



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2012 00730

(22) Data de depozit: 16.10.2012

(41) Data publicării cererii:
30.05.2013 BOPI nr. 5/2013

(71) Solicitant:
• UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN
BUCUREȘTI, SPLAIUL INDEPENDENȚEI
NR. 313, CORP FA, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO

(72) Inventatori:
• RĂU ILEANA, ALEEA POIANA CU ALUNI
NR. 3, BL. 1, SC. 1, ET. 5, AP. 22A,
SECTOR 2, BUCUREȘTI, B, RO;

• FRANCOIS KAJZAR,
ALEEA POIANA CU ALUNI NR. 3, BL. 1,
SC. 1, ET. 5, AP. 22B, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO;
• MEGHEA AURELIA, STR. OLIMPULUI
NR. 76, SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO;
• MARIN ALEXANDRU, STR. BUZEȘTI
NR. 61, BL. A6, ET. 9, SC. A, AP. 62,
SECTOR 1, BUCUREȘTI, B, RO

(54) INTERFEROMETRU REGLABIL OPTIC

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un interferometru reglabil optic, de tip Fabry-Perot, care poate fi utilizat în demultiplexarea indusă de lumină fasciculelor optice, controlul fasciculelor optice, filtre activate optic, transformarea indusă optic a fasciculelor laser multimodale în fascicule monomodale, creșterea rezoluției în spectrometre, în transmisia video. Interferometrul conform invenției este alcătuit din două oglinzi (M1 și M2) puternic reflectante, care conțin un film subțire, dielectric, alcătuit dintr-un complex cu proprietăți optice neliniare, pe bază de acid dezoxiribo-nucleic, dopat cu un compus cromofor, fotoizomerizabil. Interferometrul permite reglarea transmisiei optice, prin iluminarea filmului conținând un cromofor, cu un fascicul de lumină (I_0) la o frecvență situată în domeniul benzii sale de absorbție și care produce modificarea conformațională a moleculei cromoforului, modificare ce determină deplasarea benzii de absorbție a cromoforului și, ca urmare, modifică indicele de refracție al filmului; indicele de refracție indus de lumină va modifica transmisia interferometrului pentru fasciculul incident (I_{in}), iar frecvența de operare se va situa în domeniul de transparență al materialului cu proprietăți optice neliniare, care depinde și de cromoforul utilizat.

Revendicări: 5
Figuri: 7

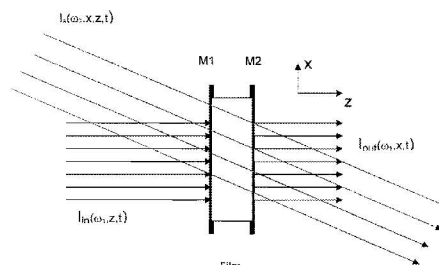


Fig. 5

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).



Descrierea inventiei

Inventia se referă la realizarea unui interferometru reglabil optic de tip Fabry-Perot, care poate fi utilizat in demultiplexarea indusă de lumină a fasciculelor optice, controlul fasciculelor optice, filtre activate optic, transformarea indusă optic a fasciculelor laser multimodale in monomodale, creșterea rezoluției in spectrometre, procesarea semnalelor total optice, in transmisia video, in limitare optica si este alcatuit din două oglinzi (M1 și M2) puternic reflectante ce conțin un film subțire dielectric alcătuit dintr-un complex cu proprietăți optice neliniare pe bază de ADN dopat cu un compus cromofor fotoizomerizabil.

Sunt cunoscute câteva interferometre de tip Fabry-Perot ce conțin mediu liniar și indice de refracție constant sau unele modificări, in care indicele de refracție al mediului interferometrului este modificat prin aplicarea unui câmp electric sau prin ajustarea mecanică a oglinzilor. Acesta este primul interferometru reglabil optic de tip Fabry-Perot. Astfel, in brevetul US Nr 6597490 B2 [1] este prezentat un interferometru Fabry-Perot cu oglinzi deformabile, care pot fi ajustate prin aplicarea unui câmp electric. Principalele dezavantaje al acestei abordări constă in necesitatea folosirii unor electrozi ce absorb lumina, precum și a unui timp mare de răspuns, intrucât reglarea este asociată cu deformarea oglinzilor. Aceasta conduce la pierderi și posibilitatea încălzirii oglinzilor, ceea ce determină modificarea caracteristicilor dispozitivului. Un alt dezavantaj al acestui interferometru este că nu poate fi aplicat pentru toate tipurile de procesare ale fasciculelor optice de lumină, cum este cazul prezentei invenții. Intr-un alt brevet, US7969639 [2], este prezentată o cavitate Fabry-Perot etalon asimetrică, reglabilă tot prin aplicarea unui câmp electric. O soluție foarte asemănătoare este descrisă intr-o a treia invenție, patent US4859060 [3], in care distanța dintre oglinzile interferometrului Fabry-Perot este din nou modulată prin aplicarea unui câmp electric, iar atracția creată între electrozi conduce la modificarea drumului optic.

Inventia rezolva problema tehnica prin aceea ca elimina dezavantajele menționate mai sus. Interferometru reglabil optic de tip Fabry-Perot caracterizat prin aceea că este reglabil optic folosind două oglinzi puternic reflectante ce conțin un film subțire dielectric alcătuit dintr-un complex cu proprietăți optice neliniare pe bază de ADN dopat cu un compus cromofor fotoizomerizabil, iar reglarea transmisiei optice se obține prin iluminarea filmului de ADN conținând un cromofor cu un fascicul de lumină I_s la o frecvență situată in domeniul bandei sale de absorbție și care produce modificarea conformațională a moleculei cromoforului care determină deplasarea bandei de absorbție a cromoforului, și ca urmare modifică indicele de refracție al filmului. La rândul sau, acest indice de refracție indus de lumină va modifica transmisia interferometrului pentru fasciculul incident I_{in} , iar frecvența de operare se situează in domeniul de transparență al materialului ONL, care depinde și de cromoforul utilizat și in funcție de reflectivitatea oglinzilor, adică de finețea interferometrului, intensitatea fascicului propagat poate fi modulată continuu prin varierea intensității fasciculului de control I_s in intervalul 0 - I_m .

Inventia prezinta cateva avantaje legate de faptul ca acum nu există electrozi, iar oglinzile sunt fabricate dintr-un material dielectric transparent si in plus, efectul se obține

direct printr-un fascicul de lumină și nu prin aplicarea câmpului electric, fiind permis astfel un control total optic al transmisiei Fabry-Perot. De asemenea, timpul de răspuns poate fi rapid, întrucât variațiile indicelui de refracție se realizează la nivel molecular folosind fie schimbări conformaționale fotoinduse, fie prin modificarea polarizabilității moleculare.

Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu figurile care reprezintă:

Fig. 1. Reprezentare schematică a transmisiei luminii cu reflexii interne multiple într-un rezonator Fabry-Perot: M_1, M_2 – oglinzi, n – indici de refracție ai mediului corespunzător, E_{oj} – câmpuri optice elementare transmise, E_i – câmp electric al fasciculusului optic incident

Fig. 2. Transmisia interferometrului funcție de variația indicelui de refracție produsă de iluminarea cu fasciculul de control pentru un film subțire cu grosimea de 2500 nm și pentru trei valori ale reflectivității oglinzilor ($R_1 = R_2$): 20%, 50% și 90% la 808 nm

Fig. 3. Sensibilitatea interferometrului la variația indicelui de refracție ($R = 0,9$, grosimea mediului OLN 1 = 2500 nm)

Fig. 4. Reprezentarea schematică a procesului de izomerizare cis-trans din molecula de Disperse red 1 (DR 1)

Fig. 5. Prezentare schematică a invenției: I_{in} este fasciculul cu frecvența ω_1 a cărui frecvență este modulată, I_s este fasciculul modulator cu frecvența ω_2 ce realizează modularea intensității fasciculusului I_{in} . Mediul neliniar este un complex ADN-CTMA-colorant fotoizomerizabil

Fig. 6. Structura rezonatorului Fabry-Perot: (a) celula cu filmul activ, (b) suportul celulei care servește și pentru orientarea precisă a oglinzilor, (c) șuruburile de fixare și orientare a oglinzilor

Fig. 7. Utilizarea diafragmei pentru îmbunătățirea modulării în structurile FP mai puțin sensibile.

Sistemul optic este alcătuit din două oglinzi, M_1 și M_2 , cu reflectivitățile R_1 și R_2 (practic $R_1 = R_2 = R$) între care se află un mediu dielectric cu indicele de refracție n și grosimea l . Coeficientul de reflexie R este definit prin ecuația (1):

$$R = \frac{I_r}{I_i} \tag{1}$$

unde I_i este intensitatea fasciculusului incident dată de:

$$I_i \propto E_i^2 \quad (2)$$

unde E_i este câmpul electric optic, iar coeficientul de proporționalitate depinde de alegerea unităților.

Datorită reflexiilor multiple care au loc în mediul situat între cele două oglinzi, intensitatea fascicului reflectat este proporțională cu suma tuturor câmpurilor electrice reflectate (cf. Fig. 1):

$$I_r \propto [E'_1 + E'_2 + E'_3 + \dots]^2 \quad (3)$$

Presupunând că mediul material dintre cele două oglinzi nu este absorbant, rezultă că pentru intensitatea transmisă avem:

$$I_t \propto [E_{o1} + E_{o2} + E_{o3} + \dots]^2 = (1 - R)E_i^2 \quad (4)$$

unde E_{oj} sunt câmpurile electrice care părăsesc sistemul la diferite frecvențe optice.

În ecuația (4) s-a ținut seama de legea conservării energiei, conform căreia $R+T=1$, astfel că:

$$T = \frac{I_t}{I_i} = 1 - R \quad (5)$$

Fiecare din câmpurile elementare E'_{ij} din seria infinită scade proporțional cu radical din coeficientul de reflexie, $R^{1/2}$, după fiecare reflexie internă pe interfețele mediului intern. Similar scad și câmpurile emergente E_{oj} prin coeficientul de transmisie $(1-R)^{1/2}$. Câmpurile elementare emergente sunt defazate datorită diferenței de drum optic. Această diferență dintre câmpul electric al fascicului transmis direct (E_{o1}) și cel care suferă o reflexie internă (E_{o2}) este dată (conform Fig. 1) de: $AB + BD - BC$, și va fi un multiplu al acesteia pentru câmpurile elementare care suferă reflexii de ordin superior. Astfel, diferența de drum optic pentru fasciculele optice cu câmpurile electrice E_{o1} și E_{o2} este dată de:

$$\Delta l_{opt} = n | AB | - | BC | \quad (6)$$

unde $| AB |$ și $| BC |$ sunt, respectiv, lungimile segmentelor AB și BC.

Din figura 1 se vede că Δl_{opt} este dat de expresia:

$$\Delta l_{opt} = \frac{nl}{\cos \theta_1} (1 - \sin^2 \theta_1) = nl \cos \theta_1 \quad (7)$$

unde l este grosimea mediului. Defazajul $\Delta\phi$ care rezultă din această diferență de drumuri optice este dat de:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \Delta l_{opt} = \frac{4\pi l}{\lambda} \cos\theta_1 \quad (8)$$

unde λ este lungimea de undă a fascicului incident.

În literatură se folosește jumătate din acest defazaj, notat cu δ și egal cu:

$$\delta = \Delta\phi / 2 = \frac{2\pi n l}{\lambda} \cos\theta_1 \quad (9)$$

Considerând seria geometrică infinită transmisă cu rația $e^{i2\delta}$ și primul termen corespunzător primului câmp transmis $(1-R)E_i$, se obține pentru câmpul electric optic transmis următoarea expresie:

$$E_t = \frac{(1-R)E_i}{1 - R e^{i2\delta}} \quad (10)$$

Pentru intensitatea fascicului transmis, care este în acest caz de interes, se obține următoarea expresie prin calcularea pătratului modulului ecuației (10):

$$I_t = \frac{I_i (1-R)^2}{(1-R)^2 + 4R \sin^2 \delta} \quad (11)$$

sau în altă formă prin introducerea coeficientului de finețe F :

$$I_t = \frac{I_i}{1 + F \sin^2 \delta} \quad (12)$$

unde prin definiție:

$$F = \frac{4R}{(1-R)^2} \quad (13)$$

Formula care descrie intensitatea luminii transmise (ec. 12) este o funcție periodică cu periodicitatea $\delta = \pm j\pi$ ($j=1,2,3,4, \dots$), iar intensitatea transmisă depinde de parametrul de finețe F , care la rândul său depinde de coeficientul de reflexie, R .

Figura 2 prezintă un exemplu de dependență a coeficientului de transmisie T de reflectivitatea oglinzilor, R . Calculul s-a făcut presupunând grosimea filmului subțire de 2500 nm, indicele de refracție de 1,5, considerând o operare în domeniul NIR (808 nm). Se observă că pentru reflectivități suficient de mari ale oglinzilor, coeficientul de transmisie scade la zero pentru anumite valori ale defazajului δ . Astfel, intensitatea luminii poate fi modulată continuu între valoarea 0 și intensitatea maximă a luminii, I_i prin controlul defazajului.

După cum se observă din ecuațiile (9) și (12) (pentru simplitate și cum se întâmplă practic în cele mai multe cazuri unghiul de incidență $\theta_1=0$), această variație a defazajului δ se poate realiza prin:

- i) variația lungimii de undă, λ ;
- ii) schimbarea drumului optic, l ;

iii) variația indicelui de refracție al mediului, n .

În literatură se pot întâlni câteva patente ce utilizează diferite soluții. Spre deosebire de acestea, în prezenta invenție se preconizează să se lucreze la o anumită lungime de undă, întrucât rezonatorul este folosit pentru a controla intensitatea fasciculului. Prin urmare, numai soluțiile ii) și iii) pot fi aplicate. Soluțiile propuse în literatură constau în variația indicelui de refracție al mediului intern, n , prin aplicarea câmpului electric [1, 2] sau prin schimbarea grosimii mediului, l , prin acțiune mecanică [3]. Nu avem informații despre existența unui interferometru Fabry-Perot controlat optic raportat în literatură sau brevetat până în prezent.

Pentru modularea intensității luminii transmise invenția folosește variația indicelui de refracție indusă de lumină:

$$n(I) = n_0 + n_2 I \quad (14)$$

Se știe că indicele de refracție al mediului material se schimbă prin iluminarea sa cu fascicule laser de mare intensitate. Indicele de refracție nelinier n_2 este legat de susceptibilitatea optică Kerr cubică ONL de ordinul trei $\chi_{Kerr}^{(3)}(-\omega; \omega, -\omega, \omega)$ prin următoarea ecuație:

$$n_2(\omega) = \frac{3\chi_{Kerr}^{(3)}(-\omega; \omega, -\omega, \omega)}{4\varepsilon_0 c n_0^2} \quad (15)$$

unde ε_0 este permitivitatea mediului și c este viteza luminii. Dat fiind originea electronică, susceptibilitățile $\chi_{Kerr}^{(3)}(-\omega; \omega, -\omega, \omega)$ sunt prea mici pentru a putea fi utilizate în rezonatorul Fabry-Perot. În această invenție noi propunem să folosim variația indicelui de refracție într-un mediu material cu proprietăți ONL, în care au loc variații conformaționale fotoinduse la nivel molecular, ca în cazul procesului reversibil de izomerizare cis-trans din azoderivați (Fig. 4).

Această variație a indicelui de refracție asociat cu procesul de izomerizare cis-trans a fost deja exploatată într-un modulator total optic din interferometrul Mach-Zehnder [4]. Cu toate acestea timpul de răspuns observat a fost foarte lent, de peste 10 secunde. Acesta este prea mare pentru aplicații practice. Într-adevăr, viteza transformării cis-trans și reversibilitatea sa depind de mediul molecular. Aceasta este foarte rapidă în soluții, dar lentă în solide, întrucât modificările conformaționale sunt împiedicate de rigiditatea matricei. Ca urmare propunem să folosim ca matrice un biopolimer, și anume complexul acidului dezoxiribonucleic (ADN) cu surfactantul cetiltrimetil amoniu (CTMA). Datorită structurii speciale de dublu helix a ADN-ului volumul liber este mai mare decât în polimerii sintetici, iar schimbările conformaționale sunt mult mai rapide. Într-adevăr, s-a observat un răspuns de patru ordine de mărime mai rapid pentru molecula de DR 1 înglobată în complexul ADN – CTMA [5] în comparație cu matricea de polimetil metacrilat (PMMA) [2]. Acest răspuns va fi și mai rapid cu molecul mai mici. ADN joacă de asemenea rolul de mediu protector, stabilizând mai bine moleculele decât în polimerii sintetici [6].

Presupunând incidența normală, cum va fi cazul în aplicația practică de față, defazajul va depinde de intensitatea fasciculului de control I_s și va fi dat de relația (conform ec. 9):

$$\delta(I_s) = \frac{2\pi n(n_0 + n_2 I_s)l}{\lambda} \quad (16)$$

Ca urmare intensitatea fasciculului transmis va fi modulată, în funcție de I_s , și va fi dată de

$$I_t = I_t(I_s) \Rightarrow \frac{I_t}{1 + F \sin^2 \delta(I_s)} \quad (17)$$

Este evident că fasciculul de control se va situa în interiorul bandei de absorbție, în timp ce fasciculul care se propagă va fi în domeniul de transparență. O reprezentare schematică a sistemului este dată în Fig. 3.

Valoarea indicelui de refracție neliniară depinde de numărul de fotoni absorbiți efectiv. Valoarea de saturație va da valoarea maximă n_2 . Pentru molecula DR1 variația observată efectiv a indicelui de refracție corespunzătoare unei iluminări de intensitate scăzută este $\Delta n = 0,04$ [7]. Aceasta este o valoare foarte mare ce permite o modulare efectivă a intensității cu ajutorul fasciculului de control de intensitate scăzută (conform fig. 2). Modularea se mai poate realiza și folosind fascicule de control din domeniul infraroșu, cu lungimea de undă corespunzătoare dublului lungimii de undă de absorbție. Variația indicelui de refracție se va realiza astfel printr-o absorbție de doi fotoni.

Practic, materialul activ, sub forma unui strat subțire, va fi depus pe fața reflectantă a uneia dintre oglinzi, iar cea de a doua oglindă se va presa pe suprafață. Suprafața filmului trebuie să fie foarte netedă. Se vor folosi trei șuruburi pentru a asigura paralelismul celor două oglinzi, cum se vede în Fig. 6.

În cazul unor oglinzi mai puțin reflectante, când lumina este transmisă și în afara rezonanței, se poate folosi o diafragmă, cum se indică în Fig 7, pentru a obține o rezoluție mai bună a modulării. Menționăm că prezentul interferometru se poate folosi și ca unul clasic.

Bibliografie

1. Parvis Tayebati, Electrically tunable Fabry-Perot structure utilizing a deformable multilayer mirror and method of making the same, US patent US6597490, B2, July 2003, Microelectromechanically tunable, confocal, vertical cavity surface emitting,
2. Mark Edward McNie, Keith Loder Lewis, Andrew Maxwell Scott, Christopher William Slinger, Kevin Michael Brunson, Gilbert William Smith, Optical modulator, US patent US7969639.
3. Masayuki Katagiri, Masanori Watanabe, Kazutaka Uda, Masaya Hijikigawa, Shuhei Tsuchimoto, Yasuhiko Inami, Variable interferometric device and a process for the production of the same, US patent US4859060, August 12, 1989.
4. A. Rodríguez, G. Vitrant, P. A. Chollet and F. Kajzar Optical control of an integrated interferometer using a photochromic polymer, *Appl. Phys. Lett.*, 79, 461-3 (2001).
5. J. Mysliwiec, A. Miniewicz, O. Krupka, I. Rau, B. Sahraoui, F. Kajzar, J. Grote, Biopolymer based material for optical phase conjugation, *J. Optoelect. Advanced Materials*, 10(8), 2146 – 2150 (2008).
6. M. Moldoveanu, R. Popescu, C. Pîrvu, J. G. Grote, F. Kajzar, I. Rau, Biopolymer thin films for optoelectronics applications, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 522, 530 – 539 (2010).
A. Rodríguez, G. Vitrant, P.A. Chollet and F. Kajzar, Photochromic properties of azo dye polymer thin films: evidence of an additional reversible mechanism of molecular behaviour, *Rev. Mex. Fis.*, 52, no.2 135–138, (2006).

Revendicări

1. Interferometru reglabil optic de tip Fabry-Perot caracterizat prin aceea că este reglabil optic folosind două oglinzi puternic reflectante ce conțin un film subțire dielectric alcătuit dintr-un complex cu proprietăți optice neliniare pe bază de ADN dopat cu un compus cromofor fotoizomerizabil, iar reglarea transmisiei optice se obține prin iluminarea filmului de ADN conținând un cromofor cu un fascicul de lumină I_s la o frecvență situată în domeniul bandei sale de absorbție și care produce modificarea conformațională a moleculei cromoforului care determină deplasarea bandei de absorbție a cromoforului, și ca urmare modifică indicele de refracție al filmului. La rândul său, acest indice de refracție indus de lumină va modifica transmisia interferometrului pentru fasciculul incident I_{in} , iar frecvența de operare se situează în domeniul de transparență al materialului ONL, care depinde și de cromoforul utilizat și în funcție de reflectivitatea oglinzilor, adică de finețea interferometrului, intensitatea fascicului propagat poate fi modulată continuu prin varierea intensității fasciculului de control I_s în intervalul $0 - I_{in}$.
2. Interferometru reglabil optic de tip Fabry-Perot, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că acționează prin modularea intensității luminoase a unui fascicul care se propagă printr-un alt fascicul optic cu frecvență diferită, acesta fiind primul sistem total optic conceput până în prezent pentru modularea luminii.
3. Interferometru reglabil optic de tip Fabry-Perot, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că utilizează un film subțire ca mediu interferometric, care asigură o variație semnificativă a indicelui de refracție prin efect fotocromic și dă posibilitatea obținerii unor dispozitive compacte și integrabile.
4. Interferometru reglabil optic de tip Fabry-Perot, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că folosește biopolimeri ca matrici pentru molecule fotocromice, acești biopolimeri asigurând pe de o parte creșterea timpului de operare, iar pe de altă parte sunt ecologici.
5. Interferometru reglabil optic de tip Fabry-Perot, conform revendicării 1, caracterizat prin aceea că utilizează compuși fotocromici ca rezonatori Fabry-Perot, ceea ce dă posibilitatea operării dispozitivului cu lumină și realizării de dispozitive compacte, ușor integrabile.

Figuri

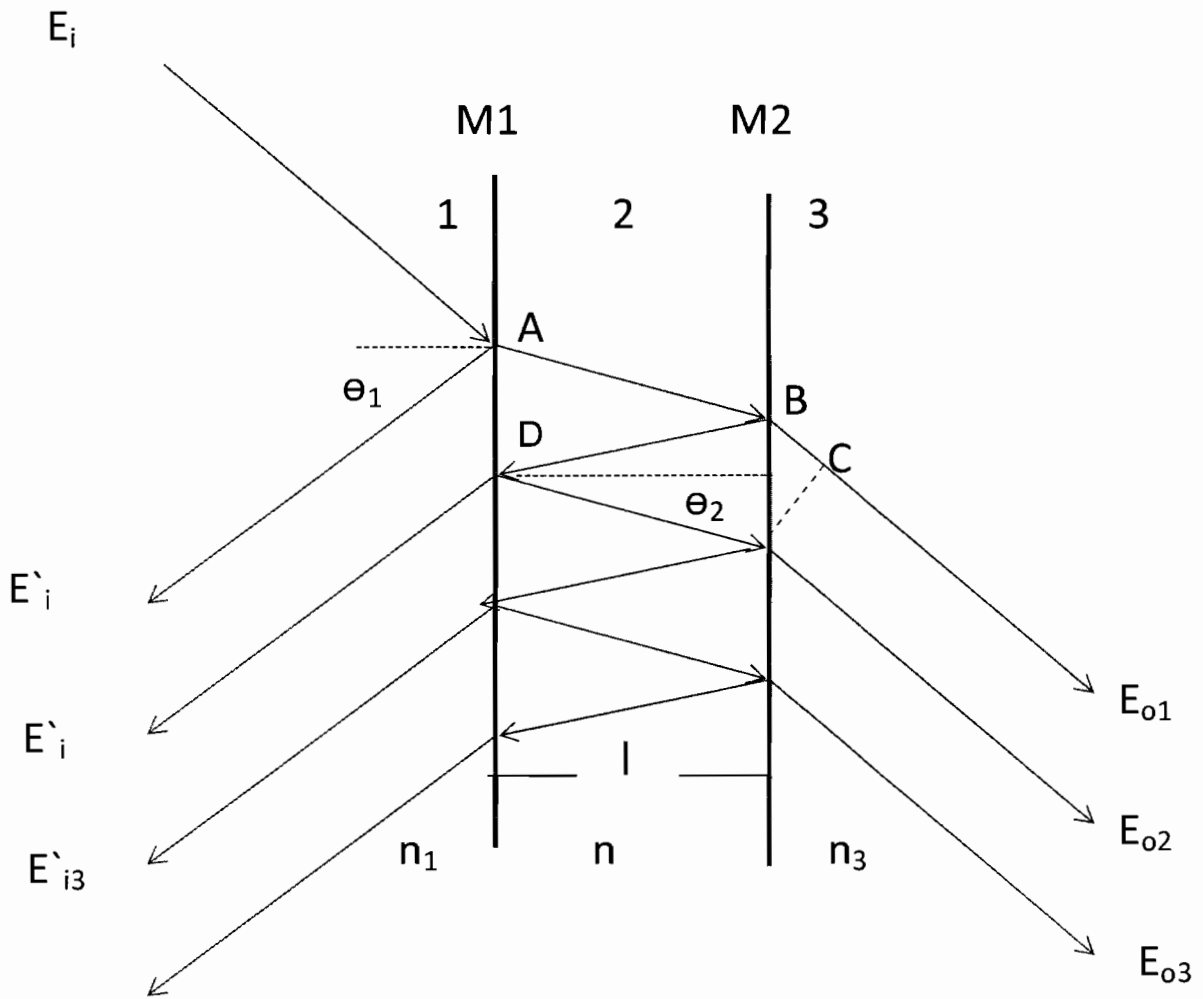


Fig. 1

M2

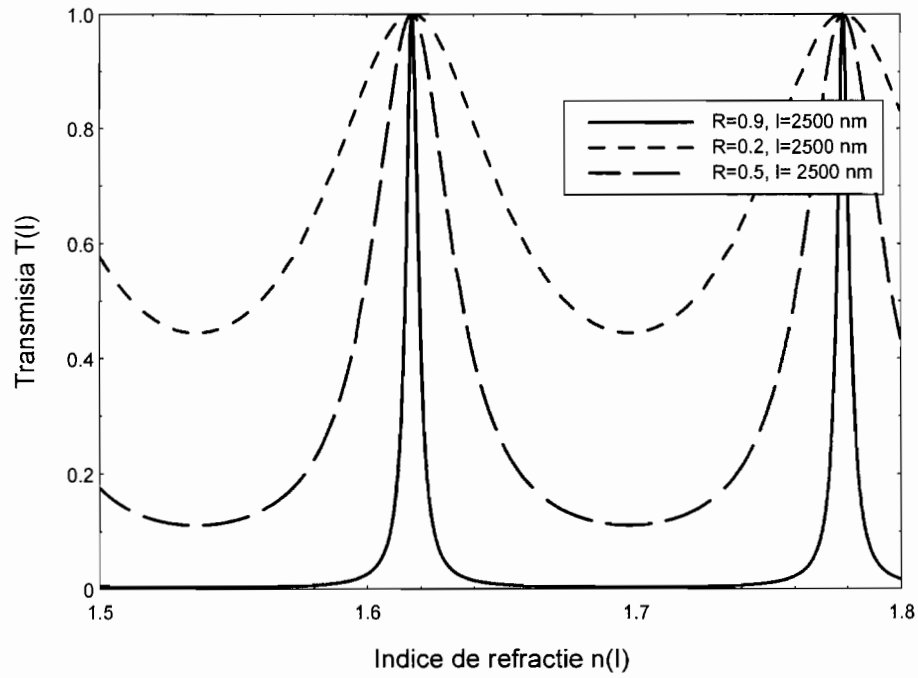


Fig. 2

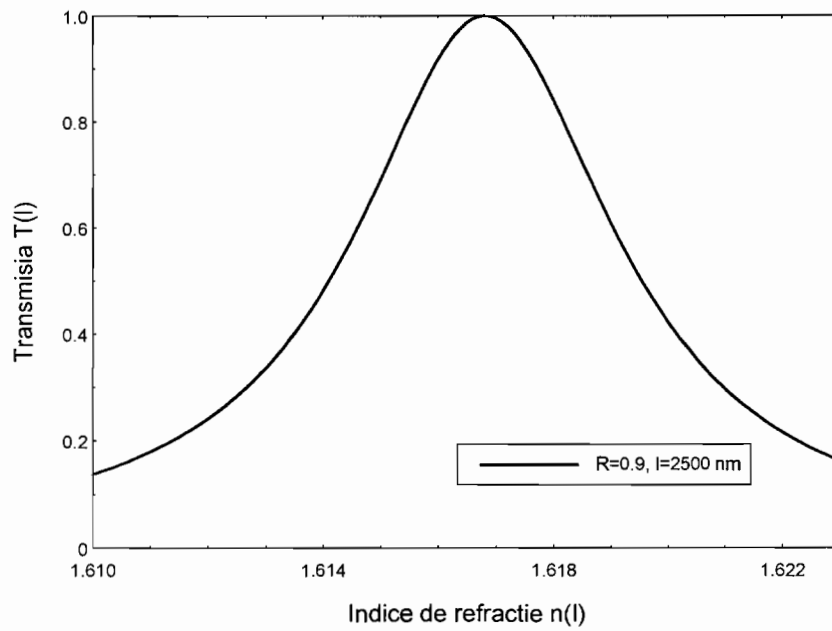


Fig. 3

Nx

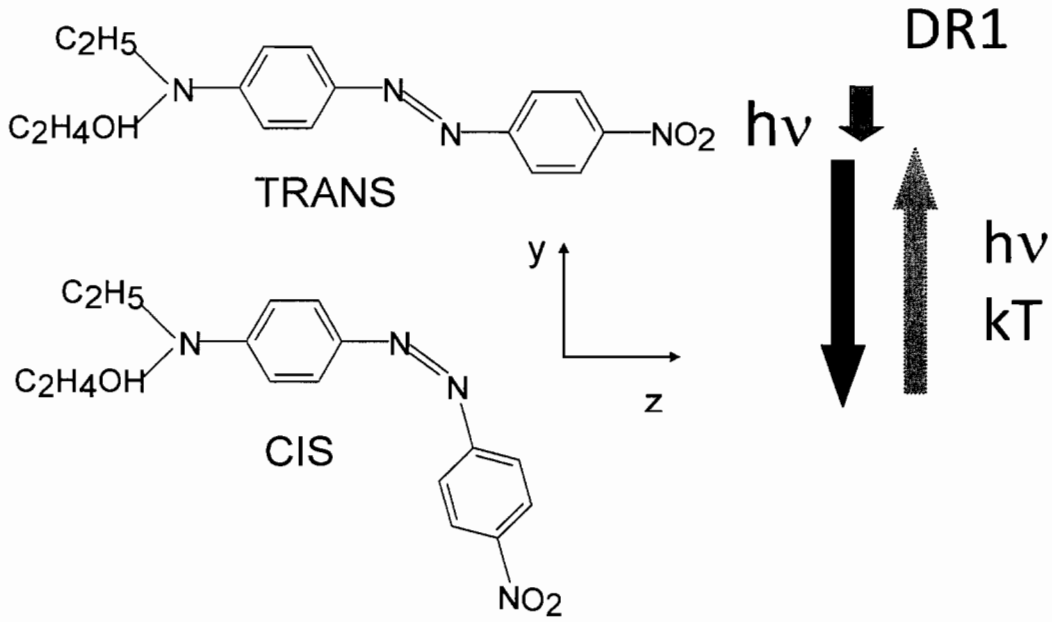


Fig. 4

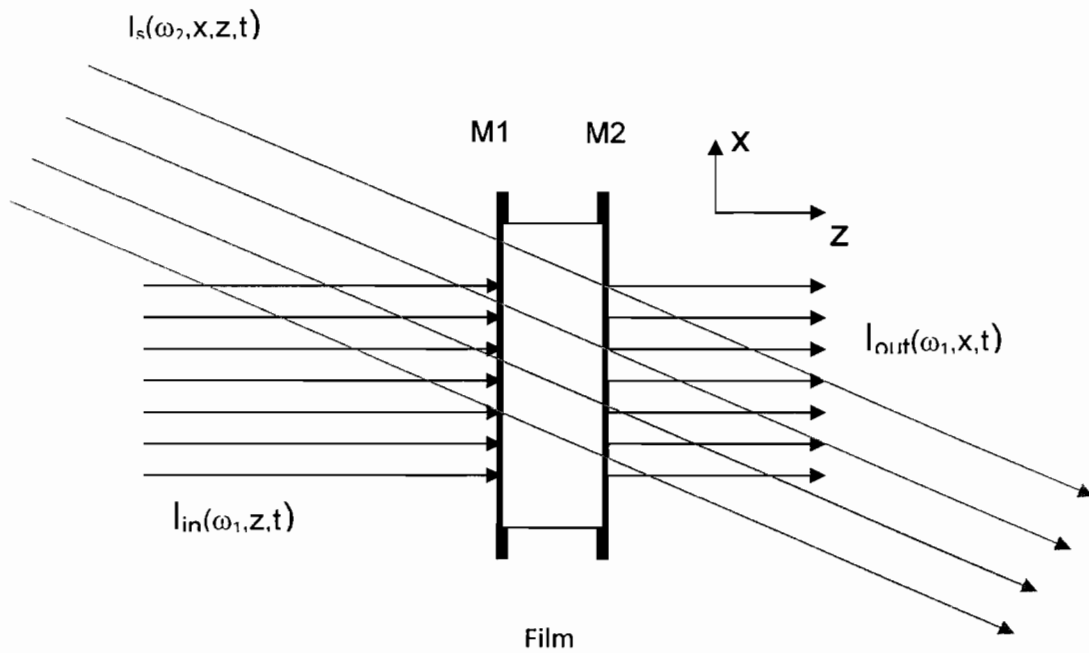


Fig. 5

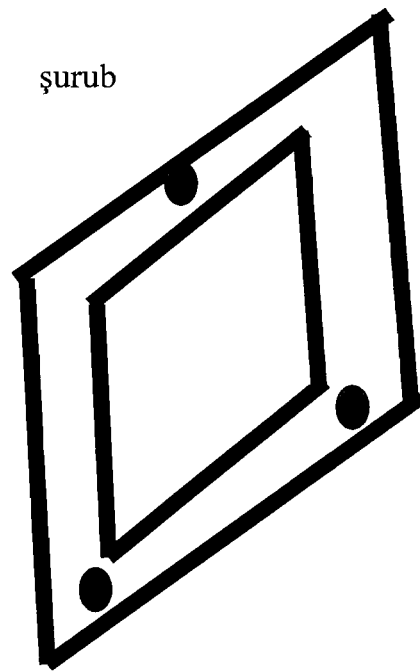
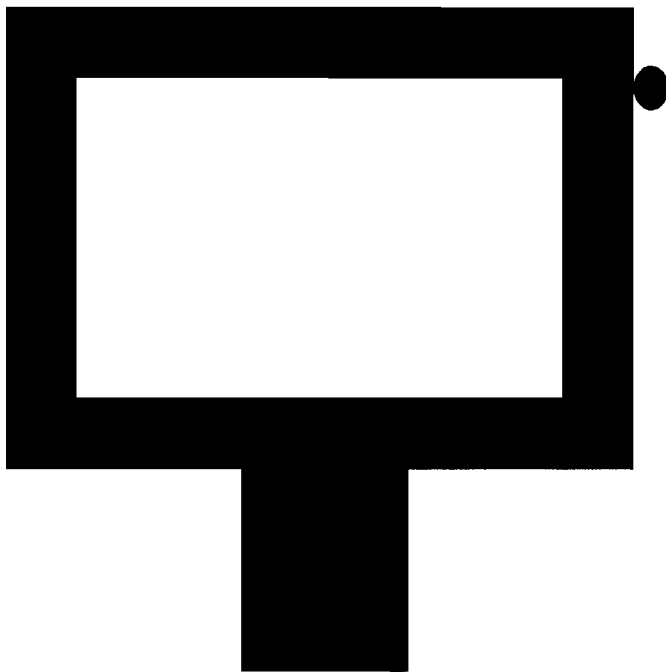
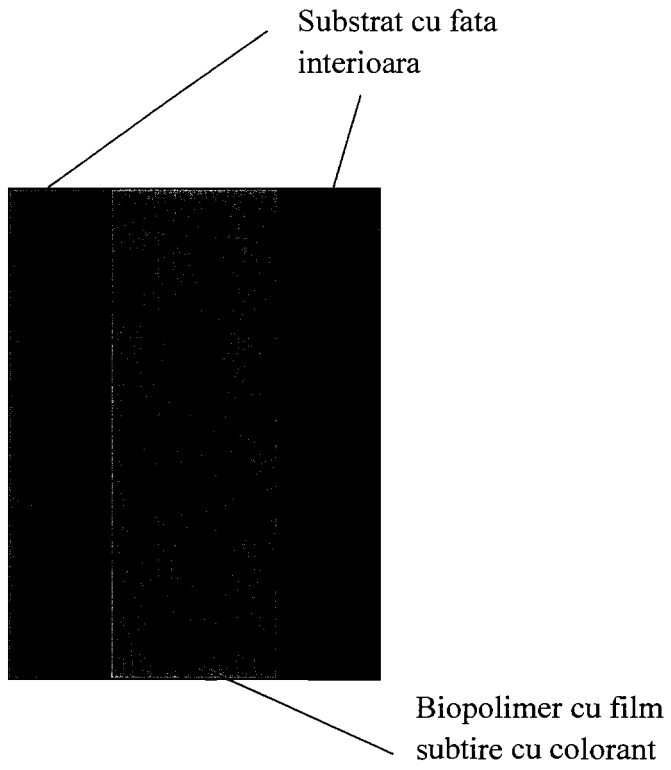


Fig. 6

MS

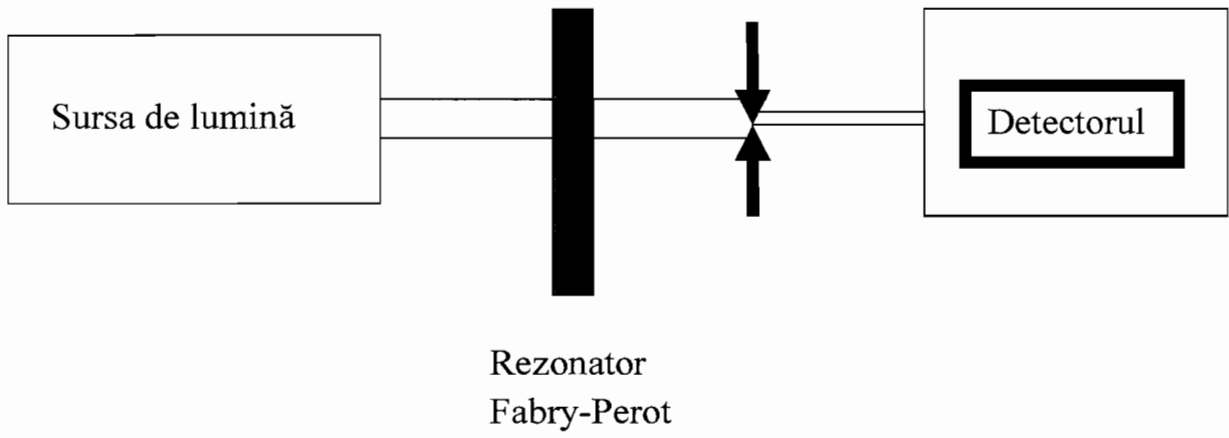


Fig. 7