

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-168782

(P2013-168782A)

(43) 公開日 平成25年8月29日(2013.8.29)

(51) Int.Cl.
H01Q 15/04 (2006.01)

F I
H01Q 15/04

テーマコード (参考)
5J020

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2012-30576 (P2012-30576)
(22) 出願日 平成24年2月15日 (2012.2.15)

(71) 出願人 504203572
国立大学法人茨城大学
茨城県水戸市文京2丁目1番1号
(74) 代理人 100102635
弁理士 浅見 保男
(74) 代理人 100103735
弁理士 鈴木 隆盛
(72) 発明者 鈴木 健仁
茨城県日立市中成沢町四丁目12番1号
国立大学法人茨城大学 工学部内
Fターム(参考) 5J020 AA02 BB04

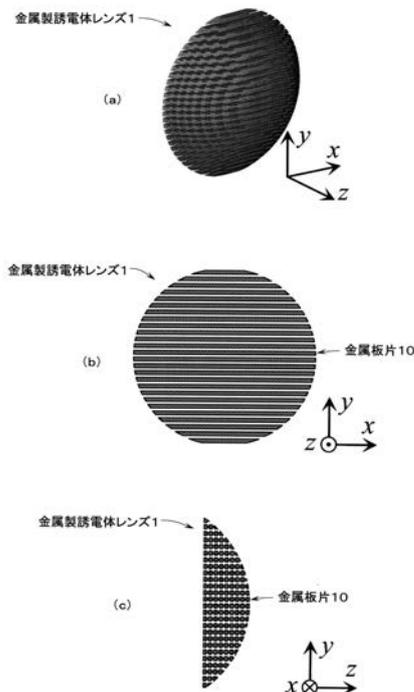
(54) 【発明の名称】 人工誘電体レンズ

(57) 【要約】

【課題】 位置合わせを容易に行えと共ニ所望の屈折率が得られるようにする。

【解決手段】 光軸をz軸とし、z軸に直交する軸をx軸およびy軸とした際に、複数枚の金属板片10は、x軸方向に複数本の溝部が形成され、外形形状が、下縁から中央および中央から上縁に至るまでのy軸に沿った所定の間隔毎におけるレンズのx-z面に平行な各断面の形状とされている。この金属板片10を、所定の間隔を隔ててx-z面に平行になるよう積層することにより、金属製誘電体レンズ1が形成されている。これにより、溝部の本数と幅と深さとに応じた屈折率が得られると共に、可視光が透過する構造となる。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光軸を z 軸とし、z 軸に直交する軸を x 軸および y 軸とした際に、x 軸方向に複数本の溝部が形成され、外形形状が、下縁から中央および中央から上縁に至るまでの y 軸に沿った所定の間隔毎におけるレンズの x - z 面に平行な各断面の形状とされている複数枚の導電板片を、前記所定の間隔を隔てて x - z 面に平行になるよう積層することにより形成されており、前記溝部の本数と幅と深さとに応じた屈折率が得られることを特徴とするテラヘルツ帯の人工誘電体レンズ。

【請求項 2】

前記溝部が、前記導電板片の表面と裏面とに複数本ずつ形成されていることを特徴とする請求項 1 記載のテラヘルツ帯の人工誘電体レンズ。 10

【請求項 3】

設計周波数の波長を λ とした際に、前記溝部の幅が約 $\lambda/10$ 以下とされていることを特徴とする請求項 1 または 2 記載のテラヘルツ帯の人工誘電体レンズ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、テラヘルツ波帯の電磁波を集光することのできる人工誘電体レンズに関する。

【背景技術】

【0002】

テラヘルツ電磁波は周波数が 0.1 ~ 10 THz (波長が 30 μm ~ 3000 μm) の電磁波とされており、波長が遠赤外 ~ ミリ波領域とほぼ一致する。テラヘルツ電磁波は、「光」と「ミリ波」に挟まれた周波数領域に存在しているため、テラヘルツ電磁波は、光と同様に高い空間分解能でものを見分ける能力と、ミリ波と同様の物質を透過する能力を併せ持っている。テラヘルツ波帯はこれまで未開拓電磁波であったが、この周波数帯の電磁波の特徴を生かした時間領域分光、イメージング及びトモグラフィによる材料のキャラクタリゼーションへの応用などが検討されてきている。テラヘルツ電磁波の発生は、物質透過性と直進性を兼ね備えるため X 線に替わる安全かつ革新的なイメージングや数 100Gbps 級の超高速無線通信が可能となる。 20

【0003】

テラヘルツ波帯では、光源や検出器とともに、光学素子が発展途中であり、充実が求められている。所望の屈折率 n を自然界の材質で任意に実現や設計することは容易ではないことから、素材そのものをレンズに加工して用いる場合、材質の持つ特性により光学特性が決定される。代表的なテラヘルツ波帯のレンズとしては、屈折率 $n=1.52$ の高密度ポリマーレンズ、 $n=1.56$ の Tsurupica (登録商標) レンズ、 $n=3.41$ のシリコンレンズなどがあげられる。マイクロ波帯では電磁メタマテリアル構造を用いたレンズが提案されている (非特許文献 1 参照)。このレンズでは、3次元格子の構造で導電要素を配列して構成されており、マイクロ波やマイクロ波より波長の長い電磁波を集束することができる。 30

【0004】

また、レンズなどを作成するのに用いることができるメタマテリアルが提案されている (特許文献 1 参照)。このメタマテリアルは、一部が残りとは異なる透過率を有する複数の単位セルから構成され、単位セルは、1つの軸に沿って勾配屈折率を有するメタマテリアルを提供するように配置されている。このメタマテリアルにより作成されたレンズは、マイクロ波帯からテラヘルツ帯において負の屈折率を持つことができ、他に回折光学素子や勾配屈折率光学素子に適用することができる。 40

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献 1】W. E. Kock, "Metallic delay lens," Bell Syst. Tech. J., Vol. 2 50

7, pp. 58-82, 1948.

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2011-254482号公報

【特許文献2】特許第4183546号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

テラヘルツ波発生源の前にレンズを配置するようにして、放射されたテラヘルツ電磁波を集光するようにしている。この際に、テラヘルツ波発生源から発生したテラヘルツ電磁波の光軸上に位置合わせしてレンズを配置しないと、テラヘルツ電磁波を効率的に集光することができない。しかし、テラヘルツ電磁波は不可視光線であって、レンズが可視光線に対して透明とは限らないことから、可視光線を観察することによりレンズをテラヘルツ電磁波の光軸上に配置することは困難である。そこで、光学部品を透明素材で作成すると共に、可視光がテラヘルツ電磁波の光軸上に乗るようにした可視光源を備え、この可視光源からの可視光を観察することによりテラヘルツ電磁波の光軸上に光学部品を配置する構成が特許文献2に開示されている。この構成によれば、可視光が光学部品を透過することからテラヘルツ電磁波の光軸上に光学部品を容易に位置合わせして配置することができる。しかしながら、透明素材としてポリエチレンを用いたレンズ等の光学部品では、周波数が高くなるにつれて透過特性が急峻に劣化するようになってしまう。また、Tsurupica (登録商標) レンズにおいては透過特性は改善されているが、その誘電率は物質固有の誘電率であり、レンズの屈折率は固定とされて所望の屈折率を得ることはできない。ここで、物質固有の特性に頼らず、レンズの構造により屈折率を制御することができれば、レンズ設計の自由度の増大と価格の面での意義が大きい。

10

20

【0008】

そこで、本発明は、位置合わせを容易に行えると共に所望の屈折率を得ることができるテラヘルツ帯の人工誘電体レンズを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的を達成するために、本発明のテラヘルツ帯の人工誘電体レンズは、光軸をz軸とし、z軸に直交する軸をx軸およびy軸とした際に、x軸方向に複数本の溝部が形成され、外形形状が、下縁から中央および中央から上縁に至るまでのy軸に沿った所定の間隔毎におけるレンズのx-z面に平行な各断面の形状とされている複数枚の導電板片を、前記所定の間隔を隔ててx-z面に平行になるよう積層することにより形成されており、前記溝部の本数と幅と深さとに応じた屈折率が得られることを最も主要な特徴としている。

30

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、複数枚の導電板片を、所定の間隔を隔てて互いに平行になるよう積層することにより形成されていることから、可視光はテラヘルツ帯の人工誘電体レンズを透過するようになる。これにより、テラヘルツ帯の人工誘電体レンズの位置合わせは可視光を観察することにより行えることから、位置合わせを容易に行うことができるようになる。また、導電板片に形成した溝部の本数と幅と深さとに応じた屈折率が得られることから、所望の屈折率のテラヘルツ帯の人工誘電体レンズを得ることができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明のテラヘルツ帯の人工誘電体レンズの第1実施例である金属製誘電体レンズの構成を示す図であり、図1(a)は斜視図、図1(b)は正面図、図1(c)は側面図である。

【図2】本発明の第1実施例にかかる金属製誘電体レンズを構成する一の金属板片の構成を示す図であり、図2(a)は平面図、図2(b)は側面図である。

50

【図 3】本発明の第 1 実施例にかかる金属製誘電体レンズを構成する他の金属板片の構成を示す図であり、図 3 (a) は平面図、図 3 (b) は側面図である。

【図 4】本発明の第 1 実施例にかかる金属製誘電体レンズの一部の構成を拡大して示す図であり、図 4 (a) は側面図、図 4 (b) は寸法を示す図表である。

【図 5】本発明の第 1 実施例にかかる金属製誘電体レンズによる集光の様子をシミュレーションした図である。

【図 6】本発明の第 1 実施例にかかる金属製誘電体レンズによる集光の様子をシミュレーションした他の図である。

【図 7】本発明の第 1 実施例にかかる金属製誘電体レンズの寸法を変更した際の集光の様子をシミュレーションした図である。

【図 8】本発明の第 1 実施例にかかる金属製誘電体レンズの寸法を変更した際の集光の様子をシミュレーションした他の図である。

【図 9】本発明の第 1 実施例の変形例にかかる金属製誘電体レンズを構成する一の金属板片の構成を示す図であり、図 9 (a) は平面図、図 9 (b) は側面図である。

【図 10】本発明の第 1 実施例の変形例にかかる金属製誘電体レンズを構成する他の金属板片の構成を示す図であり、図 10 (a) は平面図、図 10 (b) は側面図である。

【図 11】本発明の第 1 実施例の変形例にかかる金属製誘電体レンズの一部の構成を拡大して示す図であり、図 11 (a) は側面図、図 11 (b) は寸法を示す図表である。

【図 12】本発明の第 1 実施例の変形例にかかる金属製誘電体レンズによる集光の様子をシミュレーションした図である。

【図 13】本発明の第 1 実施例の変形例にかかる金属製誘電体レンズによる集光の様子をシミュレーションした他の図である。

【図 14】本発明のテラヘルツ帯の人工誘電体レンズの第 2 実施例である金属製誘電体レンズの構成を示す図であり、図 14 (a) は斜視図、図 14 (b) は正面図、図 14 (c) は側面図である。

【図 15】本発明のテラヘルツ帯の人工誘電体レンズの第 3 実施例である金属製誘電体レンズの構成を示す図であり、図 15 (a) は斜視図、図 15 (b) は正面図、図 15 (c) は側面図である。

【図 16】本発明の第 3 実施例にかかる金属製誘電体レンズを構成する一の金属板片の構成を示す図であり、図 16 (a) は平面図、図 16 (b) は側面図である。

【図 17】本発明の第 3 実施例にかかる金属製誘電体レンズを構成する他の金属板片の構成を示す図であり、図 17 (a) は平面図、図 17 (b) は側面図である。平面図及び側面図である。

【図 18】テラヘルツ帯の人工誘電体レンズの他の例である金属製誘電体レンズの構成を示す図であり、図 18 (a) は斜視図、図 18 (b) は正面図、図 18 (c) は側面図である。

【図 19】他の例である金属製誘電体レンズの一部の構成を拡大して示す側面図である。

【図 20】他の例である金属製誘電体レンズによる集光の様子をシミュレーションした図である。

【図 21】他の例である金属製誘電体レンズによる集光の様子をシミュレーションした他の図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 2 】

本発明のテラヘルツ帯の人工誘電体レンズの第 1 実施例である金属製誘電体レンズの構成を示す斜視図を図 1 (a) に、その正面図を図 1 (b) に、その側面図を図 1 (c) に示す。

これらの図に示す本発明にかかる金属製誘電体レンズ 1 は、図示するように一側面が平面状、他側面が球面状とされた円形のレンズとされている。そして、金属製誘電体レンズ 1 の光軸を z 軸とし、z 軸に直交する軸を x 軸および y 軸とした際に、複数枚の金属板片 10 の外形形状が、下縁から中央および中央から上縁に至るまでの y 軸に沿った所定の間

10

20

30

40

50

隔毎におけるレンズの $x-z$ 面に平行な各断面の形状とされている。この複数枚の金属板片10を y 軸に沿って所定の間隔を持って $x-z$ 面に平行になるよう積層することにより、金属製誘電体レンズ1が形成されている。複数枚の金属板片10におけるそれぞれの表面と裏面とは、溝部が複数本ずつ形成されて、コルゲーション構造とされている。この溝部は x 軸に平行に形成されている。

【0013】

金属製誘電体レンズ1のほぼ中央部に配列されている金属板片10aの構成を拡大して示す平面図を図2(a)に、その側面図を図2(b)に示し、金属製誘電体レンズ1の外縁より若干内側に配列されている金属板片10nの構成を拡大して示す平面図を図3(a)に、その側面図を図3(b)に示す。

これらの図に示すように、金属板片10aは、約 $100\mu\text{m}$ 前後の厚さの極薄い金属板を一側面が直線、他側面が円弧状とされた三日月状の外形形状になるよう加工して、その表面と裏面とに、断面が矩形状とされている例えば8本ずつの溝部11aを所定間隔毎に形成して構成されている。金属板片10aの外形形状は、図2(a)に示すようにレンズのほぼ中央部の $x-z$ 面に平行な断面とされる三日月形状とされている。また、金属板片10nは、約 $100\mu\text{m}$ 前後の厚さの極薄い金属板を一側面が直線、他側面が円弧状とされた三日月状の外形形状になるよう加工して、その表面と裏面とに、断面が矩形状とされている例えば3本ずつの溝部11nを所定間隔毎に形成して構成されている。金属板片10nの外形形状は、図3(a)に示すようにレンズの外縁より若干内側の $x-z$ 面に平行な断面とされる小さな三日月形状とされている。

【0014】

金属製誘電体レンズ1の下縁から中央および中央から上縁に至るまでの所定の間隔毎における $x-z$ 面に平行な各断面の形状とされている複数枚の金属板片10が用意され、図2(a)(b)に示す金属板片10aを $x-z$ 面に平行に配置して、この面に直交する y 軸に沿って下側方向と上側方向に図3(a)(b)に示す金属板片10nを含む金属板片10aより次第に小さくした外形形状の複数枚の金属板片10を所定間隔をもって積層していく。これにより、本発明にかかる金属製誘電体レンズ1が形成される。図示するように、金属製誘電体レンズ1における金属板片10間には間隙があることから、金属製誘電体レンズ1を可視光が透過するようになる。そこで、テラヘルツ電磁波の光軸上に可視光が乗るようにした可視光源を備えることにより、光軸上に金属製誘電体レンズ1を容易に位置合わせすることができるようになる。

【0015】

本発明にかかる金属製誘電体レンズ1の寸法の一例を図4に示す。図4(a)は金属製誘電体レンズ1の一部の構成を拡大して示す側面図であり、図4(b)はその寸法の一例を示す図表である。

金属製誘電体レンズ1を構成している金属板片10aと、この金属板片10aに隣接する金属板片10bとの構成が拡大されて図4(a)に示されている。金属板片10aの断面が矩形状の溝部11aの底部と隣接する金属板片10bの断面が矩形状の溝部11bの底部との間隔を d 、金属板片10bの溝部11bにおける幅を t 、金属板片10aの溝部11aを形成する周期を p 、溝部11aの深さを c_1 、溝部11a間の間隔を c_2 とする。ただし、寸法 d 、 c_1 、 c_2 、 p 、 t は全ての金属板片10において同寸法とされている。金属製誘電体レンズ1の設計周波数を 0.5THz (波長は約 600mm)とした際の金属製誘電体レンズ1の具体的な寸法の例を図4(b)に示している。すなわち、 0.5THz のテラヘルツ電磁波を集光させる場合は、隣接する金属板片10の溝部11の底部間の間隔 d が約 $70\mu\text{m}$ (約 0.12)、溝部11の深さ c_1 が約 $20\mu\text{m}$ (約 0.033)、溝部11間の間隔 c_2 が約 $40\mu\text{m}$ (約 0.067)、溝部11を形成する周期 p が約 $80\mu\text{m}$ (約 0.13)、金属板片10の溝部11における幅 t が約 $30\mu\text{m}$ となる金属製誘電体レンズ1とする。

【0016】

設計周波数を 0.5THz として上記寸法とした金属製誘電体レンズ1の集光効果を解

10

20

30

40

50

析した図を図5, 図6に示す。図5は光軸をz軸方向とした金属製誘電体レンズ1のy-z面の解析結果を示す図であり、図6は光軸をz軸方向とした金属製誘電体レンズ1のx-z面の解析結果を示す図である。解析には有限要素法シミュレータAnsys社HFSS Ver. 13を用いた。解析領域を減らすためイメージの定理により1/4モデルを解析している。

図5, 図6において、テラヘルツ電磁波は紙面の左側から金属製誘電体レンズ1に入射されて右側に進行している。図5, 図6を参照すると、金属製誘電体レンズ1を通過したテラヘルツ電磁波には、有効な集光効果が得られていることがわかる。集光する原理について説明する。金属製誘電体レンズ1において、金属板片10をコルゲーション構造とすると、金属板片10の表面と裏面とに所定周期で複数本の溝部11が形成されている面をテラヘルツ電磁波が伝播する際に位相が遅れ、遅波されるようになる。複数枚の金属板片10の光軸方向の長さは中央部の金属板片10が一番長くされ、外縁に向かって次第に短くされていることから、金属製誘電体レンズ1の中央部を透過したテラヘルツ電磁波の位相遅れが大きくなり、外縁に向かうに従って金属製誘電体レンズ1を透過したテラヘルツ電磁波の位相遅れは小さくなる。これにより、テラヘルツ電磁波が集光されるものと考えられる。この場合、金属製誘電体レンズ1の焦点距離は金属製誘電体レンズ1の曲面の曲率により決定される。

【0017】

なお、誘電体の作用を微視的に見ると、物質を構成している分子や原子が電磁波に対して電気双極子(ダイポール)として働き、電気双極子の作用により電磁波の位相が遅波する。この原理により、誘電体をレンズ形状にすることで電磁波を集光することができる。このように、コルゲーション構造の金属製誘電体レンズ1ではコルゲーションにより電磁波が遅波されて集光されることができ、コルゲーション構造が誘電体として振る舞っているものと考えられる。なお、溝部11の幅(p-c2)が使用波長の約1/10程度とされていると、コルゲーションが誘電体として有効に振る舞うようになり、電磁波が遅波されるようになる。すなわち、コルゲーション構造の金属板片10を所定間隔を持って積層するとメタマテリアルとして機能する。また、金属製誘電体レンズ1では金属板片10に形成する溝部11の本数、溝部11の幅や深さのパラメータに応じて電磁波の位相が遅波することから、上記溝部のパラメータに応じた屈折率が得られるようになる。

【0018】

設計周波数を0.5THzとして溝部11aの深さc1を約30μm(約0.050)、溝部11における幅tを約20μm(約0.033)に変更し、他の寸法は上記寸法とした金属製誘電体レンズ1の集光効果を図5, 図6の解析手法で解析した図を図7に示す。図7を参照すると、寸法を変更しても金属製誘電体レンズ1を通過したテラヘルツ電磁波には、有効な集光効果が得られていることがわかる。そして、金属製誘電体レンズ1を通過した入力に対する強度の最大値は、金属製誘電体レンズ1の平面部分からa1で示す約3.02mm(約5.0)の点となり、強度は約2.5倍が得られている。

また、設計周波数を0.5THzとして溝部11aの深さc1を約20μm(約0.033)、溝部11における幅tを約40μm(約0.067)に変更し、他の寸法は上記寸法とした金属製誘電体レンズ1の集光効果を図5, 図6の解析手法で解析した図を図8に示す。図8を参照すると、寸法を変更しても金属製誘電体レンズ1を通過したテラヘルツ電磁波には、有効な集光効果が得られていることがわかる。そして、金属製誘電体レンズ1を通過した入力に対する強度の最大値は、金属製誘電体レンズ1の平面部分からa2で示す約4.59mm(約7.7)の点となり、強度は約1.8倍が得られている。

上記したように、溝部11の深さc1を深くすると金属製誘電体レンズ1を通過したテラヘルツ電磁波がより集光されて、入力に対する強度の最大値が大きくなると共に、最大値が得られる距離が短くなることが分かる。

【0019】

ここで、コルゲーション構造により電磁波が遅波されて集光されることを説明するために、コルゲーション構造を有していない金属製誘電体レンズの集光効果を解析した。コル

10

20

30

40

50

ゲーシオン構造を有していない金属製誘電体レンズ100の構成を示す斜視図を図18(a)に、その正面図を図18(b)に、その側面図を図18(c)に示す。

これらの図に示すコルゲーシオン構造を有していない金属製誘電体レンズ100は、金属製誘電体レンズ100の光軸をz軸とし、z軸に直交する軸をx軸およびy軸とした際に、複数枚の金属板片110の外形形状が、下縁から中央および中央から上縁に至るまでのy軸に沿った所定の間隔毎におけるレンズのx-z面に平行な各断面の形状とされている。この複数枚の金属板片110をy軸に沿って所定の間隔を持ってx-z面に平行になるよう積層することにより、金属製誘電体レンズ100が形成されている。複数枚の金属板片110におけるそれぞれの表面と裏面とに溝部は形成されておらず平滑な平面とされている。

10

【0020】

図19は金属製誘電体レンズ100の一部の構成を拡大して示す側面図であり、金属製誘電体レンズ100を構成している金属板片110aと、この金属板片110aに隣接する金属板片110bとの構成が拡大されて示されている。金属板片110aと隣接する金属板片110bとの間隔をd100、金属板片110bの幅をt100とする。ただし、寸法d100、t100は全ての金属板片110において同寸法とされている。金属製誘電体レンズ100の設計周波数を0.5THz(波長は約600mm)とした際は、隣接する金属板片110間の間隔d100が約70 μ m(約0.12)、金属板片110bの溝部11bにおける幅t100が約30 μ mとなる金属製誘電体レンズ100とする。

20

【0021】

設計周波数を0.5THzとして上記寸法とした金属製誘電体レンズ100の集光効果を解析した図を図20、図21に示す。図20は金属製誘電体レンズ100のy-z面の解析結果を示す図であり、図21は金属製誘電体レンズ100のx-z面の解析結果を示す図である。解析には有限要素法シミュレータAnsys社HFSS Ver. 13を用いた。解析領域を減らすためイメージの定理により1/4モデルを解析している。図20、図21を参照すると集光されていないことがわかる。すなわち、コルゲーシオン構造を有していない金属製誘電体レンズ100では、電磁波が金属製誘電体レンズ100を透過する際に遅波されず集光されないことがわかる。

このように、本発明にかかる金属製誘電体レンズ1では、金属板片10をコルゲーシオン構造とすることにより電磁波が遅波されて、集光されることが分かる。

30

【0022】

次に、本発明の第1実施例における変形例の金属製誘電体レンズ2について説明する。本発明の変形例の金属製誘電体レンズ2は、断面が矩形状の溝部11に替えて断面が半円状の溝部21を金属板片に設けるようにしており、他の構成は金属製誘電体レンズ1と同様とされている。そこで、本発明の第1実施例における変形例の金属製誘電体レンズ2のほぼ中央部に配列されている金属板片20aの構成を拡大して示す平面図を図9(a)に、その側面図を図9(b)に示し、変形例の金属製誘電体レンズ2の外縁より若干内側に配列されている金属板片20bの構成を拡大して示す平面図を図10(a)に、その側面図を図10(b)に示す。

40

【0023】

これらの図に示すように、金属板片20aは、約100 μ m前後の厚さの極薄い金属板を三日月状の外形形状になるよう加工して、その表面と裏面とに、断面が半円状とされている例えば8本ずつの溝部21aを所定間隔毎に形成して構成されている。金属板片20aの外形形状は、レンズのほぼ中央部のx-z面に平行な断面の三日月形状とされている。また、金属板片20nは、約100 μ m前後の厚さの極薄い金属板を三日月状の外形形状になるよう加工して、その表面と裏面とに、断面が半円状とされている例えば3本ずつの溝部21nを所定間隔毎に形成して構成されている。金属板片20nの外形形状は、金属板片20aより小さい三日月形状とされており、金属製誘電体レンズ2の外縁より若干内側のx-z面に平行な断面の形状とされている。

【0024】

50

金属製誘電体レンズ2の下縁から中央および中央から上縁に至るまでの所定の間隔毎におけるx-z面に平行な各断面の形状とされている複数枚の金属板片20が用意され、図9(a)(b)に示す金属板片20aをx-z面に平行に配置して、この面に直交するy軸に沿って下側方向と上側方向に図10(a)(b)に示す金属板片20nを含む金属板片20aより次第に小さくした三日月形状の外形の複数枚の金属板片20を所定間隔で積層していく。これにより、本発明にかかる変形例の金属製誘電体レンズ2が形成される。図示するように、金属製誘電体レンズ2における金属板片20間には間隙があることから、金属製誘電体レンズ2を可視光が透過するようになる。そこで、テラヘルツ電磁波の光軸上に可視光が乗るようにした可視光源を備えることにより、光軸上に金属製誘電体レンズ2を容易に位置合わせすることができるようになる。

10

【0025】

本発明にかかる変形例の金属製誘電体レンズ2の寸法の一例を図11に示す。図11(a)は金属製誘電体レンズ2の一部の構成を拡大して示す側面図であり、図11(b)はその寸法の一例を示す図表である。

変形例の金属製誘電体レンズ2を構成している金属板片20aと、この金属板片20aに隣接する金属板片20bとの構成が拡大されて図11(a)に示されている。金属板片20aの溝部21aは断面が半円状とされており、その底部と隣接する金属板片20bの断面が半円状の溝部21bの底部との間隔をd、金属板片20bの溝部21bの底部の幅をt、金属板片20aの溝部21aを形成する周期をp、断面が半円状の溝部21aの深さをc1、断面が半円状の溝部21aの半径をr、溝部21b間の間隔をc2とする。ただし、寸法d, c1, c2, p, t, rは全ての金属板片20において同寸法とされている。変形例の金属製誘電体レンズ2の設計周波数を0.5THz(波長は約600mm)とした際の金属製誘電体レンズ2の具体的な寸法の例を図11(b)に示している。すなわち、0.5THzのテラヘルツ電磁波を集光させる場合は、隣接する金属板片20の溝部21の底部間の間隔dが約70 μ m(約0.12)、溝部21の深さc1および半径rが約20 μ m(約0.033)、溝部21間の間隔c2が約40 μ m(約0.067)、溝部21を形成する周期pが約80 μ m(約0.13)、金属板片20の溝部21における幅tが約30 μ mとなる金属製誘電体レンズ2とする。

20

【0026】

設計周波数を0.5THzとして上記寸法とした変形例の金属製誘電体レンズ2の集光効果を解析した図を図12, 図13に示す。図12は金属製誘電体レンズ2のy-z面の解析結果を示す図であり、図13は金属製誘電体レンズ2のx-z面の解析結果を示す図である。解析には有限要素法シミュレータAnsys社HFSS Ver. 13を用いた。解析領域を減らすためイメージの定理により1/4モデルを解析している。図12, 図13を参照すると有効な集光効果が得られていることがわかる。このことから、変形例の金属製誘電体レンズ2において、金属板片20に形成している溝部21の断面形状を半円形状としても、溝部21をテラヘルツ電磁波が伝播する際に位相が遅れ、テラヘルツ電磁波が集光されることがわかる。

30

なお、溝部21の半径rが使用波長の約1/10程度とされていると、コルゲーションが誘電体として効果的に振る舞うようになり、電磁波が遅波されるようになる。また、変形例の金属製誘電体レンズ2においては、溝部21の断面形状が半円状とされていることから、微細な直径とされているドリル等を用いて金属板片20に溝部21を形成することができることから、容易に金属製誘電体レンズ2を作成することができる。

40

【0027】

次に、本発明のテラヘルツ帯の人工誘電体レンズの第2実施例である金属製誘電体レンズ3の構成を示す斜視図を図14(a)に、その正面図を図14(b)に、その側面図を図14(c)に示す。

これらの図に示す本発明にかかる第2実施例の金属製誘電体レンズ3は、図示するように一側面が平面状、他側面が球面状とされた円形のレンズとされている。そして、金属製誘電体レンズ3の光軸をz軸とし、z軸に直交する軸をx軸およびy軸とした際に、複数

50

枚の金属板片30の外形形状が、下縁から中央および中央から上縁に至るまでのy軸に沿った所定の間隔毎におけるレンズのx-z面に平行な各断面の形状とされている。この複数枚の金属板片30をy軸に沿って所定の間隔を持ってx-z面に平行になるよう積層することにより、金属製誘電体レンズ3が形成されている。複数枚の金属板片30におけるそれぞれの表面と裏面とは、溝部が複数本ずつ形成されて、コルゲーション構造とされている。この溝部はx軸に平行に形成されている。

【0028】

第2実施例の金属製誘電体レンズ3における金属板片30は、第1実施例の金属製誘電体レンズ1における図2, 3に示す金属板片10とほぼ同様の形状とされているが、端縁はステップ状に加工されている。すなわち、第1実施例の金属製誘電体レンズ1においては、複数枚の金属板片10の端縁をつなげた形状は図1(a)~(c)に示すように滑らかな形状とされているが、第2実施例の金属製誘電体レンズ3においては、複数枚の金属板片30の端縁をつなげた形状はステップ状とされている。これにより、複数枚の金属板片30を作成する加工を容易に行えるようになる。また、第2実施例の金属製誘電体レンズ3は、第1実施例の金属製誘電体レンズ1と同様に可視光が透過すると共に、テラヘルツ電磁波を効率的に集光することができる。さらに、複数枚の金属板片30のそれぞれに形成されている溝部の断面形状を矩形あるいは半円形とすることができる。

10

【0029】

次に、本発明のテラヘルツ帯の人工誘電体レンズの第3実施例である金属製誘電体レンズ4の構成を示す斜視図を図15(a)に、その正面図を図15(b)に、その側面図を図15(c)に示す。

20

これらの図に示す本発明にかかる第3実施例の金属製誘電体レンズ4は、図示するように一側面が平面状、他側面が球面状とされたシリンダー状のレンズとされている。そして、金属製誘電体レンズ4の光軸をz軸とし、z軸に直交する軸をx軸およびy軸とした際に、複数枚の金属板片40の外形形状が、下縁から中央および中央から上縁に至るまでのy軸に沿った所定の間隔毎におけるレンズのx-z面に平行な各断面の形状とされている。この複数枚の金属板片40をy軸に沿って所定の間隔を持ってx-z面に平行になるよう積層することにより、金属製誘電体レンズ4が形成されている。複数枚の金属板片40におけるそれぞれの表面と裏面とは、溝部が複数本ずつ形成されて、コルゲーション構造とされている。この溝部はx軸に平行に形成されている。

30

【0030】

第3実施例の金属製誘電体レンズ4のほぼ中央部に配列されている金属板片40aの構成を拡大して示す平面図を図16(a)に、その側面図を図16(b)に示し、金属製誘電体レンズ4の外縁より若干内側に配列されている金属板片40nの構成を拡大して示す平面図を図17(a)に、その側面図を図17(b)に示す。

これらの図に示すように、金属板片40aは、約100 μ m前後の厚さの極薄い金属板を矩形の外形形状になるよう加工して、その表面と裏面とに、断面が矩形状とされている例えば8本ずつの溝部41aを所定間隔毎に形成して構成されている。金属板片40aの外形形状は、図16(a)に示すようにレンズのほぼ中央部のx-z面に平行な断面とされる矩形状とされている。また、金属板片40nは、約100 μ m前後の厚さの極薄い金属板を矩形の外形形状になるよう加工して、その表面と裏面とに、断面が矩形状とされている例えば3本ずつの溝部41nを所定間隔毎に形成して構成されている。金属板片40nの外形形状は、図17(a)に示すようにレンズの外縁より若干内側のx-z面に平行な断面とされる細長い矩形状とされている。

40

【0031】

第3実施例の金属製誘電体レンズ4の下縁から中央および中央から上縁に至るまでの所定の間隔毎におけるx-z面に平行な各断面の形状とされている複数枚の金属板片40が用意され、図16(a)(b)に示す金属板片40aをx-z面に平行に配置して、この面に直交するy軸に沿って下側方向と上側方向に図17(a)(b)に示す金属板片10nを含む金属板片40aより次第に小さくした外形形状の複数枚の金属板片40を所定間

50

隔をもって積層していく。これにより、第3実施例の金属製誘電体レンズ4が形成される。このような第3実施例の金属製誘電体レンズ4は、第1実施例の金属製誘電体レンズ1と同様に可視光が透過すると共に、テラヘルツ電磁波を効率的に集光することができる。さらに、複数枚の金属板片30のそれぞれに形成されている溝部の断面形状を矩形あるいは半円形とすることができる。さらに、第3実施例の金属製誘電体レンズ4においては、複数枚の金属板片40が矩形とされていることから、複数枚の金属板片40を作成する加工を容易に行えるようになる。

【産業上の利用可能性】

【0032】

以上説明した本発明のテラヘルツ帯の人工誘電体レンズにおいて、導電板を金属板としたが、これに限るものではなく絶縁フィルムの表面および裏面に導電体を貼着や蒸着した導電体を用いるようにしても良い。また、本発明の各実施例の金属製誘電体レンズにおける上記した寸法は一例であって、この寸法に限ることはない。そして、各実施例にかかる金属製誘電体レンズにおける金属板片に形成する溝部の本数、溝部の幅や深さは一例であって、これらのパラメータを変えることにより、金属製誘電体レンズ1の等価的な誘電率を制御することができる。すなわち、本発明のテラヘルツ帯の人工電体レンズにおいては所望の屈折率を得ることができるようになる。

また、本発明の実施例の金属製誘電体レンズ1の正面から見た形状は円形あるいは矩形としたが、これに限ることはなく三角形や多角形とすることができる。さらに、実施例における金属板片に形成した溝部の断面形状は矩形あるいは半円状としたが、これに限ることはなく、楕円や多角形の断面形状とすることができる。

さらに、以上説明した本発明の実施例の金属製誘電体レンズでは、一側面が平面状、他側面が球面状とされていたが、一側面および他側面とも球面状としても良い。さらにまた、本発明の実施例の金属製誘電体レンズでは、金属板片の表面と裏面とに形成する溝部を位置を合わせて形成するようにしたが、これに限ることはなく、表面と裏面とに形成する溝部の位置をずらせて形成するようにしてもよく、また、表面と裏面とのいずれかの一面だけに溝部を形成するようにしても良い。

【符号の説明】

【0033】

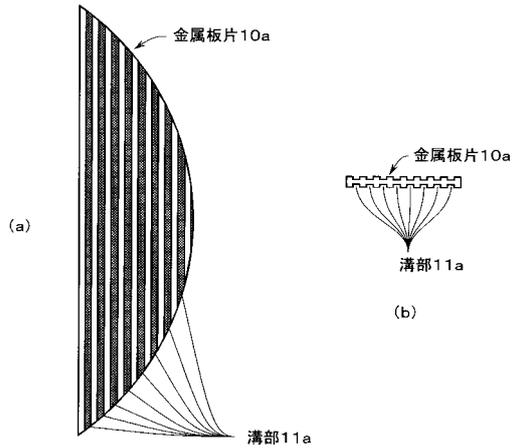
1～4 金属製誘電体レンズ、10 金属板片、10a 金属板片、10b 金属板片、10n 金属板片、11 溝部、11a 溝部、11b 溝部、11n 溝部、20 金属板片、20a 金属板片、20b 金属板片、20n 金属板片、21 溝部、21a 溝部、21b 溝部、21n 溝部、30 金属板片、40 金属板片、40a 金属板片、40n 金属板片、41a 溝部、41n 溝部、100 金属製誘電体レンズ、110 金属板片、110a 金属板片、110b 金属板片

10

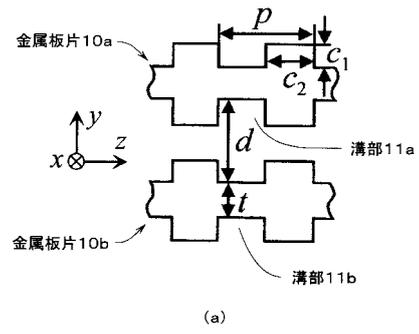
20

30

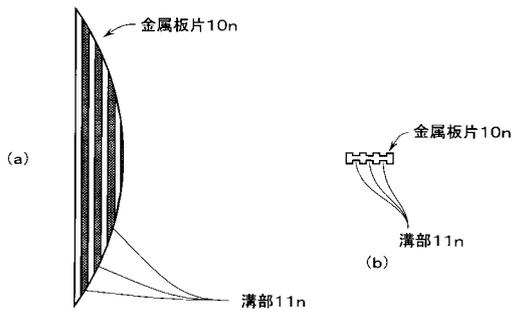
【 図 2 】



【 図 4 】



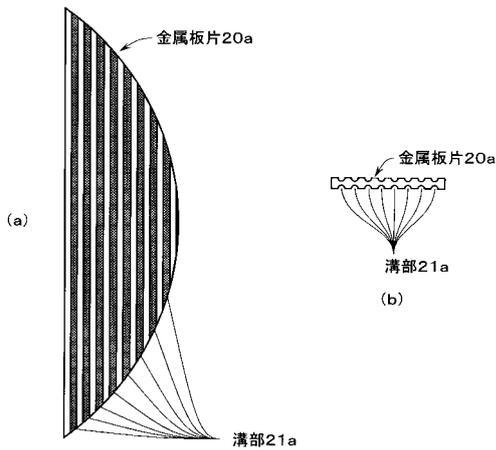
【 図 3 】



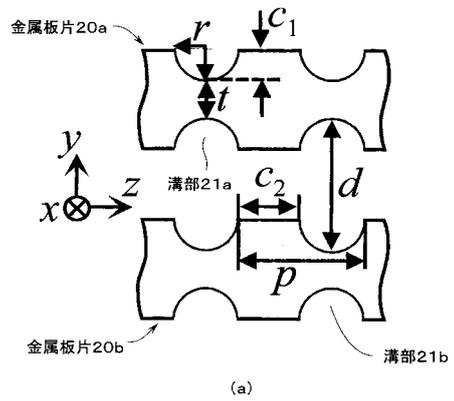
d	$70 \mu\text{m} (0.12\lambda)$
c_1	$20 \mu\text{m} (0.033\lambda)$
c_2	$40 \mu\text{m} (0.067\lambda)$
p	$80 \mu\text{m} (0.13\lambda)$
t	$30 \mu\text{m} (0.050\lambda)$

(b)

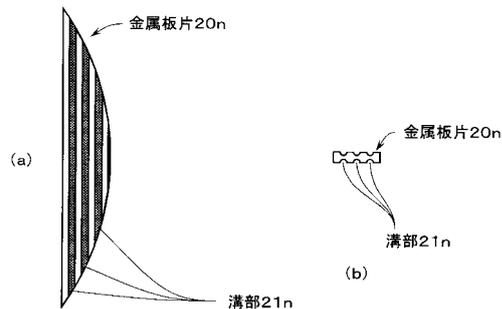
【 図 9 】



【 図 1 1 】



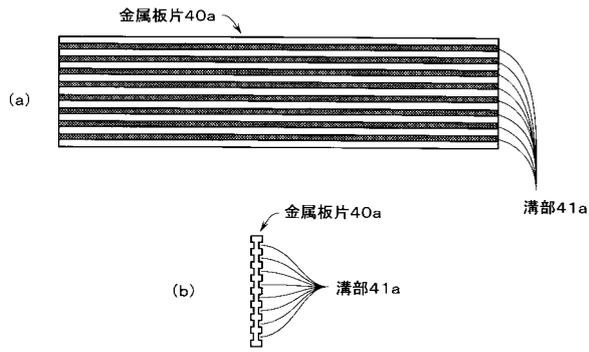
【 図 1 0 】



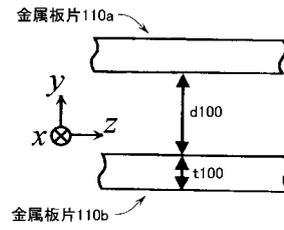
d	$70 \mu\text{m} (0.12\lambda)$
c_1	$20 \mu\text{m} (0.033\lambda)$
c_2	$40 \mu\text{m} (0.067\lambda)$
p	$80 \mu\text{m} (0.13\lambda)$
t	$40 \mu\text{m} (0.67\lambda)$
r	$20 \mu\text{m} (0.033\lambda)$

(b)

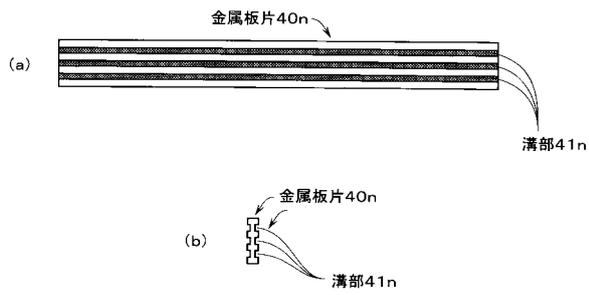
【 図 1 6 】



【 図 1 9 】



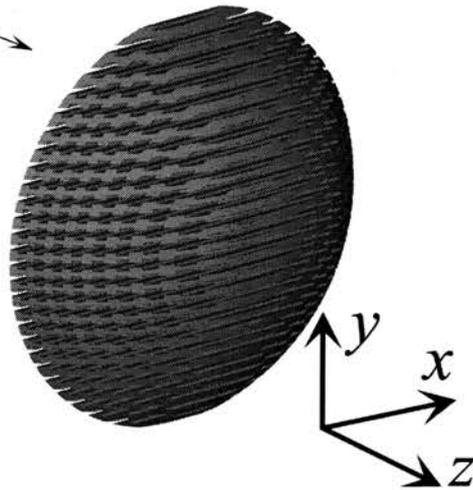
【 図 1 7 】



【図1】

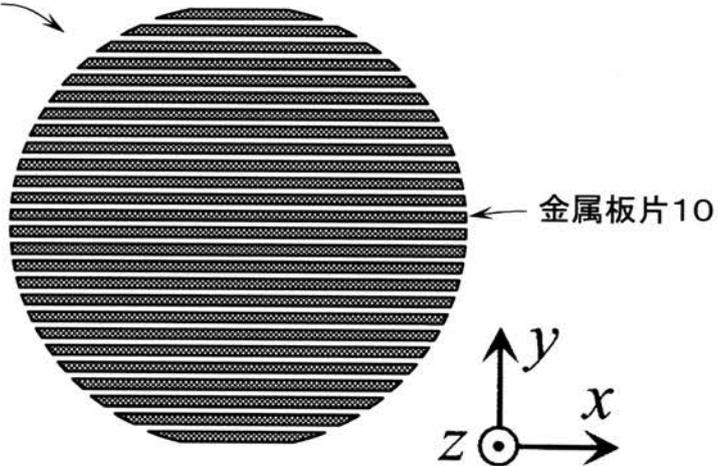
金属製誘電体レンズ1

(a)



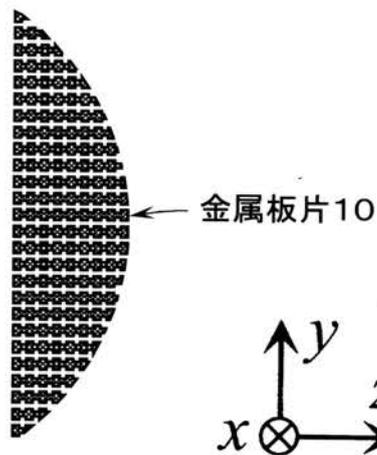
金属製誘電体レンズ1

(b)

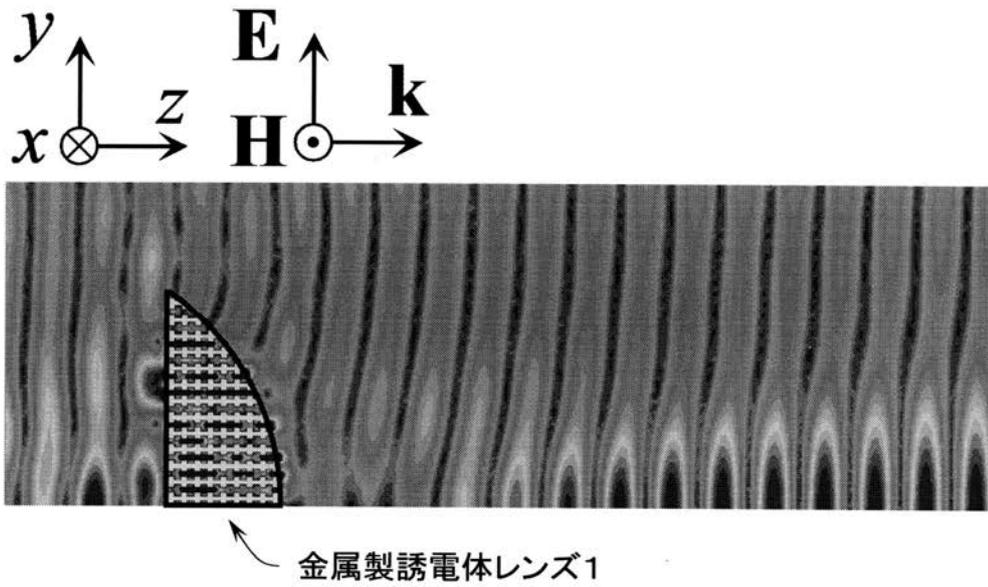


金属製誘電体レンズ1

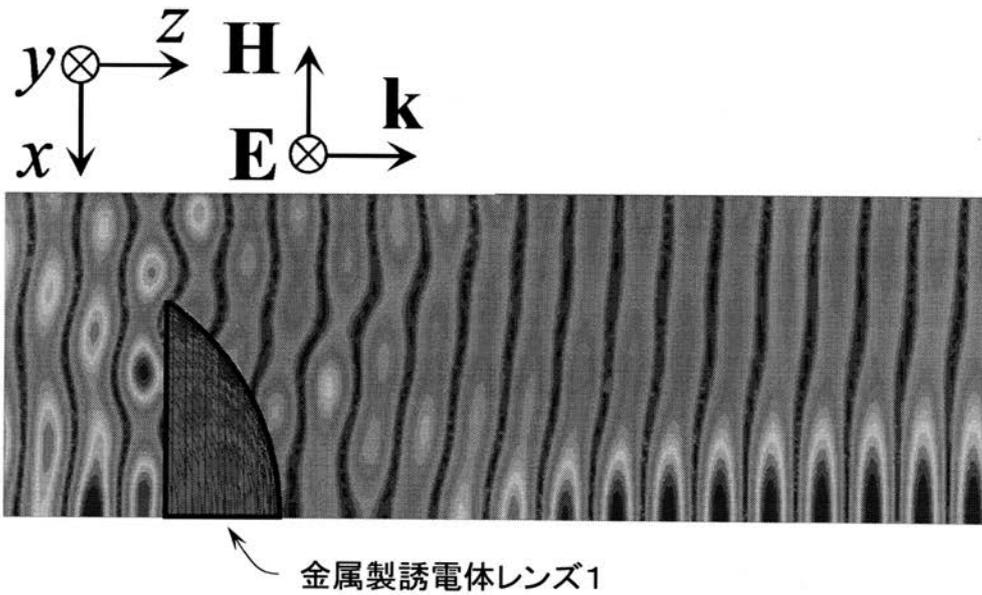
(c)



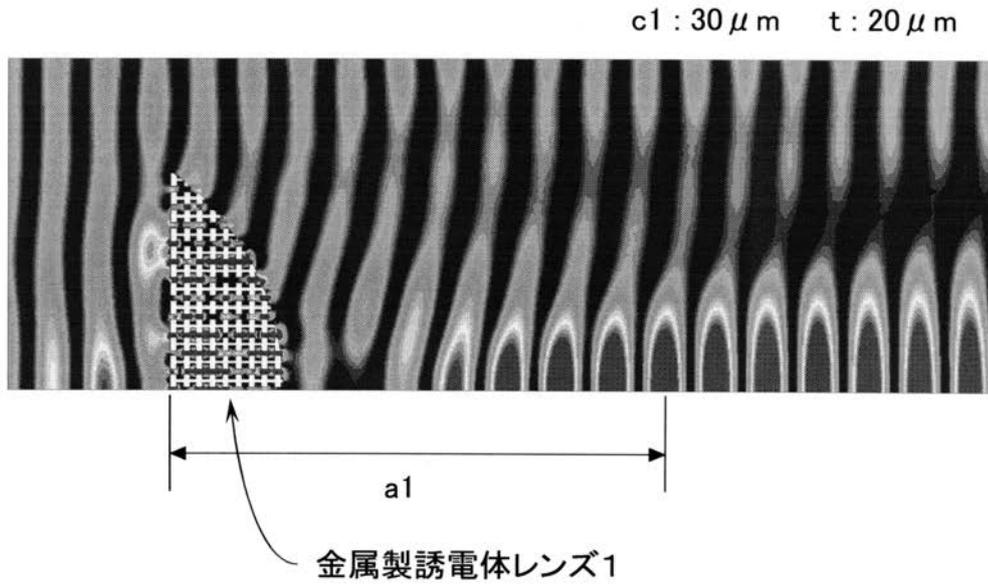
【 図 5 】



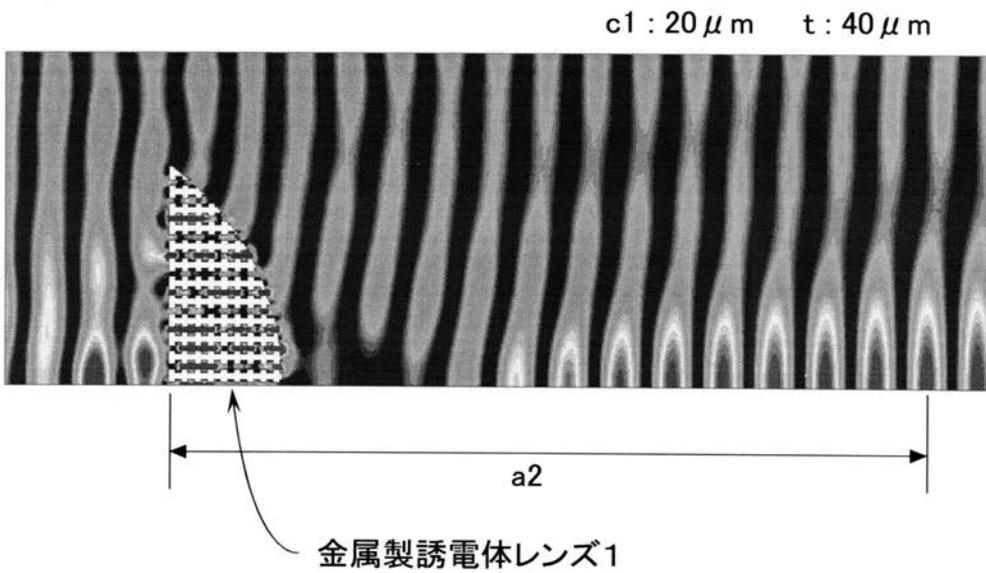
【 図 6 】



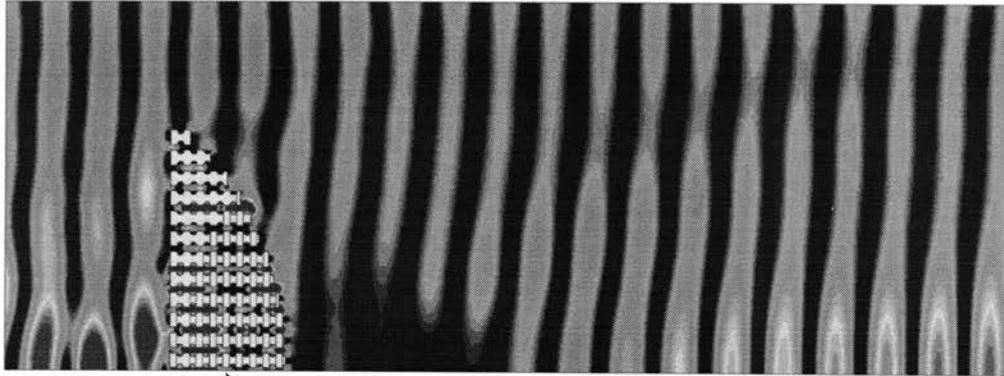
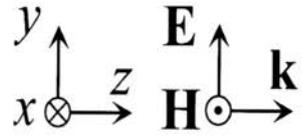
【 図 7 】



【 図 8 】

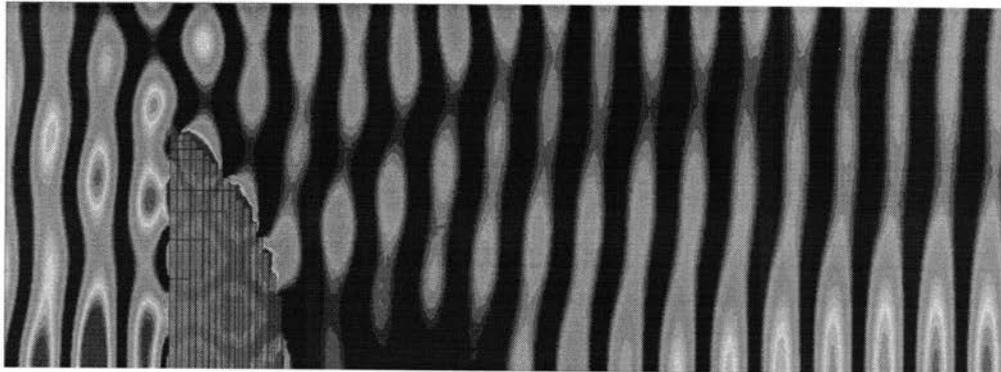
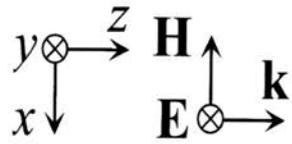


【図 1 2】



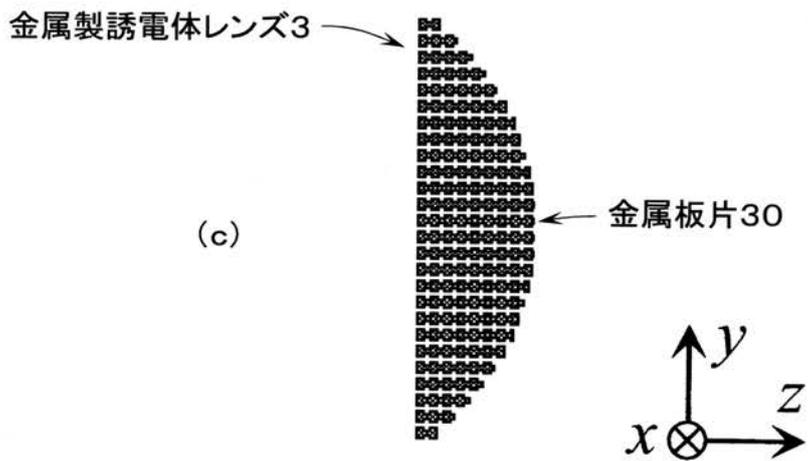
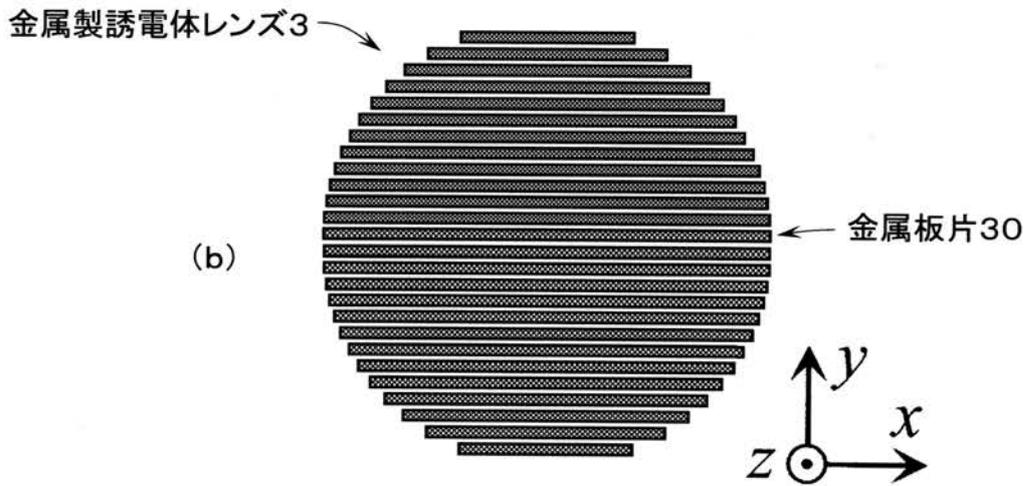
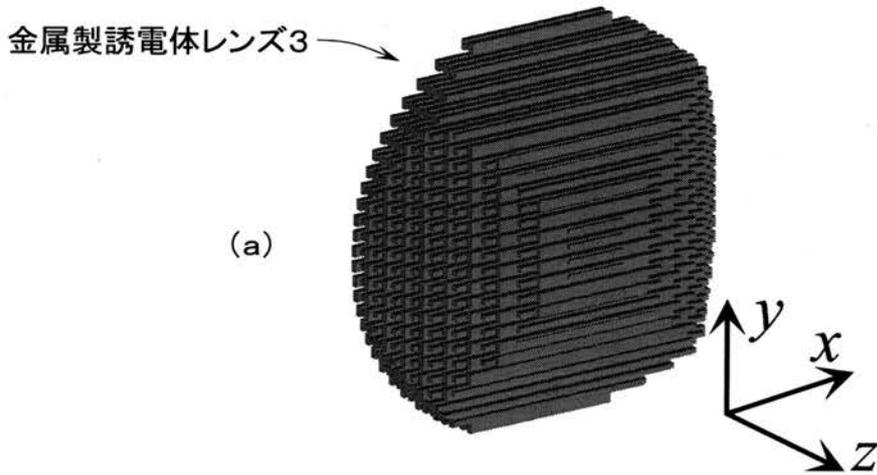
金属製誘電体レンズ2

【図 1 3】

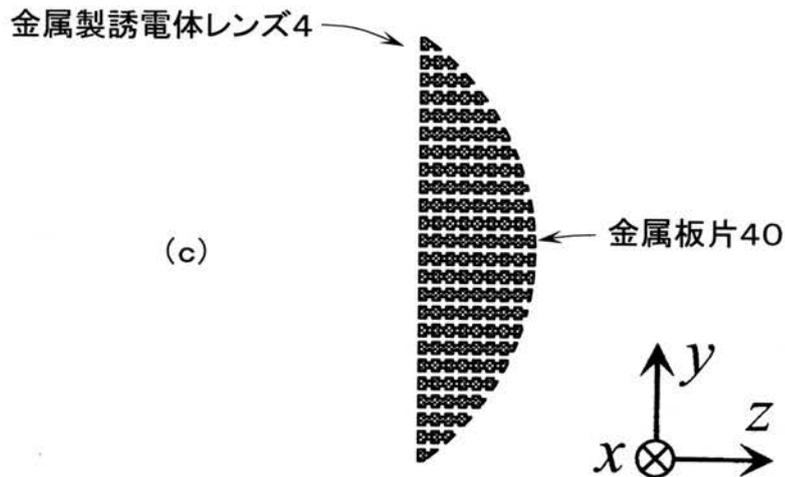
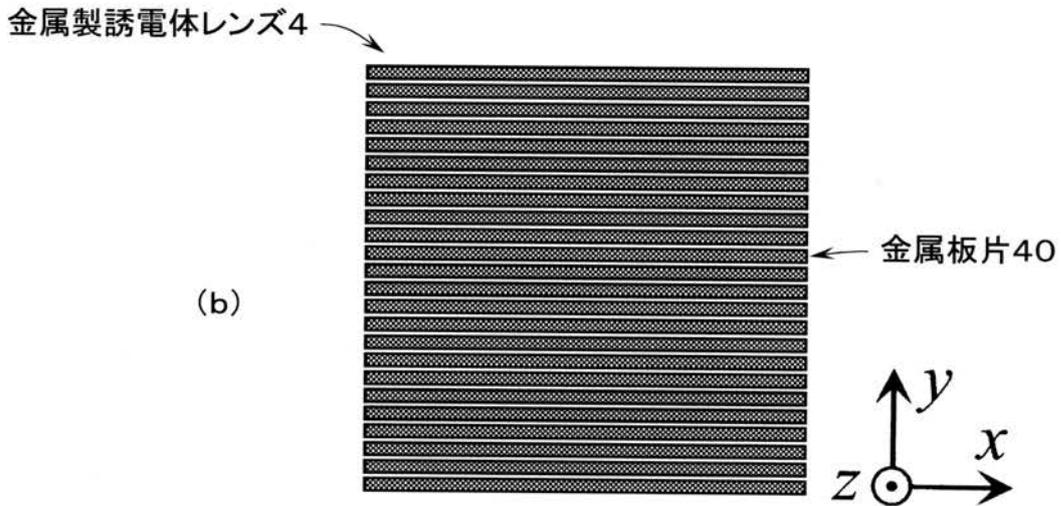
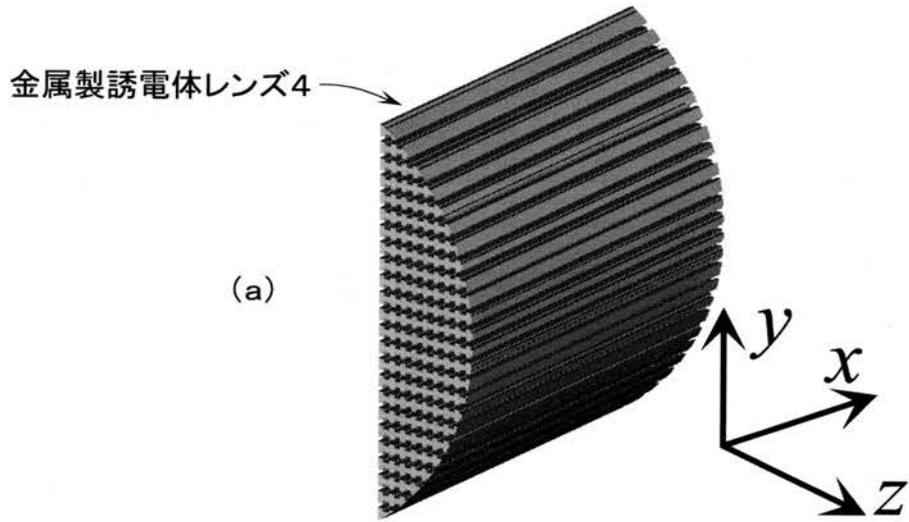


金属製誘電体レンズ2

【図14】



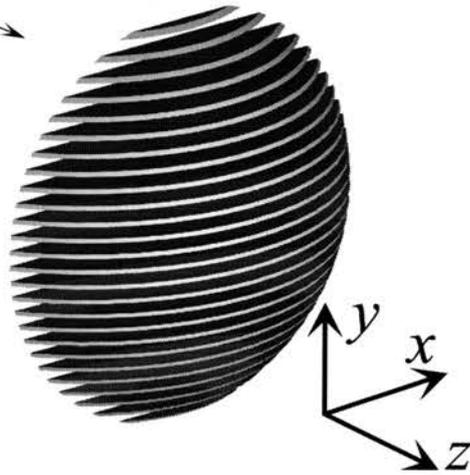
【 図 1 5 】



【図18】

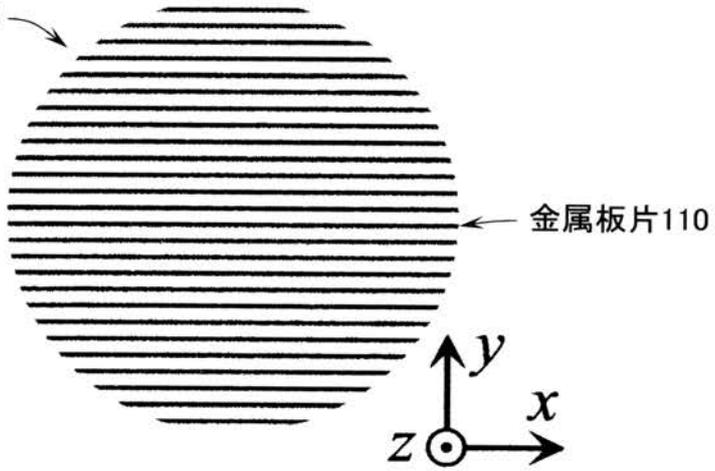
金属製誘電体レンズ100

(a)



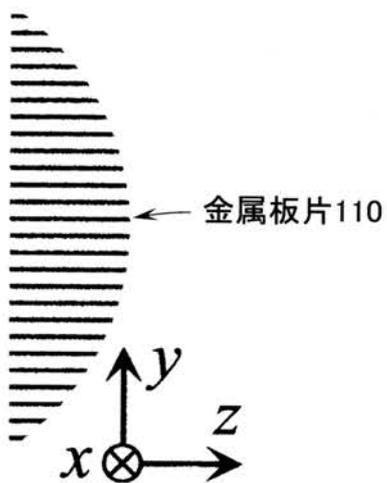
金属製誘電体レンズ100

(b)

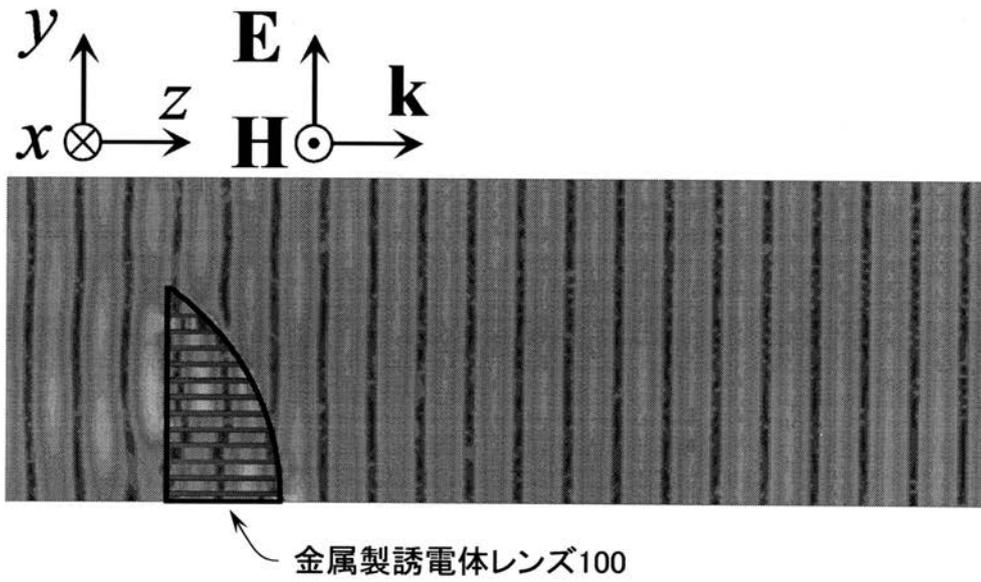


金属製誘電体レンズ100

(c)



【図 2 0】



【図 2 1】

