

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7216428号
(P7216428)

(45)発行日 令和5年2月1日(2023.2.1)

(24)登録日 令和5年1月24日(2023.1.24)

(51)国際特許分類 F I
H 0 1 Q 15/02 (2006.01) H 0 1 Q 15/02

請求項の数 12 (全14頁)

(21)出願番号	特願2019-569767(P2019-569767)	(73)特許権者	517342844
(86)(22)出願日	平成30年6月15日(2018.6.15)		アリゾナ ボード オブ リージェンツ オ ン ビハーフ オブ ザ ユニバーシティー オブ アリゾナ
(65)公表番号	特表2020-524447(P2020-524447 A)		アメリカ合衆国 8 5 7 2 1 アリゾナ州 ピーオー ボックス 2 1 0 3 0 0エー ツーソン 4ティーエイチ エフエル ユ ニバーシティー サービスズ アネック ス テック ローンチ アリゾナ ザ ユニ バーシティー オブ アリゾナ
(43)公表日	令和2年8月13日(2020.8.13)		
(86)国際出願番号	PCT/US2018/037885	(74)代理人	100189131
(87)国際公開番号	WO2018/232325		弁理士 佐伯 拓郎
(87)国際公開日	平成30年12月20日(2018.12.20)	(74)代理人	100182486
審査請求日	令和3年6月10日(2021.6.10)		弁理士 中村 正展
(31)優先権主張番号	62/521,098	(74)代理人	100147289
(32)優先日	平成29年6月16日(2017.6.16)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 新規の中空軽量レンズ構造

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

半径Rの中空構造レンズであって、

e) 複数の接合部を有する3次元足場であって、前記レンズ内部の各接合部がある程度まで少なくとも部分的に金属化されている3次元足場と、

f) 前記3次元足場によって形成された前記中空構造レンズの中心点と、

g) 前記3次元足場によって形成された前記中空構造レンズの外縁とを備え、

前記3次元足場は、前記レンズ内部に前記接合部を形成し、

前記接合部は、前記レンズの最も内側である前記中心点または前記中心点の近くから、前記レンズの最も外側である前記レンズの外縁または前記レンズの外縁の近くに向かって配置され、

前記接合部はそれぞれ、仮想ユニットセル内に存在し、

前記仮想ユニットセルはそれぞれ、前記仮想ユニットセル内にある少なくとも部分的に金属化された前記接合部の程度まで少なくとも部分的に金属化されており、

部分的に金属化された前記接合部は、前記中心点から離れるほど、前記仮想ユニットセルの金属化の程度がより小さく、

前記接合部が、金属エッチングまたはインクジェット印刷により誘電体基板を金属化した接合部である、

中空構造レンズ。

【請求項2】

前記仮想ユニットセルの金属化の程度を全波有限要素シミュレーションソフトウェアによって計算し、前記仮想ユニットセルの誘電率 ϵ_r を得ることができ、

【数 1】

$$\epsilon_r = 2 - \left(\frac{r}{R}\right)^2$$

であり、式中、 r は前記接合部から前記中心点までの距離である、請求項 1 に記載の中空構造レンズ。

【請求項 3】

少なくとも部分的に金属化された前記接合部が、少なくとも部分的に金属化された薄膜、スレッド、ファイバ、ワイヤまたはストリングから構築されている、請求項 1 に記載の中空構造レンズ。

10

【請求項 4】

前記 3 次元足場が、各層が互いに交差して前記中空構造レンズを生成するように、少なくとも部分的に金属化された前記薄膜、ワイヤ、またはストリングの層を積み重ねることによって構築されている、請求項 1 に記載の中空構造レンズ。

【請求項 5】

前記交差層が支持フレームに固定されている、請求項 1 に記載の中空構造レンズ。

【請求項 6】

前記支持フレームが 3 D 印刷されている、請求項 1 に記載の中空構造レンズ。

20

【請求項 7】

前記 3 次元足場および部分的に金属化された前記接合部が、少なくとも部分的に金属化された薄膜プレートを連結することにより構築されており、連結とは、少なくとも 2 つのプレートが互いに交差し、前記接合部を形成することを意味し、少なくとも部分的に金属化された前記プレートが、連結するとき、少なくとも部分的に金属化された前記接合部を形成する、請求項 1 に記載の中空構造レンズ。

【請求項 8】

空間の大部分が、3 D 足場構造によって自由空間である、請求項 1 に記載の中空構造レンズ。

【請求項 9】

前記中空構造レンズがルネベルグレンズである、請求項 1 に記載の中空構造レンズ。

30

【請求項 10】

部分的に金属化された誘電体薄膜、ワイヤ、スレッド、ファイバまたはストリングの有効媒質近似法を利用することによる、無線周波数 (RF) で動作する中空構造レンズの製造方法であって、

a) 導電性インクを備えた誘電体基板の一連の層に、中空構造レンズの連続的に変化する比誘電率特性を描写する一連のパターンをエッチングすることと、

b) 支持フレームを提供することと、

c) 前記誘電体基板の前記一連の層を積み重ねて前記中空構造レンズを組み立てることと、

40

d) 前記積層層を一組の前記支持フレームと固定することと

を含む、請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の中空構造レンズの製造方法。

【請求項 11】

前記中空構造レンズがルネベルグレンズである、請求項 10 に記載の中空構造レンズの製造方法。

【請求項 12】

ルネベルグレンズ構造の屈折率分布要件を実現するために、部分的に金属化された誘電体薄膜、ワイヤ、ストリング、スレッドまたはファイバの有効媒質近似法を利用した、RF 周波数で動作する中空構造レンズの製造方法であって、前記中空構造レンズがルネベルグレンズであり、複数の部分的に金属化されたストリングを用いて、前記中空構造レンズ

50

の連続的に変化する比誘電率特性を表す一組の設計パターンを構築することを含み、部分的に金属化された前記各ストリングが、誘電体材料に施された金属コーティングを含む、請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の中空構造レンズの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、2017年6月16日に出願された米国仮特許出願第62/521,098号の優先権を主張し、その明細書はその全体が参照により本明細書に組み込まれる。

【0002】

本発明は、中空3Dレンズ構造の設計および製造に関し、より詳細には、部分的に金属化された薄膜、ストリング、スレッド、ファイバまたはワイヤベースのメタマテリアルを使用した中空軽量ルネベルグレンズ構造の設計および製造に関する。

【背景技術】

【0003】

ルネベルグレンズは、高利得性、広帯域動作性を有し、複数のビームを形成できるため、複数のビームトラッキングに適した屈折率分散型機器である。ルネベルグレンズの表面のすべての点は、反対側から入射する平面波の焦点である。ルネベルグレンズの誘電率分布は次の式で与えられ、

【0004】

【数1】

$$\epsilon_r = 2 - \left(\frac{r}{R}\right)^2$$

【0005】

式中、 ϵ_r は誘電率、 R はレンズの半径、 r はその位置からレンズの中心までの距離である。現在の技術では、3次元(「3D」)印刷ルネベルグレンズ構造は、レンズを構成するポリマーと空気との間の充填率を制御することにより構築されている。レンズ構造の大部分は、通常、ポリマーで作製されており、したがって、レンズのサイズが大きくなると、重量は大幅に増加する。さらに、現在の技術に関連する製造コストは、通常、レンズサイズが大きいと高い。本発明は、部分的に金属化された薄膜、ストリング、スレッド、ファイバまたはワイヤベースのメタマテリアルを使用した中空軽量、低コストおよび高性能の3Dルネベルグレンズ構造を特徴とする。

【0006】

本文脈、本明細書、および当業者の知識から明らかなように、本明細書に記載される特徴または特徴の組み合わせは、それらの組み合わせに含まれる特徴が相互に矛盾しない限り、本発明の範囲内に含まれる。本発明のさらなる利点および態様は、以下の詳細な説明および特許請求の範囲において明らかである。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、RF周波数範囲で動作可能な中空軽量3Dレンズ構造を製造する方法を特徴とする。いくつかの実施形態では、レンズ構造の連続的に変化する比誘電率プロファイル特性を実装するために、部分的に金属化された薄膜またはワイヤが使用されている。別の実施形態では、比誘電率プロファイルを実装するために、ワイヤベースの誘電体が利用されている。

【0008】

本発明の固有かつ進歩的な技術的特徴の1つは、従来の3Dルネベルグレンズと比較して、本3Dルネベルグレンズ構造の体積を含む自由空間の量を増加させる有効媒質アプローチの使用である。本発明をいかなる理論または機構にも限定することを望まないが、本

10

20

30

40

50

発明の技術的特徴は、中空軽量レンズ構造と、必要な材料がより少ないことによるより高い製造速度とを有利に提供すると考えられる。現在知られている従来の参考文献または研究のいずれも、本発明に固有の進歩的な技術的特徴を有していない。

【 0 0 0 9 】

本発明の特徴および利点は、添付の図面に関連して提示される以下の詳細な説明の考察から明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 0 】

【図 1 A】中空構造レンズの原理の図である。

【図 1 B】仮想セルの金属化と、セルの接合位置に応じた金属化の程度の図である。 10

【図 1 C】中空軽量ルネベルグレンズ構造の中央断面の写真である。

【図 1 D】本発明の中空軽量ルネベルグレンズ構造の写真である。

【図 2 A】ユニットセルサイズが 5 mm の部分的に金属化されたワイヤベースの中空軽量ルネベルグレンズ構造のユニットセル構造の図を示す。

【図 2 B】ユニットセルサイズが 10 mm の部分的に金属化されたストリングベースの中空軽量ルネベルグレンズ構造のユニットセル構造の図を示す。銅コーティングが施された誘電体ワイヤは、直径が 0.5 mm、誘電率が 2.8 である。金属トレースには、3 つの軸 (X、Y、および Z) がすべて含まれる。

【図 2 C】ユニットセルサイズが 5 mm の部分的に金属化されたストリングベースの中空軽量ルネベルグレンズ構造のユニットセル構造の代替実施形態の図を示す。誘電体ワイヤの厚さは 0.14 mm、誘電率は 2.5 である。金属トレースの導電率は $1 \times 10^{-5} \text{ S/m}$ で、焼結前に導電性インクをエミュレートする。3 つの軸 (X、Y、および Z) すべてを含む金属トレース。 20

【図 3 A】図 2 A に詳述したユニットセル構造を複数有する、25 層の部分的に金属化されたストリングベースの中空軽量ルネベルグレンズ構造の例を示す。

【図 3 B】図 2 B に詳述したユニットセル構造を複数有する、25 層の部分的に金属化されたストリングベースの中空軽量ルネベルグレンズ構造の例を示す。

【図 3 C】図 2 C に詳述したユニットセル構造を複数有する、25 層の部分的に金属化されたストリングベースの中空軽量ルネベルグレンズ構造の例を示す。

【図 4】図 2 B のユニットセルの層 0 の金属長さ分布の例を示す。 30

【図 5 A】図 2 A のユニットセル構造のユニットセルシミュレーションおよび実効誘電率を示す。

【図 5 B】図 2 B のユニットセル構造のユニットセルシミュレーションおよび実効誘電率を示す。

【図 5 C】図 2 C のユニットセル構造のユニットセルシミュレーションおよび実効誘電率を示す。

【図 6 A】図 5 A に詳述されるように、金属長さを実効誘電率との間をシミュレートしたグラフを示す。

【図 6 B】図 5 B で詳述されるように、金属長さを実効誘電率との間をシミュレートしたグラフを示す。 40

【図 6 C】図 5 C に詳述されるように、金属長さを実効誘電率との間をシミュレートしたグラフを示す。

【図 7】図 1 B の軽量ルネベルグレンズの磁場ベクトルを含む面 (「H 面」) の放射パターンの測定を示す。

【図 8】図 1 B の軽量ルネベルグレンズの 8 ~ 12 GHz の異なる周波数での利得および H 面ビーム半値幅 (「HPBW」) を示す。

【図 9】図 1 B の軽量ルネベルグレンズの電場ベクトルを含む面 (「E 面」) の放射パターンの測定を示す。

【図 10】図 1 B の軽量ルネベルグレンズの 8 ~ 12 GHz の異なる周波数での利得および E 面 HPBW を示す。 50

【図 1 1】部分的に金属化されたプレートベースの中空軽量ルネベルグレンズ構造を構築するための 2 つの追加のアプローチを示す。

【発明を実施するための形態】

【0011】

広範な実施形態において、本発明は、半径 R (102) の中空構造レンズ (100) であって、

a) 複数の接合部 (110) を有する 3 次元足場 (104) であって、レンズ内部の各接合部がある程度まで少なくとも部分的に金属化されている (170)、(180) 3 次元足場と、

b) 3 次元足場 (104) によって形成された中空構造レンズ (100) の中心点 (120) と、

c) 3 次元足場 (104) によって形成された中空構造レンズ (100) の外縁 (130) とを備え、

3 次元足場 (104) は、レンズ内部に接合部 (110) を形成し、

接合部 (110) は、レンズの最も内側である中心点 (120) または中心点 (120) の近くから、レンズの最も外側であるレンズ (100) の縁 (130) またはレンズ (100) の縁 (130) の近くに向かって配置され、

各接合部 (110) は、仮想ユニットセル (140) 内に存在し、各仮想ユニットセルは、各仮想ユニットセル (140) 内にある少なくとも部分的に金属化された接合部 (170) の程度まで少なくとも部分的に金属化されており、

部分的に金属化された接合部 (180) は、中心点 (120) から離れるほど、仮想セル (140) の金属化の程度がより小さい、中空構造レンズ (100) を特徴とする。

【0012】

いくつかの実施形態では、仮想セルの金属化の程度を全波有限要素シミュレーションソフトウェアによって計算し、仮想セルの誘電率 ϵ_r を得ることができ、

【0013】

【数 2】

$$\epsilon_r = 2 - \left(\frac{r}{R}\right)^2$$

【0014】

であり、式中、 r は接合部から中心点 (120) までの距離である。

【0015】

いくつかの実施形態では、少なくとも部分的に金属化された接合部は、少なくとも部分的に金属化された薄膜 (180)、スレッド、ファイバ、ワイヤまたはストリング (190) から構築されている。

【0016】

いくつかの実施形態では、金属エッチングまたはインクジェット印刷を使用して、メタマテリアル基板を金属化して部分的に金属化された接合部 (180)、(190) を作製することができる。

【0017】

いくつかの実施形態では、足場 (104) が、各層が互いに交差して中空構造レンズ (100) を生成するように、少なくとも部分的に金属化された薄膜、ワイヤ、スレッド、ファイバまたはストリングの層を積み重ねることによって構築されている。

【0018】

いくつかの実施形態では、交差層は支持フレーム (200) に固定されている。

【0019】

いくつかの実施形態では、支持フレームが 3D 印刷されている。

【0020】

いくつかの実施形態では、足場および部分的に金属化された接合部は、少なくとも部分

10

20

30

40

50

的に金属化された薄膜プレート(210)、(220)を連結することにより構築されており、連結とは、少なくとも2つのプレートが互いに交差し、接合部(110)を形成することを意味し、少なくとも部分的に金属化されたプレートが、連結するときに、少なくとも部分的に金属化された接合部を形成する。

【0021】

いくつかの実施形態では、空間の大部分は、3D足場構造による自由空間である。

【0022】

いくつかの実施形態では、中空構造レンズ(100)は、ルネベルグレンズである。

【0023】

広範な実施形態において、本発明は、部分的に金属化されたメタマテリアル薄膜、ワイヤ、スレッド、ファイバまたはストリングの有効媒質近似法を利用することによる、無線周波数(RF)で動作する中空軽量レンズ構造の製造方法であって、

a) 導電性インクを備えた誘電体基板の一連の層に、軽量レンズ構造の連続的に変化する比誘電率特性を描写する一連のパターンをエッチングすることと、

b) 支持フレームを提供することと、

c) 誘電体基板の一連の層を積み重ねて軽量レンズ構造を組み立てることと、

d) 上記積層層を一組の支持フレームと固定することと

を含む製造方法を特徴とする。

【0024】

広範な実施形態において、本発明は、レンズがルネベルグレンズであることを特徴とする。

【0025】

広範な実施形態において、本発明は、ルネベルグレンズ構造の屈折率分布要件を実現するために、部分的に金属化された誘電体薄膜、ワイヤ、ストリング、スレッドまたはファイバの有効媒質近似法を利用した、RF周波数で動作する中空軽量ルネベルグレンズ構造であって、複数の部分的に金属化されたストリングを用いて、軽量ルネベルグレンズ構造の連続的に変化する比誘電率特性を表す一組の設計パターンを構築することを含み、部分的に金属化された各ストリングが、メタマテリアルに施された金属コーティングを含む、製造方法を特徴とする。

【0026】

ここで図1A~図11を参照すると、本発明は、RF周波数範囲で動作可能な中空軽量ルネベルグレンズ構造を製造する方法を特徴とする。(従来のルネベルグレンズ構造と比較して)軽量のレンズ構造は、部分的に金属化された誘電体薄膜、ワイヤまたはストリングの有効媒質近似法を利用して、軽量ルネベルグレンズ構造の体積を含む自由空間の量を増加させることで実現される。いくつかの実施形態では、本方法は、軽量ルネベルグレンズ構造の連続的に変化する比誘電率特性を描写する一連のパターンを、導電性インクを備えた誘電体基板の一連の層にエッチングすることを含む。さらなる実施形態において、ポリマーから構成される一組の支持フレームは、3Dプリンターによって印刷される。軽量ルネベルグレンズ構造は、誘電体基板の一連の層を積み重ね、この積層層を一組の支持フレームに固定することにより組み立てることができる。

【0027】

本軽量ルネベルグレンズ構造と同じ寸法の従来の3D印刷ルネベルグレンズ構造の重量が500gであるのに対し、軽量ルネベルグレンズ構造の重量は、(一組の支持フレームを除外して)20g未満である。さらに、軽量ルネベルグレンズ構造の重量の大部分は、一組の支持フレームの重量(約180g)によるものである。フレームを他のより軽い材料(たとえば、発泡体)に置き換えることにより、軽量ルネベルグレンズ構造の重量をさらに減らすことができる。

【0028】

別の実施形態では、軽量ルネベルグレンズ構造の連続的に変化する比誘電率特性は、複数の部分的に金属化されたストリングを使用することにより実現される。部分的に金属化

10

20

30

40

50

された各ストリングは、誘電体基板上に施された金属コーティングを含んでいてもよい。誘電体基板を金属でコーティングする方法の例には、導電性インク印刷、銅塗装、および電子めっきが含まれるが、これらに限定されない。

【0029】

図2A～図2Cは、部分的に金属化されたストリングまたは薄膜ベースの中空軽量ルネベルグレンズ構造の様々なサイズのユニットセル構造の例を示す。ユニットセルの実効誘電率は、全波有限要素シミュレーションソフトウェアANSYS HFSSによってシミュレートした。暗い部分は金属コーティングを表し、明るい部分は誘電体を表している。図4は、図2Bのユニットセルの層0の金属長さ分布を示す。レンズは対称である。したがって、層1と層-1の分布は同じであり、層2と層-2以降の分布も同様である。図7は、図1Bの軽量ルネベルグレンズのH面放射の測定を示す。10GHzで測定された利得は、18.5dBである。10GHzで測定された利得は、図1Dの3D印刷ルネベルグレンズよりも0.5dB低い。サイドローブは、3D印刷ルネベルグレンズより5dB高い。低利得および高サイドローブは、レンズの取り付けに使用される外側フレームが原因である可能性がある。

10

【0030】

図9は、図1Bの軽量ルネベルグレンズのH面放射の測定を示す。10GHzで測定された利得は、18.3dBである。E面のサイドローブは、特に12GHzで、H面のサイドローブよりもさらに高い。フレームを取り除くと、さらに改善される可能性がある。

【0031】

本明細書で使用される場合、「約」という用語は、参照された数のプラスまたはマイナス10%を指す。

20

【0032】

本明細書に記載された実施形態に加えて、本発明の様々な変更形態が、前述の説明から当業者には明らかであろう。そのような変更形態も、添付の特許請求の範囲に含まれることが意図される。本出願において引用される各参考文献は、その全体が参照により本明細書に組み込まれる。

【0033】

本発明の好ましい実施形態を示して説明したが、添付の特許請求の範囲を逸脱しない変更がなされ得ることは当業者には明らかであろう。したがって、本発明の範囲は、特許請求の範囲によってのみ制限される。特許請求の範囲に記載されている参照番号は例示であり、特許庁による審査を容易にするためだけのものであり、決して限定するものではない。いくつかの実施形態では、本特許出願で提示される図は、角度、寸法の比率などを含む、一定の縮尺で描かれている。いくつかの実施形態では、図は代表的なものにすぎず、特許請求の範囲は図の寸法によって制限されない。いくつかの実施形態では、「含む」という語句を使用して本明細書に記載される発明の説明には、「からなる」と記載することができる実施形態が含まれるため、「からなる」という語句を使用して本発明の1つまたは複数の実施形態を主張するための明細書要件を満たす。

30

【0034】

以下の特許請求の範囲に記載されている参照番号は、この特許出願の審査を容易にするためだけのものであり、例示であり、特許請求の範囲を、図面中の対応する参照番号を有する特定の特徴に限定することを決して意図していない。

40

【図面】

【図 1 A】

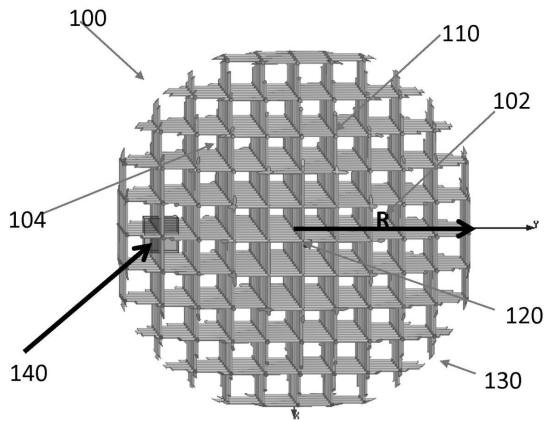


図 1 A

【図 1 B】

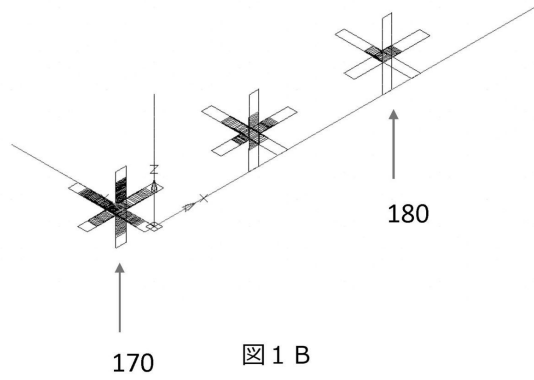


図 1 B

【図 1 C】

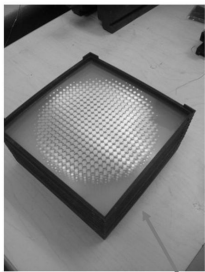


図 1 C

200

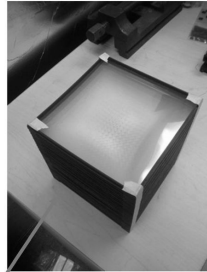


図 1 D

【図 2 A】

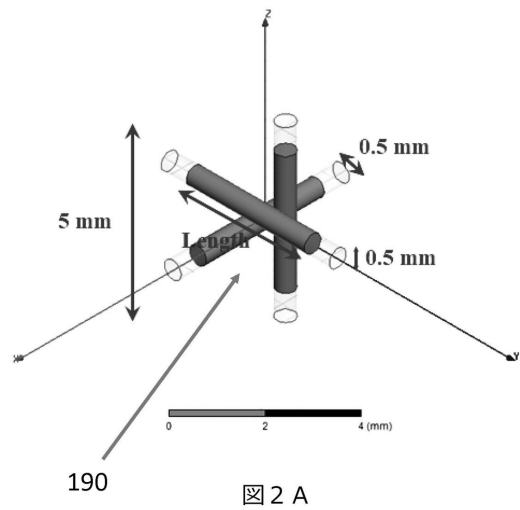


図 2 A

10

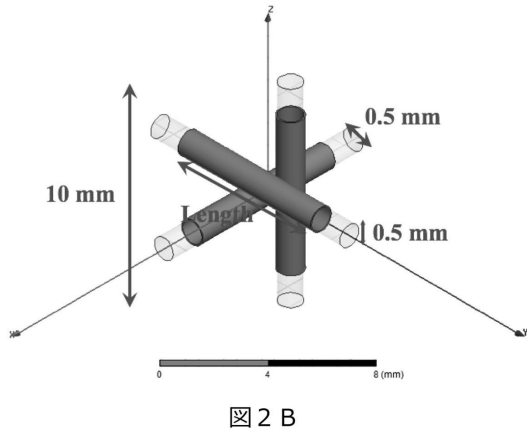
20

30

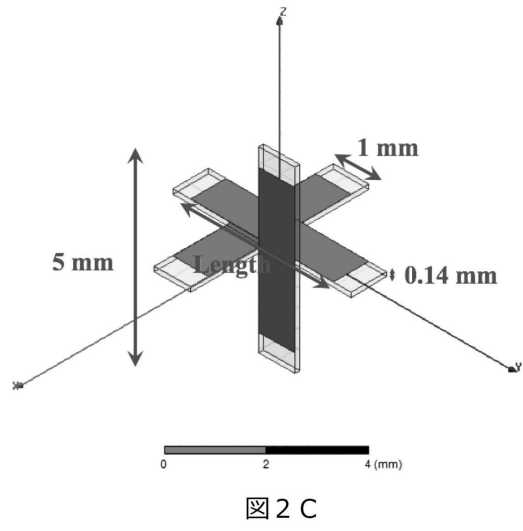
40

50

【 図 2 B 】

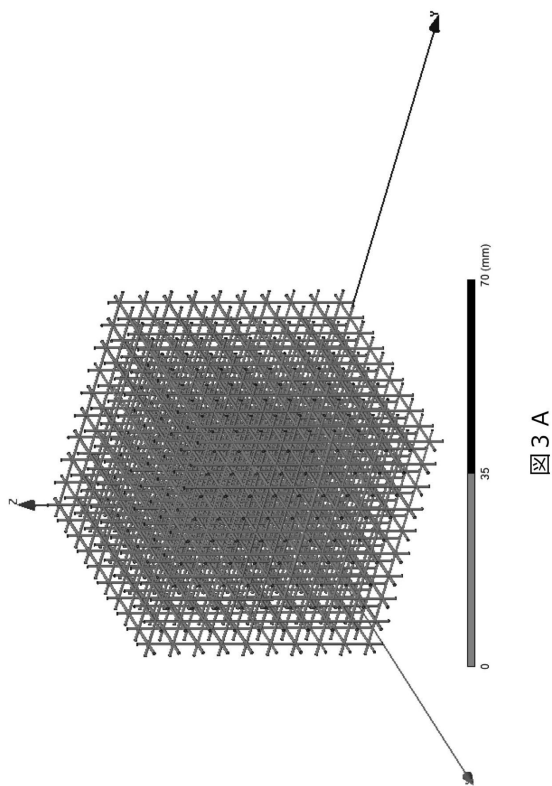


【 図 2 C 】

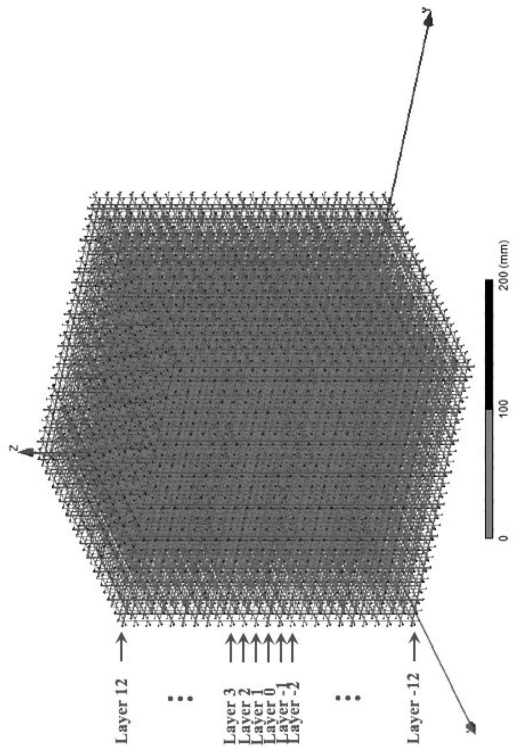


10

【 図 3 A 】



【 図 3 B 】



20

30

40

【 図 3 C 】

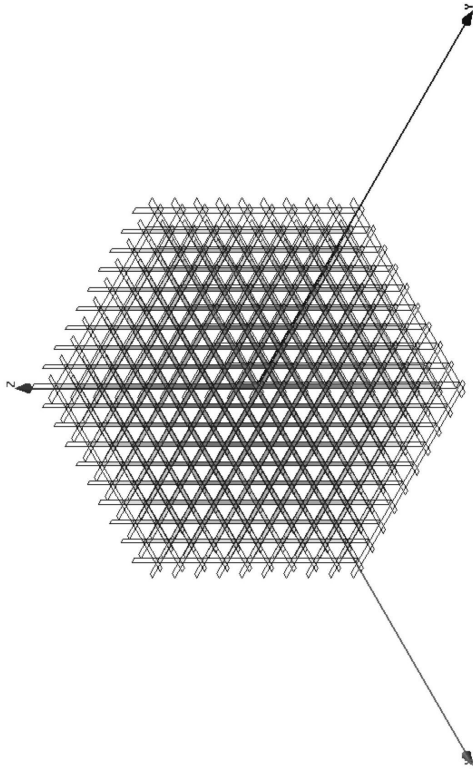


図 3 C

【 図 4 】

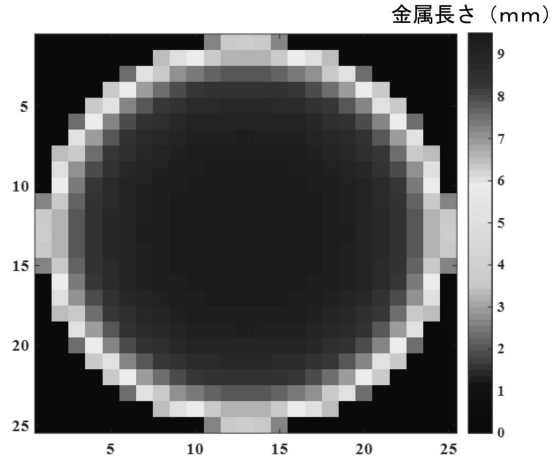


図 4

【 図 5 A 】

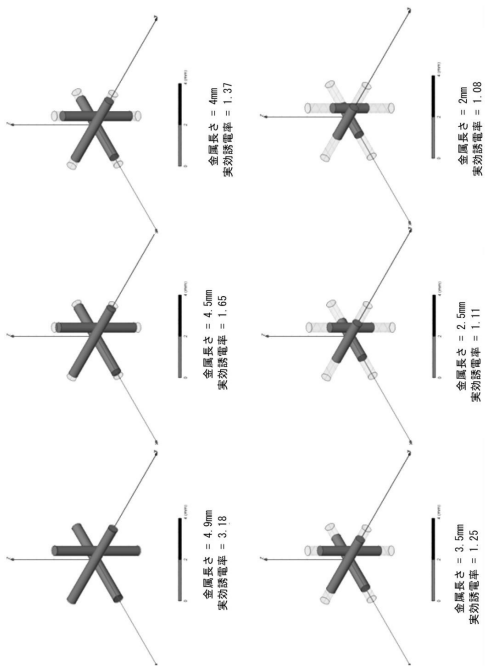


図 5 A

【 図 5 B 】

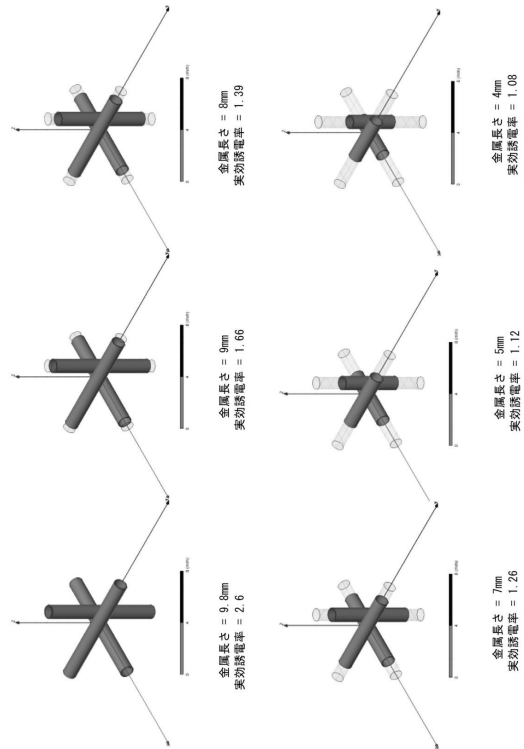


図 5 B

10

20

30

40

50

【図 5 C】

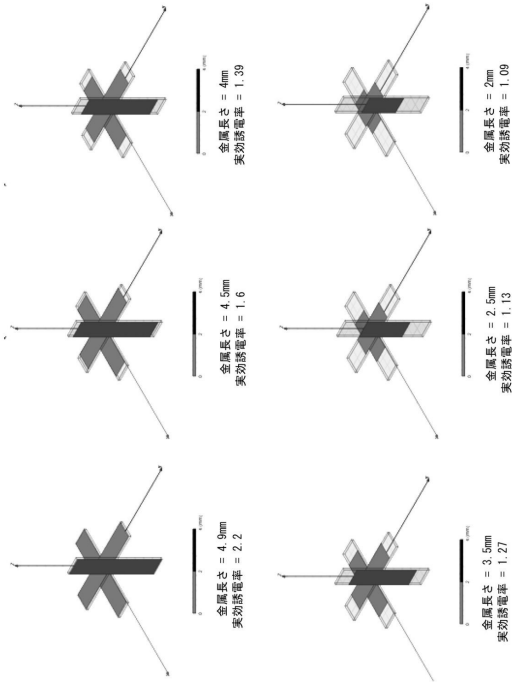


図 5 C

【図 6 A】

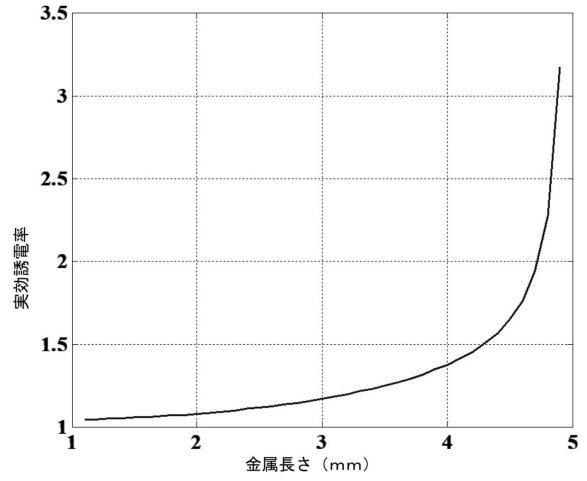


図 6 A

【図 6 B】

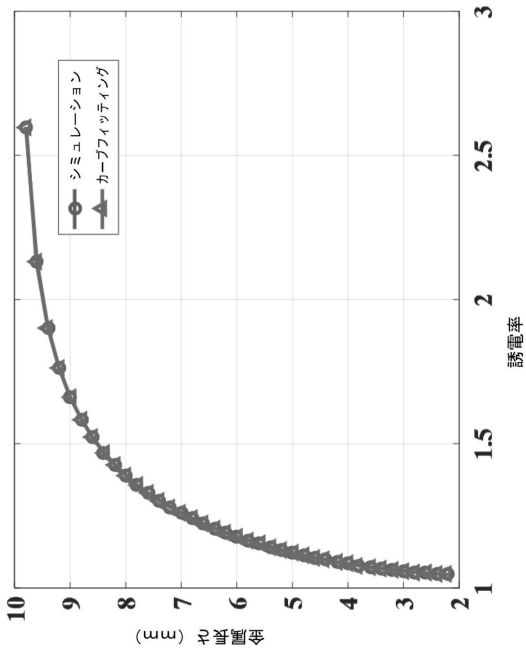


図 6 B

【図 6 C】

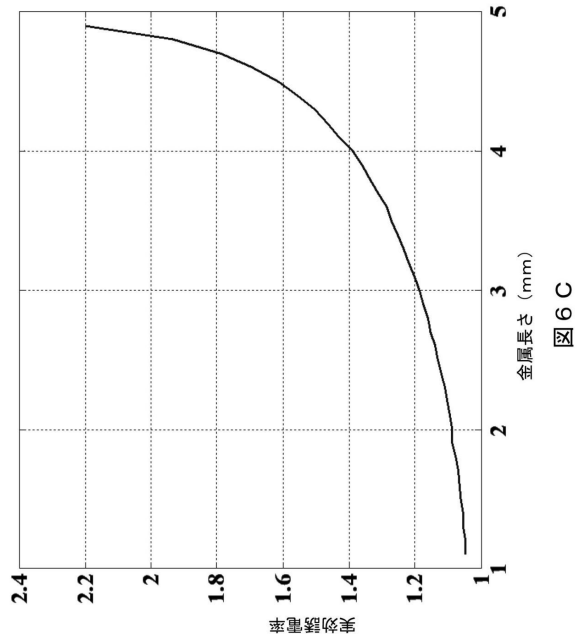


図 6 C

10

20

30

40

50

【 図 7 】

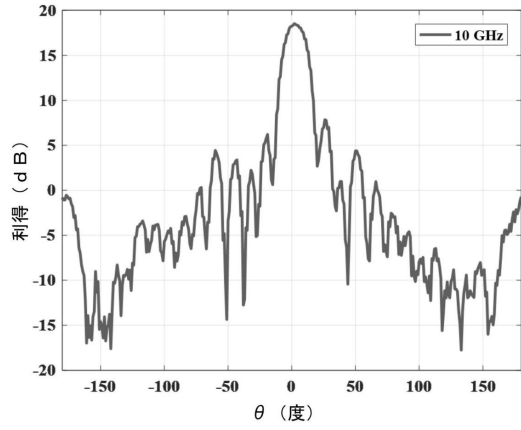


図 7

【 図 8 】

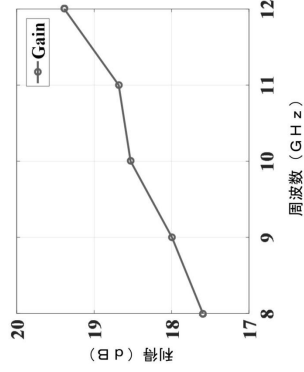
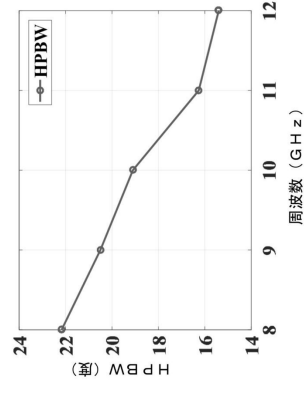


図 8

10

20

【 図 9 】

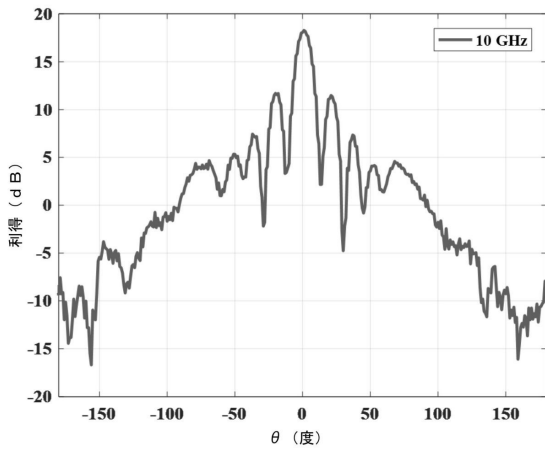


図 9

【 図 10 】

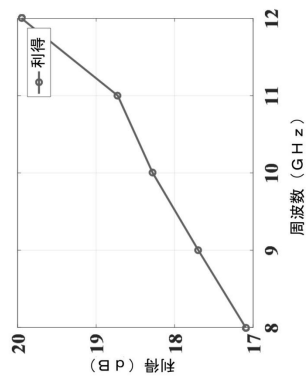
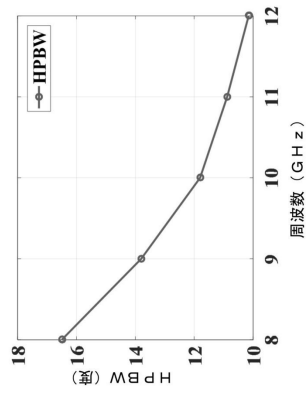


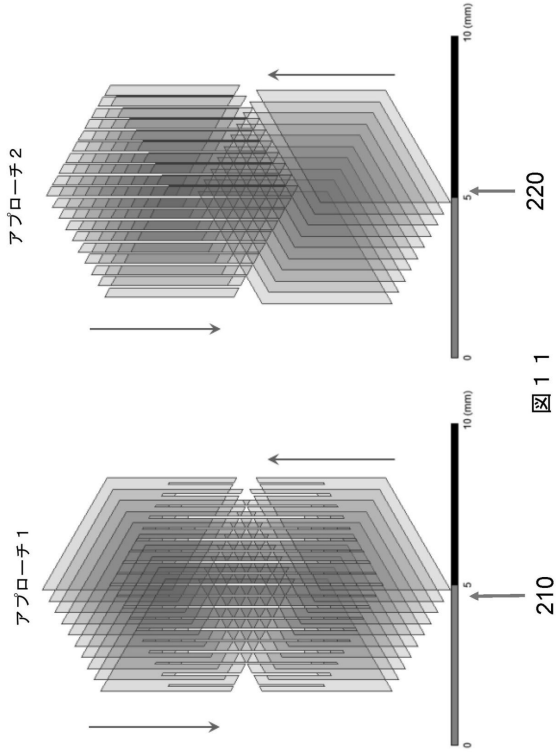
図 10

30

40

50

【図 11】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 弁理士 佐伯 裕子
- (72)発明者 シン, ハオ
アメリカ合衆国 アリゾナ州 85721, ツーソン アリゾナ大学 イースト スピードウェイ
ブルーバード 1230 ピー.オー.ボックス 210104
- (72)発明者 リアン, ミン
アメリカ合衆国 アリゾナ州 85721, ツーソン アリゾナ大学 イースト スピードウェイ
ブルーバード 1230 ピー.オー.ボックス 210104
- 審査官 白井 亮
- (56)参考文献 中国特許出願公開第102810755(CN, A)
米国特許第03254345(US, A)
米国特許第03430248(US, A)
中国特許出願公開第102820545(CN, A)
特表2008-507733(JP, A)
Min Liang, An X-Band Luneburg Lens Antenna Fabricated by Rapid Prototyping Technology, 2011 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, 2011年06月10日
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01Q 15/02