



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2019 00578**

(22) Data de depozit: **20/09/2019**

(41) Data publicării cererii:
30/03/2021 BOPI nr. **3/2021**

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

(72) Inventatori:
• COTÎRLAN-SIMIONIUC COSTEL,
CALEA FERENTARI NR. 72, BL. 7C, SC. B,
AP. 13, SECTOR 5, BUCUREȘTI, B, RO

(54) **STRUCTURĂ DE SUPERLENTILĂ CU METASUPRAFAȚĂ
PENTRU CONVERSIA UNDELOR DE INTERFAȚĂ ÎN UNDE
DE PROPAGARE ȘI FOCALIZAREA ACESTORA ÎN CÂMP
ÎNDEPĂRTAT**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o structură de superlentică pentru conversia undelor de interfață în unde de propagare și focalizarea acestora în câmp îndepărtat. Superlentică conform invenției este realizată dintr-un strat de elemente dreptunghiulare paralele având conducție metalică sau semimetalică și rol de nanoantene plasmonice, dispuse radial pe toată suprafața unui substrat optic, cu o perioadă de 10 elemente, elementele cu lungimea mai mare fiind plasate către exterior, ceea ce permite obținerea unei rezoluții optice sub limita de difracție, fără aberații optice, pe un domeniu specific de lungimi de undă și unghiuri de incidență, modulând refracția superlentei, astfel încât se obțin imagini cu un contrast îmbunătățit, atunci când suprafața cu nanoantene este plasată în câmpul apropiat al obiectului de observat.

Revendicări: 2
Figuri: 3

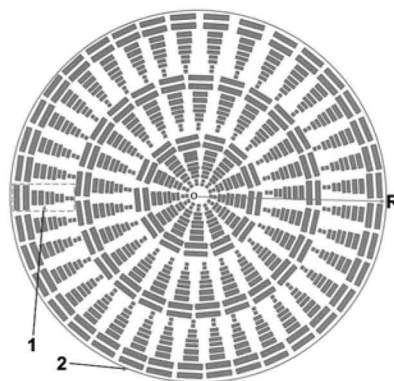


Fig. 1



Structură de superlentilă cu metasuprafață pentru conversia undelor de interfață în unde de propagare și focalizarea acestora în câmp îndepărtat

Descriere

DOMENIUL TEHNIC

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. ... a 2019 00578
Data depozit ... 20.09.2019

Această invenție se referă la o structură de tip superlentilă plană, ultrasubțire, fără aberații optice, care conferă posibilitatea de a cobori rezoluția optică sub limita de difracție. Superlentila utilizează informațiile optice de mare rezoluție spațială, detalii mai mici decât lungimea de undă, conținute în undele evanescente sau undele de suprafață, prin conversia lor în unde de propagare și focalizarea acestora în câmp îndepărtat. Acestea sunt reunite generic sub numele de unde de interfață. Optica clasică nu poate exploata aceste informații, pentru că undele de interfață se atenuează rapid pe direcția de propagare perpendiculară pe suprafața optică. Structura de superlentilă propusă este de tip metasuprafață, constând din elemente dreptunghiulare cu conductivitate metalică sau semimetalică depuse cu o anumită periodicitate și cu orientare radială pe substratul optic. Se încadrează în domeniul opticii de transformare, adică cu permitivitate electrică și permeabilitate magnetică neomogene și anizotrope, cu un indice global negativ de refracție. Indicele de refracție specific pentru elementele metalice sau semimetalice depuse pe substratul optic este număr complex. Prin faptul că este plană, superlentila nu prezintă principalele aberații care afectează optica clasică: cromatică, de sfericitate și geometrică. Substratul optic al superlentilei este transparent în domeniul spectral de operare. Superlentila este utilă în realizarea de sisteme optice cu rezoluție sub lungimea de undă a radiației de lucru, de ex. în microscopie. În acest caz reușește să convertească aproape în proporție de 100% undele de suprafață (SW) sau undele evanescente (EW) din câmpul apropiat în unde cu propagare liberă (PW) în câmp îndepărtat, atunci când metasuprafața este orientată și adusă în câmpul apropiat al obiectului de observat. În cazul sistemelor optoelectronice de imagistică pentru condiții dificile de vizibilitate, de ex. în fața intensificatoarelor de imagine sau în sistemele de imagistică termală, imaginea obținută poate fi îmbunătățită fără a fi plasată superlentila în câmpul apropiat al obiectului prin

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu



Dr. Costel Cotirlan-Simioniuc



efectul de modulare a frontului de unda prin discontinuitati de faza si/sau selectarea polarizării radiatiei transmise cu ajutorul unui analizor de stari de polarizare (ASP). Functionarea ca ASP presupune prelucrarea imaginilor achizitionate in patru pozitii relative diferite ale superlentilei cu ajutorul unei lamele retardoare in $\lambda/4$, adaugata in serie, pentru obtinerea si combinarea componentelor vectorului Stokes. In cadrul unui ASP, superlentila are rol de polarizor.

Inovația prezentată aici se limitează la o configurație specifică a superlentilei pentru obtinerea imaginilor cu rezoluție sub limita de difracție pentru microscopie, capabilă de a adăuga detaliile din camp apropiat la informatiile optice din camp indepartat prin conversia SW in PW.

Practic, noua structură de suprafață pentru superlentila propusă conferind rezoluție optică sub limita de difracție permite exploatarea unei noi direcții de dezvoltare, utilizand cuplarea ordinelor de difracție superioare la imaginea obtinută in camp indepartat, pentru îmbunătățirea contrastului si formarea unei imagini de inaltă rezoluție.

STADIUL TEHNICII

Observarea detaliilor cu dimensiuni sub lungimea de unda cu ajutorul microscopelor optice este dificila datorita limitei de difracție Abbe. Lumina cu lungimea de unda λ , parcurgand un mediu cu indicele de refracție n , converge intr-un spot de unghi θ si va avea raza spotului data de relatia:

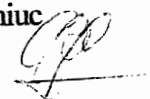
$$d = \frac{\lambda}{2n \sin \theta} \quad (1)$$

unde: numitorul $n \sin \theta$ este numit apertura numerica (NA) si poate fi 1,4÷1,6 pentru optica actuala. Prin urmare, limita Abbe poate fi minim $d = \lambda/3,2$. Considerind ca lumina verde are lungimea de unda in jur de 500 nm, in cazul slab performant NA=1, iar limita Abbe este $d = \lambda/2 = 250$ nm (0,25 μ m), destul de mica comparativ cu majoritatea celulelor biologice (de la 1 μ m la 100 μ m), dar prea mare in comparatie cu dimensiunea virusilor (100 nm), proteinelor (10 nm) si moleculelor mai putin complexe (1 nm). Limita poate fi coborata, daca se utilizeaza o lungime de unda mai scurta sau un indice de refracție mai mare.

Pentru metalele (Au, Ag, Al, Cu, Cr, Ni) utilizate in fabricarea metamaterialelor (MTM) (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) indicele de refracție este un numar complex cu partea reala mica si partea imaginara de 4÷6 ori mai mare. Prin definitie metamaterialele (MTM) sunt o combinatie regulata de formatiuni metalice sau semimetalice intr-un mediu dielectric, iar in cazul metasuprafetelor (MTS) formatiunile sunt

Director General INCDFM
Dr. Ionut Marius Enculescu

Dr. Costel Cotirlan-Simioniuc

dispuse pe suprafața substratului. Această combinație are proprietăți fizice care provin mai ales de la structura lor (forma, geometrie, marime, orientare) și nu doar de la proprietățile intrinseci ale constituenților de baza, substrat și acoperiri. Distribuția și forma elementelor metalice sau semimetalice, structurate în sau pe mediul dielectric, afectează propagarea radiației electromagnetice într-o manieră care nu este observată în materialele naturale. Materialele cunoscute ca MTM cu indice de refracție negativ permit crearea de superlente, care pot crește rezoluția optică dincolo de limita de refracție. Conceptul de superlente sau lentile perfecte 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), 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. Ca exemplu, obținerea de MTM pentru domeniul vizibil ține de rezolvarea următoarelor probleme:

1. Elementele plasmonice constitutive precum fire, inele rezonatoare splitate sau de alte forme, trebuie fabricate la dimensiuni mai mici decât lungimea de undă (400÷700 nm în cazul domeniului vizibil);
2. Lungimile de undă scurte corespund frecvențelor mai mari. La aceste frecvențe metalele se comportă mai puțin conductiv, astfel încât amortizează rezonanțele la care ar trebui să lucreze MTM. Totuși, un strat de metal foarte subțire, de aproximativ 40÷50 nm, poate acționa ca superlente în vizibil, unde indicele de refracție n este negativ.

Rezonanța plasmonică de suprafață (surface plasmon resonance-SPR), ca în ref. Roh S., Chung T., Lee B., Sensors, 11 (2011), 1565-1588, și cazul particular al acesteia: rezonanța plasmonică localizată de suprafață (LSPR), ca în ref. Traci, R.J. et al., J. Phys. Chem. B 2000, 104, 10549-10556, joacă un rol esențial în îmbunătățirea SW și EW la transmisia printr-un strat metalic subțire sau printr-o distribuție de nanoparticule de Ag depuse pe un substrat optic. Prezența unei arii de nanoparticule sau elemente metalice de Ag, ca o nanostructură pe o suprafață dielectrică, este similară cu o rețea metalică de difracție cu dimensiuni mai mici decât lungimea de undă de lucru. Pe de altă parte, un strat subțire de Ag este

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu



Dr. Costel Cotirlan-Simioniuc



recomandat in multe aplicatii de spectroscopie cu rezonante plasmonice de suprafata (SPR) in comparatie cu oricare alt metal nobil (aurul este cel mai des utilizat pentru rezistenta lui la oxidare si coroziune), pentru că prezintă cea mai mică pierdere la rezonanță in domeniul frecvențelor optice. Un strat subțire de Ag depus pe un dielectric, cum ar fi BK7 pentru vizibil, poate spori transmisia unei unde electromagnetice de interfata cu polarizare p, undă care produce SPR la ambele interfețe (sticlă-metal, metal-aer). Undele SPR de la cele două interfețe se pot cupla, dacă stratul metalic este suficient de subțire, de zeci de nm.

Recent au fost introduse practic materiale noi pentru excitarea SPR sau plasmonilor (SPPs), conform ref. G. Naik, A. Boltasseva, doi: 10.1117/2.1201201.004077, SPIE 2012. Materialele cu conductie semimetalica tind sa ia locul metalelor, pentru micșorarea pierderilor optice care apar prin imprastierea si absorbtia radiatiei pe purtatorii de sarcina liberi. Intr-un material semimetalic concentratia acestora este mai mica decat intr-un metal, iar mobilitatea lor poate fi la fel de mare.

Datorita capacitatii de a depasi limita de difractie a luminii, componentele optice care opereaza cu SPPs sunt considerate drept cei mai promitatori candidati pentru dispozitive nanofotonice (G. Wang, X. Liu, H. Lu, C. Zeng, „Graphene plasmonic lens for manipulating energy flow”, Scientific Reports, 4, 4073, doi: 10.1038/srep04073). Se poate selecta domeniul de operare al superlentilei printr-o alegere adecvată atat a factorului de umplere a rețelei MTS formata din dreptunghiuri metalice structurate pe suprafata superlentilei, cat și prin selectarea mediilor dielectrice care formeaza substratul (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, 426–431, 2012). Tot in aceasta ultima referinta se precizeaza conditiile de cuplare PW si SW.

Pentru orice PW se poate proiecta o MTS cu indice de refractie variabil (gradat), astfel incat sa se obtina transformarea de 100% a PW in SW, pentru o componenta adecvata a vectorului de unda pe directia de propagare a SW si un anumit domeniu de valori pentru unghiul de incidenta.

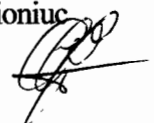
Unghiul de incidenta trebuie sa fie mai mare decat o valoare critica. Tot S. Sun *et al.* au arătat in articolul citat că SW generată pe MTS poate fi într-adevăr ghidată, pentru a se propaga ca SPP pe o altă suprafată vecină acoperită cu o structură de microarii metalice dreptunghiulare.

Cuplarea SW si SPP nu este supusa unei conditii de adaptare, pentru că $\lambda_{SW} = \lambda_{SPP}$.

Director General INCDFM
Dr. Ionut Marius Enculescu



Dr. Costel Cotirlan-Simioniu



Confinarea SW este realizată radial pe MTS prin distribuția elementelor dreptunghiulare ca în Fig.1, cu elementele de dimensiuni mai mari spre periferia superlentilei. Prin urmare, un astfel de sistem reprezintă un convertor SW în PW cu doi parametri cruciali: vectorul de undă și unghiul de incidență, care controlează cuplajul celor două tipuri de unde. Un asemenea fenomen de conversie este realizat prin arii cu reflectanță, respectiv transmitanță, modulată în domeniul ales pentru frecvențele de lucru și trebuie să îndeplinească condițiile menționate. Toate undele PW și SW provenind de la sursa de radiații sunt prezente în planul focal al undelor PW (Lee, H. *et al.*, Solid State Communications 146 (2008), 202-207). Prin introducerea structurii propuse pe suprafața superlentilei pentru tehnicile de imagistică de înaltă rezoluție este cu puțință să se cumuleze contribuțiile diferitelor unde purtătoare de informații.

Elementele de dificultate în fabricația și experimentarea superlentilei cu metasuprafață pentru conversia undelor de interfață în unde de propagare și focalizarea lor în câmp îndepărtat

Mentionăm ca elemente de dificultate:

- obținerea de nanoelemente plasmonice pe suprafețe plane extinse de ordinul cm^2 ;
- cuplarea cu precizie nanometrică a suprafeței superlentilei în câmpul apropiat al obiectului observat pentru asigurarea detecției, conversiei SW în PW și focalizarea PW în câmpul îndepărtat, unde este plasat detectorul sau observatorul.

Pentru obținerea de structuri plasmonice pe arii extinse se pot utiliza metode litografice sau nanolitografice. Litografia optică (optical lithography-OL) s-a perfecționat ca parte a tehnologiei pentru obținerea de microcircuite pe siliciu (Si), iar mai recent litografia nanoimprimantă (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 transparentă în UV a unui rezist vascos pentru imprimarea tiparelor de suprafață și apoi solidificarea acestor tipare prin tratament termic sau iradierea cu UV. Este cea mai potrivită metodă pentru fabricarea metasuprafețelor 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) este adecvată pentru arii restrânse cum sunt matritele

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu



Dr. Costel Cotirlan-Simioniuc



pentru NIL. De asemenea, se pot realiza măști de litografie din PMMA, care pot fi îndepărtate cu solvenți precum acetona după depunerea metalului nobil. Depunerea straturilor antireflex peste elementele metalice de suprafață se poate realiza prin acoperire centrifugala (spin coating) sau pulverizare (magnetron sputtering).

Pentru cuplarea cu precizie nanometrică a superlentilei în câmpul SW se poate utiliza un scanner cu acționare piezoelectrică.

Limitele abordărilor actuale în domeniul de aplicare a inovației

Mentionăm doar următoarele limitări:

- noua structură permite conversia SW în PW și focalizarea PW în câmp îndepărtat prin introducerea metasuprafeței plasmonice a superlentilei în regiunea de penetrare limitată a SW. Adâncimea de penetrare detectabilă este de $150 \div 200 \text{ \AA}$ în aer și este funcție de unghiul de incidență pe suprafața optică (M. Kramer, Photonik, 2, 2004, 42);
- conversia SW în PW se realizează cu randament maxim doar în anumite condiții de incidență 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 INVENȚIEI

Prezenta invenție utilizează o structură de superlentilă plasmonică plasată pe un substrat transparent în domeniul spectral de operare.

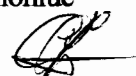
În Fig.1 este prezentată structura de suprafață alcătuită din nanoantene plasmonice (1) sub forma dreptunghiulară dispuse radial, pentru a acoperi toată suprafața substratului optic (2) al superlentilei. Aceste elemente sunt aranjate într-o ordine descrescătoare ca mărime pornind de la periferie spre centru, pentru conversia SW în PW și focalizarea PW în câmp îndepărtat, cu perioada de 10 elemente pe direcția razei superlentilei, ca în Fig.1. Nanoantenele sau elementele metalice, respectiv semimetalice de aceeași mărime din perioadele dispuse radial, se regăsesc pe aceeași circumferință.

După formarea elementelor dreptunghiulare pe suprafața substratului se pot depune straturi antireflex.

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu



Dr. Costel Cotirlan-Simioniuc



Adâncimea de penetrare δ_{SW} în mediul cu indicele de refracție n_2 este:

$$\delta_{SW} = \frac{\lambda_0}{4\pi n_2} \frac{1}{\sqrt{(\sin \alpha_1 / \sin \alpha_c)^2 - 1}} \quad (2)$$

unde: λ_0 este lungimea de undă incidentă, α_c este valoarea critică a unghiului de incidentă, când apare fenomenul de reflexie interna totală, iar α_1 este unghiul de incidență mai mare decât α_c în mediul cu un indicele de refracție n_1 . Adâncimea de penetrare depinde de polarizarea luminii incidente și scade odată cu creșterea unghiului α_1 . Atunci când α_1 atinge valoarea minimă corespunzătoare unghiului critic α_c , adâncimea de penetrare a SW tinde către infinit. Dar, prin definiție, la unghiul critic este luată în considerare valoarea adâncimii corespunzătoare scăderii intensității SW la $1/e$ (37%) din intensitatea maximă la interfață. Practic, în câmp apropiat se poate lucra până la un prag de detecție aflat la distanță egală cu o lungime de undă de la interfață.

Dacă în cadrul unei perioade este o evoluție gradată a indicelui de refracție și a fazei de undă, totuși la trecerea de la o perioadă la alta fază suferă un salt de la 180° la -180° conform 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. Când SW este convertită total în PW, atunci unda electromagnetică scapă de pe suprafața superlentei similar unei reflexii. Variația profilului grosimii elementelor de pe suprafața superlentei ar putea compensa o eventuală deplasare spectrală spre roșu (aberație cromatică), care ar putea să crească cu reducerea distanței dintre elementele metalice, conform ref. Roh S., Chung T., Lee B., *Sensors*, 11 (2011), 1565-1588. Acordabilitatea rezonanțelor plasmonice pe substrat poate fi realizată prin controlul distanțelor dintre elementele plasmonice de pe metasuprafață. Deci, structura propusă este și un modulator de fază cu indice de refracție controlabil. Însa, principala funcție a superlentei este de conversie a undelor de interfață (SW sau EW) în unde de propagare (PW) în câmpul îndepărtat, atunci când este plasată cu structura de suprafață, adică cu interfața pe care sunt structurate antenele plasmonice, în câmpul apropiat al obiectului observat, adică la mai puțin de o lungime de undă de suprafața obiectului. Undele de propagare sunt detectate sau observate după trecerea lor prin substratul superlentei, deci pe partea opusă a MTS.

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu



Dr. Costel Cotirlan-Simioniuc




Conversia SW in PW pentru aplicatii in microscopie

O picatura dintr-un lichid cu indice de refractie mai mic decat al substratului lentilei va fi depusa pe obiect, pentru a se asigura adaptarea de indice de refractie dintre obiect, mediul extern si superlentila. SW se propaga pe stratul de la suprafata, prezentand o atenuare exponentiala cu distanta parcursa pe suprafata si va suferi conversia in PW la interactiunea cu nanoantenele plasmonice. PW se propaga mai departe in camp indepartat iesind de pe suprafata substratului sub diferite unghiuri de refractie, spre detectorul plasat in apropierea superlentilei. SW contine detaliile mai fine decat lungimea de unda a radiatiei de lucru. SW va fi preluata prin aducerea superlentilei in campul apropiat al obiectului, astfel incat stratul de nanoantene plasmonice (1) sa fie la o distanta mai mica de o lungime de unda fata de obiectul observat. Lungimile de unda de lucru vor fi alese in functie de caracteristicile optice ale nanoantelor metalice sau semimetalice (1) si ale substratului (2). Sunt modulate corespunzator reflectivitatea suprafetei si refractia superlentilei, ceea ce duce la reglarea contrastului imaginii optice obtinute.

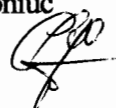
AVANTAJELE INVENTIEI

Structura de superlentila propusa in Fig.1÷3 introduce posibilitatea conversiei SW in PW si focalizarea PW in camp indepartat, pentru valori ale unghiului de incidenta mai mari decat unghiul critic pe interfata optica plana, pentru un anumit domeniu spectral (corespunzator unui domeniu de valori pentru vectorul de unda). Se pot studia conversia SW in PW si focalizarea PW in camp indepartat fata de superlentila la variatia unghiului de incidenta, pe anumite benzi spectrale in care substratul este transparent. Se pot studia, de asemenea, contributiile diferitelor fenomene fizice de la interfaa (difractia, amplificarea locala a rezonantelor plasmonice, amplificarea SW in mediile cu n negativ, Δn direct proportionala cu deplasarea rezonantelor plasmonice de suprafata) la modularea reflectivitatii, la imbunatatirea rezolutiei si contrastului unei imagini optice. Avantajul major al configuratiei introduse este ca la variatia unghiului de incidenta a radiatiei pe suprafata superlentilei se pot gasi valori pentru care pierderile optice sunt

Director General INCDFM
Dr. Ionut Marius Enculescu



Dr. Costel Cotirlan-Simioniu



practic eliminate. Optimizarea structurii de superlentilă se face pentru micșorarea pierderilor de informație intrinsecă din câmpul apropiat.

PREZENTAREA SUMARA A FIGURILOR

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

- Fig. 1 ilustrează structura de superlentilă plasmonică realizată pentru conversia SW în PW și focalizarea PW în câmp îndepărtat;
- Fig. 2 reprezintă detaliile geometrice mai mici decât λ_c -lungimea de undă centrală pentru lățimea de bandă de operare a nanoantelor plasmonice din cadrul unei perioade de pe metasuprafață;
- Fig.3 arată modul de propagare al frontului de undă la interacțiunea cu nanoantenele plasmonice și dispunerea nanoantelor pe metasuprafață.

PREZENTAREA IN DETALIU A UNUI MOD DE REALIZARE A INVENTIEI

Structura funcțională este detaliată în Fig.1. Procedura tehnologică de realizare a structurii pe suprafață este următoarea:

- substratul, care poate fi o placă de BK7 sau cuarț pentru vizibil, respectiv Si, Ge, GaAs, GaSb, GaP, ZnSe, CdTe sau alți semiconductori transparenti în domeniul spectral infraroșu mediu (MWIR) sau infraroșu de lungimi de undă mari (LWIR), se degresează în alcool etilic absolut (puritate peste 99.5 %) și apoi e corodat chimic rapid în HF 10 %, pentru îndepărtarea oxizilor nativi;
- prin spinning la 4000 rot./min. timp de 60 s se depune un strat de fotorezist de 4 micrometri, care scade la 3 micrometri după un tratament termic la 100°C timp de 20 minute. Se suprapune masca de fotolitografie și se expune suprafața la radiație UV. Masca are negativul tiparului metalic sau semimetalic pe care îl dorim inscripționat pe suprafața optică. Pentru detalii nanometrice se aplică EBL (electron beam lithography) sau NIL (nanoimprint lithography);
- tiparul final al metasuprafeței se obține prin corodarea chimică a fotorezistului expus;

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu



Dr. Costel Cotirlan-Simioniuc



- prin pulverizare catodică în sistem magnetron (RF sputtering) sau evaporare cu fascicul de electroni (ebeam) sau evaporare termică in vid (TVE) sau depunere cu laser pulsant (PLD) se poate realiza un strat subtire de 2 nm de Ni ca strat de nucleatie-umectare-adeziune-netezire pe întreaga suprafață plană a substratului cu tiparul de fotorezist. Acest strat de Ni duce la obtinerea unei suprafețe netede pentru elementele plasmonice depuse (metalice) de Ag sau de nitrura metalica (ZnN, ZrN, TiN). Proprietățile plasmonice ale stratului de elemente cu conductie metalica sau semimetalica sunt îmbunătățite de stratul intermediar de Ni (Liu, H. *et al.*, *AcsNano* 4(6), 2010, 3139-3146). Apoi prin aceleasi metode se depune stratul de 35÷50 nm de Ag sau nitrura adecvata. Doar pentru domeniul vizibil elementele metalice plasmonice au detalii nanometrice. In acest caz, pentru obtinerea lor pe suprafata optica este recomandata litografia nanoimprint (NIL) aplicată în conformitate cu descrierea din referinta (Torres C.M.S., „Nanoimprint lithography: an alternative nanofabrication approach”, *Materials Science and Engineering: C*, 23(1–2), 2003, 23–31). Pentru domeniul IR dimensiunile elementelor metalice sunt mai mari, de ordinul $\lambda/10$. La aceasta scala micrometrica se poate aplica litografia optica conventionala, care a fost perfectionata pentru industria microelectronica pe Si sau Ge;

- se corodeaza chimic suprafata pentru indepartarea fotorezistului cu depunerile metalice ramase pe fotorezist, astfel incat pe substeratul optic raman doar elementele plasmonice dreptunghiulare;

- sistemul poate fi testat optic cu o camera CCD pentru vizibil sau de termoviziune pentru SWIR, MWIR sau LWIR.

MODUL IN CARE INVENTIA POATE FI APLICATA INDUSTRIAL

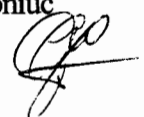
Aplicațiile posibile ale superlentei plasmonice propuse sunt în domeniul cuploarelor optoelectronice cu plasmoni de suprafata si sisteme de imagistica pentru microscopie. Conversia SW in PW si focalizarea PW in camp indepartat sunt utile si in sporirea vizibilitatii in conditii dificile de detectie.

Tehnologic, noua soluție constructivă permite fabricarea și implementarea rapidă a unui sistem optic de volum redus cu superrezolutie, fara aberatii optice clasice, în instrumente portabile, cu scopul de a reduce prețul prohibitiv al acestui gen de echipamente de imagistică.

Director General INCDFM
Dr. Ionut Marius Enculescu



Dr. Costel Cotirlan-Simioniu



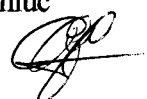
Revendicări

1. Structură de superlentilă cu metasuprafață pentru conversia undelor de interfață în unde de propagare și focalizarea undelor de propagare în câmp îndepărtat, caracterizată prin faptul că prin tehnici de nanolitografie este realizat un strat de elemente cu conductivitate metalică sau semimetalică ca nanoantene plasmonice (1) sub formă de dreptunghiuri paralele, dispuse radial cu o perioadă de 10 elemente pe toată suprafața substratului optic (2), ca în Fig.1, cele cu lungimea mai mare fiind plasate spre exterior, care operează prin aducerea metasuprafeței în câmpul apropiat al obiectului observat, pentru obținerea unei rezoluții sub limita de difracție, fără aberații optice, pe un domeniu specific de lungimi de undă și unghiuri de incidență;
2. Structură de superlentilă cu metasuprafață pentru conversia undelor de interfață în unde de propagare și focalizarea undelor de propagare în câmp îndepărtat conform revendicării 1, caracterizată prin faptul că amplificând câmpul electromagnetic local prin rezonanțele plasmonice, convertind undele de interfață în unde de propagare și focalizând undele de propagare în câmp îndepărtat ca în Fig.3, sporește amplitudinea semnalului util detectat și îmbunătățește contrastul imaginilor obținute.

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu



Dr. Costel Cotirlan-Simioniuc



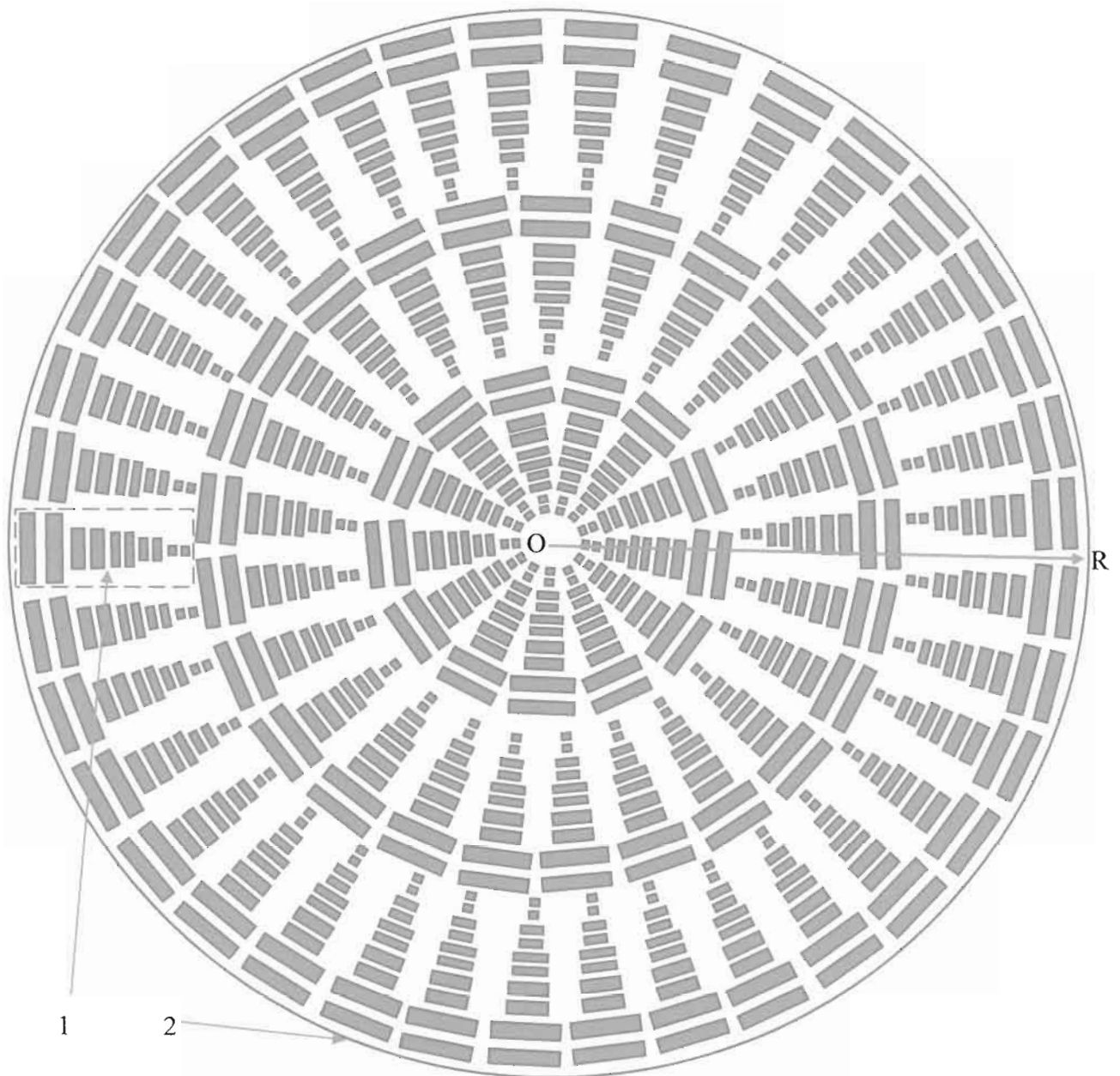


Fig.1 Structura interfetei de tip metasuprafata a superlentilei cu perioada de 10 nanoanteme plasmonice (1) dispuse radial (O-R) pe un substrat optic (2)

Director General INCDFM
Dr. Ionut Marius Enculescu

Dr. Costel Cotirlan-Simioniuc

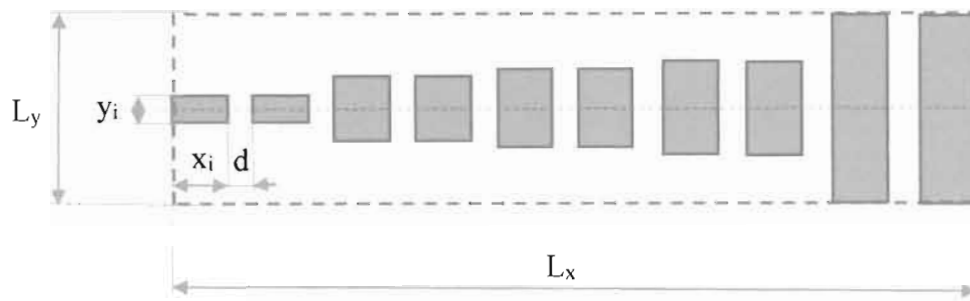


Fig.2 Detaliile geometrice mai mici decat λ_c -lungimea de unda centrala pentru largimea de banda de operare pentru nanoantenele plasmonice din cadrul unei perioade ($L_y \times L_x$) de pe metasuprafața: $L_x = \sqrt{2} \lambda_c$, $L_y = \sqrt{2} \lambda_c / 4$, unde x_i și d sunt constante, $d \approx x_i / 3$, iar latimea x_i , respectiv lungimile y_i sunt deduse după Legea Snell-Descartes generalizată (de ex. ref. S. Sun *et al.*, Nano Lett. 12, 6223–6229, 2012, unde $x_i = 106$ nm, $y_i = 40, 40, 106, 106, 128, 128, 150, 150, 260$ și 260 nm pentru $\lambda_c = 850$ nm).

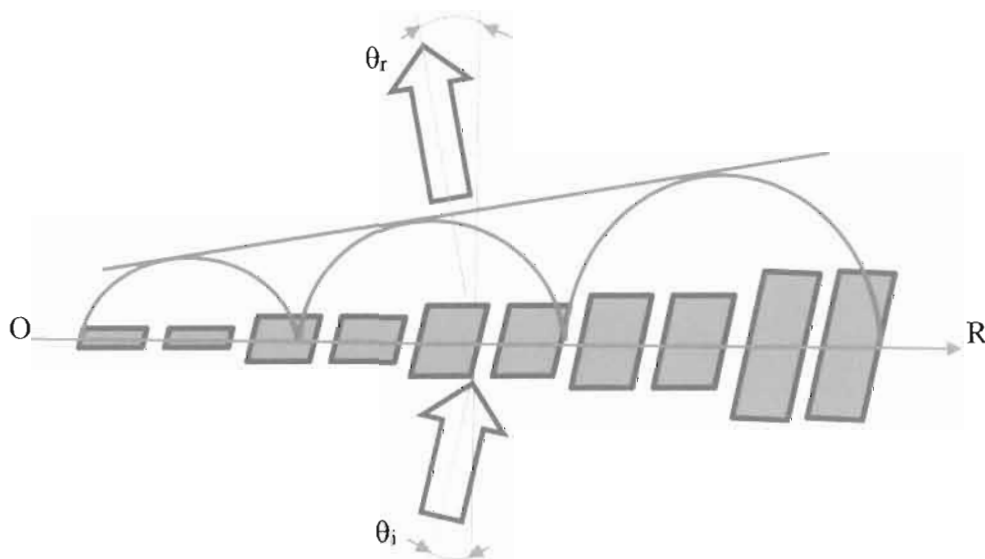


Fig.3 Modul de propagare al frontului de unda la interacțiunea cu nanoantenele plasmonice (refracție anomala în cazul metamaterialelor sau metasuprafețelor cu indice de refracție negativă conform Legii generalizate Snell-Descartes) și dispunerea nanoantenele pe metasuprafața

Director General INCDFM
Dr. Ionut Marius Enculescu

Dr. Costel Cotirlan-Simioniuc