

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6940496号  
(P6940496)

(45) 発行日 令和3年9月29日 (2021.9.29)

(24) 登録日 令和3年9月6日 (2021.9.6)

(51) Int. Cl. F I  
H O 1 Q 9/04 (2006.01) H O 1 Q 9/04  
H O 1 Q 21/06 (2006.01) H O 1 Q 21/06  
H O 1 P 11/00 (2006.01) H O 1 P 11/00 3 0 0

請求項の数 24 (全 73 頁)

(21) 出願番号	特願2018-521984 (P2018-521984)	(73) 特許権者	596024851
(86) (22) 出願日	平成28年10月27日 (2016.10.27)		ロジャーズ コーポレーション
(65) 公表番号	特表2018-533307 (P2018-533307A)		アメリカ合衆国 8 5 2 2 4 アリゾナ州
(43) 公表日	平成30年11月8日 (2018.11.8)		チャンドラー ウェスト チャンドラー
(86) 国際出願番号	PCT/US2016/059055		ブルバード 2 2 2 5
(87) 国際公開番号	W02017/075177	(74) 代理人	100105957
(87) 国際公開日	平成29年5月4日 (2017.5.4)		弁理士 恩田 誠
審査請求日	令和1年10月28日 (2019.10.28)	(74) 代理人	100068755
(31) 優先権主張番号	62/247, 459		弁理士 恩田 博宣
(32) 優先日	平成27年10月28日 (2015.10.28)	(74) 代理人	100142907
(33) 優先権主張国・地域又は機関			弁理士 本田 淳
	米国 (US)	(72) 発明者	パンセ、クリスティ
(31) 優先権主張番号	62/258, 029		アメリカ合衆国 0 2 4 6 6 マサチュー
(32) 優先日	平成27年11月20日 (2015.11.20)		セッツ州 オーバーンデル チューダー
(33) 優先権主張国・地域又は機関			テラス 9
	米国 (US)		最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 広帯域多層誘電体共振器アンテナおよびその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

誘電体共振器アンテナ (D R A) であって、  
導電性接地構造体と、

前記接地構造体上に配置されN個のボリウムを有する誘電体材料の複数ボリウムであって、Nは3以上の整数であり、連続および順次積層ボリウム $V(i)$ を形成するように配置され、 $i$ は1からNの整数であり、ボリウム $V(1)$ は最内第1ボリウムを形成し、後続のボリウム $V(i+1)$ は、ボリウム $V(i)$ 上に配置され少なくとも部分的にボリウム $V(i)$ を埋め込む積層シェルを形成し、ボリウム $V(N)$ には、ボリウム $V(1)$ から $V(N-1)$ のすべてのボリウムが少なくとも部分的に埋め込まれ、隣接するボリウム同士は互いに異なる誘電率を有し、ボリウム $V(2)$ から $V(N-1)$ の各々は空気とは異なる誘電体材料である、誘電体材料の複数ボリウムと、

前記接地構造体上に配置されている容器であって、前記誘電体材料の複数ボリウムは前記容器内に囲まれている、容器と、

前記誘電体材料の複数ボリウムのうちの1つ以上に電磁的に結合されるように配置および構成された信号フィードと、を備え、

前記誘電体材料の複数ボリウムの隣接するボリウム同士は、直接密接接触し、広帯域性能用の複数の共振を有する複数共振誘電体共振器アンテナを形成するように配置されており、

少なくともボリウム $V(1)$ は、正面視において、そのそれぞれの全体的な高さの半

分よりも大きい全体的な高さを有する断面を有する、

誘電体共振器アンテナ。

【請求項 2】

各後続のボリウム  $V(i+1)$  は、ボリウム  $V(i)$  上に配置され完全にボリウム  $V(i)$  を埋め込む積層シェルを形成する、請求項 1 に記載の誘電体共振器アンテナ。

【請求項 3】

ボリウム  $V(N)$  には、完全にボリウム  $V(1)$  から  $V(N-1)$  のすべてのボリウムが埋め込まれる、請求項 1 または 2 に記載の誘電体共振器アンテナ。

【請求項 4】

前記信号フィードは、前記接地構造体と電氣的に接触せずに、前記接地構造体の開口部内に配置され、前記誘電体材料の複数ボリウムのうちの 1 つ内に配置される、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の誘電体共振器アンテナ。

10

【請求項 5】

前記信号フィード上の電気信号により励起されたときの前記誘電体共振器アンテナは、遠方場三次元放射パターン内の単一点においてそれぞれ収縮可能な閉ループ経路ファミリーによって定義された単一要素ホモトピー群に対応するトポロジ空間を占める前記三次元放射パターンを生成するように構成されている、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の誘電体共振器アンテナ。

【請求項 6】

誘電体共振器アンテナ (DRA) であって、

20

$N$  個のボリウムを備える誘電体材料の複数ボリウムであって、 $N$  は 3 以上の整数であり、連続および順次積層ボリウム  $V(i)$  を形成するように配置され、 $i$  は 1 から  $N$  の整数であり、ボリウム  $V(1)$  は最内第 1 ボリウムを形成し、後続のボリウム  $V(i+1)$  は、ボリウム  $V(i)$  上に配置され少なくとも部分的にボリウム  $V(i)$  を埋め込む積層シェルを形成し、ボリウム  $V(N)$  には、ボリウム  $V(1)$  から  $V(N-1)$  のすべてのボリウムが少なくとも部分的に埋め込まれ、隣接するボリウム同士は互いに異なる誘電率を有し、ボリウム  $V(2)$  から  $V(N-1)$  の各々は空気とは異なる誘電体材料である、誘電体材料の複数ボリウムと、

前記接地構造体上に配置されている容器であって、前記誘電体材料の複数ボリウムは前記容器内に囲まれている、容器と、を備え、

30

電気信号を介して励起されたとき、遠方場三次元放射パターン内の単一点においてそれぞれ収縮可能な閉ループ経路ファミリーによって定義された単一要素ホモトピー群に対応するトポロジ空間を占める前記三次元放射パターンを生成するように構成されており、

少なくともボリウム  $V(1)$  は、正面視において、そのそれぞれの全体的な高さの半分よりも大きい全体的な高さを有する断面を有する、誘電体共振器アンテナ。

【請求項 7】

導電性接地構造体と、

前記誘電体材料の複数ボリウムのうちの 1 つ以上に電磁的に結合されるように配置および構成された信号フィードと

をさらに含み、

40

前記誘電体材料の複数ボリウムは、前記接地構造体上に配置されている、請求項 6 に記載の誘電体共振器アンテナ。

【請求項 8】

前記信号フィードは、前記接地構造体と電氣的に接触せずに、前記接地構造体の開口部内に配置され、前記誘電体材料の複数ボリウムのうちの 1 つ内に配置される、請求項 7 に記載の誘電体共振器アンテナ。

【請求項 9】

前記第 1 ボリウム  $V(1)$  は、空気の誘電率に等しい誘電率を有する、請求項 1 ~ 8 のいずれか一項に記載の誘電体共振器アンテナ。

【請求項 10】

50

前記信号フィードは、誘電体材料の前記第 1 ボリューム V ( 1 ) 内に配置され、かつ、電磁的に結合され、

前記誘電体材料の複数ボリュームのうちの各ボリュームは、前記信号フィードの長手方向軸に対して中央配置される中央長手方向軸を有しており、前記信号フィードの前記長手方向軸は、前記接地構造体に垂直である、請求項 1 ~ 5 および 7 のいずれか一項に記載の誘電体共振器アンテナ。

【請求項 1 1】

前記信号フィードは、誘電体材料の前記第 1 ボリューム V ( 1 ) 以外の前記誘電体材料の複数ボリュームのうちの 1 つ内に配置され、かつ、電磁的に結合される、請求項 1 ~ 5 および 7 のいずれか一項に記載の誘電体共振器アンテナ。

10

【請求項 1 2】

前記誘電体材料の複数ボリュームのうちの各ボリュームは、互いに対して中央配置される中央長手方向軸を有しており、各長手方向軸は、前記接地構造体に垂直である、請求項 1 ~ 5、7 および 1 1 のいずれか一項に記載の誘電体共振器アンテナ。

【請求項 1 3】

前記誘電体材料の複数ボリュームの各ボリュームは、互いに対して軸方向に中央配置され、前記信号フィードに対して軸方向に中央配置される円筒形を有する、請求項 1 ~ 5、7 および 1 0 ~ 1 2 のいずれか一項に記載の誘電体共振器アンテナ。

【請求項 1 4】

前記誘電体材料の複数ボリュームの各ボリュームは、円筒形を有している、請求項 1 ~ 5、7 および 1 0 ~ 1 2 のいずれか一項に記載の誘電体共振器アンテナ。

20

【請求項 1 5】

前記信号フィードは、誘電体材料の前記第 2 ボリューム V ( 2 ) 内に配置され、そこに電磁的に結合されている、請求項 1 ~ 5、7 および 1 1 のいずれか一項に記載の誘電体共振器アンテナ。

【請求項 1 6】

前記信号フィードは、前記誘電体材料の複数ボリュームのうちの 1 つのボリューム内に埋め込まれており、

前記誘電体材料の複数ボリュームの各ボリュームがそれぞれアーチ形ボリュームを形成し、埋め込まれた前記信号フィードがアーチを形成し、前記誘電体材料の複数ボリュームの前記アーチ形ボリュームの各々が、前記接地平面上に配置された前記各アーチ形ボリュームの両方の端部を有する、請求項 1 ~ 5 および 7 のいずれか一項に記載の誘電体共振器アンテナ。

30

【請求項 1 7】

前記信号フィードは、誘電体材料の前記第 1 ボリューム V ( 1 ) 内に配置され、そこに電磁的に結合されており、

前記誘電体材料の複数ボリュームの各ボリュームは、半球形状を有しており、

前記容器は、1 から 3 の間の誘電率を有する材料を備え、前記容器は半球形状を有しており、

前記誘電体材料の複数ボリュームの各ボリュームは、互いに対して中央配置された天頂軸を有し、前記誘電体材料の複数ボリュームは、前記容器の天頂軸に対して横方向に中央でシフトされ、

40

前記信号フィードは、誘電体材料の前記第 1 ボリューム V ( 1 ) 内にアーチ形成され、前記第 1 ボリューム V ( 1 ) の前記天頂軸から中心ずれて前記第 1 ボリューム V ( 1 ) に入る、請求項 1 ~ 5 および 7 のいずれか一項に記載の誘電体共振器アンテナ。

【請求項 1 8】

前記信号フィードは、銅線、同軸ケーブル、マイクロストリップ、導波路、表面集積導波路または導電性インクを含む、請求項 1 ~ 5、7、1 0 ~ 1 7 のいずれか一項に記載の誘電体共振器アンテナ。

【請求項 1 9】

50

Nは5に等しい、請求項1～18のいずれか一項に記載の誘電体共振器アンテナ。

【請求項20】

xおよびyが整数であるx×yアレイパターンに配置された、請求項1～19のいずれか一項に記載の複数の誘電体共振器アンテナを備える誘電体共振器アンテナアレイ。

【請求項21】

xがyに等しい、請求項20に記載の誘電体共振器アンテナアレイ。

【請求項22】

前記第1ボリュームV(1)は、上側部分および下側部分を有しており、前記下側部分は、前記上側部分よりも広い、請求項1～5、7、10～18のいずれか一項に記載の誘電体共振器アンテナ。

10

【請求項23】

請求項1～22のいずれか一項に記載の誘電体共振器アンテナまたは誘電体共振器アンテナのアレイを製造する方法であって、

前記誘電体材料の複数ボリュームの少なくとも1つのボリューム、または、前記誘電体材料の複数ボリュームのすべてのボリュームを成形する工程を備える方法。

【請求項24】

誘電体共振器アンテナ(DRA)であって、  
導電性接地構造体と、

前記接地構造体上に配置されN個のボリュームを有する誘電体材料の複数ボリュームであって、Nは3より大きい整数であり、連続および順次積層ボリュームV(i)を形成するように配置され、iは1からNの整数であり、ボリュームV(1)は最内第1ボリュームを形成し、後続のボリュームV(i+1)は、ボリュームV(i)上に配置され少なくとも部分的にボリュームV(i)を埋め込む積層シェルを形成し、ボリュームV(N)には、ボリュームV(1)からV(N-1)のすべてのボリュームが少なくとも部分的に埋め込まれ、隣接するボリューム同士は互いに異なる誘電率を有し、ボリュームV(2)からV(N-1)の各々は空気とは異なる誘電体材料であり、ボリュームV(3)からV(N-1)の誘電体材料は、ボリュームV(2)からV(N-1)の誘電体材料の誘電率よりも低い誘電率を有する、誘電体材料の複数ボリュームと、

20

前記誘電体材料の複数ボリュームのうちの1つ以上に電磁的に結合されるように配置および構成された信号フィードと、を備え、

30

前記誘電体材料の複数ボリュームの隣接するボリューム同士は、直接密接接触し、広帯域性能用の複数の共振を有する複数共振誘電体共振器アンテナを形成するように配置されている、

誘電体共振器アンテナ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、一般に、誘電体共振器アンテナ(DRA)に関し、具体的には多層DRAに関し、より具体的にはマイクロ波およびミリ波用途のための広帯域多層DRAに関する。

40

【背景技術】

【0002】

既存の共振器およびアレイは、パッチアンテナを採用し、そのようなアンテナは、その意図する目的に適し得る一方、限定された帯域幅、限定された効率、したがって限定された利得などの欠点も有する。帯域幅を改善するために採用されている技術は、典型的には高価で複雑な多層およびマルチパッチ設計につながっており、それは25%超の帯域幅を達成するには依然として困難である。また、多層設計には、単位セルに固有損失が加わり、従ってアンテナ利得が低減する。さらに、金属および誘電体基板の複雑な組合せを採用するパッチおよびマルチパッチアンテナアレイでは、(付加製造としても知られる)三次元(3D)印刷などの、現在入手可能なより新しい製造技術を用いてそれらを製造するの

50



が困難となる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

したがって、既存のDRAは、それらの意図する目的に適し得る一方、上述の欠点を克服することができるDRA構造であれば、DRAの技術を進化させることになる。

【課題を解決するための手段】

【0004】

実施形態は、導電性接地構造体、接地構造体上に配置されN個のポリウム（空間領域）を有する誘電体材料の複数ポリウム、および、誘電体材料の複数ポリウムのうちの1つ以上に電磁的に結合されるように配置および構成された信号フィードを有する誘電体共振器アンテナ（DRA）を含み、Nは3以上の整数であり、誘電体材料の複数ポリウムは、連続および順次積層ポリウム $V(i)$ を形成するように配置され、 $i$ は1からNの整数であり、ポリウム $V(1)$ は最内ポリウムを形成し、後続のポリウム $V(i+1)$ は、ポリウム $V(i)$ 上に配置され少なくとも部分的にポリウム $V(i)$ を埋め込む積層シェルを形成し、ポリウム $V(N)$ には、ポリウム $V(1)$ から $V(N-1)$ のすべてのポリウムが少なくとも部分的に埋め込まれている。

【0005】

実施形態は、N個のポリウムを備える誘電体材料の複数ポリウムを有するDRAを含み、Nは3以上の整数であり、誘電体材料の複数ポリウムは、連続および順次積層ポリウム $V(i)$ を形成するように配置され、 $i$ は1からNの整数であり、ポリウム $V(1)$ は最内ポリウムを形成し、後続のポリウム $V(i+1)$ は、ポリウム $V(i)$ 上に配置され少なくとも部分的にポリウム $V(i)$ を埋め込む積層シェルを形成し、ポリウム $V(N)$ は、ポリウム $V(1)$ から $V(N-1)$ のすべてのポリウムを少なくとも部分的に埋め込み、電気信号を介して励起されたときのDRAは、遠方場三次元放射パターン内の単一点においてそれぞれ収縮可能な閉ループ経路ファミリーによって定義された単一要素ホモトピー群に対応するトポロジ空間を占める三次元放射パターンを生成するように構成されている。

【0006】

実施形態は、N個のポリウムを備える誘電体材料の複数ポリウムを有するDRAを含み、Nは3以上の整数であり、誘電体材料の複数ポリウムは、連続および順次積層ポリウム $V(i)$ を形成するように配置され、 $i$ は1からNの整数であり、ポリウム $V(1)$ は最内ポリウムを形成し、後続のポリウム $V(i+1)$ は、ポリウム $V(i)$ 上に配置され少なくとも部分的にポリウム $V(i)$ を埋め込む積層シェルを形成し、ポリウム $V(N)$ には、ポリウム $V(1)$ から $V(N-1)$ のすべてのポリウムが少なくとも部分的に埋め込まれ、電気信号を介して励起されたときのDRAは、単一点において収縮可能な閉ループ経路ファミリーによって、および、単一点において収縮可能でない閉ループ経路ファミリーによって定義された二要素ホモトピー群に対応するトポロジ空間を占める遠方場三次元放射パターンを生成するように構成されている。

【0007】

実施形態は、N個のポリウムを備える誘電体材料の複数ポリウムを有するDRAを含み、Nは3以上の整数であり、誘電体材料の複数ポリウムは、連続および順次積層ポリウム $V(i)$ を形成するように配置され、 $i$ は1からNの整数であり、ポリウム $V(1)$ は最内ポリウムを形成し、後続のポリウム $V(i+1)$ は、ポリウム $V(i)$ 上に配置され少なくとも部分的にポリウム $V(i)$ を埋め込む積層シェルを形成し、ポリウム $V(N)$ には、ポリウム $V(1)$ から $V(N-1)$ のすべてのポリウムが少なくとも部分的に埋め込まれ、誘電体材料の複数ポリウムの各積層ポリウムは、誘電率 $\epsilon(i)$ を有し、各層の誘電率およびポリウムは、 $\epsilon(i+1) * V(i+1)$

$\epsilon(i) * V(i)$ （ $\epsilon(1) * V(1)$ を除く、なお $\epsilon(1)$  空気の誘電率）の関係に従っている。本明細書で使用する場合、数学的演算子 $*$ は、ほぼ等しいことを意味する

10

20

30

40

50

。

## 【0008】

実施形態は、N個のポリュームを備える誘電体材料の複数ポリュームを有するDRAを含み、Nは3以上の整数であり、誘電体材料の複数ポリュームは、連続および順次積層ポリューム $V(i)$ を形成するように配置され、 $i$ は1からNの整数であり、ポリューム $V(1)$ は最内ポリュームを形成し、後続のポリューム $V(i+1)$ は、ポリューム $V(i)$ 上に配置され少なくとも部分的にポリューム $V(i)$ を埋め込む積層シェルを形成し、ポリューム $V(N)$ には、ポリューム $V(1)$ から $V(N-1)$ のすべてのポリュームが少なくとも部分的に埋め込まれ、誘電体材料の複数ポリュームの各積層ポリュームは、誘電率 $(i)$ を有し、各層の誘電率およびポリュームは、 $(i) * V(i) \quad C(f)$  ( $C(f)$ は所与周波数における定数であり、 $(1) * V(1)$ を除く、なお $(1)$ 空気の誘電率)の関係に従っている。

10

## 【0009】

実施形態は、 $x$ および $y$ が整数である $x * y$ アレイパターンによって配置された、上記DRAの説明のいずれかに記載の複数のDRAを有するDRAアレイを含む。

実施形態は、上記DRAの説明のいずれかに記載のDRA素子またはDRA素子のアレイを製造するための方法を含み、方法は、誘電体材料の複数ポリュームのうちの少なくとも1つ、または、誘電体材料のすべてのポリュームを成形することを含む。

## 【0010】

実施形態は、上記DRAの説明のいずれかに記載のDRAまたはDRAのアレイを製造するための方法を含み、方法は、誘電体材料の複数ポリュームを提供するために、予め設定されたパターンで誘電体組成物を含む複数の溶融層を形成することを含む。

20

## 【0011】

実施形態は、上記DRAの説明のいずれかに記載のDRAまたはDRAのアレイを製造するための方法を含み、方法は、第1誘電率を有する第1誘電体材料から誘電体材料の複数ポリュームの第1ポリュームを形成すること、および、第2誘電率を有する第2誘電体材料で誘電体材料の複数ポリュームの第2ポリュームを提供するために第1ポリュームの表面に誘電体組成物を塗布することを含む。

## 【0012】

添付の図面を考慮した場合、上記の特徴および利点ならびに他の特徴および利点が、以下の詳細な説明から容易に明らかである。

30

同様の要素が添付図面にて同様に番号付けされる例示の非限定的な図面を参照する。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0013】

【図1A】実施形態に係るDRAのブロック図の側面図。

【図1B】図1AのDRAに関連付けられたフィールド放射パターンを示す図。

【図1C】図1AのDRAに関連付けられたリターンロスのグラフを示す図。

【図2A】実施形態に係る別のDRAのブロック図の側面図。

【図2B】図2AのDRAに関連付けられたフィールド放射パターンを示す図。

【図2C】図2AのDRAに関連付けられたリターンロスのグラフを示す図。

40

【図2D】図2Bのフィールド放射パターンの仰角平面における利得を示す図。

【図3A】図1Aに示したDRAを図2Aに示したDRAへと修正する工程ごとの概念的修正を示す図。

【図3B】図1Aに示したDRAを図2Aに示したDRAへと修正する工程ごとの概念的修正を示す図。

【図3C】図1Aに示したDRAを図2Aに示したDRAへと修正する工程ごとの概念的修正を示す図。

【図3D】図1Aに示したDRAを図2Aに示したDRAへと修正する工程ごとの概念的修正を示す図。

【図3E】図1Aに示したDRAを図2Aに示したDRAへと修正する工程ごとの概念的

50

修正を示す図。

【図 3 F】図 1 A に示した D R A を図 2 A に示した D R A へと修正する工程ごとの概念的修正を示す図。

【図 3 G】図 1 A に示した D R A を図 2 A に示した D R A へと修正する工程ごとの概念的修正を示す図。

【図 4 A】実施形態に係る別の D R A のブロック図の側面図。

【図 4 B】図 4 A の D R A のブロック図のトップダウンフットプリント図を示す図。

【図 5 A】実施形態に係る別の D R A のブロック図の側面図。

【図 5 B】図 5 A の D R A のブロック図のトップダウンフットプリント図を示す図。

【図 6 A】実施形態に係る別の D R A のブロック図の側面図。

10

【図 6 B】図 6 A の D R A のブロック図のトップダウンフットプリント図を示す図。

【図 7 A】実施形態に係る別の D R A のブロック図の側面図。

【図 7 B】図 7 A の D R A のブロック図のトップダウンフットプリント図を示す図。

【図 8 A】実施形態に係る別の D R A のブロック図の側面図。

【図 8 B】図 8 A の D R A に関連付けられたフィールド放射パターンを示す図。

【図 8 C】図 8 A の D R A に関連付けられたリターンロスのグラフを示す図。

【図 9 A】実施形態に係る別の D R A のブロック図の側面図を示す図。

【図 9 B】図 9 A の D R A のブロック図のトップダウンフットプリント図を示す図。

【図 10 A】実施形態に係る別の D R A のブロック図の側面図を示す図。

【図 10 B】図 10 A の D R A のブロック図のトップダウンフットプリント図を示す図。

20

【図 10 C】図 10 A の D R A に関連付けられたフィールド放射パターンを示す図。

【図 10 D】図 10 C のフィールド放射パターンの仰角平面における利得を示す図。

【図 10 E】図 10 A の D R A に関連付けられたリターンロスのグラフを示す図。

【図 10 F】図 10 A のものと同様であるが、実施形態に従って異なる動作周波数範囲にチューニングされた D R A に関連付けられたリターンロスのグラフを示す図。

【図 11 A】実施形態に係る D R A を採用する  $2 \times 2$  アレイのブロック図の斜視図。

【図 11 B】図 11 A のアレイに関連付けられたフィールド放射パターンを示す図。

【図 12 A】実施形態に係る、電気経路およびその電気経路長を示す誘電体材料の複数の積層ボリュームの技術者レンダリングのブロック図の側面図。

【図 12 B】狭帯域応答を示す減結合共振を示す図。

30

【図 12 C】実施形態に係る広帯域応答を示す結合共振を示す図。

【図 13 A】実施形態に係る別の D R A のブロック図の側面図。

【図 13 B】図 13 A の D R A のブロック図のトップダウンフットプリント図を示す図。

【図 13 C】図 13 A の D R A の中央部分の拡大図。

【図 13 D】図 13 A の D R A に関連付けられたフィールド放射パターンを示す図。

【図 13 E】図 13 D のフィールド放射パターンの仰角平面における利得を示す図。

【図 13 F】図 13 A の D R A に関連付けられたリターンロスのグラフを示す図。

【図 14 A】図 13 A に示したものと同様であるが、異なる寸法のフェンスを有する D R A のブロック図の側面図。

【図 14 B】図 14 A の D R A についての仰角平面における利得を示す図。

40

【図 15 A】図 13 A および図 14 A に示されたものと同様であるが、異なる寸法のフェンスを有する別の D R A のブロック図の側面図。

【図 15 B】図 15 A の D R A についての仰角平面における利得を示す図。

【図 16】近接場における放射モード基本幾何学電気経路を示す例示の D R A のモデルのブロック図の側面図。

【図 17】関連放射モード幾何学電気経路を示す例示の円筒形または矩形 D R A のモデルのブロック図の側面図。

【図 18】関連放射モード幾何学電気経路を示す例示の半球 D R A のモデルのブロック図の側面図。

【図 19】図 18 のものと同様であるが、2つの誘電体材料を有し、関連放射モード幾何

50

学電気経路を示す例示の半球DRAのモデルのブロック図の側面図。

【図20】図19のものと同様であるが、楕円形状の中央領域を有し、関連放射モード幾何学電気経路を示す例示の半球DRAのモデルのブロック図の側面図。

【図21A】純粋TE放射モード、純粋TM放射モードならびにTEおよびTM放射モードの組合せについての遠方場エネルギー分布のトポロジー構造およびホモトピー群の技術的描画を示す図。

【図21B】純粋TE放射モード、純粋TM放射モードならびにTEおよびTM放射モードの組合せについての遠方場エネルギー分布のトポロジー構造およびホモトピー群の技術的描画を示す図。

【図21C】純粋TE放射モード、純粋TM放射モードならびにTEおよびTM放射モードの組合せについての遠方場エネルギー分布のトポロジー構造およびホモトピー群の技術的描画を示す図。

10

【図22A】図21A、図21Bおよび図21Cのホモトピー群を示す図。その上に重ねられた曲線ファミリーを有する。

【図22B】図21A、図21Bおよび図21Cのホモトピー群を示す図。その上に重ねられた曲線ファミリーを有する。

【図22C】図21A、図21Bおよび図21Cのホモトピー群を示す図。その上に重ねられた曲線ファミリーを有する。

【図23A】図17のDRAを示す図。接地構造体および接地フェンスを有する。

【図23B】図20のDRAを示す図。接地構造体および接地フェンスを有する。

20

【図24A】接地構造体上のスタック円筒形DRAのモデルを示す図。

【図24B】接地構造体上の三層横方向シフト半球DRAのモデルを示す図。

【図25】図24Aおよび図24Bのモデルについての、得られるTEおよびTM放射モードならびにそれぞれの利得およびボアサイトを示す図。

【図26A】図24Aおよび図24Bのモデルについての得られた放射パターンを示す図。

【図26B】図24Aおよび図24Bのモデルについての得られた放射パターンを示す図。

【図27A】フェンス有りおよび無しの図24Bのモデルについての得られたリターンロスおよび利得を示す図。

30

【図27B】フェンス有りおよび無しの図24Bのモデルについての得られたリターンロスおよび利得を示す図。

【図28】図24Aのモデルだが、フェンスを有するものについての得られたリターンロスおよび利得を示す図。

【図29】実施形態に係る材料の付属ポリウムV(A)を有する代替DRAを示す図。

【図30A】実施形態に係る位置合わせ機構を有する代替DRAを示す図。

【図30B】実施形態に係る位置合わせ機構を有する代替DRAを示す図。

【図31】実施形態に係る追加のTMモード抑制機構を有する代替DRAを示す図。

【図32】実施形態に係るスケーリングされたDRAを示す図。

【図32A】実施形態に係るスケーリングされたDRAを示す図。

40

【図33】実施形態に係るスケーリングされたDRAを示す図。

【図33A】実施形態に係るスケーリングされたDRAを示す図。

【図34】実施形態に係るスケーリングされたDRAを示す図。

【図34A】実施形態に係るスケーリングされたDRAを示す図。

【発明を実施するための形態】

【0014】

本明細書に開示された実施形態は、広帯域誘電体共振器アンテナ(DRA)アレイを構築するために有用な異なる構成を含み、その異なる構成は、異なる厚さ、異なる誘電率、または、異なる厚さおよび異なる誘電率の両方を有する誘電体層の共通構造を採用する。特定形状の多層DRAは、各層について選択された誘電率に依存する。各多層シェルは、

50

例えば、円筒形、楕円形、卵形、ドーム形または半球形であり得、または、本明細書に開示された目的に適した任意の他の形状であり得る。コアにおける第1相対極小値から、コアおよび外層間では相対極大値へ、そして、外層において第2相対極小値へと戻すよう、異なる積層シェル上で誘電率を変化させることによって、広帯域幅（例えば50%超）を達成することができる。シフトシェル構成を採用することにより、または、積層シェルに非対称構造を採用することにより、バランスのとれた利得を達成することができる。各DRAは、非常に広い帯域幅を達成するために、垂直線延長を伴う同軸ケーブルであり得る信号フィードを介して、または、DRAの対称性に応じて異なる長さおよび形状の導電性ループを介して、または、マイクロストリップ、導波路もしくは表面集積導波路を介して、給電される。本明細書に開示されたDRAの構造は、圧縮もしくは射出成形、三次元印刷などの三次元材料堆積プロセス、または、本明細書に開示された目的に適した任意の他の製造プロセスなどの方法を用いて製造され得る。

10

#### 【0015】

本明細書に開示されたDRAのいくつかの実施形態は、広帯域および高利得が所望されるマイクロ波およびミリ波用途における使用に、マイクロ波およびミリ波用途におけるパッチアンテナアレイの交換に、10から20GHzレーダ用途における使用に、または、バックホール用途ならびに77GHz放射器およびアレイにおける使用に、適している。異なる実施形態が、本明細書に提供されるいくつかの図面を参照して説明されるであろう。しかし、ある実施形態で見られるものの、別の実施形態では見られない特徴、例えば以下に詳細に説明されるフェンスなどが、他の実施形態で採用され得ることは、本明細書の

20

#### 【0016】

一般に、DRAのファミリーが本明細書に記載され、各ファミリーメンバーは、導電性接地構造体上に配置された誘電体材料の複数ボリュームを備える。複数ボリュームのうちの各ボリューム $V(i)$  ( $i = 1$  から  $N$  であり、 $i$  および  $N$  は整数であり、 $N$  はボリュームの合計数を示す) は、以前のボリューム上に配置され少なくとも部分的に以前のボリュームを埋め込む積層シェルとして構成され、 $V(1)$  は、最内層/ボリュームであり、 $V(N)$  は、最外層/ボリュームである。実施形態において、積層シェル $V(i > 1)$  から  $V(N)$  のうちの1つ以上などの下にあるボリュームを埋め込む積層シェルには例えば、下にあるボリュームが100%完全に埋め込まれている。しかし、別の実施形態では、下にあるボリュームを埋め込む積層シェル $V(i > 1)$  から  $V(N)$  のうちの1つ以上には、意図的に、下にあるボリュームが少なくとも部分的にのみ埋め込まれ得る。下にあるボリュームを埋め込む積層シェルがそのように100%完全に埋め込む本明細書に記載のこれらの実施形態では、このような埋め込みがまた、製造またはプロセス変形例に起因して、それが意図的であるか否かにかかわらず、または、1つ以上の意図的な空隙または穴を含むことに起因してさえ、上にある誘電体層中に存在し得る微小空隙を包含することが理解されるであろう。このように、100%完全にという用語は、ほぼ完全に100%を意味すると最良に理解される。本明細書に記載の実施形態は、 $N$  を奇数として示しているが、本発明の範囲はそのように限定されないことが企図されており、つまり、 $N$  が偶数であり得ることが企図される。本明細書に記載および図示されているように、 $N$  は3以上である。誘電体材料の複数ボリュームのうちの直接隣接する（すなわち密接接触する）ものの誘電率 $(\epsilon_i)$  は、層ごとに異なり、一連のボリュームにおいて、 $i = 1$  における第1相対極小値から、 $i = 2$  から  $i = (N - 1)$  における相対極大値に、そして、 $i = N$  における第2相対極小値に戻る範囲にわたる。実施形態では、第1相対極小値は、第2相対極小値に等しい。別の実施形態では、第1相対極小値は、第2相対極小値とは異なる。別の実施形態では、第1相対極小値は、第2相対極小値未満である。例えば、5層 ( $N = 5$ ) を有する非限定的な実施形態では、誘電体材料の複数ボリュームの誘電率 ( $i = 1$  から 5) は、 $\epsilon_1 = 2$ 、 $\epsilon_2 = 9$ 、 $\epsilon_3 = 13$ 、 $\epsilon_4 = 9$  および  $\epsilon_5 = 2$  であり得る。しかし、本発明の実施形態が、これらの正確な誘電率の値に限定されず、本明細書に開示された目的に適した任意の誘電率を包含することが理解されるであろう。DRAの励起は、誘電体材

30

40

50

料の複数ボリュームのうちの1つ以上に電磁的に結合された、例えば銅線、同軸ケーブル、マイクロストリップ、導波路、表面集積導波路または導電性インクなどの信号フィードによって提供される。DRAに直接、埋め込まれているこれらの信号フィードでは、信号フィードは、誘電体材料の複数ボリュームのうちの1つへと接地構造体内の開口部を介して、接地構造体に電氣的に接触せずに、接地構造体を通過する。本明細書で使用される場合、誘電体材料への言及は、約1標準大気圧(1気圧)および温度(20 )での比誘電率( $\epsilon_r$ )を有する空気を含む。このように、ボリュームV(1)またはボリュームV(N)などの本明細書に開示された誘電体材料の複数ボリュームのうちの1つ以上は、非限定的に例示するように空気であり得る。

【0017】

10

以下でより詳細に議論される、超広帯域ホイップアンテナを形成するDRAの実施形態では、フィード線は、最内層V(1)に電磁的に結合される。また以下でより詳細に説明される広帯域の上半分空間アンテナを形成するDRAの実施形態では、フィード線は、限定されないが例えばV(2)などの、最内層以外の層に電磁的に結合される。

【0018】

フットプリントの2D形状、ボリュームの三次元形状、所与の複数ボリュームのうちの別のボリュームに対する1つのボリュームの対称または非対称、および、積層シェル of 最外ボリュームを取り囲む材料の有無などの、積層ボリュームへの他の変形が、所望の結果を達成するために利得または帯域幅をさらに調整するために採用され得る。上記の一般的説明と一致する、DRAのファミリーの一部であるいくつかの実施形態について、本明細書で提供されるいくつかの図面を参照しながら以下に説明する。

20

【0019】

図1Aは、導電性接地構造体102、および、N個のボリュームを含む接地構造体102上に配置された誘電体材料の複数ボリューム104を有する実施形態に従ったホイップ型DRA100の側面図を示し、Nは3以上の整数であり、誘電体材料の複数ボリューム104は、連続および順次積層ボリュームV(i)を形成するように配置され、iは1からNの整数であり、ボリュームV(1)は最内ボリューム104.1を形成し、後続のボリュームV(i+1)は、ボリュームV(i)上に配置されボリュームV(i)を埋め込む積層シェル104.2、104.3、104.4を形成し、ボリュームV(N)は、ボリュームV(1)からV(N-1)のすべてのボリュームを埋め込む外側ボリューム104.5を形成する。図1Aの実施形態に見られるように、N=5である。しかし、本発明の範囲は、N=5に限定されないことが理解されるであろう。実施形態において、層数Nは、例えば数百、数千または数万とすることができる。

30

【0020】

本明細書で使用されるように、接地構造体という用語は、接地面であることが当技術分野で知られている。しかし、接地面は、事実上、形状が平面であり得るが、形状が非平面でもあり得ることが理解されるであろう。このように、接地構造体という用語は、平面および非平面電気接地の両方を包含することが意図される。

【0021】

誘電体材料の複数ボリューム104の直接隣接ボリュームは、異なる誘電率値を有し、これは、ボリュームV(1)における相対極小値から、ボリュームV(2)からボリュームV(N-1)の1つにおける相対極大値に、そしてボリュームV(N)における相対極小値に戻る範囲にわたる。比誘電率の値は、以下でさらに議論される。

40

【0022】

実施形態では、誘電体材料の複数ボリューム104の直接隣接ボリュームは、異なる誘電率値を有し、これは、ボリュームV(1)における相対極小値から、ボリュームV((N+1)/2)における相対極大値に、そして、V(N)における相対極小値に戻る範囲にわたり、Nは奇数の整数である。

【0023】

図1Aの実施形態では、信号フィード106は、接地構造体102と電氣的に接触せず

50

に、接地構造体 102 の開口部 108 内に配置され、信号フィード 106 は、誘電体材料複数ボリュームのうちの 1 つ内に完全に配置され、そこに電磁的に結合される。図 1 A の実施形態において、信号フィード 106 は、誘電体材料の第 1 ボリューム  $V(1)$  104 . 1 内に完全に配置され、誘電体材料の第 1 ボリューム  $V(1)$  104 . 1 に電磁的に結合されている。実施形態では、誘電体材料の複数ボリュームのうちの各ボリューム 104 . 1 から 104 . 5 は、信号フィード 106 の長手方向軸 107 (例えば、図 1 B に示される  $z$  軸を参照) に対して平行に、かつ、それに対して中央配置される中央長手方向軸 105 を有しており、信号フィード 107 の長手方向軸は、接地構造体 102 に垂直である。本明細書で使用される場合、接地構造体に垂直という表現は、接地構造体を電氣的に均等な平面接地構造体を有すると解釈することができ、信号フィードが電氣的に均等な平面接地構造体に垂直に配置される構造的配置を担うことを意図する。

10

#### 【0024】

図 1 A に示す DRA 100 は、図 1 B に示すように、広帯域無指向性ドーナツ状直線偏光放射パターン 110 を生成し、これは、図 1 C に示すように、帯域幅および 3 dB の利得を有する。本明細書で使用される場合、「dB」という用語は、国際的に認識されている用語「等方性放射器に対するデシベル dB<sub>i</sub>」を意味する。図 1 A に示す分析的にモデル化された実施形態では、DRA 100 の誘電体材料の複数ボリューム 104 は、8 mm の高さを有し、円形の断面を有する円筒形状である。しかし、本明細書に開示される本発明の範囲内に留まったまま、例えば異なる高さまたは楕円形断面を有する DRA などの他の寸法および断面形状が、所望の放射パターンを達成するために採用され得ることが理解されるであろう。

20

#### 【0025】

図 2 A は、導電性接地構造体 202、および、N 個のボリュームを含む接地構造体 202 上に配置された誘電体材料の複数ボリューム 204 を有する実施形態に係る積層 DRA 200 の側面図を示し、N は 3 以上の整数であり、誘電体材料の複数ボリューム 204 は、連続および順次積層ボリューム  $V(i)$  を形成するように配置され、 $i$  は 1 から N の整数であり、ボリューム  $V(1)$  は最内ボリューム 204 . 1 を形成し、後続のボリューム  $V(i+1)$  は、ボリューム  $V(i)$  上に配置されボリューム  $V(i)$  を埋め込む積層シェル 204 . 2、204 . 3、204 . 4 を形成し、ボリューム  $V(N)$  は、ボリューム  $V(1)$  から  $V(N-1)$  のすべてのボリュームを埋め込む外側ボリューム 204 . 5 を形成する。図 2 A の実施形態に見られるように、 $N=5$  である。しかし、本発明の範囲は、既に上述したように、 $N=5$  に限定されないことが理解されるであろう。

30

#### 【0026】

誘電体材料の複数ボリューム 204 の直接隣接ボリュームは、異なる誘電率値を有し、これは、ボリューム  $V(1)$  における相対極小値から、ボリューム  $V(2)$  から  $V(N-1)$  の 1 つにおける相対極大値に、そしてボリューム  $V(N)$  における相対極小値に戻る範囲にわたる。例示の誘電率の値は、以下でさらに議論される。

#### 【0027】

信号フィード 206 は、接地構造体 202 と電氣的に接触せずに、接地構造体 202 の開口部 208 内に配置され、信号フィード 206 は、誘電体材料の第 1 ボリューム  $V(1)$  204 . 1 以外の誘電体材料の複数ボリュームのうちの 1 つ内に完全に配置され、そこに電磁的に結合される。図 2 A の実施形態において、信号フィード 206 は、誘電体材料の第 2 ボリューム  $V(2)$  204 . 2 内に完全に配置され、そこに電磁的に結合されている。

40

#### 【0028】

図 2 A およびさらに以下に説明される図 4 A に示されるように、実施形態に係る DRA は、互いに対して中央配置された誘電体材料の複数ボリューム 204 を含む。すなわち、誘電体材料の複数ボリューム 204 の各ボリュームは、互いに共存して接地構造体 202 に垂直である中央長手方向軸 205 を有する。

#### 【0029】

50

別の実施形態に係る D R A は、さらに後述する図 5 A に示すように、誘電体材料の複数ボリュームを含み、これは互いに同一の横方向に中央でシフトされる。

図 2 A に示す D R A 2 0 0 は、図 2 B および図 2 D に示すように、ほぼ 7 d B の利得で広帯域無指向性の上半分空間直線偏光放射パターン 2 1 0 を生成し、これは図 2 C に示すように - 1 0 d B で約 5 0 % の帯域幅および - 2 0 d B で約 2 5 % の帯域幅を有する。図 1 A および図 2 A、ならびに、図 1 B および図 2 B を比較することによって分かるように、異なる励起位置で異なる誘電体材料の同様に配置された積層シェルを使用すると、実質的に異なる放射パターンが生成される。構造的特徴およびこのような違いとなるその変化について、図 3 A から図 3 G を参照して説明する。

#### 【 0 0 3 0 】

図 3 A は、図 1 A に示すように D R A 1 0 0 を示し、図 3 G は、図 2 A に示すように D R A 2 0 0 を示す。図 3 B から図 3 F は、D R A 1 0 0 を D R A 2 0 0 へと修正するために取り得る概念ステップを示し、D R A 1 0 0 および 2 0 0 の両方は、上述した誘電率  $\epsilon_1 = 2$ 、 $\epsilon_2 = 9$ 、 $\epsilon_3 = 13$ 、 $\epsilon_4 = 9$  および  $\epsilon_5 = 2$  を有する誘電体材料の 5 層シェルを有する。例えば図 3 B では、修正 D R A 3 0 0 . 1 は、D R A 1 0 0 のランチャー部分 1 1 2 と構造的に同様のランチャー部分 3 0 2 . 1 を有するが、D R A 1 0 0 の導波路部分 1 1 4 に対して修正された導波路部分 3 0 4 . 1 を有している。図 3 B に示すように導波路部分 3 0 4 . 1 を修正することにより、フィールド線 3 0 6 . 1 は、D R A 1 0 0 のものに対して曲げられており、これは、混合対称性および混合偏光を生成するために放射パターンモードを修正する。図 3 C において、導波路部分 3 0 4 . 2 は、さらなる混合対称性、混合パターンモードおよび混合直線円偏光を生成するためにフィールド線をさらに曲げるようにさらに修正される。図 3 C の実施形態では、導波路部分 3 0 4 . 2 の曲げにより穴 3 0 6 (例えば、空気)が生じ、その中に埋め込まれた穴 3 0 6 を有する誘電体材料の 9 つの積層シェルを構造が有するようになる。図 3 D に示すように、接地構造体 3 0 8 に結合された導波路部分 3 0 4 . 3 の半ループを完成させることによって、放射パターンの直線偏光が生じる。図 3 D の実施形態において、穴 3 0 6 は、完全に誘電体材料の 9 つの積層シェルで囲まれている。図 3 E において、中央穴 3 0 6 (図 3 D に示されている)と誘電体材料の 4 つの内部層(図 3 D に示されている)とが除去され、これにより、再び上記の誘電率  $\epsilon_1 = 2$ 、 $\epsilon_2 = 9$ 、 $\epsilon_3 = 13$ 、 $\epsilon_4 = 9$  および  $\epsilon_5 = 2$  を有する誘電体材料の 5 層シェルを有する D R A 3 0 0 . 4 が作成される。しかし、D R A 1 0 0 とは反対に、D R A 3 0 0 . 4 は、誘電体材料の積層シェルに対してもはや中央配置されない信号フィード 3 1 0 を有している。図 3 E の実施形態は、直線偏光であるが、非対称な放射パターンを伴う拡張された帯域幅をもたらす。図 3 F に示すように、第 2 シェル V ( 2 ) に信号フィード 3 1 0 を配置することによって、放射パターンのより良好な整合および改善された対称性がもたらされる。図 3 G は、D R A 2 0 0 の構造に到達するために誘電体材料の積層シェルの比率を修正する最終的な変換ステップを示し、これは、図 2 B に示すように、広帯域無指向性の上半分空間直線偏光放射パターンを有する多層 D R A 設計をもたらす。

#### 【 0 0 3 1 】

上記から分かるように、誘電体材料の積層シェルの構成および積層シェル内の信号フィードの配置への変形により、所与の D R A についての実質的に異なる調整された放射パターンをもたらすことができる。本発明の範囲内の D R A の他の実施形態について、図 4 から図 1 2 を参照して以下に説明する。

#### 【 0 0 3 2 】

図 4 A および図 4 B は、D R A 2 0 0 と同様の D R A 4 0 0 を示すが、5 つとは違って誘電体材料の 3 層シェルを有している。D R A 2 0 0 と同様に、D R A 4 0 0 は、接地構造体 4 0 2 上に配置された誘電体材料の複数ボリューム 4 0 4 を伴う接地構造体 4 0 2 を有している。図 4 A および図 4 B に示された非限定的な実施形態では、第 1 ボリューム V ( 1 ) 4 0 4 . 1 は誘電率  $\epsilon_1 = 2$  . 1 を有し、第 2 ボリューム V ( 2 ) 4 0 4 . 2 は誘電率  $\epsilon_2 = 9$  を有し、第 3 ボリューム V ( 3 ) 4 0 4 . 3 は誘電率  $\epsilon_{13} = 13$  を有する

10

20

30

40

50



。図 2 A の実施形態と同様に、図 4 A の実施形態は、第 2 ボリューム V ( 2 ) 4 0 4 . 2 内に完全に配置された信号フィード 4 0 6 を有している。また図 2 A の実施形態と同様に、図 4 A の実施形態は、互いに共存して接地構造体 4 0 2 に垂直に配向された各ボリュームの各中央長手方向軸 4 0 5 につき、互いに中央配置された誘電体材料の複数ボリューム 4 0 4 を有する。図 4 B に示すように、誘電体材料の複数ボリューム 4 0 4 は、楕円形の断面形状を有し、これは、本明細書に開示された他の実施形態が楕円形以外の断面形状を有するので非限定的であるが、異なる放射パターンを実現するように異なる形状の使用を単に例示することが意図されている。図 4 A および図 4 B に示された分析的にモデル化された実施形態では、D R A 4 0 0 の誘電体材料の複数ボリューム 4 0 4 は、5 . 4 mm の高さおよび 7 . 2 mm の楕円の長手方向軸に沿う外側寸法を有する。

10

#### 【 0 0 3 3 】

図 5 A および図 5 B は、D R A 4 0 0 と同様の D R A 5 0 0 を示すが、誘電体材料の複数ボリューム 5 0 4 のうちの各ボリューム ( 積層シェル 5 0 4 . 1、5 0 4 . 2、5 0 4 . 3 ) は、互いに対して平行であり、かつ、互いに対して同じ横方向に中央で横シフトされる中央長手方向軸 5 0 5 . 1、5 0 5 . 2、5 0 5 . 3 を有しており、接地構造体 5 0 2 に結合され、信号フィード 5 0 6 が第 2 ボリューム V ( 2 ) 5 0 4 . 2 内に配置され、各長手方向軸 5 0 5 . 1 から 5 0 5 . 3 は、接地構造体 5 0 2 に垂直である。シェルをシフトすることにより、z 軸周りのよりバランスのとれた利得を達成することができる。利得のバランスをとることによって、単一 D R A の利得は、放射パターンにおける近接場球対称性で 8 d B に近づくことができると企図される。

20

#### 【 0 0 3 4 】

図 6 A および図 6 B は、D R A 4 0 0 と同様の D R A 6 0 0 を示すが、誘電体材料の複数ボリューム 6 0 4 ( 積層シェル 6 0 4 . 1、6 0 4 . 2、6 0 4 . 3 ) は、例えば 1 から 3 の間の誘電率を有する誘電体材料などの容器 6 1 6 内に埋め込まれており、誘電体材料の複数ボリューム 6 0 4 の各ボリュームは、互いに対して平行であり、かつ、中央配置される中央長手方向軸 6 0 5 を有しており、誘電体材料の複数ボリューム 6 0 4 は、容器 6 1 6 の中央長手方向軸 6 1 7 に対して横方向に中央でシフトされ、第 2 ボリューム V ( 2 ) 6 0 4 . 2 内に配置された信号フィード 6 0 6 で接地構造体 6 0 2 に結合されている。容器 6 1 6 の中央長手方向軸 6 1 7 は、接地構造体 6 0 2 に垂直、かつ、複数のボリュームの誘電体材料 6 0 4 の各ボリュームの中央長手方向軸 6 0 5 と平行に配置される。誘電体材料の複数ボリュームが互いに対して中央配置され、かつ、容器に対して横方向に中央でシフトされるこのような構成は、所望のバランスのとれた利得を達成するための別の方法である。図 6 A および図 6 B に示す分析的にモデル化された実施形態では、D R A 6 0 0 の誘電体材料の複数ボリューム 6 0 4 は、8 mm の楕円の長手方向軸に沿う外側寸法を有し、容器 6 1 6 は、1 6 mm のフットプリント直径を有する。

30

#### 【 0 0 3 5 】

図 6 A および図 6 B を参照して、実施形態において、誘電体材料の複数ボリューム 6 0 4 が、誘電体材料の複数ボリューム 6 0 4 の正反対側に信号フィード 6 0 6 から延びる第 1 方向を有する第 1 幾何学経路をその中に画定し、第 1 幾何学経路の第 1 方向と直交する第 2 方向を有する第 2 幾何学経路をその中に画定し、第 2 幾何学経路が誘電体材料の複数ボリューム 6 0 4 の楕円形状のために第 1 幾何学経路の実効誘電率未満である実効誘電率を有することを言及することは注目に値する。第 1 幾何学経路に沿う実効誘電率よりも小さくなるよう第 2 幾何学経路に沿う実効誘電率を調整することにより、電界線についての主要経路は、( 楕円の長軸方向にて信号フィードから正反対側に向かう ) 好ましい第 1 幾何学経路に沿うことになり、得られた D R A 6 0 0 は、第 1 幾何学経路に沿って好ましい T E モード放射を提供し、( 楕円の短軸方向にて第 1 幾何学経路に直交する ) 好ましくない第 2 幾何学経路に沿って好ましくない T E モード放射の抑制を提供し、電界線についての好ましくない第 2 幾何学経路は、主要な第 1 幾何学経路に直交する方向となる。そして、本明細書のすべての開示から、本明細書において上述したように第 2 幾何学経路に沿う実効誘電率を第 1 幾何学経路に沿うものよりも小さく調整することが、採用される信号フ

40

50

ィードの種類とは無関係であろうことが理解されるであろう。

【 0 0 3 6 】

実際問題として、D R A 1 0 0、2 0 0、4 0 0および5 0 0に関して本明細書で論じた誘電体材料の積層ポリウムはまた、各容器 1 1 6、2 1 6、4 1 6および5 1 6内に埋め込まれ得、本明細書に開示された目的のために本明細書に開示された方法で、関連する容器に対して中央配置または横シフトのいずれかとすることができる。任意およびすべてのこのような組合せは、本明細書に開示された発明の範囲内であると考えられる。

【 0 0 3 7 】

容器 1 1 6、または、他の図を参照して本明細書に開示される任意の他に列挙された容器は、いくつかの例では、最外ポリウム V ( N ) であり得ることは上記から理解され、容器という用語および最外ポリウム V ( N ) という用語は、本明細書に開示された様々な誘電体材料の複数ポリウム間の幾何学関係をより具体的に説明するために使用される。

【 0 0 3 8 】

所望のバランスのとれた利得を達成するための別の方法は、図 7 A および図 7 B に示され、これらは、接地構造体 7 0 2 上に配置され 1 から 3 の間の誘電率を有する硬化樹脂からなる容器 7 1 6 を含む D R A 7 0 0 を示し、誘電体材料の複数ポリウム 7 0 4 ( 積層シェル 7 0 4 . 1、7 0 4 . 2、7 0 4 . 3 ) は、第 2 ポリウム V ( 2 ) 7 0 4 . 2 内に配置された信号フィード 7 0 6 を伴って容器 7 1 6 内に埋め込まれ、誘電体材料の複数ポリウム 7 0 4 の各ポリウムは、互いに対して中央配置され容器 7 1 6 の長手方向軸 7 1 7 に対して中央配置された中央長手方向軸 7 0 5 を有し、誘電体材料の複数ポリウム 7 0 4 の外側ポリウム V ( 3 ) 7 0 4 . 3 は、傾斜頂部 7 1 8 および平坦頂部 7 2 0 によって表されるように非対称形状を有しており、これは、所望のバランスのとれた利得を生成するために放出された放射パターンを整形するように機能する。容器 7 1 6 の中央長手方向軸 7 1 7 は、接地構造体 7 0 2 に垂直かつ誘電体材料の複数ポリウム 7 0 4 の各ポリウムの中央長手方向軸 7 0 5 に平行に配置されている。外側ポリウム V ( 3 ) 7 0 4 . 3 のみが非対称形状を有するように示されているが、他の層もまた、非対称形状に形成され得ることが理解されるであろう。しかし、出願人は、単に外層 V ( N ) における非対称形状の形成が、所望のバランスのとれた利得を達成するために放射パターンを変更するのに十分であることを分析モデリングにより発見した。

【 0 0 3 9 】

図 1 A に示すホイップ型 D R A の変形例が図 8 A に示され、そこでは D R A 8 0 0 が示され、誘電体材料の複数ポリウム 8 0 4 の各ポリウム ( 積層シェル 8 0 4 . 1、8 0 4 . 2、8 0 4 . 3 ) および埋め込まれた信号フィード 8 0 6 がアーチを形成し、誘電体材料の複数ポリウム 8 0 4 の各アーチ形ポリウムが、接地構造体 8 0 2 上に配置されたその両方の端部 8 0 3、8 0 5 を有し、1 から 3 の間の誘電率を有する容器 8 1 6 内に埋め込まれている。アーチを形成するための誘電体材料の複数ポリウム 8 0 4 および埋め込まれた信号フィード 8 0 6 の曲げにより、例えば 8 mm と比較して 6 mm など、より低い高さが D R A に提供される。このような構成は、磁界に結合するために使用することができ、図 8 B に示すように、放射パターンにおいて良好な利得と良好な対称性を提供するが、図 8 C に示すように、- 1 0 d B において約 1 4 % の狭い帯域幅を有する。

【 0 0 4 0 】

実施形態に係る D R A の他の変形例が、図 9 A および図 9 B に示されている。ここで、D R A 9 0 0 は、半球形状を有する誘電体材料の複数ポリウム 9 0 4 の各ポリウムで構成されており、集合的に半球形状を有する容器 9 1 6 に埋め込まれ、接地構造体 9 0 2 上に配置され、例えば 2 . 1 などの 1 から 3 の間の誘電率を有する硬化樹脂からなる。D R A 9 0 0 の実施形態では、信号フィード 9 0 6 は、誘電体材料 9 0 4 . 1 の第 1 ポリウム V ( 1 ) 内に配置され、それに電磁的に結合され、誘電体材料 9 0 4 . 1 の第 1 ポリウム V ( 1 ) 内にアーチ形成され、第 1 ポリウム V ( 1 ) の天頂軸 9 0 5 から中心ずれして第 1 ポリウム V ( 1 ) 9 0 4 . 1 に入る。図 9 A および図 9 B に示す D R A 9 0

0の実施形態では、誘電体材料904の3つの積層シェルが存在する。実施形態では、第1ポリウムV(1)904.1は、誘電率 $\epsilon_1 = 2.1$ を有し、第2ポリウムV(2)904.2は、誘電率 $\epsilon_2 = 9$ を有し、第3ポリウムV(3)904.3は、誘電率 $\epsilon_3 = 13$ を有する。容器916の比較的低い誘電率は、DRA900の外層上に上述した相対極小値の誘電率を提供するのに役立つ。図9Aおよび図9Bに示すように、誘電体材料の複数ポリウム904の各ポリウムは、互いに対して中央配置されている天頂軸905を有し、誘電体材料の複数ポリウムは、容器916の天頂軸917に対して横方向に中央でシフトされ、これにより再び、バランスのとれた利得を提供する。図9A、図9Bに示す分析的にモデル化された実施形態では、DRA900の誘電体材料の複数ポリウム904は、8.5mmのフットプリント直径を有し、容器916は、15mmのフットプリント直径を有する。

10

#### 【0041】

図8Aおよび図9Aの実施形態のアーチ型信号フィード806および906のため、アーチ型信号フィードを持たないこれらの実施形態の電界とは対照的に、それぞれの各DRA800、900は磁界に結合される。

#### 【0042】

実施形態に係るDRAの別のバージョンを示す、図10Aから図10Fをここで参照する。図10Aおよび図10Bは、上述の実施形態と同様に、第2ポリウムV(2)1004.2で配置された信号フィード1006を有する誘電体材料1004のポリウムの積層シェルを有するDRA1000を示すが、誘電体材料の複数ポリウム1004の各ポリウムは、例えばポリウムV(1)1004.1に関連付けられた軸1005.1などの、そのそれぞれの長手方向軸へと長手方向に向けられた細長いドーム形状を有し、さらに誘電体材料の複数ポリウム1004の周りで円周方向に配置された導電性フェンス1050(導電性電磁波反射器とも本明細書において称され、かつ、当技術分野でそうであるように認識され、本明細書中では単に短縮してフェンスまたは反射器とも称され得る)を備え、フェンス1050は、接地構造体に電氣的に接続されてその一部を形成する。実施形態では、DRA1000は、それぞれの誘電率 $\epsilon_1 = 2$ 、 $\epsilon_2 = 9$ 、 $\epsilon_3 = 13$ 、 $\epsilon_4 = 15$ および $\epsilon_5 = 3$ を有する5層の誘電体材料1004を有する。DRA1000の実施形態では、第1ポリウムV(1)1004.1は、フェンス1050の円周の中心に対して中央配置され、すべての他のポリウムV(2)からV(5)1004.2から1004.5は、(図10A、図10Bの図中左側へと)同じ方向に横シフトされている。異なる誘電率の誘電体材料の積層シェル、ドーム形状、横シフトおよびフェンスの組合せにより、図10Cに示す所望の放射パターン、図10Dに示す7.3dBの実現利得および図10Eに示す所望のリターンロスを有する、実施形態に係る10GHz共振での高利得多層DRAが得られる。図10Aおよび図10Bに示す分析的にモデル化された実施形態では、フェンス1050は、2.5cmの平面図最大直径を有し、最外ポリウムV(5)は、8mmの高さを有する。実施形態では、フェンス/反射器1050は、誘電体材料の複数ポリウム1004の全体的な高さの0.2倍以上かつ3倍以下、または、誘電体材料の複数ポリウム1004の全体的な高さの0.8倍以下の高さを有する。

20

30

#### 【0043】

図10Aに示すように、フェンス1050は、接地構造体1002に対して角度 $\theta$ でz軸に対して外側に傾斜している側壁を有し、これは、フェンス1050の内側境界内の信号共振を抑制するように機能する。実施形態では、角度 $\theta$ は90度以上、かつ、135度以下である。しかし、例えば、上向きで接地構造体1002から外側に湾曲する放物線状の側壁など、フェンス1050の側壁の他の形状が、同一または類似の最終結果のために採用され得ることが、理解されるであろう。さらに、フェンス1050は、ソリッドフェンス、有孔フェンス、メッシュフェンス、離間ポストフェンス、ピア、導電性インクフェンス、または、本明細書に開示された目的に適した任意の他の導電性フェンス構造であり得る。図10Aに示すように、フェンス1050の高さは、信号フィード1006の約1.5倍の高さであるが、しかし、それは所望の放射パターンに依存して、より高くてもま

40

50

たはより低くてもよい。実施形態では、フェンス 1050 の高さは、信号フィード 1006 の高さ以上であり、信号フィード 1006 の 1.5 倍以下の高さである。単位セルまたは単位 / 単数 DRA の場合は、採用される材料の誘電率（本明細書において  $\epsilon_k$  と称される）とともにフェンスの高さおよび角度は、アンテナアスペクト比を定義する。サイズ、帯域幅および利得についての所望の仕様に応じて、異なるアスペクト比を有するアンテナを提供し得る。例えば、フェンスの定義された角度と組合せた比較的高いフェンスは、比較的高い周波数帯域にわたって比較的高い利得を提供するように企図される。フェンス高さおよびフェンス角度の他の組合せは、他の有利なアンテナ性能特性を提供するように企図され、これは、本明細書で提供される開示材料の教示を考慮して容易に解析的にモデル化することができる。

10

#### 【0044】

DRA 1000 の実施形態では、バランスのとれた利得は、例えば図 10C および図 10D を参照すると、平面接地構造体 1002 上に積層ポリウム 1004 のシフトされたシェルを採用することによって達成される。あまりシフトされず、破線 1003 で示すように非平面接地構造体に結合された積層ポリウム 1004 などの他のジオメトリが、同様の結果を提供することが企図され、これにより、（あまりシフトされていないシェルから）フィールド線が曲げられて  $z$  軸周りでより対称となるのに役立つであろう。本明細書に示された実施形態に対する任意のおよびすべてのそのような変形は、本明細書に開示される本発明の範囲内であると考えられる。

#### 【0045】

20

図 10F は、DRA 1000 と同様であるが、1700 から 2700 MHz 動作のためにチューニングされた DRA のリターンロス応答を示している。

異なる周波数で動作する異なる DRA の高さに関して、約 10 GHz で動作するよう構成された DRA は、約 5 から 8 mm の高さを有することができる一方、約 2 GHz で動作するよう構成された DRA は、約 25 から 35 mm の高さを有することができる。実施形態では、図 10A に示す解析モデルは、図 10C に示した放射パターンを生成するために約 20 mm のフェンスの底部直径を有する。

#### 【0046】

ここで図 11A への参照が行われ、これは、実施形態に係る、DRA 600 と同様の 4 つの DRA 1100 . 1、1100 . 2、1100 . 3、1100 . 4（集合的に DRA 1100 と称される）を採用する例示の  $2 \times 2$  アレイ 1099 を示し、図 11B に示すように放射パターンの  $z$  軸に沿った 14.4 dB の利得を生成する。実施形態では、図 11A に示す解析モデルは、図 11B に示す放射パターンを生成するために約 60 mm  $\times$  60 mm の全体的な  $x$  および  $y$  寸法を有する。より具体的には、各 DRA 1100 は、例えば 1 から 3 の間の誘電率を有する誘電体材料などの容器内に埋め込まれている誘電体材料の複数ポリウムを有し、誘電体材料の複数ポリウムは、互いに対して中央配置され、DRA 600 への参照における上述と同様に容器に対して横方向に中央でシフトされている。DRA 1000 に関連して上述したように、各 DRA 1100 は、それぞれの DRA 1100 を取り囲む導電性フェンス 1150 を有している。図 11A に示す解析的にモデル化された実施形態は、図 11B に示す放射パターンを生成し、これにより、 $z = 0$  でまたはおよそ  $z = 0$  で非対称二次ローブ 1160 を有することがわかる。これらの非対称の二次ローブ 1160 は、（容器の円筒形ジオメトリを介して）各円筒形 DRA 1100 を取り囲む矩形フェンス 1150 を有する解析モデルに起因し、円筒 DRA 1100 に関してより均一な対称性を有するフェンスジオメトリを採用することによって、二次ローブ 1160 の低減および実現利得の改善（図 11B では 14.4 dB）を達成し得ることが企図される。

30

40

#### 【0047】

以上から、本明細書に記載のいずれかの DRA または本明細書に記載の実施形態に一致するその任意の変形例からなる任意の数の  $x \times y$  アレイ構成要素を有する他のアレイを構成し得ることが理解されるであろう。例えば、図 11A に示す  $2 \times 2$  アレイ 1099 は、

50

例えば約1フィート×1フィート(30.5cm×30.5cm)以上の全体的なxおよびy寸法を有する128×128以上のアレイ要素を有するアレイに拡張され得る。任意のアレイ1099の全体的な高さは、1mm以上かつ30mm以下とすることができる。本明細書に示されるx, yアレイ1099では、xとyが等しい場合を説明したが、yに等しくないxを有するアレイ構造もまた企図され、本明細書に開示される本発明の範囲内と考えられることが理解されるであろう。このように、図11Aは、本明細書に開示された目的に一致した、任意の数のxおよびyアレイ要素を有する本明細書に開示の任意のDRA素子のアレイ1099を表すために、非限定的な方法で提示されている。さらなる例として、本出願人は、約50dBの得られる合焦方向利得を伴う、32cm×32cmの全体的なxおよびy寸法を有する本明細書に開示されたDRAの128×128のアレイを分析的にモデル化した。任意のxおよびy寸法のこのような組合せは、本明細書に開示された発明の範囲内であると考えられる。

#### 【0048】

ここで図12Aへの参照が行われ、これは、本明細書に開示された誘電体材料のポリュームの他の実施形態と同様に、導電性接地構造体1202上に配置された誘電体材料の複数ポリューム1204の例示の実施形態の技術的レンダリングを示す。図12Aを参照すると、誘電体材料の複数ポリュームの個々の間の共振結合は、互いに直接密接接触で配置されている隣接ポリュームによって説明することができる。例えば、図12Aの実施形態は、誘電体材料V(1)からV(4)1204.1、1204.2、1204.3および1204.4の4つのポリュームを有している。各ポリューム内の破線は信号経路を表し、共振を定義する。所与の経路の電気長は、「優位に」共振周波数を定義する。各共振周波数は、層の厚さを調整することによって微調整することができる。複数の共振システムは、本明細書に開示されるように、 $\pi/2$ の基本共振を定義する、比較的閉じた電気長の結合( $\sim d * \sin^2(kr)$ )によって達成することができる。本明細書で使用されるように、数学的演算子 $\sim$ は、約を意味する。広帯域応答は、本明細書に開示されるように、相対的に最低の誘電率材料(相対的に大きいシェル厚)から相対的に最高の誘電率材料(相対的に最小のシェル厚)への強く結合された電気経路によって達成することができる。図12Bおよび図12Cは、減結合共振が結合されるとき帯域幅の変化を示している。本明細書に開示の実施形態は、マイクロ波およびミリ波用途における広帯域性能について関連付けられたDRAにおいて強く結合された電気経路を生成するために、互いに直接密接接触する積層シェルとして誘電体材料の複数ポリュームを採用することにより、結合共振のこの原理上で動作する。

#### 【0049】

ここで図13Aから図13Fへの参照が行われ、これは、実施形態に係るDRAの別のバージョンを示す。図13Aから図13CはDRA1300を示し、またはその部分を図13Cに示しており、これは、誘電体材料1304のポリュームの積層シェルと、接地構造体1302の下に配置されたマイクロストリップ信号フィード(マイクロストリップ)1306とを、マイクロストリップ1306および接地構造体1302の間に配置された誘電体基板1360とともに有する。図13Aから図13Cの実施形態では、誘電体材料の複数ポリューム1304の各ポリュームは、半球形状を有しており、誘電体材料の複数ポリューム1304の周りに円周方向に配置された導電性フェンス1350を伴い、フェンス1350は、接地構造体1302に電気的に接続されてその一部を形成し、フェンス1050に関して上述されたような構成を有する。実施形態において、DRA1300は、それぞれの誘電率  $\epsilon_1 = 2$ 、 $\epsilon_2 = 9$ 、 $\epsilon_3 = 13$ 、 $\epsilon_4 = 14$  および  $\epsilon_5 = 2$  を有する5層の誘電体材料1304を有する。しかし、本発明の範囲は、5層に限定されず、任意の数の層を含み得る。DRA1300の実施形態では、誘電体材料の複数ポリューム1304の5つのポリュームV(1)からV(5)1304.1から1304.5の各々は、フェンス1350の円周の中心に対して中央配置される。接地構造体1302は、その中に形成されたスロット開口部1362を有し、マイクロストリップ1306およびスロット開口部1362の長さ寸法は、図13Bの平面図に示すように互いに直交して配置さ

れている。実施形態では、スロット開口部は、10ミリメートル(mm)の長さおよび0.6mmの幅を有するが、所望の性能特性に応じて異なる寸法を有し得る。実施形態では、マイクロストリップ1306は、50オームのインピーダンスを有しており、基板1360は、0.1mmの厚さを有している。DRA1300はまた、本明細書では開口部結合マイクロストリップDRAと称される。実施形態では、異なる誘電率の誘電体材料の積層シェル、半球形状、フェンスの組合せは、本明細書において開示されるように、図13Dに示す放射パターン、図13Eに示すような約7.3dBの実現利得、図13Fに示すような30%超の帯域幅をもたらす。異なる層について異なる誘電率および厚さを選択することによって、帯域幅をはるかに大きくすることが企図される。実施形態では、接地構造体1302は、複数のスロット開口部1362を有しており、これは、マイクロストリップ信号フィード1306のために、および、フェンス1350を伴う誘電体材料の複数ボリューム1304の位置合わせのために使用され得る。いくつかの実施形態では、マイクロストリップは、例えば表面集積導波路などの導波路で置換され得る。

10

#### 【0050】

図14Aおよび図15Aは、それぞれDRA1300と同様の構成を有するDRA1400および1500を示し、これらは両方ともマイクロストリップ信号フィードを伴うが、互いに比べておよび図13Aのフェンス1350に比べて、それぞれ、フェンス1450および1550について異なる寸法を有する。3つのDRA1300、1400および1500の間で共通の特徴は、誘電体材料の複数ボリューム1304であり、これらはすべて同じである。図14Aに示す実施形態では、フェンス1450は、25.4mmの平面視最大直径および4mmの高さを有しており、図14Bに示すような5.5dBの実現利得を有するDRA1400をもたらす。図15Aに示す実施形態では、フェンス1550は、30mmの平面視最大直径および6mmの高さを有しており、図15Bに示すような9.5dBの実現利得を有するDRA1500をもたらす。DRA1300、1400および1500について同様の構成を比較することによって理解されるであろうが、各DRAは同じ誘電体材料の複数ボリュームを有するが、異なるフェンス寸法を有し、所望の性能特性を生成するために、フェンスの寸法を調整することによって実現利得(および放射パターン)を変化させてチューニングすることができる。本明細書に記載されるようにフェンスジオメトリを変化させることにより、利得が増加するにつれて、帯域幅が減少し得ることが企図される。

20

30

#### 【0051】

ここで図16から図28への参照が行われ、これは、DRAにおける横電界(TE)モード電気経路および横磁界(TM)モード幾何学経路間の相互作用、および、DRA対称性が全体的なアンテナ性能に果たす役割を示すために使用される。

#### 【0052】

DRAは、TEモードおよびTMモードの観点から理解されて分類される放射モードを有する。あるいは、放射モードは、基本TE磁気双極子およびTM電気双極子との見地で表されて分類されることができる。非放射モードは、対の双極子で表すことができ、放射モードは不對双極子で表すことができる。様々なモードの中で、基本放射 $TE_{01}$ および $TM_{01}$ モードは、DRAの全体的な性能に重要な役割を果たしている。アンテナ帯域幅は、-10dB整合で定義されるインピーダンス(整合)帯域幅、および、所望モードについて3dB利得帯域幅を考慮することにより定義される、まったく異なる可能性のある放射帯域幅を含む。通常、放射帯域幅は、整合帯域幅の一部である。DRA層の対称性は、基本直交放射TEおよびTMモードを考慮するかまたはしないことにより全体的なアンテナ性能において役割を果たす。

40

#### 【0053】

対称性アシスト電気経路に基づく簡易計算は、期待DRA性能に洞察を提供することができる。TEおよびTMモードは、共振器の形状および対称性によって増強または抑制されている幾何学的に異なる経路によって考慮され、トポロジ的にも非常に異なる放射パターンを有している。幾何学電気経路間の差が大きくなれば、TEおよびTM放射モード

50

は周波数においてさらに離れ、それらの好ましい方向における利得がより異なるものとなる。逆に、幾何学経路の間の近接性は、周波数の近接を意味し、アンテナがより指向性でなくなり、TEおよびTM放射性能の両方を低減させる。

#### 【0054】

円筒状および矩形状の積層DRAは、TEおよびTMの幾何学電気経路間の近接を考慮し、これは周波数の近接、および、良好な整合帯域幅を有する可能性があるDRAをもたらすが、それはいずれかのモードでは十分には放射しない。半球積層DRA設計を使用することにより、幾何学経路は、より異なるものとなり、これは、周波数分離およびTEおよびTMの相互作用がより少ないことを意味する。放射パターンはまた、トポロジ的に異なるものとなり、関連する利得はより高く、より小さい整合帯域幅を有し得るが、改善された放射帯域幅および利得を有し得るアンテナがもたらされる。

10

#### 【0055】

本明細書に開示されるようなDRA設計の実施形態は、改善されたTEモード放射性能を有する一方、(TMモードに関連付けられた)垂直経路は、埋め込まれた低誘電率(Dk)材料または空気充填楕円体を介して実質的にまたは完全に抑制される。以下でより詳細に説明される簡略化された計算はまた、約60%でのTE放射帯域幅の上限を提供する。この上限は、TEおよびTMの周波数間で達成可能な最大の分離を示唆している。本明細書で提供される簡略化された計算では、最高比誘電率 $\epsilon_r = 9$ が想定される。しかし、より高いDk材料に進むことにより、放射帯域幅がさらに改善されることが企図される。実施形態では、(対称性の考慮を介して)よりTMモードに影響を与えることにより、空洞の存在がTEおよびTM周波数距離を低減させる傾向があるであろう。以下でより詳細に説明する半経験的な式が、TEおよびTM利得対周波数分離または経路/対称性因子を概ね予測する。

20

#### 【0056】

放射パターンに関して、不對磁気双極子(TEモード)の放射がエンドファイア放射パターンをもたらす一方、不對電気双極子(TMモード)の放射がブロードサイド放射パターンをもたらす。

#### 【0057】

ここで図16への参照が行われ、これは、近接場での幾何学電気基本経路を例示する目的のために導電性接地構造体1602上に配置された例示の半球DRA1600のモデルを示す。中央の垂直矢印1604は、半球DRA1600の外側領域に近い磁場1606と基本フィールド経路1604(中央経路)および1608とを生成するTM放射モード(電気双極子)を表し、アーチ矢印1610は、半球DRA1600の外側領域に近いTE放射モード(磁気双極子)および関連する基本フィールド経路を表す。実施形態の利点は、TMモードを抑制し、TEモードを増幅することによって達成することができ、周波数分離を達成可能にして、したがって、好ましい方向(エンドファイア)への利得を異ならしめ、放射帯域幅を増大させる。

30

#### 【0058】

ここで図17への参照が行われ、これは、高さ「a」および直径「2a」を有する例示の円筒/矩形DRA1700のモデルを示す。TEモードフィールド線は参照符号1702、1704および1706で示され(経路1)、TMモードフィールド線は参照符号1708、1710および1712で示されている(経路2)。電気経路が、 $\lambda/2$ での共振(半波長共振)を定義することを認識することによって、TEモードの半波長共振(経路1)およびTMモードの半波長共振(経路2)についての式を、本明細書に開示された目的のために、以下のように定義( )することができる。

40

#### 【0059】

## 【数 1】

$$\text{TE半波長共振} \equiv 2a\sqrt{\epsilon_r} + \pi a\sqrt{\epsilon_{\text{Air}}} \quad \text{および} \quad \text{数式1}$$

$$\text{TM半波長共振} \equiv 3a\sqrt{\epsilon_r} \quad \text{数式2}$$

## 【0060】

DRA1700について（簡略化されかつ合理的な計算のために上述したように） $\epsilon_r = 9$ と仮定すると、数式1および数式2の2つの経路について以下の結果が提供される。

## 【0061】

## 【数 2】

$$\text{経路1: } 6a + \pi a = (6+\pi)a \approx \lambda_{\text{TE}}/2 \quad \text{および} \quad \text{数式3}$$

$$\text{経路2: } 9a \approx \lambda_{\text{TM}}/2 \quad \text{数式4}$$

## 【0062】

経路1と経路2との比を取れば、以下の結果が得られる。

## 【0063】

## 【数 3】

$$\text{経路1} / \text{経路2} = (6+\pi)a/9a \approx 1.01 \quad \text{数式5}$$

## 【0064】

その結果、円筒型／形矩型DRAについてのTEおよびTMモードの電気経路はほぼ同じであり、TEおよびTM共振が互いに近くなり、これによって、TEモード共振が10GHzである場合、TMモード共振が10GHzに非常に近くなるであろう。最終結果として、このような円筒状／矩形状DRAが、互いからエネルギーを盗み、低い利得を生み出すTEおよびTM共振を有することとなる。

## 【0065】

ここで図18への参照が行われ、これは、全体の高さ「R」およびベース直径「2R」を有する例示の半球DRA1800のモデルを示す。TEモードフィールド線は、参照符号1802で示され（経路1）、TMモードフィールド線は、参照符号1804および1806によって示されている（経路2）。上記と同様に、TEモード半波長共振（経路1）およびTMモード半波長共振（経路2）についての式は、本明細書に開示された目的のために、以下のように定義することができる。

## 【0066】

## 【数 4】

$$\text{TE半波長共振} \equiv \pi R\sqrt{\epsilon_r} \quad \text{および} \quad \text{数式6}$$

$$\text{TM半波長共振} \equiv (R+\pi R/2)\sqrt{\epsilon_r} \quad \text{数式7}$$

## 【0067】

ここでもDRA1800について（簡略化されかつ合理的な計算のために上述したように） $\epsilon_r = 9$ と仮定すると、数式6および数式7の2つの経路について以下の結果が提供される。

## 【0068】

## 【数 5】

$$\text{経路1: } 3\pi R \approx \lambda_{\text{TE}}/2 \quad \text{および} \quad \text{数式8}$$

$$\text{経路2: } 3((2+\pi)/2)R \approx \lambda_{\text{TM}}/2 \quad \text{数式9}$$

## 【0069】



経路 1 と経路 2 との比を取れば、以下の結果が得られる。

【 0 0 7 0 】

【 数 6 】

$$\text{経路1} / \text{経路2} = \pi R / (((2+\pi)/2)R) \approx 1.22 \quad \text{数式10}$$

【 0 0 7 1 】

図 1 8 の実施形態において、T E 共振が 1 0 G H z であれば、T M 共振は約 1 2 . 2 G H z となり、図 1 7 の実施形態よりも良好な分離となるものの、まだ改善の余地がある。

ここで図 1 9 への参照が行われ、これは、図 1 8 の実施形態と同様に全体の高さ「R」およびベース直径「2 R」を有するが、空気からまたは低 D k 材料から形成された中央領域 1 9 0 2 を有している例示の半球 D R A 1 9 0 0 のモデルを示す。T E モードフィールド線は、参照符号 1 9 0 4 で示され（経路 1 ）、T M モードフィールド線は、参照符号 1 9 0 6、1 9 0 8 および 1 9 1 0 によって示されている（経路 2 ）。上記と同様に、T E モード半波長共振（経路 1 ）および T M モード半波長共振（経路 2 ）についての式は、本明細書に開示された目的のために、以下のように定義することができる。

10

【 0 0 7 2 】

【 数 7 】

$$\text{TE半波長共振} \equiv \pi R \sqrt{\epsilon_r} \quad \text{および} \quad \text{数式11}$$

$$\text{TM半波長共振} \equiv \left(\frac{R}{2}\right) \sqrt{\epsilon_{\text{Air}}} + \left(\frac{R}{2}\right) \sqrt{\epsilon_r} + \pi R / 2 \sqrt{\epsilon_r} \quad \text{数式12}$$

20

【 0 0 7 3 】

ここでも D R A 1 9 0 0 について（簡略化されかつ合理的な計算のために上述したように） $\epsilon_r = 9$  と仮定すると、数式 1 1 および数式 1 2 の 2 つの経路について以下の結果が提供される。

【 0 0 7 4 】

【 数 8 】

$$\text{経路1: } 3\pi R \approx \lambda_{\text{TE}}/2 \quad \text{および} \quad \text{数式13}$$

$$\text{経路2: } (1/2 + 3/2 + (3/2)\pi)R \approx \lambda_{\text{TM}}/2 \quad \text{数式14}$$

30

【 0 0 7 5 】

経路 1 と経路 2 との比を取れば、以下の結果が得られる。

【 0 0 7 6 】

【 数 9 】

$$\text{経路1} / \text{経路2} = 3\pi R / (((4+3\pi)/2)R) \approx 1.4 \quad \text{数式15}$$

【 0 0 7 7 】

図 1 9 の実施形態において、T E 共振が 1 0 G H z であれば、T M 共振は約 1 4 G H z となり、図 1 7 および図 1 8 の実施形態よりも良好な分離となるものの、まだ改善の余地がある。

40

【 0 0 7 8 】

ここで図 2 0 への参照が行われ、これは、図 1 8 および図 1 9 の実施形態と同様に全体の高さ「R」およびベース直径「2 R」を有するが、空気からまたは低 D k 材料から形成されるだけでなく、垂直配向（軸方向配向）楕円体形状を有するよう形成された中央領域 2 0 0 2 を有している例示の半球 D R A 2 0 0 0 のモデルを示す。信号フィードは、具体的に図 2 0 において（またはいくつかの他の後続の図において）示されていないが、本明細書に開示された目的のために D R A 2 0 0 0 を電磁的に励起するため、信号フィードが、本明細書に開示された方法で図 2 0 の実施形態とともに採用されることが本明細書に開

50

示されているすべてから理解されるであろう。TEモードフィールド線は、参照符号2004で示され（経路1）、TMモードフィールド線は、参照符号2006および2008によって示されている（経路2）。上記と同様に、TEモード半波長共振（経路1）およびTMモード半波長共振（経路2）についての式は、本明細書に開示された目的のために、以下のように定義することができる。

【0079】

【数10】

$$\text{TE半波長共振} \equiv \pi R \sqrt{\epsilon_r} \quad \text{および} \quad \text{数式16}$$

$$\text{TM半波長共振} \equiv R \sqrt{\epsilon_{\text{Air}}} + \pi R / 2 \sqrt{\epsilon_r} \quad \text{数式17}$$

10

【0080】

ここでもDRA2000について（簡略化されかつ合理的な計算のために上述したように） $\epsilon_r = 9$ と仮定すると、数式16および数式17の2つの経路について以下の結果が提供される。

【0081】

【数11】

$$\text{経路1: } 3\pi R \approx \lambda_{\text{TE}}/2 \quad \text{および} \quad \text{数式18}$$

$$\text{経路2: } (1 + (3/2)\pi)R \approx \lambda_{\text{TM}}/2 \quad \text{数式19}$$

20

【0082】

経路1と経路2との比を取れば、以下の結果が得られる。

【0083】

【数12】

$$\text{経路1} / \text{経路2} = 3\pi R / (((2+3\pi)/2)R) \approx 1.65 \quad \text{数式20}$$

【0084】

図20の実施形態において、TE共振が10GHzであれば、TM共振は約16.5GHzとなり、図17、図18および図19の実施形態よりも実質的に良好な分離となる。

30

図17から図20の前述の例示の実施形態から分かるように、空気または低Dk材料から形成されるのみならず、その領域におけるTMモード経路を実効的に抑制するように機能する、垂直配向（軸方向配向）された楕円体形状または本明細書に開示された目的に適した軸対称性を有する任意の他の形状を有するよう形成された中央内部領域を有する半球楕円積層DRAを利用することによって、TMモードについての中央経路が実質的にまたは完全に抑制される場合、実質的に改善された周波数分離を達成することができる。

【0085】

図19および図20の実施形態は、外側領域とは異なり外側領域よりも低い誘電率を有する内側領域1902、2002を伴う二層DRA1900、2000（本明細書において参照符号1900、2000により示される）のみを示すが、これは、例示目的のみであって、簡略化された計算を提示するためのものであり、本明細書に開示される本発明の範囲は単に二層に向けられるのではなく、開示および本明細書に開示された目的と一致する三層以上の任意の数の層を包含することが理解されるであろう。

40

【0086】

TEおよびTMモードの周波数近接が、遠方場ゾーンにおけるエネルギー分布のトポロジ特性を定義する。その即時の実用的な含意は、比較的広い角度にわたる「滑らかな」利得である。逆に、「均質でない」アンテナ利得は、データ伝送の質に大きく影響を与えることがある。固有のアンテナ指向特性および利得は、アンテナのエネルギーが分配される空間内に定義された閉曲線によってトポロジ的に特徴付けることができる。TEおよ

50

びT M放射モードは、ホモトピー群によって表すことができる非常に異なるトポロジー構造を有する。純粋T Eモードは、曲線の1つのタイプで表すことができ、通常は高利得と関連しており、非常に指向的なモードとすることができる。純粋T Mモードは、曲線の2つのタイプで表されることができ、通常はT Eモードほど指向的ではない。遠方場エネルギー分布の混合対称性とは、T EおよびT Mモード間の相互作用を意味し、3種類以上の曲線で表すことができ、通常は低利得と関連している。

#### 【0087】

図21Aおよび図21Bは、それぞれ、純粋T E放射モード2110および純粋T M放射モード2120についての遠方場三次元利得断面およびホモトピー群の技術的描画を示している。フラット2D描画として示されているが、遠方場放射パターンは三次元である。したがって、2110および2120の関連ホモトピー群は、三次元でより正確に閉ループに対応する。より明示的には、2110は回転楕円形状の放射パターンおよび関連ホモトピー群を表し、一方、2120は、トロイダル形状の放射パターンおよび関連ホモトピー群を表す。図から分かるように、図21Aおよび図21Bの2つのトポロジーは、遠く離れた周波数を有するT EおよびT Mモードを示す実質的に異なる放射パターンを有する。図21Cは、2110および2120の遠方場三次元放射パターンならびにホモトピー群についての断面の組合せの技術的描画を示し、2130の放射パターンおよびホモトピー群を生成して、これにより、T EおよびT Mモードが近い周波数近接となり、アンテナが純粋T Eモードまたは純粋T Mモードアンテナのいずれよりもより指向的でなくなる。

#### 【0088】

基本T EおよびT Mモードについての三次元放射パターンは、ホモトピー群を介して分類することが可能な異なるトポロジー空間からなる。ホモトピー群は、閉ループのファミリーで定義されている。最も単純なホモトピー群は、一点での収縮可能ループのファミリーで構成されるものであり、これは、1つの要素のみを有し、すなわちユニティである。図22Aおよび図22Bはそれぞれ、閉ループ2110および2120のファミリーのホモトピー群の技術的描画を示しているが、各群に関連付けられた曲線のファミリーの付加的な技術的描画を有する。図22Aにおいて、閉ループのすべてが1つのファミリーに属している。純粋T E放射モードでは、曲線2210のすべては、アンテナ放射のエネルギー分布内で（内側楕円および中央点で表される）単一点において収縮可能（収斂可能、低減可能）であり、これは、T E放射モードの典型的な遠方場構造である。トポロジー的にそれらは、単一要素ホモトピー群とも称される唯一の要素を持つホモトピー群、すなわちユニティで表すことができる。実際に、これはアンテナ関連利得および指向性が「操作（改竄）」されて非常に高くなることができることを意味している。図22Bにおいて、曲線の2つのファミリーが示され、曲線2210のものと同様の単一点収縮性を有する第1ファミリー2220、および、単一点で収縮しない第2ファミリー2230であり、一方、図22Bに示す単一点2231は、アンテナ放射のエネルギー分布内に含まれていない。曲線の2つのクラスは、2つの要素を伴う関連ホモトピー群を作り、ユニティ（一点に収縮可能な曲線）と、一点で収縮することができない曲線を有する他の重要な要素とである。実際にこれは、我々が望む任意の形状で我々がアンテナ利得および指向性を「操作」することができない固有の問題が存在することを意味する。図22Bで示されるエネルギー分布は、T M放射モードの遠方場構造の典型である。ここでは、関連利得も高くすることができるが、T Eモードほど高くはない。

#### 【0089】

図22Cは、図21Cに示されたものと同様の2130のホモトピー群をもたらす2110および2120のホモトピー群の組合せの技術的描画を示しているが、曲線2210、2220、2230のファミリーがその上に重ねられている。図22Cに示された曲線2240および2250の付加的なファミリーは、2120のホモトピー群のブロードサイド放射パターンと2110のホモトピー群のエンドファイア放射パターンとの間の相互作用の結果である。その結果が、多くの要素（曲線のクラス）を伴うホモトピー群によっ

て表すことができる三次元パターンまたはトポロジ空間である。2 1 3 0 のホモトピー群の混合対称性および多くの要素は、T E および T M モードの近い周波数近接に関連している。遠方場放射パターンは、遠方場のホモトピー群構造を定義する収縮可能曲線のファミリーによってトポロジ的に記述することができ、曲線のファミリーの数 ( n ) は、それぞれのホモトピー群のクラスを定義する。2 1 1 0 のホモトピー群で示されるような純粋 T E 放射モードについては、 n は 1 に等しい。2 1 2 0 のホモトピー群で示されるような純粋 T M 放射モードについては、 n は 2 に等しい。2 1 3 0 のホモトピー群で示されるような混合対称性 T E - T M 放射モードについては、 n は 2 よりも大きい。互いに 2 1 1 0、2 1 2 0 および 2 1 3 0 のホモトピー群を比較することによって分かるように、クラス n ( 曲線のファミリー ) の数が増加するにつれてアンテナはより指向的でなくなる ( よりフィールドキャンセルが多くなる )。クラス n の数に関して、アンテナの平均利得を、以下によって近似することができる。

【 0 0 9 0 】

【 数 1 3 】

$$\text{平均利得} \approx 1/(n^{\delta})$$

数式21

【 0 0 9 1 】

n はクラス数を定義し、 $\delta > 2$  であって、 $\delta$  の実際の値は、アンテナ構造およびサイズに依存する。

本明細書に開示された対称性の考慮に基づいて、T E および T M モードの利得についての経験式は、以下のように定義することができる。

【 0 0 9 2 】

【 数 1 4 】

$$\text{利得}_{\text{TE, TM}} \equiv 6\text{dB} - [5(0.6-\alpha)] \text{ dB}$$

数式22

$$\text{ここで、} \alpha \equiv (f_{\text{TM}} - f_{\text{TE}})/f_{\text{TE}}$$

数式23

【 0 0 9 3 】

$f_{\text{TE}}$  は T E 放射モードの周波数であり、 $f_{\text{TM}}$  は T M 放射モードの周波数である。上記式において、 $\alpha$  は周波数差の割合であり、これは、T E および T M 放射モードについてそれぞれ励起された電気経路間の差を表し、放射構造の対称性に依存して、以下の関係を満たす。

【 0 0 9 4 】

【 数 1 5 】

$$0 \leq \alpha \leq 0.6$$

数式24

【 0 0 9 5 】

変数  $\delta$  はまた、図 2 0 および上記のそれに関連する記述を参照して上述されたように、放射帯域幅についての上限を 6 0 % になるよう定義し、特に、数式 2 0 は 6 5 % 近くを示す。

【 0 0 9 6 】

数式 2 2 が経験的に誘導される式であることを認識すると、「 6 d B 」の値がアンテナの接地構造体のサイズに相関し、それにより決定され、「 0 . 6 」の値が本明細書で上述の 6 0 % の最大帯域幅と相関し、「 5 」の値が  $\delta = 0$  で 3 d B の利得を強制するのに役立つことに留意すべきである。数式 2 2 で分かるように、 $\delta = 0$  でアンテナ利得がすべての方向において約 3 d B であり、T E、T M 周波数が一致し、放射方向のいずれもが優位ではない。 $\delta = 0 . 6$  で、T E および T M 周波数は遠く離れており、両方がそれぞれ高い利得を有する。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 7 】

数式 2 1 および数式 2 2 を利用する T E および T M モード利得についての代替の経験式は、以下のように定義することができる。

【 0 0 9 8 】

【数 1 6 】

$$\text{Gain}_{\text{TE, TM}} \equiv 6\text{dB} - [5(0.6 - 0.6/n^{\circ})]\text{dB} = 6\text{dB} - [3(1 - 1/n^{\circ})]\text{dB} \quad \text{数式25}$$

【 0 0 9 9 】

上述したように、数式 2 5 において、 $n = 1$  は純粹 T E 放射モードを表し、 $n = 2$  は純粹 T M 放射モードを表し、 $n > 2$  は T E 、 T M 混合放射モードを表す。 10

図 1 9 および関連数式に参照し戻すと、2 つの同心半球層の特別な場合についてのより一般的な式を、以下のように展開することができる。

【 0 1 0 0 】

【数 1 7 】

$$\text{TE半波長共振(経路1)} \equiv \pi R \sqrt{\epsilon_1} \quad \text{および} \quad \text{数式26}$$

$$\text{TM半波長共振(経路2)} \equiv$$

$$\beta R \sqrt{\epsilon_2} + (1 - \beta) R \sqrt{\epsilon_1} + \pi R / 2 \sqrt{\epsilon_1} \quad \text{数式27}$$

20

【 0 1 0 1 】

ここで、

$R$  は上記で定義されている。

$\epsilon_1$  は、外側層の高  $D$  k 材料を表す。

【 0 1 0 2 】

$\epsilon_2$  は、内側層の低  $D$  k 材料を表す。

$\beta$  はパラメータであり、0 から 1 である。

$\beta = 0$  の場合は、図 1 8 のものと同様のソリッド半球を表し、 $\beta = 1$  の場合は、図 1 9 のものと同様の半球状の積層 D R A を表す。

【 0 1 0 3 】

30

経路 1 と経路 2 との比を取れば、以下の結果が得られる。

経路 1 / 経路 2 =

【 0 1 0 4 】

【数 1 8 】

$$\text{経路1/経路2} =$$

$$\pi R \sqrt{\epsilon_1} / [\beta R \sqrt{\epsilon_2} + (1 - \beta) R \sqrt{\epsilon_1} + \pi R / 2 \sqrt{\epsilon_1}] = \quad \text{数式28}$$

$$\pi \sqrt{\epsilon_1} / [\beta \sqrt{\epsilon_2} + (1 - \beta) \sqrt{\epsilon_1} + \pi / 2 \sqrt{\epsilon_1}] \quad \text{数式29}$$

【 0 1 0 5 】

40

数式 2 9 から分かるように、( 経路 1 / 経路 2 ) の比は、この特別な場合についての D R A の半径  $R$  とは無関係である。

$\beta = 0$  の場合には、

【 0 1 0 6 】

【数 1 9 】

$$\text{経路1/経路2} = \left[ \frac{2\pi}{2 + \pi} \right] \quad \text{数式30}$$

【 0 1 0 7 】

50

= 1 / 2 の場合には、

【 0 1 0 8 】

【 数 2 0 】

$$\text{経路1} / \text{経路2} = \left[ \frac{2\pi\sqrt{\varepsilon_1}}{\sqrt{\varepsilon_2} + (\pi+1)\sqrt{\varepsilon_1}} \right] \quad \text{数式31}$$

【 0 1 0 9 】

= 1 ( 開示された実施形態のタイプ ) の場合には、

【 0 1 1 0 】

【 数 2 1 】

10

$$\text{経路1} / \text{経路2} = \left[ \frac{2\pi\sqrt{\varepsilon_1}}{2\sqrt{\varepsilon_2} + \pi\sqrt{\varepsilon_1}} \right] \quad \text{数式32}$$

【 0 1 1 1 】

誘電体材料の2つの同心半球層のこの特別な場合についてのTEおよびTMモードの周波数分離に関して、周波数分離の割合はまた、経路の観点から以下のように書くことができる。

【 0 1 1 2 】

【 数 2 2 】

20

$$\frac{f_{TM} - f_{TE}}{f_{TE}} = \frac{\Delta f}{f_{TE}} = \quad \text{数式33}$$

$$\frac{\frac{c}{\lambda_{TM}} - \frac{c}{\lambda_{TE}}}{\frac{c}{\lambda_{TE}}} = \frac{\frac{1}{\lambda_{TM}} - \frac{1}{\lambda_{TE}}}{\frac{1}{\lambda_{TE}}} = \quad \text{数式34}$$

$$\frac{\frac{\lambda_{TE} - \lambda_{TM}}{\lambda_{TM}\lambda_{TE}}}{\frac{1}{\lambda_{TE}}} = \frac{\lambda_{TE} - \lambda_{TM}}{\lambda_{TM}} = \quad \text{数式35}$$

$$(\text{経路1} - \text{経路2}) / \text{経路2} = \quad \text{数式36}$$

$$\frac{\pi R\sqrt{\varepsilon_1} - (\beta R\sqrt{\varepsilon_2} + (1-\beta)R\sqrt{\varepsilon_1} + \frac{\pi R}{2}\sqrt{\varepsilon_1})}{\beta R\sqrt{\varepsilon_2} + (1-\beta)R\sqrt{\varepsilon_1} + \frac{\pi R}{2}\sqrt{\varepsilon_1}} = \quad \text{数式37}$$

$$\frac{\pi R\sqrt{\varepsilon_1} - \beta R\sqrt{\varepsilon_2} - (1-\beta)R\sqrt{\varepsilon_1} - \frac{\pi R}{2}\sqrt{\varepsilon_1}}{\beta R\sqrt{\varepsilon_2} + (1-\beta)R\sqrt{\varepsilon_1} + \frac{\pi R}{2}\sqrt{\varepsilon_1}} = \quad \text{数式38}$$

$$\frac{\pi R\sqrt{\varepsilon_1} - 2\beta R\sqrt{\varepsilon_2} - 2(1-\beta)R\sqrt{\varepsilon_1}}{2\beta R\sqrt{\varepsilon_2} + 2(1-\beta)R\sqrt{\varepsilon_1} + \pi R\sqrt{\varepsilon_1}} = \quad \text{数式39}$$

$$\frac{[\pi - 2(1-\beta)]\sqrt{\varepsilon_1} - 2\beta\sqrt{\varepsilon_2}}{[\pi + 2(1-\beta)]\sqrt{\varepsilon_1} + 2\beta\sqrt{\varepsilon_2}} = \quad \text{数式40}$$

$$= \begin{cases} \beta = 0, \varepsilon_1 = 9, \varepsilon_2 = 1 & \text{について22\%} \\ \beta = \frac{1}{2}, \varepsilon_1 = 9, \varepsilon_2 = 1 & \text{について40\%} \\ \beta = 1, \varepsilon_1 = 9, \varepsilon_2 = 1 & \text{について65\%} \end{cases} \quad \text{数式41}$$

( $\beta = 1$ 、開示された実施形態のタイプ)

30

40

【 0 1 1 3 】

B = 1 についての数式 4 1 と数式 2 0 とを比較すると、本明細書に開示された構造を有

50

する実施形態についてのTEおよびTMモードの65%周波数分離の一貫性が示される。

ここで図23Aおよび図23Bへの参照が行われ、これは、それぞれ図17および図20に示された実施形態についてのTEおよびTMモードフィールド線を比較するが、図13A、図14Aおよび図15Aに示したものと同様のフェンス接地構造体を有する。図23Aにおいて、DRA1700（例えば図17参照）は、接地構造体2310に電氣的に接続されてDRA1700を取り囲む導電性のサイドフェンス2320を伴って導電性接地構造体2310上に着座する。図23Aに示されるように、フェンス2320の存在および近接により、TEおよびTMモードフィールド線の両方が変形され、また、DRA1700の性能に負の影響を与える他の経路および放射モードを導入することがある。TEモードフィールド線1702、1704および1706（例えば図17参照）に加えて、フェンス2320は、TEモードフィールド線2330および2340を導入する。そして、TMモードフィールド線1708、1710および1712（例えば図17参照）に加えて、フェンス2320は、TMモードフィールド線2350および2360を導入する。接地構造体2370に電氣的に接続されてDRA2000を取り囲む導電性サイドフェンス2380を伴って、DRA2000（例えば図20参照）が導電性接地構造体2370上に着座する。図23Bを参照して比較すると分かるように、フェンス2380の存在および近接によっては、TEおよびTMモードフィールド線2004、2006、2008（例えば図20参照）を変形せず、他の経路も導入しない。DRA2000が接地構造体2370およびフェンス2380を伴う場合、TE放射モードは、DRA空洞放射モードになり、空洞2390は、フェンス2380内の領域であり、空洞2390は、放射パターンおよびDRA利得を高度に改善することができ、特に空洞2390の対称性が、DRA2000の対称性に近接して整合する。

#### 【0114】

ここで図24Aおよび図24Bへの参照が行われる。図24Aは、オフセットフィード線2406を伴う接地構造体2404上のスタックされた円筒形DRA2402のモデル2400を示す。3つの誘電体層は、2408.1、2408.2、2408.3として示され、図24Aに示されるように、各比誘電率  $\epsilon_1$ 、 $\epsilon_2$ 、 $\epsilon_3$ 、各損失正接  $\tan(\delta_1)$ 、 $\tan(\delta_2)$ 、 $\tan(\delta_3)$  および各高さ寸法  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$  を有する。スタックされたDRA2402の直径、接地構造体2404のサイズ、および、フィード線2406の関連寸法も、図24Aに示されている。図24Bは、実施形態に係る三層半球DRA2452のモデル2450を示す。図24Aと同様に、DRA2452は、オフセットフィード線2456を伴って接地構造体2454上に着座している。3つの誘電体層2458.1、2458.2、2458.3は、図10Aに示すDRA1004と同様に互いに対して軸方向にオフセット（横シフト）されるが、図10Aのように5つではなく3つの層のみを有する。誘電体層2458.1、2458.2、2458.3についての他の材料および構造特性、接地構造体2454、および、フィード線2456は、図24Aのモデル2400に関して提示されたものと同様、または、少なくともモデル的に匹敵する。

#### 【0115】

両モデル2400および2450について得られたTEおよびTM放射モードは、図25に示されており、両方のモデル2400および2450についての関連する放射パターンは、図26Aおよび図26Bに示されている。図25は、マーカm8によって識別され、提示の表に記載されているようにわずかに約3.1dBの利得となるDRA2402を伴う混合対称性モデル2400と比較して、DRA2452を伴うモデル2450が、マーカm5によって識別され、提示の表に記載されているようにTEおよびTM放射モード間のより良好な周波数分離および約7.2dBの利得を有することを示す。図26A（x平面分布）および図26B（y平面分布）は、マーカm1およびm2によってそれぞれ識別され、提示の表に記載されているように約6.5から3の係数でDRA2402を伴うモデル2400よりも、DRA2452を伴うモデル2450がかなり指向的になることを示す。

## 【 0 1 1 6 】

図 2 7 A および図 2 7 B は、図 2 4 B に示すようにフェンス生成空洞なしの場合と、図 2 3 B に示すようにフェンス生成空洞 2 3 9 0 ありの場合とにおける、D R A 2 4 5 2 を伴うモデル 2 4 5 0 により本明細書に開示された実施形態の S ( 1 , 1 ) リターンロスおよび利得を示している。図 2 7 A および図 2 7 B ( 図 2 7 A と比較してピークでの解像度がより高い ) は、マーカ m 8 および m 5 によってそれぞれ識別され、図 2 7 B に提示の表に記載されているように約 1 0 . 1 から 7 . 2 の係数でフェンス 2 3 8 0 の存在により D R A 2 4 5 2 を伴うモデル 2 4 5 0 の利得が改善されることを示す。

## 【 0 1 1 7 】

比較において、図 2 8 は、図 2 4 A に示す D R A 2 4 0 2 を伴うモデル 2 4 0 0 の S ( 1 , 1 ) リターンロスおよび利得を示しているが、図 2 3 A に示すようにフェンス生成空洞 2 3 6 5 を有する。図 2 8 は、D R A 2 4 0 2 を伴うモデル 2 4 0 0 の得られる利得が、フェンス 2 3 2 0 の存在により複数の放射モード 2 9 0 1、2 9 0 2、2 9 0 3、2 9 0 4 を有し ( 図 2 3 A を参照して最良に見られる )、フィールド欠陥の増強をもたらすことを示す。

## 【 0 1 1 8 】

上記に鑑み、特に他の図および関連説明と組合せた図 1 6 から図 2 8 に関して、本明細書で提供される開示の実施形態は、誘電体材料の複数ボリュームを有する誘電体共振器アンテナを含み、複数ボリュームの各ボリュームは半球またはドーム形である。実施形態では、誘電体材料の複数ボリュームの各ボリュームは、互いのボリュームに対して軸方向に中央配置される。別の実施形態では、誘電体材料の複数ボリュームの各ボリュームは、互いのボリュームに対して同じ横方向に中央でシフトされる。実施形態では、第 1 ボリューム V ( 1 ) は、垂直配向楕円形状を有している。実施形態では、第 1 ボリューム V ( 1 ) の垂直配向楕円形状は、複数ボリュームの中央 z 軸に対して軸方向に配向される。実施形態では、第 1 ボリューム V ( 1 ) は、空気の誘電率に等しい誘電率を有する。実施形態では、誘電体材料の複数ボリュームの周囲における周辺幾何学経路 ( 例えば図 2 0 の 2 0 0 8 参照 ) は、例えば周辺幾何学経路にて T M 放射モードをサポートする誘電率を有し、誘電体材料の複数ボリューム内の中央幾何学経路 ( 例えば図 2 0 の 2 0 0 6 参照 ) は、中央幾何学経路にて T M 放射モードを抑制する誘電率を有している。実施形態では、中央幾何学経路における T M 放射モードが、完全に抑制される。実施形態では、誘電体材料の複数ボリュームは、T E 半波長共振によって定義される第 1 経路長を有する第 1 電気経路を有し、T M 半波長共振によって定義される第 2 経路長を有する第 2 幾何学経路を有し、第 2 経路長に対する第 1 経路長の比は、1 . 6 以上である。図 1 6 から図 2 8 を特に参照して本明細書で上述した上記実施形態を個別に説明してきたが、他の実施形態が、本明細書の開示と一致する本明細書に記載された特徴の任意のおよびすべての組合せを含むことが理解されるであろう。

## 【 0 1 1 9 】

ここで図 2 9 への参照が行われ、これは、ドーム状頂部を有する図 2 0 ( フェンス / 反射器を欠く ) および図 2 3 B ( フェンス / 反射器付き ) に示す D R A 2 0 0 0 と同様の D R A 2 9 0 0 を示しているが、信号フィード 2 9 0 6 が示されている。D R A 2 9 0 0 は、第 1 ボリューム 2 9 0 4 . 1、第 2 ボリューム 2 9 0 4 . 2 および第 3 ボリューム 2 9 0 4 . 3 を含む誘電体材料の複数ボリューム 2 9 0 4 を有しており、各ボリュームはドーム状頂部を有する。しかし、D R A 2 9 0 0 は、本明細書に開示された目的に適した任意の数のボリュームの誘電体材料を有し得ることが理解されるであろう。実施形態では、D R A 2 9 0 0 は、接地構造体 2 9 0 2 に電氣的に接続され、接地構造体 2 9 0 2 の一部を形成する誘電体材料の複数ボリューム 2 9 0 4 を取り囲む導電性フェンス 2 9 5 0 を有している。D R A 2 9 0 0 はまた、誘電体材料の複数ボリューム 2 9 0 4 内に配置された材料の付属ボリューム V ( A ) 2 9 6 0 を含み、ボリューム V ( A ) 2 9 6 0 は、信号フィード 2 9 0 6 とは正反対に配置され、信号フィード 2 9 0 6 がボリューム V ( A ) 2 9 6 0 内に配置されるかまたはそれと信号通信を行う誘電体材料の複数ボリューム 2 9 0 4 の



うちの同じポリウム  $V(i)2904.2$  内に埋め込まれるか、または少なくとも部分的に埋め込まれ、ポリウム  $V(A)2960$  は、それが中に埋め込まれるポリウム  $V(i)2904.2$  よりも少ないポリウムを有し、ポリウム  $V(A)2960$  は、それが中に埋め込まれるポリウム  $V(i)2904.2$  の誘電率と異なる誘電率を有する。ポリウム  $V(A)2960$  は、 $DRA2900$  の他の特徴と組合せて、遠方場放射パターンに影響を与えるのに役立ち、これにより、得られた遠方場放射パターンおよび関連利得が対称形状となる。図29に示す実施形態では、ポリウム  $V(i)$  は、第2ポリウム  $V(2)2904.2$  である。実施形態では、ポリウム  $V(A)2960$  は、それが中に埋め込まれているポリウム  $V(2)2904.2$  内に100%完全に埋め込まれている。実施形態では、ポリウム  $V(A)2960$  は、接地構造体2902上に配置されている。実施形態では、ポリウム  $V(A)2960$  は、誘電体材料の複数ポリウム2904の高さの十分の一以上であり、誘電体材料の複数ポリウム2904の高さの三分の一以下である高さを持つ。実施形態では、ポリウム  $V(A)2960$  は、円形ポスト、ドームまたは湾曲構造の形状を有しているが、本明細書に開示された目的に適した任意の形状であり得る。実施形態では、ポリウム  $V(A)2960$  は、金属構造である。別の実施形態では、ポリウム  $V(A)2960$  は空気である。対称性について遠方場放射パターンに影響を与えるために、ポリウム  $V(A)2960$  は、それが中に埋め込まれているポリウム  $V(i)$  の誘電率より大きい誘電率を有し、これは図29においてポリウム  $V(2)$  である。

#### 【0120】

ここで図30Aおよび図30Bへの参照が行われ、これは、誘電体材料の複数ポリウム3004と、図13Aに示す $DRA1300$ と同様の接地構造体3002に電気的に接続されてその一部を形成する導電性フェンス3050とを有する $DRA3000$ を示すが、代替的形状および構成のポリウム3004.1、3004.2、3004.3および3004.4を伴い、2つの位置合わせ機構3070.1および3070.2を有する図30Aおよび図30Bに示す少なくとも1つの位置合わせ機構3070を提供する不均一内部形状3057を有するフェンス3050を伴う。示されるように、誘電体材料の複数ポリウム3004は、または、実施形態において外側ポリウム3004.4は、不均一内部形状3057およびフェンス3050の少なくとも1つの位置合わせ機構3070を補足する相補的な外形3007を有しており、これにより、フェンス3050および誘電体材料の複数ポリウム3004は、少なくとも1つの位置合わせ機構3070および相補的形状3007、3057を介して相互に定義されて固定される位置合わせを有する。フェンス3050および誘電体材料の複数ポリウム3004の間の相補的位置合わせ機構を提供することにより、 $DRA3000$ のアレイは、より良好に互いに位置合わせされて、遠方場放射パターンの改善された利得および対称性が得られる。実施形態では、 $DRA3000$ は、垂直突出(構造的特徴)3099.1、3099.2、3099.3を有し、これらは、接地構造体3002の一部であり、機械的安定性のために外側層3004.3、3004.4の1つ以上へと接地構造体3002から立ち上がる。

#### 【0121】

ここで図31への参照が行われ、これは、図29に示す $DRA2900$ と同様の $DRA3100$ を示すが、例えば図29に示したポリウム  $V(A)2960$  などの誘電体材料の付属ポリウム  $V(A)$  を欠く。 $DRA3100$  は、第1、第2および第3ポリウム3104.1、3104.2および3104.3を含む誘電体材料の複数ポリウム3104を有して示されている。示されているように、第1ポリウム  $V(1)3104.1$  は、下側部分3109.1および上側部分3109.2を有しており、下側部分3109.1は、上側部分3109.2の断面3109.4よりも広い断面3109.3を有する。図示および本明細書に記載された他の $DRA$ と同様に、第1ポリウム  $V(1)3104.1$  の上側部分3109.2は、垂直配向された少なくとも部分的に楕円の形状を有し、下側部分3109.1は、下側部分3109.1と上側部分3109.2との間の境界線で少なくとも部分的に楕円の形状から接地構造体3102に向かって、狭くから広くへ

と遷移するテーパ形状を有する。実施形態では、テーパ形状または漏斗形状の高さは、ボリュームV(1)3104.1の高さの十分の一以上であり、かつ、ボリュームV(1)3104.1の高さの半分以下である。本明細書において、テーパまたは漏斗形状の下側部分3109.1への参照が行われたが、下側部分3109.1が上側部分3109.2より広い断面を有する限り、それは本明細書に開示された目的に適した任意の形状を有し得ることが理解されるであろう。実施形態において、導電フェンス3150は、誘電体材料の複数ボリューム3104を取り囲み、接地構造体3102に電氣的に接続されてその一部を形成している。第1ボリュームV(1)3104.1の下側部分3109.1を上側部分3109.2よりも広く形成することにより、DRA3100のTEモード経路に影響を与えることなく、第1ボリュームV(1)3104.1がさらに第1ボリュームV(1)3104.1の中央幾何学経路における放射のスプリアスTMモードの源を抑制することが分かった。

#### 【0122】

ここで図32から図34への参照が行われ、これは集合的に、本明細書に開示されたDRAのファミリーの利点を説明するのに役立つ。DRAの構成要素の寸法をスケールダウンすることによって、関連アンテナが共振する中心周波数は、同じスケールリングファクタでスケールアップする。そのようなスケールリングの例を提供するために、図30Aおよび図30Bに示したDRA3000と同様のDRAが、分析的にモデル化される。図32、図32A、図33、図33A、図34および図34Aは、得られた10dB帯域幅の割合を示すリターンロスS(1,1)のプロットとともに、正面図(上面図)および平面図(底面図)の両方において、それぞれ、DRA3200、3300および3400を示している。図から分かるように、各DRA3200、3300および3400は、同じ全体的構成を有し、これは、図32に示すDRA3200を参照して説明されるが、異なる寸法を有し、これは、図32、図33および図34を参照して集合的に説明される。

#### 【0123】

図32に示すように、DRA3200は、誘電体材料の複数ボリューム3204を有し、第1ボリュームV(1)3204.1は第2ボリュームV(2)3204.2内に埋め込まれ、第3ボリュームV(3)3204.3には、ボリュームV(1)3204.1およびV(2)3204.2が埋め込まれる。図32の正面図は、ドーム状頂部を有する誘電体材料の複数ボリューム3204の各ボリュームを示す。図32の平面図は、楕円形状断面を有する各ボリュームV(1)3204.1およびV(2)3204.2を示し、ボリュームV(2)3204.2は、ボリュームV(1)3204.1に対して横方向にシフトされる。図32の平面図はまた、円形断面を有するボリュームV(3)3204.3を示し、ボリュームV(1)3204.1、V(2)3204.2およびV(3)3204.3のいずれも、同じ中央z軸を共有しない。誘電体材料の複数ボリューム3204は、接地構造体3202上に配置され、接地構造体3202に電氣的に接続されてその一部を形成する導電性フェンス3250によって取り囲まれている。立面図は、傾斜した側壁を有するフェンス3250を示し、平面図は、ボリュームV(3)3204.3の円形断面を模倣する円形周囲を有するフェンス3250を示す。信号フィード3206は、接地構造体3202内の電氣的に絶縁されたビア3208を通過して、第2ボリュームV(2)3204.2の側縁内に埋め込まれてそれに向かっている。図32に関して示されてモデル化された実施形態では、DRA3200は、接地構造体3202の底部から複数の誘電体材料3204の頂部にかけて、15mmの全体の高さを有し、20mm×20mmのxおよびy寸法を伴う平面フットプリントを有する接地構造体3202上に配置され、誘電体材料の複数ボリューム3204およびフェンス3250は、20mm×20mmのフットプリントの実質的な部分を占有する。図33および図34にそれぞれ示されるDRA3300および3400は、図32に示したDRA3200と同一の解析的モデル化構造を有しているが、寸法だけ異なってスケールされている。このように、図33および図34にそれぞれ示すDRA3300および3400の実施形態の詳細な(反復的)説明は、本明細書で開示される主題の完全な理解のためには必要ではない。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 2 4 】

図 3 3 に関して示されてモデル化された実施形態では、D R A 3 3 0 0 は、接地構造体の底部から複数の誘電体材料の頂部にかけて、2 . 5 m m の全体的な高さを有し、3 . 3 6 m m × 3 . 3 6 m m の x および y 寸法を伴う平面フットプリントを有する接地構造体上に配置され、これは、D R A 3 2 0 0 と比較して、D R A 3 3 0 0 のサイズにおいて 6 対 1 の低減を示す。

## 【 0 1 2 5 】

図 3 4 に関して示されてモデル化された実施形態では、D R A 3 4 0 0 は、接地構造体の底部から複数の誘電体材料の頂部にかけて、1 . 6 7 m m の全体的な高さを有し、2 . 2 4 m m × 2 . 2 4 m m の x および y 寸法を伴う平面フットプリントを有する接地構造体上に配置され、これは、D R A 3 2 0 0 と比較して、D R A 3 4 0 0 のサイズにおいて 9 対 1 の低減を示す。

## 【 0 1 2 6 】

3 つのスケーリングされた D R A 3 2 0 0 、 3 3 0 0 および 3 4 0 0 について図 3 2 A 、図 3 3 A および図 3 4 A に示すリターンロス  $S(1, 1)$  の 3 つのプロットを比較することによって分かるように、D R A 3 2 0 0 の中心周波数は 1 0 G H z であり、D R A 3 3 0 0 の中心周波数は 6 0 G H z であり ( 6 対 1 の全体サイズ減少について D R A 3 2 0 0 の中心周波数に対して 6 対 1 の増大 ) 、D R A 3 4 0 0 の中心周波数は 9 0 G H z である ( 9 対 1 の全体サイズ減少について D R A 3 2 0 0 の中心周波数に対して 9 対 1 の増大 ) 。以上のことから、本明細書に開示された D R A のサイズにおけるスケールダウンは、スケーリングされた D R A の中心周波数共振の同じスケーリングファクタでスケールアップされた増大、および、その逆との有利な結果をもたらすであろうことが理解されるであろう。

## 【 0 1 2 7 】

3 つのスケーリングされた D R A 3 2 0 0 、 3 3 0 0 および 3 4 0 0 について図 3 2 A 、図 3 3 A および図 3 4 A に示すリターンロス  $S(1, 1)$  の 3 つのプロットを比較することによって分かるように、無次元 1 0 d B 帯域幅の割合が、 $2(f_1 - f_2) / (f_1 + f_2)$  に従って定義され、ここで、 $f_1$  は関連 1 0 d B リターンロスの下端周波数を定義し、 $f_2$  は関連 1 0 d B リターンロスの上端周波数を定義し、すべての 3 つの D R A 3 2 0 0 、 3 3 0 0 および 3 4 0 0 について一貫しており、この場合は 4 4 % であり、これは、本明細書に開示された D R A についての無次元帯域幅の割合がスケール不変量であることを示している。

## 【 0 1 2 8 】

3 つのスケーリングされた D R A 3 2 0 0 、 3 3 0 0 および 3 4 0 0 について図 3 2 A 、図 3 3 A および図 3 4 A に示すリターンロス  $S(1, 1)$  の 3 つのプロットのさらなる比較により、D R A リターンロスの全体的プロファイルはまた、実質的にスケール不変であり、これは、初期中心周波数を有する、根拠となるスケーリングアンテナに基づいて、任意のスケーリングアンテナの予測可能なアンテナ性能を提供し、一方で、スケールアップまたはスケールダウンアンテナが根拠となるスケーリングアンテナと同じまたは実質的に同じ電磁的性能を有するであろう。この有利な結果は、本明細書に開示された実質的に無損失の D R A に当てはまり、これが 9 5 % 以上の効率を有すると、出願人は企図する。

## 【 0 1 2 9 】

誘電体のポリウムまたはシェル ( 以降は便宜上ポリウムと称される ) に使用するための誘電体材料は、所望の電気的および機械的特性を提供するように選択される。誘電体材料は一般に、熱可塑性または熱硬化性ポリマーマトリクスと誘電体フィラーを含有するフィラー組成物とを含む。各誘電体層は、誘電体ポリウムの体積に基づいて、3 0 から 1 0 0 体積パーセント ( 体積 % ) のポリマーマトリクスおよび 0 から 7 0 体積 % のフィラー組成物、具体的には 3 0 から 9 9 体積 % のポリマーマトリクスおよび 1 から 7 0 体積 % のフィラー組成物、より具体的には 5 0 から 9 5 体積 % のポリマーマトリクスおよび 5 から 5 0 体積 % のフィラー組成物を含むことができる。ポリマーマトリクスおよびフィラー

は、本明細書に開示された目的に一致する誘電率、および、10ギガヘルツ（GHz）で0.006未満の、具体的には0.0035以下の誘電正接を有する誘電体ポリウムを提供するように選択される。誘電正接は、IPC-TM-650 Xバンドストリップライン法によって、または、分割共振器法により測定することができる。

#### 【0130】

各誘電体ポリウムは、低極性、低誘電率、低損失ポリマーを含む。ポリマーは、1, 2-ポリブタジエン（PBD）、ポリイソプレン、ポリブタジエン-ポリイソプレンコポリマー、ポリエーテルイミド（PEI）、ポリテトラフルオロエチレン（PTFE）などのフルオロポリマー、ポリイミド、ポリエーテルエーテルケトン（PEEK）、ポリアミドイミド、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリエチレンナフタレート、ポリシクロヘキシレンテレフタレート、ポリフェニレンエーテル、アリル化ポリフェニレンエーテルに基づくもの、または、これらの少なくとも1つを含む組合せを含むことができる。より高い極性ポリマーと低極性ポリマーとの組合せも使用することができ、その非限定的な例としては、エポキシおよびポリ（フェニレンエーテル）、エポキシおよびポリ（エーテルイミド）、シアン酸エステルおよびポリ（フェニレンエーテル）、ならびに、1, 2-ポリブタジエンおよびポリエチレンが挙げられる。

#### 【0131】

フルオロポリマーには、フッ素化ホモポリマー、例えばPTFEおよびポリクロロトリフルオロエチレン（PCTFE）、ならびに、フッ素化コポリマー、例えばヘキサフルオロプロピレンまたはパーフルオロアルキルビニルエーテルなどのモノマーとテトラフルオロエチレンまたはクロロトリフルオロエチレンのコポリマー、フッ化ビニリデン、フッ化ビニル、エチレン、または、これらの少なくとも1つを含む組合せが挙げられる。フルオロポリマーは、異なる少なくとも1つのこれらのフルオロポリマーの組合せを含むことができる。

#### 【0132】

ポリマーマトリクスは、熱硬化性ポリブタジエンまたはポリイソプレンを含むことができる。本明細書で使用するように、用語「熱硬化性ポリブタジエンまたはポリイソプレン」は、ブタジエン、イソプレンまたはこれらの組合せから誘導される単位を含むホモポリマーおよびコポリマーを含む。他の共重合可能なモノマーから誘導される単位はまた、例えばグラフトの形で、ポリマー中に存在することができる。例示的な共重合性モノマーとしては、ビニル芳香族モノマー、例えばスチレン、3-メチルスチレン、3, 5-ジエチルスチレン、4-n-プロピルスチレン、-メチルスチレン、-メチルビニルトルエン、パラヒドロキシスチレン、パラメトキシスチレン、-クロロスチレン、-プロモスチレン、ジクロロスチレン、ジブモスチレン、テトラクロロスチレンなどの置換および非置換モノビニル芳香族モノマー、ならびに、ジビニルベンゼン、ジビニルトルエンなどの置換および非置換ジビニル芳香族モノマーが挙げられるが、これらに限定されない。上記共重合性モノマーの少なくとも1つを含む組合せも使用することができる。例示的な熱硬化性ポリブタジエンまたはポリイソプレンとしては、ブタジエンホモポリマー、イソプレンホモポリマー、ブタジエン-スチレンなどのブタジエン-ビニル芳香族コポリマー、イソプレン-スチレンコポリマーなどのイソプレン-ビニル芳香族コポリマーなどが挙げられるが、これらに限定されない。

#### 【0133】

熱硬化性ポリブタジエンまたはポリイソプレンはまた、修飾することができる。例えば、ポリマーは、水酸基末端、メタクリレート末端、カルボン酸末端、等であってもよい。ブタジエンもしくはイソプレンポリマーの、エポキシ-、無水マレイン酸-、または、ウレタン-修飾ポリマーなどのポスト反応ポリマーを使用することができる。ポリマーはまた、例えばジビニルベンゼンなどのジビニル芳香族化合物によって架橋することができ、例えば、ポリブタジエン-スチレンをジビニルベンゼンで架橋することができる。例えば、日本曹達株式会社（東京、日本）およびクレイバレー・ハイドロカーボン・スペシャルティ・ケミカルズ社（Cray Valley Hydrocarbon Special

10

20

30

40

50

lity Chemicals) (エクストン、ペンシルバニア州) といったメーカーにより、例示的な材料は、広く「ポリブタジエン」として分類されている。組合せ、例えば、ポリブタジエンホモポリマーとポリ(ブタジエン-イソプレン)コポリマーの組合せも使用することができる。シンジオタクチックポリブタジエンを含む組合せも有用であり得る。

#### 【0134】

熱硬化性ポリブタジエンまたはポリイソプレンは、室温で液体または固体とすることができる。液体ポリマーは、 $5000\text{ g/mol}$ 以上の数平均分子量( $M_n$ )を有することができる。液体ポリマーは、具体的には $1000$ から $3000\text{ g/mol}$ などの $5000\text{ g/mol}$ 未満の $M_n$ を有することができる。少なくとも90重量%の1,2付加を有する熱硬化性ポリブタジエンまたはポリイソプレンは、架橋に利用可能なペンダントビニル基の数が多いため、硬化時により大きな架橋密度を示すことができる。

10

#### 【0135】

ポリブタジエンまたはポリイソプレンは、全ポリマーマトリクス組成物に基づき、全ポリマーマトリクス組成物に対して、100重量%までの量で、具体的には75重量%まで、より具体的には10から70重量%、さらに具体的には20から60または70重量%の量で、ポリマー組成物中に存在することができる。

#### 【0136】

熱硬化性ポリブタジエンまたはポリイソプレンと共硬化することができる他のポリマーを、特定の特性または加工修正のために加えることができる。例えば、経時的な誘電体材料の絶縁耐力および機械的特性の安定性を向上させるために、低分子量エチレン-プロピレンエラストマーを、系で使用することができる。本明細書で使用されるエチレン-プロピレンエラストマーは、主としてエチレンおよびプロピレンを含むコポリマー、ターポリマーまたは他のポリマーである。エチレンプロピレンエラストマーは、EPMコポリマー(すなわち、エチレンおよびプロピレンモノマーのコポリマー)またはEPDMターポリマー(すなわち、エチレン、プロピレンおよびジエンモノマーのターポリマー)としてさらに分類することができる。エチレン-プロピレン-ジエンターポリマーゴムは、特に、容易な架橋のために主鎖から離れて不飽和が利用可能な、飽和主鎖を有している。ジエンがジシクロペンタジエンである液体エチレン-プロピレン-ジエンターポリマーゴムを使用することができる。

20

30

#### 【0137】

エチレン-プロピレンゴムの分子量は、 $10000\text{ g/mol}$ 未満の粘度平均分子量( $M_v$ )とすることができる。エチレン-プロピレンゴムは、商品名TRI LENE(商標)CP80としてライオン・コポリマー社(Lion Copolymer)(バトンルージュ、ルイジアナ州)から入手可能である $7200\text{ g/mol}$ の $M_v$ を有するエチレン-プロピレンゴム、商品名TRI LENE(商標)65としてライオン・コポリマー社(Lion Copolymer)から入手可能である $7000\text{ g/mol}$ の $M_v$ を有する液体エチレン-プロピレン-ジシクロペンタジエンターポリマーゴム、商品名TRI LENE(商標)67としてライオン・コポリマー社(Lion Copolymer)から入手可能である $7500\text{ g/mol}$ の $M_v$ を有する液状エチレン-プロピレン-エチリデンノルボルネンターポリマーを含むことができる。

40

#### 【0138】

エチレン-プロピレンゴムは、経時的に誘電体材料の特性、特に、絶縁耐力および機械的特性の安定性を維持するのに有効な量で存在することができる。典型的には、このような量は、ポリマーマトリクス組成物の全重量に対して20重量%まで、具体的には4から20重量%、より具体的には6から12重量%である。

#### 【0139】

共硬化性ポリマーの別の種類は、不飽和ポリブタジエンまたはポリイソプレン含有エラストマーである。この要素は、エチレン性不飽和モノマーを伴う主に1,3-付加ブタジエンまたはイソプレンのランダムまたはブロックコポリマーとすることができ、例えば、

50

スチレンもしくは - メチルスチレンなどのビニル芳香族化合物、アクリレートもしくはメチルメタクリレートなどのメタクリレート、または、アクリロニトリルである。エラストマーは、ポリブタジエンまたはポリイソプレンブロックとスチレンまたは - メチルスチレンなどのモノビニル芳香族モノマーから誘導することができる熱可塑性ブロックとを有する直鎖状またはグラフト型ブロックコポリマーを含む固体の熱可塑性エラストマーとすることができる。このタイプのブロックコポリマーは、例えば、商品名 V E C T O R 8 5 0 8 M (商標) としてデクスコポリマーズ社 ( D e x c o P o l y m e r s ) (ヒューストン、テキサス州) から入手可能なもの、商品名 S O L - T - 6 3 0 2 (商標) としてエニケム・エラストマー・アメリカ社 ( E n i c h e m E l a s t o m e r s A m e r i c a ) (ヒューストン、テキサス州) から入手可能なもの、および、商品名 C A L P R E N E (商標) 4 0 1 としてダイナソルエラストマーズ社 ( D y n a s o l E l a s t o m e r s ) から入手可能なものなどの、スチレン - ブタジエン - スチレントリブロックコポリマーを含み、例えば、商品名 K R A T O N D 1 1 1 8 としてクレイトン・ポリマーズ社 ( K r a t o n P o l y m e r s ) (ヒューストン、テキサス州) から入手可能なものなどの、スチレン - ブタジエンジブロックコポリマーおよびスチレンおよびブタジエンを含む混合トリブロックおよびジブロックコポリマーを含む。K R A T O N D 1 1 1 8 は、33重量%のスチレンを含有する混合ジブロック/トリブロックスチレンおよびブタジエン含有コポリマーである。

#### 【0140】

任意選択のポリブタジエンまたはポリイソプレン含有エラストマーは、ポリブタジエンまたはポリイソプレンブロックが水素化されることを除いて、上記と同様の第2ブロックコポリマーをさらに含むことができ、それにより、(ポリブタジエンの場合は) ポリエチレンブロック、または、(ポリイソプレンの場合は) エチレン - プロピレンコポリマーブロックを形成する。上記コポリマーと組合せて使用される場合、より高い靱性を有する材料を製造することができる。このタイプの例示的な第2ブロックコポリマーは、クレイトン・ポリマーズ社 ( K r a t o n P o l y m e r s ) から商業的に入手可能な K R A T O N G X 1 8 5 5 であり、これは、スチレン - 高1, 2 - ブタジエン - スチレンブロックコポリマーと、スチレン - (エチレン - プロピレン) - スチレンブロックコポリマーとの組合せであると考えられている。

#### 【0141】

不飽和ポリブタジエンまたはポリイソプレン含有エラストマー要素は、ポリマーマトリクス組成物の総重量に対して2から60重量%、具体的に5から50重量%、より具体的には10から40または50重量%の量でポリマーマトリクス組成物中に存在することができる。

#### 【0142】

特定の特性または加工修正のために添加することができるさらに他の共硬化性ポリマーとして、ポリエチレンおよびエチレンオキシドコポリマーなどのエチレンのホモポリマーまたはコポリマー、天然ゴム、ポリジシクロペンタジエンなどのノルボルネンポリマー、水素化スチレン - イソプレン - スチレンコポリマーおよびブタジエン - アクリロニトリルコポリマー、不飽和ポリエステルなどが挙げられるが、これらに限定されない。これらのコポリマーのレベルは、一般的にポリマーマトリクス組成物中の全ポリマーの50重量%未満である。

#### 【0143】

フリーラジカル硬化性モノマーも、例えば硬化後の系の架橋密度を増加させるために、特定の特性または加工修正のために加えることができる。適切な架橋剤とすることができる例示のモノマーには、例えば、ジビニルベンゼン、トリアリルシアヌレート、ジアリルフタレート、および、多官能性アクリレートモノマー (例えば、サルトマー U S A 社 ( S a r t o m e r U S A ) (ニュータウンスクエア、ペンシルバニア州) から入手可能な S A R T O M E R (商標) ポリマー)、またはそれらの組合せなどの、ジ - 、トリ - 、またはより高次のエチレン性不飽和モノマーが挙げられ、これらのすべてが商業的に入手可

10

20

30

40

50

能である。架橋剤は、使用される場合、ポリマーマトリクス組成物中の全ポリマーの総重量に基づいて、最大20重量%、具体的には1から15重量%の量でポリマーマトリクス組成物中に存在することができる。

#### 【0144】

硬化剤は、オレフィン反応部位を有するポリエンの硬化反応を促進するためにポリマーマトリクス組成物に添加することができる。硬化剤は、有機過酸化物、例えば、ジクミルパーオキシド、*t*-ブチルパーベンゾエート、2,5-ジメチル-2,5-ジ(*t*-ブチルパーオキシ)ヘキサン、*tert*-ジ-ビス(*t*-ブチルパーオキシ)ジイソプロピルベンゼン、2,5-ジメチル-2,5-ジ(*t*-ブチルパーオキシ)ヘキシン-3、または、これらの少なくとも1つを含む組合せを含むことができる。炭素-炭素開始剤、例えば、2,3-ジメチル-2,3-ジフェニルブタンを使用することができる。硬化剤または開始剤は、単独でまたは組合せて使用することができる。硬化剤の量は、ポリマーマトリクス組成物中のポリマーの総重量に基づいて1.5から10重量%とすることができる。

10

#### 【0145】

いくつかの実施形態では、ポリブタジエンまたはポリイソブレンポリマーは、カルボキシ官能化されている。官能化は、(i)炭素-炭素二重結合または炭素-炭素三重結合、および(ii)カルボン酸、無水物、アミド、エステル、または酸ハロゲン化物を含む少なくとも1つのカルボキシ基の両方を分子中に有する多官能性化合物を用いて達成することができる。特定のカルボキシ基は、カルボン酸またはエステルである。カルボン酸官能基を提供することができる多官能性化合物の例としては、マレイン酸、無水マレイン酸、フマル酸、およびクエン酸が挙げられる。具体的には、無水マレイン酸付加ポリブタジエンは、熱硬化性組成物に使用することができる。好適なマレイン化ポリブタジエンポリマーは、例えば、商品名RICON 130MA8、RICON 130MA13、RICON 130MA20、RICON 131MA5、RICON 131MA10、RICON 131MA17、RICON 131MA20およびRICON 156MA17としてクレイバレー社(Cray Valley)から商業的に入手可能である。好適なマレイン化ポリブタジエン-スチレンコポリマーは、例えば、商品名RICON 184MA6としてサルトマーから商業的に入手可能である。RICON 184MA6は、17から27重量%のスチレン含有量と9900 g/molのMnとを有する無水マレイン酸付加ブタジエン-スチレンコポリマーである。

20

30

#### 【0146】

ポリマーマトリクス組成物中の様々なポリマー、例えば、ポリブタジエンまたはポリイソブレンポリマーと他のポリマーとの相対量は、使用される特定の導電性金属接地板層、所望の回路材料の特性、および同様の条件に依存することができる。例えば、ポリ(アリーレンエーテル)の使用は、導電性金属要素、例えば、信号フィード、接地、または反射器構成要素などの銅またはアルミニウム要素に、増加させた結合強度を提供することができる。ポリブタジエンまたはポリイソブレンポリマーの使用は、例えば、これらのポリマーがカルボキシ官能化されている場合、複合材料の高温耐性を高めることができる。エラストマーブロックコポリマーの使用は、ポリマーマトリクス材料の要素を相溶化するように機能することができる。各要素の適切な量の決定は、過度の実験を行わずに、特定用途についての所望の特性に応じて行うことができる。

40

#### 【0147】

少なくとも1つの誘電体ポリウムは、さらに誘電率、誘電正接、熱膨張係数、および、誘電体ポリウムの他の特性を調整するために選択された粒子状誘電体フィラーを含むことができる。誘電体フィラーは、例えば、二酸化チタン(ルチルおよびアナターゼ)、チタン酸バリウム、チタン酸ストロンチウム、シリカ(溶融アモルファスシリカを含む)、コランダム、珪灰石、Ba<sub>2</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub>、固体ガラス球、合成ガラスまたはセラミック中空球、石英、窒化ホウ素、窒化アルミニウム、炭化ケイ素、ベリリア、アルミナ、アルミナ三水和物、マグネシア、雲母、タルク、ナノクレイ、水酸化マグネシウム、または

50

、前述の少なくとも1つを含む組合せを含むことができる。単一の二次フィラー、または、二次フィラーの組合せは、特性の所望バランスを提供するために使用することができる。

#### 【0148】

任意選択的に、フィラーは、シリコン含有コーティング、例えば、有機官能性アルコキシシランカップリング剤で表面処理することができる。ジルコン酸またはチタン酸カップリング剤を使用することができる。そのようなカップリング剤は、ポリマーマトリクス中のフィラーの分散を改善し、完成したDRAの水の吸収を減少させることができる。フィラー要素は、フィラーの重量に基づいて、5から50体積%のマイクロスフェアと、二次フィラーとして70から30体積%の溶融非晶質シリカとを含むことができる。

10

#### 【0149】

各誘電体ポリュームはまた、任意選択的に炎に対して耐性のあるポリュームを作製するために有用な難燃剤を含有することができる。これらの難燃剤は、ハロゲン化または非ハロゲン化することができる。難燃剤は、誘電体ポリュームの体積に基づいて、0から30体積%の量で、誘電体ポリュームの中に存在することができる。

#### 【0150】

実施形態において、難燃剤は、無機であり、粒子の形態で存在する。例示的な無機系難燃剤は、例えば、1nmから500nm、好ましくは1から200nm、または5から200nm、または10から200nmの体積平均粒径を有する金属水和物であり、あるいは、体積平均粒径が、500nmから15マイクロメートル、例えば1から5マイクロメートルである。金属水和物は、Mg、Ca、Al、Fe、Zn、Ba、Cu、Niまたはこれらの少なくとも1つを含む組合せなどの金属の水和物である。Mg、AlまたはCaの水和物、例えば水酸化アルミニウム、水酸化マグネシウム、水酸化カルシウム、水酸化鉄、水酸化亜鉛、水酸化銅および水酸化ニッケル、ならびに、アルミン酸カルシウム、二水石膏、ホウ酸亜鉛およびメタホウ酸バリウムの水和物が、特に好ましい。これらの水和物の複合物は、例えば、MgならびにCa、Al、Fe、Zn、Ba、CuおよびNiのうちの1つ以上を含む水和物について、使用することができる。好ましい複合金属水和物は、式 $MgM_x(OH)_y$ を有しており、Mは、Ca、Al、Fe、Zn、Ba、CuまたはNiであり、xは0.1から10であり、yは2から32である。難燃性粒子は、分散および他の特性を改善するために、コーティングまたは別様に処理することができる。

20

30

#### 【0151】

有機難燃剤を、代替的にまたは無機難燃剤に加えて、使用することができる。無機難燃剤の例としては、メラミンシアヌレート、微粒子サイズメラミンポリホスフェート、芳香族ホスフィナート、ジホスフィナート、ホスホン酸塩、およびリン酸塩などの様々なリン含有化合物、特定のポリシルセスキオキサン、シロキサン、ならびに、ヘキサクロロエンドメチレンテトラヒドロフタル酸(HE T酸)、テトラブロモフタル酸およびジブロモネオペンチルグリコールなどのハロゲン化化合物が挙げられる。(臭素含有難燃剤などの)難燃剤は、20重量部(樹脂100部当たりの部)から60重量部、具体的には30から45重量部の量で存在することができる。臭素系難燃剤の例としては、Saytex BT93W(エチレンビステトラブロモフタルイミド)、Saytex 120(テトラデカブロモジフェノキシベンゼン)およびSaytex 102(デカブロモジフェニルオキシド)が挙げられる。難燃剤は、相乗剤と組合せて使用することができ、例えば、ハロゲン化難燃剤は、三酸化アンチモンなどの相乗剤と組合せて使用することができ、リン含有難燃剤は、メラミンなどの窒素含有化合物と組合せて使用することができる。

40

#### 【0152】

誘電体材料の各ポリュームは、ポリマーマトリクス組成物およびフィラー組成物を含む誘電体組成物から形成されている。各ポリュームは、接地構造体層上に直接、誘電体組成物をキャストすることによって形成することができ、または、接地構造体層上に堆積することができる誘電体ポリュームを、製造することができる。各誘電体ポリュームを生成する方法は、選択されたポリマーに基づくことができる。例えば、ポリマーがPTF

50



Eなどのフルオロポリマーを含む場合、ポリマーは、第1キャリア液体と混合することができる。その組合せは、第1キャリア液体中のポリマー粒子の分散液、例えば、第1キャリア液体におけるポリマーの、またはポリマーのモノマーまたはオリゴマー前駆体の液滴のエマルジョン、または、第1キャリア液体中のポリマーの溶液を含むことができる。ポリマーが液体である場合、第1キャリア液体は必要でない可能性がある。

【0153】

第1キャリア液体の選択は、存在する場合、特定のポリマーおよびポリマーが誘電体ポリリウムに導入される形態に基づくことができる。溶液としてポリマーを導入することが望まれる場合、特定のポリマーのための溶剤は、キャリア液体として選択され、例えば、N-メチルピロリドン(NMP)が、ポリイミドの溶液に適したキャリア液体であろう。分散液としてポリマーを導入することが望まれる場合には、キャリア液体は、溶解されない液体を含むことができ、例えば、水は、PTFE粒子の分散液に適したキャリア液体であり、ポリアミック酸のエマルジョンまたはブタジエンモノマーのエマルジョンに適したキャリア液体であろう。

【0154】

誘電体フィラー要素は、任意選択的に第2キャリア液体中に分散され、または、第1キャリア液体(または第1キャリアを使用しない場合は液体ポリマー)と混合されることができる。第2キャリア液体は第1キャリア液体と同じ液体であってもよく、または、第1キャリア液体と混和性がある第1キャリア液体以外の液体であってもよい。例えば、第1キャリア液体が水である場合、第2キャリア液体は水またはアルコールを含むことができる。第2キャリア液体は水を含むことができる。

【0155】

フィラーの分散液は、第2キャリア液体がホウケイ酸マイクロスフェアを濡らすのを可能にするために、第2キャリア液体の表面張力を改変するのに有効な量の界面活性剤を含むことができる。例示的な界面活性剤化合物として、イオン性界面活性剤および非イオン性界面活性剤が挙げられる。TRITON X-100(商標)は、水性フィラー分散液における使用のための例示的な界面活性剤であることが見出されている。フィラー分散液は、10から70体積%のフィラーと、0.1から10体積%の界面活性剤を含むことができ、残りは第2キャリア液体を含む。

【0156】

ポリマーおよび第1キャリア液体と第2キャリア液体中のフィラー分散液との組合せは、キャストイング混合物を形成するために組合せることができる。実施形態では、キャストイング混合物は、10から60体積%の合成されたポリマーおよびフィラーと、40から90体積%の合成された第1および第2キャリア液体とを含む。キャストイング混合物中のポリマーおよびフィラー要素の相対量は、以下に説明するように、最終組成物において所望の量を提供するように選択することができる。

【0157】

キャストイング混合物の粘度は、粘度調整剤を添加することによって調整することができる、これは、特定のキャリア液体またはキャリア液体の組合せにおけるその相溶性に基づいて選択され、これにより、誘電体複合材料からの中空スフェアフィラーの分離、すなわち沈降または浮選を遅らせ、従来の製造装置と互換性のある粘度を有する誘電体複合材料を提供することができる。水性キャストイング混合物で使用するのに適した例示的な粘度調整剤としては、例えば、ポリアクリル酸化合物、植物ガム、および、セルロース系化合物が挙げられる。適切な粘度調整剤の具体例としては、ポリアクリル酸、メチルセルロース、ポリエチレンオキシド、グアーガム、ローカストビーンガム、カルボキシメチルセルロースナトリウム、アルギン酸ナトリウム、および、トラガカントゴムが挙げられる。粘度調整キャストイング混合物の粘度は、選択された製造技術に誘電体複合材料を適合させるために、用途ごとに、さらに増加させる、すなわち最低粘度を超えさせることができる。実施形態では、粘度調整キャストイング混合物は、室温値で測定されたときに、10から100000センチポアズ(cps)、具体的には、100cpsおよび10000cpsの

粘度を示すことができる。

【0158】

あるいは、キャリア液体の粘度が、関心対象期間中に分離しないキャストイング混合物を提供するのに十分である場合、粘度調整剤を省略することができる。具体的には、非常に小さい粒子、例えば、0.1マイクロメートル未満の球相当直径を有する粒子の場合には、粘度調整剤の使用は必要ではない可能性がある。

【0159】

粘度調整キャストイング混合物の層は、接地構造体層上にキャストイングすることができ、または、浸漬被覆し、その後、成形することができる。キャストイングは例えば、ディップコーティング、フローコーティング、逆ロールコーティング、ナイフオーバーロール、ナイフオーバープレート、計量ロッドコーティングなどによって達成することができる。

10

【0160】

キャリア液体と加工助剤、すなわち、界面活性剤および粘度調整剤を、ポリマーの誘電体ポリウムとマイクロスフェアを含む充填材とを統合するために、キャストイングポリウムから例えば蒸発によりまたは熱分解により除去することができる。

【0161】

ポリマーマトリクス材料のポリウムとフィラー要素とをさらに加熱して、ポリウムの物理的特性を改変する、例えば、熱可塑性物を焼結する、または、熱硬化性組成物を硬化またはポスト硬化させることができる。

20

【0162】

別の方法では、PTFE複合誘電体ポリウムは、ペースト押出およびカレンダー処理によって製造することができる。

さらに別の実施形態では、誘電体ポリウムをキャストイングすることができ、次いで、部分的に硬化（「Bステージ化」）することができる。そのようなBステージ化ポリウムは、保存され、続いて使用することができる。

【0163】

接着層は、導電性接地層と誘電体層との間に配置することができる。接着層は、ポリ（アリーレンエーテル）、ならびに、ブタジエン、イソプレン、または、ブタジエンおよびイソプレン単位、および、0から50重量%以下の共硬化性モノマー単位を含むカルボキシ官能化ポリブタジエンまたはポリイソプレンポリマーを含むことができ、接着剤層の組成は、誘電体ポリウムの組成と同じではない。接着剤層は、平方メートル当たり2から15グラムの量で存在することができる。ポリ（アリーレンエーテル）は、カルボキシ官能化ポリ（アリーレンエーテル）を含むことができる。ポリ（アリーレンエーテル）は、ポリ（アリーレンエーテル）と環状無水物との反応生成物またはポリ（アリーレンエーテル）と無水マレイン酸との反応生成物とすることができる。カルボキシ官能化ポリブタジエンまたはポリイソプレンポリマーは、カルボキシ官能化ブタジエン-スチレンコポリマーとすることができる。カルボキシ官能化ポリブタジエンまたはポリイソプレンポリマーは、ポリブタジエンまたはポリイソプレンポリマーと環状無水物との反応生成物とすることができる。カルボキシ官能化ポリブタジエンまたはポリイソプレンポリマーは、マレイン化ポリブタジエン-スチレンまたはマレイン化ポリイソプレン-スチレンコポリマーとすることができる。

30

40

【0164】

実施形態において、ポリブタジエンまたはポリイソプレンなどの材料を熱硬化するのに適した多段階プロセスは、150から200の温度での過酸化物硬化ステップを含むことができ、部分的に硬化（Bステージ化）されたスタックに対して、高エネルギー電子ビーム照射硬化（Eビーム硬化）または不活性雰囲気下での高温硬化ステップを次に行うことができる。二段階硬化の使用は、得られる複合材料に異常に高い程度の架橋を付与することができる。第2段階で使用される温度は、250から300、またはポリマーの分解温度とすることができる。この高温硬化は、オープン内で行うことができるだけでなく

50

、プレスで、すなわち、最初の製造および硬化ステップの続きとして行うことができる。特定の製造温度および圧力は、特定の接着組成物および誘電体組成物に依存し、当業者であれば過度の実験を行わずに容易に確認可能である。

【0165】

接合層は、層を接着するために任意の2つ以上の誘電体層の間に配置することができる。接合層は、所望の特性に基づいて選択され、例えば、2つの誘電体層を接合するための低融点熱可塑性ポリマーまたは他の組成物とすることができる。実施形態において、接合層は、その誘電率を調整するための誘電体フィラーを含む。例えば、接合層の誘電率は、DRAの帯域幅を改善または別様に修正するように調整することができる。

【0166】

いくつかの実施形態では、DRA、アレイ、またはその構成要素、特に少なくとも1つの誘電体ボリュームは、誘電体組成物を成形して誘電体材料を形成することにより形成される。いくつかの実施形態では、すべてのボリュームが成形される。他の実施形態では、初期ボリュームV(i)を除くすべてのボリュームが成形される。さらに他の実施形態では、最外ボリュームV(N)のみが成形される。成形と、他の製造方法、例えば三次元印刷またはインクジェット印刷との組合せを使用することができる。

【0167】

成形により、埋め込まれた特徴または表面特徴のような別のDRA構成要素を任意選択的に伴う誘電体ボリュームの迅速かつ効率的な製造が可能となる。例えば、金属、セラミックまたは他のインサートを金型内に配置して、埋め込まれた特徴または表面特徴として、信号フィード、接地構成要素または反射器構成要素などのDRAの構成要素を提供することができる。あるいは、埋め込まれた特徴を、ボリューム上に三次元印刷またはインクジェット印刷し、さらに続けて成形することができ、または、表面特徴を、DRAの最外面上に三次元印刷またはインクジェット印刷することができる。接地構造体上に直接、または、1から3の間の誘電率を有する材料を含む容器内に、少なくとも1つのボリュームを成形することも可能である。

【0168】

金型は、パッケージまたは最外シェルV(N)を提供するために成形されたまたは機械加工されたセラミックを含む金型インサートを有することができる。セラミックインサートの使用によって、より高い効率が得られる低損失、成形アルミナについての低い直接材料費に起因する低コスト、ポリマーの製造しやすさおよびその熱膨張制御(制約)のしやすさへとつながり得る。それはまた、バランスのとれた熱膨張率(CTE)を提供することができ、これにより、全体的な構造が、銅またはアルミニウムのCTEと一致する。

【0169】

各ボリュームを、異なる金型で成形して、続いてボリュームを組み立てることができる。例えば、第1ボリュームは第1金型で、そして、第2ボリュームは第2金型で成形して、そして、ボリュームを組み立てることができる。実施形態では、第1ボリュームは、第2ボリュームとは異なる。別個の製造により、形状または組成に関する各ボリュームの即座のカスタマイズが可能となる。例えば、誘電体材料のポリマー、添加剤の種類または添加量を変化させることができる。1つのボリュームの表面を別のボリュームの表面に接合するために、接着剤層を塗布することができる。

【0170】

他の実施形態では、第2ボリュームを、第1成形ボリューム中にまたはその上に成形することができる。ポストバークまたはラミネーションサイクルを、ボリューム間からいかなる空気をも除去するために使用することができる。各ボリュームはまた、異なるタイプまたは量の添加剤を含むことができる。熱可塑性ポリマーが使用される場合、第1および第2ボリュームは、異なる溶融温度または異なるガラス転移温度を有するポリマーを含むことができる。熱硬化性組成物が使用される場合、第1ボリュームは、第2ボリュームを成形する前に部分的にまたは完全に硬化させることができる。

【0171】

10

20

30

40

50

1つのポリウム（例えば、第1ポリウム）として熱硬化性組成物を、別のポリウム（例えば、第2ポリウム）として熱可塑性組成物を使用することも可能である。これらの実施形態のいずれかにおいて、フィラーを変えて、各ポリウムの誘電率または熱膨張係数（CTE）を調節することができる。例えば、各ポリウムのCTEまたは誘電率は、温度が変化しても共振周波数が一定のままであるようにオフセットすることができる。実施形態では、内側ポリウムは、シリカおよびマイクロスフェア（マイクロバルーン）の組合せが充填された低誘電率（ $< 3.5$ ）材料を含むことができ、これにより、所望の誘電率が、外側ポリウムに一致するCTE特性を伴って達成される。

#### 【0172】

いくつかの実施形態では、成形は、誘電体材料の少なくとも1つのポリウムを提供するための、熱可塑性ポリマーまたは熱硬化性組成物および誘電体材料の任意の他の要素を含む射出可能組成物の射出成形である。各ポリウムを、別個に射出成形して、その後に組み立てることができ、または、第2ポリウムを第1ポリウム中にまたはその上に成形することができる。例えば方法は、外型枠および内型枠を有する第1金型において第1ポリウムの反応射出成形を行うこと、内型枠を除去してそれを第2ポリウムの内部寸法を規定する第2内型枠に置換すること、および、第1ポリウムに第2ポリウムを射出成形することを含むことができる。実施形態では、第1ポリウムは、最外シェルV（N）である。あるいは、方法は、外型枠および内型枠を有する第1金型において第1ポリウムの射出成形を行うこと、外型枠を除去してそれを第2ポリウムの外部寸法を規定する第2外型枠に置換すること、および、第1ポリウム上に第2ポリウムを射出成形

10

20

#### 【0173】

射出可能組成物は、まずフィラー組成物を形成するためにセラミックフィラーとシランとを合成し、その後に熱可塑性ポリマーまたは熱硬化性組成物とフィラー組成物とを混合することによって調製することができる。熱可塑性ポリマーについて、ポリマーは、セラミックフィラーおよびシランのうち的一方または両方との混合の前に、後に、またはその最中に溶融させることができる。射出可能組成物は、その後、金型内で射出成形することができる。使用される溶融温度、射出温度および金型温度は、熱可塑性ポリマーの溶融およびガラス転移温度に依存し、例えば150から350、または、200から300

30

#### 【0174】

いくつかの実施形態では、誘電体ポリウムは、熱硬化性組成物を反応射出成形することにより調製することができる。架橋は第1成形ポリウムの溶融特性をかなり変化させることがあるので、反応射出成形は、第2成形ポリウムを成形するために第1成形ポリウムを使用するのに特に適している。反応射出成形は、熱硬化性組成物を形成するために少なくとも2つのストリームを混合すること、および、金型内に熱硬化性組成物を射出することを含むことができ、第1ストリームは触媒を備え、第2ストリームは任意選択的に活性化剤を備える。第1ストリームおよび第2ストリームまたは第3ストリームのうち

40

#### 【0175】

例えば、ポリウムの調製方法は、触媒および第1モノマーまたは硬化性組成物を含む第1ストリームと、任意選択の活性剤および第2モノマーまたは硬化性組成物を含む第2ストリームとを混合することを含むことができる。第1および第2モノマーまたは硬化性組成物は、同一であっても異なってもよい。第1ストリームおよび第2ストリームの一方または両方が、誘電体フィラーを含むことができる。誘電体フィラーは、例えば、さ

50

らに第3モノマーを含む第3ストリームとして添加することができる。誘電体フィラーは、第1および第2ストリームの射出前に金型内に存在することができる。1つ以上のストリームの導入は、不活性ガス、例えば窒素またはアルゴンの下で行うことができる。

【0176】

混合は、射出成形機のヘッドスペース内で、またはインラインミキサー内で、または金型へと注入する間に、行うことができる。混合は、摂氏0以上200度( )、具体的には15から130、または0から45、より具体的には23から45の温度で行うことができる。

【0177】

金型は、0以上250、具体的には23から200または45から250、より具体的には30から130または50から70の温度に維持することができる。金型を充填するためには0.25から0.5分かかり、その間、金型温度が低下することがある。金型が充填された後、熱硬化性組成物の温度を、例えば0°から45の第1温度から、45から250の第2温度へと増加させることができる。成形は、65から350キロパスカル(kPa)の圧力で行うことができる。成形は、5分以下、具体的には2分以下、より具体的には2から30秒で行うことができる。重合が完了した後、基板を、金型温度または減少した金型温度で除去することができる。例えば、解放温度 $T_r$ を、成形温度 $T_m$ よりも10以上低くすることができる( $T_r = T_m - 10$ )。

【0178】

ポリウムが金型から除去された後、それをポスト硬化させることができる。ポスト硬化は、5分以上の間、100から150、具体的には140から200の温度で行うことができる。

【0179】

別の実施形態では、誘電体ポリウムは、誘電体材料のポリウム、または、組み込まれた特徴または表面特徴を有する誘電体材料のポリウムを形成するために圧縮成形することにより形成することができる。各ポリウムを、別個に圧縮成形して、その後に組み立てることができる。または、第2ポリウムを第1ポリウム中にまたはその上に圧縮成形することができる。例えば方法は、外型枠および内型枠を有する第1金型において第1ポリウムの圧縮成形を行うこと、内型枠を除去してそれを第2ポリウムの内部寸法を規定する第2内型枠に置換すること、および、第1ポリウムに第2ポリウムを圧縮成形することを含むことができる。いくつかの実施形態では、第1ポリウムは、最外シェルV(N)である。あるいは、方法は、外型枠および内型枠を有する第1金型において第1ポリウムの圧縮成形を行うこと、外型枠を除去してそれを第2ポリウムの外部寸法を規定する第2外型枠に置換すること、および、第1ポリウム上に第2ポリウムを圧縮成形することを含むことができる。この実施形態では、第1ポリウムは、最内ポリウムV(1)とすることができる。

【0180】

圧縮成形は、熱可塑性または熱硬化性材料のいずれかとともに使用することができる。金型温度などの、熱可塑性材料を圧縮成形するための条件は、熱可塑性ポリマーの溶融およびガラス転移温度に依存し、例えば150から350、または、200から300とすることができる。成形は、65から350キロパスカル(kPa)の圧力で行うことができる。成形は、5分以下、具体的には2分以下、より具体的には2から30秒で行うことができる。熱硬化性材料は、Bステージ化された材料または完全に硬化された材料を生成するためにBステージ化する前に圧縮成形することができ、または、それがBステージ化されて金型内で完全に硬化された後、または成形後に、それを圧縮成形することができる。

【0181】

さらに他の実施形態では、誘電体ポリウムは、予め設定されたパターンで複数の層を形成し、層を溶融させることによって、すなわち三次元印刷によって、形成することができる。本明細書で使用する場合、三次元印刷は、単層(インクジェット印刷)に対して複

10

20

30

40

50

数の溶融層（三次元印刷）の形成によって、インクジェット印刷とは区別される。層の総数は、例えば10から100、000層、または20から50、000層、または30から20、000層と様々にすることができる。所定のパターンにおける複数の層は、物品を提供するために溶融される。本明細書で使用される「溶融」は、任意の三次元印刷プロセスにより形成されて接合された層を指す。三次元印刷中に複数の層を統合、接合または結合するのに有効な任意の方法を、用いることができる。いくつかの実施形態において、溶融は、各層の形成中に行う。いくつかの実施形態では、溶融は、後続層が形成されている間またはすべての層が形成された後に行う。予め設定されたパターンは、当技術分野で知られているように、所望の物品の三次元デジタル表現から決定することができる。

#### 【0182】

10

三次元印刷により、埋め込まれた特徴または表面特徴などの別のDRA構成要素を任意選択的に伴う、誘電体ポリウレームの迅速かつ効率的な製造が可能となる。例えば、金属、セラミックまたは他のインサートを印刷中に配置して、埋め込まれた特徴または表面特徴として、信号フィード、接地構成要素または反射器構成要素などのDRAの構成要素を提供することができる。あるいは、埋め込まれた特徴を、ポリウレーム上に三次元印刷またはインクジェット印刷し、さらに続けて印刷することができ、または、表面特徴を、DRAの最外面上に三次元印刷またはインクジェット印刷することができる。接地構造体上に直接、または、1から3の間の誘電率を有する材料を含む容器内に、少なくとも1つのポリウレームを三次元印刷することも可能である。

#### 【0183】

20

第1ポリウレームを第2ポリウレームとは別個に形成することができ、任意選択的にそれらの間に接着剤層を配置して第1および第2ポリウレームを組み立てることができる。あるいはまたはさらに、第2ポリウレームを、第1ポリウレーム上に印刷することができる。したがって、方法は、第1ポリウレームを提供するために第1複数層を形成すること、および、第1ポリウレーム上に第2ポリウレームを提供するために第1ポリウレームの外側表面上に第2複数層を形成することを含むことができる。第1ポリウレームは、最内ポリウレームV(1)である。あるいは、方法は、第1ポリウレームを提供するために第1複数層を形成すること、および、第2ポリウレームを提供するために第1ポリウレームの内側表面上に第2複数層を形成することを含むことができる。実施形態では、第1ポリウレームは、最外ポリウレームV(N)である。

30

#### 【0184】

例えば、熱溶解積層法(FDM)、選択的レーザ焼結(SLS)、選択的レーザ溶融(SLM)、電子ビーム溶融(EBM)、ビッグエリア付加製造(BAAM)、ARBURGプラスチックフリー成形技術、積層物体製造(LOM)、ポンピング堆積法(例えば<http://nscrypt.com/micro-dispensing>で説明されるように、制御されたペースト押出としても知られている)、または他の三次元印刷方法などの、多様な三次元印刷方法を使用することができる。三次元印刷は、試作品の製造または生産プロセスとして使用することができる。いくつかの実施形態では、ポリウレームまたはDRAは、三次元またはインクジェット印刷によってのみ製造され、これにより、誘電体ポリウレームまたはDRAを形成する方法は、押出、成形、または積層プロセスを含まない。

40

#### 【0185】

材料押出技術は、熱可塑性樹脂に特に有用であり、複雑な特徴を提供するために使用することができる。材料押出技術は、FDM、ポンピング堆積、溶融フィラメント製造などの技術、ならびに、ASTM F2792-12aに記載されているような他のものを含む。溶融材料押出技術では、物品は、層を形成するために堆積させることができる流動可能状態に熱可塑性材料を加熱することにより製造することができる。層は、x-y軸において所定の形状およびz軸において所定の厚みを有することができる。流動性材料は、特定のプロファイルを提供するために、上述のように道として、または、ダイを通して堆積することができる。層が冷えると、固化し、それが堆積される。溶融した熱可塑性材料の

50

後続の層は、先に堆積された層に溶融し、温度低下時に固化する。複数の後続層の押出は、所望の形状を構築する。特に、物品は、層を形成するために、 $x-y$  平面における基板上の1つ以上の道として流動性材料を堆積させることによって、物品の三次元デジタル表現から形成することができる。基板に対するディスペンサ（例えばノズル）の位置は、そして（ $x-y$  平面に垂直な） $z$  軸に沿ってインクリメントされ、プロセスはその後、デジタル表現から物品を形成するために繰り返される。分注される材料は、したがって「造形材料」ならびに「構築材料」とも称される。

【0186】

いくつかの実施形態では、層が2つ以上のノズルから押出され、それぞれが異なる組成物を押出す。複数のノズルが使用される場合、方法は、単一ノズルを使用する方法よりも速く製品オブジェクトを生成することができ、異なるポリマーまたはポリマーブレンド、異なる色またはテクスチャ等を用いる点で柔軟性を増加させることができる。したがって、実施形態では、2つのノズルを用いて堆積中に単層の組成または特性を変化させることができ、または、2つの隣接する層の組成または特性を変化させることができる。例えば、1つの層は高い体積パーセントの誘電体フィラーを有することができ、後続の層は、中間体積の誘電体フィラーを有することができ、それに続く層は、低い体積%の誘電体フィラーを有することができる。

【0187】

材料押出技術はさらに、熱硬化性組成物の堆積に使用することができる。例えば、少なくとも2つのストリームを混合して層を形成するために堆積させることができる。第1ストリームは触媒を含むことができ、第2ストリームは任意選択的に活性化剤を備えることができる。第1ストリームおよび第2ストリームまたは第3ストリームのうちの一方または両方が、モノマーまたは硬化性組成物（例えば樹脂）を含むことができる。第1ストリームおよび第2ストリームまたは第3ストリームの一方または両方は、誘電体フィラーおよび添加剤のうちの一方または両方を含むことができる。誘電体フィラーおよび添加剤のうちの一方または両方は、熱硬化性組成物の射出前に金型に添加することができる。

【0188】

例えば、ポリユームの調製方法は、触媒および第1モノマーまたは硬化性組成物を含む第1ストリームと、任意選択の活性剤および第2モノマーまたは硬化性組成物を含む第2ストリームとを混合することを含むことができる。第1および第2モノマーまたは硬化性組成物は、同一であっても異なってもよい。第1ストリームおよび第2ストリームの一方または両方が、誘電体フィラーを含むことができる。誘電体フィラーは、例えば、さらに第3モノマーを含む第3ストリームとして添加することができる。1つ以上のストリームの堆積は、不活性ガス、例えば窒素またはアルゴンの下で行うことができる。混合は、堆積前に、インラインミキサー中で、または、層の堆積中に行うことができる。完全または部分的な硬化（重合または架橋）を、堆積前に、層の堆積中、または堆積後に開始することができる。実施形態では、部分硬化を層の堆積前または層の堆積中に開始し、完全な硬化を層の堆積後、またはポリユームを提供する複数層を堆積した後に開始する。

【0189】

いくつかの実施形態において、当技術分野で知られているような支持材料を、支持構造を形成するために任意選択的に使用することができる。これらの実施形態では、構築材料および支持材料を、物品および支持構造体を提供するために、物品の製造中に選択的に分注することができる。支持材料は、支持構造、例えば、足場の形で存在することができ、これは、積層プロセスが所望の程度まで完了したときに機械的に除去または洗い流すことができる。

【0190】

予め設定されたパターンで連続層を形成するために、選択的レーザ焼結（SLS）、選択的レーザ溶融（SLM）、電子ビーム溶解（EBM）、および、結合剤または溶剤の粉末ベッド噴射などの、立体造形技術を使用することができる。各層を重合または架橋することによって層毎の堆積を生じさせることができるので、立体造形技術は、熱硬化性組成

10

20

30

40

50

物で特に有用である。

【0191】

誘電体共振器アンテナまたはアレイ、またはそれらの構成要素を製造するためのさらに別の方法において、第2ポリウムは、第1ポリウムの表面に誘電体組成物を塗布することにより形成することができる。塗布は、コーティング、キャストイングまたは噴霧によって、例えば、ディップコーティング、スピンキャストイング、噴霧、ブラッシング、ロールコーティング、またはこれらの少なくとも1つを含む組合せによって、行うことができる。いくつかの実施形態では、複数の第1ポリウムが基板上に形成され、マスクが塗布され、第2ポリウムを形成するための誘電体組成物が塗布される。第1ポリウムが最内ポリウムV(1)であり、基板がアンテナアレイの製造に直接、使用される接地構造体または他の基板である場合、この技術は有用であり得る。

10

【0192】

上述したように、誘電体組成物は、熱可塑性ポリマーまたは熱硬化性組成物を含むことができる。熱可塑性樹脂を溶融させ、または適当な溶媒に溶解させることができる。熱硬化性組成物は、液体熱硬化性組成物とすることができ、または溶媒中に溶解させることができる。溶媒は、熱、空気乾燥、または他の技術によって誘電体組成物を塗布した後に除去することができる。熱硬化性組成物は、第2ポリウムを形成するために塗布した後に、Bステージ化、または、完全に重合もしくは硬化させることができる。重合または硬化は、誘電体組成物の塗布中に開始することができる。

【0193】

誘電体組成物の要素は、所望の特性、例えば誘電率を提供するように選択される。一般に、第1および第2誘電体材料の誘電率は異なる。

20

いくつかの実施形態では、第1ポリウムは、最内ポリウムV(1)であり、すべての後続のポリウムを含む1つ以上が、上述のように塗布される。例えば、最内ポリウムV(1)に続くすべてのポリウムは、第1ポリウムに誘電体組成物を塗布することから始めて、それぞれのポリウムV(i)の下にあるポリウムに順次、誘電体組成物を塗布することにより形成することができる。他の実施形態では、複数ポリウムのうちの1つのみが、この方法で塗布される。例えば、第1ポリウムは、ポリウムV(N-1)とすることができ、第2ポリウムは、最外ポリウムV(N)とすることができる。

30

【0194】

本明細書で提供されたいくつかの図は特定の寸法を示しているが、記載の寸法は、関連する解析的にモデル化された実施形態に関してのみ、非限定的な例示の目的のために提供されているのであって、本明細書に開示された目的に適した他の寸法も企図されることが理解されるであろう。

【0195】

本明細書に開示された例示的な実施形態に対する非限定的な参照へのさらなる例として、本明細書で提供されるいくつかの図は、中央配置された信号フィードまたは軸方向にオフセットされた信号フィードのいずれかを伴う、平坦頂部を有する誘電体材料の複数ポリウムを示し、誘電体材料の複数ポリウムのz軸断面は楕円形であるが、他の図は、信号フィードについての特定の位置を持たない半球状またはドーム状頂部を有する誘電体材料の複数ポリウムを示し、誘電体材料の複数ポリウムのz軸断面は円形または楕円形であるが、他の図は、DRA(本明細書に開示された任意のDRAであると理解される)を取り囲むフェンス/反射器を示し、他の図は、一般的な意味(例えば図20参照)での誘電体材料の複数ポリウムを示す。上述のすべてから、1つの図または図のセットに示されている実施形態の特定の特徴(例えば、誘電体材料のポリウム/層の数、誘電体材料の複数ポリウムの外側形状、信号フィードの位置、誘電体材料の複数ポリウムの断面形状、または、フェンス/反射器の有無)は、このような特徴を特に示していない他の図または図のセットに示された実施形態において採用され得るが、本明細書で開示される特徴の組合せの数は、包括的であり、代替実施形態の完全なマトリクスにおいてすべての

40

50



そのような特徴を特に説明する必要なく、そのような組合せが本明細書に明確かつ簡潔に開示されていることを当業者が理解するための説明を提供することは不要である。任意およびすべてのこのような組合せは、本明細書で企図され、添付の特許請求の範囲に提示された特許請求される本発明の範囲内であると考えられる。

【0196】

DRAまたはDRAのアレイに関連する特徴の特定の組合せが、本明細書に開示されているが、これらの特定の組合せは、例示目的のみであって、これらの特徴のいずれかまたは一部のみの任意の組合せを、明示的または均等に、個別にまたは本明細書に開示された特徴の任意の他のものと組合せて、任意の組合せで、および、実施形態に係るすべてにおいて、採用し得ることは理解されるであろう。任意およびすべてのこのような組合せは、本明細書で企図され、本明細書に開示された発明の範囲内であると考えられる。例えば、本明細書に開示されているような、接地構造体、信号フィードおよび/またはフェンスを欠く、本明細書に開示された誘電体材料の複数ボリュームは、電子フィルタまたは共振器として有用であり得る。このようなフィルタまたは共振器構造、または本明細書に開示された誘電体材料の複数ボリュームに有用な任意の他のデバイスは、本明細書に開示される本発明の範囲内にあると企図され、考慮される。

10

【0197】

上記に鑑み、本明細書で開示されるいくつかの実施形態は、以下の利点のうちの1つの以上を含み得る：マイクロ波およびミリ波用途において、広帯域、高利得のアレイに適した多層誘電体設計、三次元印刷製造プロセスを利用するのに適した多層誘電体設計、95%よりも高くすることができる効率の超高効率多層設計、完全なマイクロ波ミリ波周波数範囲にわたって従来のパッチアンテナを交換することができる多層設計、8 dBおよびそれ以上に高くすることができる単一セル（単一DRA）の利得、50%以上の帯域幅を達成し得るDRA、多層にて用いられる材料の誘電率に応じて最適化された共振器形状を設計する能力、および、異なる技術を使用して、接地変形例を含む単一セルの利得のバランスを取る能力。

20

【0198】

特定の寸法値および誘電率値を、特定のDRAに関して本明細書で議論してきたが、これらの値は例示目的のみであり、本明細書に開示された目的に適した任意のこのような値を、本明細書に開示された発明の範囲を損なうことなく採用し得ることが理解されるであろう。

30

【0199】

本明細書に開示されたすべての範囲はエンドポイントを含むものであり、エンドポイントは、互いに独立して組合せ可能である。「組合せ」は、ブレンド、混合物、合金、反応生成物などを含む。「第1」、「第2」などの用語は、いかなる順序、数量、または重要性も示すものではなく、むしろ、ある要素を別の要素から区別するために使用される。用語「a」および「an」および「the」は、量の限定を意味せず、別様に本明細書に示されるか、または文脈によって明らかに矛盾しない限り、単数および複数の両方を含むように解釈されるべきである。明確に特に断りのない限り、「or」は「または」を意味する。

40

【0200】

アンテナに関連する特徴の特定の組合せを、本明細書に説明してきたが、これらの特定の組合せは、例示目的のみであって、いずれかのこれらの機能の任意の組合せを、明示的または均等に、個別にまたは本明細書に開示された特徴の任意の他のものと組合せて、任意の組合せで、および、実施形態に係るすべてにおいて、採用し得ることは理解されるであろう。任意およびすべてのこのような組合せは、本明細書で企図され、本開示の範囲内であると考えられる。

【0201】

上記のすべての観点において、本発明の実施形態は以下の実施形態を含むことが理解されるであろう。

50

## (実施形態 1)

導電性接地構造体と、接地構造体上に配置され  $N$  個のボリュームを有する誘電体材料の複数ボリュームであって、 $N$  は 3 以上の整数であり、連続および順次積層ボリューム  $V(i)$  を形成するように配置され、 $i$  は 1 から  $N$  の整数であり、ボリューム  $V(1)$  は最内第 1 ボリュームを形成し、後続のボリューム  $V(i+1)$  は、ボリューム  $V(i)$  上に配置され少なくとも部分的にボリューム  $V(i)$  を埋め込む積層シェルを形成し、ボリューム  $V(N)$  には、ボリューム  $V(1)$  から  $V(N-1)$  のすべてのボリュームが少なくとも部分的に埋め込まれる、誘電体材料の複数ボリュームと、誘電体材料の複数ボリュームのうちの 1 つ以上に電磁的に結合されるように配置および構成された信号フィードとを備える、誘電体共振器アンテナ (DRA)。

10

## 【0202】

## (実施形態 2)

各後続のボリューム  $V(i+1)$  は、ボリューム  $V(i)$  上に配置され 100% 完全にボリューム  $V(i)$  を埋め込む積層シェルを形成する、実施形態 1 に記載の DRA。

## 【0203】

## (実施形態 3)

ボリューム  $V(N)$  には、100% 完全にボリューム  $V(1)$  から  $V(N-1)$  のすべてのボリュームが埋め込まれる、実施形態 1 または 2 に記載の DRA。

## 【0204】

## (実施形態 4)

信号フィードは、接地構造体と電氣的に接触せずに、接地構造体の開口部内に配置され、誘電体材料の複数ボリュームのうちの 1 つ内に配置される、実施形態 1 ~ 3 のいずれかに記載の DRA。

20

## 【0205】

## (実施形態 5)

信号フィード上の電気信号により励起されたときの DRA は、三次元放射パターン内の単一点においてそれぞれ収縮可能な閉ループ経路ファミリーによって定義された単一要素ホモトピー群に対応するトポロジ空間を占める遠方場三次元放射パターンを生成するように構成されている、実施形態 1 ~ 4 のいずれかに記載の DRA。

## 【0206】

## (実施形態 6)

信号フィード上の電気信号により励起されたときの DRA は、単一点において収縮可能な閉ループ経路ファミリーによって、および、単一点において収縮可能でない閉ループ経路ファミリーによって定義された二要素ホモトピー群に対応するトポロジ空間を占める遠方場三次元放射パターンを生成するように構成されている、実施形態 1 ~ 5 のいずれかに記載の DRA。

30

## 【0207】

## (実施形態 7)

誘電体材料の複数ボリュームの各積層ボリュームは、誘電率  $\epsilon(i)$  を有し、各層の誘電率およびボリュームは、 $\epsilon(i+1) * V(i+1) - \epsilon(i) * V(i) - \epsilon(1) * V(1)$  を除く、なお  $\epsilon(1)$  (空気の誘電率) の関係に従っている、実施形態 1 ~ 6 のいずれかに記載の DRA。

40

## 【0208】

## (実施形態 8)

誘電体材料の複数ボリュームの各積層ボリュームは、誘電率  $\epsilon(i)$  を有し、各層の誘電率およびボリュームは、 $\epsilon(i) * V(i) - C(f) * C(f)$  (  $C(f)$  は所与周波数における定数であり、 $\epsilon(1) * V(1)$  を除く、なお  $\epsilon(1)$  (空気の誘電率) の関係に従っている、実施形態 1 ~ 7 のいずれかに記載の DRA。

## 【0209】

## (実施形態 9)

50

N個のポリュームを備える誘電体材料の複数ポリュームであって、Nは3以上の整数であり、連続および順次積層ポリューム $V(i)$ を形成するように配置され、 $i$ は1からNの整数であり、ポリューム $V(1)$ は最内第1ポリュームを形成し、後続のポリューム $V(i+1)$ は、ポリューム $V(i)$ 上に配置され少なくとも部分的にポリューム $V(i)$ を埋め込む積層シェルを形成し、ポリューム $V(N)$ には、ポリューム $V(1)$ から $V(N-1)$ のすべてのポリュームが少なくとも部分的に埋め込まれる、誘電体材料の複数ポリュームを備える、誘電体共振器アンテナ(DRA)であって、電気信号を介して励起されたときのDRAは、遠方場三次元放射パターン内の単一点においてそれぞれ収縮可能な閉ループ経路ファミリーによって定義された単一要素ホモトピー群に対応するトポロジー空間を占める三次元放射パターンを生成するように構成されている、DRA。

10

## 【0210】

## (実施形態10)

N個のポリュームを備える誘電体材料の複数ポリュームであって、Nは3以上の整数であり、連続および順次積層ポリューム $V(i)$ を形成するように配置され、 $i$ は1からNの整数であり、ポリューム $V(1)$ は最内第1ポリュームを形成し、後続のポリューム $V(i+1)$ は、ポリューム $V(i)$ 上に配置され少なくとも部分的にポリューム $V(i)$ を埋め込む積層シェルを形成し、ポリューム $V(N)$ には、ポリューム $V(1)$ から $V(N-1)$ のすべてのポリュームが少なくとも部分的に埋め込まれる、誘電体材料の複数ポリュームを備える、誘電体共振器アンテナ(DRA)であって、電気信号を介して励起されたときのDRAは、単一点において収縮可能な閉ループ経路ファミリーによって、および、単一点において収縮可能でない閉ループ経路ファミリーによって定義された二要素ホモトピー群に対応するトポロジー空間を占める遠方場三次元放射パターンを生成するように構成されている、DRA。

20

## 【0211】

## (実施形態11)

N個のポリュームを備える誘電体材料の複数ポリュームであって、Nは3以上の整数であり、連続および順次積層ポリューム $V(i)$ を形成するように配置され、 $i$ は1からNの整数であり、ポリューム $V(1)$ は最内第1ポリュームを形成し、後続のポリューム $V(i+1)$ は、ポリューム $V(i)$ 上に配置され少なくとも部分的にポリューム $V(i)$ を埋め込む積層シェルを形成し、ポリューム $V(N)$ には、ポリューム $V(1)$ から $V(N-1)$ のすべてのポリュームが少なくとも部分的に埋め込まれる、誘電体材料の複数ポリュームの各積層ポリュームは、誘電率 $\epsilon(i)$ を有し、各層の誘電率およびポリュームは、 $\epsilon(i+1) * V(i+1)$ 、 $\epsilon(i) * V(i)$ 、 $\epsilon(1) * V(1)$ を除く、なお $\epsilon(1)$  空気の誘電率)の関係に従っている、DRA。

30

## 【0212】

## (実施形態12)

N個のポリュームを備える誘電体材料の複数ポリュームであって、Nは3以上の整数であり、連続および順次積層ポリューム $V(i)$ を形成するように配置され、 $i$ は1からNの整数であり、ポリューム $V(1)$ は最内第1ポリュームを形成し、後続のポリューム $V(i+1)$ は、ポリューム $V(i)$ 上に配置され少なくとも部分的にポリューム $V(i)$ を埋め込む積層シェルを形成し、ポリューム $V(N)$ には、ポリューム $V(1)$ から $V(N-1)$ のすべてのポリュームが少なくとも部分的に埋め込まれる、誘電体材料の複数ポリュームの各積層ポリュームは、誘電率 $\epsilon(i)$ を有し、各層の誘電率およびポリュームは、 $\epsilon(i) * V(i)$ 、 $C(f)$  ( $C(f)$ は所与周波数における定数であり、 $\epsilon(1) * V(1)$ を除く、なお $\epsilon(1)$  空気の誘電率)の関係に従っている、DRA。

40

## 【0213】

## (実施形態13)

導電性接地構造体と、誘電体材料の複数ポリュームのうちの1つ以上に電磁的に結合さ

50

れるように配置および構成された信号フィードとをさらに含み、誘電体材料の複数ボリュームは、接地構造体上に配置されている、実施形態 9 ~ 12 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 1 4 】

( 実施形態 1 4 )

信号フィードは、接地構造体と電氣的に接触せずに、接地構造体の開口部内に配置され、誘電体材料の複数ボリュームのうちの 1 つ内に配置される、実施形態 13 に記載の D R A。

【 0 2 1 5 】

( 実施形態 1 5 )

第 1 ボリューム V ( 1 ) は、垂直配向された少なくとも部分的に楕円の形状を有している、実施形態 1 ~ 14 のいずれかに記載の D R A。 10

【 0 2 1 6 】

( 実施形態 1 6 )

第 1 ボリューム V ( 1 ) の垂直配向された少なくとも部分的に楕円の形状は、複数ボリュームの中央 z 軸に対して軸方向に位置合わせされる、実施形態 15 に記載の D R A。

【 0 2 1 7 】

( 実施形態 1 7 )

第 1 ボリューム V ( 1 ) は、空気の誘電率に等しい誘電率を有する、実施形態 1 ~ 16 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 1 8 】

( 実施形態 1 8 )

誘電体材料の複数ボリュームの周囲における周辺幾何学経路は、周辺幾何学経路にて T M 放射モードをサポートする誘電率を有し、誘電体材料の複数ボリューム内の中央幾何学経路は、中央幾何学経路にて T M 放射モードを抑制する誘電率を有する、実施形態 1 ~ 17 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 1 9 】

( 実施形態 1 9 )

中央幾何学経路における T M 放射モードが、完全に抑制される、実施形態 18 に記載の D R A。

【 0 2 2 0 】

( 実施形態 2 0 )

誘電体材料の複数ボリュームは、T E 半波長共振によって定義される第 1 経路長を有する第 1 電気経路を有し、T M 半波長共振によって定義される第 2 経路長を有する第 2 幾何学経路を有し、第 2 経路長に対する第 1 経路長の比は、1 . 6 以上である、実施形態 1 ~ 19 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 2 1 】

( 実施形態 2 1 )

T E 半波長共振は、 $R_r$  によって定義され、R は、D R A の全体の高さであり、 $R_r$  は、誘電体材料の複数ボリュームの外周における比誘電率であり、T M 半波長共振は、 $R_{Ai_r} + R / 2$   $R_r$  により定義され、 $A_{i_r}$  は、空気の誘電率である、実施形態 20 に記載の D R A。 40

【 0 2 2 2 】

( 実施形態 2 2 )

信号フィードは、誘電体材料の第 1 ボリューム V ( 1 ) 内に配置され、かつ、電磁的に結合され、誘電体材料の複数ボリュームのうちの各ボリュームは、信号フィードの長手方向軸に対して平行に、かつ、それに対して中央配置される中央長手方向軸を有しており、信号フィードの長手方向軸は、接地構造体に垂直である、実施形態 1 ~ 8 および 13 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 2 3 】

( 実施形態 2 3 )

信号フィードは、誘電体材料の第1ポリウム $V(1)$ 以外の誘電体材料の複数ポリウムのうちの1つ内に配置され、かつ、電磁的に結合される、実施形態1～8および13のいずれかに記載のDRA。

【0224】

(実施形態24)

誘電体材料の複数ポリウムのうちの各ポリウムは、互いに対して平行であり、かつ、中央配置される中央長手方向軸を有しており、各中央長手方向軸は、接地構造体に垂直である、実施形態1～8、13および23のいずれかに記載のDRA。

【0225】

(実施形態25)

誘電体材料の複数ポリウムのうちの各ポリウムは、互いに対して平行であり、かつ、互いに対して同じ横方向に横シフトされる中央長手方向軸を有しており、各中央長手方向軸は、接地構造体に垂直である、実施形態1～8、13および23のいずれかに記載のDRA。

【0226】

(実施形態26)

接地構造体上に配置され1から3の間の誘電率を有する材料を備える容器をさらに備え、誘電体材料の複数ポリウムは、容器内に埋め込まれ、誘電体材料の複数ポリウムの各ポリウムは、互いに対して平行であり、かつ、中央配置される中央長手方向軸を有しており、誘電体材料の複数ポリウムは、容器の中央長手方向軸に対して横方向に中央でシフトされ、各中央長手方向軸は、接地構造体に垂直である、実施形態1～8、13および23のいずれかに記載のDRA。

【0227】

(実施形態27)

接地構造体上に配置され1から3の間の誘電率を有する材料を備える容器をさらに備え、誘電体材料の複数ポリウムは、容器内に埋め込まれ、誘電体材料の複数ポリウムの各ポリウムは、互いに対して、および容器の長手方向軸に対して中央配置された中央長手方向軸を有し、各中央長手方向軸は、接地構造体に垂直であり、誘電体材料の複数ポリウムの外側ポリウム $V(N)$ は、非対称形状を有している、実施形態1～8、13および23のいずれかに記載のDRA。

【0228】

(実施形態28)

誘電体材料の複数ポリウムの直接隣接ポリウムは、異なる誘電率値を有し、これは、ポリウム $V(1)$ における第1相対極小値から、ポリウム $V(2)$ から $V(N-1)$ の1つにおける相対極大値に、そしてポリウム $V(N)$ における第2相対極小値に戻る範囲にわたる、実施形態1～27のいずれかに記載のDRA。

【0229】

(実施形態29)

誘電体材料の複数ポリウムの直接隣接ポリウムは、異なる誘電率値を有し、これは、ポリウム $V(1)$ における第1相対極小値から、ポリウム $V((N+1)/2)$ における相対極大値に、そして、 $V(N)$ における第2相対極小値に戻る範囲にわたり、 $N$ は奇数の整数である、実施形態1～27のいずれかに記載のDRA。

【0230】

(実施形態30)

第1相対極小値は、第2相対極小値に等しい、実施形態28または29に記載のDRA。

【0231】

(実施形態31)

誘電体材料の複数ポリウムの各ポリウムは、互いに対して軸方向に中央配置され、信号フィードに対して軸方向に中央配置される円筒形断面を有する、実施形態1～8、1

10

20

30

40

50

3 および 2 2 ~ 2 7 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 3 2 】

( 実施形態 3 2 )

誘電体材料の複数ボリュームの各ボリュームは、互いに対して軸方向に中央配置され、信号フィードに対して軸方向に中央配置される楕円形断面を有する、実施形態 1 ~ 8、1 3 および 2 2 ~ 2 7 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 3 3 】

( 実施形態 3 3 )

誘電体材料の複数ボリュームの各ボリュームは、円筒形を有している、実施形態 1 ~ 8、1 3 および 2 2 ~ 2 7 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 3 4 】

( 実施形態 3 4 )

誘電体材料の複数ボリュームの各ボリュームは、楕円形を有している、実施形態 1 ~ 8、1 3 および 2 2 ~ 2 7 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 3 5 】

( 実施形態 3 5 )

信号フィードは、誘電体材料の第 2 ボリューム V ( 2 ) 内に配置され、そこに電磁的に結合されている、実施形態 1 ~ 8、1 3 および 2 3 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 3 6 】

( 実施形態 3 6 )

誘電体材料の複数ボリュームの各ボリュームおよび埋め込まれた信号フィードがアーチを形成し、誘電体材料の複数ボリュームの各アーチ形ボリュームが、接地平面上に配置された各アーチ形ボリュームの両方の端部を有する、実施形態 1 ~ 8 および 1 3 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 3 7 】

( 実施形態 3 7 )

信号フィードは、誘電体材料の第 1 ボリューム V ( 1 ) 内に配置され、そこに電磁的に結合されており、誘電体材料の複数ボリュームの各ボリュームは、半球形状を有しており、接地構造体上に配置され 1 から 3 の間の誘電率を有する材料を備える容器をさらに備え、容器は半球形状を有しており、誘電体材料の複数ボリュームは、容器内に埋め込まれ、誘電体材料の複数ボリュームの各ボリュームは、互いに対して中央配置された天頂軸を有し、誘電体材料の複数ボリュームは、容器の天頂軸に対して横方向に中央でシフトされ、信号フィードは、誘電体材料の第 1 ボリューム V ( 1 ) 内にアーチ形成され、第 1 ボリューム V ( 1 ) の天頂軸から中心ずれて第 1 ボリューム V ( 1 ) に入る、実施形態 1 ~ 8 および 1 3 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 3 8 】

( 実施形態 3 8 )

誘電体材料の複数ボリュームの各ボリュームは、そのそれぞれの中央長手方向軸へと長手方向に向けられた細長いドーム形状を有しており、誘電体材料の複数ボリュームの周りで円周方向に配置され、かつ、接地構造体に電氣的に接続されてその一部を形成する導電性フェンスをさらに備える、実施形態 2 5 に記載の D R A。

【 0 2 3 9 】

( 実施形態 3 9 )

誘電体材料の第 1 ボリューム V ( 1 ) は、導電性フェンスの円周の中心に対して中央配置される、実施形態 3 8 に記載の D R A。

【 0 2 4 0 】

( 実施形態 4 0 )

誘電体材料の複数ボリュームの各ボリュームは、誘電体材料の複数ボリュームのうちの隣接するものと直接密接接触する、実施形態 1 ~ 3 9 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 4 1 】

10

20

30

40

50

## (実施形態 4 1)

信号フィードは、銅線、同軸ケーブル、マイクロストリップ、導波路、表面集積導波路または導電性インクを含む、実施形態 1 ~ 8、13、22 ~ 27 および 31 ~ 39 のいずれかに記載の D R A。

## 【0242】

## (実施形態 4 2)

誘電体材料の複数ボリュームの周りで円周方向に配置され、接地構造体に電氣的に接続されてその一部を形成する導電性フェンスをさらに備える、実施形態 1 から 8、13、22 ~ 27、31 ~ 39 および 41 のいずれかに記載の D R A。

## 【0243】

## (実施形態 4 3)

N は 5 に等しい、実施形態 1 ~ 42 のいずれかに記載の D R A。

## (実施形態 4 4)

x および y が整数である x x y アレイパターンに配置された、実施形態 1 ~ 43 のいずれかに記載の複数の D R A を備える D R A アレイ。

## 【0244】

## (実施形態 4 5)

x が y に等しい、実施形態 44 に記載の D R A アレイ。

## (実施形態 4 6)

誘電体材料の複数ボリューム内に配置された誘電体材料のボリューム V ( A ) をさらに備え、ボリューム V ( A ) は、信号フィードとは正反対に配置され、信号フィードがボリューム V ( A ) 内に配置されるかまたはそれと信号通信を行う誘電体材料の複数ボリュームのうちの同じボリューム V ( i ) 内に少なくとも部分的に埋め込まれ、ボリューム V ( A ) は、それが中に少なくとも部分的に埋め込まれるボリューム V ( i ) よりも少ないボリュームを有し、ボリューム V ( A ) は、それが中に少なくとも部分的に埋め込まれるボリューム V ( i ) の誘電率と異なる誘電率を有する、実施形態 1 ~ 8、13、22 ~ 27、31 ~ 39、41 および 42 のいずれかに記載の D R A。

## 【0245】

## (実施形態 4 7)

ボリューム V ( A ) は、それが中に埋め込まれるボリューム V ( i ) に 100 % 完全に埋め込まれる、実施形態 46 に記載の D R A。

## 【0246】

## (実施形態 4 8)

ボリューム V ( A ) は、接地構造体上に配置される、実施形態 46 または 47 に記載の D R A。

## 【0247】

## (実施形態 4 9)

ボリューム V ( A ) は、誘電体材料の複数ボリュームの高さの十分の一以上であり、誘電体材料の複数ボリュームの高さの三分の一以下である高さを有する、実施形態 46 ~ 48 のいずれかに記載の D R A。

## 【0248】

## (実施形態 5 0)

ボリューム V ( A ) は、それが中に埋め込まれているボリューム V ( i ) の誘電率より大きい誘電率を有する、実施形態 46 ~ 49 のいずれかに記載の D R A。

## 【0249】

## (実施形態 5 1)

ボリューム V ( A ) は、金属ポストである、実施形態 46 ~ 49 のいずれかに記載の D R A。

## 【0250】

## (実施形態 5 2)

10

20

30

40

50

ポリウムV ( A ) は、空気である、実施形態 4 6 ~ 4 9 のいずれかに記載の D R A。

( 実施形態 5 3 )

ポリウムV ( A ) は、ポリウムV ( 2 ) に埋め込まれる、実施形態 4 6 ~ 5 2 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 5 1 】

( 実施形態 5 4 )

導電性フェンスは、誘電体材料の複数ポリウムの全体的な高さの 0 . 2 倍以上かつ誘電体材料の複数ポリウムの全体的な高さの 3 倍以下の高さを有する、実施形態 3 8、3 9 および 4 2 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 5 2 】

( 実施形態 5 5 )

導電性フェンスは、誘電体材料の複数ポリウムの全体的な高さの 0 . 2 倍以上かつ誘電体材料の複数ポリウムの全体的な高さの 0 . 8 倍以下の高さを有する、実施形態 3 8、3 9 および 4 2 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 5 3 】

( 実施形態 5 6 )

導電性フェンスは、少なくとも 1 つの位置合わせ機構を提供する不均一内部形状を有し、誘電体材料の複数ポリウムは、不均一内部形状およびフェンスの少なくとも 1 つの位置合わせ機構を補足する相補的な外形を有しており、これにより、フェンスおよび誘電体材料の複数ポリウムは、少なくとも 1 つの位置合わせ機構を介して相互に定義されて固定される位置合わせを有する、実施形態 3 8、3 9、4 2、5 4 および 5 5 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 5 4 】

( 実施形態 5 7 )

第 1 ポリウムV ( 1 ) は、上側部分および下側部分を有しており、下側部分は、上側部分よりも広い、実施形態 1 ~ 8、1 3、2 2 ~ 2 7、3 1 ~ 3 9、4 1、4 2 および 4 6 ~ 5 6 のいずれかに記載の D R A。

【 0 2 5 5 】

( 実施形態 5 8 )

上側部分は、垂直配向された少なくとも部分的に楕円の形状を有し、下側部分は、少なくとも部分的に楕円の形状から接地構造体に向かって、狭くから広くへと遷移するテーパ形状を有する、請求 5 7 に記載の D R A。

【 0 2 5 6 】

( 実施形態 5 9 )

テーパ形状の高さは、ポリウムV ( 1 ) の高さの十分の一以上であり、かつ、ポリウムV ( 1 ) の高さの半分以下である、実施形態 5 8 に記載の D R A。

【 0 2 5 7 】

( 実施形態 6 0 )

実施形態 1 ~ 8、1 3、2 2 ~ 2 7、3 1 ~ 3 9、4 1、4 2 および 4 6 ~ 5 9 のいずれかに記載の D R A または D R A のアレイを製造する方法であって、誘電体材料の複数ポリウムの少なくとも 1 つのポリウム、または、誘電体材料の複数ポリウムのすべてのポリウムを成形する工程を備える方法。

【 0 2 5 8 】

( 実施形態 6 1 )

少なくとも 1 つのポリウムを導電性金属インサート上に成形して、信号フィードまたは接地構造体を提供する、実施形態 6 0 に記載の方法。

【 0 2 5 9 】

( 実施形態 6 2 )

最外ポリウムV ( N ) の外側金型部分に金属層を挿入し、金属層上に最外ポリウムV ( N ) を成形して、信号フィードまたは接地構造体を最外ポリウムV ( N ) 上に提供

10

20

30

40

50



する工程を備える、実施形態 60 または 61 に記載の方法。

【0260】

(実施形態 63)

誘電体材料の複数ボリュームのボリューム上に特徴を三次元印刷またはインクジェット印刷する工程をさらに含む、実施形態 60 ~ 62 のいずれかに記載の方法。

【0261】

(実施形態 64)

複数ボリュームのうちの少なくとも 1 つのボリュームは、セラミックを含む金型インサート内に成形される、実施形態 60 ~ 63 のいずれかに記載の方法。

【0262】

(実施形態 65)

複数ボリュームのうちの少なくとも 1 つのボリュームを、接地構造体上にまたは 1 と 3 の間の誘電率を有する材料を含む容器内に成形する、実施形態 60 ~ 64 のいずれかに記載の方法。

【0263】

(実施形態 66)

成形する工程は、第 1 金型において誘電体材料の複数ボリュームの第 1 ボリュームと、第 1 金型と異なる第 2 金型において複数の誘電体材料の第 2 ボリュームとの成形を行う工程を含む、実施形態 60 ~ 65 のいずれか一項に記載の方法。

【0264】

(実施形態 67)

第 2 ボリュームの表面に第 1 ボリュームの表面を接着する工程をさらに含む、実施形態 66 に記載の方法。

【0265】

(実施形態 68)

成形する工程は、誘電体材料の複数ボリュームの第 1 ボリュームの成形を行う工程と、第 1 ボリューム内にまたはその上に誘電体材料の複数ボリュームの第 2 ボリュームを成形する工程とを含む、実施形態 60 ~ 65 のいずれかに記載の方法。

【0266】

(実施形態 69)

成形する工程は、誘電体材料の複数ボリュームの少なくとも 1 つのボリュームを射出成形する工程を含む、実施形態 60 ~ 68 のいずれかに記載の方法。

【0267】

(実施形態 70)

外型枠および内型枠を有する第 1 金型において誘電体材料の複数ボリュームの第 1 ボリュームの射出成形を行う工程と、内型枠を除去してそれを誘電体材料の複数ボリュームの第 2 ボリュームの内部寸法を規定する第 2 内型枠に置換する工程と、第 1 ボリュームに第 2 ボリュームを射出成形する工程とをさらに備える、実施形態 69 に記載の方法。

【0268】

(実施形態 71)

第 1 ボリュームは、最外ボリューム  $V(N)$  である、実施形態 70 に記載の方法。

(実施形態 72)

外型枠および内型枠を有する第 1 金型において誘電体材料の複数ボリュームの第 1 ボリュームの射出成形を行う工程と、外型枠を除去してそれを誘電体材料の複数ボリュームの第 2 ボリュームの外部寸法を規定する第 2 外型枠に置換することと、第 1 ボリュームに第 2 ボリュームを射出成形する工程とをさらに備える、実施形態 69 に記載の方法。

【0269】

(実施形態 73)

第 1 ボリュームは、最内ボリューム  $V(1)$  である、実施形態 72 に記載の方法。

(実施形態 74)

10

20

30

40

50

射出成形を行う工程は、硬化性組成物、および組成物を硬化させるのに有効な触媒系を含む熱硬化性組成物を射出成形する工程と、少なくとも1つのポリュームを形成するために硬化性組成物を硬化させる工程とを備える、実施形態69～73のいずれかに記載の方法。

【0270】

(実施形態75)

成形する工程は、誘電体材料の複数ポリュームの少なくとも1つのポリュームを圧縮成形する工程を含む、実施形態60～68のいずれかに記載の方法。

【0271】

(実施形態76)

圧縮成形する工程は、外型枠および内型枠を有する第1金型において誘電体材料の複数ポリュームの第1ポリュームの圧縮成形を行う工程と、内型枠を除去してそれを誘電体材料の複数ポリュームの第2ポリュームの内部寸法を規定する第2内型枠に置換する工程と、第1ポリュームに第2ポリュームを圧縮成形する工程とを備える、実施形態75に記載の方法。

【0272】

(実施形態77)

第1ポリュームは、最外ポリュームV(N)である、実施形態76に記載の方法。

(実施形態78)

圧縮成形する工程は、外型枠および内型枠を有する第1金型において誘電体材料の複数ポリュームの第1ポリュームの圧縮成形を行う工程と、外型枠を除去してそれを誘電体材料の複数ポリュームの第2ポリュームの外部寸法を規定する第2外型枠に置換する工程と、第1ポリューム上に第2ポリュームを圧縮成形する工程とを備える、実施形態76に記載の方法。

【0273】

(実施形態79)

第1ポリュームは、最内ポリュームV(1)である、実施形態77に記載の方法。

(実施形態80)

実施形態1～8、13、22～27、31～39、41～42および46～59のいずれかに記載のDRAまたはDRAのアレイを製造する方法であって、誘電体材料の複数ポリュームを提供するために予め設定されたパターンで誘電体組成物を含む複数の溶融層を形成する工程を備える方法。

【0274】

(実施形態81)

複数の溶融層は、信号フィードまたは接地構造体を提供するために導電性金属要素上に形成される、実施形態80に記載の方法。

【0275】

(実施形態82)

複数の溶融層のうちの層上に金属要素を印刷する工程をさらに含む、実施形態80または81に記載の方法。

【0276】

(実施形態83)

最外ポリュームV(N)上に信号フィードまたは接地構造体を提供するために、最外ポリュームV(N)上に印刷が行われる、実施形態82に記載の方法。

【0277】

(実施形態84)

誘電体材料の複数ポリュームのうちの少なくとも1つのポリュームは、接地構造体上に、または、1から3の間の誘電率を有する材料を含む容器内に形成される、実施形態80～83のいずれかに記載の方法。

【0278】

10

20

30

40

50

(実施形態 85)

複数の誘電体材料の第 1 ボリュームを、複数の誘電体材料の第 2 ボリュームとは別個に形成する工程をさらに備える、実施形態 80 ~ 84 のいずれかに記載の方法。

【0279】

(実施形態 86)

第 2 ボリュームの表面に第 1 ボリュームの表面を接着する工程をさらに備える、実施形態 85 に記載の方法。

【0280】

(実施形態 87)

誘電体材料の複数ボリュームの第 1 ボリュームを提供するために第 1 複数溶融層を形成する工程と、誘電体材料の複数ボリュームの第 2 ボリュームを第 1 ボリューム上に提供するために第 1 ボリュームの外側表面に第 2 複数溶融層を形成する工程とをさらに備える、実施形態 80 ~ 86 のいずれかに記載の方法。

10

【0281】

(実施形態 88)

第 1 ボリュームは、最内ボリューム V (1) である、実施形態 87 に記載の方法。

(実施形態 89)

誘電体材料の複数ボリュームの第 1 ボリュームを提供するために第 1 複数溶融層を形成する工程と、誘電体材料の複数ボリュームの第 2 ボリュームを提供するために第 1 ボリュームの内側表面に第 2 複数溶融層を形成する工程とをさらに備える、実施形態 80 ~ 86 のいずれかに記載の方法。

20

【0282】

(実施形態 90)

第 1 ボリュームは、最外ボリューム V (N) である、実施形態 89 に記載の方法。

(実施形態 91)

複数溶融層のうちの少なくとも 1 つの層の形成中、または、複数溶融層のうちの 2 つの隣接層の形成中に、誘電体組成物を変化させる工程をさらに備える、実施形態 80 ~ 90 のいずれかに記載の方法。

【0283】

(実施形態 92)

誘電体組成物は熱可塑性ポリマーを含む、実施形態 80 ~ 91 のいずれかに記載の方法。

30

【0284】

(実施形態 93)

誘電体組成物は熱硬化性組成物を含む、実施形態 80 ~ 91 のいずれかに記載の方法。

(実施形態 94)

複数溶融層を形成する前またはその間に熱硬化性組成物の重合または架橋を開始することをさらに含む、実施形態 93 に記載の方法。

【0285】

(実施形態 95)

複数溶融層を形成した後に熱硬化性組成物の重合または架橋を開始する工程をさらに含む、実施形態 93 に記載の方法。

40

【0286】

(実施形態 96)

実施形態 1 ~ 59 のいずれかに記載の DRA または DRA のアレイを製造する方法であって、第 1 誘電率を有する第 1 誘電体材料から誘電体材料の複数ボリュームの第 1 ボリュームを形成する工程と、第 2 誘電率を有する第 2 誘電体材料で誘電体材料の複数ボリュームの第 2 ボリュームを提供するために第 1 ボリュームの表面に誘電体組成物を塗布する工程とを備える方法。

【0287】

50

(実施形態 97)

塗布する工程は、ディップコーティング、噴霧、ブラッシング、ロールコーティング、またはこれらの少なくとも1つを含む組合せによって行う、実施形態 96 に記載の方法。

【0288】

(実施形態 98)

誘電体組成物は、熱可塑性ポリマー、または、溶媒に溶解された熱可塑性ポリマーを含む、実施形態 96 または 97 に記載の方法。

【0289】

(実施形態 99)

誘電体組成物は、溶媒中の熱硬化性組成物、または、液体熱硬化性組成物を含む、実施形態 96 または 97 に記載の方法。

【0290】

(実施形態 100)

塗布中またはその後に熱硬化性組成物を重合または硬化させる工程をさらに備える、実施形態 99 に記載の方法。

【0291】

(実施形態 101)

第1および第2誘電率が異なっている、実施形態 96 ~ 100 のいずれかに記載の方法。

【0292】

(実施形態 102)

第1ポリウムは、最内ポリウム V (1) である、実施形態 96 ~ 101 のいずれかに記載の方法。

【0293】

(実施形態 103)

第2ポリウムは、最外ポリウム V (N) である、実施形態 96 ~ 102 のいずれかに記載の方法。

【0294】

(実施形態 104)

最内ポリウム V (1) に後続する誘電体材料の複数ポリウムのすべてのポリウムは、それぞれのポリウムの下にあるポリウムに誘電体組成物を順次塗布する工程により形成される、実施形態 96 ~ 103 のいずれかに記載の方法。

【0295】

本発明を、例示的な実施形態を参照して説明してきたが、様々な変更を行い得、均等物が本開示の範囲から逸脱することなくその要素に対して置換され得ることは当業者によって理解されるであろう。加えて、多くの変形例が、その本質的な範囲から逸脱することなく、教示に対して特定の状況または材料を適合させられ得る。したがって、本発明は、本発明を実施するために考えられる最良または唯一の形態として開示される特定の実施形態に限定されるものではなく、本発明は、添付の特許請求の範囲内に入るすべての実施形態を包含することが意図される。また、図面および説明において、例示的な実施形態が開示されており、特定の用語および/または寸法が採用されている可能性があるが、それらは、特に明記しない限り、一般的な、例示的なおよび/または説明の意味でのみ使用されているものであり、制限目的ではない。

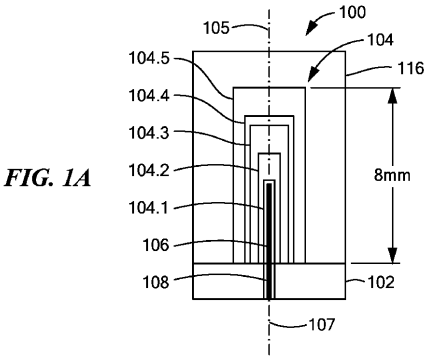
10

20

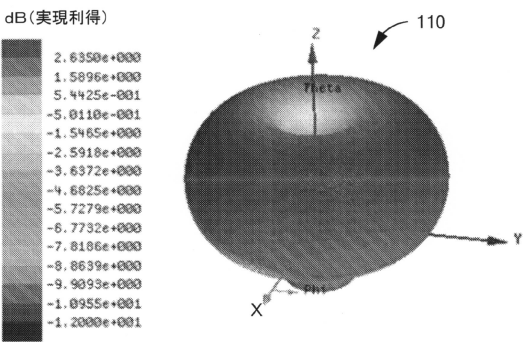
30

40

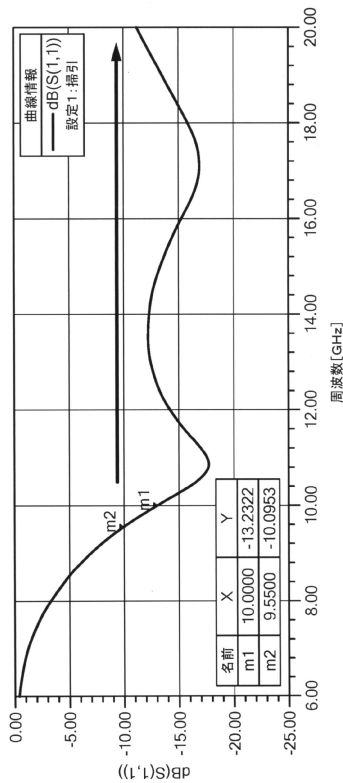
【図 1 A】



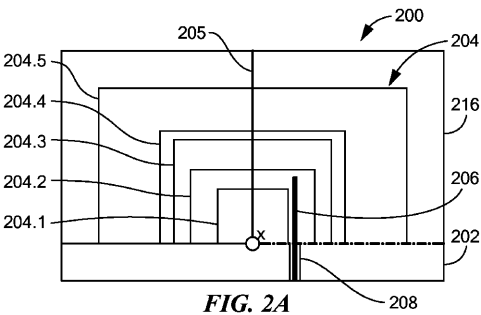
【図 1 B】



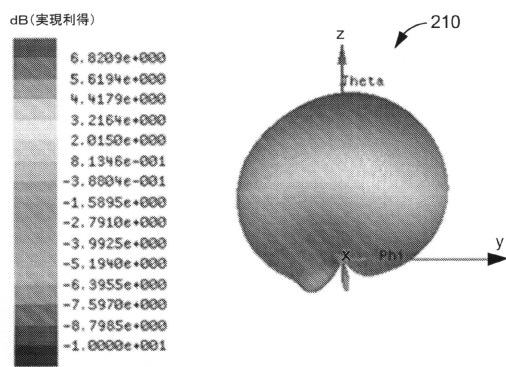
【図 1 C】



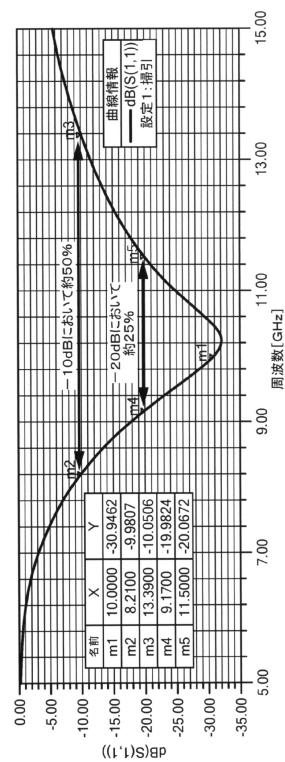
【図 2 A】



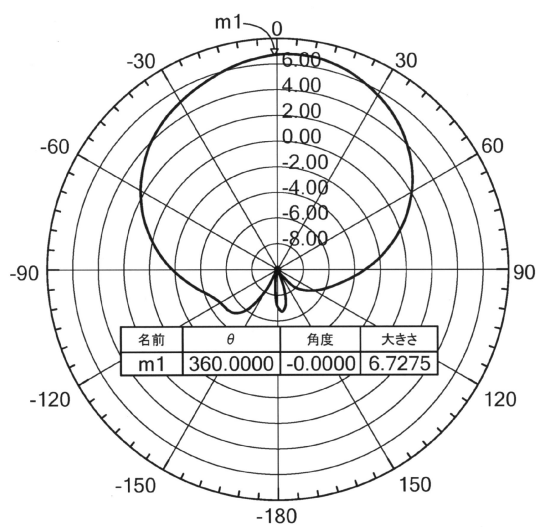
【図 2 B】



【図 2 C】



【図 2 D】



【図 3 A】

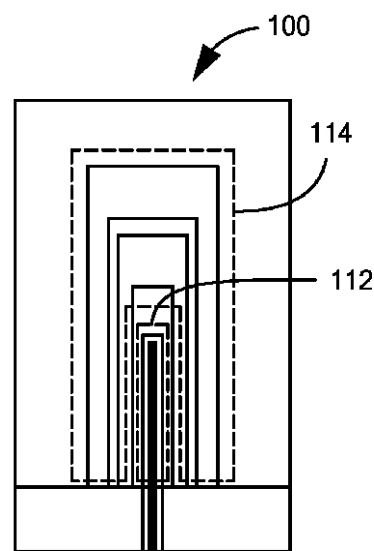
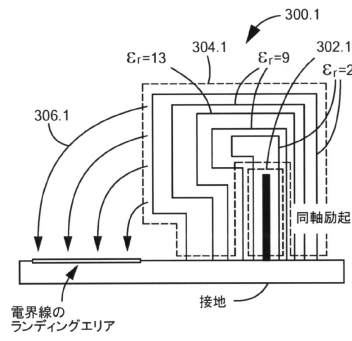
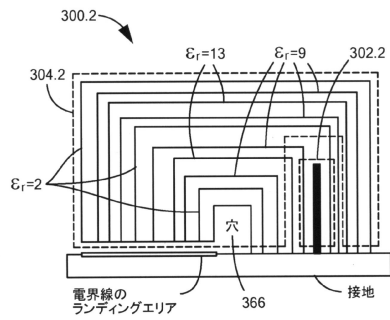


FIG. 3A

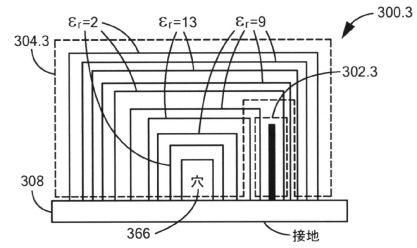
【図 3 B】



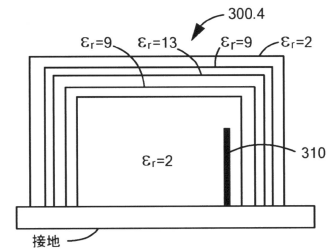
【図 3 C】



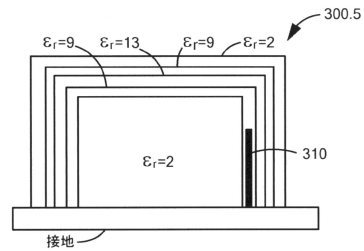
【図 3 D】



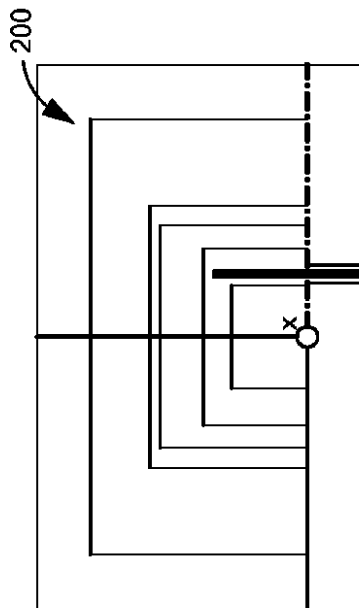
【図 3 E】



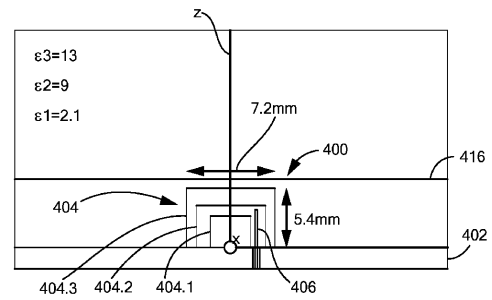
【図 3 F】



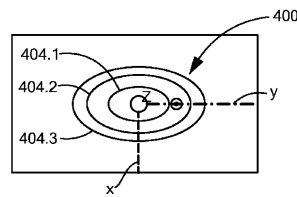
【図 3 G】

**FIG. 3G**

【図 4 A】

**FIG. 4A**

【図 4 B】

**FIG. 4B**

【図 5 A】

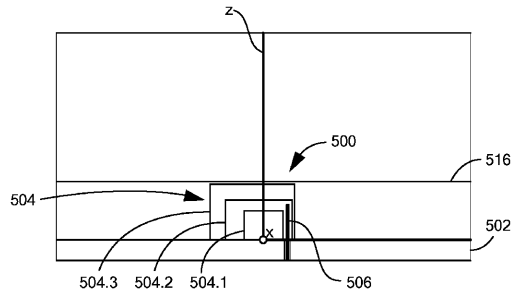


FIG. 5A

【図 6 A】

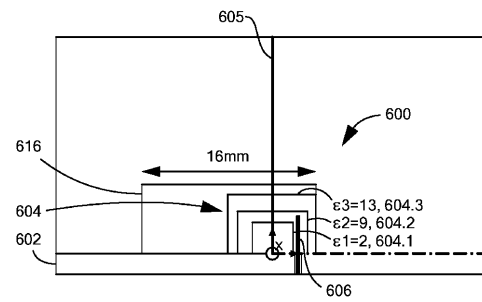


FIG. 6A

【図 5 B】

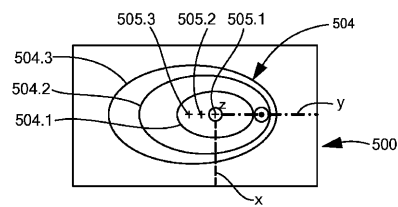


FIG. 5B

【図 6 B】

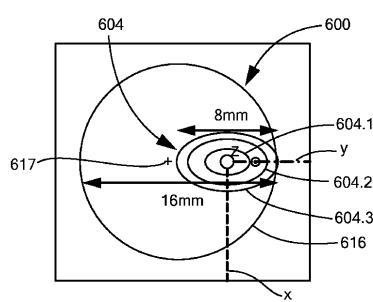


FIG. 6B

【図 7 A】

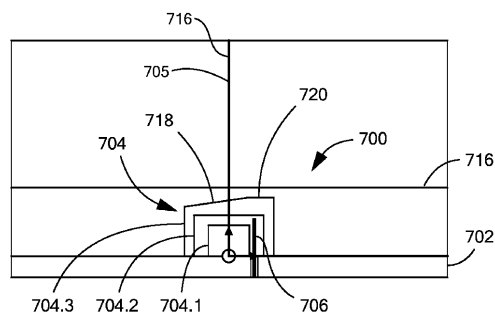


FIG. 7A

【図 8 A】

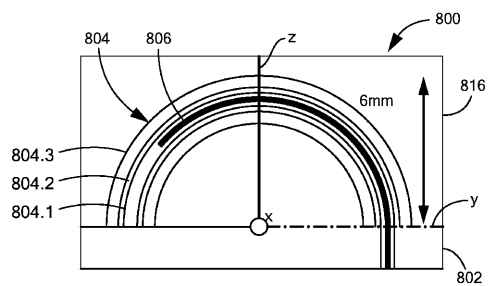
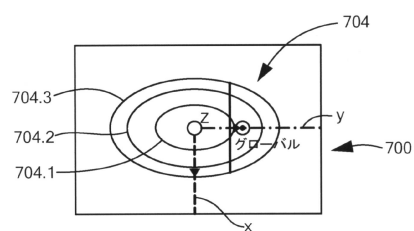
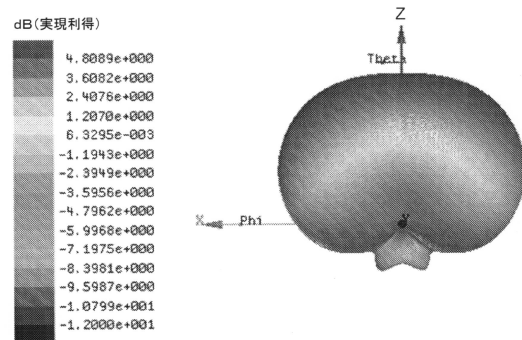


FIG. 8A

【図 7 B】

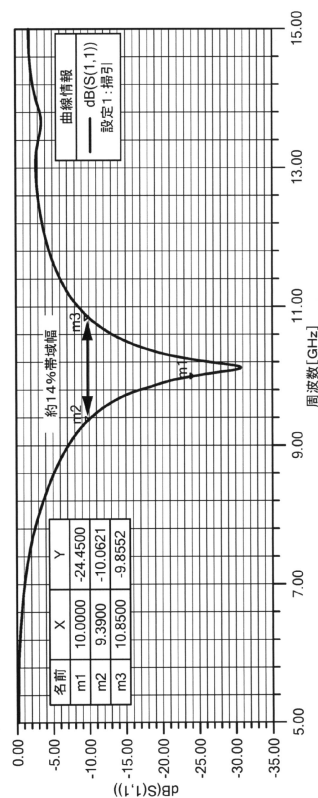


【図 8 B】





【図 8 C】



【図 9 A】

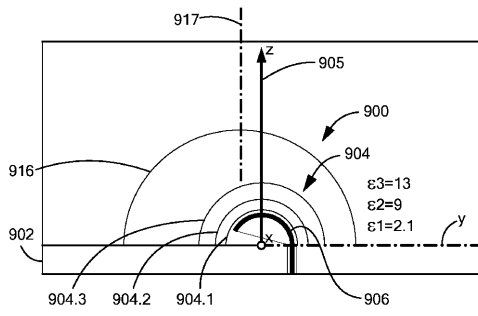


FIG. 9A

【図 9 B】

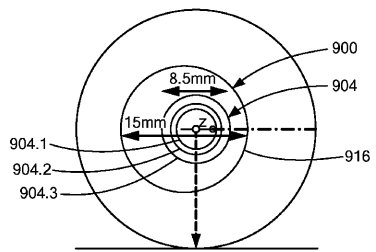


FIG. 9B

【図 10 A】

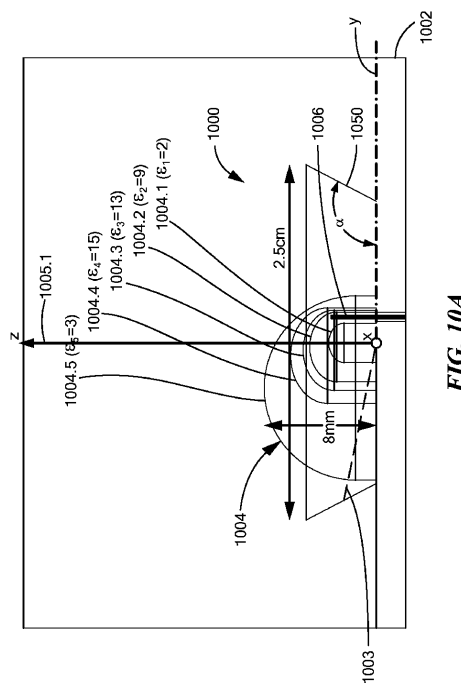


FIG. 10A

【図 10 B】

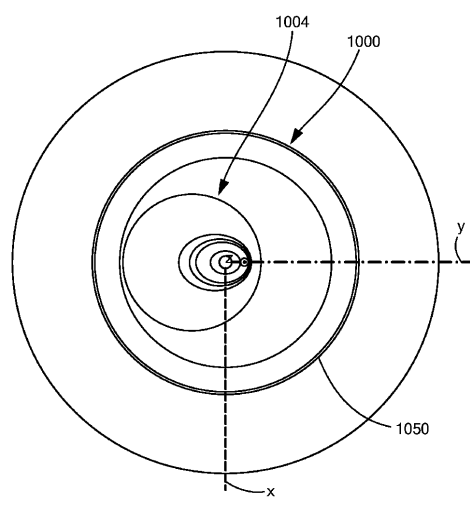
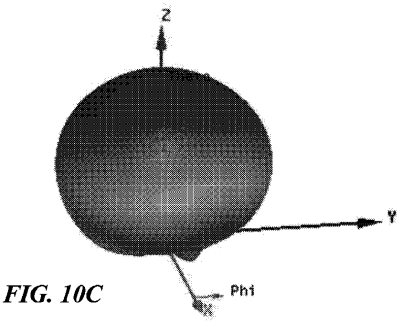
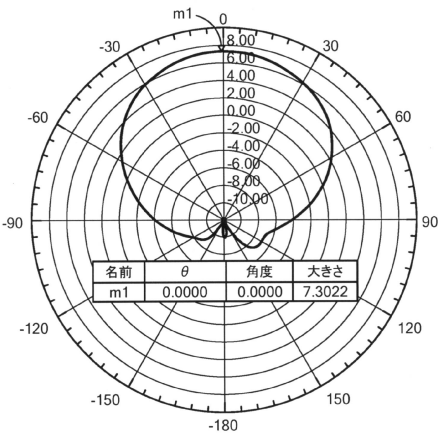


FIG. 10B

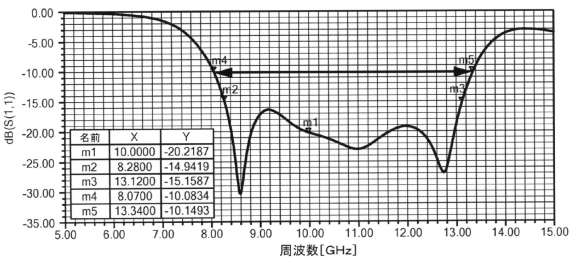
【図 10C】



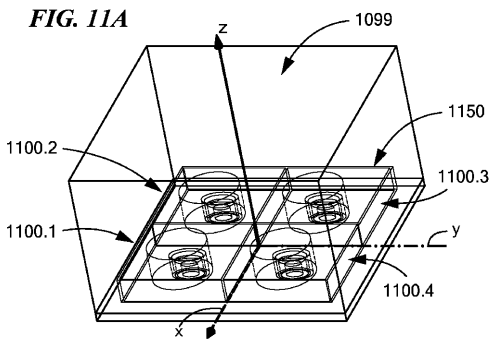
【図 10D】



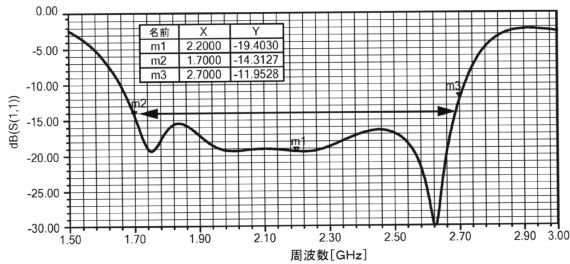
【図 10E】



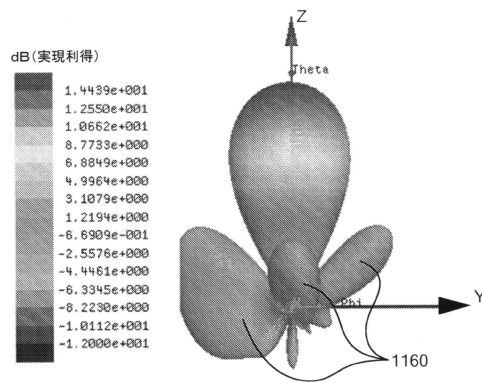
【図 11A】



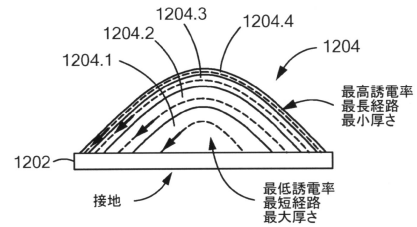
【図 10F】



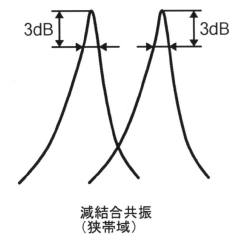
【図 1 1 B】



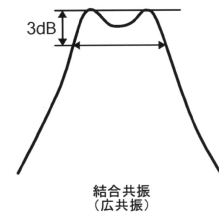
【図 1 2 A】



【図 1 2 B】



【図 1 2 C】



【図 1 3 A】

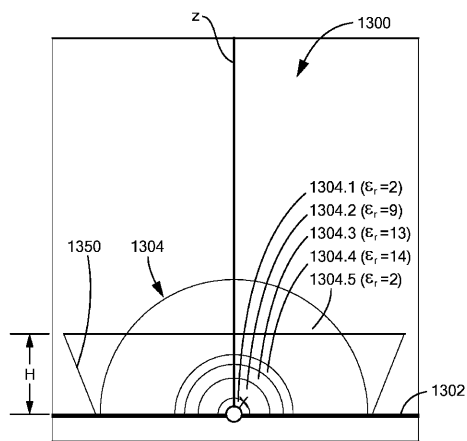


FIG. 13A

【図 1 3 B】

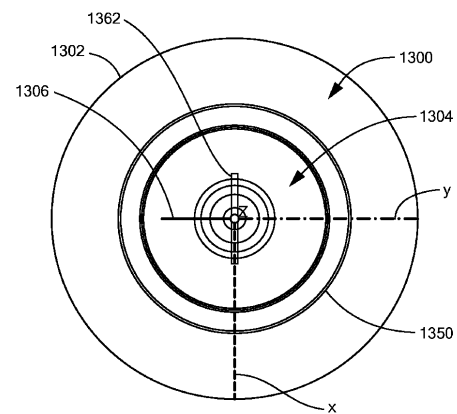


FIG. 13B

【図 13 C】

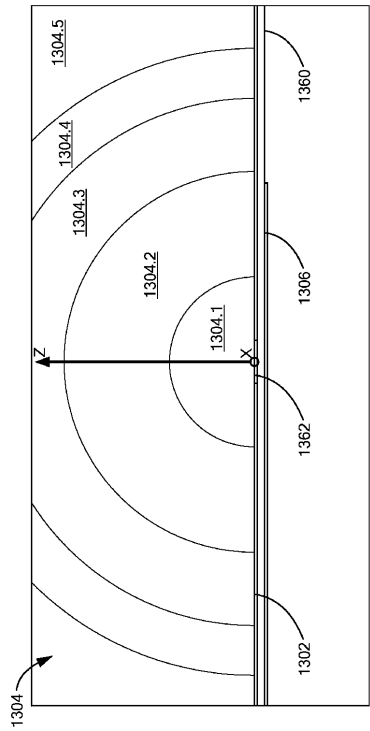


FIG. 13C

【図 13 D】

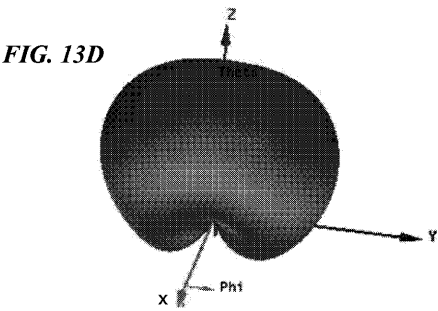
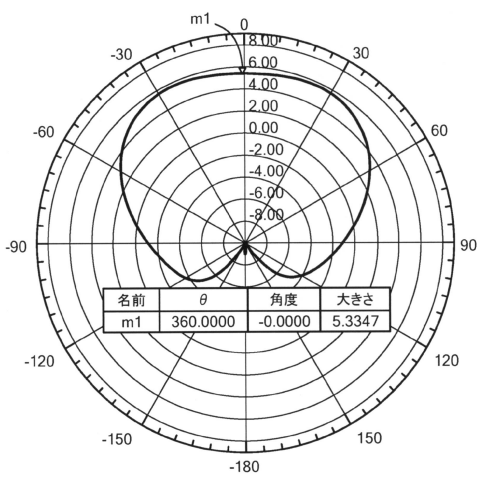
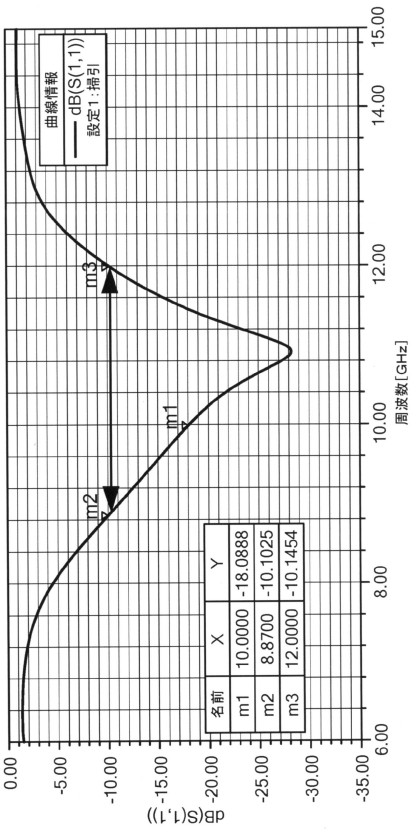


FIG. 13D

【図 13 E】

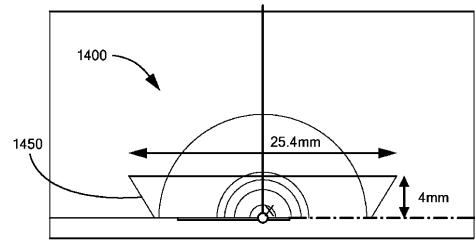


【図 13 F】

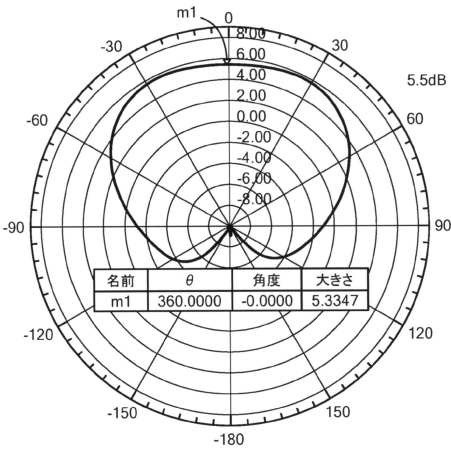


【図 1 4 A】

FIG. 14A

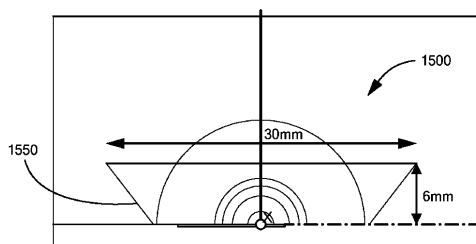


【図 1 4 B】

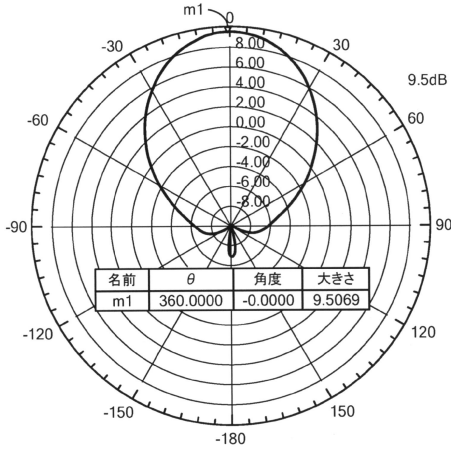


【図 1 5 A】

FIG. 15A



【図 1 5 B】



【図 16】

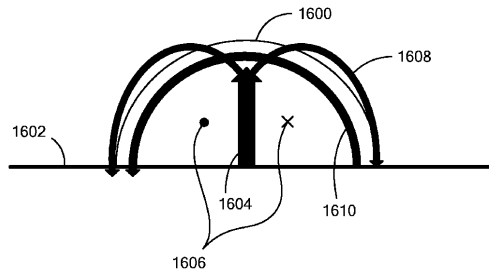


FIG. 16

【図 18】

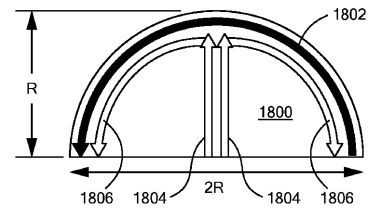


FIG. 18

【図 17】

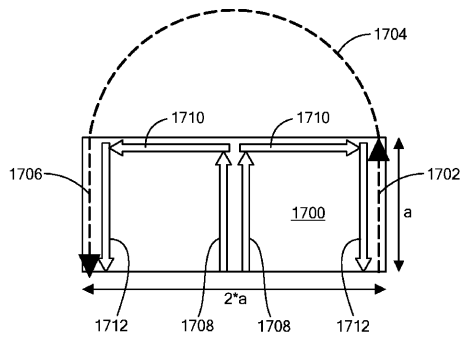


FIG. 17

【図 19】

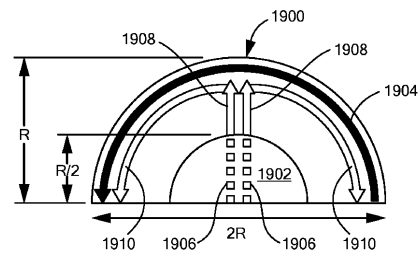


FIG. 19

【図 20】

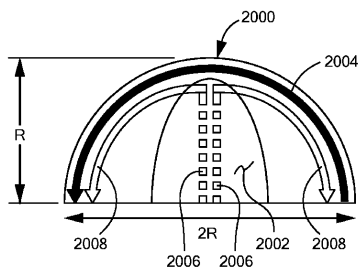


FIG. 20

【図 21A】

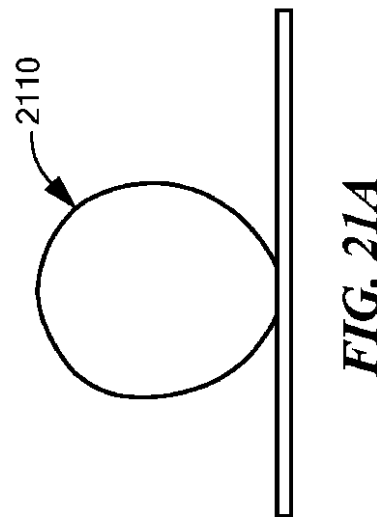


FIG. 21A

【図 2 1 B】

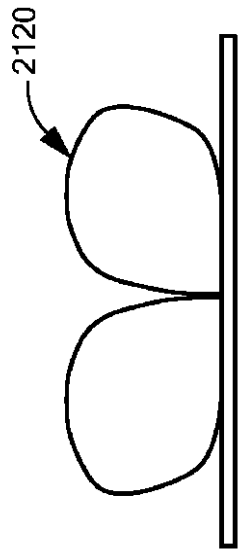


FIG. 21B

【図 2 1 C】

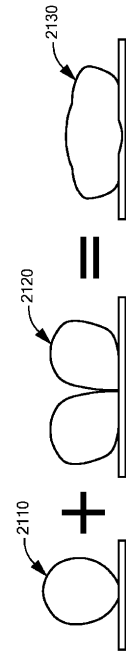


FIG. 21C

【図 2 2 A】

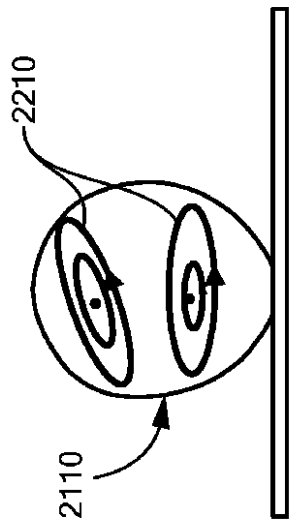


FIG. 22A

【図 2 2 B】

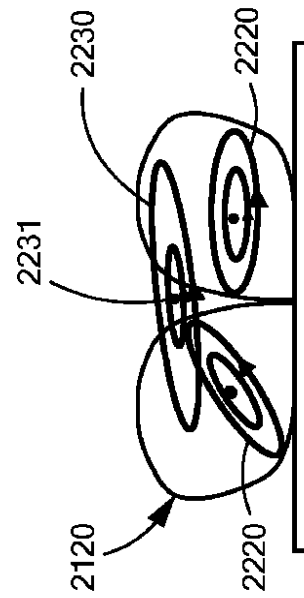
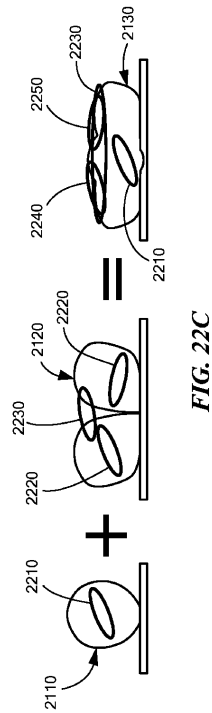
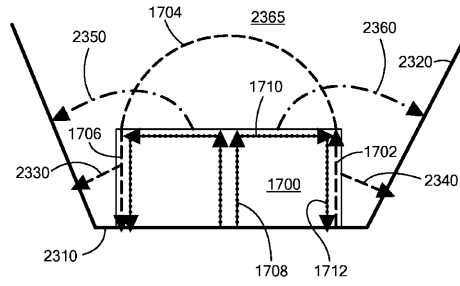


FIG. 22B

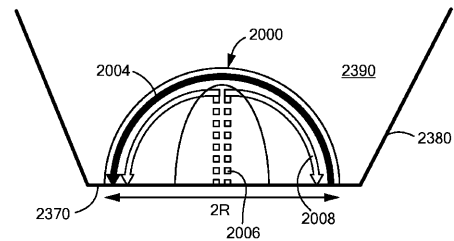
【図 2 2 C】



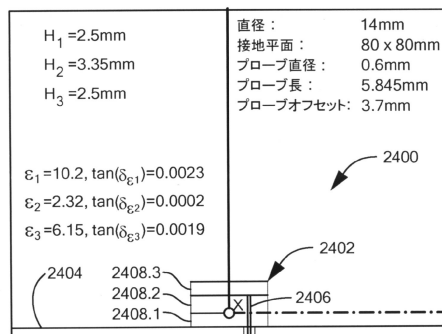
【図 2 3 A】



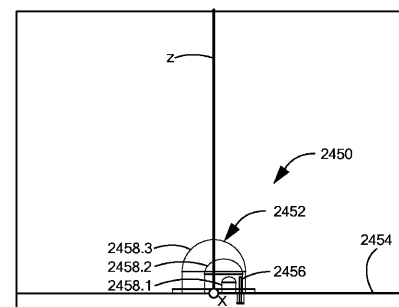
【図 2 3 B】



【図 2 4 A】



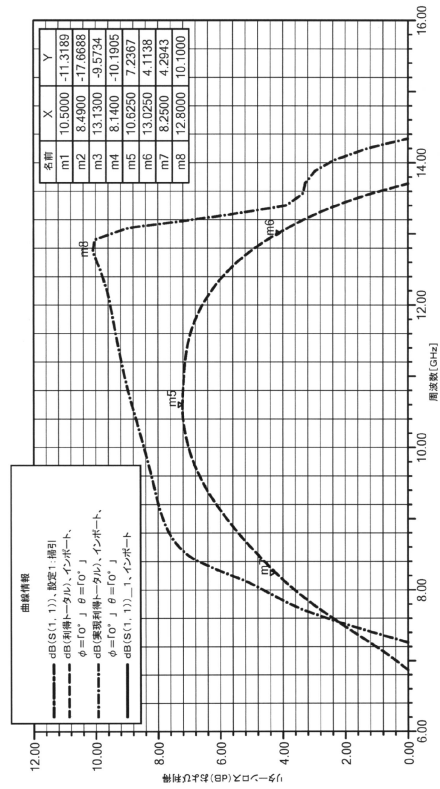
【図 2 4 B】



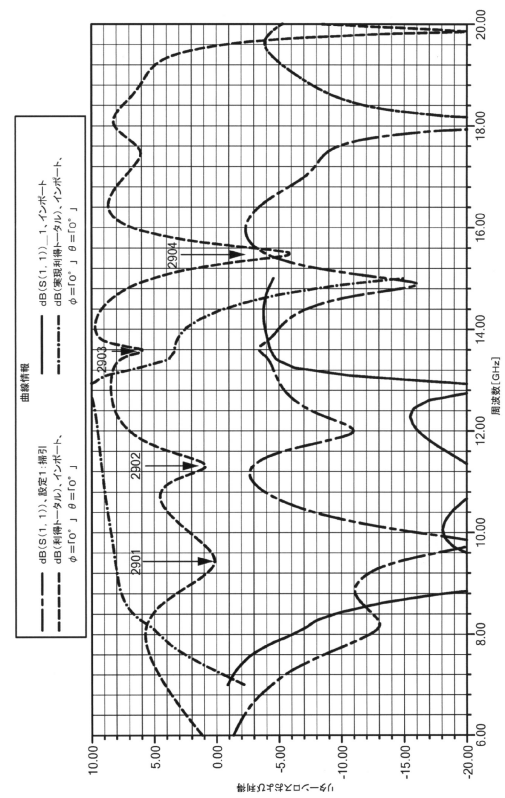




【図 27 B】



【図 28】



【図 29】

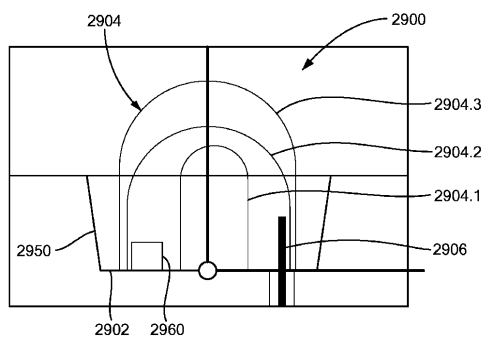


FIG. 29

【図 30 B】

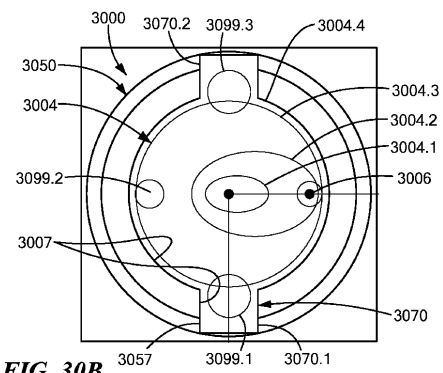


FIG. 30B

【図 30 A】

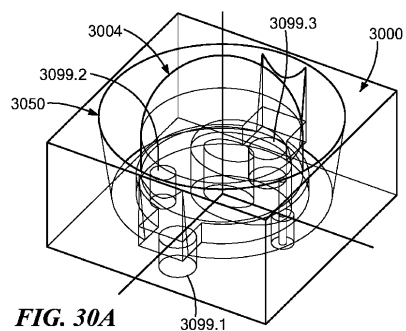
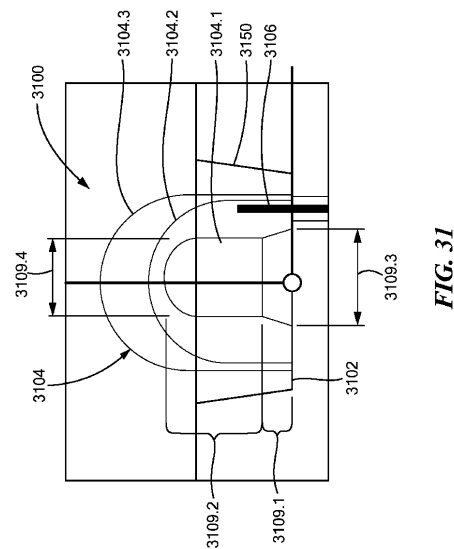
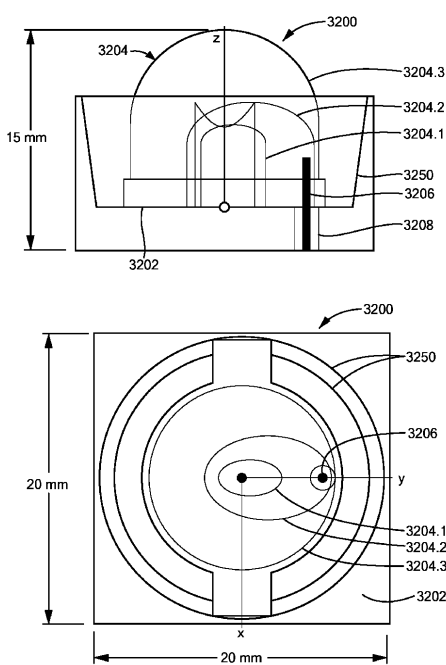


FIG. 30A

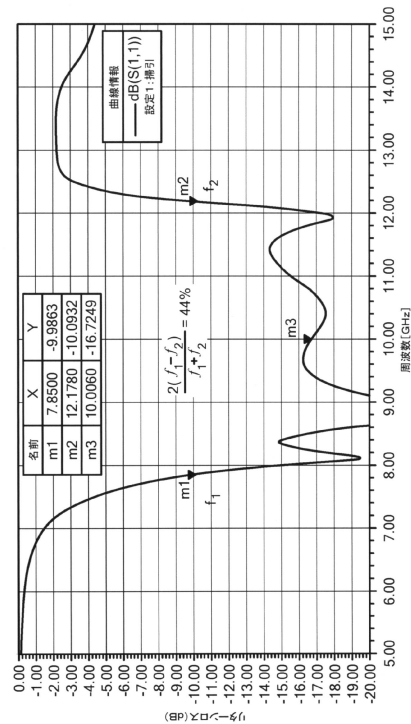
【図 3 1】



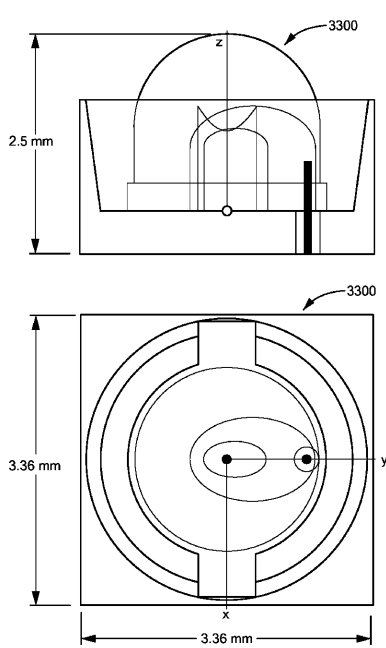
【図 3 2】



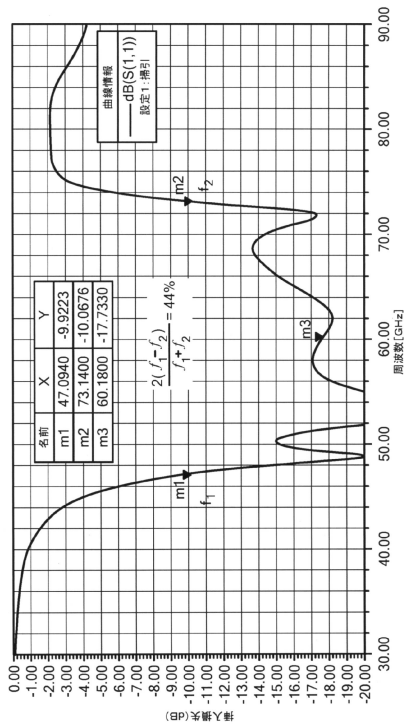
【図 3 2 A】



【図 3 3】



【図 3 3 A】



【図 3 4】

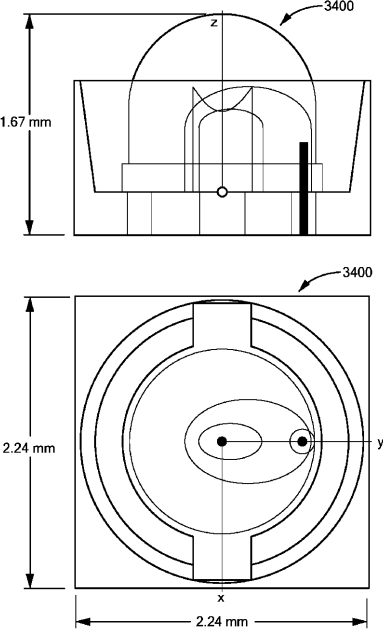
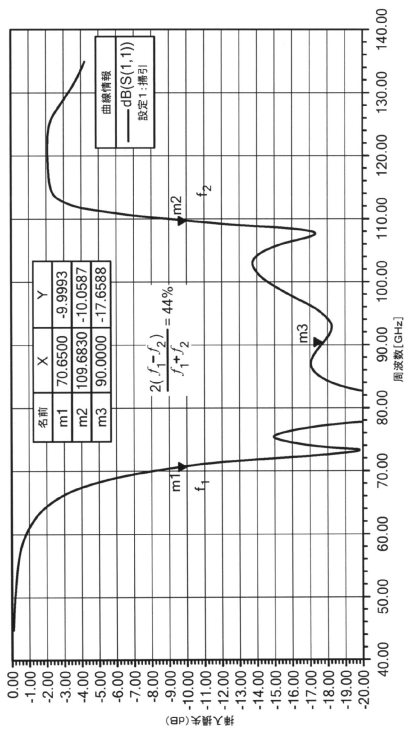


FIG. 34

【図 3 4 A】



## フロントページの続き

(31)優先権主張番号 62/362,210

(32)優先日 平成28年7月14日(2016.7.14)

(33)優先権主張国・地域又は機関  
米国(US)

(31)優先権主張番号 15/334,669

(32)優先日 平成28年10月26日(2016.10.26)

(33)優先権主張国・地域又は機関  
米国(US)

(72)発明者 スプレントール、カール

アメリカ合衆国 8 5 2 5 7 アリゾナ州 スコッツデール イー・ルイス アベニュー 7 8 1  
1

(72)発明者 ウィリアムズ、ショーン ピー・

アメリカ合衆国 0 1 8 1 0 マサチューセッツ州 アンドーバー パートレット ストリート  
6 3

(72)発明者 デイグル、ロバート シー・

アメリカ合衆国 0 6 2 3 1 コネチカット州 アムストン コーツ ファーム ロード 4 2

審査官 佐藤 当秀

(56)参考文献 特開平09 - 008541 (JP, A)

ANANDRAO B. KAKADE; BRATIN GHOSH, MODE EXCITATION IN THE COAXIAL PROBE COUPLED THREE L  
AYER HEMISPHERICAL DIELECTRIC RESONATOR ANTENNA, IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PRO  
PAGATION, IEEE ANTENNAS AND PROPAGATION SOCIETY, 2011年12月 日, VOL. 59; NO. 12, pp.  
4463-4469

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 Q 9 / 0 4

H 0 1 Q 2 1 / 0 6

H 0 1 P 1 1 / 0 0