



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2020 00785**

(22) Data de depozit: **26/11/2020**

(41) Data publicării cererii:
30/08/2021 BOPi nr. **8/2021**

(71) Solicitant:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
MICROTEHNOLOGIE-IMT BUCUREȘTI,
STR.EROU IANCU NICOLAE 126A,
VOLUNTARI, IF, RO;**
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
FIZICA LASERILOR, PLASMEI ȘI
RADIĂȚIEI- INFLPR, STR.ATOMIȘTILOR
NR.409, MĂGURELE, IF, RO**

(72) Inventatori:
• **TOMESCU ROXANA MIHAELA,
STR. ZIMBRULUI, NR.1, BL.P15, SC.C,
AP.11, PITEȘTI, AG, RO;**

• **PÂRVULESCU CĂTĂLIN CORNELIU,
ALEEA CICEU, NR.2, BL.A13, SC.1, AP.36,
SECTOR 4, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **CRISTEA MIHAELA DANA, STR.TUNARI
NR. 62, BL. 24D, SC. A, AP. 29, SECTOR 2,
BUCUREȘTI, B, RO;**
• **MIHAI LAURA, STR. SEISMOLOGILOR
NR. 23, MĂGURELE, IF, RO;**
• **STANCALIE ANDREI, STR. VULCAN,
NR.31-35, BL.B3A, SC.1, ET.7, AP.47,
SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO;**
• **MIHALCEA RĂZVAN-MARIAN,
AT BERCA, BL.B2, ET.3, AP.12,
COMUNA BERCA, BZ, RO;**
• **GHEHA MARIAN FLORENTIN,
STR.DEALUL VIILOR, BL.L2, SC.A, ET.4,
AP.16, MIOVENI, AG, RO**

(54) **STRUCTURĂ ÎMBUNĂTĂȚITĂ DE SURSĂ TERMICĂ IR
DE BANDĂ ÎNGUSTĂ PE BAZĂ DE METASUPRAFAȚĂ
PLASMONICĂ INTEGRATĂ CU ÎNCĂLZITOR REZISTIV**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o structură de tip metasuprafață, configurată pentru a îmbunătăți absorbția radiației pe un anumit interval îngust de lungimi de undă din domeniul spectral infraroșu, cu aplicații în domeniul senzorilor. Structura conform invenției cuprinde: un strat (1) metalic configurat în geometrie cu meandre, cu rol de microîncălzitor și de reflector, un strat (2) subțire cu rol de izolator electric și un substrat (3) de siliciu amorf având rolul de a uniformiza temperatura emisă de microîncălzitor, de a facilita transferul de căldură către o metasuprafață (4) aflată deasupra, nu către substrat, și de a planariza substratul metasuprafeței (4), în care metasuprafața (4) este configurată specific pentru absorbție într-un interval îngust de lungimi de undă în domeniul infraroșu.

Revendicări: 1

Figuri: 3

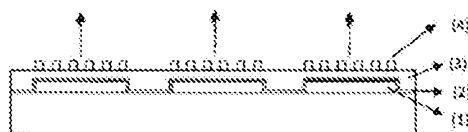


Fig. 1



OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MARCI	
Cerere de brevet de invenție	
Nr.	2020 00785
Data depozit	26-11-2020

DESCRIERE

Invenția se referă la integrarea unei structuri de tip metasuprafață specific configurată pentru a îmbunătăți absorbția radiației pe un anumit interval îngust de lungimi de undă din domeniul spectral infraroșu (IR) cu o sursă de bandă largă prin intermediul unui strat de siliciu amorf în scopul obținerii unei surse IR de bandă îngustă (pentru aplicații în domeniul senzorilor).

Stratul de siliciu amorf, conform invenției, pentru a permite integrarea celor două componente trebuie să îndeplinească următoarele condiții:

- să permită transferul de căldură de la încălzitor (rezistența configurată în geometrie de meandre) la nivel superior, către structura de tip metasuprafață;
- să uniformizeze temperatura de la nivelul meandrelor încălzitorului către întreaga suprafață a metasuprafeței;
- să planarizeze substratul, facilitând configurarea rețelei de rezonatori pe suprafața sa.

Structura de tip metasuprafață pentru domeniul spectral IR, conform invenției, trebuie să îndeplinească condițiile:

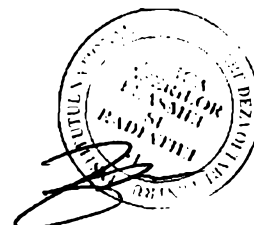
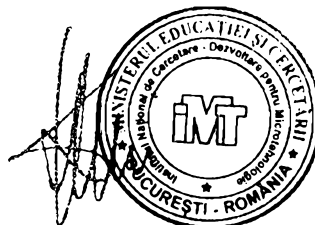
- să absoarbă 100% din radiația optică corespunzătoare unui interval îngust din radiația optică emisă de o sursă de bandă largă în domeniul spectral IR incidentă pe rețeaua de rezonatori (figura 1);
- să îmbunătățească absorbția pe anumite intervale înguste de lungimi de undă din domeniul spectral IR;
- să poată fi fabricată cu metode convenționale precum fotolitografie și lift-off;
- costurile de fabricare să fie reduse.

Structura de încălzitor, conform invenției, trebuie să îndeplinească condițiile:

- să ofere temperaturi ridicate la tensiuni de alimentare scăzute;
- să reflecte radiația către stratul de siliciu amorf;
- să poată fi fabricată cu metode convenționale precum fotolitografie și lift-off;
- costurile de fabricare să fie reduse.

Structurile de tip metasuprafețe/metamateriale sunt compuse din elemente periodice cu dimensiuni mai mici decât lungimea de undă și fac parte dintr-o categorie de materiale artificiale, micro sau nanostructurate ce a atras atenția cercetătorilor în ultimii ani [1]. Metamaterialele dețin proprietăți specifice, ce fac posibilă utilizarea lor în aplicațiile fotonice și optoelectronice: i) indicele de refracție negativ la care se adaugă și faptul că, faza și polarizarea luminii pot fi manipulate cu ușurință; ii) utilizarea ca absorbant perfect [2,3].

Farahani Mohsen Farmahini și colegi lui prezintă, în cererea de brevet **US2014085693A1** cu titlul „Metasurface nanoantennas for light processing”, o structură reflectivă birefringentă, pe bază de metasuprafețe, specific configurată pentru a manipula în mod independent amplitudinea transmisiei și profilul fazei radiației. Acest tip de structură este alcătuită dintr-o metasuprafață planară configurată pe suprafața unui substrat dielectric ce a fost depus peste un strat metalic continuu [4]. Mai mult, în cererea de brevet **US2020025619A1** cu titlul “Frequency-selective metasurface integrated uncooled microbolometers” este prezentată metoda prin care o metasuprafață poate fi integrată cu structura unui microbolometru pentru a obține un dispozitiv ce integrează partea senzitivă la lungimea de undă pentru a îmbunătăți selectivitatea frecvenței [5]. În același timp, cererea de brevet **JP6663607B2** prezintă un filtru pe bază de metasuprafețe absorbante ce oferă posibilitatea unei absorbții și transmisii selective a undelor radio de aceeași frecvență în concordanță cu frontul lor de undă [6].



Conform legii lui Kirchhoff privind radiația termică, la echilibru, emisivitatea unui material este egală cu absorbția sa. Datorită naturii rezonante a metasuprafețelor, absorbantul perfect prezintă rezonanțe specifice ce oferă o absorbție ridicată, astfel putând fi utilizat ca emițător cu emisivitate ridicată. De asemenea s-a demonstrat și faptul că metasuprafețele ce emit radiație, nu numai că sunt caracterizate de o emisivitate ridicată în apropierea limitei ideale a corpului negru, dar sunt de asemenea capabile să emită pe o bandă spectrală largă, sau îngustă în funcție de cerințele aplicației [3]. În ultimii ani s-au propus surse IR quasi-monocromatice ce utilizează absorberi „perfecti” pe bază de metasuprafețe plasmonice care pot deveni o alternativă ieftină la laserii de tip quantum cascade pentru aplicațiile în domeniul senzorilor [7-9].

Pentru obținerea unei surse termice, metasuprafața absorbantă trebuie cuplată cu un încălzitor. În mod uzual sursa termică este externă [7-9]. Pentru miniaturizare este necesară integrarea încălzitorului cu metasuprafața.

Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în obținerea unei surse IR de bandă îngustă compusă dintr-o metasuprafață plasmonică integrată cu un încălzitor de tip rezistiv cu structură îmbunătățită prin introducerea între cele două componente a unui strat absorbant cu rol de a uniformiza temperatura emisă de încălzitor și de a facilita transferul de căldură către metasuprafața plasată deasupra nu către substrat și de a planariza substratul pe care se configurează metasuprafața, permițând astfel minimizarea consumului de putere necesar pentru alimentarea sursei termice și miniaturizarea sursei IR.

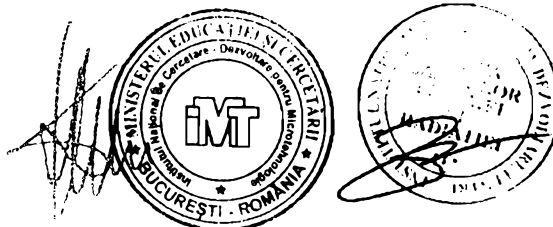
Scopul prezentei invenții este acela de a înlătura dezavantajele straturilor absorbante convenționale, dar și a emitorilor de radiație IR prezenți pe piață în acest moment. În special reducerea la minim a costurilor de fabricare/realizare și a dimensiunilor unor structuri ce oferă o absorbție/emisie superioară.

Structurile cu absorbție îmbunătățită pe intervale înguste de lungimi de undă, conform invenției, constau în: i) strat metalic configurat în geometrie de meandre cu rol de micro încălzitor și de reflector perfect; ii) strat subțire cu rol de izolator electric rezistor-structuri plasmonice; iii) substrat de siliciu amorf cu rol de a uniformiza temperatura emisă de rezistență și de a facilita transferul de căldură către metasuprafața aflată deasupra, nu către substrat, de a planariza substratul metasuprafeței; iv) metasuprafața specific configurată pentru absorbție pe interval îngust de lungimi de undă în domeniul IR.

Metasuprafața specific configurată pentru absorbție pe interval îngust de lungimi de undă în domeniul IR, conform invenției, permite obținerea unei absorbții îmbunătățite cu maxime la anumite lungimi de undă în funcție de aplicația dezvoltată (ex. Straturi absorbante, surse cu emisie selectivă, filtre). Astfel, o metasuprafață alcătuită dintr-o rețea de rezonatori cilindrici de un anumit diametru oferă absorbție îmbunătățită la o lungime de undă, iar prin modificare perioadei rețelei de rezonatori, maximum de absorbție se deplasează la o altă lungime de undă.

Uzual, o sursă de emisie selectivă în IR este alcătuită dintr-o sursă de bandă largă/încălzitor extern și o metasuprafață selectivă. Pentru a simplifica obținerea unor surse selective de IR cu sensibilitate ridicată se dorește integrarea încălzitorului cu metasuprafața. Acest lucru este realizat, conform invenției, prin inserarea unui strat de siliciu amorf între cele două componente. Siliciul amorf, datorită proprietăților oferite, uniformizează temperatura emisă de încălzitor, preia temperatura de la încălzitor și o transmite la nivelul superior și planarizează substratul pentru a facilita plasarea structurii de metasuprafață.

Avantajul principal al invenției este acela că prin plasarea stratului de siliciu amorf se permite obținerea rezultatelor dorite integrate într-un singur cip (straturi perfect absorbante sau surse



selective în IR) cu ajutorul unor structuri de mici dimensiuni micro-configurate și fabricarea acestora prin metode convenționale la costuri reduse.

Fabricarea structurilor de emisie selectivă integrate se realizează utilizând metode existente având costuri reduse cum ar fi depunerea de straturi prin pulverizare, fotolitografia și metoda lift-off. Pentru a demonstra eficacitatea acestui tip de structuri în figura 2 este prezentată o comparație a rezultatelor obținute în urma analizei numerice a unei structuri absorbantă cu sau fără stratul de siliciu amorf.

Absorbția metasuprafeței fabricate se determină în funcție de reflectanța structurii. Astfel, metoda pentru măsurarea reflectanței emisferice totale a structurii absorbante, conform invenției, se bazează pe folosirea unei surse de bandă largă cu emisie în domeniul $2.5 - 18 \mu\text{m}$, a unui dublu monocromator cuplat la o sferă integratoare cu interior de aur, specific realizată pentru testări de reflectanță pentru domeniul spectral infraroșu. Măsurarea reflectanței structurii absorbante se face comparativ cu o structură standard de aur cu reflectanță 99,999%. Temperatura și umiditatea atmosferică sunt monitorizate continuu în timpul experimentului. Avantajul utilizării acestei metode este acela că poate oferi rezultate pentru reflectanța totală a structurii absorbante pentru un domeniul spectral de până la $30 \mu\text{m}$.

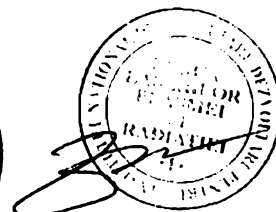
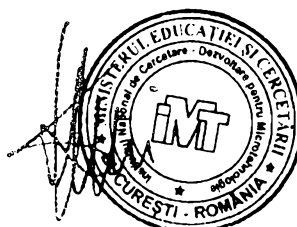
Se dă în continuare un exemplu de aplicare a invenției:

În figura 1 este prezentată ca exemplu, structura propusă ca sursa de emisie selectivă în IR ce utilizează un strat de siliciu amorf pentru integrarea micro încălzitorului cu configurația de metasuprafață.

În figura 2 este prezentat un exemplu de absorbție ca funcție de lungimea de undă obținută în urma analizei numerice a unei structuri de metasuprafață alcătuită din rezonatori metalici circulari cu diametrul de $1.1 \mu\text{m}$ configurați cu o perioadă de $3.4 \mu\text{m}$, plasată pe stratul de siliciu amorf sau direct pe stratul izolator.

În figura 3 este prezentată absorbanta unei structuri de tip metasuprafață cu diametrul de $2.1 \mu\text{m}$ și perioada de $3 \mu\text{m}$, determinată prin metoda indirectă din măsurările de reflectanță ale structurii. Se definesc, proiectează și simulează configurații cu proprietăți de absorbție corespunzătoare mai multor lungimi de undă. Geometria rezonatorilor ce alcătuiesc metasuprafața este critică, deoarece aceasta influențează lungimile de undă absorbite. Metasuprafețele sunt simulate cu ajutorul metodei diferențelor finite în domeniu timp (FDTD - Finite Difference Time Domain). Sunt realizate studii 3D cu radiația electromagnetică incidentă de forma unei unde Gaussiane centrate pe o lungime de undă de $3.15 \mu\text{m}$, pentru cilindrii de Au cu înălțimea de 100 nm plasați pe siliciu amorf. În figura 2 este prezentată îmbunătățirea absorbției prin plasarea metasuprafeței pe stratul de siliciu amorf comparativ cu plasarea acesteia direct peste stratul izolator.

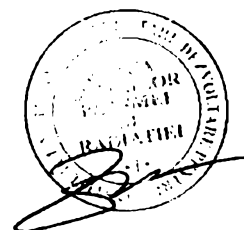
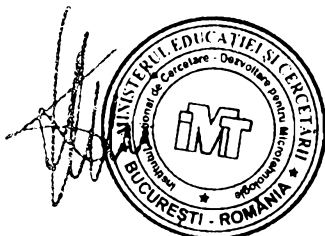
Fluxul tehnologic pentru obținerea structurilor de încălzitoare și de metasuprafețe specific configurate constă în utilizarea unui substrat curățat chimic pentru îndepărtarea reziduurilor organice și impurităților aflate la suprafață prin agitare în acetonă la cald. Filmul subțire de platină (100 nm) configurat în geometrie de tip meandre cu rol de reflector și stratul de siliciu amorf (200 nm) se obțin prin metoda de evaporare cu fascicul de electroni prin pulverizare DC și metoda lift-off (profil în platină). Rezonatori metalici sunt realizați prin tehnicile de fotolitografie și lift-off, utilizând un strat de rezist cu scopul obținerii unui profil negativ depus prin centrifugare și tratat termic pe plită electrică. Configurarea stratului de fotorezist se realizează prin expunerea cu radiație UV prin mască fotolitografică. Timpul de expunere este optimizat pentru obținerea



rezoluției proiectate. Depunerea stratului de Au este realizată pe un echipament de depuneri staturi subțiri prin pulverizare și configurat prin tehnica lift-off.

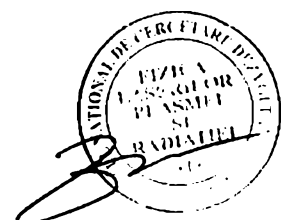
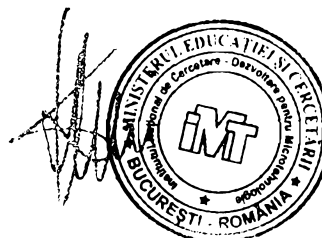
Măsurătorile efectuate pe structurile rezistive cu și fără strat de Si amorf deasupra au indicat că prezența stratului de siliciu amorf îmbunătățește temperatura pe partea superioară a structurii, rezultate la aceeași tensiune aplicată, cu peste 100°C (la 20V tensiune aplicată de la 210°C la 350°C), permițând astfel obținerea unui spectru larg de radiație în domeniul IR.

Măsurarea reflectanței R a structurii puternic absorbante, având diametrul microrezonatorilor metalici de 2.1 μm și perioada dintre aceștia de 3 μm , în domeniul spectral 2.5 – 18 μm se face cu sistemul spectroradiometric prin metoda comparării. Aceasta metodă reduce erorile datorate diferențelor în reflectanță a materialelor testate. Prin această metodă sunt măsurate simultan reflectanța emisferică totală a materialului etalon și a structurii puternic absorbante, astfel încât posibilele perturbații precum variațiile temperaturii ambiante sau ale intensității sursei de radiație optică de IR folosite, să influențeze în egală măsură cele două probe măsurate (cea de etalon și cea testată), realizându-se astfel rejectia la mod comun a acestor factori perturbatori. Absorptivitatea structurii de tip metamaterial este apoi calculată scăzând valorile reflectanței, obținute prin metoda spectroradiometrică, scăzute din unitate (1-R).



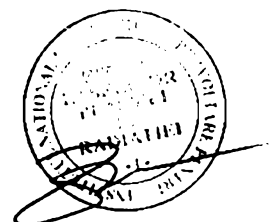
Bibliografie:

- [1] Chen HT, Taylor AJ, Yu N. A review of metasurfaces: physics and applications. Rep Prog Phys. 2016 Jul;79(7):076401. doi: 10.1088/0034-4885/79/7/076401. Epub 2016 Jun 16. PMID: 27308726
- [2] Zhu, W., Zhao, X., Gong, B. et al. Optical metamaterial absorber based on leaf-shaped cells. Appl. Phys. A 102, 147–151 (2011). <https://doi.org/10.1007/s00339-010-6057-6>.
- [3] Liu X, Tyler T, Starr T, Starr AF, Jokerst NM, Padilla WJ. Taming the blackbody with infrared metamaterials as selective thermal emitters. Phys Rev Lett. 2011 Jul 22;107(4):045901. doi: 10.1103/PhysRevLett.107.045901. Epub 2011 Jul 18. PMID: 21867022.
- [4] Farahani Mohsen Farmahini; Isfahani Babak Memarzadeh; Mosallaei Hossein, „Metasurface nanoantennas for light processing”, brevet US2014085693A1
- [5] Almasri Mahmoud, Kinzel Edward, “Frequency-selective metasurface integrated uncooled microbolometers” brevet US2020025619A1
- [6] Wakatsuchi Hiroki , „Metasurface for beam shape selection”, „brevet JP6663607B2
- [7] L. La Spada, *Metasurfaces for Advanced Sensing and Diagnostics*, Sensors 19(2): 355, 2019
- [8] Y-L.Liao, Y.Zhao, *Ultra-narrowband dielectric metamaterial absorber with ultrasparse nanowire grids for sensing applications*, Scientific Reports 10:1480, 2020.
- [9] B-X. Wang, Y.He, P.Lou, W.Xing, *Design of a dual-band terahertz metamaterial absorber using two identical square patches for sensing application*, Nanoscale Adv. 2, 763–769, 2020.



Revendicări:

1. Structuri cu absorbție îmbunătățită pe un anumit interval îngust de lungimi de undă pe bază de metasuprafețe, **caracterizate prin aceea ca se inserează sub metasuprafață un strat de siliciu amorf** ce permite integrarea metasuprafeței cu o sursă de radiație de bandă largă tip rezistor, precum și îmbunătățirea transferului termic de la rezistor spre metasuprafață, reducând astfel tensiunea de alimentare a rezistorului necesară pentru atingerea temperaturii optime pentru emisia IR de bandă largă.



Figuri

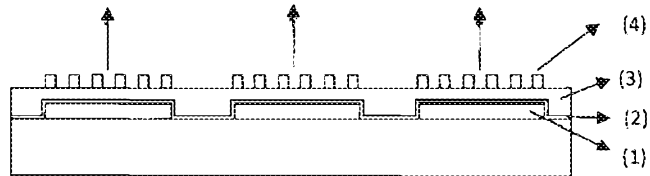


Fig. 1. Schema configurației propuse

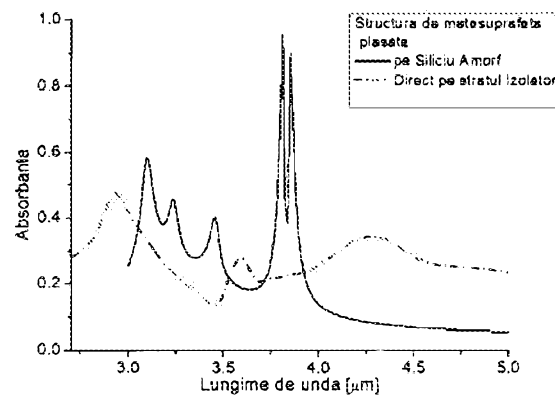
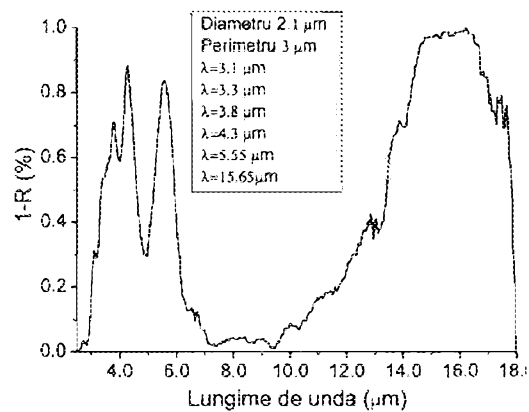


Fig. 2. Spectrul de absorbție al configurației propuse

Fig. 3 Absorbanța unei structuri de tip metasuprafață cu diametrul de 2.1 μm și perioada de 3 μm , determinată prin metoda indirectă din măsurările de reflectanță ale structurii