



(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2016 00186

(22) Data de depozit: 16/03/2016

(41) Data publicării cererii:  
29/09/2017 BOPI nr. 9/2017

(71) Solicitant:  
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE  
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU  
FIZICA MATERIALELOR-INCDFM,  
STR.ATOMIȘTILOR NR.405 A, MĂGURELE,  
IF, RO

(72) Inventatori:  
• COTIRLAN-SIMIONIUC COSTEL,  
CALEA FERENTARI NR. 72, BL.7C, SC. B,  
AP. 13, SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO;  
• RIZEA ADRIAN, ALEEA BUDACU NR.5,  
BL.M3, AP.47, ET.1, SECTOR 3,  
BUCUREȘTI, B, RO;  
• URSU DĂNUȚ VASILE,  
ALEEA BARAJUL SADULUI NR.3-5,  
BL.N12-13, SC.B, AP.124, SECTOR 3,  
BUCUREȘTI, B, RO

(54) DISPOZITIV OPTOELECTRONIC CU METASUPRAFAȚĂ  
CONFIGURABILĂ ELECTRIC, PENTRU CONTROLUL  
POLARIZĂRII LUMINII ȘI OBȚINEREA REZOLUȚIEI OPTICE  
SUB LIMITA CLASICĂ DE DIFRAȚIE

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un dispozitiv optoelectronic cu metasuprafață configurabilă electric pentru obținerea rezoluției optice sub limita clasică de difracție și pentru sporirea vizibilității, în condiții dificile de detecție, având aplicații în domeniul cuploarelor optoelectronice cu plasmoni de suprafață și microscopie. Dispozitivul optoelectronic conform invenției este realizat prin suprapunerea a două celule cu cristal lichid: o celulă (1) de suprafață conținând un cristal lichid în fază nematică, cu funcții de polarizor liniar cu rotire controlată a planului de polarizare și de superlentilă, și o celulă (3) de volum, care constituie o lamelă retardoare, cu întârziere reglabilă, conținând un mediu de cristale lichide în fază colesterică, introdus între două plăci (2, 4) de sticlă, pe care sunt depuse un strat de oxid conductiv și un polimer, ambele transparente în vizibil și infraroșu apropiat.

Revendicări: 5  
Figuri: 2

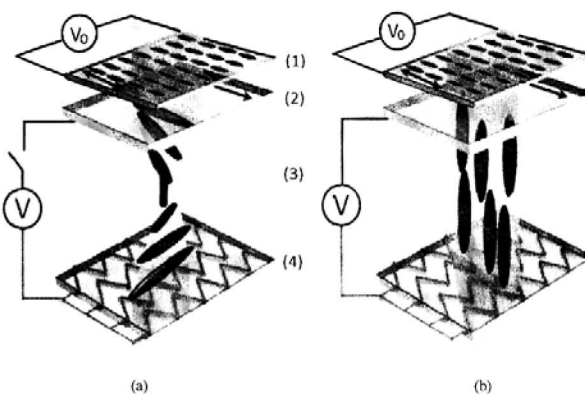


Fig. 1

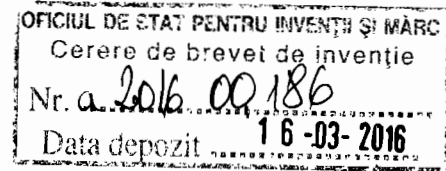
Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



h2

## Dispozitiv optoelectronic cu metasuprafata configurabila electric pentru controlul polarizarii luminii si obtinerea rezolutiei optice sub limita clasica de difractie

### Descriere



### DOMENIUL TEHNIC

Această invenție se referă la un dispozitiv electrooptic alcătuit din două structuri cu cristale lichide (CL): una de suprafață și una de volum. Aceste structuri sunt suprapuse, astfel încât suprafețele lor optice utile să fie paralele. Prima structură are nanoelemente metalice pe suprafață, constituind așa numita metasuprafață și aceste nanoelemente pot fi orientate prin aplicarea unei tensiuni electrice de control, astfel încât să îndeplinească două funcționalități:

1. Componentă de polarizare liniară cu rotirea electrică a planului de polarizare, utilă în tehnicile de imagistică polarimetrică;
2. Superlentilă plană, ultrasubțire, fără aberații cromatice și de sfericitate, capabilă să confere posibilitatea de a depăși limita clasică de difracție și să aducă rezoluția spațială sub această limită, prin transferul din câmp apropiat în câmp îndepărtat a detaliilor optice conținute în undele evanescente (evanescent waves-EW), respectiv undele de suprafață (surface waves-SW) și în ordinele superioare de difracție, datorită distanței dintre nanoelementele metalice de suprafață, distanță mai mică decât lungimea de undă a luminii.

A doua structură, cea de volum, este o lamelă retardoare cu defazare reglabilă electric în domeniul  $0^\circ \div 180^\circ$  sau  $0 \div \lambda/2$  (Fig.1). Fără aplicarea unui câmp electric orientarea cristalului lichid este stabilită de către suprafețele celulei. Orientarea poate fi ajustată prin aplicarea unui câmp electric pe fiecare celulă. De exemplu, o tensiune electrică în domeniul  $0 \div 5$  V aplicată la electrozii structurii de volum, controlează unghiurile de rotație a moleculelor de CL în cadrul structurii de volum a dispozitivului.

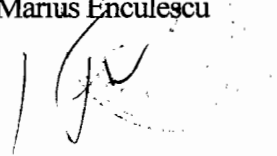
Prima structură optică propusă este formată din molecule fusiforme dopate metalic constituind nanostructuri situate în planul suprafeței și atașate de molecule de cristale lichide nematice din imediata

vecinatate. Aceste nanostructuri de suprafata au posibilitatea sa se roteasca in jurul unor axe perpendiculare pe suprafata optica plana sub actiunea unei tensiuni electrice aplicate separat de cea de pe structura de volum, astfel incat sa genereze tipare de linii punctate paralele intre ele (Fig.2). Pentru a doua celula ordinea moleculelor de CL în volum e comutată de la starea rasucita la configurația izotropa. In acest mod este controlată rotatia planului de polarizare a radiatiei care trece prin metasuprafată cu o tensiune si birefringenta mediului optic cu a doua tensiune (ref: O. Buchnev, J. Y. Ou, M. Kaczmarek, N. I. Zheludev, V. A. Fedotov, Electro-optical control in a plasmonic metamaterial hybridised with a liquid-crystal cell, Optics Express 21(2), 1633-1638, 2013).

Revenind la functia de superlentilă, amintim ca optica clasică nu poate exploata detaliile mai mici decat lungimea de undă, pentru că EW si respectiv SW, care contin si transfera aceste detalii, se atenuază rapid pe direcția de propagare perpendiculară pe suprafața optică. Inșă, metasuprafata optică propusă se incadrează in domeniul opticii de transformare, optică cu transformare arbitrară de coordonate, adică cu permitivitate electrică si permeabilitate magnetică neomogene si anizotrope, iar prin faptul că este plană nu prezintă principalele aberatii care afectează optica clasică: cromatică si de sfericitate.

Dispozitivul optoelectronic propus este util în realizarea de sisteme optice cu rezolutie sub lungimea de undă a radiatiei de lucru (vizibil si infrarosu apropiat: VIS+NIR), in microscopie, sisteme optoelectronice de imagistică pentru conditii dificile de vizibilitate, in navigatie si sisteme de securitate.

Practic, pentru structura de suprafata moleculele de CL calamitice (fusiforme) in faza nematica au o orientare ordonata, ceea ce creaza o anizotropie optica. Alinierea paralelă (uniaxială) este explicată și prin forțele Van der Waals provenite din anizotropia polarizabilității moleculare, la temperaturi sub o valoare critică. Cand este aplicat un camp electric intre doua straturi conductoare ca armaturile unui condensator, atunci moleculele se aliniaza in campul electric. Astfel, metasuprafata propusă actioneaza ca polarizor liniar care roteste controlat planul de polarizare. Este necesar ca armaturile sa fie transparente la radiatia optica de operare doar in cazul structurii de volum. Ca superlentilă, structura de suprafată face posibilă exploatarea unei noi direcții de dezvoltare in cazul sistemelor de obtinere a imaginilor cu detalii



mai mici decat lungimea de unda prin cuplarea ordinelor de difracție superioare la imaginea obtinută in camp indepartat, pentru imbunatatirea contrastului si formarea unei imagini de inalta rezolutie.

Componenta de volum are nivelul de birefringenta controlat prin orientarea moleculelor de CL aflate in faza colesterică sau nematică răsucită. In aceasta faza axele moleculelor adiacente sunt rotite una față de alta, formând o elicoidă.

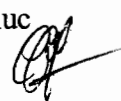
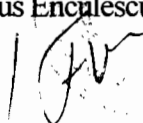
Cele doua componente inseriate, metasuprafata ca polarizor liniar si structura de volum ca lamela retardoare cu defazare controlabila, opereaza precum un analizor de stări de polarizare (ASP) pentru polarimetria imagistica. ASP este util in evidentierea detaliilor obiectelor tinta vizate in conditii departe de cele ideale.

Prezenta inventie permite ca trei functionalitati optice, respectiv de polarizor liniar, superlentila cu rezolutie dincolo de limita clasica de difracție si de lamela retardoare cu intarziere controlabila sa fie integrate intr-un singur dispozitiv optoelectronic.

## STADIUL TEHNICII

Observarea detaliilor cu dimensiuni sub lungimea de unda cu ajutorul microscopelor optice este dificila datorita limitei de difracție Abbe. Limita poate fi coborata, daca se utilizeaza o lungime de unda mai scurta, un indice de refractie mai mare sau se cumuleaza si contributiile undelor evanescente si a ordinelor superioare de difracție.

Pentru metalele (Au, Ag, Al, Cu, Cr, Ni) utilizate in fabricarea metamaterialelor (MTM), respectiv metasuprafetelor (MTS) (ref.: Pendry J.B., Metamaterials and the Control of Electromagnetic Fields, Proceedings of the Ninth Rochester Conference on Coherence and Quantum Optics, June 13, 2007, ISBN: 1-55752-849-7, Page CMB2) indicele de refractie este un numar complex cu partea reala mica si partea imaginara de 4-6 ori mai mare. Prin definitie MTM si MTS sunt constituite printr-o dispunere regulata in volumul unui dielectric, respectiv doar pe suprafata acestuia, de formatiuni metalice cu dimensiuni mai mici decat lungimea de unda de operare. Aceasta combinatie de dielectric si formatiuni metalice are proprietati fizice care provin mai ales de la structura lor (forma geometrica, marime, orientare) si nu doar de la proprietatile intrinseci ale materialelor de baza. Distributia si forma elementelor metalice structurate in mediul dielectric afecteaza propagarea radiatiei electromagnetice intr-o maniera care nu este observata in materialele naturale. Materialele cunoscute ca MTM cu indice de

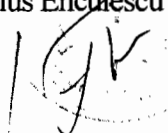


refracție negativă permit crearea de superlente, care pot crește rezoluția optică dincolo de limita de difracție. Conceptul de superlentilă sau lentilă perfectă a fost introdus de Sir John Pendry și se referă la focalizarea fără aberații a întregului spectru, atât a undelor de propagare, cât și a celor evanescente (Pendry, J. B., "Negative refraction makes a perfect lens", *Phys. Rev. Lett.*, 85 (18), 2000, 3966–9). Chiar dacă teoria formulată inițial de Pendry nu a fost tocmai corectă (Ziolkowski, R. W., Heyman, E. (2001), "Wave propagation in media having negative permittivity and permeability". *Physical Review E*, 64 (5): 056625), fiind valabilă doar pentru un mediu particular fără pierderi, nedispersiv și cu parametri definiți astfel încât să ducă la un indice de refracție negativ, totuși, rezultatul intuitiv final al acestei teorii, că atât undele de propagare, cât și cele evanescente sunt focalizate într-un punct focal în stratul metalic și un alt punct focal simetric în exteriorul stratului, s-a dovedit a fi corect.

Rezoluția superlentelelor este limitată doar de calitatea MTM sau MTS. De exemplu, un strat metalic foarte subțire, aproximativ de 40÷50 nm, poate acționa ca superlentilă în VIS, unde indicele de refracție  $n$  este negativ. Chiar dacă nu avem un strat metalic de suprafață continuu, ci doar o arie de nanoparticule sau elemente metalice nanostructurate pe suprafața dielectrică (ref.: Traci, R.J. et al., *J. Phys. Chem. B* 2000, 104, 10549-10556), adică o MTS, aceasta acționează similar cu o rețea metalică de difracție cu dimensiuni mai mici decât lungimea de undă de operare și se constată o amplificare locală a câmpului electromagnetic la nivelul nanoparticulelor.

Se poate selecta domeniul spectral de operare al superlentei printr-o alegere adecvată a factorului de umplere a rețelei de suprafață formată din molecule fusiforme cu caracter metalic și a proprietăților mediilor dielectrice care formează matricea (ref: S. Sun, Q. He, S. Xiao, Q. Xu, X. Li, L. Zhou, *Gradient-index meta-surfaces as a bridge linking propagating waves and surface waves*, *Nature Materials*, 11, (2012), 426–431).

Detaliile optice mai mici decât lungimea de undă sunt transportate de EW sau SW. Acestea nu ajung în câmp îndepărtat, astfel încât să fie observate direct ca unde de propagare (PW), pentru că se atenuează rapid în mediul optic cu indice de refracție mai mic. În schimb pentru SW, respectiv EW, se poate proiecta o MTS cu indice de refracție gradat, astfel încât să se obțină transformarea de 100% a SW în PW, pentru o componentă adecvată a vectorului de undă pe direcția de propagare a SW și un anumit domeniu de valori pentru unghiul de emergență la ieșirea din mediul cu indicele de refracție mai mare.



Unghiul de emergenta trebuie sa fie mai mare decat o valoare critica. Toate undele PW și EW sau SW provenind de la sursa de radiații sunt prezente in planul focal al undelor PW (Lee, H. et al., Solid State Communications 146 (2008), 202-207). Prin introducerea structurii propuse in tehnicile de imagistica de inalta rezolutie este cu putintă să se cumuleze contributiile diferitelor unde purtatoare de informatii.

Pe de alta parte, abordarea polarimetrica se bazeaza pe imagini luate prin polarizori liniari sau circulari cu orientari diferite ale polarizarii. In multe aplicatii, fenomenele de polarizare sunt ignorate si campul optic este tratat scalar. In timp ce abordarea scalara poate fi destul de precisa in multe situatii, totusi, abilitatea de a masura polarizarea luminii care provine de un obiect observat furnizeaza detalii suplimentare care pot fi exploatare pentru imbunatatirea performantelor echipamentelor. Daca lumina polarizata de la scena observata atat la intrarea in sistem, cat si la iesirea din sistemul optic, este descrisa prin vectorii Stokes, atunci in polarimetria generalizata sistemul optic de analiza va fi descris prin intermediul matricei Mueller de ordinul patru (J. Scott Tyo, Dennis L. Goldstein, David B. Chenault, Joseph A. Shaw, "Review of passive imaging polarimetry for remote sensing applications", Applied Optics, 45(22), 5453–5469, 2006):

$$[\text{Lumina la iesire}] = [\text{Matricea Mueller}] \times [\text{Lumina la intrare}].$$

Componentele vectorului Stokes de polarizare sunt descrise de o matrice de tipul:

$$S = \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix} \propto \begin{bmatrix} I_0 + I_{90} \\ I_0 - I_{90} \\ I_{45} - I_{135} \\ I_L - I_R \end{bmatrix}$$

unde:  $S_0$  reprezinta intensitatea totala a fasciculului,  $S_1$  reprezinta diferenta intre intensitatile starilor liniar polarizate pe orizontala (+1) si respectiv verticala (-1),  $S_2$  reprezinta diferenta intre intensitatile starilor liniar polarizate la  $45^\circ$  (+1) si respectiv la  $135^\circ$  (-1), iar  $S_3$  desemneaza diferenta intre intensitatile starilor circular polarizate spre dreapta (+1) si spre stanga (-1). Uneori este suficient un singur parametru de polarizare. Pentru performante crescute, se folosesc inasa doua, trei, chiar patru componente ale vectorului Stokes de polarizare. Atunci un ASP poate asigura prelucrarea imaginilor achizitionate in patru pozitii diferite ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  si  $135^\circ$ ) ale sirurilor paralele de molecule de cristal lichid de suprafata dopate cu atomi metalici (Fig.2), relativ la pozitia fixa a lamelei retardoare, printr-un algoritm de obtinere si



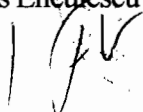

combinare a componentelor vectorului Stokes. Astfel, detaliile invizibile prin sistemele optice clasice sunt scoase in evidenta, daca se utilizeaza un asemenea ASP.

### **Elementele de dificultate în fabricația și experimentarea dispozitivului optoelectronic cu metasuprafata configurabila electric**

Mentionam ca elemente de dificultate:

- obținerea de elemente metalice submicronice, chiar nanometrice, pe suprafețe plane extinse de ordinul  $\text{cm}^2$  pentru ancorarea și orientarea moleculelor de CL colesterice;
- doparea cu ioni metalici doar a moleculelor de suprafața ale CL nematic, astfel încât să se asigure o densitate de suprafața suficient de mare pentru polarizarea eficientă a radiației optice, dar totuși mică pentru a nu provoca strapungerea electrică între electrozii structurii de suprafața. Doparea metalică face ca moleculele de suprafața să-și piardă caracterul dipolar, dar acestea vor fi totuși orientate de moleculele de CL aflate în imediata lor vecinătate prin forțele Van der Waals;
- cuplarea cu precizie nanometrică a metasuprafeței superlentilei în câmpul EW de la suprafața obiectului, pentru asigurarea conversiei în PW și a detecției în câmpul îndepărtat, unde este plasat detectorul sau observatorul.

Pentru obținerea de nanostructuri metalice de ancorare pe arii extinse se pot utiliza metode litografice. Litografia optică (optical lithography-OL) s-a perfecționat ca parte a tehnologiei pentru obținerea de microcircuite pe siliciu (Si), iar mai recent litografia nanoimprint (nanoimprint lithography-NIL) s-a impus ca o metodă de fabricație simplă la scala nanometrică, de cost scăzut, cu productivitate ridicată și rezoluție înaltă. NIL presupune deformarea mecanică cu o matrită a unui rezist vascos pentru imprimarea tiparelor și apoi solidificarea acestor tipare prin tratament termic sau iradierea cu UV. Este cea mai potrivită metodă pentru fabricarea MTS pe arii extinse cu detalii nanometrice. Litografia cu fascicul de electroni (electron beam lithography-EBL) sau cu fascicul focalizat de ioni (focused ion beam-FIB) sunt adecvate pentru arii restrânse cum sunt matritele pentru NIL. Pentru cuplarea cu precizie nanometrică a superlentilei în câmpul EW se poate utiliza un scanner cu acționare piezoelectrică.



### Limitele abordărilor actuale în domeniul de aplicare a inovatiei

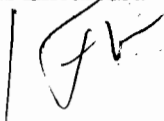
Mentionam doar urmatoarele limitari:

- noua structură permite preluarea și conversia EW din câmp apropiat în câmp îndepărtat prin introducerea suprafeței exterioare a superlentilei sau a primei structuri propuse în regiunea de penetrare limitată a EW. De exemplu, adâncimea de penetrare detectabilă a EW este de la 15 nm la 115 nm în aer, în funcție de indicii de refracție ai mediilor care se afla la interfață, de unghiul de incidență, respectiv emergență a radiației pe sau de la interfața optică și de lungimea de undă (M. Kramer, "Evanescent waves in microscopy", Photonik, 2, 2004, 42, C. Cotirlan-Simioniuc, R. V. Ghita, C. C. Negrila, C. Logofatu, „The evanescent-wave cavity ring-down spectroscopy technique applied to the investigation of thermally grown oxides on Si(100)”, Appl. Phys. A, 117 (3), 2014, 1359-1365);
- conversia EW, respectiv SW, în PW se realizează cu randament maxim doar în anumite condiții de emergență a radiației și pe o anumită bandă de frecvențe. Această bandă de frecvențe poate fi largită, dacă sunt utilizate materiale nerezonante cu indice mare de refracție.

### EXPUNEREA INVENTIEI

Prezenta invenție utilizează două structuri de celule cu CL pentru realizarea dispozitivului optoelectronic cu metasuprafață configurabilă electric ca ASP: prima structură de suprafață are rol de polarizor liniar, respectiv de superlentilă, iar structura de volum are rol de lamelă retardoare cu defazare controlabilă electric.

În Fig.1 este prezentat schematic întregul dispozitiv electrooptic propus. Structura de suprafață este alcătuită din molecule de CL fusiforme cu conductivitate metalică (1) legate și aliniată de un mediu de CL nematice. Structura de volum cuprinde un mediu (3) din CL colesterice plasate între două plăci (2) și (4) realizate prin depunerea unui strat de oxid conductiv (ITO) și a unui strat de polimer izolator transparent în VIS+NIR. Stratul de polimer asigură izolarea electrică a straturilor metalice față de moleculele de CL. Elementele metalice sunt contactate ohmic și conectate electric la o sursă de tensiune continuă.





### **Conversia EW (SW) in PW pentru aplicatii in microscopie**

Fasciculul de radiatie optica va aborda structura dinspre metasuprafata (MTS).

O picatura dintr-un mediu lichid cu indice de refractie mai mic decat al dielectricului suprapus pentru protectie pe metasuprafata (1) va fi depusa pe obiect, pentru a se asigura adaptarea de indice de refractie dintre obiect si superlentila. EW se propaga pe interfață, prezentand o atenuare exponentiala cu distanta parcursa pe interfata si va suferi conversia in PW, care se propaga in adancime, spre substratul optic si spre detectorul plasat in apropierea superlentilei, evadand în campul indepartat fata de MTS, daca conversia este eficienta. EW este astfel preluata prin aducerea superlentilei in campul apropiat al obiectului, astfel incat stratul de elemente metalice fusiforme (1) sa fie la o distanta mai mica de o lungime de unda fata de suprafata obiectului. Lungimile de undă de lucru vor fi alese în funcție de caracteristicile optice ale dielectricului de protectie, ale metasuprafetei si cristalul lichid nematic. Prin variatia tensiunii electrice pe structura de suprafata este modificat unghiul de orientare al moleculelor de cristal lichid si astfel este rotit corespunzator planul de polarizare liniara, ceea ce duce la ajustarea conversiei, la procesarea in timp real a detaliilor polarimetrice si informatiilor din maximele superioare de difractie, si implicit a rezolutiei imaginii obtinute.

### **AVANTAJELE INVENTIEI**

Dispozitivul optoelectronic cu metasuprafata configurabila electric reprezentat în Fig.1 si 2 are avantajul principal ca rezolva compromisurile spatio-temporale care tin de numarul componentelor vectorului Stokes detectate si de complexitatea sistemului de analiza optica. Dispozitivul propus simplifica mult sistemele imagistice, pentru ca utilizeaza un singur canal de procesare seriala cu rotirea electrica a moleculelor de pe suprafata polarizorului fata de lamela retardoare si astfel face cu putinta prelucrarea fara aberatii si in timp real a imaginilor achizitionate, fara componente mecanice in miscare.

De asemenea, introduce posibilitatea conversiei EW (respectiv SW) in PW pentru valori ale unghiului de emergenta mai mari decat unghiul critic pentru interfata optică plană pe un anumit domeniu spectral, in cazul de fata: VIS+NIR. Se pot studia, de asemenea, contributiile diferitelor fenomene fizice de la interfață (difractie, amplificarea locala a rezonantelor plasmonice pe elementele metalice ale

metasuprafeței, amplificarea EW sau SW în mediile cu  $n$  negativ) la modularea reflectivității MTS, la îmbunătățirea rezoluției și contrastului unei imagini în VIS și NIR. Un alt avantaj al configurației introduse este că pierderile la cuplare sunt diminuate pentru variația unghiului de emergență a radiației de pe suprafața obiectului. Deci, optimizarea structurii electrooptice se face prin micșorarea pierderilor de informație intrinsecă din câmpul EW. Adâncimea de penetrare până la care EW este detectabilă în aer poate fi ajustată și prin variația puterii radiației.

### PREZENTAREA SUMARA A FIGURILOR

Prezenta invenție poate fi înțeleasă din lecturarea modului detaliat de realizare descris mai jos cu titlu informativ, dar nelimitativ și prin referire la desenele anexate:


-Fig.1 ilustrează schematic structura dispozitivului optoelectronic cu metasuprafața configurabilă electric;

-Fig.2 ilustrează structura de suprafață a dispozitivului optoelectronic cu metasuprafața configurabilă electric.

### PREZENTAREA IN DETALIU A UNUI MOD DE REALIZARE A INVENTIEI

Structura funcțională este reprezentată în Fig.1 și Fig.2. Tehnologia preparării unei celule de cristal lichid cuprinde următoarele etape:

- a) tăierea plăcuțelor de sticlă la dimensiunile dorite;
- b) degresarea într-o soluție de eter și alcool etilic absolut și spălarea cu apă distilată (sau curățare în baie de ultrasunete) a plăcuțelor de sticlă transparentă în domeniul spectral VIS+NIR;
- c) depunerea stratului de oxid conductiv transparent (ITO sau alt material cu proprietăți asemănătoare) și structurarea acestuia;
- d) depunerea prepolimerului lichid prin centrifugare ("spin coating");
- e) tratarea termică (coacerea) a plăcuțelor cu prepolimer în etuvă. Temperatura și durata de tratare depind de natura polimerului;
- f) asamblarea celulei (plasarea distanțorilor, prinderea cu cleme);
- g) umplerea celulelor cu CL sau cu sistemul colorant și CL. Sistemul trebuie să fie în fază izotropă, ceea ce se obține prin încălzire, iar umplerea se realizează prin capilaritate. În cazul structurii de suprafață se



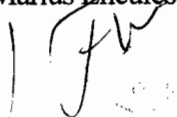
realizeaza implantarea ionica a moleculelor de suprafata si apoi plasarea unui strat dielectric de protectie a metasuprafetei;

h) realizarea contactelor electrice pentru stratul de oxid conductiv transparent;

i) verificarea alinierii CL (pe domenii) folosind metoda microscopiei în lumină polarizată (polarizing optical microscopy). La etapa c) structura electrozilor din oxizi conductori transparenti în VIS+NIR de pe planul din spate al celulei de volum se poate realiza prin pulverizare catodică în sistem magnetron (RF sputtering) sau evaporare cu fascicul de electroni (e-beam) sau evaporare termică în vid (TVE) sau depunere cu laser pulsant (PLD). Apoi pe stratul metalic se depune un fotorezist sensibil la radiație UV și o mască cu negativul tiparului metalic pe care îl dorim inscripționat pe suprafața oxidului conductiv transparent. După iradierea UV, tiparul final se obține prin corodarea chimică a fotorezistului nesolidificat și a stratului de oxid conductiv transparent aflat sub acesta. Pentru detalii nanometrice este recomandată litografia nanoimprint (NIL) aplicată în conformitate cu descrierea din referința (Torres C.M.S., „Nanoimprint lithography: an alternative nanofabrication approach”, Materials Science and Engineering: C, 23(1–2), 2003, 23–31). Pentru domeniul NIR dimensiunile detaliilor metalice sunt mai mari, respectiv de ordinul  $\lambda/10$ . La această scală submicrometrică încă se poate aplica litografia optică convențională cu lungimi de undă în UV și anumite condiții tehnologice speciale, care a fost perfecționată pentru industria microelectronică pe Si sau Ge. În final se realizează contactele electrice ohmice pe stratul de oxid conductiv transparent și sistemul poate fi testat optic cu o cameră CCD pentru VIS și NIR.

#### **MODUL ÎN CARE INVENTIA POATE FI APLICATA INDUSTRIAL**

Aplicațiile posibile ale dispozitivului electrooptic propus sunt în domeniul cuploarelor optoelectronice cu plasmoni de suprafață și microscopie sau în sporirea vizibilității în condiții dificile de detecție prin imagistică polarimetrică. În acest ultim caz, noua soluție constructivă permite fabricarea și implementarea rapidă a unui sistem optic de volum redus, fără aberații, cu superrezoluție, în instrumente portabile fără piese mecanice în mișcare, cu scopul de a reduce prețul prohibitiv al acestui gen de echipamente de imagistică.



## Revendicări

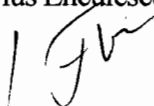
1. Dispozitiv optoelectronic cu metasuprafață configurabilă electric pentru controlul polarizării luminii și obținerea rezoluției optice sub limita clasică de difracție, caracterizat prin faptul că are o configurație bazată pe o structură de suprafață cu cristal lichid nematic (1) suprapusă pe o structură de volum alcătuită dintr-un cristal lichid în fază colesterică (3) plasat între două plăci de sticlă (2) și (4) pe care sunt depuse un strat de oxid conductiv transparent nano sau microstructurat cu contactele electrice aferente și un strat subțire de polimer ca izolator.

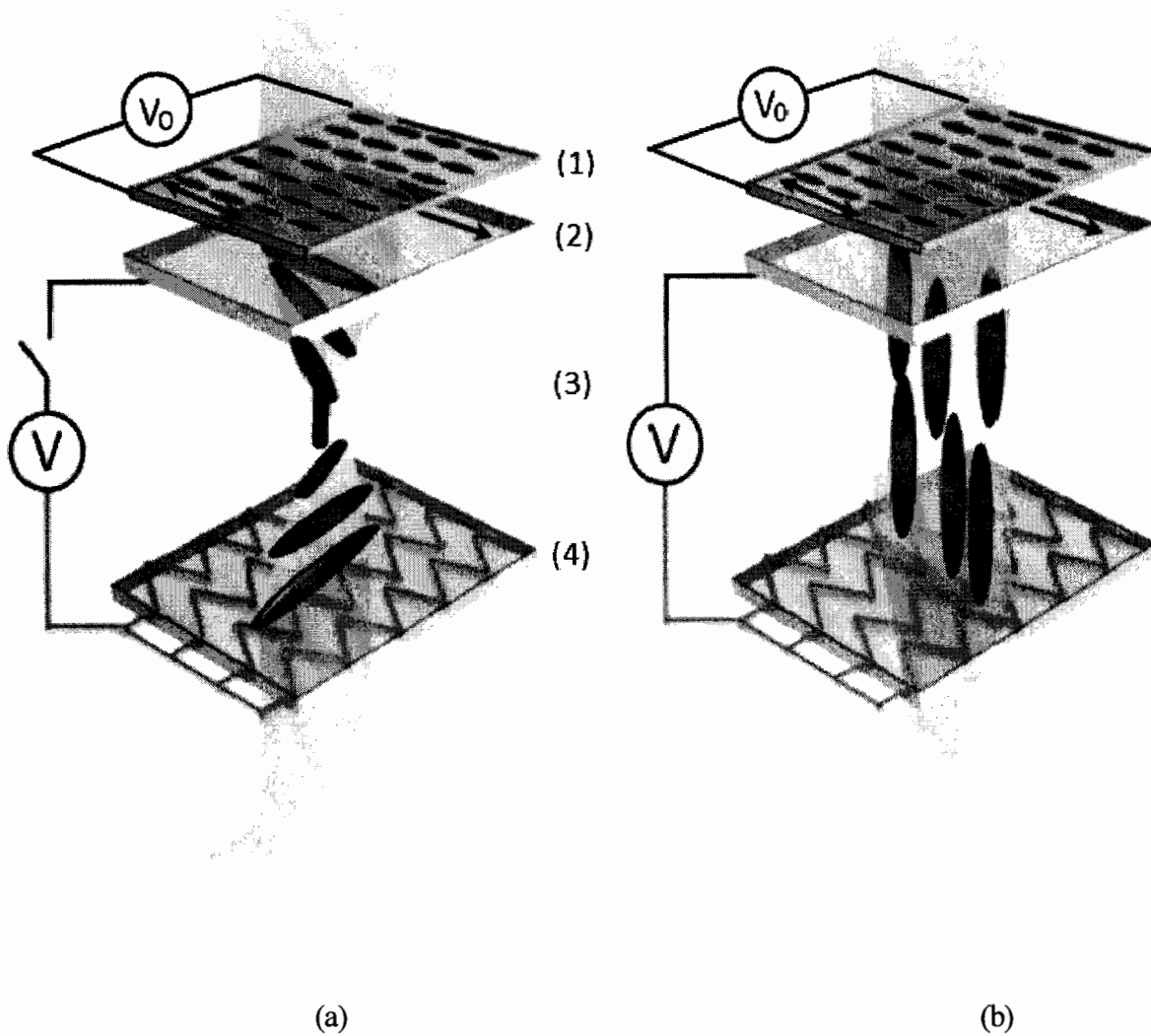
2. Dispozitiv optoelectronic cu metasuprafață configurabilă electric pentru controlul polarizării luminii și obținerea rezoluției optice sub limita clasică de difracție conform revendicării 1, caracterizat prin faptul că realizează orientarea uniaxială a moleculelor din structura de suprafață prin aplicarea unei tensiuni electrice pe structură, obținându-se astfel rotirea controlată a planului de polarizare a luminii.

4. Dispozitiv optoelectronic cu metasuprafață configurabilă electric pentru controlul polarizării luminii și obținerea rezoluției optice sub limita clasică de difracție conform revendicării 1, caracterizat prin faptul că prin tensiunea electrică aplicată pe structura de volum induce variația decalajului de fază pe o gamă de la  $0^\circ$ ÷ $180^\circ$ , făcând posibilă optimizarea rezoluției imaginilor achiziționate.

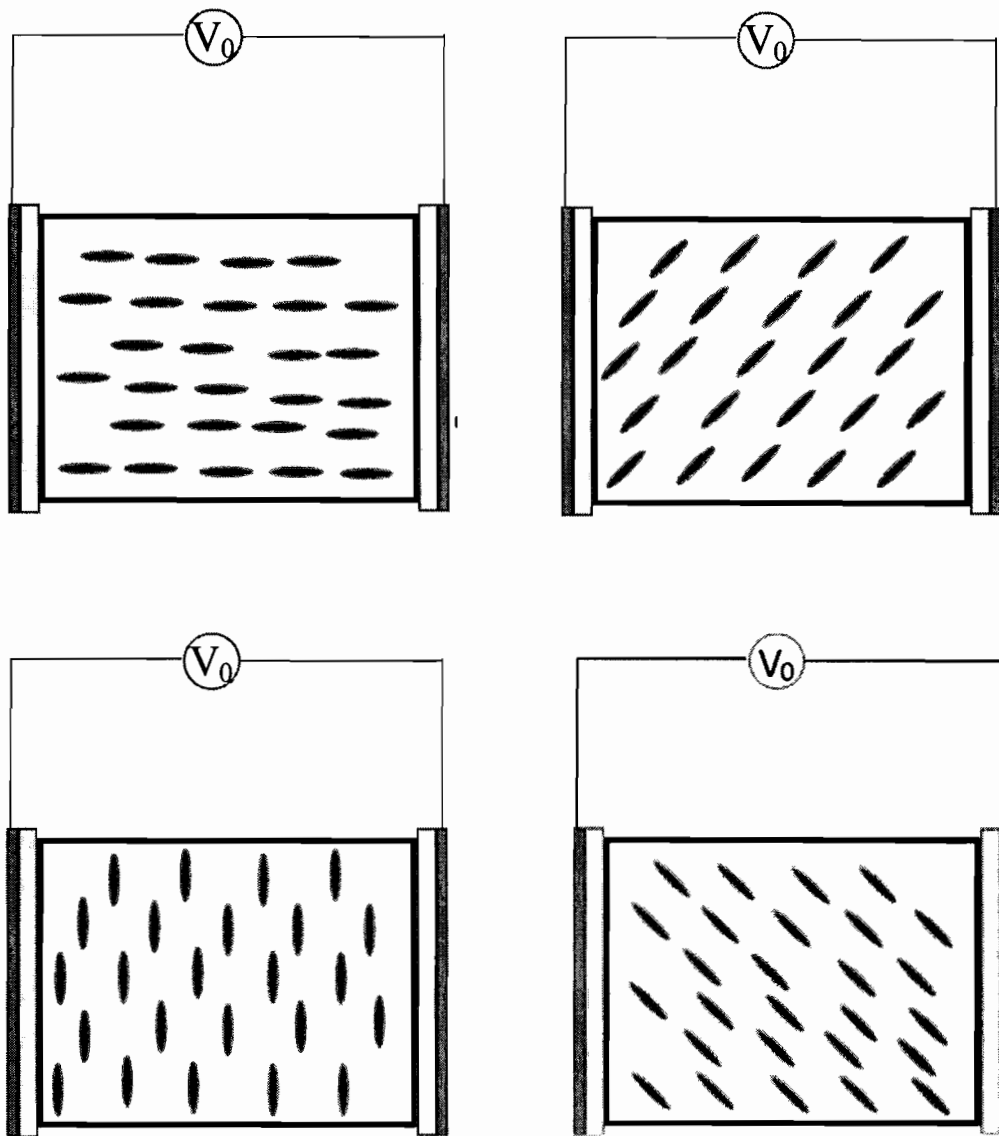
2. Dispozitiv optoelectronic cu metasuprafață configurabilă electric pentru controlul polarizării luminii și obținerea rezoluției optice sub limita clasică de difracție conform revendicării 1, caracterizat prin faptul că permite conversia optimă, fără aberații optice, pe un domeniu specific de lungimi de undă și unghiuri de emergență a undelor de suprafață sau undelor evanescente în unde de propagare, atunci când este introdus cu structura de suprafață în câmpul apropiat al obiectului de studiat iluminat de radiația optică de operare.

5. Dispozitiv optoelectronic cu metasuprafață configurabilă electric pentru controlul polarizării luminii și obținerea rezoluției optice sub limita clasică de difracție conform revendicării 1, caracterizat prin faptul că sporește amplitudinea semnalului detectat în câmp îndepărtat și adaugă imaginii finale detalii mai fine decât lungimea de undă a radiației utilizate prin: sporirea câmpului electromagnetic local în prezența nanostructurilor metalice în structura de suprafață, utilizarea informației optice conținute în maximele superioare de difracție și prelucrarea polarimetrică în timp real a componentelor vectorului Stokes la orientarea cu unghiuri de  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  a moleculelor de cristal lichid.





**Fig.1** (a) Moleculele de CL ale structurii de suprafata (1) sunt orientate uniaxial prin aplicarea tensiunii  $V_0$ . Moleculele de CL din structura de volum (2)+(3)+(4) se aranjeaza rasucit fara aplicarea tensiunii electrice  $V$  pe electrozii de oxid conductiv transparent; (b) Aranjarea paralela a moleculelor de CL la aplicarea tensiunii  $V$  pe electrozii structurii de volum.



**Fig.2** Orientarea la unghiuri de  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  a moleculelor de CL in cadrul structurii de suprafata prin aplicarea tensiunii  $V_0$  rotește corespunzător planul de polarizare liniară.