



Sverige

(12) Patentskrift

(10) SE 529 292 C2

(21) Patentansökningsnummer: 0602731-3
(45) Patent meddelat: 2007-06-26
(41) Ansökan allmänt tillgänglig: 2007-06-14
(22) Patentansökan inkom: 2005-12-13
(24) Löpdag: 2005-12-13
(83) Deposition av mikroorganism: ---
(30) Prioritetsuppgifter: ---

(62) Internationell klass:
H05B 6/74 (2006.01)
F24C 7/02 (2006.01)

(73) Patenthavare: ExH LLC, 3017 Woodlark Lane, Eagan MN US

(72) Uppfinnare: Per Olov Risman, Härryda SE

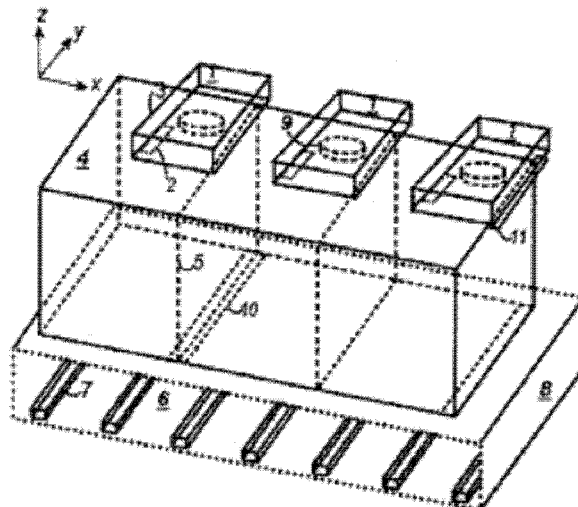
(74) Ombud: AWAPATENT AB

(54) Benämning: Mikrovågsvärmsningsapplikator

(56) Anförda
publikationer: ---

(47) Sammandrag:

En ny, förhållandevis liten typ av öppna applikatorer har beskrivits. Applikatorn enligt uppfinningen använder en huvudavklingningsmod och utbredningsmod i kombination, där kombinationen leder till en nollning av de horisontella och magnetiska fälten vid ändarna av två motstående väggar. Effekten av detta är att de fält som utbreder sig ut från applikatorn blir koncentrerade till området för applikatorns centrumlinje (axel), ger en effektiv värmning av en last eller sammansättning av laster, samt en stabil impedansanpassning av systemet under varierande lastförhållanden tack vare avklingningsmoden, samtidigt som energi inte läcker mellan angränsande applikatorer.



SAMMANDRAG

En ny, förhållandevis liten typ av öppna applikatorer har beskrivits. Applikatorn enligt
5 uppfinningen använder en huvudavklingningsmod och
utbredningsmod i kombination, där kombinationen leder
till en nollning av de horisontella och magnetiska fälten
vid ändarna av två motstående väggar. Effekten av detta
är att de fält som utbreder sig ut från applikatorn blir
10 koncentrerade till området för applikatorns centrumlinje
(axel), ger en effektiv värmning av en last eller
sammansättning av laster, samt en stabil
impedansanpassning av systemet under varierande
lastförhållanden tack vare avklingningsmoden, samtidigt
15 som energi inte läcker mellan angränsande applikatorer.

Uppfinningens område

- Föreliggande uppfinning hänför sig till området mikrovågsapplikatorer med öppen ände och då särskilt applikatorer avsedda för värmning av en yttre last som inte behöver vara i kontakt med applikatorns öppna ände. Lasten kan transporteras på ett transportband eller så kan applikatoren förflyttas ovanför lasten eller vara fast i förhållande till lasten för fläckvis värmning av den. Det kan finnas en metallisk struktur under lasten i tunnelugnstillämpningar, avsedd att fungera som en del av den totala mikrovågssinneslutningen och även för att förbättra värmningsjämnheten.

Uppfinningens bakgrund

- De mikrovågsapplikatorer enligt känd teknik som mest liknar de enligt föreliggande uppfinning beskrivs i det svenska patentet 526 169. Mycket av teorin för föreliggande uppfinning ges där.

- Beroende på behovet av en avsevärd transformering av den nedåtriktade impedansen från den matande vågledaren till applikatormoden används en speciell vågledarmatning med två slitsar med motsatt fältfas i ovannämnda patent. Detta kräver i sin tur att en symmetrisk applikatormod har ett udda modindex m i den första horisontella (x) riktningen. Normalt avråds från att mata applikatoren från den översta delen av en vertikal sida, så som beskrivs i patentet US 5,828,040 då det gäller applikatormoder med högre index m än 2, på grund av problem med att erhålla ett symmetriskt värmningsmönster i x -riktningen, och även eftersom många andra moder då kan exciteras beroende på den asymmetriska matningen. Sålunda tillåter en sidomatning alla heltalsindex m 0, ... varemot dubbelslitsmatningen i taket tillåter endast udda index

m. Placeringen av en matningsslits symmetriskt mellan applikatorväggarna i den andra riktningen (y) tillåter endast udda index n i den riktningen.

I det svenska patentet 526 169 dras slutsatsen att
 5 endast udda modindex m skall användas, av de skäl som ges ovan. Detta och andra utformningskriterier leder till en ganska stor minsta horisontell öppningsyta för applikatorn. I ett typiskt fall för 2450 MHz är denna
 10 öppningsyta cirka 183×306 mm och moden är $TE_{y_{31e}}$, där m -indexet är 3, n -indexet 1 och bokstaven e betecknar avklingningsutbredning i applikatorns z -riktning. En tillräckligt hög effektflödestäthet mot lasten kan då inte uppnås med standardmagnetroner på 1 kW och större magnetroner är vanligen inte kostnadseffektiva. Det är
 15 därför önskvärt att utforma applikatorer med mindre horisontella dimensioner under bibehållande av de övriga gynnsamma egenskaperna hos applikatorerna enligt det svenska patentet 526 169.

20 Sammanfattning av uppfinningen

Ändamålet med föreliggande uppfinning är att lösa ovanstående problem rörande behovet att åstadkomma en mindre applikatoröppning i relation till
 frirymdsvåglängden.

25 De viktiga faktorerna att bibehålla är då:

1. avklingning hos huvudmoden, eftersom detta sörjer för en okänslighet (av både systemresonansfrekvensen och systemets impedandangepassning) till de gällande belastningsförhållandena;

30 2. ett mycket förutsebart värmningsmönster, som möjliggör en sicksackplacering av påföljande applikatorrader i en tunnelugn, för erhållande av en jämn värmning över tunnelns tvärsnitt;

35 3. en mycket låg utspridning av fältintensiteten i x -riktningen under applikatorn, så att oförutsebara eller multimod-värmningskaraktistika blir försumbara;

4. en mycket låg utspridning av fältintensiteten i y-riktningen, av samma skäl som angetts ovan;

5. en mycket låg korskoppling (s.k. överhörning) mellan närliggande applikatorer, för bibehållande av en hög systemverkningsgrad såväl som för undvikande av att magnetroner kan skada varandra, i system med flera applikatorer.

Den grundläggande applikatorprincipen med avklingningsmod bibehålls i föreliggande uppfinning. En första fråga är då huruvida rektangulära applikatorer med mindre modindex m än 3 kan utformas, med bibehållande av de andra kriterierna. Men vidare överväganden kan också göras, kring användning av dielektrika i applikatorn, kring lutande applikatorväggar, och kring andra moder och applikatorformer än rektangulära sett uppifrån. Dessa möjligheter diskuteras först.

Att fylla applikatorn med ett dielektrikum resulterar i bibehållande av dess inre modegenskaper om alla dimensioner också reduceras med en faktor $\sqrt{\epsilon}$, där ϵ är dielektrikumets dieltal. Detta innebär att den horisontella öppningsytan minskas med en faktor ϵ . Men eftersom man också måste ta hänsyn till vågreflexionerna vid den öppna dielektriska ytan, måste problemen med krav på stor närhet till lasten övervägas. Användning av ett dielektrikum med högt dieltal beskrivs i exempelvis patentskriften US 4,392,039; applikatormoden är då inte avklingande men vågutbredningen utanför den är det. Detta reducerar mikrovågsläckaget då applikatoränden är i fria rymden, men kräver också att lasten skall vara mycket nära den öppna dielektriska änden. Dielektrikumet enligt föreliggande uppfinning behöver inte uppfylla hela applikatorn. Användning av en åtminstone delvis dielektrisk fyllning och att i princip minska alla applikatormått med en faktor relaterad till $\sqrt{\epsilon}$ är därför en möjlighet, och kommer även att medföra en starkare energikoppling till en last nära dess ände, såväl som en ytterligare minskning av mikrovågsläckaget från

applikatorn bort från den och även in till närliggande applikatorer. Dielektrisk fyllning utgör en utföringsform av föreliggande uppfinning.

Att variera applikatorns tvärsnitt medelst lutande
 5 väggar, d.v.s. att göra den matematiskt sett icke-cylindrisk, kommer att ändra modvåglängderna. En avklingningsapplikator med konstant tvärsnitt kommer i matningsområdet att ha en stor energikoncentration och därmed större väggströmmar. Intensitetsbalansen mellan de
 10 två moderna som samverkar enligt föreliggande uppfinning kan också modifieras medelst användning av endast svagt lutande väggar. De två faktorerna ovan är fördelaktiga, men den mekaniska utformningen och monteringen blir mer komplicerade eftersom den föredragna utföringsformen är
 15 att göra applikatoränden smalare än dess övre ände.

Vad gäller användningen av andra horisontella tvärsnitt än rektangulära måste man först hålla i minnet att det finns ett behov av en icke-försvinnande fältstyrka i det centrala området, eftersom ett
 20 väsentligen "fokuserat", jämnt eller randigt värmningsmönster önskas i lasten. Användning av cirkulära valvytmöder (s.k. *whispering gallery*-moder) är sålunda starkt olämpliga. Men cirkulära TM-liknande moder med förstaindex 1 är möjliga, eftersom dessa moder verkligen
 25 har högre fältstyrkor i de centrala områdena. Men användning av icke-rektangulära applikatorer minskar användningen av den horisontella ytan, så att avståndet mellan värmningsområdena minskar i jämförelse med det för rektangulära applikatorer. Detta medför en minskning av
 30 den effektiva värmningshastigheten i tunnelugnstillämpningar.

En första utföringsform av föreliggande uppfinning är emellertid användning av rektangulära TE_y-moder av det slag som beskrivs i det svenska patentet 526 169, men med
 35 lägre modindex m än 3. Koordinatriktningarna ges i bifogade Figur 1.

Det första alternativet är $m=2$. Applikatormåttan i x-riktningen ($=a$) blir då något mer än $2 \times \frac{1}{2} \lambda_0$, d.v.s. omkring 125 mm för den standardiserade ISM-mittfrekvensen 2450 MHz. Med matningen av en y-riktad slits centrerad i
 5 taket och ett realistiskt kort applikatormått (b) i y-riktningen är de möjliga moderna andra än huvudmoden TE_{y21} i tvärsnittet: TE_{y01} , TE_{y23} and TE_{y03} . Om emellertid b är mindre än ca 200 mm vid 2450 MHz kan endast moderna TE_{y01} och TE_{y03} möjligen utbreda sig.

10 Såsom beskrivs i det svenska patentet 526 169 behövs en andra mod av utbredningstyp för att motverka det magnetiska fältet (och därmed ytströmmarna) vid de två motsatta y-riktade applikatorväggarna, som resulterar i en begränsning av den energi som utbreder sig nedåt under
 15 applikatoröppningen (d.v.s. en stark minskning av utspridningen i $\pm x$ -riktningarna). Både TE_{y01} -moden och delvis också TE_{y03} -moden kan uppfylla detta.

Det andra alternativet är $m=1$. I detta fall är endast TE_{y01} -moden och TE_{y03} -moden möjliga. Dessa moder
 20 kan emellertid inte uppfylla kriteriet på motverkan av de magnetiska fälten och därigenom ytströmmarna i de två motsatta y-riktade applikatorväggarna. Det blir vidare inget maximum hos Poyntingvektorn vid den z-riktade centrallinjen. Konsekvensen är att $m=1$ inte kan användas
 25 som en utföringsform av denna uppfinning.

Kort beskrivning av figurerna

De geometriska definitionerna och egenskaperna hos föreliggande uppfinning illustreras i de följande
 30 bifogade ritningarna, på vilka:

Figur 1 visar en perspektivvy av en anordning med tre rektangulära applikatorer enligt föreliggande uppfinning, inklusive en definition av koordinatriktningarna;

35 Figur 2a visar en perspektivvy av de dominerande TE_{y21} -fälten, och Figur 2b visar en perspektivvy av TE_{y012} -

fälten, i en rektangulärt cylindrisk applikator enligt föreliggande uppfinning;

Figur 3 visar en perspektivvy av en cirkulärt cylindrisk applikator enligt föreliggande uppfinning.

5

Utförlig beskrivning

En utföringsform av en applikator enligt föreliggande uppfinning beskrivs nu, med första referens till Figur 1. Var och en av de tre applikatorerna 4 matas
10 av en slits 2 längs en sidovägg 3 nära ändkortslutningsväggen hos en normal rektangulär TE_{10} -vågledare 1. Den andra änden av vågledaren fortsätter till en övergångsdel till mikrovågsgeneratoren. Dessa delar visas inte, eftersom sådana arrangemang är
15 uppenbara för fackmannen. Applikatorerna är öppna i botten, in till ett utrymme 6 där arbetslasten (ej visad) är belägen. Närliggande applikatorer har en gemensam sidovägg såsom 5, och det kan också finnas horisontella metallflänsar 10 som är svetsade på en eller
20 flera av väggarna 5. Applikatorarrangemanget kan vara anordnat i sicksack åt sidorna, så att en följande triplett i y-riktningen har ett större område 8 av last- eller tunnelområdet 6 på andra sidan. Det kan finnas räl 7 av metall eller ett dielektriskt material, i
25 botten av tunnelområdet 6.

Det generella utförandet av applikatorerna 4 med väggar 5, flänsar 10, lastområdet 6, sicksackförskjutningen och räler 7 är väsentligen detsamma som i det svenska patentet 526 169. Även det
30 speciella och stora metallblocket för impedansanpassning liknar det i ovannämnda svenska patent. Emellertid är matningsslitsen 2 annorlunda, liksom dess placering i vågledaren 1, såväl som applikatorstorleken, och som en konsekvens därav även applikatormoderna.

35 Figur 2a är avsedd att illustrera några egenskaper hos avklingningsmoden $TE_{y_{21e}}$. Som ett exempel på en föredragen utföringsform för drift vid 2450 MHz enligt

föreliggande uppfinning är det x -riktade applikatormåttet a 128 mm och det y -riktade måttet b 190 mm. Det i första hand inducerade fältet är magnetiskt (H), så som illustreras av ovalerna 14. Fältpolariteten kastas om på halva a -avståndet 12. Det finns emellertid svårigheter med att illustrera H -fältets intensiteter; till att börja med eftersom kvoten mellan de maximala H_y - och H_x -intensiteterna är mb/na i första ordningen, och vidare eftersom modens avklingning ger en försvagning av H -fälten längs z -riktningen. I fallet med den föredragna utföringsformen blir mb/na nästan 3 och det z -riktade avståndet över vilket energitätheten avtar med en faktor $1/e$ blir omkring 170 mm.

En ytterligare punkt av vikt är att den nedåtriktade (z) Poyntingvektorn beror på den horisontella elektriska E -fältkomponenten, som i detta fall är E_x eftersom E_y är noll då moden är av typen hybrid-TE $_y$. Det z -beroende förloppet hos E_x är komplicerat, beroende på det faktum att fram- och återgående avklingande vågor inte är ortogonala så som är fallet för normala utbredningsmoder. I själva verket blir E_x -komponenten väsentligen oberoende av z och av ungefär samma amplitud vid applikatoröppningen som den dominerande E_z -komponenten, vilket illustreras av de vertikala pillinjerna 13 i Figur 2a. Denna komponent avtar approximativt exponentiellt i riktning mot applikatoröppningen, på samma sätt som H_y .

Figur 2b är avsedd att illustrera några egenskaper hos utbredningsmoden TE $_{y012}$. Det finns ingen variation av intensiteterna i x -riktningen, så moden är i själva verket densamma som TE $_{z012}$ -moden.

Då både TE $_{y21e}$ - och TE $_{y012}$ -moderna exciteras av slitsen 2, blir polariteterna hos H_y vid den öppna änden av väggarna $x = 0$ och a motsatta, liksom E_x -polariteterna där, under förutsättning att applikatorhöjden är sådan att den approximativt understödjer en inre TE $_{y012}$ -mod. Detta resulterar i att nästan enbart H_y och E_x återstår i

det centrala öppningsområdet och utbreder sig nedåt (z) bort från applikatorn.

Resonans vid en önskad frekvens hos systemet bestående av applikatorn och ett kort tomt område följt av arbetslasten därunder kan åstadkommas medelst rätta valet av de tre applikatormåttens parametrar, med ett exempel på x - och y -data för en föredragen utföringsform som getts ovan, med en z -riktad applikatorhöjd på 115 mm. Denna är ungefär vågledarvåglängden hos $TE_{y_{01}}$ -moden: 129 mm vid 2450 MHz. Sålunda blir modindexet p i z -riktningen omkring 2.

För att systemanpassning skall nås fordras en avsevärd impedanstransformation, analogt med de fall som beskrivs i det svenska patentet 526 169. Detta uppnås på flera vägar, såsom användning av en TE_{10} -matningsvågledare 1 med låg höjd, en klart kort slits 2 och ett klart stort metallblock 9. Kombinationer av data på dessa och applikatormåttens kan användas för optimering av nedåt- "fokuseringen" och minimering av korskopplingen mellan närliggande applikatorer. En annan föredragen utföringsform som ger något mindre "fokusering" och ett lägre godhetstal (Q -värde) hos systemet, och som kan vara lämplig för vissa tillämpningar, är 135×135 mm med oförändrad höjd 115 mm.

Andra matematiskt cylindriska tvärsnitt än rektangulära kan naturligtvis användas, under förutsättning att de tillåter samma nollning av de horisontella H - och E -fälten i applikatoröppningens periferiområde. Det enklaste och ett praktiskt exempel är ett cirkulärt tvärsnitt. Det bör då märkas att hybridmoder såsom i det rektangulära fallet inte uppträder, eftersom TE - och TM -moder inte är degenererade. Ett sådant system illustreras i Figur 3. Slitsen 2 i vågledaren 1 är nu vid kortslutningsväggen och inte längs sidan 3. Applikatorn 4 har cirkulära väggar 5 och öppnar sig i planet 11 till ett område 6 där arbetslasten (ej visad) befinner sig. En föredragen

utföringsform vid 2450 MHz av denna version har en applikator diameter 144 mm och en höjd 95 mm. Avklingningsmoden är nu TM_{11} , med ett avklingningsdjup på omkring 75 mm. Den kompenserande moden är TE_{11} , med en

5 våglängd på omkring 140 mm.

Användning av rektangulära applikatorer med modpar $TE_{m,1/2}$ och $TE_{y(m-2),1/2}$ med jämna heltal $m \geq 2$ ger inga väsentliga fördelar, beroende på svårigheterna att bibehålla de två arbetande moderna ostörda medelst en

10 enkel slitsmatning, och de ytterligare komplikationerna vid utformning av en symmetrisk flerslitsmatning som skall eliminera moder med udda index m . Såsom sägs i det svenska patentet 526 169 är modkombinationer med udda m då att föredra.

15

PATENTKRAV

1. Rektangulärt cylindrisk mikrovågsapplikator som är anordnad att arbeta vid en förutbestämd frekvens och som har första (x) och andra (y) transversella mått och ett longitudinellt (z) mått, kännetecknad av att nämnda mått
5 är valda så att applikatorn vid nämnda förutbestämda frekvens stödjer en första hybrid-avklingningsmod $TE_{ym/1,e}$ och en andra utbredningsmod $TE_{y(m-2),1}$, där m är ett jämnt heltal.
- 10 2. Mikrovågsapplikator enligt krav 1, varvid applikatorn har ett långsamt minskande tvärsnitt längs sin längd från matningsändan till den öppna änden, och varvid nämnda hybrid-avklingningsmod och nämnda utbredningsmod stöds åtminstone någonstans inuti
15 applikatorn.
3. Mikrovågsapplikator enligt krav 1 eller 2, varvid avklingningsmoden har ett energiavklingningsdjup som är ungefärligen lika med det longitudinella (z) måttet hos
20 applikatorn.
4. Mikrovågsapplikator enligt något av kraven 1-3, dessutom innefattande en i taket anordnad centrerad matningsslits, som ansluter till en TE_{10} -
25 matningsvågledare.
5. Mikrovågsapplikator enligt krav 4, dessutom innefattande ett metallblock anordnat centralt i vågledaren nära matningsslitsen.
30
6. Mikrovågsapplikator enligt något av ovanstående krav, som är helt eller delvis fylld med ett dielektrikum med jämförelsevis lågt dieltal för att minska dess övergripande mått.
35

7. Mikrovågsarrangemang innefattande åtminstone två mikrovågsapplikatorer enligt något av kraven 1-6, varvid applikatorerna har endast y-riktade slitsar.

5 8. Mikrovågsarrangemang enligt krav 7, varvid två närliggande applikatorer har gemensamma y-riktade väggar.

9. Mikrovågsarrangemang innefattande rader med vardera åtminstone två mikrovågsapplikatorer enligt något av
10 kraven 1-5, varvid närliggande rader är sidledes förskjutna så mycket att överlappande värmningsmönster erhålls i laster som passerar under raderna.

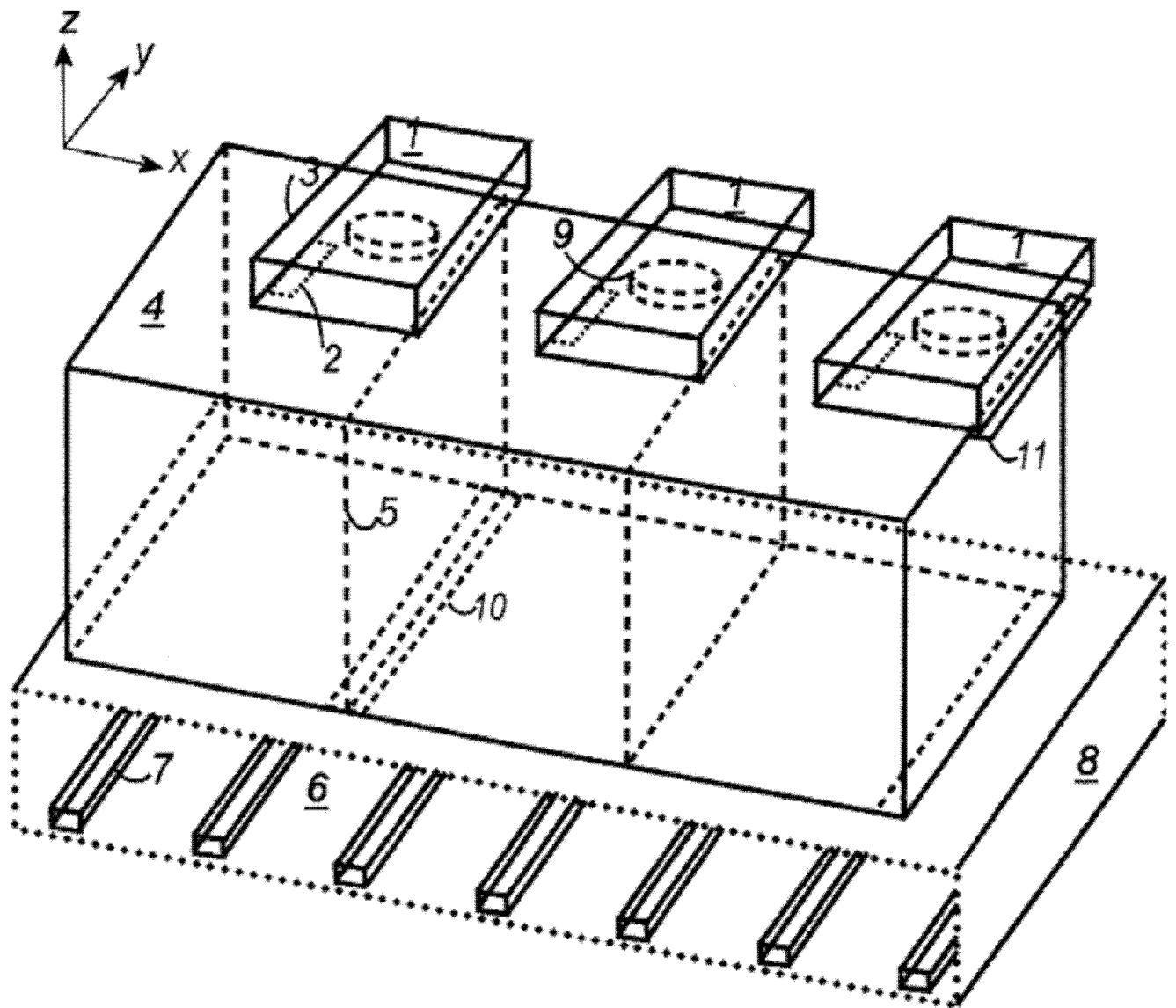


FIG. 1

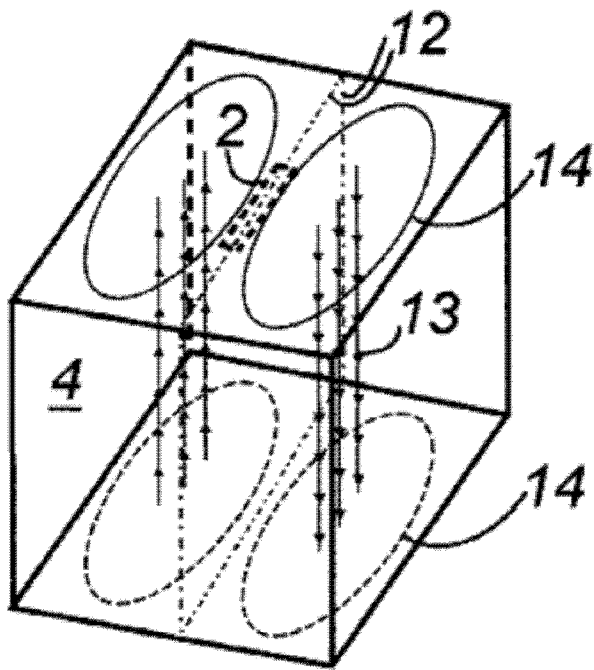


FIG. 2a

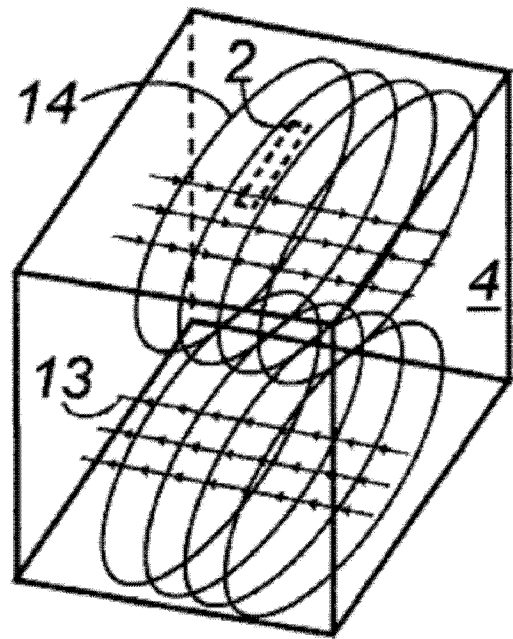


FIG. 2b

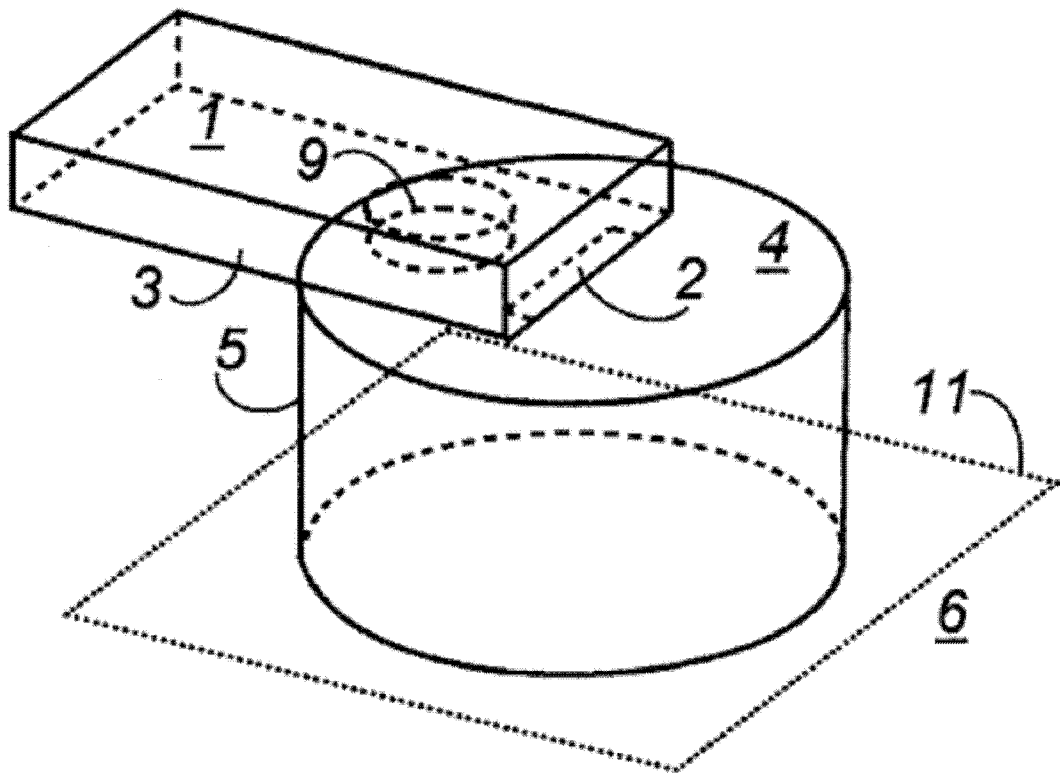


FIG. 3