

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2022 00343

(22) Data de depozit: 16/06/2022

(41) Data publicării cererii:
29/12/2023 BOPI nr. 12/2023

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE
CERCETARE-DEZVOLTARE PENTRU
MICROTEHNOLOGIE-IMT BUCUREȘTI,
STR.EROU IANCU NICOLAE 126A,
VOLUNTARI, IF, RO

(72) Inventatori:
• MOAGAR-POLADIAN GABRIEL,
ALEEA FUIORULUI NR.6, BL.Y3A, SC.1,
ET.6, AP.27, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B,
RO;
• MOAGAR-POLADIAN VICTOR,
ALEEA STANILANR.7, BL.H10, SC.C, ET.2,
AP.51, SECTOR 3, BUCUREȘTI, B, RO

(54) SENZOR DE RADIAȚIE ELECTROMAGNETICĂ FOLOSIND
CONTROLUL PIERDERILOR ÎN TRANSFORMATORUL
ELECTRIC

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un senzor de radiație electromagnetică care folosește ca mecanism de detecție controlul pierderilor într-un transformator electric planar. Senzorul conform invenției este alcătuit dintr-un substrat (1) izolator pe care se află un inductor (2) planar care are rol de înfășurare primară a transformatorului, pe inductorul (2) planar aflându-se un strat (3) izolator electric pe care se află un strat (4) fotosensibil și, pe acesta, un strat (5) izolator pe care se află un alt inductor (6) planar, care are rol de înfășurare secundară a transformatorului, și care este, de preferință, transparent la radiația electromagnetică incidentă, cele două inductoare (2 și 6) fiind așezate unul deasupra celuilalt și separate de o anumită distanță pe verticală, distanța mai mică decât dimensiunea lor în plan, și poziționate coaxial, cele două inductoare (2 și 6) fiind alcătuite dintr-un material conductor electric.

Revendicări: 28
Figuri: 9

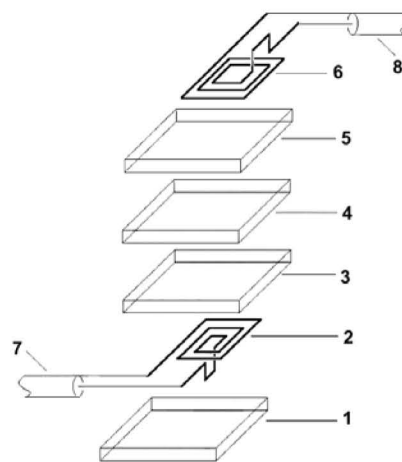


Fig. 1



48

SENZOR DE RADIAȚIE ELECTROMAGNETICĂ FOLOSIND CONTROLUL PIERDERILOR ÎN TRANSFORMATORUL ELECTRIC

Inventator: Gabriel MOAGĂR-POLADIAN

Descriere

Invenția se referă la un senzor de radiație electromagnetică care folosește ca mecanism de detecție controlul pierderilor într-un transformator electric planar.

Sunt cunoscuți fotodetectori pe bază de semiconductori, care lucrează fie în regim fotoconductiv fie în regim fotovoltaic, care sunt disponibili comerciali.

Dezavantajele acestor tipuri de fotodetectori sunt:

- utilizează tehnologie dificilă de fabricație datorată necesității de a realiza de contacte ohmice
- necesită procedee costisitoare de lărgire a domeniului spectral la care sunt sensibili
- nu pot detecta fotoni cu energii mai mici decât lărgimea benzii interzise a materialului semiconductor din care sunt fabricați

Sunt cunoscuți fotodetectori care folosesc efecte fototermice, cum ar fi de exemplu detectorii piroelectrici sau cei bolometrici, care sunt disponibili comerciali.

Dezavantajele acestor tipuri de fotodetectori sunt:

- nu au viteză mare de răspuns
- nu au o sensibilitate foarte mare

Sunt cunoscute sisteme de măsură a conductivității electrice a unui semiconductor folosind un transformator electric și curenții eddy induși în materialul semiconductor măsurat atunci când în primarul transformatorului se aplică un curent variabil în timp.

Dezavantajele acestor sisteme sunt:

- utilizează doar semiconductori masivi ceea ce poate crește costurile de producție
- au un domeniu spectral de sensibilitate relativ îngust
- sunt voluminoși din cauza bobinelor folosite
- nu pot detecta fotoni cu energii mai mici decât lărgimea benzii interzise a materialului semiconductor considerat

Sunt cunoscute sisteme de măsură a fotoconductivității unui semiconductor folosind radiația de microunde reflectată de către materialul respectiv.

Dezavantajele acestor sisteme sunt:

- necesită un ansamblu experimental complex necesar transmiterii și recepției semnalului de microunde
- domeniul spectral al fotoconductivității este relativ redus din cauza proprietăților materialului semiconductor
- nu pot detecta fotoni cu energii mai mici decât lărgimea benzii interzise a materialului semiconductor considerat

Problema pe care o rezolvă invenția este aceea a depășirii necesității de a avea contacte ohmice la fotodetector simultan cu miniaturizarea acestuia și cu posibilitatea de a fi sensibil pe un domeniu spectral foarte larg.



Soluția conform invenției constă în utilizarea unui transformator electric ale cărui înfășurări sunt alcătuite din inductori planari separați între ei cu ajutorul unui material fotosensibil, mai precis al unui material care prezintă efect fotoconectiv, iluminarea materialului fotosensibil permițând controlul, prin curenții eddy induși în el, al pierderilor acestui transformator. Controlul pierderilor este detectat ca o variație a tensiunii electrice induse în secundarul transformatorului pentru o excitație de amplitudine constantă în primar.

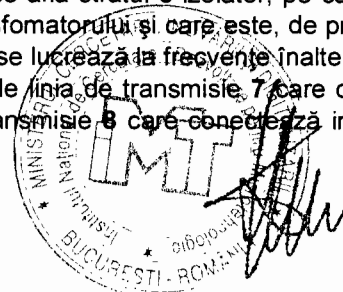
Avantajele soluției conform invenției sunt:

- Scapă de problema contactelor ohmice cu materiale fotosensibile care pot fi mai greu dopate sau contactate ohmic
- Permite realizarea unor senzori compacti, de grosime mult mai mică decât în cazul utilizării unor inductori ne-planari bobinați în jurul unui suport
- Simplifică realizarea acestui tip de senzori, oferind cel puțin o variantă de cost redus pentru realizarea sa (inkjet printing)
- Permite realizarea atât a senzorilor pe substrat 3D cât și pe substrat flexibil (inkjet printing)
- Sensibilitatea poate fi reglată atât din mărimea curentului din primar cât și din frecvența acestuia, permițând astfel o adaptabilitate mai bună a sensorului, precum și de raportul dintre numărul de spire în primar și, respectiv, în secundar
- Poate fi făcut sensibil pe o bandă spectrală largă, de exemplu din infraroșu îndepărtat în ultraviolet, prin utilizarea în compozit a unui mix de micro/nanoparticule sensibile la diferite domenii spectrale sau poate fi reglat pe domeniul spectral dorit fie din compoziția micro/nanoparticulelor (un singur tip de material) fie prin utilizarea unor filtre spectrale adecvate (mai multe tipuri de material)
- Poate detecta fotoni având energia mai mică decât lărgimea benzii interzise a semiconductorului care intră în componența sa

În continuare oferim o descriere a invenției în raport cu figurile 1..9 care reprezintă:

- Figura 1: structura, în vedere "explodată", a sensorului
- Figura 2: reprezentarea schematică a structurii stratului fotosensibil în varianta în care este format din micro/nanoparticule semiconductoare dispersate într-o matrice izolatoare
- Figura 3: reprezentarea schematică a structurii stratului fotosensibil în varianta în care este format din sinterizarea unor micro/nanoparticule semiconductoare învelite în coajă izolatoare
- Figura 4: reprezentarea schematică, în vedere laterală, a structurii de tip multistrat a stratului fotosensibil atunci când acesta este format din mai multe straturi de materiale semiconductoare masive
- Figura 5: reprezentarea schematică, în vedere laterală, a structurii de tip multistrat a stratului fotosensibil atunci când acesta este format din micro/nanoparticule semiconductoare dispersate într-o matrice izolatoare
- Figura 6: reprezentarea schematică a circuitului de citire a sensorului cu inductorul primar și cel secundar în montaj diferențial
- Figura 7: reprezentarea schematică a circuitului de compensare a driftului termic al sensorului
- Figura 8: reprezentarea schematică a circuitului electric pentru aria 1D de senzori
- Figura 9: reprezentarea schematică a circuitului electric pentru aria 2D de senzori

Senzorul este alcătuit dintr-un substrat 1 izolator pe care se află inductorul planar 2 care are rolul de înfășurare primară a transformatorului. Pe inductorul planar 2 se află un strat 3 izolator electric pe care se află stratul fotosensibil 4. Pe stratul fotosensibil 4 se află stratul 5 izolator, pe care se află inductorul planar 6 care are rolul de înfășurare secundară a transformatorului și care este, de preferință, transparent la radiația electromagnetică incidentă. În cazul în care se lucrează la frecvențe înalte de sute de MHz sau se intră în domeniul GHz, atunci senzorul mai cuprinde linia de transmisie 7 care conectează sursa de semnal la inductorul planar 2 și, respectiv, linia de transmisie 8 care conectează inductorul planar 6 la



sistemul de citire a sensorului. Inductorul planar 2 și inductorul planar 6 sunt așezați unul deasupra celuilalt și separați de o anumită distanță pe verticală, distanță mai mică dimensiunea lor în plan, preferabil mai mică decât jumătate din această dimensiune în plan, și sunt așezați coaxiali.

Stratul fotosensibil 4, într-una dintre variante, este alcătuit dintr-un compozit format dintr-o matrice 9 izolatoare electric în care sunt dispersate micro/nano-particule 10 semiconductoare. Într-o altă variantă, stratul fotosensibil 4 este alcătuit dintr-un material semiconductor masiv, având grosimea potrivită astfel încât să satisfacă criteriul de distanță dintre cele două inductoare planare 2 respectiv 6. Într-o a treia variantă, stratul fotosensibil 4 este alcătuit dintr-un compozit obținut prin sinterizarea unor micro/nanoparticule semiconductoare 10 având un înveliș 11 izolator, grosimea compozitului având grosimea potrivită astfel încât să satisfacă criteriul de distanță dintre cele două inductoare planare 2 respectiv 6. De asemenea, stratul fotosensibil poate conține și particule magnetice pentru o mai bună confinare a fluxului magnetic în transformatorul format de către inductorii planari 2 și 6 și optimizarea caracteristicilor acestuia. Stratul fotosensibil 4 este utilizat în regim fotoconductor, mai precis pentru oricare dintre tipurile de efect fotoconductor și anume fotoconducție pozitivă, fotoconducție negativă, fotoconducție cu timp de relaxare mare, fotoconducție anomală.

Pentru a crește domeniul spectral pentru care sensorul este sensibil se pot folosi două variante. Prima este aceea în care avem un singur strat fotosensibil 4 în care micro/nanoparticulele 10 sunt formate din diferite tipuri de material semiconductor 10.1..10.n, fiecare tip fiind sensibil la un anumit domeniu spectral. A doua variantă este cea în care stratul fotosensibil 4 este format din mai multe straturi 4.1... 4.n, cu 'n' număr natural, fiecare astfel de strat conținând micro/nanoparticule 10.1 ... 10.n, fiecare tip de astfel de micro/nanoparticulă 10.1 ... 10.n fiind formată dintr-un singur tip de material și fiecare strat conținând doar un singur tip de astfel de micro/nanoparticule, lărgimea benzii interzise a acestor micro/nanoparticule 10.1 ... 10.n scăzând monoton dinspre suprafața iluminată unde se află inductorul planar 6 spre suprafața opusă unde se află inductorul planar 2. Matricea izolatoare 9 poate fi aceeași pentru toate straturile 4.1 ... 4.n sau poate fi diferită pentru straturi diferite. Dacă se folosește ca material fotosensibil 4 un material semiconductor masiv, atunci lărgirea domeniului spectral se poate face prin utilizarea unui sandwich de materiale semiconductoare 4.1 ... 4.n având între ele straturi izolatoare 12.1 ... 12.n, condiția fiind și în acest caz ca lărgimea benzii interzise a acestor straturi 4.1 ... 4.n ale semiconductorilor masivi să scadă monoton dinspre suprafața iluminată unde se află inductorul planar 6 spre suprafața opusă unde se află inductorul planar 2. De asemenea, dacă stratul fotosensibil 4 este format dintr-un compozit obținut prin sinterizarea unor micro/nanoparticule 10 semiconductoare având un înveliș 11 izolator, avem și în acest caz două variante. În prima variantă, micro/nanoparticulele semiconductoare 10 având un înveliș 11 izolator sunt formate din mai multe tipuri de materiale semiconductoare 10.1..10.n. În varianta a doua, stratul fotosensibil 4 este format din mai multe straturi 4.1... 4.n, cu 'n' număr natural, fiecare astfel de strat conținând un singur tip de micro/nanoparticule semiconductoare 10.1..10.n având un înveliș 11 izolator, lărgimea benzii interzise a acestor micro/nanoparticule având un înveliș 11 izolator scăzând monoton dinspre suprafața iluminată unde se află inductorul planar 6 spre suprafața opusă unde se află inductorul planar 2.

Ca materiale pentru substratul 1 izolator electric menționăm, fără a restrânge generalitatea, ceramica izolatoare electric, sticlă, safir, diamant, carbură de siliciu, compuși A III – B V de bandă largă, polimeri flexibili sau rigizi.

Ca materiale pentru inductorii planari 2 și 6 menționăm, fără a restrânge generalitatea, metale cum ar fi Aur, Argint, Cupru, Platină sau materiale conductoare transparente cum ar fi ITO (Indium Tin Oxide), AZO (Aluminium doped Zinc Oxide), GZO (Gallium doped Zinc Oxide), TFO (Fluoride doped Tin Oxide), MOCVD GITO (Gallium Indium Tin Oxide obținut prin depunere metal-organic chimică din fază de vapori), MOCVD ZITO (Zinc Indium Tin Oxide obținut prin depunere metal-organic chimică din fază de vapori), PEDOT:PSS conductiv, electrozi pe bază de materiale carbonice ca grafenă sau nanotuburi de carbon.

Ca materiale pentru micronanoparticulele 10 semiconductoare menționăm, fără a restrânge generalitatea, Siliciu, Germaniu, carbură de Siliciu, ZnO, TiO₂, PbS, PbSe, PbTe, CdHgTe, compuși A III – B V și aliaje ale acestora, compuși A IV – B VI, compuși A II – B VI.

Ca materiale pentru matricea 9 izolatoare electric menționăm, fără a restrânge generalitatea, polimer, sticlă depusă prin sol-gel, oxizi ceramici depuși prin sol-gel.



Ca materiale pentru micro/nanoparticulele magnetice menționăm, fără a restrânge generalitatea, materiale ca cele feromagnetice, oxizi de fier, oxizi ai altor metale tranzitionale având proprietăți magnetice, sau din magneți permanenți ca NdFeB și variantele sale.

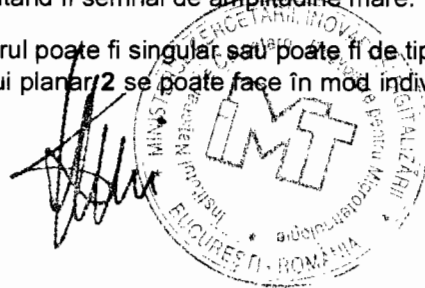
Ca materiale pentru straturile izolatoare **3** și **5** menționăm, fără a restrânge generalitatea, SiO₂, Si₃N₄, PMMA, SU8, PDMS, polimeri dielectrici.

Principiul de funcționare al senzorului este următorul: în modul fonic de funcționare iluminarea cu radiație ai cărei fotoni au energie mai mare sau egală cu cea a benzii interzise a materialului din care sunt alcătuite micro/nanoparticulele din compozit generează în acestea purtători de sarcină liberi de neechilibru, modificând astfel conductivitatea electrică a micro/nanoparticulelor **10**. În modul termic de funcționare, matricea izolatoare **9** dar, în unele situații, și micro/nanoparticulele **10**, absorb radiația electromagnetică incidentă ai cărei fotoni au energia mai mică decât banda interzisă a micro/nanoparticulelor **10**, încălzindu-se. Această creștere de temperatură are ca efect generarea de purtători de sarcină de echilibru în micro/nanoparticulele **10**, crescându-le astfel acestora conductivitatea electrică. În primar se aplică un curent de înaltă frecvență. Prezența purtătorilor de sarcină fotogenerați fonic sau termic în micro/nanoparticulele din compozit face ca în acestea să apară curenți eddy produși de către câmpul magnetic generat de inductorul planar **2**, curenți eddy care constituie pierderi (ohmice) prin efect Joule pentru transformator. În acest fel, o parte din energia furnizată de primar către secundar se cheltuie pe acești curenți eddy, diminuând astfel curentul din secundar de o manieră proporțională cu conductivitatea electrică și concentrația micro/nanoparticulelor din compozit. La rândul ei, această conductivitate electrică a micro/nanoparticulelor din compozit este proporțională cu intensitatea radiației incidente. În anumite situații, senzorul poate fi răcit pentru a crește puterea minimă detectabilă. Mai mult, între curentul din primar și cel din secundar apare un defazaj temporal iar dependența de frecvență a curentului din secundar conține o componentă liniară în frecvență și o componentă pătratică în frecvență. De asemenea, dacă se lucrează la frecvențe mari (sute de MHz, GHz) apare reflexia semnalului pe inductorul planar **2** primar; această reflexie, care depinde de impedanța stratului fotosensibil, contribuind suplimentar la pierderile transformatorului și deci la variația semnalului la ieșirea inductorului planar **6**. De asemenea, menționăm faptul că inductorul planar **6** primește flux magnetic atât de la inductorul planar **2** cât și de la micro/nanoparticulele **10** din materialul fotosensibil **4**. În acest fel, variația totală de semnal la ieșirea inductorului planar **6** este dată de pierderile din materialul fotosensibil **4**, de pierderile prin reflexia semnalului electric de excitare pe inductorul planar **2** și, respectiv, de fluxul magnetic produs de către micro/nanoparticulele **10** din materialul fotosensibil **4**.

În cazul inductoarelor planare avem nu numai inductanța acestora ci și o capacitate. Această capacitate apare atât între spirele bobinei cât și între spire și materialul fotosensibil **4**, cuplajul capacitiv în acest din urmă caz devenind și mai pronunțat la iluminare. Această prezență atât a unei inductanțe cât și a unei capacități face ca fiecare inductor să aibă o frecvență de rezonanță proprie. Astfel, într-una dintre variante, semnalul electric aplicat de către sursă pe inductorul planar **2** are frecvența egală cu frecvența de rezonanță a transformatorului electric format din inductoarele planare **2** și **6** în absența iluminării. Dacă inductorul planar **6** este citit în tensiune cu ajutorul unui sistem cu impedanță mare, atunci frecvența de rezonanță este egală practic cu frecvența de rezonanță a inductorului planar **2**. Atunci când se aplică iluminare, atât inductanța inductorului planar **2** cât și capacitatea acestuia se modifică, schimbând frecvența de rezonanță. Astfel, în cazul iluminării, inductorul planar **2** este alimentat cu un semnal a cărui frecvență nu mai este egală cu frecvența sa de rezonanță în timpul iluminării, ceea ce face ca amplitudinea semnalului pe inductorul planar **2** să scadă. Această scădere de amplitudine este sesizată de către inductorul planar **6** prin scăderea semnalului electric cules la bornele sale. Acest mod de funcționare a senzorului permite o sensibilitate mai mare deoarece alături de pierderile ohmice prin curenți eddy în materialul fotosensibil **4** și, respectiv, alături de fluxul generat de acești curenți eddy se adaugă și ieșirea din rezonanță a inductorului planar **2**.

Ca mod de excitare electrică a senzorului avem două variante. În prima dintre ele, semnalul sinusoidal produs de către sursa de semnal și aplicată inductorului planar **2** este aplicată în regim continuu. În acest caz trebuie aplicat un semnal relativ mic pentru a preveni încălzirea excesivă a compozitului atunci când acesta este iluminat cu radiație electromagnetică intensă și a reduce astfel driftul de răspuns / auto-ambalarea termică a acestuia. În a doua variantă, semnalul sinusoidal este aplicat intermitent (de exemplu în impulsuri sau pe perioade scurte de timp), în acest caz putând fi semnal de amplitudine mare.

Ca variante constructive menționăm faptul că senzorul poate fi singular sau poate fi de tip arie 1D sau arie 2D. În cazul ariilor de senzori, excitarea inductorului planar **2** se poate face în mod individual pe



fiecare senzor în parte sau se poate face în mod colectiv pentru toți senzorii o dată, de la aceeași sursă de semnal, prin conexiune serie-parallel a acestor senzori. În cazul arilor de senzori se adaugă și electronica de multiplexare/demultiplexare a acestora atât pentru partea de excitare a inductorilor planari 2 cât și, mai ales, pentru cea de citire a inductorilor planari 6.

O problemă care poate apare este cea a driftului termic al senzorului. Astfel, creșterea temperaturii are ca efect creșterea concentrației de purtători de sarcină de echilibru în micro/nanoparticulele 10, ceea ce duce la creșterea conductivității electrice a acestora. Această creștere a conductivității electrice a micro/nanoparticulelor 10 în absența iluminării are ca efect interpretarea greșită conform căreia pe senzor este incidentă radiație electromagnetică ce provoacă această variație. Pentru a preveni o astfel de eroare, se folosesc doi senzori identici ca geometrie, materiale și sens de înfășurare al spirelor, montați în paralel, unul supus iluminării și celălalt având un ecran care împiedică radiația electromagnetică incidentă să ajungă pe el. Cei doi inductori primari ai dispozitivelor sunt alimentați în paralel cu semnal electric, în timp ce secundarele au un terminal legat la masă (aceleși terminal pentru amândoi inductorii) iar celălalt terminal este legat la un amplificator diferențial astfel: terminalul de la senzorul propriu-zis este conectat la intrarea '+' a amplificatorului diferențial în timp ce ieșirea corespunzătoare a senzorului neiluminat este conectat la ieșirea '-' a aceluiași amplificator. Astfel, variația de temperatură produce aceeași variație de conductivitate în amândouă transformatoarele și deci aceleași pierderi în cele două transformatoare, secundarele lor dând același semnal. Astfel, în acest caz, ieșirea din amplificator este zero. Dacă se aplică radiație electromagnetică pe senzor (pe cel iluminabil), atunci variația suplimentară de pierderi pe primul transformator are ca efect variația semnalului din secundarul acestui transformator în raport cu cel de referință, ceea ce duce la apariția unui semnal la ieșirea din amplificatorul diferențial.

Citirea senzorului se poate face cu orice tip de semnal variabil în timp aplicat pe inductorul planar 2, de preferat fiind semnalul sinusoidal. Ieșirea de pe inductorul planar 6 se poate face fie prin conectarea la un sistem de măsură a amplitudinii semnalului furnizat de acesta, fie cu ajutorul unui analizor de semnal care măsoară atât amplitudinea semnalului de la bornele inductorului planar 6 cât și defazajul acestuia în raport cu semnalul de excitare aplicat inductorului planar 2. De asemenea, într-o altă variantă, ieșirea de la inductorul planar 6 este aplicată unui filtru trece-sus care are ca rol să lase să treacă doar componenta de excitare de frecvență înaltă, rejectând componentele parazite de frecvență joasă, inclusiv zgomotul de tip $1/f$. După filtrul trece-sus urmează o punte redresoare de frecvență înaltă, ieșirea acestei punți redresoare fiind conectată, mai departe, la un filtru trece-jos. Rolul filtrului trece-jos este acela de a lăsa să treacă doar componenta redresată, fără riplul de înaltă frecvență, pentru a permite citirea facilă în regim DC.

O altă modalitate de citire a senzorului este cea în care atât inductorul planar 2 cât și inductorul planar 6 au câte un terminal legat la masă iar celălalt terminal este legat la un amplificator diferențial, același pentru amândoi inductorii, printr-un circuit de echilibrare care are rolul de a aduce la zero ieșirea amplificatorului diferențial atunci când senzorul nu este iluminat. Iluminarea materialului fotosensibil 4 face ca inductorul planar 6 să își modifice semnalul de ieșire și astfel să scoată de pe zero ieșirea amplificatorului diferențial.

În anumite situații poate fi necesar ca să se stabilească funcționarea senzorului la anumiți parametri, adică să fie necesar să se fixeze așa-numitul punct static de funcționare. Aceasta este posibilă în două moduri. În primul mod, aplicabil situației când matricea 9 conține micro/nanoparticule magnetice pentru o mai bună ghidare a fluxului magnetic între primar și secundar, în inductorul planar 2 se aplică, alături de curentul sinusoidal utilizat la citirea senzorului, un curent continuu de fixare a magnetizării și orientării momentului magnetic al micro/nanoparticulelor magnetice respective astfel încât transferul de flux magnetic între inductorii planari 2 și respectiv 6 să fie optimizat. De asemenea, poate fi necesară aducerea conductivității electrice a micro/nanoparticulelor semiconductoare 10 la o anumită valoare care să asigure o funcționare optimă a senzorului. În acest caz, în afară de fascicolul de radiație electromagnetică pe care vrem să îl măsurăm se mai adaugă un fascicol electromagnetic constant în timp a cărui intensitate reglează conductivitatea electrică a micro/nanoparticulelor semiconductoare 10 la valoarea necesară. În particular, se pot utiliza două tipuri de micro/nanoparticule 10, având valori diferite pentru lărgimea benzii interzise. Un tip de micro/nanoparticule 10 este folosit pentru detecția radiației de interes, pe când celălalt tip este iluminat cu radiație constantă și este folosit la stabilirea acelei conductivități electrice optime a materialului fotosensibil 4 pentru care senzorul oferă răspuns maxim.

Ca parametri structurali și de lucru ai senzorului menționăm câțiva dintre aceștia:



- Domeniu frecvență semnal electric în primar/secundar: 100 kHz – 10 GHz
- Dimensiune inductor (în plan): 10 micrometri – 1 cm
- Distanța dintre spire: 1 micrometru – 1 mm
- Grosime strat fotosensibil: 10 micrometri – 400 micrometri, de preferință 10 micrometri – 100 micrometri
- Dimensiune micro/nanoparticule în compozit: mai mică de 40 micrometri, preferabil între 1 micrometru și 20 micrometri
- Concentrație volumică micro/nanoparticule în compozit: mai mare de 10 %
- Număr de spire pentru inductorii planari: minim 2
- Amplitudine semnal electric (curent) în primar: 0,1 mA – 10 A

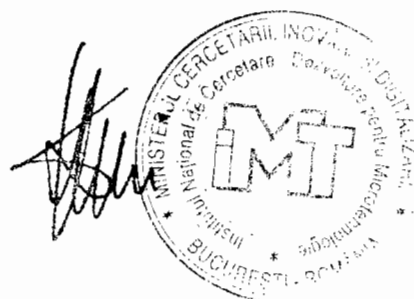
Dăm în continuare un exemplu de realizare a senzorului.

Astfel, substratul **1** este din sticlă, pe el fiind depus inductorul planar **2** care este din Argint. Forma acestuia este cea a unui pătrat având latura de 1 cm și conține 100 spire cu distanța între spire de 5 micrometri. Straturile izolatoare **3** și **5** sunt din SiO_2 depus prin sol-gel și au o grosime de 100 nm. Materialul fotosensibil **4**, având o grosime de 250 micrometri este alcătuit dintr-un polimer **9** care este PDMS în care sunt înglobate microparticule din Siliciu intrinsec având o dimensiune de 2 micrometri, concentrația lor volumică fiind de 35 %. Inductorul planar **6**, similar ca geometrie cu inductorul planar **2**, este realizat din conductor transparent de tip ITO.

Într-o altă variantă, materialul fotosensibil **4** este alcătuit dintr-un strat subțire de Siliciu intrinsec având grosimea de 100 micrometri.

Pentru lucrul pe un domeniu spectral larg, materialul fotosensibil **4**, având o grosime de 250 micrometri este alcătuit dintr-un polimer **9** care este PDMS în care sunt înglobate mai multe tipuri de microparticule și anume microparticule din Siliciu intrinsec (sensibil în infraroșu apropiat și vizibil partea verde-roșu), din Germaniu intrinsec (sensibil în infraroșu mediu și infraroșu apropiat) și din ZnO (sensibil în zona albastru-violet a spectrului vizibil și în ultraviolet), toate aceste microparticule având o dimensiune de 2 micrometri, concentrația lor volumică fiind de 35 %. În acest fel, senzorul este sensibil în domeniul spectral 200 nm – 2,2 micrometri.

În toate aceste exemple frecvența semnalului electric este de 10 MHz iar amplitudinea curentului de excitație este de 10 mA. Excitarea se poate face fie continuu, fie în impulsuri, de exemplu, dar fără a restrânge generalitatea pe durate de 2 secunde urmate de o pauză de 2 secunde.



SENZOR DE RADIAȚIE ELECTROMAGNETICĂ FOLOSIND CONTROLUL PIERDERILOR ÎN TRANSFORMATORUL ELECTRIC

Inventator: Gabriel MOAGĂR-POLADIAN

Bibliografie

[1]

a) R. K. Ahrenkiel – “Induced-Eddy-Current-Sensor Measurement of Semiconductor Performance”, *Tech Briefs*, 1 March 1998 (National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, Colorado, USA) <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/supplements/etb/briefs/32222>

b) R. K. Ahrenkiel – “Apparatus for measuring minority carrier lifetimes in semiconductor materials”, US5929652

c) R. K. Ahrenkiel, S. W. Johnston – “Apparatus and method for measuring minority carrier lifetimes in semiconductor materials”, US6275060

d) R. K. Ahrenkiel, D. J. Dunlavy – “Transmission-modulated photoconductive decay measurement system”, US8581613

[2] F. Loete, Y. Le Bihan, and D. Mencaraglia – “Novel Wideband Eddy Current Device for the Conductivity Measurement of Semiconductors”, *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 11, p. 4151, (2016)

[3] C. V. Dodd, W. E. Deeds – “Analytical Solutions to Eddy-Current Probe-Coil Problems”, *Journal of Applied Physics* vol. 39, no. 6, p. 2829, (1968)

[4] <https://www.nano-di.com/dragonfly-iv>

[5] D.R. Desjardins, T.W. Krause, A. Tetervak, L. Clapham – “Concerning the derivation of exact solutions to inductive circuit problems for eddy current testing”, *NDT&E International* vol. 68, p. 128–135, (2014)

[6] M.C. Chen – “Sensitive contactless eddy-current conductivity measurements on Si and HgCdTe”, *Rev. Sci. Instrum.* vol. 60, no. 6, p. 1116, (1989)

[7] J. D. Crowley, T. A. Rabson – “Contactless method of measuring resistivity”, *Rev. Sci. Instrum.* vol. 47, no. 6, p. 712, (1976)

[8] T. Ishida, K. Mondena, I. Nakada – “Electrodeless method for the measurement of ionic conductivity of RbAg₄I₅”, *Rev. Sci. Instrum.* vol. 57. No. 12, p. 3081, (1986)

[9] L. Cattin, J. C. Bernède, M. Morsli – “Toward indium-free optoelectronic devices: Dielectric/metal/dielectric alternative transparent conductive electrode in organic photovoltaic cells”, *Physica Status Solidi*, volume 210, issue 6, p. 1047-1061, (2013)

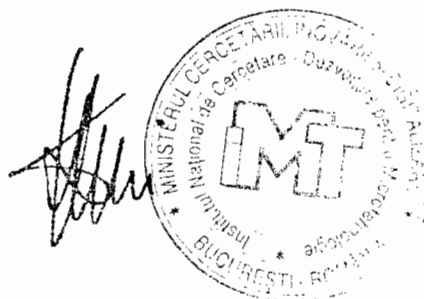
[10] A. I. Hofmann, E. Cloutet, G. Hadziioannou – “Materials for Transparent Electrodes: From Metal Oxides to Organic Alternatives”, *Advanced Electronic Materials*, volume 4, issue 10, Special Issue E-MRS 2017 Spring Meeting Symposium L: New Materials for Organic Electronics, p. 1700412, (2018)

[11] K. Nakashima – “Electrodeless Method for Measuring Photoconductivity Spectrum of Heat Treated Silicon”, *Japanese Journal of Applied Physics*, vol. 26, no. 2R, p. 312, (1987)

[12] B.R. Wegewijs et al – “Electrodeless measurement of photoconductivity in thin polymer films”, *Synthetic Metals* vol. 121, no. 1, p.1357-1358, (2001)

[13] I. Dima, I. Licea – *Fenomene fotoelectrice în semiconductori și aplicații*, Editura Academiei R.S.R., (1980)

[14] G. Rieke – *Detection of light – from the ultraviolet to the submillimeter*, 2nd edition, Cambridge University Press, (2003)



SENZOR DE RADIAȚIE ELECTROMAGNETICĂ FOLOSIND CONTROLUL PIERDERILOR ÎN TRANSFORMATORUL ELECTRIC

Inventator: Gabriel MOAGĂR-POLADIAN

Revendicări

1. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform invenției caracterizat prin aceea că este alcătuit dintr-un substrat **1** izolator pe care se află inductorul planar **2** care are rolul de înfășurare primară a transformatorului, pe inductorul planar **2** aflându-se un strat **3** izolator electric pe care se află stratul fotosensibil **4**, pe stratul fotosensibil **4** aflându-se stratul **5** izolator pe care se află inductorul planar **6** care are rolul de înfășurare secundară a transformatorului și care este, de preferință, transparent la radiația electromagnetică incidentă, inductorul planar **2** și inductorul planar **6** fiind așezați unul deasupra celuilalt și separați de o anumită distanță pe verticală, distanță mai mică dimensiunea lor în plan, preferabil mai mică decât jumătate din această dimensiune în plan, și sunt așezați coaxiali, cei doi inductori planari **2** și **6** fiind alcătuiți dintr-un material conductor electric.
2. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicării 1 caracterizat prin aceea că, în cazul în care pe inductorul planar **2** se aplică semnal de foarte înaltă frecvență, senzorul mai cuprinde linia de transmisie **7** care conectează sursa de semnal la inductorul planar **2** și, respectiv, linia de transmisie **8** care conectează inductorul planar **6** la sistemul de citire a senzorului.
3. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, materialul fotosensibil **4** este alcătuit dintr-un material semiconductor masiv, având grosimea potrivită astfel încât să satisfacă criteriul de distanță dintre cele două inductoare planare **2** respectiv **6**.
4. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, materialul fotosensibil **4** este alcătuit dintr-un compozit format dintr-o matrice **9** izolatoare electric în care sunt dispersate micro/nano-particule **10** semiconductoare, micro/nanoparticulele **10** semiconductoare putând fi toate din același material sau, într-o altă situație, putând fi un amestec de cel puțin două tipuri de micro/nanoparticule din materiale diferite.
5. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, materialul fotosensibil **4** este alcătuit dintr-un compozit obținut prin sinterizarea unor micro/nanoparticule semiconductoare **10** având un înveliș **11** izolator, grosimea compozitului având grosimea potrivită astfel încât să satisfacă criteriul de distanță dintre cele două inductoare planare **2** respectiv **6**.
6. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1, 2, 4 și 5 caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, materialul fotosensibil **4** poate conține și particule magnetice pentru o mai bună confinare a fluxului magnetic în transformatorul format de către inductorii planari **2** și **6** și optimizarea caracteristicilor acestuia.
7. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că, în funcție de materialul fotosensibil **4** folosit, poate utiliza orice tip de fotoconducție și anume fotoconducție pozitivă, fotoconducție negativă, fotoconducție cu timp de relaxare mare, fotoconducție anomală.
8. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, lucrează în regim fonic și anume radiația electromagnetică incidentă pe el generează purtători de sarcină liberi de neechilibru în micro/nanoparticulele **10** semiconductoare, condiția fiind ca energia fotonilor incidenti să fie mai mare decât lărgimea benzii interzise a materialului care formează micro/nanoparticulele **10** semiconductoare.
9. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, lucrează în regim termic și anume radiația electromagnetică incidentă pe el este absorbită de către matricea izolatoare **9** dar, în



unele situații, și de micro/nanoparticulele 10, ducând la creșterea temperaturii și, pe cale de consecință, a concentrației de purtători de sarcină liberi de echilibru în micro/nanoparticulele 10 semiconductoare, în acest caz energia fotonilor incidenti fiind mai mică decât lărgimea benzii interzise a materialului care formează micro/nanoparticulele 10 semiconductoare.

10. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1, 2 și 4 caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, stratul fotosensibil 4 este format din mai multe straturi 4.1... 4.n, cu 'n' număr natural, fiecare astfel de strat conținând micro/nanoparticule 10.1 ... 10.n, fiecare tip de astfel de micro/nanoparticulă 10.1 ... 10.n fiind formată dintr-un singur tip de material și fiecare strat conținând doar un singur tip de astfel de micro/nanoparticule, lărgimea benzii interzise a acestor micro/nanoparticule 10.1 ... 10.n scăzând monoton dinspre suprafața iluminată unde se află inductorul planar 6 spre suprafața opusă unde se află inductorul planar 2, matricea izolatoare 9 putând fi aceeași pentru toate straturile 4.1 ... 4.n sau poate fi diferită pentru straturi diferite.

11. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1, 2 și 3 caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, stratul fotosensibil 4 este format din mai multe straturi 4.1 ... 4.n de materiale semiconductoare masive având între ele straturi izolatoare 12.1 ... 12.n, condiția fiind și în acest caz ca lărgimea benzii interzise a acestor straturi 4.1 ... 4.n ale semiconducătorilor masivi să scadă monoton dinspre suprafața iluminată unde se află inductorul planar 6 spre suprafața opusă unde se află inductorul planar 2.

12. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că substratul 1 izolator electric este alcătuit din, dar fără a restrânge generalitatea, ceramică izolatoare electric, sticlă, safir, diamant, carbură de siliciu, compuși A III – B V de bandă largă, polimeri flexibili sau rigizi.

13. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că inductorii planari 2 și 6 sunt alcătuiți, fără a restrânge generalitatea, din metale cum ar fi Aur, Argint, Cupru, Platină sau materiale conductoare transparente cum ar fi ITO (Indium Tin Oxide), AZO (Aluminium doped Zinc Oxide), GZO (Gallium doped Zinc Oxide), TFO (Fluoride doped Tin Oxide), MOCVD GITO (Gallium Indium Tin Oxide obținut prin depunere metal-organică chimică din fază de vapori), MOCVD ZITO (Zinc Indium Tin Oxide obținut prin depunere metal-organică chimică din fază de vapori), PEDOT:PSS conductiv, electrozi pe bază de materiale carbonice ca grafenă sau nanotuburi de carbon.

14. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1, 2, 3, 4 și 5 caracterizat prin aceea că atât materialul fotosensibil 4 în forma sa masivă cât și micro/nanoparticulele 10 semiconductoare sunt alcătuite, fără a restrânge generalitatea, din Siliciu, Germaniu, carbură de Siliciu, ZnO, TiO₂, PbS, PbSe, PbTe, CdHgTe, compuși A III – B V și aliaje ale acestora, compuși A IV – B VI, compuși A II – B VI.

15. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că matricea 9 izolatoare electric este alcătuită, fără a restrânge generalitatea, din polimer, sticlă depusă prin sol-gel, oxizi ceramici depuși prin sol-gel.

16. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că straturile izolatoare 3 și 5 sunt alcătuite, fără a restrânge generalitatea, din SiO₂, Si₃N₄, PMMA, SU8, PDMS, polimeri dielectrice.

17. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că micro/nanoparticulele magnetice care intră în alcătuirea stratului fotosensibil 4 sunt alcătuite, fără a restrânge generalitatea, din materiale feromagnetice, oxizi de fier, oxizi ai altor metale tranziționale având proprietăți magnetice, sau din magneți permanenți ca NdFeB și variantele sale.

18. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că, pentru a compensa variațiile de temperatură ale ambientului, sunt utilizate două transformatoare identice, unul din acestea fiind iluminat de radiația electromagnetică și fiind senzorul propriu-zis iar celălalt nefiind iluminat de radiația electromagnetică și reprezentând referința, inductorii planari 2 ai celor două transformatoare fiind conectați în paralel la aceeași sursă iar inductorii planari 6 ai celor două transformatoare având un terminal legat la masă, și



anume același terminal pentru amândoi inductorii, iar celălalt terminal este legat la un amplificator diferențial astfel: terminalul de la senzorul propriu-zis este conectat la intrarea '+' a amplificatorului diferențial în timp ce ieșirea corespunzătoare a senzorului neiluminat este conectat la ieșirea '-' a aceluiași amplificator.

19. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, ieșirea de la inductorul planar 6 este aplicată unui filtru trece-sus care are ca rol să lase să treacă doar componenta de excitare de frecvență înaltă, rejectând componentele parazite de frecvență joasă, inclusiv zgomotul de tip $1/f$, după filtrul trece-sus urmând o punte redresoare de frecvență înaltă, ieșirea acestei punți redresoare fiind conectată, mai departe, la un filtru trece-jos.

20. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, citirea semnalului se face prin citirea amplitudinii în inductorul planar 6 și a defazajului curentului dintre inductorul planar 2 și inductorul planar 6.

21. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că, într-una dintre variante, atât inductorul planar 2 cât și inductorul planar 6 au câte un terminal legat la masă iar celălalt terminal este legat la un amplificator diferențial, același amplificator pentru amândoi inductorii, printr-un circuit de echilibrare care are rolul de a aduce la zero ieșirea amplificatorului diferențial atunci când senzorul nu este iluminat, iluminarea materialului fotosensibil 4 făcând ca inductorul planar 6 să își modifice semnalul de ieșire și astfel să scoată de pe zero ieșirea amplificatorului diferențial.

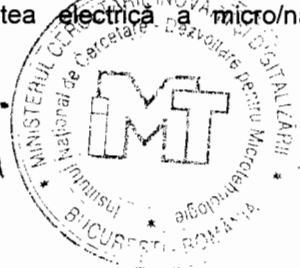
22. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea semnalul electric aplicat de către sursă pe inductorul planar 2 are frecvența egală cu frecvența de rezonanță a transformatorului electric format din inductoarele planare 2 și 6 în absența iluminării, în cazul iluminării inductorul planar 2 ieșind din rezonanță astfel că semnalul aplicat lui nu mai are frecvența egală cu frecvența sa de rezonanță în timpul iluminării, ceea ce face ca amplitudinea semnalului pe inductorul planar 2 să scadă, scădere de amplitudine care este sesizată de către inductorul planar 6 prin scăderea semnalului electric cules la bornele sale.

23. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că semnalul de excitare a inductorului planar 2 este aplicat continuu sau, într-o altă variantă, este aplicat intermitent.

24. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că, în anumite situații, mai mulți senzori de pot conecta într-o arie 1D sau o arie 2D în care excitarea inductorului planar 2 se face fie în mod individual pe fiecare senzor în parte fie se face în mod colectiv pentru toți senzorii o dată, de la aceeași sursă de semnal, prin conexiune serie-paralel a acestor senzori, în acest caz adăugându-se și electronica de multiplexare/demultiplexare a acestora atât pentru partea de excitare a inductorilor planari 2 cât și pentru cea de citire a inductorilor planari 6.

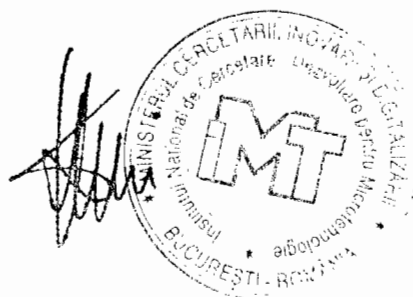
25. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că, pentru a stabili punctul static de funcționare al senzorului în situația în care matricea 9 conține micro/nanoparticule magnetice, se aplică pe inductorul planar 2, alături de curentul sinusoidal utilizat la citirea senzorului, un curent continuu de fixare a magnetizării și orientării momentului magnetic al micro/nanoparticulelor magnetice respective astfel încât transferul de flux magnetic între inductorii planari 2 și respectiv 6 să fie optimizat.

26. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că, pentru a stabili punctul static de funcționare al senzorului atunci când este necesară aducerea conductivității electrice a micro/nanoparticulelor semiconductoare 10 la o anumită valoare care să asigure o funcționare optimă a senzorului, la fascicolul de radiație electromagnetică pe care vrem să îl măsurăm se mai adaugă un fascicol electromagnetic constant în timp a cărui intensitate reglează conductivitatea electrică a micro/nanoparticulelor semiconductoare 10.



27. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că, într-o altă variantă în care este necesară stabilirea punctului static de funcționare prin aducerea conductivității electrice a micro/nanoparticulelor semiconductoare **10** la o anumită valoare care să asigure o funcționare optimă a senzorului, se utilizează două tipuri de micro/nanoparticule **10**, având valori diferite pentru lărgimea benzii interzise, un tip de micro/nanoparticule **10** fiind folosit pentru detecția radiației de interes, pe când celălalt tip este iluminat cu radiație constantă de altă lungime de undă și este folosit la stabilirea acelei conductivități electrice optime a materialului fotosensibil **4** pentru care senzorul oferă răspuns maxim.

28. Senzor de radiație electromagnetică folosind controlul pierderilor în transformatorul electric conform revendicărilor 1 și 2 caracterizat prin aceea că, la frecvențe mari de sute de MHz sau din domeniul GHz, folosește ca mecanism de detecție a iluminării atât pierderile cauzate de curenții eddy în micro/nanoparticulele **10** cât și cele datorate reflexiei pe inductorul planar **2** a semnalului de excitație aplicat pe acesta și, respectiv, suprapunerea, în inductorul planar **6**, dintre fluxul indus de stratul fotosensibil **4** datorat curenților eddy din micro/nanoparticulele **10** și cel produs de inductorul planar **2**, semnalul obținut de la inductorul planar **6** fiind rezultatul tuturor acestor mecanisme.



SENZOR DE RADIAȚIE ELECTROMAGNETICĂ FOLOSIND CONTROLUL
PIERDERILOR ÎN TRANSFORMATORUL ELECTRIC

Inventator: Gabriel MOAGĂR-POLADIAN

DESENE

Figura 1

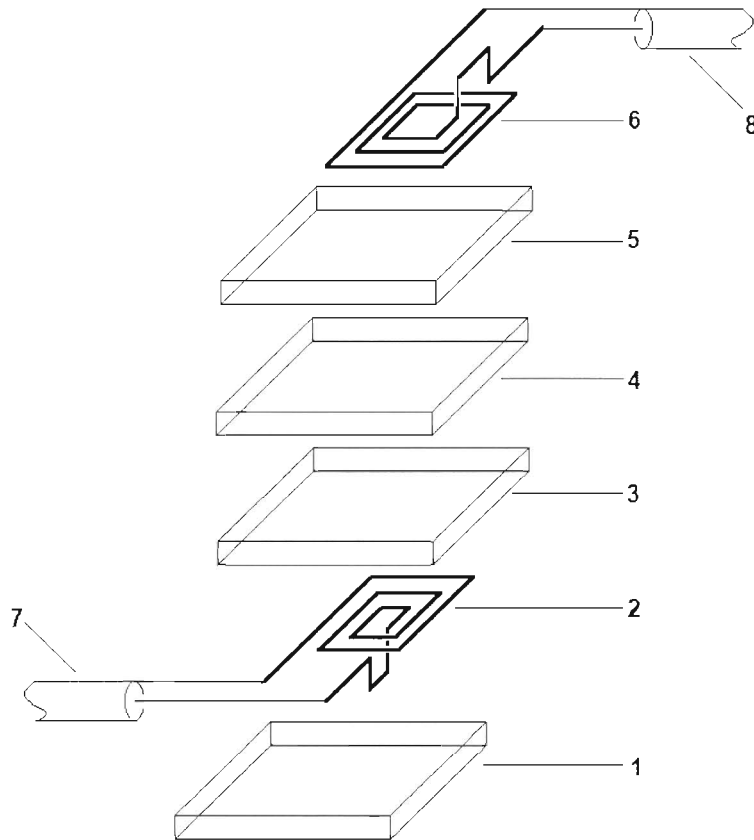


Figura 2

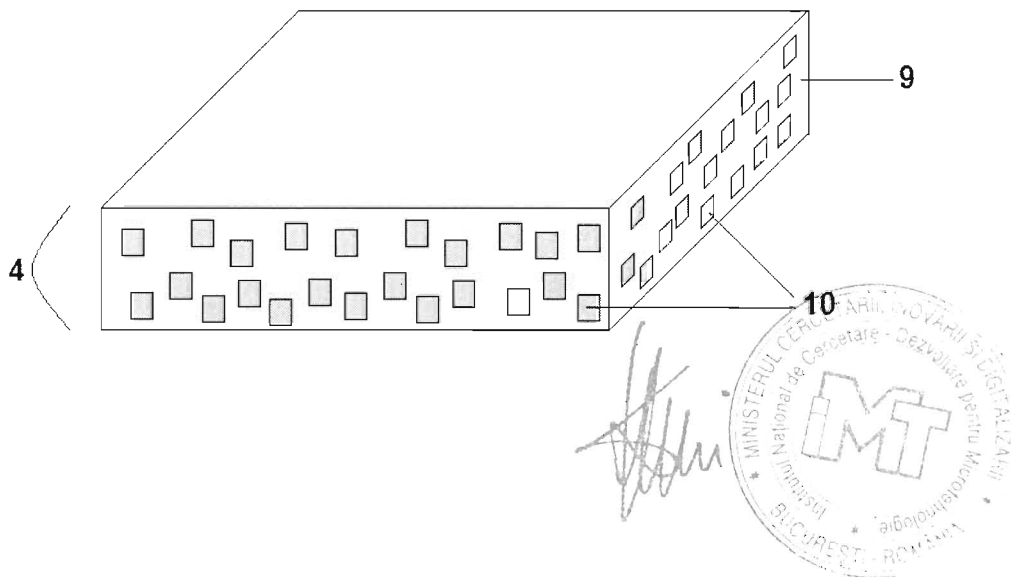


Figura 3

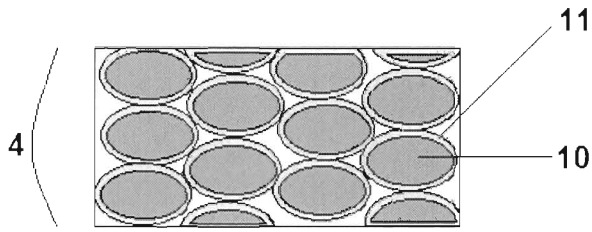


Figura 4

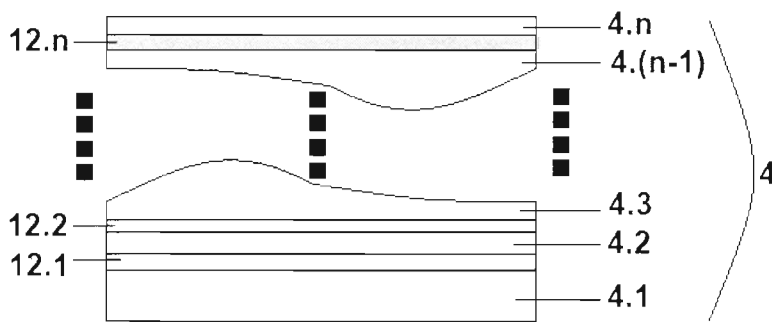
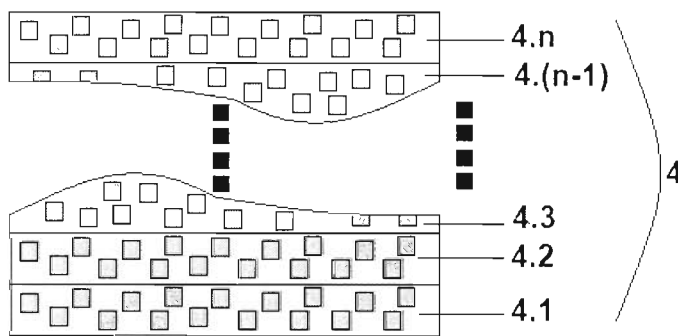


Figura 5



36

Figura 6

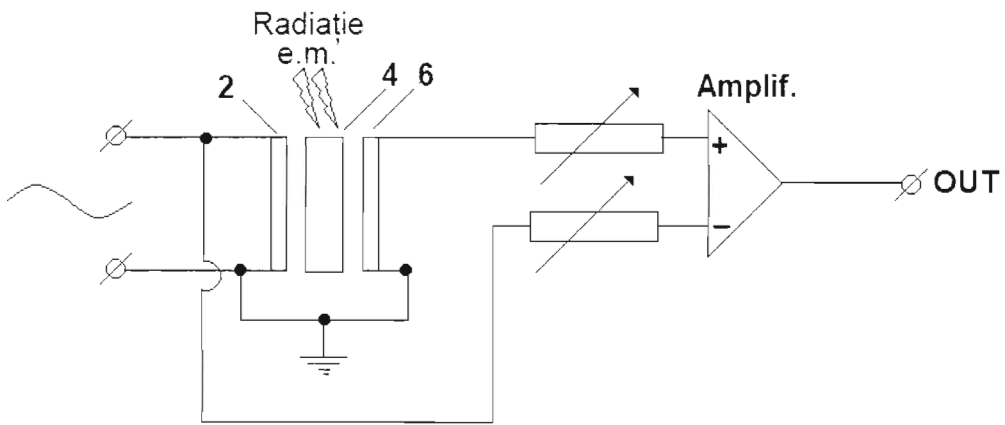
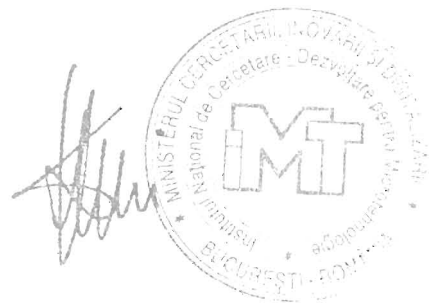
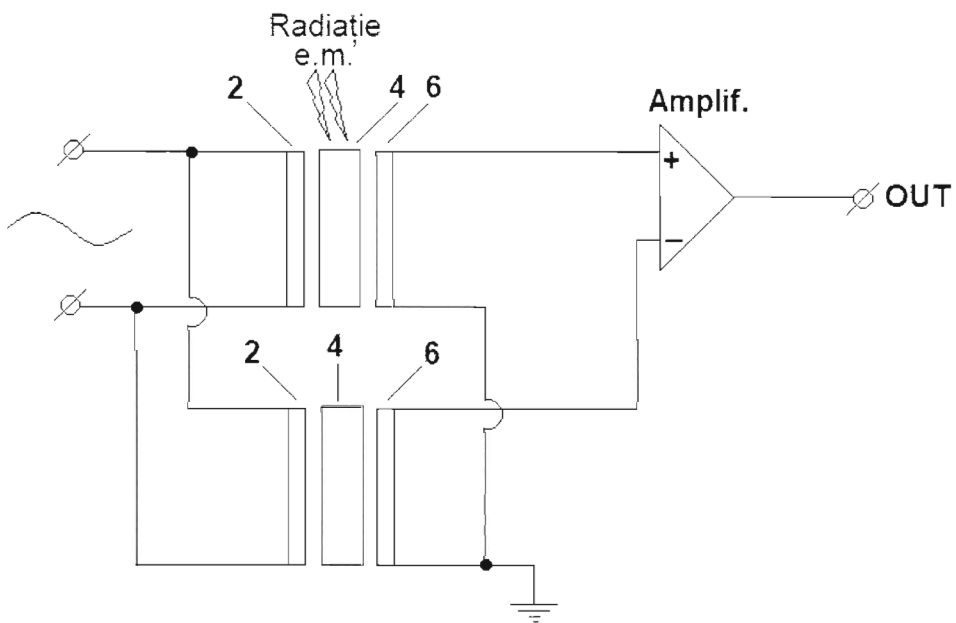


Figura 7



35

Figura 8

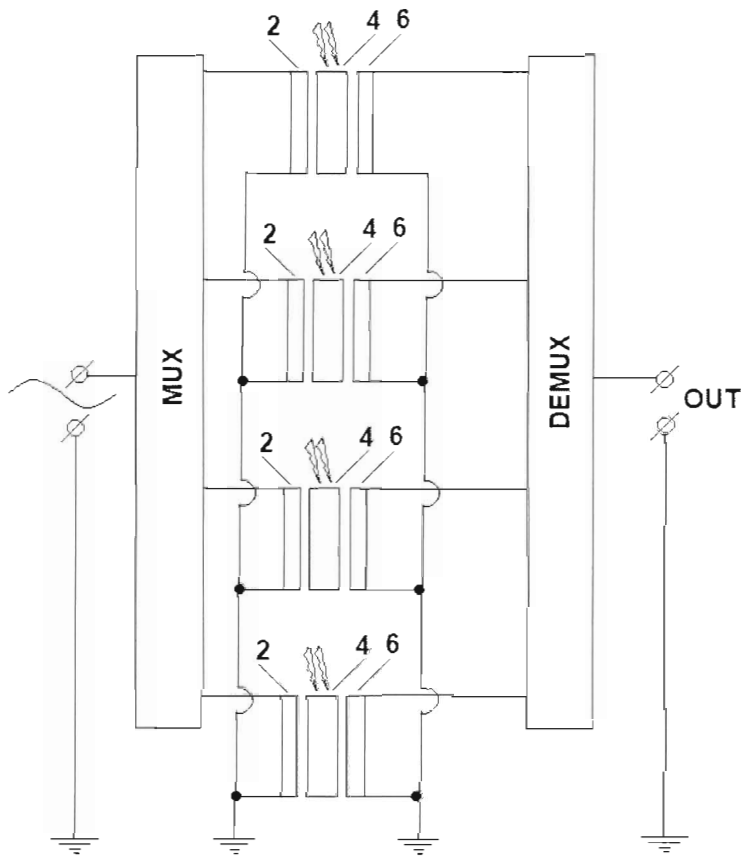


Figura 9

