

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2022 00663

(22) Data de depozit: 20/10/2022

(41) Data publicării cererii:
30/04/2024 BOPI nr. 4/2024

(71) Solicitant:
• INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE
DEZVOLTARE PENTRU FIZICA
MATERIALELOR, STR.ATOMIȘTILOR,
NR.405A, CP.MG-7, MĂGURELE, IF, RO

(72) Inventatori:
• NEDELCU LIVIU, STR.REACTORULUI,
NR.3A, AP.4, MĂGURELE, IF, RO;
• BANCIU MARIAN GABRIEL, BD. IULIU
MANIU NR. 168, BL. 39, SC. 1, ET. 7, AP.30,
SECTOR 6, BUCUREȘTI, B, RO;

• GEAMBAȘU CEZAR DRAGOȘ,
STR.ATOMIȘTILOR, NR.140, BL.A3, AP.4,
MĂGURELE, IF, RO;
• GRIGOROȘCUȚĂ MIHAI - ALEXANDRU,
STR.VALEA OLTULUI, NR.24, BL.D31,
SC.B, ET.1, AP.20, SECTOR 6,
BUCUREȘTI, B, RO;
• BURDUȘEL MIHAIL, BD.UNIRII, NR.64,
BL.K4, SC.2, ET.2, AP.39, SECTOR 3,
BUCUREȘTI, B, RO;
• BĂDICĂ PETRE, BD. DINICU GOLESCU
NR. 37, SC. B, ET. 3, AP. 48, SECTOR 1,
BUCUREȘTI, B, RO

(54) ANTENĂ PENTRU BANDA DE FRECVENȚĂ 5G N79
CU REZONATOR DIELECTRIC TRIUNGHILAR FABRICAT
PRIN SINTERIZARE ASISTATĂ DE CÂMP ELECTRIC

(57) Rezumat:

Invenția se referă la o antenă de microunde cu rezonator dielectric și la un procedeu de obținere a rezonatorului. Antena conform invenției este alcătuită dintr-un rezonator (3) dielectric fabricat din $Zr_{0.8}Sn_{0.2}TiO_4$ (ZST), având o formă triunghiulară, cu colțurile rotunjite și dintr-o linie microstrip (4) pentru alimentarea semnalului de microunde, realizată pe un substrat (2) dielectric, în care rezonatorul (3) este poziționat la o distanță L_1 de capătul liniei microstrip (4), iar la distanța L_2 de axa de simetrie a liniei microstrip (4) are o latură rotită cu un unghi alfa față de linia microstrip (4), pentru conectarea ușoară la un circuit de emisie-recepție, antena astfel formată fiind prevăzută cu un conector (5) coaxial. Procedeu de obținere a rezonatorului dielectric constă în calcinarea pulberii ZST la 1450°C timp de 4 ore, urmată de o sinterizare asistată de câmp electric, la 1100°C , timp de 3 minute.

Revendicări: 2

Figuri: 7

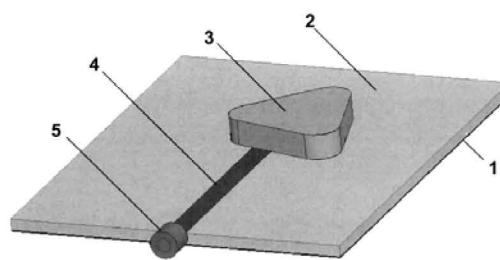


Fig. 1



Descrierea brevetului de invenție

Antenă pentru banda de frecvență 5G N79 cu rezonator dielectric triunghiular fabricat prin sinterizare asistată de câmp electric

33

elaborată de

Liviu NEDELICU, Marian Gabriel BANCIU, Cezar Dragoș GEAMBAȘU, Mihai Alexandru GRIGOROȘCUȚĂ, Mihail BURDUȘEL, Petre BĂDICĂ

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI	
Cerere de brevet de invenție	
Nr.	a 2022 00 063
Data depozit	20-10-2022

1. Stadiul tehnicii

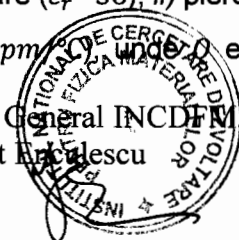
Prezenta invenție se referă la

- un procedeu de densificare a pulberilor $Zr_{0.8}Sn_{0.2}TiO_4$, fără dopanți, sub formă de corp solid cu pierderi dielectrice reduse în domeniul microundelor;
- rezonator dielectric din $Zr_{0.8}Sn_{0.2}TiO_4$ sub formă de triunghi echilateral cu colțuri rotunjite fabricat prin sinterizare asistată de câmp electric;
- antenă cu rezonator dielectric tringhiular pe bază de $Zr_{0.8}Sn_{0.2}TiO_4$ pentru comunicații 5G în banda de frecvență N79 (4400 – 5000 MHz).

Corpurile masive din $Zr_{0.8}Sn_{0.2}TiO_4$ (ZST) sunt utilizate în comunicațiile pe purtătoare de microunde și se produc prin diferite metode [M.T. Sebastian, Dielectric materials for wireless communications, Elsevier, Oxford (2008)]. Tehnologia ceramică convențională este de departe cea mai folosită, fiind ieftină, relativ simplă și scalabilă. Aceasta constă în: 1. Dozarea și omogenizarea pulberilor de ZrO_2 , SnO_2 și TiO_2 ; 2. Calcinarea amestecului de pulberi; 3. Doparea și omogenizarea pulberilor calcinate (dopanții pot fi adăugați de la prima etapă). 4. Formarea semifabricatului prin compactare în matrițe sau șabloane; 5. Sinterizarea; 6. Rectificarea și finisarea compactului sinterizat.

Compusul ZST este, în general, dificil de densificat și necesită temperaturi de sinterizare ridicate (~ 1600 °C). Capacitatea lui de a se sinteriza crește cu adăugarea aditivilor dar aceștia nu au întotdeauna un efect benefic asupra proprietăților de microunde. Datorită importanței aplicative au fost efectuate multe încercări de îmbunătățire a proprietăților prin adăugarea de dopanți ca aditivi de sinterizare. În brevetul US 4665041 A1 se folosesc ZnO și NiO în combinație cu Nb_2O_5 , Ta_2O_5 , WO_3 sau Sb_2O_5 , reușindu-se astfel densificarea pulberilor ZST la temperaturi de sinterizare între 1350 °C și 1450 °C; similar, în brevetul US 20080009404 A1 se reduce temperatura de sinterizare la 1300 - 1400 °C prin doparea simultană cu ZnO, NiO și SiO_2 . Reducerea temperaturii de sinterizare la 1450 °C (EP 2657206 B1) se poate realiza și prin simpla dopare cu MnO_2 . Cele trei brevete menționate mai sus prezintă în detaliu o gamă largă de eșantioane ceramice din sistemul trenar $\alpha ZrO_2 - \beta SnO_2 - \gamma TiO_2$ ($\alpha + \beta + \gamma = 1$), rezonatorii dielectrici $Zr_{0.8}Sn_{0.2}TiO_4$ având proprietăți remarcabile în domeniul microundelor: *i*) constantă dielectrică mare ($\epsilon_r \sim 38$); *ii*) pierderi reduse ($Q \times f > 40.000$ GHz); și *iii*) stabilitate termică ridicată ($|\tau_f| \leq 10$ ppm/°C) este

Director General INCDPM
Dr. Ionut Brădulescu



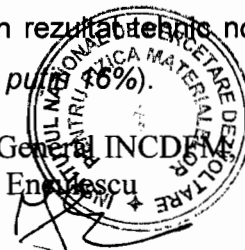
factorul de calitate (inversul tangentei unghiului de pierderi) măsurat la frecvența f iar τ_f reprezintă coeficientul de variație cu temperatura al frecvenței de rezonanță. Se preferă exprimarea pierderilor dielectrice prin produsul $Q \times f$ deoarece acesta este considerat o constantă de material atunci când contribuția defectelor este redusă.

“Spark Plasma Sintering” (SPS) este o tehnică de sinterizare asistată de câmp electric (descărcare în plasmă) care utilizează forța mecanică uniaxială și un curent electric continuu pulsant pentru consolidarea pulberilor. Curentul este aplicat pe poansonalele unei matrițe de grafit încărcată cu pulberea de sinterizat [O. Guillon si colab., J. Adv. Eng. Mater. **16** 830 (2014)]. SPS permite aplicarea unor viteze ridicate de încălzire (uzual până la 500°C/min) și de răcire, fiind o tehnică mai flexibilă comparativ cu alte tehnici cunoscute. Se pot obține corpuri masive cu densități apropiate de valorile teoretice, menținându-se în același timp dimensiunea particulelor inițiale. În plus, prin crearea unor forme complexe [C. Maniere si colab., Powder Technol. **320** 340 (2017)], este posibilă creșterea funcționalității materialului compactat și astfel se pot îmbunătăți caracteristicile de funcționare ale dispozitivelor. De-a lungul timpului, SPS a fost utilizată cu succes pentru sinterizarea unor clase diverse de materiale [Z.Y. Hu si colab., Mater. Des. **191** 108662 (2020)], inclusiv dielectrice de microunde [Y. Guo si colab., Jpn. J. Appl. Phys **43** 7410 (2003); L. Cheng si colab., Scr. Mater. **115** 80 (2016); M. Dolhen si colab., J. Eur. Ceram. Soc. **40** 4164 (2020)]. Recent, corpuri masive dense (99,6%) cu pierderi dielectrice reduse în domeniul microundelor ($Q \times f \sim 50.000$ GHz) s-au obținut prin SPS din pulberi ZST dopate cu La_2O_3 și ZnO [L. Nedelcu si colab., Materials **15** 1258 (2022)].

Materialele dielectrice de microunde stabilizate termic au contribuit decisiv la progresul sistemelor de comunicații fără fir, terestre și spațiale, prin reducerea dimensiunii și costului dispozitivelor și subansamblurilor [S.J. Fiedziuszko si colab., IEEE Trans. Microw. Theory Techn. **50** 706 (2002); I.M. Reaney si colab., J. Am. Ceram. Soc. **89** 2063 (2006); M.T. Sebastian si colab., Int. Mater. Rev. **60** 392 (2015)]. În acest sens, rezonatorii dielectrice ZST au fost fabricați și integrați în componente pasive pentru microunde de companii precum Murata, TDK, Kyocera, TransTech, Siemens. Pe lângă dispozitivele selective, ceramicile ZST pot fi utilizate cu succes ca radiatoare foarte eficiente, așa numitele antene cu rezonator dielectric (ARD). Acestea au puține piese metalice și o eficiență ridicată în comparație cu alte tipuri de antene. Constanta dielectrică ridicată conduce la o dimensiune compactă a rezonatorului iar stabilitatea termică ajută la obținerea unei antene cu o derivă termică îmbunătățită. Mai mult, un alt mare avantaj este modalitatea ușoară de cuplare a ARD-urilor la liniile de alimentare datorită faptului că o parte a câmpului electromagnetic există în vecinătatea rezonatorului.

Prezenta invenție se încadrează conform Art. 9c) din regulamentul de aplicare a legii 64/1991 drept activitate inventivă astfel: o combinație de caracteristici noi sau cunoscute (*rezonator dielectric ZST dens, fără dopanți, cu formă triunghiulară și colțuri rotunjite*) realizată în așa fel încât acestea să își potențeze reciproc efectele și să se obțină un rezultat tehnologic nou (*antena în banda 5G – N79 cu volum și profil redus și bandă de lucru de cel puțin 46%*).

Director General INCDET
Dr. Ionut Enacheșcu



31

2. Problema tehnică rezolvată de invenție

Invenția rezolvă problema specifică metodelor de procesare convenționale utilizate în prezent respectiv a limitărilor în obținerea densităților masice mari ale corpului masiv ZST datorate sinterabilității reduse a compușilor din sistemul ternar $ZrO_2 - SnO_2 - TiO_2$.

De asemenea, invenția rezolvă problema reducerii volumului materialului dielectric și a profilului antenei concomitent cu îmbunătățirea unor parametri de dispozitiv cum ar fi lărgimea de bandă, caștigul maxim și caracteristica de directivitate.

3. Avantajele invenției în raport cu stadiul tehnicii

ARD-urile sunt folosite datorită gabaritului redus, a pierderilor prin conducție scăzute care conduc la o eficiență a radiației crescute etc. Dintre diferitele forme de rezonatori dielectrice, cei de forma unui triunghi echilateral permit realizarea unor antene cu un profil scăzut, adică rezonatorul va funcționa ca antenă și când înălțimea lui este mult mai mică decât a triunghiului echilateral. Sunt cunoscute ARD-uri în formă de triunghi echilateral care au, pentru o frecvență dată, 92% din volumul unui rezonator cilindric sau 48 % din volumul unui rezonator rectangular [Aldo Petosa, Dielectric resonator antenna handbook, Artech House, Boston, London, Norwood MA 02062, 2007, section 4.4.2 Triunghiular DRA pg. 107-108]. Totuși, a fost arătat în această referință că o astfel de ARD are o bandă fracționară de frecvență de doar 5%, insuficientă pentru multe aplicații. Tot o bandă îngustă de 3,8 % este raportată și pentru o ARD triunghiulară excitată printr-o fantă dreptunghiulară de la o linie microstrip [Y. Lo si colab., Electron. Lett. **35** 25 (1999)]. Față de stadiul tehnicii, antena produsă conform invenției oferă avantajul unei benzi de lucru de cel puțin 16% menținând un profil scăzut al rezonatorului de 3,2 mm.

4. Prezentarea pe scurt a figurilor

Se prezintă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu figurile 1 – 7, care se referă la :

- fig. 1 – vedere de ansamblu a antenei
- fig. 2 – vedere de sus a antenei evidențiind poziționarea rezonatorului dielectric față de linia microstrip
- fig. 3 – dependența coeficientului de reflexie măsurat funcție de frecvență
- fig. 4 – caracteristica de directivitate măsurată în cameră anecoică – planul E la frecvența 4,395 GHz
- fig. 5 – caracteristica de directivitate măsurată în cameră anecoică – planul H la frecvența 4,395 GHz
- fig. 6 – caracteristica de directivitate măsurată în cameră anecoică – planul E la frecvența 4,845 GHz

Director General INCUBIM,
Dr. Ionut Enculescu



- fig. 7 – caracteristica de directivitate măsurată în cameră anecoică – planul H la frecvența 4,845 GHz

30

5. Prezentarea în detaliu a cel puțin a unui mod de realizare a invenției cu referire la figuri

Pulberile ZST au fost preparate prin reacție în fază solidă din pulberi oxidice (ZrO_2 , SnO_2 și TiO_2) de înaltă puritate (99.5 %). S-au identificat pașii pentru obținerea pulberilor fără faze secundare (lipsa fazelor secundare a fost confirmată prin analiza rezultatelor de difracție cu raze X:

1. omogenizare amestecului de pulberi în apă deionizată la 400 rotații pe minut timp de 4 ore în moara planetară cu vase și bile de zirconia;
2. calcinare în aer la 1450 °C timp de 4 ore;
3. măcinare secundară în apă deionizată la 400 rotații pe minut timp de 3 ore în moara planetară cu vase și bile de zirconia;

Amestecurile de la punctul 3 au fost densificate prin SPS, fără dopanți, folosind o instalație de sinterizare asistată de câmp electric produsă de FCT Systeme GmbH, Germania, după cum urmează:

4. o cantitate de 4 g de pulbere se încarcă într-o matriță din grafit, cu interior și poansoane în formă de triunghi echilateral cu colțuri rotunjite. Se folosesc folii separatoare de grafit între pulbere și matriță/poansoane;
5. se introduce matrița încarcată într-o presă hidraulică și se presează 1 minut la 5 kN;
6. se introduce ansamblul în instalația de sinterizare și se încălzește eșantionul cu o viteză de 100 °C pe minut;
7. presiunea uniaxială este crescută uniform până ce se atinge valoarea maximă de 70 MPa la începutul palierului de sinterizare;
8. durata de sinterizare pe palierul de 1100 °C este de 3 minute iar presiunea este menținută la 70 MPa;
9. se răcește lent până la 500 °C cu viteză de 30 °C pe minut și se reduce uniform presiunea până la 25 MPa;
10. se întrerupe curentul prin eșantion și se răcește până la temperatura camerei în aproximativ 10 minute.

În vederea obținerii rezonatorului dielectric triunghilar cu parametrii adecvați, corpul ZST sinterizat prin SPS a fost șlefuit pentru eliminarea grafitului aderat superficial. Reducerea vacanțelor de oxigen s-a realizat printr-un tratament termic în aer la 1000 °C timp de 10 ore. Densitatea a fost măsurată prin metoda lui Arhimede cu un kit măsură dedicat (YDK01MS) montat pe o balanță modulară Sartorius (CUBIS, MSA224S-1CE-DI) iar compoziția fazelor prin difracție

Director General INCDM,
Dr. Ionut Enculescu



de raze X (Bruker-AXS D8 ADVANCE, radiatia $\text{CuK}_{\alpha 1}$ $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$). Eșantioane ZST cu densificare mai mare de 99%, constantă dielectrică 38 și $Q \times f \sim 50.000 \text{ GHz}$ au fost selectate pentru realizarea ARD-urilor.

29

După cum este arătat în fig. 1, antena de microunde conține un rezonator dielectric triunghiular (fig. 1 (3)) cu înălțimea $h = 3,2 \text{ mm}$, latura triunghiului $a = 11,5 \text{ mm}$, raza de curbură a colțurilor $r = 3 \text{ mm}$. Rezonatorul dielectric este cuplat cu o linie microstrip (fig. 1 (4)) de impedanță caracteristică de 50Ω și lungime de 50 mm realizată din cupru pe un substrat dielectric (fig. 1 (2)) de permitivitate electrică relativă 4,4, tangenta unghiului de pierderi $\text{tg } \delta = 0,02$ măsurată la frecvența de $9,4 \text{ GHz}$ și dimensiuni $48 \text{ mm} \times 60 \text{ mm} \times 1,6 \text{ mm}$. Pe cealaltă parte a substratului dielectric este realizat un plan de masă (fig. 1 (1)) din cupru. Pentru conectarea ușoară la circuitul de emisie / recepție, antena este prevăzută cu un conector coaxial de tip SubMiniature version A - SMA (fig. 1 (5)).

Pentru obținerea unei benzi optime de frecvență, rezonatorul este plasat la distanța $L_1 = 18 \text{ mm}$ de capătul liniei microstrip, distanța $L_2 = 4,2 \text{ mm}$ față de axa liniei microstrip și rotit cu unghiul $\alpha = 30^\circ$ după cum este arătat în fig. 2. În acest caz, modurile adiacente de la $4,395 \text{ GHz}$ și $4,845 \text{ GHz}$ se cuplează și ARD-ul va funcționa în banda $4,3 \text{ GHz} - 5,05 \text{ GHz}$, după cum se poate vedea în fig. 3.

Caracteristicile de directivitate sunt prezentate pentru două frecvențe din banda N79. Pentru frecvența $4,395 \text{ GHz}$, caracteristicile de directivitate în planul E și planul H sunt arătate în fig. 4, respectiv fig. 5. De asemenea, pentru frecvența $4,845 \text{ GHz}$, caracteristicile de directivitate în planul E și planul H sunt arătate în fig. 6, respectiv fig. 7. Câștigul maxim al antenei este de $\sim 6,3 \text{ dB}$ la $4,7 \text{ GHz}$.

Materialul ZST cu densificare mai mare de 99% reduce greutatea antenei și îmbunătățește stabilitatea sa termică. Caracteristicile antenei o recomandă pentru aplicațiile de uz general în banda 5G N79.

6. Modul în care invenția este susceptibilă a fi aplicată industrial

Antenele compacte cu rezonator dielectric triunghiular din ZST contribuie la extinderea proprietăților funcționale prin formă. Acoperind întreaga bandă N79, antena descrisă în această invenție reprezintă o soluție eficientă pentru comunicații 5G fără fir.

Director General INCDPM,
Dr. Ionut Enculescu



Revendicările invenției

1. *Procedeu de obținere a unui rezonator dielectric $Zr_{0.8}Sn_{0.2}TiO_4$ (ZST) caracterizat prin aceea că pulberea ZST calcinată la $1450^{\circ}C/4h$, supusă unei sinterizări asistate de câmp electric la $1100^{\circ}C$ timp de 3 minute, conduce la eșantioane care au densificări mai mari de 99% fără folosirea dopanților.*

2. *Antenă de microunde cu rezonator dielectric conform revendicării 1 caracterizată prin aceea că rezonatorul dielectric ZST are o formă nouă triunghiulară cu colțurile rotunjite, alimentarea semnalului de microunde se face printr-o linie microstrip (Fig. 1 (4)) de impedanță caracteristică de 50 Ohmi, realizată pe substratul dielectric (Fig. 1 (2)), iar rezonatorul (Fig. 1 (3)) este poziționat la distanța L_1 (Fig. 2) de capătul liniei microstrip, la distanța L_2 (Fig. 2) de axa de simetrie a liniei microstrip, având o latură rotită cu unghiul α (Fig. 2) față de linia microstrip.*

București-Măgurele, octombrie 2022

Director General ICDFM,
Dr. Ionut Enculescu



27

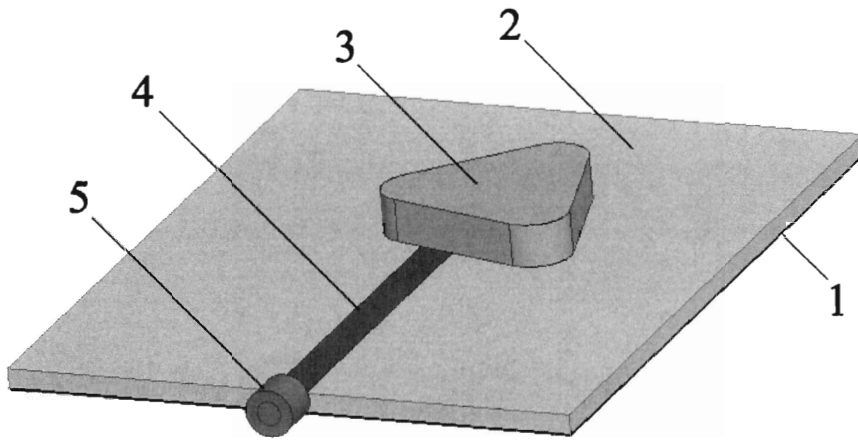


Fig. 1

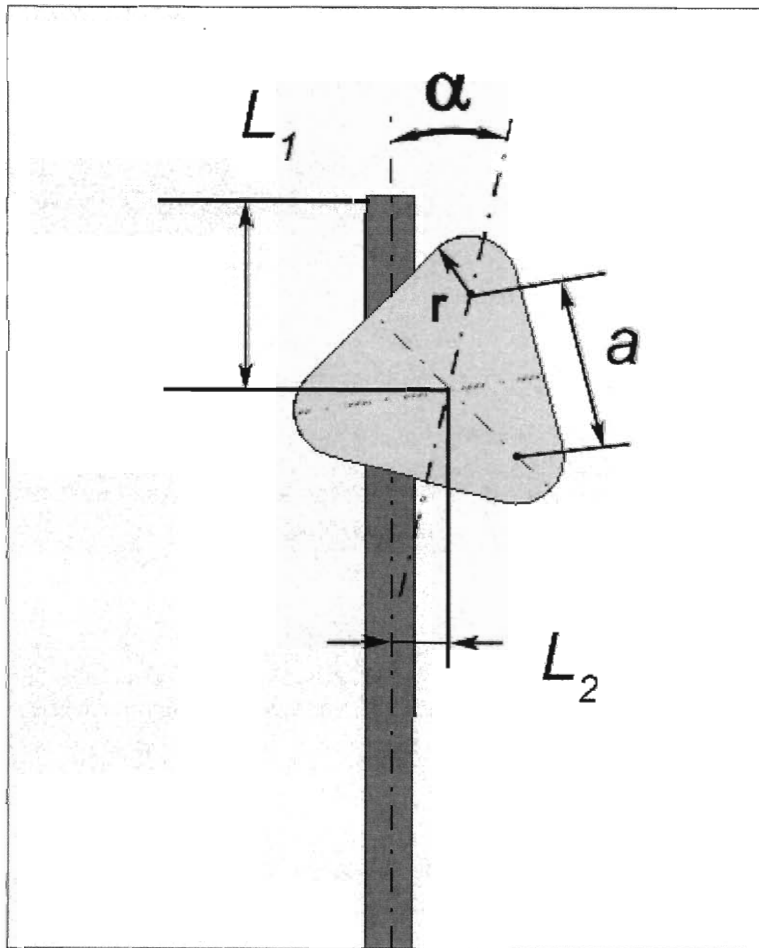


Fig. 2

Director General INCDFM,
Dr. Ionut Enculescu



26

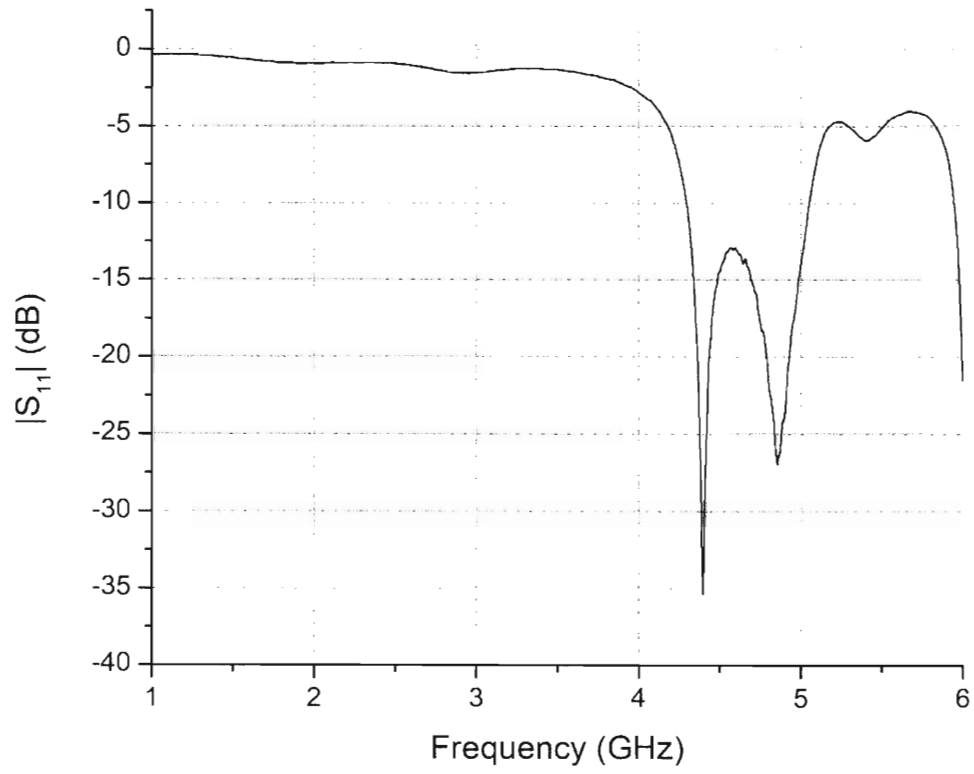


Fig. 3

Director General INCDFM,
Dr. Ionut Enculescu



25

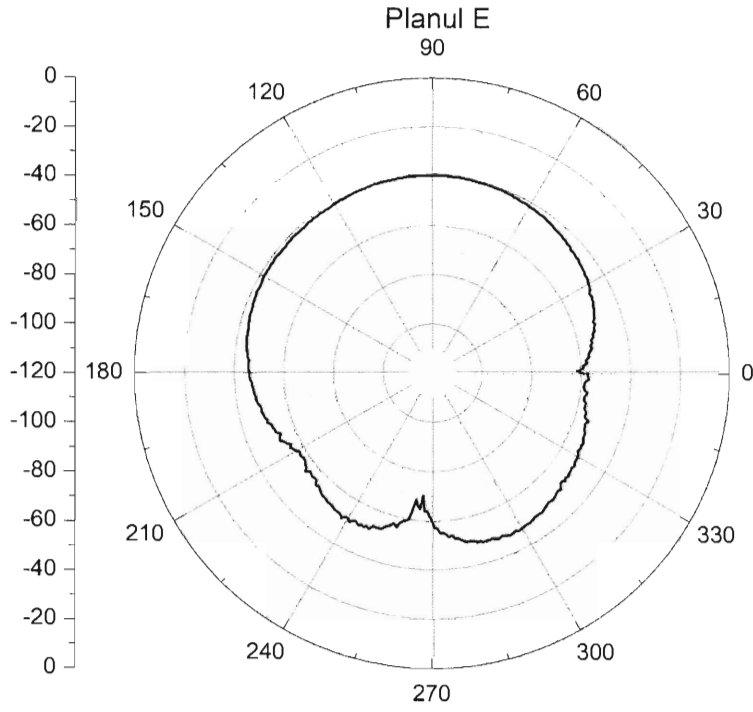


Fig. 4

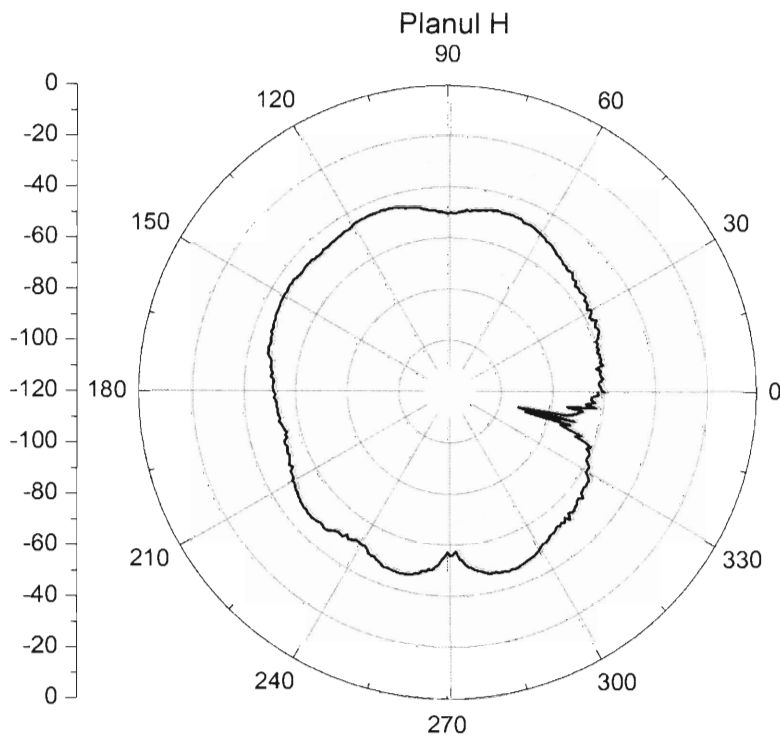


Fig. 5

Director General INCDFM,
Dr. Ionut Enculescu



24

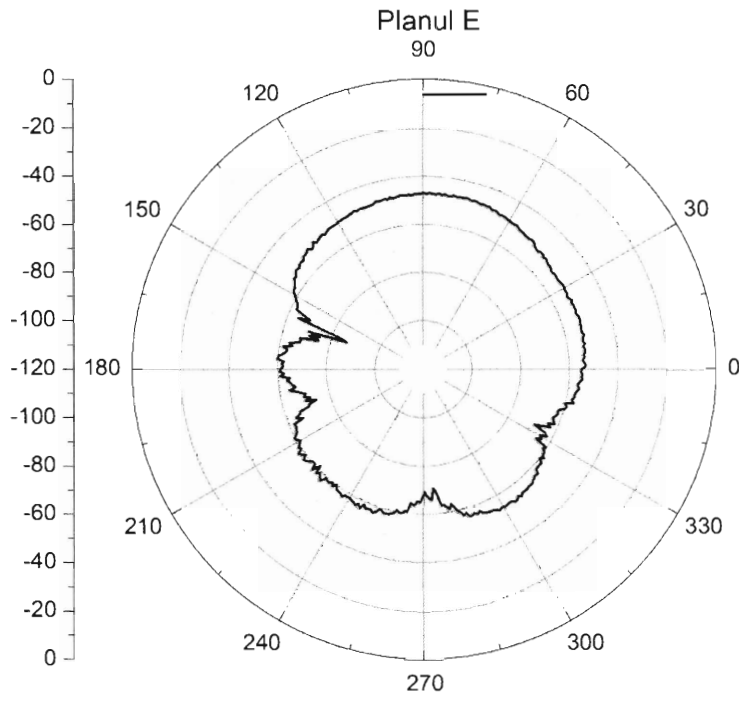


Fig. 6

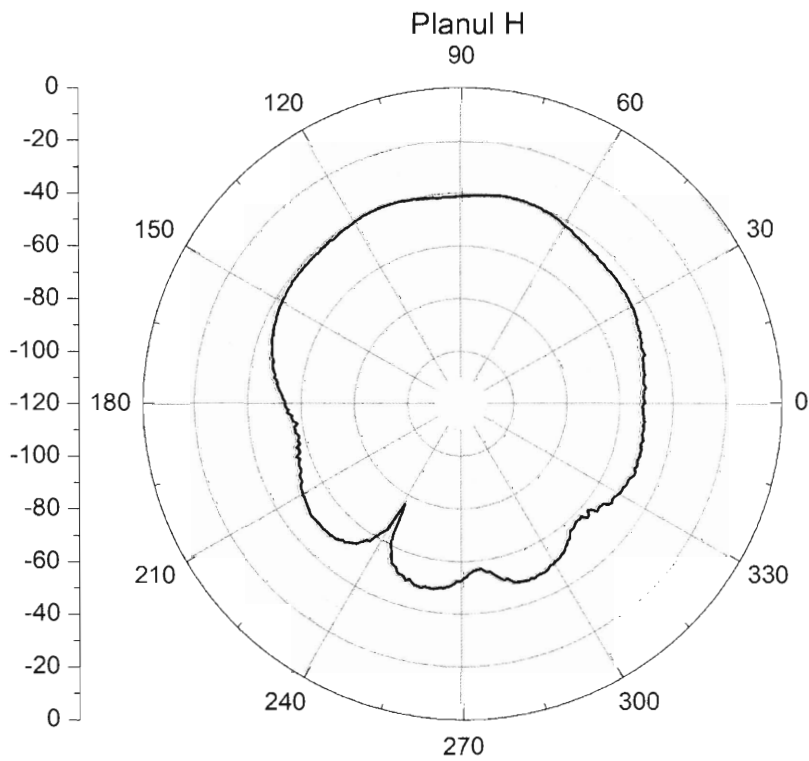


Fig. 7

Director General INCDFM,
Dr. Ionut Enculescu

