este depus un film (1) metalic și un film (2) calcogenic, o sursă de lumină de excitație (6) cu energia fotonilor mai mare decât banda interzisă a filmului (2) calcogenic și un fotodetector (8) care recepționează fasciculul modulat.

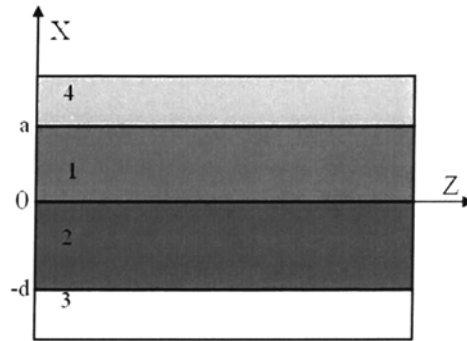


Fig. 1

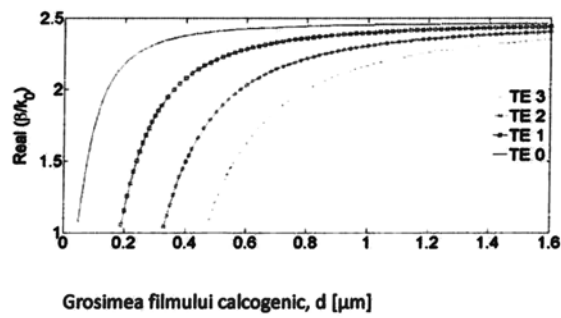
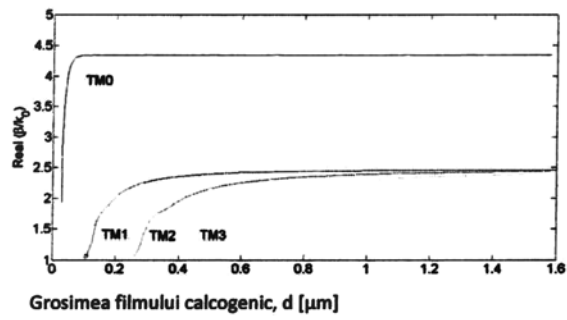


Fig. 2

(51) Int.Cl.

G02F 1/065 (2006.01);

G02B 26/02 (2006.01)

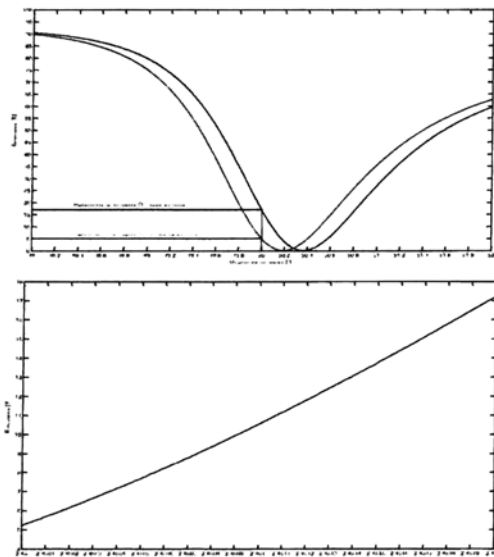


Fig. 3

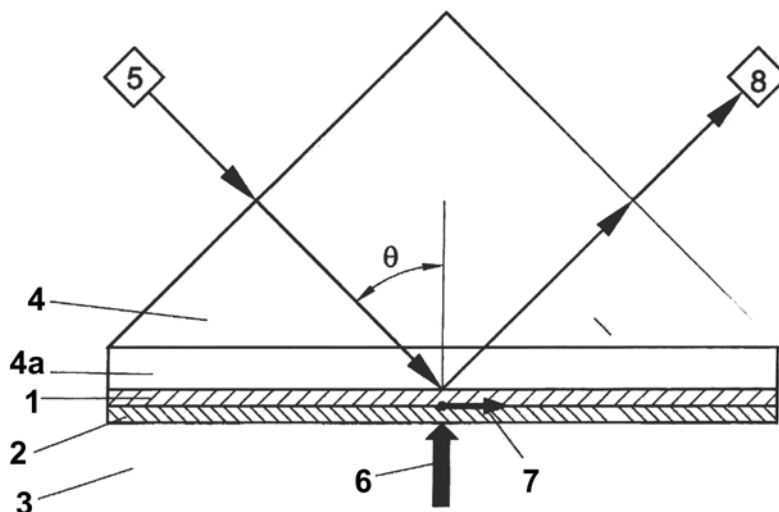


Fig. 4

(51) Int.Cl.

G02F 1/065 (2006.01),

G02B 26/02 (2006.01)

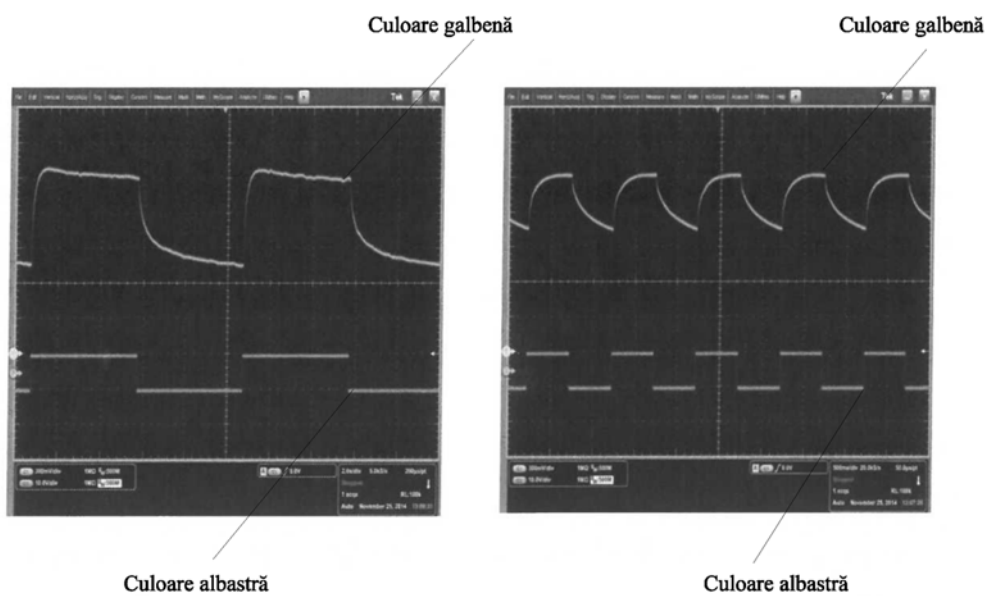


Fig. 5



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM  
Tipărit la Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci  
sub comanda nr. 399/2021