



(12)

CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2022 00434

(22) Data de depozit: 21/07/2022

(41) Data publicării cererii:
30/01/2024 BOPI nr. 1/2024

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
FIZICA MATERIALELOR,
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;
• ȘCHIOPU IONUȚ- ROMEO,
STR.G-RAL ȘTEFAN FĂLCOIANU, NR.19,
BL.09, ET.1, AP.3, CRAIOVA, DJ, RO

(54) **CELULĂ SOLARĂ TANDEM CU O STRUCTURĂ
METAL-OXID-SEMICONDUCTOR ȘI METASUPRAFAȚĂ
INTEGRATE**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o celulă solară tandem cu o structură MOS și metasuprafață integrate. Celula solară are o configurație realizată pe o plachetă (11) semiconductoră din Si de tip n pe care se depun succesiv straturi subțiri pentru formarea unei celule solare de Si cristalin, și anume: un strat (12) de Si emițător de tip p++ și un strat (13) de Au pentru un contact electric de polaritate pozitivă, depuse pe fața inferioară a plachetei (11), respectiv un strat (10) de Si amorf de tip n, dopat cu hidrogen și un strat (9) de Si hidrogenat, nanocristalin, ca joncțiune de transfer, depuse pe fața superioară a plachetei (11), apoi straturi subțiri pentru formarea celulei solare cu perovskit: un strat (8) polimeric de transport pentru gori, un strat (7) de perovskit cu halogenuri, un compus (6) organometalic, un strat (5) pentru transportul electronilor, un strat (4) de batocuproină utilizat ca intermediar între niște nanoantene (17) plasmonice și stratul (5) de transport pentru electroni, metasuprafața constituită din nanoantenele (17) plasmonice cu structură de tetraedre, distribuite hexagonal pe suprafața stratului (4) de batocuproină, apoi heterostructura constituită dintr-un strat (3) de SiO₂ depus peste nanoantene (17) și un strat (2) de oxid transparent ITO cu conducție de tip n, dopat degenerat, în care apare un strat (15) de acumulare de electroni la interfața cu SiO₂ prin aplicarea unei diferențe de potențial între niște contacte (19 și 14), iar la suprafață se depune un strat (1) antireflex împreună cu contactul

(14) metalizat pentru polarizare negativă, astfel încât focalizarea radiației solare într-o regiune (20) să fie determinată de diferența indicilor de refracție la interfața profilată ca o arie de microlentile convexe și de confinarea câmpului electromagnetic indusă de rezonanțele plasmonice (21) localizate pe suprafața nanoparticulelor plasmonice, pentru a obține un randament maxim de conversie a energiei solare în energie electrică.

Revendicări: 3
Figuri: 2

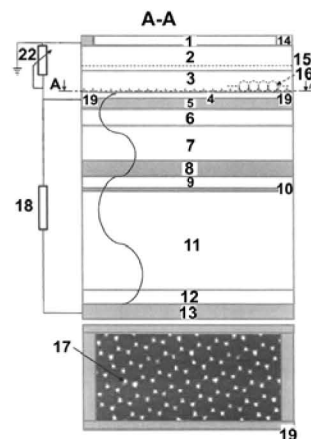


Fig. 1

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).



42

Celulă solară tandem cu o structură metal-oxid-semiconductor și metasuprafață integrate

Domeniul tehnic

Prezenta invenție se referă la o celulă solară cu două jonctiuni inseriate (tandem) pentru producerea unui fotocurent prin efect fotoelectric, având suplimentar la suprafața o heterojonctiune dintre un oxid transparent și un semiconductor transparent pentru focalizarea radiației utile în zona activă a primei jonctiuni de conversie optoelectronică.

Heterojonctiunea de focalizare integrează o metasuprafață (MTS) plasmonică, optimizată prin rezonanțe plasmonice de suprafață localizate (RPSL), în scopul de a spori interacțiunea luminii cu materia în domeniul spectral util $350 \div 1100$ nm și de a profita heterojonctiunea ca o arie de microlentile. Putem denumi în continuare întreaga arhitectură ca Tandem cu o structură Metal-Oxid-Semiconductor (TMOS).

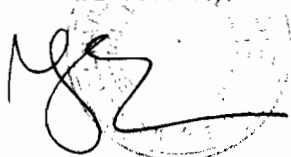
Metasuprafața este constituită din nanoparticule metalice sau semimetalice sub forma de tetraedre, dispuse regulat pe o interfață dielectrică. Semimetalele au în mod uzual o densitate mai mică de purtători de sarcini și, deci, pierderile optice prin împrăștiere pe purtători sunt mai mici decât în cazul metalelor.

Atunci când sunt iluminate aceste nanoparticule tetraedrale, se induce o oscilație dipolară tuturor electronilor liberi din nanoparticule, astfel încât electronii vor oscila cu o anumită frecvență, numită frecvență plasmonică, iar când frecvența câmpului electromagnetic devine rezonantă cu oscilația coerentă a electronilor liberi, atunci apar așa-numitele rezonanțe plasmonice de suprafață (RPS). În cazul nanoparticulelor metalice sau semimetalice aceste RPS sunt localizate la suprafața nanoparticulelor și se numesc rezonanțe plasmonice de suprafață localizate (RPSL).

Astfel MTS reprezintă o interfață plasmonică cu grosimea sub lungimea de undă de operare, pe care sunt nanoantene/rezonatori dispuse/dispuși regulat la distanțe mai mici decât lungimea de undă, pentru a modifica gradul de fază a luminii.

Caracteristicile unice ale TMOS justifică utilizarea sa în aplicațiile de obținere a energiei electrice pe baza energiei solare cu materiale inovatoare, pentru obținerea unui randament superior de conversie, posibil spre 50% conform ultimelor realizări tehnologice National Renewable Energy Laboratory [John F. Geisz et al, Nature Energy, 5(326), 326–335, 2020].

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu



Dr. Cotîrlan-Simioniuc Costel



Stadiul tehnicii

Conversia optoelectronică a energiei este o metodă de transformare directă a energiei luminoase în energie electrică. Pentru o celulă solară cu siliciu cu o singură joncțiune, cea mai mare eficiență care poate fi atinsă este de 32%. Aceasta provine din limita termodinamică numită limită Schockley-Queisser [Chauhan, S.; Singh, R. *A Review on Perovskite/Silicon Tandem Solar Cells*, 2021050188, Preprints 2021]. Pentru a depăși această limită a dispozitivului de conversie cu o singură joncțiune și, de asemenea, pentru a putea reduce pierderile termice și a optimiza utilizarea corespunzătoare a spectrului solar, este esențială formarea de celule solare tandem eficiente (Fig.1). Celulele solare cu perovskit (CSP) au dus la progrese impresionante, au o eficiență mare de conversie a puterii solare (PCE) de 25,7% [National Renewable Energy Lab, *Best Research-Cell Efficiency Chart(2020)*, www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html] și costuri de fabricație scăzute. Limita teoretică de eficiență pentru o celulă solară tandem sub lumina solară neconcentrată (spectrul de tip AM1.5) este de 47%, evident mai mare decât limita Schockley-Queisser pentru o celulă cu o singură joncțiune sub incidența luminii solare neconcentrate [P. Faine et al, *Solar Cells*, 31(3), 259-278, ISSN 0379-6787, 1991]. Perovskitul cu halogenuri reprezintă una dintre cele mai promițătoare tehnologii fotovoltaice cu straturi subțiri, denumite fotovoltaice de generația a treia. Perovskitul are proprietăți precum spectru larg de absorbție, separare rapidă a sarcinilor, mobilitate sporită și durată lungă de viață a purtătorilor de sarcini, eficiență ridicată și, de asemenea, reduce costurile de procesare [Zhou D. et al, *Journal of Nanomaterials*, art. ID 8148072, 2018]. Litografia cu nanosfere de polistiren (LNP) este o tehnică de fabricație robustă și ieftină pentru nanostructuri plasmonice tridimensionale pe o suprafață mare, oferind un grad ridicat de libertate pentru alegerea geometriei nanostructurilor: înălțime, distanțe, periodicitate controlată în distribuția nanostructurilor [Hulteen J.C., Van Duyne R.P., *J. Vac. Sci. Technol. Part. A* 13, 1553, 1995]. Aurul are cea mai scăzută capacitate de a genera căldură și rămâne inert la oxidare chiar și la dimensiuni nanometrice. Mecanismele efectului de îmbunătățire plasmonică în captarea luminii [Ferry V. et al, *Opt. Express* 18, A237, 2010] prin includerea nanoparticulelor metalice în astfel de structuri sunt trecute în revista în referința [Ali A. et al, *Nanomaterials (Basel)* 12(5), 788, 2022]. Celula tandem folosește spectrul solar mai eficient decât celula solară convențională de siliciu. Perovskitul poate utiliza eficient partea vizibilă a luminii solare de la 350 nm la 750 nm, iar celula pe baza de Si cristalin exploatează spectrul de la 750 nm la 1100 nm, făcând puternică această

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu



2

Dr. Cotîrlan-Simioniuc Costel



combinație [*Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, "Perovskite/silicon tandem solar cells on the magic threshold of 30% efficiency: The current world record tandem solar cell provided stable performance for 300 hours - even without encapsulation." ScienceDaily, 10 Dec. 2020*].

MTS are rol functional activ, pentru ca atunci cand se aplica o diferenta de potential pe heterojunctiune, apare un strat subtire de acumulare de electroni, care moduleaza grosimea si indicele de refractie local, controleaza confinarea optica si face posibil un control spatio-temporal al fasciculului de lumina pentru obtinerea conversiei optoelectronice cu eficienta maxima.

Prezentarea problemei tehnice

In mod normal, conversia energiei fasciculelor de lumina in energie electrica se face cu componente optoelectronice voluminoase. Structura propusa permite micșorarea masei prin utilizarea straturilor subtiri, pretului unor dispozitive pentru conversie optoelectronica a energiei solare, utilizand materiale mai putin pretentioase tehnologic si ieftine.

Utilizare

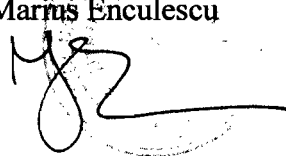
Se recomanda folosirea acestei componente TMOS in aplicatii de conversie cu eficienta sporita a energiei solare in energie electrica. Referindu-ne la Fig. 1, o celula tandem, obtinuta prin inserierea a doua celule solare, este strabatuta de un fascicul luminos, care genereaza un curent electric prin efect fotoelectric la fiecare din cele doua jonctiuni inseriate. Heterojunctiunea de focalizare cu profilul optic determinat de MTS este integrata la suprafata celulei tandem.

Expunerea inventiei

Prezenta inventie consta intr-o structura solara tandem, care integreaza la suprafata o heterojunctiune pentru focalizarea radiatiei solare in prima regiune activa a tandemului.

Structura are astfel trei jonctiuni inseriate, prima de focalizare, iar urmatoarele doua pentru conversie fotoelectrică. Jonctiunea pe baza de perovskit este pentru domeniul vizibil, iar cea pe baza de siliciu este pentru domeniul infrarosu apropiat. Nu introduce mari pierderi optice, pentru ca straturile suprapuse sunt subtiri, transparente si complementar sensibile spectral in domeniul util al radiatiilor solare.

Director General INCDFM
Dr. Ionut Marius Enculescu



Dr. Cotirlan-Simioniuc Costel



Heterojonctiunea de focalizare este formata intre oxidul de staniu si indiu (ITO), ca semiconductor degenerat cu conductie de tip n, si SiO_2 ca oxid transparent (dielectric cu banda interzisa mare). Celulele tandem cu stratificarea perovskit/Si reprezinta o combinatie destul de studiata si utilizata [Singh M. et al, *Nanophotonics*, 10(8), 2043, 2021 cu suplimentul de la adresa <https://doi.org/10.1515/nanoph-2020-0643>], dar solutia integrarii structurii de focalizare ITO/ SiO_2 profilată pe o MTS pentru un tandem solar este inovativa. Distributia regulata a nanoparticulelor conductive pe interfata dintre jonctiunea de focalizare si tandemul solar propriu-zis determina un profil optic specific unei arii de microlentile pentru heterojonctiune.

Inovatia exploateaza si caracterul activ introdus de controlul polarizarii electrice a heterojonctiunii, in consecinta controlul focalizarii radiatiei prin modularea indicelui de refractie a stratului de acumulare de sarcini din semiconductorul transparent ITO.

Modul de functionare

Conform Fig. 1 fotocurentul general produce o cădere de tensiune intre contactele (13) si (14), care se distribuie pe divizorul format din rezistenta de sarcina (18) si un potentiometru (22).

Astfel, este aplicata o diferenta de potential controlabila de la 0 la $1,5 V_{cc}$ (max. $1 V_{cc}$ de la celula cu perovskit si max. $0,5 V_{cc}$ de la celula cu Si cristalin) pe heterojonctiunea de focalizare formata intre straturile (2) si (3): ITO/ SiO_2 . Ulterior se poate introduce pentru automatizare si optimizare cu temperatura de operare si unghiul de incidenta a radiatiei solare un modul de control electronic cu bucla de feedback, astfel incat sa se obtina o focalizare corespunzatoare a radiatiei solare in prima regiune activa si un randament maxim de conversie prin controlul indicelui de refractie din ITO in stratul strict localizat la interfata cu SiO_2 .

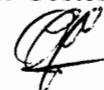
Mai precis, focalizarea are loc in regiunea (21) conform Fig. 2, datorita:

- modificarii indicelui de refractie prin restrangerea electronilor intr-un strat subtire de acumulare (15) din stratul (2) si realizarea profilului optic (3) specific unei arii de microlentile convexe la interfata dintre ITO si SiO_2 ;
- confinarii campului electromagnetic de catre rezonantele plasmonice localizate pe suprafata induse de nanoparticulele (20) de Au. Aceste nanoparticule determina profilarea straturilor superioare cu raze de curbura din ce in ce mai mari si sunt protejate de procesul de mătuire sau pasivare de primul stratul deasupra, cel de SiO_2 .

Director General INCDFM
Dr. Ionut Marius Enculescu



Dr. Cotîrlan-Simioniuc Costel



Functionarea tandemului solar propriu zis si comparatii cu alte structuri fotovoltaice se regasesc la Singh M. et al, *Nanophotonics*, 10(8), 2043, 2021.

Prezentarea avantajelor si dezavantajelor

Avantaje

Componentele optoelectronice de tip TMOS cu MTS pentru conversia energiei solare in energie electrica utilizeaza straturi subtiri si permit confinarea luminii pe distante sub lungimea de undă in prima regiune activa.

Dezavantaje

Structurarea MTS prin metode de microlitografie poate fi deocamdată mai puțin economică pe arii mari din cauza tehnologiilor laborioase. Este necesară evaluarea atenta a focalizarii radiatiei pentru obtinerea randamentului maxim de conversie si a modului cum variaza cu temperatura in timp eficienta de conversie a acestor celule solare inseriate.

Prezentarea pe scurt a figurilor

Prezenta inventie poate fi intelesă prin referire la figurile din Anexă:

- Fig. 1 ilustrează întreaga arhitectură TMOS cu heterojonctiunea profilată de MTS;
- Fig. 2 detaliază structura MOS care integrează MTS si modulează focalizarea radiatiei solare in prima jonctiune de conversie.

Prezentarea in detaliu a unui mod de realizare

Conform Fig. 1 pe fața inferioară a plachetei (11) de siliciu (Si) monocristalin dopat n se depun:

- Stratul (12) de Si emitor de tip p^{++} ;
- Stratul de Au (13) pentru contact electric de polaritate pozitivă.

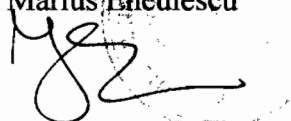
Pe fața superioară a plachetei (11) sunt depuse si următoarele straturi:

- (19) Contactele electrice prin dopare n^{++} ;
- (20) Nanoantenele plasmonice tetraedrale cu inaltimea de aproximativ 50 nm;
- (21) Regiunea de focalizare a radiatiei solare;
- (1) Acoperirea antireflex pentru vizibil si infrarosu apropiat cu MgF_2 realizata prin RF magnetron sputtering.

Intre celula de Si cristalin si celula cu perovskit se depun:

- stratul (10) de Si amorf de tip n, dopat cu hidrogen (a-Si:H);
- un strat (9) de siliciu hidrogenat nanocristalin (nc-Si:H) ca jonctiune de transfer.

Director General INCDFM
Dr. Ionut Marius Eneulescu



Dr. Cotirlan-Simioniuc Costel



Modul de functionare si de fabricare a celulei solare pe baza de Si din cadrul tandemului sunt conform Liu, Y. et al., *High-Efficiency Silicon Heterojunction Solar Cells: Materials, Devices and Applications. Materials Science and Engineering R: Reports*, 142, 1-41, [100579], 2020, <https://doi.org/10.1016/j.mser.2020.100579>.

Pentru celula cu perovskit se depun:

- un strat (8) de transport pentru goluri (HTL), de exemplu PEDOT:PSS, adica (poli(3,4-etilen-dioxitiofen):poli(4-stirensulfonat)) sau PTAA, adica poli[bis(4-fenil)(2,4,6-27trimetilfenil)amina] se depune prin centrifugare si tratament termic la 100-110 °C timp de 30 min [<https://www.ossila.com/products/pedot-pss>];

- stratul (7) de perovskit cu halogenuri de grosime 300÷550 nm, de exemplu $[\text{CH}_3\text{NH}_3]_{1-x}[\text{C}_3\text{N}_2\text{H}_5]_x\text{PbI}_{2.6}\text{Cl}_{0.4}$, unde x variaza de la 0 la 1, este preparat prin metode chimice si depus prin centrifugare for 25s urmata de un tratament termic la 100 °C pentru 30 min, conform [science.org/doi/10.1126/science.abm8566](https://doi.org/10.1126/science.abm8566);

- stratul (6) de ferocetil-bis-tiofen-2-carboxilat (FcTc₂) este un compus organometalic pentru transferul interfacial accelerat al electronilor, imbunatatirea eficientei si stabilitatii in timp a perovskitului din structura tandemului. Este depus prin centrifugare urmata de un tratament termic si functionalizeaza interfetele cu ETL si perovskitul conform: [science.org/doi/10.1126/science.abm8566](https://doi.org/10.1126/science.abm8566);

- stratul (5) pentru transportul electronilor (ETL) sau strat acceptor de electroni, de exemplu fulerena C₆₀ cu o grosime de 30 nm, se depune tot prin evaporare;

- stratul (4) de batocuproina (BCP) de 5÷10 nm utilizat ca intermediar intre nanoantenele plasmonice de Au si stratul de transport pentru electroni (ETL), pentru ca metalul (Au) sa nu patrunda in stratul ETL si sa apara recombinari, care duc la pierderi neradiative de purtatori (excitonice) se depune prin evaporare la temperaturi scazute;

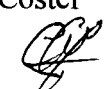
- nanoantenele plasmonice din Au cu structura tetraedrica distribuite regulat pe suprafata stratului (4) ca MTS realizata prin litografie cu nanosfere de polistiren (LNP);

- Stratul dielectric (3) de SiO₂ cu grosimea de 100 nm, care inglobeaza nanoantenele plasmonice de Au, in fapt al doilea strat de oxid transparent din structura TMOS, care se depune prin RF magnetron sputtering in plasma de 28,5% oxigen si 71,5% argon la presiune de 3 mTorr;

Director General INCDFM
Dr. Ionut Marius Enculescu



Dr. Cotirlan-Simioniuc Costel



- Stratul (2) de oxid transparent ITO cu grosimea de 300 nm, primul strat din structura propriu-zisa TMOS, cu conductie de tip n, dopat degenerat, pentru a se obtine o modificare a indicelui optic de refractie cu un ordin de marime, de la $n=0,41@500$ nm pana la $n=1,39@800$ nm in stratul de acumulare de sarcini de la interfata cu SiO_2 , se obtine prin RF magnetron sputtering in plasma de 1,3% oxigen si 98, 7% argon la presiune de 3 mTorr. Se observa ca indicele de refractie in stratul de acumulare din ITO de la interfata cu SiO_2 este mai mic decat indicele de refractie al SiO_2 , care este in general mai mare de 1,40 , in functie de metoda de depunere si domeniul spectral. Astfel este asigurat efectul de focalizare a radiatiei solare prin aria de microlentile formate la interfata. S-a constatat că grosimea stratului de acumulare măsurat experimental este de 5 ± 1 nm pentru toate tensiunile aplicate (de max. 1,5 Vcc) [Feigenbaum E. et al, *Nano Lett.* **10**, 2111, 2010]. Majoritatea celulelor solare tandem de înaltă eficiență au fost fabricate folosind celula de baza cu heterojonctiune de siliciu [Wang Z. et al, *Adv. Funct. Mater.* **30**, art no. 1908298, 2020] la temperaturi cu mult sub 250°C , astfel incat perovskitul sa nu se degradeze.

Stratul n-ITO depus peste SiO_2 formează o heterojonctiune semiconductor-dielectric, care determină aparitia unei regiuni de acumulare a sarcinilor negative, regiune localizata la interfața solid-solid in ITO, ceea ce are ca rezultat o mai bună separare a purtătorilor de sarcină fotogenerati. Grosimea și doparea stratului n pot fi optimizate, pentru ca fotonii să interacționeze puternic cu purtătorii de sarcină din straturile de oxizi transparenti și nanoantenele plasmonice, astfel incat focalizarea sa fie eficient modulata de catre tensiunea aplicata pe heterojonctiune. Pentru ITO conductivitatea de tip n este relativ ușor de realizat prin excesul de Zn sau cu dopaje de Al, Ga sau In. Straturile ITO vor putea fi optimizate pentru transparență in vizibil functie de conductivitate. Contactele ohmice pot fi formate prin depunere termică rapidă in vid (RTD).

In Fig.1 am mai notat:

- (14) Contactul electric obtinut prin depunerea de Au prin evaporare termica pentru polaritatea negativă structurat sub forma unui cadru dreptunghiular cu grosimea de 250 nm, apoi se fac sudurile unor fire de contact la contactele TMOS;
- (15) Stratul de acumulare de sarcini (electroni);
- (16) Marimea sugerata a nanosferelor de polistiren utilizate ca masca pentru depunerea Au;
- (17) Stratul de nanoantene (rezonatori) de Au obtinut prin litografie cu nanosfere din polistiren;

Director General INCDFM
Dr. Ionut Marius Enculescu

Dr. Cotirlan-Simioniuc Costel

- (18) Rezistența de sarcină, R_L .

Cu (21) am notat undele evanescente la suprafața nanoparticulelor depuse ca MTS care apar la interacțiunea foton-plasmon. Deci, o parte din radiația solară excita unde confinate pe suprafața nanoparticulelor plasmonice, care sunt absorbite în straturile succesive ale celulei pe baza de perovskit.

Litografia cu nanosfere din polistiren pentru obținerea MTS

Elementele rezonatoare de la interfața dintre heterojuncțiunea de focalizare și tandemul solar propriu zis se obțin prin litografie cu nanosfere din polistiren (LNP).

LNP oferă un control remarcabil al mărimii, formei și distanței dintre nanoparticule plasmonice depuse. Lățimea în plan și înălțimea în afara planului nanoparticulelor metalice sau semimetalice obținute prin LNP pot fi ajustate independent, cu precizie nanometrică, prin selectarea diametrului (16) al nanosferelor utilizate ca mască de depunere sub forma unui cristal coloidal bidimensional (2D) și a grosimii materialului depus (ex. Au).

Forma măștii ca un cristal coloidal 2D sau a stratului de nanosfere din polistiren este controlată prin etapele de procesare postdepunere, cum ar fi tratamentele termice. În plus, tehnologia LNP este extrem de simplă de implementat, având costuri reduse.

Este aproape ideală ca platformă pentru studii de teorie și experimente ale proprietăților optice ale nanoparticulelor [*Traci, R.J. et al. J. Phys. Chem. B, 104, 10549, 2000*].

Pe structura cu stratul de suprafața BCP se depune un strat de fotorezist AZ1505 prin spin-coating la 5000 rot./min, timp de 1 minut;

- se aplică un tratament termic la 110°C timp de 50 s într-o etuvă;

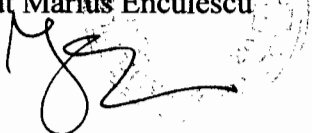
- se formează mască de nanosfere ca un cristal coloidal bidimensional pe fotorezist tot prin spin-coating, se aplică un tratament termic și se expune structura la radiația UV prin mască cu nanosfere;

- se dezvoltă fotorezistul expus între nanosfere cu AZ 726 MIF într-un timp mai scurt de 1 minut;

- prin RF sputtering se depune stratul de 50 nm de metal (Au) pentru MTS prin mască de nanosfere;

- cu remover AZ 100 sau acetona se îndepărtează stratul de nanosfere cu metalul depus pe ele și rămân pe interfață nanoantenele de Au cu o înălțime de 50 nm.

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu



Dr. Cotîrlan-Simioniuc Costel



Proiectare atentă a structurii de focalizare face cu putință aplicarea unei tensiuni electrice continue între contactele 19 și 14 pentru controlul densității de electroni în stratul de acumulare, respectiv a indicelui de refracție în zona superioară a heterojoncțiunii și focalizarea corespunzătoare a radiației solare.

Modul în care invenția este susceptibilă a fi aplicată industrial

Componenta TMOS poate fi aplicată în conversia energiei solare în energie electrică cu randament superior prin efect fotoelectric. Tehnologic, noua soluție constructivă permite fabricarea și implementarea straturilor subțiri din materiale transparente optice: oxizi, semiconductori, perovskiti, cu caracteristici optimizate pentru interacția materiei cu lumina.

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu



9

Dr. Cofîrlan-Simioniuc Costel



Revendicări

1. Celulă solară tandem cu o structură metal-oxid-semiconductor și metasuprafață integrate caracterizată prin faptul că are o configurație realizată pe o placheta semiconductoare (11) din Si de tip n, pe care se depun succesiv straturi subțiri pentru formarea unei celule solare de Si cristalin: stratul (12) de Si emitor de tip p^{++} și (13) de Au pentru contact electric de polaritate pozitivă pe fața inferioară a plachetei, respectiv un strat (10) de Si amorf de tip n, dopat cu hidrogen (a-Si:H) și un strat (9) de Si hidrogenat nanocristalin ca joncțiune de transfer pe fața superioară a plachetei, apoi straturi subțiri pentru formarea celulei solare cu perovskit: un strat polimeric (8) de transport pentru goluri, un strat (7) de perovskit cu halogenuri, un compus organometalic (6) pentru transferul interfacial accelerat al electronilor, îmbunătățirea eficienței și stabilității în timp a perovskitului prin funcționalizarea interfetelor cu straturile vecine compusului, stratul (5) pentru transportul electronilor, stratul (4) de batocuproina (BCP) utilizat ca intermediar între nanoantenele plasmonice (17) și stratul de transport pentru electroni, metasuprafața constituită din nanoantenele plasmonice cu structură de tetraedre distribuite hexagonal pe suprafața stratului de BCP, structură obținută prin litografie cu nanosfere (16) de polistiren, apoi heterostructura constituită din stratul (3) de SiO_2 cu grosimea de 100 nm deasupra nanoantene și stratul (2) de oxid transparent ITO cu grosimea de 300 nm, cu conducție de tip n, dopat degenerat, în care apare un strat (15) de acumulare de electroni la interfața cu SiO_2 prin aplicarea diferenței de potențial de maxim 1,5 V între contactul intermediar (19) și contactul (14) printr-un divizor de tensiune format de rezistențele (18) și (22), iar la suprafața se depune acoperirea antireflex (1) pentru vizibil și infraroșu apropiat împreună cu un contact metalizat pentru polaritatea negativă (14), astfel încât focalizarea radiației solare în regiunea (20) să fie determinată de diferența de indici de refracție la interfața profilată ca o arie de microlentile convexe și de confinarea câmpului electromagnetic indusă de către rezonanțele plasmonice (21) localizate pe suprafața nanoparticulelor plasmonice, cu scopul final de a se obține un randament maxim de conversie a energiei solare în energie electrică.

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu



Dr. Coțîrlan-Simioniuc Costel



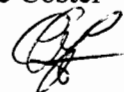
2. Celulă solară tandem cu o structură metal-oxid-semiconductor și metasuprafață integrate conform revendicării 1 caracterizată prin faptul că metasuprafața integrată la baza heterostructurii de focalizare este obținută prin procedura de litografie cu nanosfere din polistiren pentru controlul cu precizie nanometrică a distanțelor dintre nanoantenele tetraedrale și a înălțimii acestora în afara planului prin selectarea diametrului nanosferelor utilizate ca mască de depunere sub forma unui cristal coloidal bidimensional și respectiv a grosimii materialului depus, determinând profilul optic specific de arie de microlentile convexe al interfeței de focalizare a radiației solare în prima regiune activă a tandemului de celule solare.

3. Celulă solară tandem cu o structură metal-oxid-semiconductor și metasuprafață integrate conform revendicării 1 caracterizată prin faptul că prin introducerea divizorului de tensiune format de rezistențele (18) și (22) se aplică o tensiune electrică între contactele (14) și (19) și se formează o buclă de feedback, astfel încât să se obțină o focalizare optimă a radiației solare în prima regiune activă în funcție de temperatura tandemului și unghiul de incidență a radiației solare.

Director General INCDFM
Dr. Ionuț Marius Enculescu

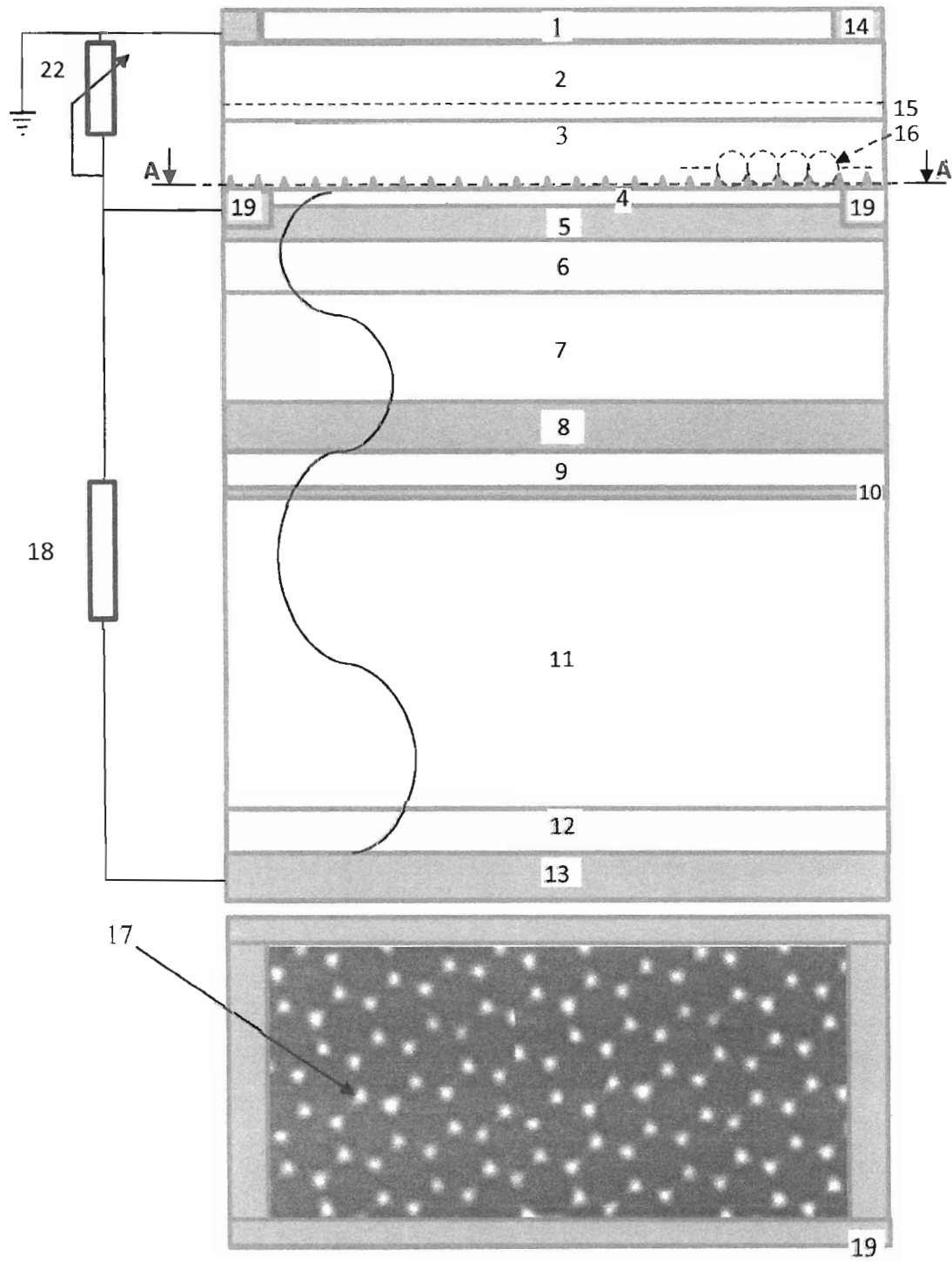


Dr. Cotîrlan-Simioniuc Costel



31

Anexa



A-A
Fig. 1

Director General INCDFM
Dr. Ionut Marius Enculescu

Dr. Cotirlan-Simioniuc Costel

30

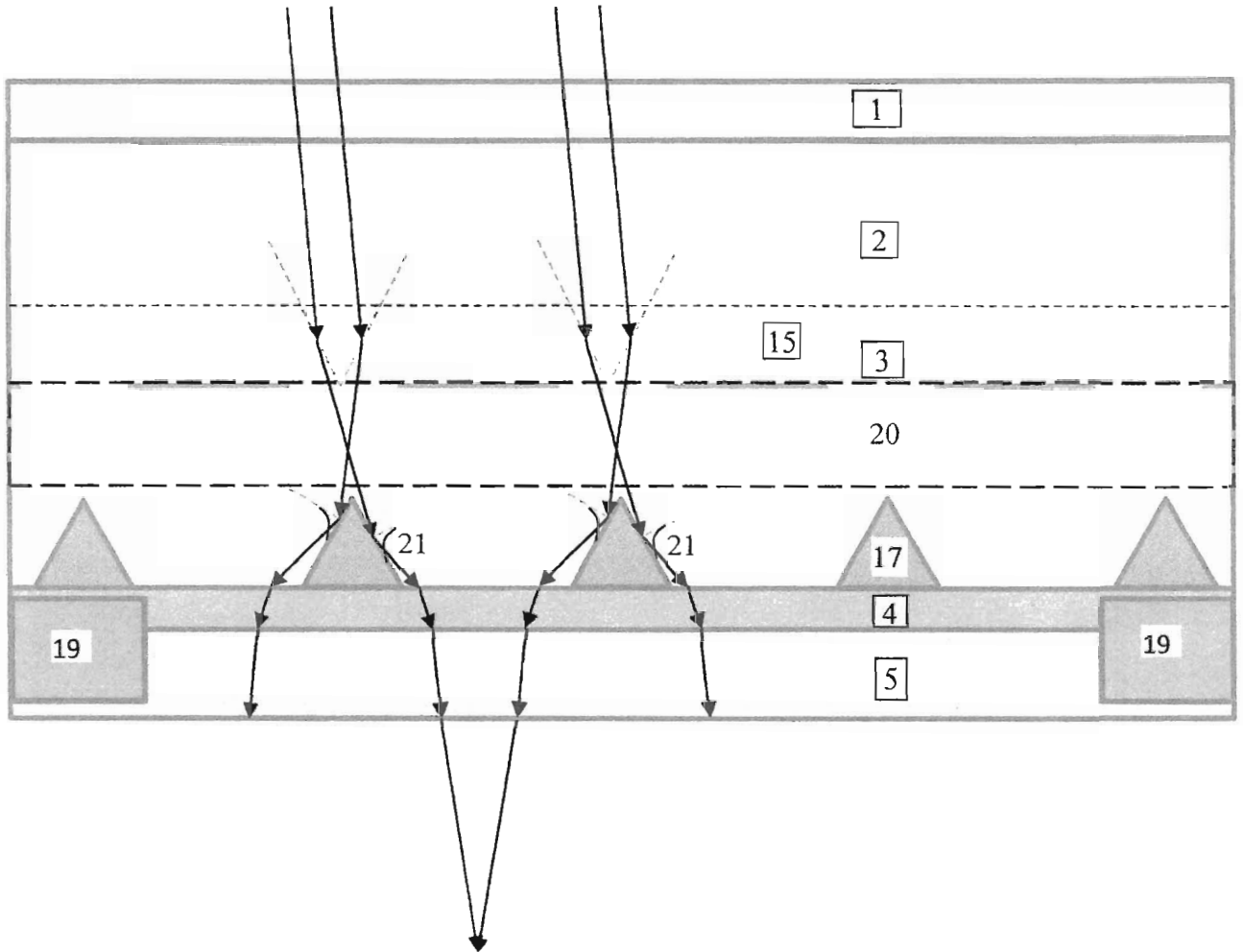


Fig. 2

Director General INCDFM
Dr. Ionut Marius Enculescu

Dr. Cotirlan-Simioniuc Costel