



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2009 00582**

(22) Data de depozit: **27/07/2009**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **29/04/2016** BOPI nr. **4/2016**

(41) Data publicării cererii:
28/01/2011 BOPI nr. **1/2011**

(73) Titular:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE
- DEZVOLTARE PENTRU TEHNOLOGII
IZOTOPICE ȘI MOLECULARE,
STR.DONATH NR.65-103, CLUJ-NAPOCA,
CJ, RO**

(72) Inventatori:
• **SURDUCAN EMANOIL,
STR.GHEORGHE DIMA NR.10, AP.19,
CLUJ-NAPOCA, CJ, RO;**
• **SURDUCAN VASILE, STR.NUCULUI
NR.8, CLUJ-NAPOCA, CJ, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
US 3988930; US 3991615; JPS 5459977 A

(54) **METODĂ PENTRU MĂSURAREA TEMPERATURII ÎN
PROCESĂRILE EFECTUATE ÎN CÂMP DE MICROUNDĂ DE
PUTERE**



RO 125999 B1

1 Invenția se referă la o metodă pentru măsurarea temperaturii în probele tratate termic
cu radiație de microunde de putere, în aplicatoare cu distribuție staționară a câmpului de
3 microunde.

Prezenta invenție se aplică pentru procesările în câmp de microunde de putere, în undă
5 continuă sau discontinuă, cu distribuție de câmp staționară monomodală sau multimodală, în
procesarea unor substanțe lichide sau compozite cu fază lichidă (sinteze chimice, extracții din
7 material biologic, aplicații de hipertermie în volum sau pe suprafață etc.).

Măsurarea temperaturii probelor, în cazul tratamentelor cu radiație de microunde de
9 putere, nu poate fi făcută prin introducerea traductorilor clasici de temperatură în zona de
procesare, deoarece fie sunt distruși de intensitățile mari ale câmpului electromagnetic de
11 microunde utilizat pentru tratament, fie se supraîncălzesc și indică o valoare eronată a
temperaturii.

Controlul temperaturii este un element esențial pentru reușita procesărilor termice sau
13 de altă natură, efectuate în câmp de microunde de putere. Deoarece metodele clasice de
măsură a temperaturii nu pot fi utilizate în acest tip de aplicații, au fost dezvoltate metode de
15 măsură fără contact direct cu proba, bazate pe emisia probei în domeniu de radiație infraroșie
[Mahalingam, M. Mares, E. Brakenşiek, W. Burger, K. Hsu, C.L., High power microwave
17 device temperature measurement - Methodology and applications for pulsed devices, Freescale
Semicond. Inc., Tempe; MILESTONE - The MLS-1200 Mega Microwave processor - A bold
19 innovative approach to faster sample preparation for AA, ICP, ICP-MS - review,
www.milestonesci.com. MILESTONE - Via Fatebenefratelli, 1/5 24010 Sorisole (BG) Italy; J.
21 Kong, M. Henrichsen and A. J. Shih, Infrared thermometry measurement of temperature
distribution in the microwave regeneration of diesel, particulate filters, ER02704 ©IMEchE 2005
23 Int. J. Engine Res. Vol. 6, No. 1] sau pe stimularea emisiei în infraroșu sau alt domeniu spectral
25 al unor substanțe amplasate la capătul unei fibre optice [CEM - The Ultimate Microwave
Digestion System - Microwave digestion review - CEM Corporation, <http://cem.com>. PO Box
27 200, Mathews, NC 28106 US].

Sunt utilizate, de asemenea, metode de măsură radiometrice în domeniu de microunde,
29 de obicei la o altă frecvență de microunde decât cea de procesare, proba fiind condusă printr-un
sistem specific în zona de măsură [US 5,683,381].

Principalul dezavantaj al metodelor de măsură indirecte a temperaturii, bazate pe emisia
31 în infraroșu (IR), este acela că măsoară temperatura de pe o suprafață sau dintr-un punct al
probei, iar emisia radiației IR măsurate depinde de emisivitatea suprafeței vizate în procesul de
33 măsură (proba sau material intermediar). Metodele radiometrice înlătură acest dezavantaj, dar
35 au o complexitate de implementare ridicată, dată de necesitatea separării radiației de măsură
de cea de tratament și, din acest motiv, sunt costisitoare.

În cazul procesărilor în câmp de microunde de putere cu distribuție staționară, variația
37 de temperatură în probă este apreciabilă și urmărește distribuția densității de putere de
microunde în materialul probei [MILESTONE - The MLS-1200 Mega Microwave processor-
39 A bold innovative approach to faster sample preparation for AA,ICP,ICP-MS -review,
www.milestonesci.com. MILESTONE -Via Fatebenefratelli, 1/5 24010 Sorisole (BG) Italy; J.
41 Kong, M. Henrichsen and A. J. Shih, Infrared thermometry measurement of temperature
distribution in the microwave regeneration of diesel, particulate filters, ER02704 ©IMEchE 2005
43 Int. J. Engine Res. Vol. 6, No.1]. Din acest motiv măsurarea temperaturii local, fără să se țină
45 cont de distribuția densității de putere în aplicator, poate conduce la erori importante de
tratament. Acest efect de neomogenitate a temperaturii în probe apare și în cazul existenței
47 unor distribuții multimodale de densitate de putere de microunde omogenizate cu ajutorul unor
omogenizatoare mecanice, sau prin rotirea probei. În acest caz, efectul de neomogenitate în
49 temperatura probei este mai evident pentru probe constituite din amestecuri neomogene de
substanțe, cu proprietăți dielectrice diferite.

RO 125999 B1

Metoda și traductorul descrise în prezenta invenție înlătură aceste dezavantaje.	1
Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în măsurarea temperaturii probelor tratate în câmp de microunde, prin contact direct.	3
Metoda de măsurare a temperaturii probelor tratate în câmp de microunde de putere, conform invenției, constă în determinarea distribuției densității de putere de microunde într-un aplicator de iradiere, cu ajutorul unui detector termografic în sine cunoscut, identificarea zonei de minim și a zonei de maxim a acestei distribuții, măsurarea distanțelor de la capacul incintei, respectiv, de la peretele incintei în zona de minim a distribuției densității de putere de microunde în care se imersează un senzor de temperatură în incintă, cu vârful acestuia în poziția corespunzătoare minimului distribuției de câmp de microunde, încălzirea probei în câmp de microunde și memorarea temperaturii t_0 maximă, sesizată de senzor în timpul iradierii, iar după oprirea expunerii la microunde, dar fără a dura mai mult de 10 s de la oprirea generatorului, urmează deschiderea capacului incintei și măsurarea prin imersie, cu același senzor, a temperaturii t_1 corespunzătoare zonei maximului de câmp de microunde, și apoi realizarea corecției $\Delta t = t_1 - t_0$ care se aplică apoi valorii măsurate de senzor.	11
Metoda conform invenției prezintă următoarele avantaje:	15
- temperatura probelor tratate în câmp de microunde este măsurată prin contact direct, senzorul de temperatură fiind un senzor clasic în miniatură;	17
- metoda de măsură se bazează pe determinarea distribuției densității de putere de microunde în aplicator, temperatura indicată de traductor este corectată pe baza distribuției de temperatură caracteristică probelor tratate;	19
- metoda și traductorul pot fi utilizate atât în tratamentele de volum, cât și în tratamentele pe suprafață ale unor probe lichide sau amestecuri cu fază lichidă, în regim de microunde de putere continuu sau discontinuu.	21
Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției, în legătură cu fig. 1...6, ce reprezintă:	23
- fig. 1 prezintă o secțiune axială printr-o incintă de tratament cu distribuție mono-modală a densității de putere de microunde, împreună cu imaginea distribuției de densitate de putere și locația traductorului de temperatură;	25
- fig. 2 prezintă profilul de temperatură în incinta coaxială în secțiunea ce conține senzorul traductorului de temperatură;	27
- fig. 3 - este prezervată o secțiune printr-un traductor de temperatură cu senzor semiconductor inteligent, cu calibrare integrată și transfer serial al datelor de temperatură;	29
- fig. 4 prezintă o secțiune printr-o incintă dreptunghiulară multimodală, utilizată în separare cromatografică TLC [RO-A/00833 -06.12.2007];	31
- fig. 5 prezintă o configurație de traductor de temperatură, amplasat pe un aplicator de suprafață, de tip antenă direcțională, și distribuția densității de putere pe baza căreia s-a făcut poziționarea traductorului;	33
- fig. 6 prezintă distribuția teoretică a raportului logaritmice dintre câmpul electric de microunde radiat de aplicator, și cel incident (ce alimentează aplicatorul), în funcție de unghiul de distribuție spațială.	35
Metoda și traductorul pentru măsurarea temperaturii în procesările efectuate în câmp de microunde de putere se caracterizează prin aceea că permit măsurarea temperaturii materialelor tratate (lichide sau amestecuri cu fază lichidă) prin contact direct cu proba.	37
Metoda de măsură, conform acestei invenții, se bazează pe determinarea distribuției densității de putere de microunde în aplicatorul utilizat, și identificarea unei zone de minim a acestei distribuții, zonă în care va fi introdus traductorul de temperatură. Determinarea distribuției densității de putere se poate realiza experimental, într-una dintre secțiunile de interes	39

RO 125999 B1

1 ale aplicatorului, cu ajutorul unui detector termografic al densității de putere (descriș în brevet
2 **RO 116506**). Această determinare se poate efectua și teoretic, prin reprezentarea grafică a
3 vectorului Poynting într-o secțiune de interes din volumul aplicatorului [Gheorghe Rulea,
4 Tehnica frecvențelor foarte înalte, Editura tehnică, București, 1966]. Pot fi utilizate, de
5 asemenea, și distribuțiile teoretice de câmp electric și magnetic, caracteristice aplicatorului
6 utilizat; în cazul determinării teoretice, trebuie ținut cont că prezența probei modifică lungimea
7 de undă a radiației electromagnetice cu un factor $p = (\epsilon_r^{-1/2})$, unde ϵ_r este permitivitatea
8 dielectrică relativă a materialului tratat (la frecvența de 2,45 GHz, pentru apă, $\epsilon_r \approx 77$).
9 Traductorul trebuie montat în așa fel încât în zona de introducere în aplicator să fie realizat un
10 contact electric bun între teaca traductorului și peretele aplicatorului.

11 În analiza distribuțiilor de câmp de microunde se impune următoarea precizare: într-un
12 aplicator în care se transferă energia de microunde de putere probei, stările de rezonanță și
13 cele de propagare progresivă pot să alterneze. Dacă în stările de propagare progresivă
14 maximele distribuțiilor de câmp electric și cele de câmp magnetic sunt distanțate geometric cu
15 $\lambda/4$ și există în același moment de timp, în stările de rezonanță aceste maxime sunt localizate
16 aproximativ în același loc geometric, dar sunt decalate în timp cu un sfert de perioadă $T/4$,
17 astfel încât la un moment dat întreaga energie de microunde este localizată numai în câmpul
18 electric sau numai în cel magnetic [Gheorghe Rulea, Tehnica frecvențelor foarte înalte, Editura
19 tehnică, București, 1966]. Distribuția densității de putere de microunde ține cont de ambele
20 distribuții, electrică și magnetică. Pentru cele mai multe categorii de probe lichide, efectul termic
21 este datorat distribuției de câmp electric și depinde de pierderile dielectrice ale probei (ϵ'' sau
22 $\text{tg}\delta\epsilon$). Sunt însă și probe compozite cu o componentă de material cu proprietăți și pierderi
23 magnetice, unde efectele de încălzire se datorează și câmpului magnetic. Detectorul termo-
24 grafic [brevet **RO 116506**] permite vizualizarea acelei părți din distribuția de câmp combinată,
25 electrică și magnetică, ce produce efect termic în proba tratată. Pentru amplasarea traductorului
26 de temperatură în aplicator, conform prezentei invenții, trebuie ținut cont și de distribuția de
27 câmp magnetic, deoarece poate induce curenți de conducție în teaca conductoare a
28 traductorului.

29 Existența unei distribuții a puterii de microunde implică existența unei distribuții de
30 temperatură în materialul tratat, distribuție care urmărește distribuția densității de putere de
31 microunde. Această distribuție de temperatură va rămâne în probă pe toată durata trata-
32 mentului, și depinde de coeficientul de transfer termic al materialului (difuzivitatea termică).
33 Datorită poziției alese pentru traductor, acesta va indica o temperatură mai mică decât
34 temperatura maximă în probă. Pentru un tratament corect și realizarea corecției în bucla de
35 automatizare a procesului, este necesară determinarea valorii maxime de temperatură. Pentru
36 determinarea acestei valori maxime de temperatură, se identifică, din distribuția densității de
37 putere, volumul ce conține un maxim al densității de putere de microunde, și, imediat după
38 încetarea tratamentului, se măsoară direct această temperatură maximă, prin imersie în acel
39 volum de probă localizat, cu un termometru etalon.

40 Traductorul de temperatură, conform acestei invenții, se compune (fig. 3) dintr-o teacă
41 metalică nonmagnetică **11** (inox, cupru etc.), în interiorul căreia sunt introduși unul sau mai mulți
42 senzori termici inteligenți în miniatură **12**, aflați în contact termic direct (realizat prin aliaj de
43 lipire) cu un suport de vârf, din cupru **13**. Semnalele electrice de la senzor sunt preluate prin
44 circuitele (**14a** - alimentare, **14b** - date, **14c** - masa) conectate prin lipire, într-un capăt, la bilele
45 de contact **12a** ale senzorului, iar în celălalt capăt, la un circuit terminator **15** la care se conec-
46 tează un cablu flexibil **16**. Traductorul de temperatură se conectează prin cablul flexibil **16** la
47 sistemul de comandă al generatorului de microunde care alimentează incinta coaxială cu
48 radiație de microunde de putere [RO 122063].

RO 125999 B1

În realizarea și dimensionarea geometrică a traductorului se ține cont de forma aplicatorului și de distribuția densității de putere de microunde din el, în sensul perturbării minime a distribuției locale de câmp. Conectarea senzorilor traductorului la circuitul de măsură se realizează în exteriorul aplicatorului, prin intermediul unui conector specific. Zona de trecere a traductorului în aplicator trebuie să prezinte o conductivitate electrică bună între teaca traductorului și pereții aplicatorului.

În continuare sunt prezentate trei versiuni de aplicare a prezentei invenții: într-o incintă de tratament închisă, provenită dintr-o cavitate coaxială mono-modală (fig. 1, fig. 2, fig. 3), într-un aplicator de tip ghid de undă (fig. 4) și în cazul unui aplicator de tip antenă direcțională (fig. 5, fig. 6).

Aplicarea prezentei invenții pentru o incintă de tratament închisă, provenită dintr-o cavitate coaxială mono-modală, este prezentă în legătură cu fig. 1, 2 și 3. În fig. 1 este prezentată o secțiune axială prin incinta de tratament mono-modală **1**, distribuția densității de putere de microunde **2a** și locația traductorului de temperatură **3**. Se observă că distribuția densității de putere are un maxim **4a** în jurul axului central **5** la o distanță **Z** de capacul incintei **6**. Această distribuție a densității de putere de microunde determină o distribuție de temperatură în proba tratată. În fig. 2 este prezentată distribuția de temperatură la intersecția dintre planul axial și planul diametral în maximul distribuției de densitate de putere pentru aplicatorul umplut cu apă. Pentru acest caz diferența dintre temperatura indicată de traductor și temperatura maximă este de $\Delta T = (15 \pm 3)^\circ\text{C}$ pentru o valoare de temperatură indicată de traductor de $T_t = 80^\circ\text{C}$. Traductorul de temperatură **3** este amplasat la o distanță $d = 3$ mm față de peretele lateral al incintei coaxiale cu diametru **D**, având senzorul de temperatură în planul în care a fost determinată distribuția de temperatură. Trecerea traductorului **7** în aplicator este realizată printr-un sistem cu pensetă **8**, țesătură metalică de contact **9** și piuliță de fixare **10**. Poziția traductorului poate fi modificată în funcție de natura și volumul materialului din aplicator, urmărind metoda descrisă anterior pentru amplasarea acestuia.

O altă versiune de aplicare a acestei invenții este prezentată în legătură cu fig. 4, și se referă la măsurarea temperaturii în eluentul utilizat într-o aplicație de cromatografie planară asistată de radiația de microunde de putere [RO-A/00833-06.12.2007]. În figură se observă secțiunea longitudinală laterală prin aplicatorul provenit din ghid de undă **17**, care conține vasul cu eluent **18**, placa cromatografică **19**, capacul aplicatorului **20** și traductorul de temperatură **3** cu trecerea de fixare pe aplicator **7**. În acest caz este vorba de un aplicator multimodal (cu trei maxime (**4b**)), așa cum se poate observa din figura distribuției densității de putere **2b**. Traductorul a fost amplasat în zona de minim a acestei distribuții corespunzătoare poziției vasului cu eluent. Corecția de temperatură pentru această aplicație este de $\Delta T = (7 \pm 3)^\circ\text{C}$ pentru o valoare de temperatură indicată de traductor de $T_t = 40^\circ\text{C}$, în amestec (7:3) propanol-apă. S-a utilizat același tip de traductor prezentat în fig. 2 și același sistem de fixare pe aplicator.

O altă versiune de aplicare a acestei invenții este prezentată în legătură cu fig. 5 și 6, și se referă la aplicații de tratament ce utilizează un aplicator de tip antenă direcțională. Acest tip de aplicator este utilizat pentru probe cu dimensiuni de suprafață mult mai mari decât aplicatorul, ce absorb întreaga energie de microunde. În fig. 5 este prezentată o secțiune prin traductorul de temperatură amplasat pe un aplicator constituit dintr-un circuit de microunde de alimentare **25**, un plan de masă **21**, prevăzut cu două fante radiative **22**, distanțate cu un interval **L** determinat experimental pentru o configurație radiativă optimă. Teaca traductorului este constituită din doi pereți, unul semicilindric **23**, fixat prin lipire **24** cu aliaj metalic (sau lipire în puncte) de planul de masă **21** al aplicatorului, între cele două fante. Poziția senzorului de

RO 125999 B1

1 temperatură **12** este aleasă în centrul de simetrie al sistemului de fante și într-un minim al
distribuției densității de putere **2c**. În imaginea distribuției densității de putere **2c** de pe suprafața
3 aplicatorului de microunde sunt figurate cu linie punctată fantele și poziția traductorului de
măsură a temperaturii cu un senzor central. În cazul acestui tip de aplicator pot fi utilizați unul
5 sau mai mulți traductori realizați cu o arie de senzori, distribuiți în minimele densității de putere.
În fig. 6 este prezentată distribuția logaritmică teoretică a componentei electrice din câmpul de
7 microunde, respectiv, câmpul electric E_{total} raportat la câmpul electric incident în aplicator $E_{incident}$
în funcție de unghiul de distribuție dintr-un plan de simetrie normal pe aplicator. Poziția normalei
9 la planul aplicatorului s-a considerat între cele două fante, în centrul de simetrie. Se observă
că radiația incidentă $E_{incident}$ este atenuată (valori negative ale raportului logaritmic) și că
11 distribuția are două maxime radiative laterale, ce încep din dreptul fantelor, și un minim în
centrul de simetrie (pe grafic a fost figurat schematic și aplicatorul cu cele două fante). Distri-
13 buția teoretică se corelează cu distribuția experimentală **2c** în care se pot identifica ușor maxi-
mele din dreptul fantelor radiative **4c**. În modelarea acestei distribuții s-a considerat că apli-
15 catorul cu două fante emite într-un volum de apă cu suprafața de 3 ori mai mare decât cea a
aplicatorului, și o grosime de 3λ în apă. Diferența de temperatură la suprafața apei, determinată
17 experimental, între minimul și maximul de temperatură, este mai mică de $\Delta T = (5\pm 2)^\circ\text{C}$ pentru
o valoare de temperatură indicată de traductor de $T_t = 50^\circ\text{C}$.

RO 125999 B1

Revendicare

Metodă de măsură a temperaturii probelor tratate în câmp de microunde de putere, **caracterizată prin aceea că**, pentru măsurarea prin contact direct, constă în determinarea distribuției densității de putere de microunde în aplicatorul (1) de iradiere, cu ajutorul unui detector termografic în sine cunoscut, identificarea zonei (2b) de minim și a zonei (4a) de maxim a acestei distribuții, măsurarea distanțelor (Z, d) de la capacul (6) incintei, respectiv, de la peretele incintei în zona de minim a distribuției densității de putere de microunde în care se imersează senzorul (12) de temperatură în incintă cu vârful acestuia, în poziția corespunzătoare minimului distribuției de câmp de microunde, încălzirea probei în câmp de microunde și memorarea temperaturii (t_0) maxime sesizată de senzor în timpul iradierii, iar după oprirea expunerii la microunde, dar fără a dura mai mult de 10 s de la oprirea generatorului, urmează deschiderea capacului (6) incintei și măsurarea prin imersie, cu același senzor (12), a temperaturii (t_1) corespunzătoare zonei maximului de câmp de microunde, și apoi realizarea corecției $\Delta t = t_1 - t_0$ care se aplică apoi valorii măsurate de senzor (12).

(51) Int.Cl.

G01K 1/12 (2006.01),

G01K 7/00 (2006.01),

H05B 6/64 (2006.01)

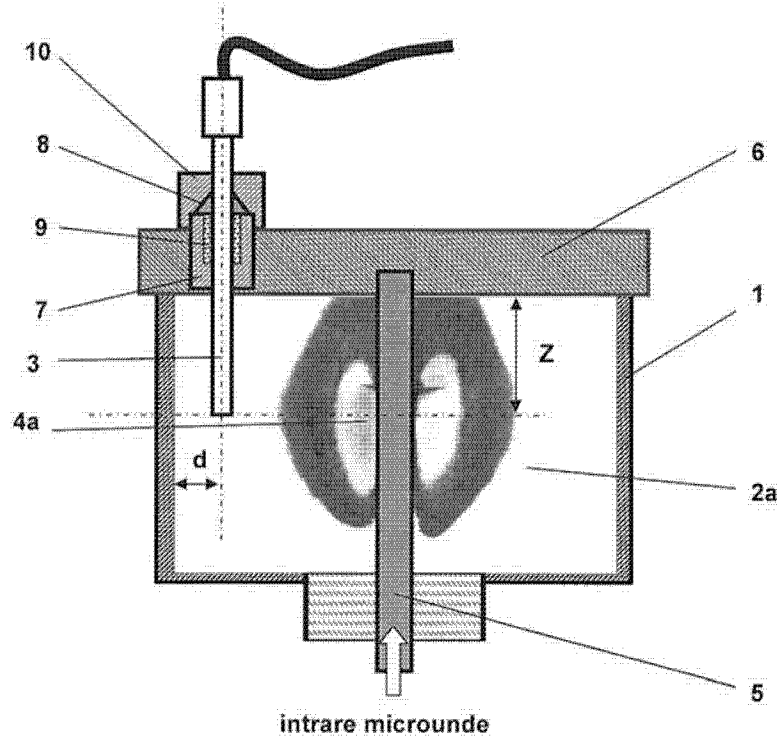


Fig. 1

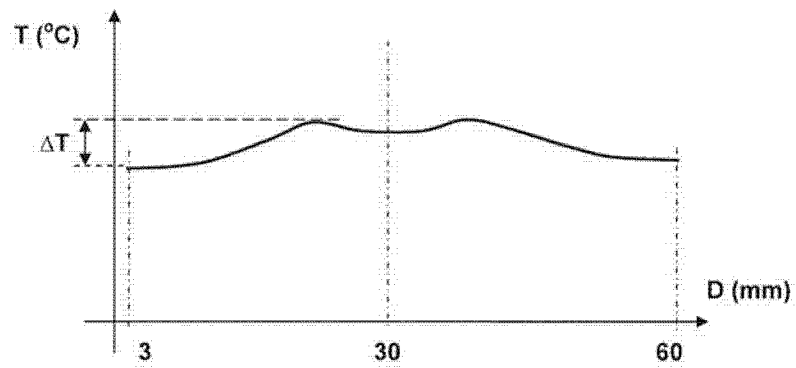


Fig. 2

(51) Int.Cl.

G01K 1/12 (2006.01);

G01K 7/00 (2006.01);

H05B 6/64 (2006.01)

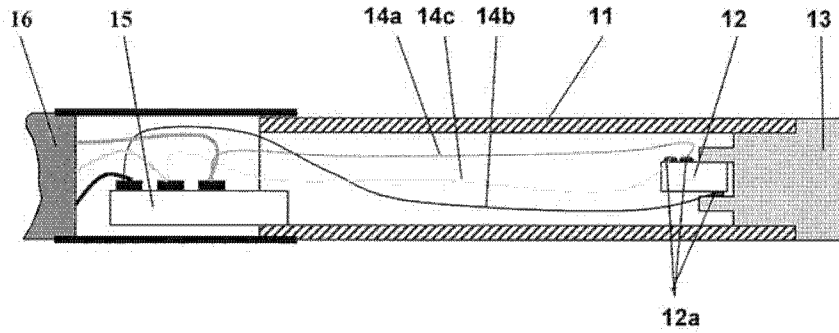
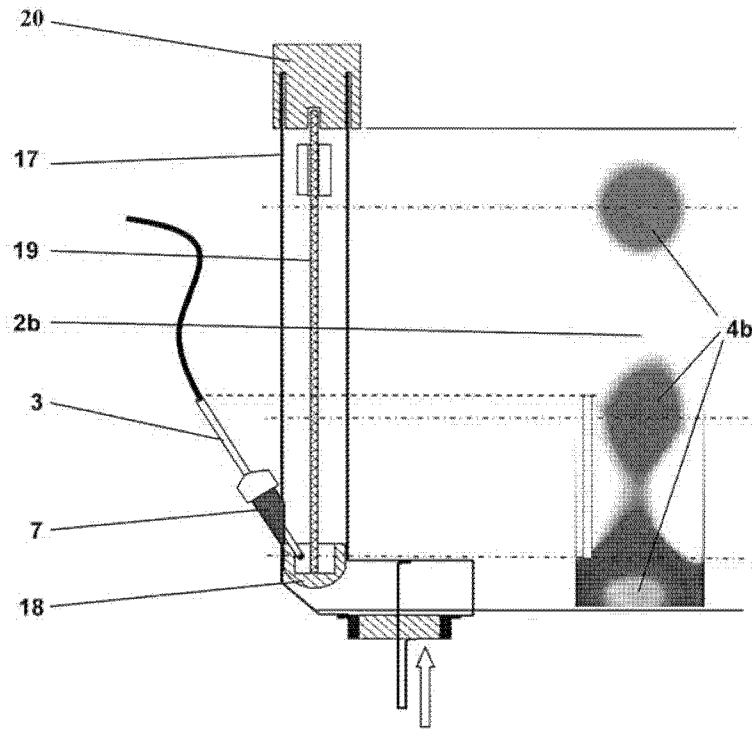


Fig. 3



intrare microunde

Fig. 4

(51) Int.Cl.

G01K 1/12 (2006.01);

G01K 7/00 (2006.01);

H05B 6/64 (2006.01)

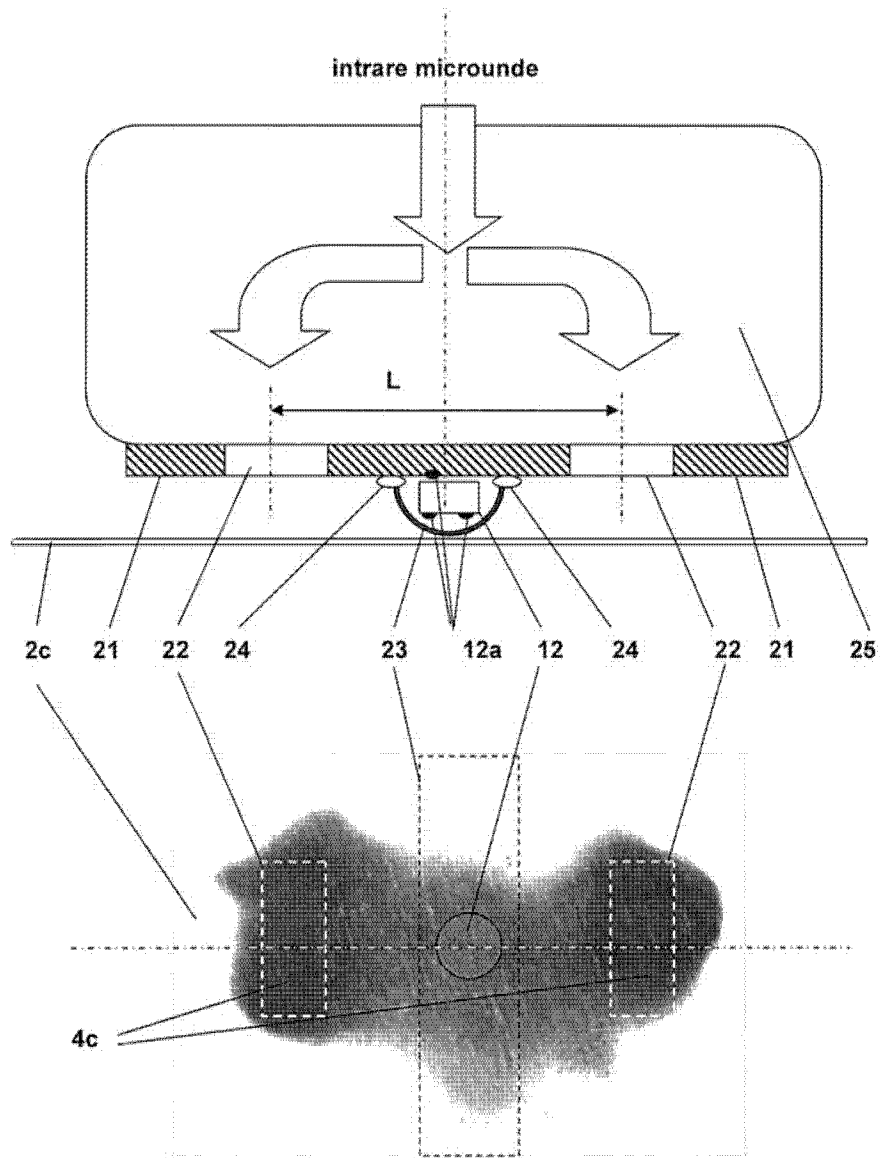


Fig. 5

(51) Int.Cl.

G01K 1/12 (2006.01);

G01K 7/00 (2006.01);

H05B 6/64 (2006.01)

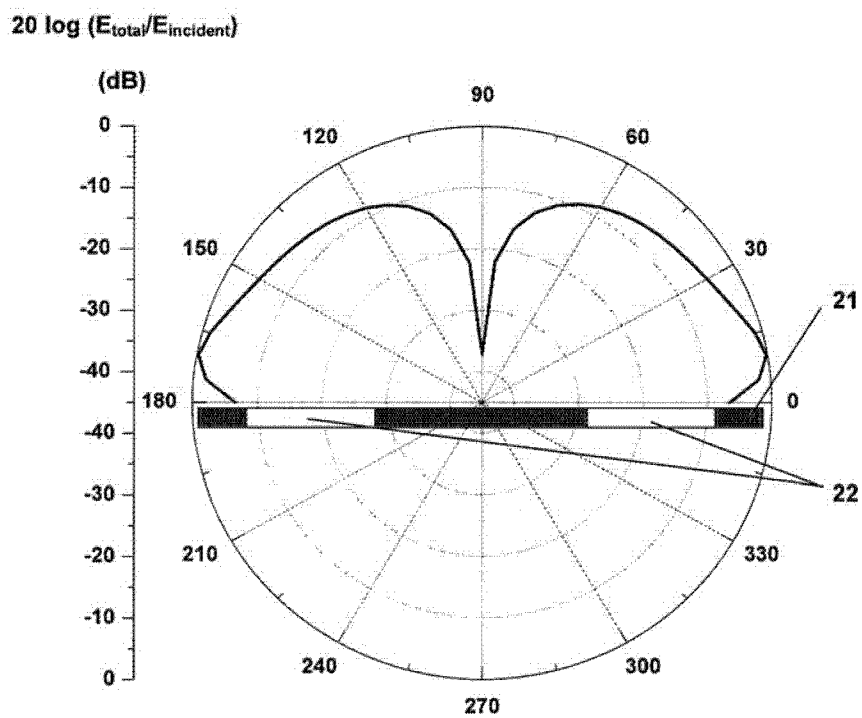


Fig. 6



Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
Tipărit la: Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci
sub comanda nr. 183/2016