

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局

(43) 国際公開日  
2014年9月18日(18.09.2014)



(10) 国際公開番号

WO 2014/142294 A1

- (51) 国際特許分類:  
H01Q 15/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/056836
- (22) 国際出願日: 2014年3月14日(14.03.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2013-053575 2013年3月15日(15.03.2013) JP
- (71) 出願人: 国立大学法人茨城大学 (IBARAKI UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒3108512 茨城県水戸市文京二丁目1番1号 Ibaraki (JP).
- (72) 発明者: 鈴木 健仁 (SUZUKI Takehito); 〒3168511 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 Ibaraki (JP).
- (74) 代理人: 浅見 保男, 外 (ASAMI Yasuo et al.); 〒1100014 東京都台東区北上野1丁目6番11号 ノルドビル602 雄渾特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

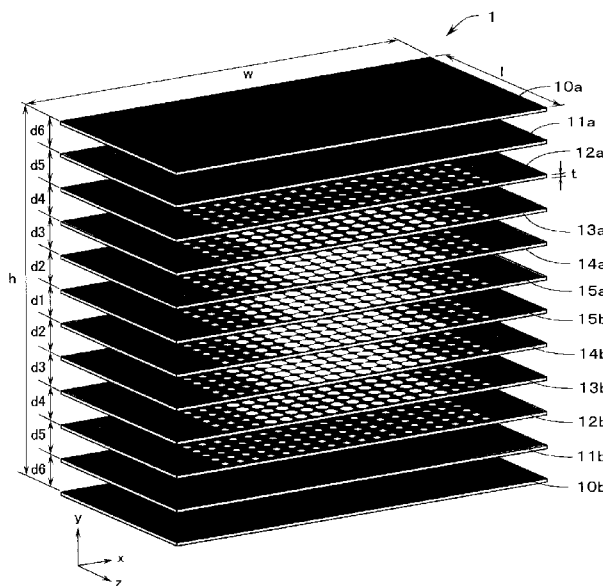
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(54) Title: METAL-PLATE LENS

(54) 発明の名称: メタルプレートレンズ



が所定間隔で重なるように配置されている。最上部平板10aと最下部平板10bとを除く平板11a～15bには複数の貫通穴が形成されている。この場合、中央部平板15a、15bには第1の径の貫通穴が形成されており、中央部平板15aと最上部平板10aとの間、および、中央部平板15bと最下部平板10bとの間に配置されている中間部平板11a～14bには、第1の径より小さい第2の径の貫通穴が形成されている。中央部平板15a、15bに近い配置位置の中間部平板に形成されている貫通穴の第2の径より、中央部平板15a、15bに遠い配置位置の中間部平板に形成されている貫通穴の前記第2の径が小さくされている。

(57) Abstract: [PROBLEM] To provide a metal-plate lens that can be easily created even for high-frequency bands. [Solution] Metal plates (10a-15b) are disposed parallel to the x-z plane so as to be stacked at predetermined intervals, where the z axis is the central axis, and the axes that are orthogonal to the z axis are the x axis and y axis. The plates (11a-15b) other than the uppermost plate (10a) and lowermost plate (10b) have a plurality of through holes formed therein. In this case, central plates (15a, 15b) have through holes having first diameters formed therein, and intermediate plates (11a-14b), which are disposed between central plate (15a) and the uppermost plate (10a) and between central plate (15b) and the lowermost plate (10b) have, formed therein, through holes having second diameters that are smaller than the first diameters. The second diameters of through holes formed in intermediate plates that are disposed further from the central plates (15a, 15b) are made to be smaller than the second diameters of through holes formed in intermediate plates that are disposed closer to the central plates (15a, 15b).

(57) 要約: 【課題】 波長が短い領域においても容易に作成することができるようにする。

【解決手段】 中心軸を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-z面に平行に、金属製の平板10a～15b

WO 2014/142294 A1

## 明 細 書

発明の名称：メタルプレートレンズ

### 技術分野

[0001] この発明は、テラヘルツ波などの電磁波を集束することのできるメタルプレートレンズに関する。

### 背景技術

[0002] テラヘルツ電磁波は周波数が $0.1 \sim 10 \text{ THz}$ （波長が $30 \mu\text{m} \sim 3000 \mu\text{m}$ ）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、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ー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。テラヘルツ電磁波を用いると、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が可能になったり、数100Gbps級の超高速無線通信を可能とすることができる。

[0003] ところで、誘電率・透磁率がともに負の媒質に光が入射すると、負の屈折が起こることがベセラゴにより示され、誘電率および透磁率が負になる人工的な構造が提案された。この誘電率および透磁率が負になる人工的な構造は、原子より十分大きく光波長のスケールより小さい人工構造であり、メタマテリアルといわれている。負の屈折をするメタマテリアルを用いると、平面構造した完全レンズを作成することができる。従来のレンズは、光の波長より小さなものを観察することができない回折限界があるが、完全レンズでは、回折限界を超えた微細なものまで観察することが可能である。

[0004] メタマテリアルの一例としては、逆の位置にカットを持つ大小二つのリングを組合せた負の透磁率を示す分割リング共振器と、負の誘電率を示す金属

ワイヤーとからなる単位セルをマトリクス状に並べたメタマテリアルが知られている（特許文献 1 参照）。この単位セルを、勾配屈折率を有するように 1 つの軸に沿って配置するようにして負の屈折率を実現することにより、レンズなどに適用することができる。

## 先行技術文献

## 特許文献

[0005] 特許文献 1：特開 2011-254482 号公報

## 発明の概要

## 発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、特許文献 1 に記載の負の屈折率を実現できる単位セルを、テラヘルツ波などの波長が短い領域に適用しようとすれば、単位セルの寸法をテラヘルツ波の自由空間における波長の約  $1/6$  以下の  $\mu\text{m}$  オーダーの微小なサイズとする必要があり、単位セルを作成することが非常に困難となる。

そこで、本発明は、負の屈折率を実現する構造を採用することなくテラヘルツ波などの波長が短い領域においても容易に作成することのできる構造とされたメタルプレート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

[0007] 上記目的を達成するために、本発明のメタルプレートレンズは、中心軸である光軸を  $z$  軸とし、 $z$  軸に直交する軸を  $x$  軸および  $y$  軸とした際に、 $x-z$  面に平行であって  $y$  軸に沿って所定間隔とされた複数枚の面のそれぞれに、金属製の平板が相互に重なるように配置されているメタルプレートレンズであって、重なるように配置されている前記平板の内の最も上に配置されている最上部平板と最も下に配置されている最下部平板とを除く複数の前記平板には所定の大きさの複数の貫通穴が形成されており、前記平板の内の中央部に配置されている中央部平板には第 1 の大きさの前記貫通穴が形成されており、前記中央部平板と前記最上部平板との間、および、前記中央部平板と

前記最下部平板との間に配置されている中間部平板には、前記第1の大きさより小さい第2の大きさの前記貫通穴が形成されており、前記中央部平板と前記最上部平板との間、および、前記中央部平板と前記最下部平板との間に複数の前記中間部平板が配置されている場合は、前記中央部平板に近い配置位置の前記中間部平板に形成されている前記貫通穴の前記第2の大きさより、前記中央部平板に遠い配置位置の前記中間部平板に形成されている前記貫通穴の前記第2の大きさが小さくされていることを最も主要な特徴としている。

### 発明の効果

[0008] 本発明のメタルプレートレンズは、金属製の平板が相互に重なるように配置されているメタルプレートレンズであって、中央部平板と中間部平板とに所定の大きさの貫通穴が形成されており、貫通穴の大きさは、中間部平板より中央部平板の大きさが大きくされている。そして、自由空間を伝播する電磁波の波長より、金属製の平板間を伝播する電磁波の波長が長くなることから、貫通穴が形成されている平板間を伝播する電磁波の波長は、貫通穴が形成されていない平板間を伝播する電磁波の波長より短くなり、貫通穴の大きさが大きくなるほど波長が短くなる度合いが大きくなる。従って、中央部平板を利用して伝播する電磁波の波長は、中間部平板を利用して伝播する電磁波の波長より短くなり、中間部平板を利用して伝播する電磁波の波長は、貫通穴の形成されていない最上部平板および最下部平板を利用して伝播する電磁波の波長より短くなる。上記のように貫通穴を形成した金属製の平板を重ねることでレンズとして作用するようになり、本発明のメタルプレートレンズは、負の屈折率を実現する構造を採用することなくテラヘルツ波などの波長が短い領域に適用しても容易に作成することができるようになる。

### 図面の簡単な説明

[0009] [図1]本発明の実施例のメタルプレートレンズの構成を示す斜視図である。

[図2]本発明の実施例のメタルプレートレンズの寸法の一例を示す図表である。

[図3]本発明の実施例のメタルプレートレンズにかかる平板の構成を示す平面図である。

[図4]本発明の実施例のメタルプレートレンズにかかる他の平板の構成を示す平面図である。

[図5]本発明にかかるメタルプレートレンズの基準モデルのパラメータおよび各貫通穴の寸法の一例を示す図表である。

[図6]本発明にかかるメタルプレートレンズの基準モデルの解析結果を示す図である。

[図7]本発明にかかるメタルプレートレンズの基準モデルの光軸上の電界強度分布を示す図である。

[図8]本発明にかかるメタルプレートレンズの基準モデルの焦点位置での $x$ 方向および $y$ 方向の電界強度分布を示す図である。

[図9]本発明にかかるメタルプレートレンズのモデル1のパラメータおよび各貫通穴の寸法の一例を示す図表である。

[図10]本発明にかかるメタルプレートレンズのモデル1の解析結果を示す図である。

[図11]本発明にかかるメタルプレートレンズのモデル1の光軸上の電界強度分布、モデル1の焦点位置での $x$ 方向および $y$ 方向の電界強度分布を示す図である。

[図12]本発明にかかるメタルプレートレンズのモデル2のパラメータおよび各貫通穴の寸法の一例を示す図表である。

[図13]本発明にかかるメタルプレートレンズのモデル2の解析結果を示す図である。

[図14]本発明にかかるメタルプレートレンズのモデル2の光軸上の電界強度分布、モデル1の焦点位置での $x$ 方向および $y$ 方向の電界強度分布を示す図である。

[図15]本発明にかかるメタルプレートレンズのモデル3のパラメータの寸法の一例を示す図表である。

[図16]本発明にかかるメタルプレートレンズのモデル3の解析結果を示す図である。

[図17]本発明にかかるメタルプレートレンズのモデル3の光軸上の電界強度分布を示す図である。

[図18]本発明にかかるメタルプレートレンズのモデル4のパラメータの寸法の一例を示す図表である。

[図19]本発明にかかるメタルプレートレンズのモデル4の解析結果を示す図である。

[図20]本発明にかかるメタルプレートレンズのモデル4の光軸上の電界強度分布を示す図である。

[図21]本発明の実施例のメタルプレートレンズの原理を説明するための図である。

### 発明を実施するための形態

[0010] 本発明の実施例のメタルプレートレンズの構成を示す斜視図を図1に示す。

図1に示す本発明の実施例のメタルプレートレンズ1は、中心軸である光軸を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-z面に平行な複数枚の面のそれぞれに、10a、10b、11a、11b、12a、12b、13a、13b、14a、14b、15a、15bの12枚の金属製の平板が所定間隔をもって平行に重なるように配置されて構成されている。最上部に配置された最上部平板10aと、最下部に配置された最下部平板10bには貫通穴が形成されていないが、中央部に配置された2枚の中央部平板15a、15bと、最上部平板10aと中央部平板15aの間に配置された4枚の中間部平板11a、12a、13a、14a、および、最下部平板10bと中央部平板15bとの間に配置された4枚の中間部平板11b、12b、13b、14bには、それぞれ所定の径の貫通穴が形成されている。

[0011] 本発明にかかるメタルプレートレンズ1において、横幅がwとされ、光軸

( $z$  軸) 方向の長さが  $l$  (小文字のエル) とされ、高さが  $h$  とされている。メタルプレートレンズ 1 の中央には中央部平板 15 a と中央部平板 15 b とが間隔  $d_1$  で配置され、その両側には第 4 の中間部平板 14 a, 14 b が間隔  $d_2$  でそれぞれ配置されている。また、第 4 の中間部平板 14 a, 14 b の両側に第 3 の中間部平板 13 a, 13 b が間隔  $d_3$  でそれぞれ配置され、第 3 の中間部平板 13 a, 13 b の両側に第 2 の中間部平板 12 a, 12 b が間隔  $d_4$  でそれぞれ配置され、第 2 の中間部平板 12 a, 12 b の両側に第 1 の中間部平板 11 a, 11 b が間隔  $d_5$  でそれぞれ配置されている。そして、第 1 の中間部平板 11 a, 11 b の両側に最上部平板 10 a と最下部平板 10 b とが間隔  $d_6$  でそれぞれ配置されている。各平板 10 a ~ 15 b の厚さは一様であって、 $t$  とされている。

[0012] 本発明にかかるメタルプレートレンズ 1 の設計周波数を  $0.5 \text{ THz}$  とした際の寸法の一例を図 2 に示す。なお、設計周波数の波長を  $\lambda$  として表している

図 2 に示すように、本発明にかかるメタルプレートレンズ 1 の光軸 ( $z$  軸) 方向の各平板 10 a ~ 15 b の長さ  $l$  は約  $2.1 \text{ mm}$  (約  $3.5 \lambda$ )、 $x$  軸方向の各平板 10 a ~ 15 b の横幅  $w$  は約  $4.2 \text{ mm}$  (約  $7.0 \lambda$ )、メタルプレートレンズ 1 の  $y$  軸方向の高さ  $h$  は約  $3.77 \text{ mm}$  (約  $6.3 \lambda$ )、各平板 10 a ~ 15 b 間の間隔  $d_1 \sim d_6$  は一様の間隔  $d$  とされ約  $0.310 \text{ mm}$  (約  $0.52 \lambda$ )、各平板 10 a ~ 15 b の厚さ  $t$  は約  $0.030 \text{ mm}$  (約  $0.050 \lambda$ ) とされている。

[0013] 本発明にかかるメタルプレートレンズを構成する各平板の構成を図 3 および図 4 に示す。図 3 (a) は最上部平板 10 a および最下部平板 10 b の構成を示す平面図であり、図 3 (b) は第 1 の中間部平板 11 a, 11 b の構成を示す平面図であり、図 3 (c) は第 2 の中間部平板 12 a, 12 b の構成を示す平面図であり、図 4 (a) は第 3 の中間部平板 13 a, 13 b の構成を示す平面図であり、図 4 (b) は第 4 の中間部平板 14 a, 14 b の構成を示す平面図であり、図 4 (c) は中央部平板 15 a, 15 b の構成を示す平面図であ

る。

図3 (a) に示すように、最上部平板10aおよび最下部平板10bは、金属製とされた横長の矩形状の平板から構成されており、貫通穴は形成されていない。

図3 (b) に示すように、第1の中間部平板11a, 11bは、最上部平板10aおよび最下部平板10bの内側に隣接して配置されると共に、同形状の金属製とされた横長の矩形状の平板から構成されており、所定の径とされた半径 $r_1$ の貫通穴11が全面に所定間隔毎に形成されている。貫通穴11は縦横に形成されているが、貫通穴11が形成される間隔は $s$ とされている。

図3 (c) に示すように、第2の中間部平板12a, 12bは、第1の中間部平板11a, 11bの内側に隣接して配置されると共に、同形状の金属製とされた横長の矩形状の平板から構成されており、半径 $r_1$ の貫通穴11が両脇の領域 $g_1$ に所定間隔毎に3列形成されており、貫通穴11が形成されている2つの領域 $g_1$ で挟まれた中央部の領域 $g_2$ には半径 $r_1$ より大きい径の半径 $r_2$ とされた貫通穴12が縦横に所定間隔毎に形成されている。貫通穴11, 12が形成される間隔は $s$ とされている。

[0014] 図4 (a) に示すように、第3の中間部平板13a, 13bは、第2の中間部平板12a, 12bの内側に隣接して配置されると共に、同形状の金属製とされた横長の矩形状の平板から構成されており、半径 $r_1$ の貫通穴11が両脇の領域 $g_1$ に所定間隔毎に3列形成されており、貫通穴11が形成されている領域 $g_1$ に隣接する中央側の2つの領域 $g_3$ に、半径 $r_1$ より大きい径の半径 $r_2$ とされた貫通穴12が所定間隔毎に3列形成されている。さらに、貫通穴12が形成されている2つの領域 $g_3$ で挟まれた中央部の領域 $g_4$ には、半径 $r_2$ より大きい径の半径 $r_3$ とされた貫通穴13が所定間隔毎に縦横に形成されている。貫通穴11, 12, 13が形成される間隔は $s$ とされている。

図4 (b) に示すように、第4の中間部平板14a, 14bは、第3の中

間部平板 1 3 a, 1 3 b の内側に隣接して配置されると共に、同形状の金属製とされた横長の矩形状の平板から構成されており、半径  $r_1$  の貫通穴 1 1 が両脇の領域  $g_1$  に所定間隔毎に 3 列形成されており、貫通穴 1 1 が形成されている領域  $g_1$  に隣接する中央側の 2 つの領域  $g_3$  に、半径  $r_1$  より大きい径の半径  $r_2$  とされた貫通穴 1 2 が所定間隔毎に 3 列形成されている。さらに、貫通穴 1 2 が形成されている領域  $g_3$  に隣接する中央側の 2 つの領域  $g_5$  に、半径  $r_2$  より大きい径の半径  $r_3$  とされた貫通穴 1 3 が所定間隔毎に 2 列形成されており、貫通穴 1 3 が形成されている 2 つの領域  $g_5$  で挟まれた中央部の領域  $g_6$  には、半径  $r_3$  より大きい径の半径  $r_4$  とされた貫通穴 1 4 が所定間隔毎に 8 列形成されている。貫通穴 1 1, 1 2, 1 3, 1 4 が形成される間隔は  $s$  とされている。

図 4 (c) に示すように、2 枚の中央部平板 1 5 a, 1 5 b は、第 4 の中間部平板 1 4 a, 1 4 b の間に配置されると共に、同形状の金属製とされた横長の矩形状の平板から構成されており、半径  $r_1$  の貫通穴 1 1 が両脇の領域  $g_1$  に所定間隔毎に 3 列形成されており、貫通穴 1 1 が形成されている領域  $g_1$  に隣接する中央側の 2 つの領域  $g_3$  に、半径  $r_1$  より大きい径の半径  $r_2$  とされた貫通穴 1 2 が所定間隔毎に 3 列形成されている。さらに、貫通穴 1 2 が形成されている領域  $g_3$  に隣接する中央側の 2 つの領域  $g_5$  に、半径  $r_2$  より大きい径の半径  $r_3$  とされた貫通穴 1 3 が所定間隔毎に 2 列形成されており、貫通穴 1 3 が形成されている領域  $g_5$  に隣接する中央側の 2 つの領域  $g_7$  に、半径  $r_3$  より大きい径の半径  $r_4$  とされた貫通穴 1 4 が所定間隔毎に 2 列形成されている。そして、貫通穴 1 4 が形成されている領域  $g_7$  に挟まれた中央部の領域  $g_8$  には、半径  $r_4$  より大きい径の半径  $r_5$  とされた貫通穴 1 5 が所定間隔毎に 4 列配列されて形成されている。貫通穴 1 1, 1 2, 1 3, 1 4, 1 5 が形成される間隔は  $s$  とされている。

[0015] 次に、本発明にかかるメタルプレートレンズ 1 の基準モデルのパラメータの寸法を図 5 (a) に、各平板 1 0 a ~ 1 5 b に形成されている貫通穴 1 1 ~ 1 5 の半径  $r_1$  ~  $r_5$  の寸法を図 5 (b) に示す。図 5 (a) (b) にお

いては設計周波数  $f$  が  $0.5 \text{ THz}$  とされ、設計周波数  $f$  の自由空間の波長  $\lambda$  は  $600 \mu\text{m}$  とされている。

本発明にかかる基準モデルのメタルプレートレンズ1の光軸（ $z$  軸）方向の各平板  $10a \sim 15b$  の長さ  $l$  は約  $2.1 \text{ mm}$ （約  $3.5\lambda$ ）とされ、 $x$  軸方向の各平板  $10a \sim 15b$  の横幅  $w$  は約  $4.2 \text{ mm}$ （約  $7.0\lambda$ ）とされ、図5（a）に示すように、メタルプレートレンズ1の $y$  軸方向の高さ  $h$  は約  $3.77 \text{ mm}$ （約  $6.3\lambda$ ）とされ、各平板  $10a \sim 15b$  間の間隔  $d_1 \sim d_6$  は一様の間隔  $d$  とされ約  $0.310 \text{ mm}$ （約  $0.52\lambda$ ）とされ、各平板  $10a \sim 15b$  の厚さ  $t$  は約  $30 \mu\text{m}$ （約  $0.05\lambda$ ）とされている。また、各平板  $11a \sim 15b$  に形成されている貫通穴11の半径  $r_1$  は約  $5.0 \mu\text{m}$ （約  $0.0083\lambda$ ）とされ、各平板  $12a \sim 15b$  に形成されている貫通穴12の半径  $r_2$  は約  $40 \mu\text{m}$ （約  $0.067\lambda$ ）とされ、各平板  $13a \sim 15b$  に形成されている貫通穴13の半径  $r_3$  は約  $65 \mu\text{m}$ （約  $0.11\lambda$ ）とされ、各平板  $14a \sim 15b$  に形成されている貫通穴14の半径  $r_4$  は約  $80 \mu\text{m}$ （約  $0.13\lambda$ ）とされ、中央部平板  $15a$ 、 $15b$  に形成されている貫通穴15の半径  $r_5$  は約  $85 \mu\text{m}$ （約  $0.14\lambda$ ）とされている。また、貫通穴11～15を形成する $x$  方向と $z$  方向の間隔  $s$  を約  $0.175 \text{ mm}$ （約  $0.29\lambda$ ）としている。

[0016] 図5（a）（b）に示す寸法とされた本発明にかかるメタルプレートレンズ1の解析結果を図6に示し、光軸上の電界強度分布を図7に示す。

これらの図に示すように、本発明にかかるメタルプレートレンズ1に入射する入射波は、電界成分  $E$  が $x$  軸方向、磁界成分  $H$  が $y$  軸方向とされた $z$  軸方向に伝播するTEモードの入射波とされ、その周波数は  $0.5 \text{ THz}$  とされている。この場合、平板  $10a \sim 15b$  における隣接する2枚の平板によりウェーブガイドが形成され、各平板間の間隔  $d$  は約  $0.310 \text{ mm}$ （約  $0.52\lambda$ ）とされていることから、ウェーブガイドの遮断周波数は  $0.5 \text{ THz}$  より低い約  $0.48 \text{ THz}$  となって、 $0.5 \text{ THz}$  の入射波は伝搬可能とされている。図6、図7を参照すると、基準モデルのメタルプレートレン

ズ1では、電界強度の極大値がメタルプレートレンズ1の後端から、約0.55mm(約0.92 $\lambda$ )の位置になり、集光位置での電界強度は入射波の約3.7倍となっている。

[0017] このように、基準モデルのメタルプレートレンズ1では、中央の光軸(z軸)上でメタルプレートレンズ1の後端から約0.55mm(0.92 $\lambda$ )の位置が3次的に集光する焦点となっていることが分かる。

また、この焦点位置でのx方向の電界強度分布を図8(a)に、この焦点位置でのy方向の電界強度分布を図8(b)に示す。これらの図を参照すると、上記焦点位置において3次的に入射波が集光していることを理解することができる。このように、基準モデルのメタルプレートレンズ1はレンズとして作用していることが分かる。

[0018] ここで、本発明にかかるメタルプレートレンズ1において入射波が集束される原理を図21を参照して説明する。所定の径の貫通穴21が形成された金属製とされた2枚の矩形状の平板20a, 20bを対向するよう配置した構成が図21(a)に示されており、貫通穴の形成されていない金属製とされた2枚の矩形状の平板30a, 30bを対向するよう配置した構成が図21(b)に示されている。

図21(b)に示す2枚の矩形状の平板30a, 30bによりウェーブガイドが形成されており、このウェーブガイドに電界成分Eがx軸方向、磁界成分Hがy軸方向とされたz軸方向に伝播する波長 $\lambda_0$ の入射波が入射されると、平板30a, 30bからなるウェーブガイドを伝搬する入射波の波長は波長 $\lambda_g$ となる。この場合、 $\lambda_0 < \lambda_g$ となりウェーブガイド内においては波長が長くなる。また、図21(a)に示す所定の径の貫通穴21が縦横に配列されて形成された2枚の矩形状の平板20a, 20bによりウェーブガイドが形成されており、このウェーブガイドに電界成分Eがx軸方向、磁界成分Hがy軸方向とされたz軸方向に伝播する波長 $\lambda_0$ の入射波が入射されると、平板20a, 20bからなるウェーブガイドを伝搬する入射波の波長は波長 $\lambda_a$ となる。この場合、貫通穴21が設けられていることから $\lambda_0$

$\lambda_a$  となりウェーブガイド内においては波長が長くなる。しかし、貫通穴 21 が形成されていることから波長が長くなる割合が少なくなり、 $\lambda_a < \lambda_g$  となって、 $\lambda_o < \lambda_a < \lambda_g$  となる。

[0019] 本発明にかかるメタルプレートレンズ 1 において、2 枚の中央部平板 15 a, 15 b には、中央部に最大径の半径  $r_5$  の貫通穴 15 が形成されており、その両側に 2 番目に径が大きい半径  $r_4$  の貫通穴 14 が形成され、その両側に 3 番目に径が大きい半径  $r_3$  の貫通穴 13 が形成され、その両側に 4 番目に径が大きい半径  $r_2$  の貫通穴 12 が形成され、その両側に一番径が小さい半径  $r_1$  の貫通穴 11 が形成されている。また、中央部平板 15 a, 15 b の上下に隣接する第 4 の中間部平板 14 a, 14 b には、中央部に 2 番目に径が大きい半径  $r_4$  の貫通穴 14 が形成され、その両側に 3 番目に径が大きい半径  $r_3$  の貫通穴 13 が形成され、その両側に 4 番目に径が大きい半径  $r_2$  の貫通穴 12 が形成され、その両側に一番径が小さい半径  $r_1$  の貫通穴 11 が形成されている。さらに、第 4 の中間部平板 14 a, 14 b の上下に隣接する第 3 の中間部平板 13 a, 13 b には、中央部に 3 番目に径が大きい半径  $r_3$  の貫通穴 13 が形成され、その両側に 4 番目に径が大きい半径  $r_2$  の貫通穴 12 が形成され、その両側に一番径が小さい半径  $r_1$  の貫通穴 11 が形成されている。さらに、第 3 の中間部平板 13 a, 13 b の上下に隣接する第 2 の中間部平板 12 a, 12 b には、中央部の大きい領域に 3 番目に径が大きい半径  $r_3$  の貫通穴 13 が形成され、その両側に 4 番目に径が大きい半径  $r_2$  の貫通穴 12 が形成され、その両側に一番径が小さい半径  $r_1$  の貫通穴 11 が形成されている。さらにまた、第 2 の中間部平板 12 a, 12 b の上下に隣接する第 1 の中間部平板 11 a, 11 b には、中央部の広い領域に 4 番目に径が大きい半径  $r_2$  の貫通穴 12 が形成され、その両側に一番径が小さい半径  $r_1$  の貫通穴 11 が形成されている。さらにまた、第 1 の中間部平板 11 a, 11 b の上下に隣接する最上部平板 10 a と最下部平板 10 b には、貫通穴は形成されていない。

[0020] そして、隣接する各平板によりそれぞれウェーブガイドが形成されること

から、本発明にかかるメタルプレートレンズ1においては、中央部平板15a, 15bの中央部には大きな径の貫通穴が形成されていることから、中央部を伝搬している入射波の波長は自由空間波長に近い波長となり、中央部から上下左右方向に遠ざかるにつれて平板に形成されている貫通穴の径が次第に小さくなっていくことから、中央部から上下左右方向に遠ざかるにつれて伝搬する入射波の波長は次第に自由空間波長より長くなっていくようになる。これにより、入射波が集束されてレンズとして作用するようになる。

[0021] 次に、基準モデルのメタルプレートレンズ1において、貫通穴11～13の半径 $r_1 \sim r_3$ の寸法を変更したモデル1のメタルプレートレンズ1について説明する。本発明にかかるメタルプレートレンズ1のモデル1のパラメータの寸法を図9(a)に、各平板10a～15bに形成されている貫通穴11～15の半径 $r_1 \sim r_5$ の寸法を図9(b)に示す。図9(a)(b)においては設計周波数 $f$ が0.5THzとされ、設計周波数 $f$ の自由空間の波長 $\lambda$ は600 $\mu\text{m}$ とされている。

本発明にかかるモデル1のメタルプレートレンズ1の光軸(z軸)方向の各平板10a～15bの長さ $l$ は約2.1mm(約3.5 $\lambda$ )とされ、x軸方向の各平板10a～15bの横幅 $w$ は約4.2mm(約7.0 $\lambda$ )とされ、図9(a)に示すように、メタルプレートレンズ1のy軸方向の高さ $h$ は約3.77mm(約6.3 $\lambda$ )とされ、各平板10a～15b間の間隔 $d_1 \sim d_6$ は一様の間隔 $d$ とされ約0.310mm(約0.52 $\lambda$ )とされ、各平板10a～15bの厚さ $t$ は約30 $\mu\text{m}$ (約0.05 $\lambda$ )とされている。また、各平板11a～15bに形成されている貫通穴11の半径 $r_1$ は約15 $\mu\text{m}$ (約0.025 $\lambda$ )とされ、各平板12a～15bに形成されている貫通穴12の半径 $r_2$ は約50 $\mu\text{m}$ (約0.083 $\lambda$ )とされ、各平板13a～15bに形成されている貫通穴13の半径 $r_3$ は約70 $\mu\text{m}$ (約0.12 $\lambda$ )とされ、各平板14a～15bに形成されている貫通穴14の半径 $r_4$ は約80 $\mu\text{m}$ (約0.13 $\lambda$ )とされ、中央部平板15a, 15bに形成されている貫通穴15の半径 $r_5$ は約85 $\mu\text{m}$ (約0.14 $\lambda$ )とされてい

る。また、貫通穴 11～15 を形成する x 方向と z 方向の間隔  $s$  を約 0.175 mm (約 0.29  $\lambda$ ) としている。

[0022] 図 9 (a) (b) に示す寸法とされた本発明にかかるモデル 1 のメタルプレートレンズ 1 の解析結果を図 10 に示し、その光軸上の電界強度分布を図 11 (a) に示す。

これらの図に示すように、本発明にかかるモデル 1 のメタルプレートレンズ 1 に入射する入射波は、電界成分  $E$  が x 軸方向、磁界成分  $H$  が y 軸方向とされた z 軸方向に伝播する TE モードの入射波とされ、その周波数は 0.5 THz とされている。この場合、平板 10a～15b における隣接する 2 枚の平板によりウェーブガイドが形成され、各平板間の間隔  $d$  は約 0.310 mm (約 0.52  $\lambda$ ) とされていることから、ウェーブガイドの遮断周波数は 0.5 THz より低い約 0.48 THz となって、0.5 THz の入射波は伝搬可能とされている。図 10、図 11 (a) を参照すると、モデル 1 のメタルプレートレンズ 1 では、電界強度の極大値がメタルプレートレンズ 1 の後端から、約 0.86 mm (約 1.4  $\lambda$ ) の位置になり、集光位置での電界強度は入射波の約 4.0 倍となっている。

[0023] このように、モデル 1 のメタルプレートレンズ 1 では、貫通穴 11～13 の半径  $r_1 \sim r_3$  を図 9 (b) に示すように変更したことにより、中央の光軸 (z 軸) 上でメタルプレートレンズ 1 の後端から約 0.31 mm 遠くなって約 0.86 mm (約 1.4  $\lambda$ ) の位置が 3 次元的に集光する焦点となって、入射波に対する電界強度は 4.0 倍に向上していることが分かる。

また、この焦点位置での x 方向の電界強度分布を図 11 (b) に、この焦点位置での y 方向の電界強度分布を図 11 (c) に示す。これらの図を参照すると、上記焦点位置において 3 次元的に入射波が集光していることを理解することができる。このように、モデル 1 のメタルプレートレンズ 1 はレンズとして作用していることが分かる。

[0024] 次に、基準モデルのメタルプレートレンズ 1 において、中央部平板 15a, 15b を省略して第 1 の中間部平板 11a、11b ないし第 4 の中間部平

板 14 a, 14 b と最上部平板 10 a、最下部平板 10 b との 10 枚の平板でメタルプレートレンズ 1 を構成すると共に、貫通穴 11 ~ 14 の半径  $r_1$  ~  $r_4$  の寸法を変更したモデル 2 のメタルプレートレンズ 1 について説明する。本発明にかかるメタルプレートレンズ 1 のモデル 2 のパラメータの寸法を図 12 (a) に、各平板 10 a ~ 14 b に形成されている貫通穴 11 ~ 14 の半径  $r_1$  ~  $r_4$  の寸法を図 12 (b) に示す。図 12 (a) (b) においては設計周波数  $f$  が 0.5 THz とされ、設計周波数  $f$  の自由空間の波長  $\lambda$  は  $600 \mu\text{m}$  とされている。

本発明にかかるモデル 2 のメタルプレートレンズ 1 の光軸 ( $z$  軸) 方向の各平板 10 a ~ 14 b の長さ  $l$  は約 2.1 mm (約  $3.5 \lambda$ ) とされ、 $x$  軸方向の各平板 10 a ~ 14 b の横幅  $w$  は約 4.2 mm (約  $7.0 \lambda$ ) とされ、図 12 (a) に示すように、メタルプレートレンズ 1 の  $y$  軸方向の高さ  $h$  は約 3.09 mm (約  $5.15 \lambda$ ) とされ、各平板 10 a ~ 14 b 間の間隔  $d_2 \sim d_6$  は一様の間隔  $d$  とされ約 0.310 mm (約  $0.52 \lambda$ ) とされ、各平板 10 a ~ 14 b の厚さ  $t$  は約  $30 \mu\text{m}$  (約  $0.05 \lambda$ ) とされている。また、各平板 11 a ~ 14 b に形成されている貫通穴 11 の半径  $r_1$  は約  $25 \mu\text{m}$  (約  $0.042 \lambda$ ) とされ、各平板 12 a ~ 14 b に形成されている貫通穴 12 の半径  $r_2$  は約  $55 \mu\text{m}$  (約  $0.092 \lambda$ ) とされ、各平板 13 a ~ 14 b に形成されている貫通穴 13 の半径  $r_3$  は約  $75 \mu\text{m}$  (約  $0.13 \lambda$ ) とされ、第 4 の中間部平板 14 a, 14 b に形成されている貫通穴 14 の半径  $r_4$  は約  $85 \mu\text{m}$  (約  $0.14 \lambda$ ) とされている。また、貫通穴 11 ~ 14 を形成する  $x$  方向と  $z$  方向の間隔  $s$  を約 0.175 mm (約  $0.29 \lambda$ ) としている。

[0025] 図 12 (a) (b) に示す寸法とされた本発明にかかるモデル 2 のメタルプレートレンズ 1 の解析結果を図 13 に示し、光軸上の電界強度分布を図 14 (a) に示す。

これらの図に示すように、本発明にかかるモデル 2 のメタルプレートレンズ 1 に入射する入射波は、電界成分  $E$  が  $x$  軸方向、磁界成分  $H$  が  $y$  軸方向と

された $z$ 軸方向に伝播するTEモードの入射波とされ、その周波数は $0.5\text{ THz}$ とされている。この場合、平板 $10a\sim 14b$ における隣接する2枚の平板によりウェーブガイドが形成され、各平板間の間隔 $d$ は約 $0.310\text{ mm}$  (約 $0.52\lambda$ )とされていることから、ウェーブガイドの遮断周波数は $0.5\text{ THz}$ より低い約 $0.48\text{ THz}$ となっており、 $0.5\text{ THz}$ の入射波は伝搬可能とされている。図13、図14(a)を参照すると、モデル2のメタルプレートレンズ1では、電界強度の極大値がメタルプレートレンズ1の後端から、約 $0.19\text{ mm}$  (約 $0.32\lambda$ )の位置になり、集光位置での電界強度は入射波の約4.4倍となっている。

[0026] このように、モデル2のメタルプレートレンズ1では、中央部平板 $15a$ 、 $15b$ を省略して平板の数を10枚とすると共に、貫通穴 $11\sim 14$ の半径 $r_1\sim r_4$ の寸法を変更したことにより、中央の光軸( $z$ 軸)上でメタルプレートレンズ1の後端から約 $0.36\text{ mm}$  (約 $0.60\lambda$ )近くなって約 $0.19\text{ mm}$  (約 $0.32\lambda$ )の位置が3次的に集光する焦点となっており、入射波に対する電界強度は4.4倍に向上していることが分かる。

また、この焦点位置での $x$ 方向の電界強度分布を図14(b)に、この焦点位置での $y$ 方向の電界強度分布を図14(c)に示す。これらの図を参照すると、上記焦点位置において3次的に入射波が集光していることを理解することができる。このように、モデル2のメタルプレートレンズ1はレンズとして作用していることが分かる。

[0027] 上記した本発明にかかる基準モデル、モデル1、モデル2のメタルプレートレンズ1では、どのモデルも3次的に集光していることが分かる。従って、図1に示すメタルプレートレンズ1の構造を用いることによりレンズとして集光効果を得ることが可能である。また、図7、図11(a)、図14(a)に示す光軸上の電界強度分布を対比すると、モデル1では基準モデルに比べて焦点距離が遠くなっていることから、屈折率は1に近づいていることが分かる。モデル2に関しては、約 $0.19\text{ mm}$  (約 $0.32\lambda$ )の位置で焦点を結んでいるので、屈折率が0に近いと考えられる。この結果より、

本発明にかかるメタルプレートレンズ1では、平板11a～15bに形成されている貫通穴11～15の半径 $r_1 \sim r_5$ を変更することによりメタルプレートレンズ1の屈折率を制御することが可能であることが分かる。

[0028] 次に、基準モデルのメタルプレートレンズ1において、平板10a～15bにおける間隔 $d$ の寸法を変更したモデル3のメタルプレートレンズ1について説明する。本発明にかかるメタルプレートレンズ1のモデル3のパラメータの寸法を図15に示す。図15においては設計周波数 $f$ が0.5THzとされ、設計周波数 $f$ の自由空間の波長 $\lambda$ は600 $\mu\text{m}$ とされている。なお、各平板10a～15bに形成されている貫通穴11～15の半径 $r_1 \sim r_5$ の寸法は基準モデルのメタルプレートレンズ1と同様とされている。

本発明にかかるモデル3のメタルプレートレンズ1の光軸（ $z$ 軸）方向の各平板10a～15bの長さ $l$ は約2.1mm（約3.5 $\lambda$ ）とされ、 $x$ 軸方向の各平板10a～15bの横幅 $w$ は約4.2mm（約7.0 $\lambda$ ）とされ、図15に示すように、メタルプレートレンズ1の $y$ 軸方向の高さ $h$ は約4.21mm（約7.02 $\lambda$ ）とされ、各平板10a～15b間の間隔 $d_1 \sim d_6$ は一樣の間隔 $d$ とされ約0.350mm（約0.58 $\lambda$ ）とされ、各平板10a～15bの厚さ $t$ は約30 $\mu\text{m}$ （約0.05 $\lambda$ ）とされている。また、貫通穴11～15を形成する $x$ 方向と $z$ 方向の間隔 $s$ を約0.175mm（約0.29 $\lambda$ ）としている。

[0029] 図15に示す寸法とされた本発明にかかるモデル3のメタルプレートレンズ1の解析結果を図16に示し、その光軸上の電界強度分布を図17に示す。

これらの図に示すように、本発明にかかるモデル3のメタルプレートレンズ1に入射する入射波は、電界成分 $E$ が $x$ 軸方向、磁界成分 $H$ が $y$ 軸方向とされた $z$ 軸方向に伝播するTEモードの入射波とされ、その周波数は0.5THzとされている。この場合、平板10a～15bにおける隣接する2枚の平板によりウェーブガイドが形成され、各平板間の間隔 $d$ は約0.310mm（約0.52 $\lambda$ ）とされていることから、ウェーブガイドの遮断周波数

は $0.5\text{ THz}$ より低い約 $0.48\text{ THz}$ となって、 $0.5\text{ THz}$ の入射波は伝搬可能とされている。図16、図17を参照すると、モデル3のメタルプレートレンズ1では、電界強度の極大値がメタルプレートレンズ1の後端から、約 $1.54\text{ mm}$ （約 $2.6\lambda$ ）の位置になり、集光位置での電界強度は入射波の約3.7倍となっている。

[0030] モデル3のメタルプレートレンズ1では、基準モデルのメタルプレートレンズ1と比べて集光位置は約 $0.99\text{ mm}$ （約 $1.7\lambda$ ）だけ遠くなるが、電界強度はほぼ同じである。従って、平板10a～15bにおける間隔 $d$ の寸法を大きくすると、焦点距離が遠ざかるようになることから、屈折率が1に近づいていると考えられ、平板10a～15bにおける間隔 $d$ を変更することによっても屈折率を変化させることができる。

なお、図7と図17に示す光軸上の電界強度分布を対比すると、電界強度は同程度になるが、モデル3では焦点距離が遠くなっていることが確認できる。これは、貫通穴が形成されていない平板では、平板間の間隔が大きいほど屈折率が1に近づくので、その特性がモデル3のメタルプレートレンズ1にも影響していると考えられる。このように、本発明にかかるメタルプレートレンズ1は、各平板10a～15bの間隔 $d$ の変更によっても屈折率の制御が可能となる。

[0031] 次に、基準モデルのメタルプレートレンズ1において、平板10a～15bにおける間隔 $d_1\sim d_6$ の寸法を変更したモデル4のメタルプレートレンズ1について説明する。本発明にかかるメタルプレートレンズ1のモデル4のパラメータの寸法を図18に示す。図18においては設計周波数 $f$ が $0.5\text{ THz}$ とされ、設計周波数 $f$ の自由空間の波長 $\lambda$ は $600\mu\text{m}$ とされている。なお、各平板10a～15bに形成されている貫通穴11～15の半径 $r_1\sim r_5$ の寸法は基準モデルのメタルプレートレンズ1と同様とされている。

本発明にかかるモデル4のメタルプレートレンズ1の光軸（ $z$ 軸）方向の各平板10a～15bの長さ $l$ は約 $2.1\text{ mm}$ （約 $3.5\lambda$ ）とされ、 $x$ 軸

方向の各平板 10a～15b の横幅  $w$  は約 4.2 mm (約 7.0  $\lambda$ ) とされている。そして、図 18 に示すように、メタルプレートレンズ 1 の  $y$  軸方向の高さ  $h$  は約 4.02 mm (約 6.7  $\lambda$ ) とされ、中央部平板 15a と中央部平板 15b との間隔  $d_1$  が約 0.36 mm (約 0.60  $\lambda$ ) とされ、中央部平板 15a, 15b と第 4 の中間部平板 14a, 14b との間隔  $d_2$  が約 0.35 mm (約 0.58  $\lambda$ ) とされ、第 4 の中間部平板 14a, 14b と第 3 の中間部平板 13a, 13b との間隔  $d_3$  が約 0.34 mm (約 0.57  $\lambda$ ) とされ、第 3 の中間部平板 13a, 13b と第 2 の中間部平板 12a, 12b との間隔  $d_4$  が約 0.33 mm (約 0.55  $\lambda$ ) とされ、第 2 の中間部平板 12a, 12b と第 1 の中間部平板 11a, 11b との間隔  $d_5$  が約 0.32 mm (約 0.53  $\lambda$ ) とされ、第 1 の中間部平板 11a, 11b と最上部平板 10a あるいは最下部平板 10b との間隔  $d_6$  が約 0.31 mm (約 0.52  $\lambda$ ) とされている。各平板 10a～15b の厚さ  $t$  は約 30  $\mu$ m (約 0.05  $\lambda$ ) とされている。また、貫通穴 11～15 を形成する  $x$  方向と  $z$  方向の間隔  $s$  を約 0.175 mm (約 0.29  $\lambda$ ) としている。

[0032] 図 18 に示す寸法とされた本発明にかかるモデル 4 のメタルプレートレンズ 1 の解析結果を図 19 に示し、その光軸上の電界強度分布を図 20 に示す。

これらの図に示すように、本発明にかかるモデル 4 のメタルプレートレンズ 1 に入射する入射波は、電界成分  $E$  が  $x$  軸方向、磁界成分  $H$  が  $y$  軸方向とされた  $z$  軸方向に伝播する TE モードの入射波とされ、その周波数は 0.5 THz とされている。この場合、平板 10a～15b における隣接する 2 枚の平板によりウェーブガイドが形成され、各平板間の間隔  $d$  は約 0.310 mm (約 0.52  $\lambda$ ) 以上とされていることから、ウェーブガイドの遮断周波数は 0.5 THz より低い約 0.48 THz 以下となっており、0.5 THz の入射波は伝搬可能とされている。図 19, 図 20 を参照すると、モデル 4 のメタルプレートレンズ 1 では、電界強度の極大値がメタルプレートレンズ 1 の後端から、約 1.02 mm (約 1.7  $\lambda$ ) の位置になり、集光位置での

電界強度は入射波の約 6.2 倍となっている。

[0033] 本発明にかかるモデル 4 のメタルプレートレンズ 1 では、中央部の平板間の間隔を大きくし、上下にいくほど間隔を小さくしている。このように、各平板 10a ~ 15b の間隔を各層で変更させることにより、メタルプレートレンズ 1 の中央部と最上部あるいは最下部を通過する電磁波の間で位相差が大きくなるため、焦点位置で基準モデルより高い電界強度を得ることができるようになる。

なお、図 6、図 10、図 13、図 16、図 19 に示すメタルプレートレンズ 1 の解析は、凹レンズと同様に ANSYS 社の HFSS を用いて行った。また、解析方法は凹レンズ同様、イメージの原理を利用することにより解析容量が少ない 1/4 モデルで解析を行っている。

### 産業上の利用可能性

[0034] 以上説明した本発明にかかるメタルプレートレンズは、負の屈折率を実現する構造を採用することなくテラヘルツ波などの波長が短い領域に適用することができるが、テラヘルツ波への適用に限られるものではなく、他の周波数帯のレンズにも適用することができる。適用する際には、上記した  $\lambda$  (波長) で表した電気長の寸法に合うように、各部の物理的寸法を適用する周波数帯の中心波長に合わせて変更すればよい。

以上説明した本発明にかかるメタルプレートレンズを作成する際には、各平板の間に必要な間隔の厚みを有するなるべく 1 に近い低比誘電率の誘電体を挟んだり、誘電体の表面に金属層を形成することで各平板を誘電体による支持基板で支持するようにして、各平板の間隔を所定間隔に保持することが現実的とされる。この場合、誘電体の比誘電率に応じて波長短縮されることから、波長短縮率を考慮して、上記した  $\lambda$  (波長) で表した電気長の寸法に合うように、各部の物理的寸法を変更するのが好適である。

以上の説明では、本発明にかかるメタルプレートレンズを構成している各平板に形成されている貫通穴の径は中央部から上下左右に向かって次第に小さい径になるようにしたが、貫通穴の径を中央部から上下に向かって次第に

小さい径になるようにし、貫通穴の径を中央部から左右に向かっては同径とするようにしてもよい。また、貫通穴の形状を円形としたが、これに限ることはなく貫通穴の形状を三角形、四角形や多角形あるいは楕円形として、その大きさをメタルプレートレンズの中央部は大きく周辺に行くほど小さくすればよい。そして、貫通穴の形状を三角形、四角形や多角形にする場合は、ドリル等で加工して貫通穴を作成することから貫通穴の角部は丸みを帯びるようになる。

なお、本発明のメタルプレートレンズにおける基準モデルないしモデル4の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。また、本発明のメタルプレートレンズの正面から見た形状は矩形状としたが、これに限ることはなく円形や多角形とすることができる。

また、メタルプレートレンズ1の入力側に分割リング共振器を装加することによりインピーダンス整合をとることができる。分割リング共振器は、カット部が形成された円形リング状の第1分割リングと、第1分割リングより外径が小さくその内部にほぼ同心かつ同じ面内で配置され、反対側にカット部が形成されている円形リング状の第2分割リングとから構成されている。この分割リング共振器において、第1分割リングおよび第2分割リングの径や幅の寸法を調節することにより、透磁率を制御することでインピーダンス整合をとることができる。

## 符号の説明

- [0035] 1 メタルプレートレンズ、10a 最上部平板、10b 最下部平板、11 貫通穴、11a, 11b 第1の中間部平板、12 貫通穴、12a, 12b 第2の中間部平板、13 貫通穴、13a, 13b 第3の中間部平板、14 貫通穴、14a, 14b 第4の中間部平板、15 貫通穴、15a, 15b 中央部平板、20a, 20b, 30a, 30b 平板、21 貫通穴

## 請求の範囲

[請求項1]           中心軸である光軸を $z$ 軸とし、 $z$ 軸に直交する軸を $x$ 軸および $y$ 軸とした際に、 $x-z$ 面に平行であって $y$ 軸に沿って所定間隔とされた複数枚の面のそれぞれに、金属製の平板が相互に重なるように配置されているメタルプレートレンズであって、

重なるように配置されている前記平板の内の最も上に配置されている最上部平板と最も下に配置されている最下部平板とを除く複数の前記平板には所定の大きさの複数の貫通穴が形成されており、前記平板の内の中央部に配置されている中央部平板には第1の大きさの前記貫通穴が形成されており、前記中央部平板と前記最上部平板との間、および、前記中央部平板と前記最下部平板との間に配置されている中間部平板には、前記第1の大きさより小さい第2の大きさの前記貫通穴が形成されており、前記中央部平板と前記最上部平板との間、および、前記中央部平板と前記最下部平板との間に複数の前記中間部平板が配置されている場合は、前記中央部平板に近い配置位置の前記中間部平板に形成されている前記貫通穴の前記第2の大きさより、前記中央部平板に遠い配置位置の前記中間部平板に形成されている前記貫通穴の前記第2の大きさが小さくされていることを特徴とするメタルプレートレンズ。

[請求項2]           前記中央部平板においては、前記中央部平板の中央の中央領域に前記第1の大きさの前記貫通穴が複数列形成されており、該中央領域より両側部に向かって複数の側部領域が形成されており、両側部に近くなる前記側部領域ほど前記第1の大きさより小さくされた第3の大きさの前記貫通穴が複数列形成されていることを特徴とする請求項1記載のメタルプレートレンズ。

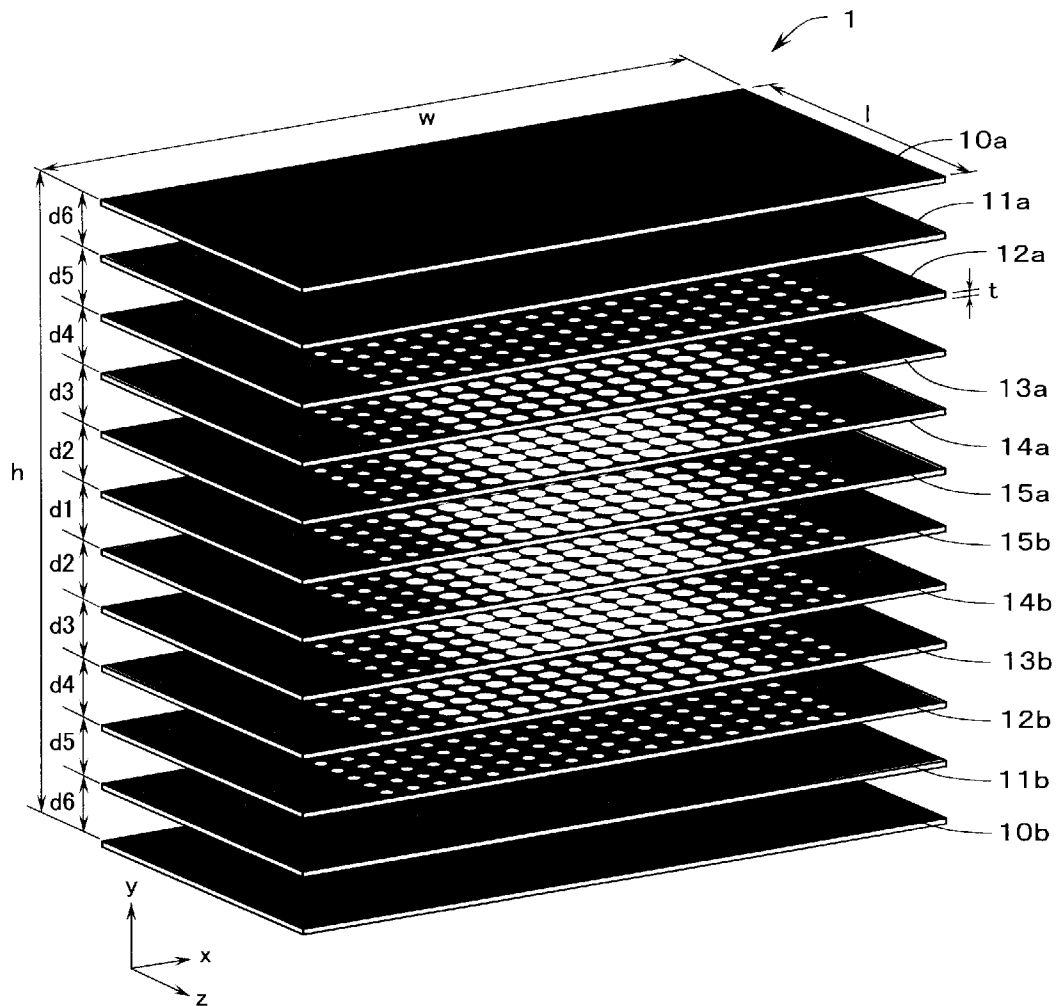
[請求項3]           前記中央部平板に近く配置された前記中間部平板においては、前記中間部平板の中央の中央領域に前記第2の大きさの前記貫通穴が縦横に配列されて形成されており、該中央領域より両側部に向かって複数

の側部領域が形成されており、両側部に近くなる前記側部領域ほど前記第2の大きさより小さくされた第4の大きさの前記貫通穴が複数列形成されていることを特徴とする請求項1または2記載のメタルプレートレンズ。

[請求項4] 前記貫通穴の寸法を調整することにより、屈折率を制御するようにしたことを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載のメタルプレートレンズ。

[請求項5] 重なるように配置されている複数の前記平板の間の間隔を調整することにより、屈折率を制御するようにしたことを特徴とする請求項1ないし3のいずれかに記載のメタルプレートレンズ。

[図1]

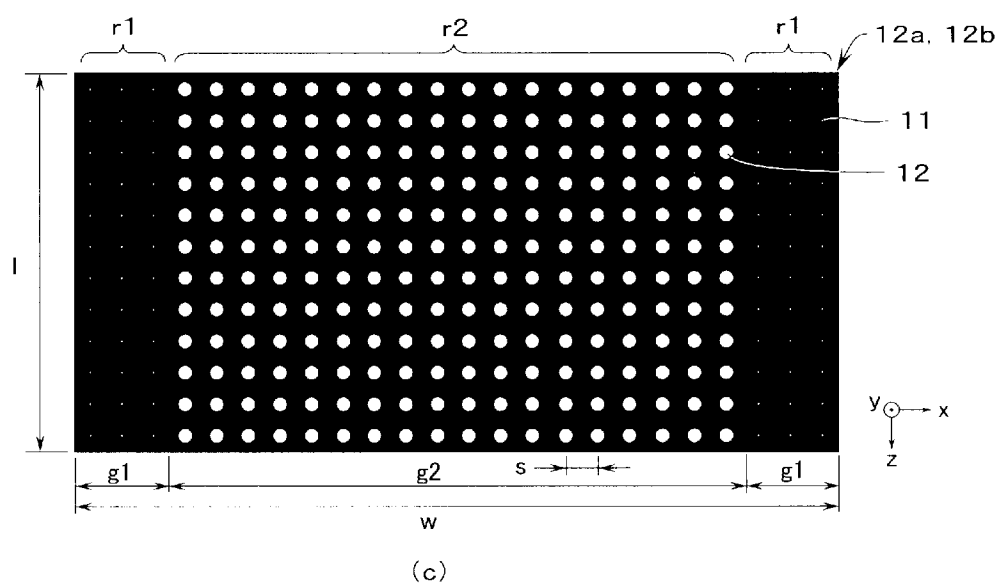
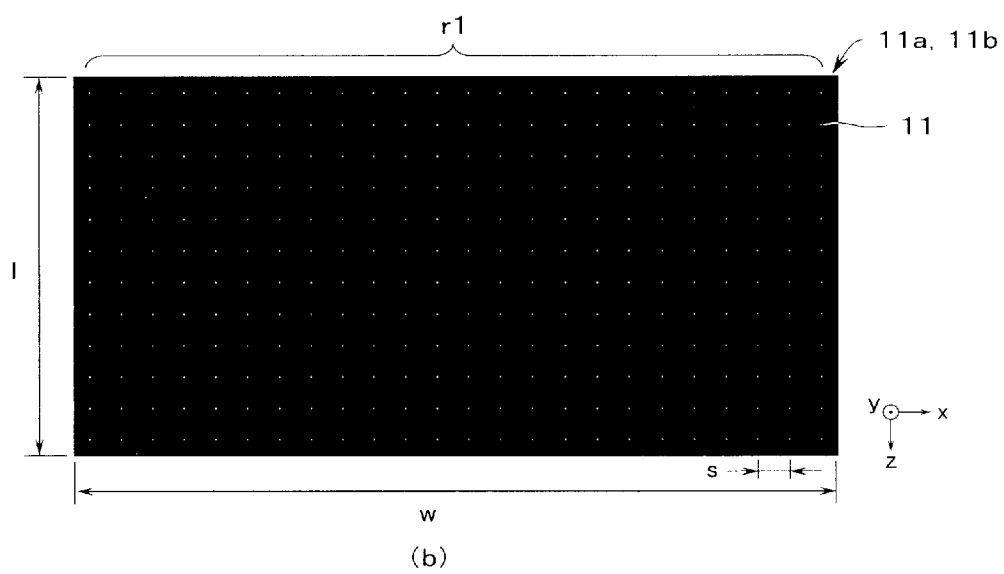
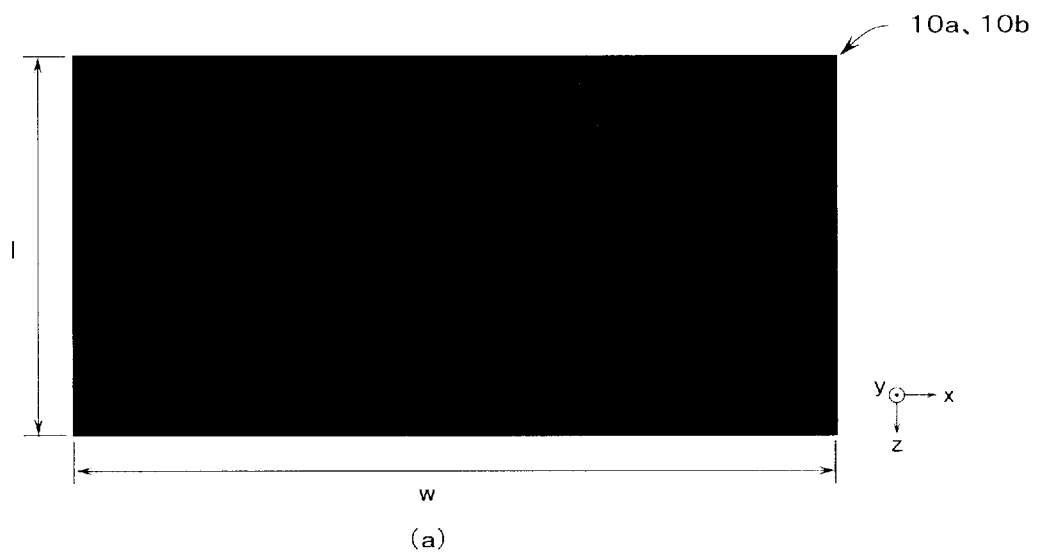


[図2]

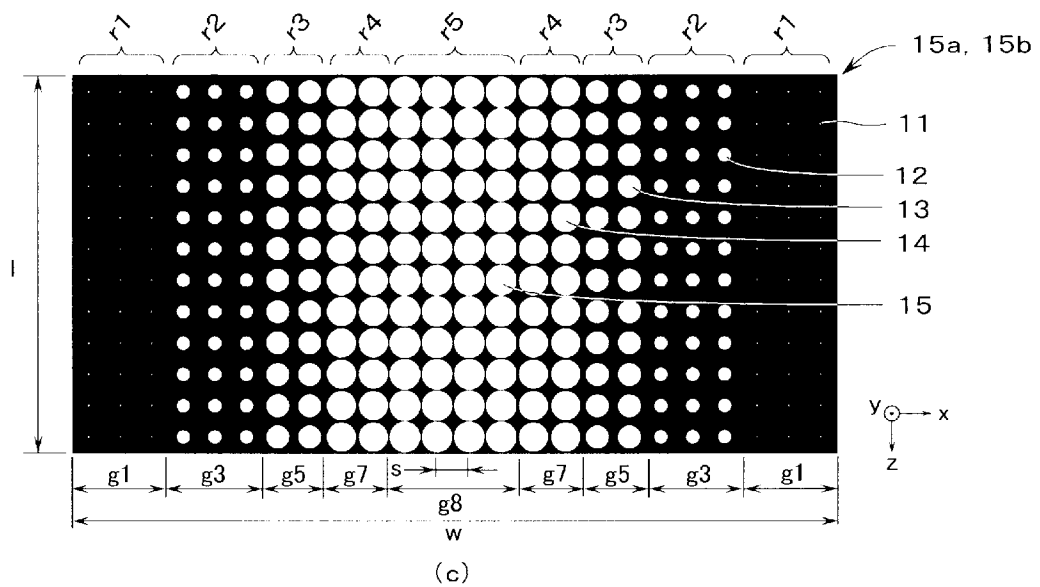
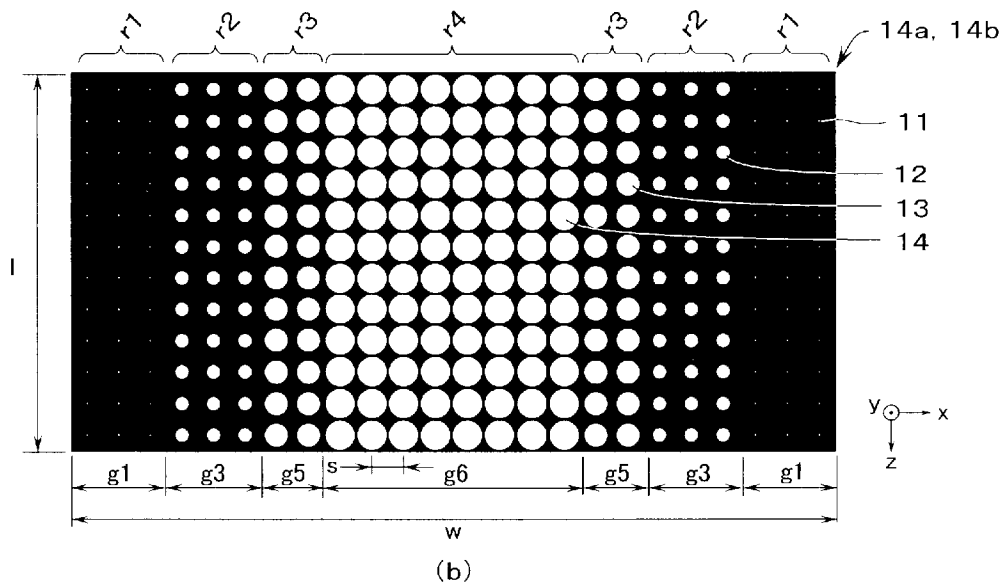
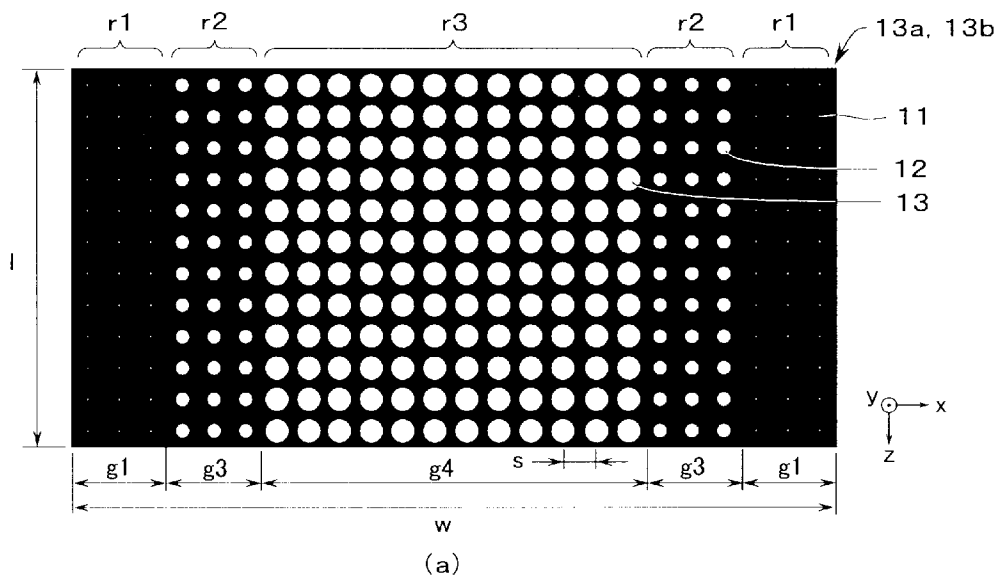
寸法パラメータ(設計周波数:0.5THz)

|          |                           |     |                              |
|----------|---------------------------|-----|------------------------------|
| $l$      | 2.1 mm ( $3.5 \lambda$ )  | $d$ | 0.310 mm ( $0.52 \lambda$ )  |
| $w$      | 4.2 mm ( $7.0 \lambda$ )  | $t$ | 0.030 mm ( $0.050 \lambda$ ) |
| $h$      | 3.77 mm ( $6.3 \lambda$ ) |     |                              |
| 12Plates |                           |     |                              |

[図3]



[図4]



[図5]

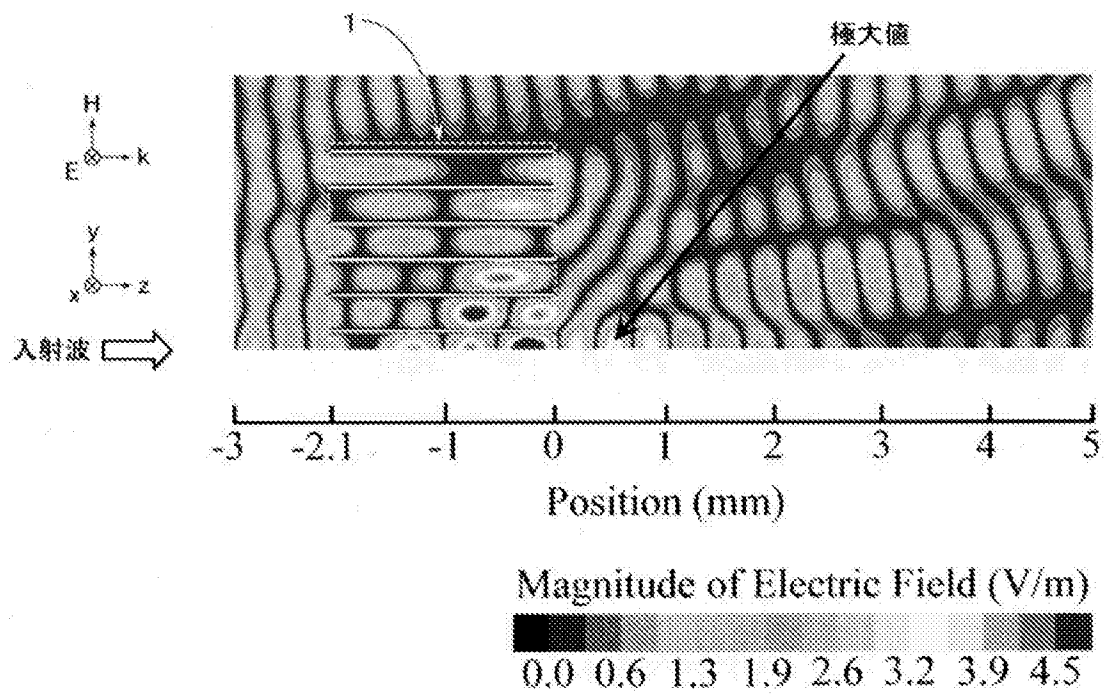
|           |                            |
|-----------|----------------------------|
| $d$       | 0.310 mm ( $0.52\lambda$ ) |
| $h$       | 3.77 mm ( $6.3\lambda$ )   |
| 12 Plates |                            |

(a) 基準モデルのパラメータ

|       |                                       |
|-------|---------------------------------------|
| $r_1$ | 5.0 $\mu\text{m}$ ( $0.0083\lambda$ ) |
| $r_2$ | 40 $\mu\text{m}$ ( $0.067\lambda$ )   |
| $r_3$ | 65 $\mu\text{m}$ ( $0.11\lambda$ )    |
| $r_4$ | 80 $\mu\text{m}$ ( $0.13\lambda$ )    |
| $r_5$ | 85 $\mu\text{m}$ ( $0.14\lambda$ )    |

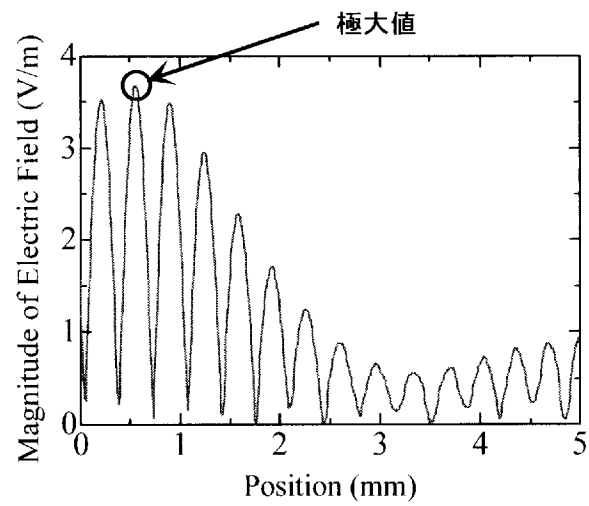
(b) 基準モデルの各穴の半径

[図6]



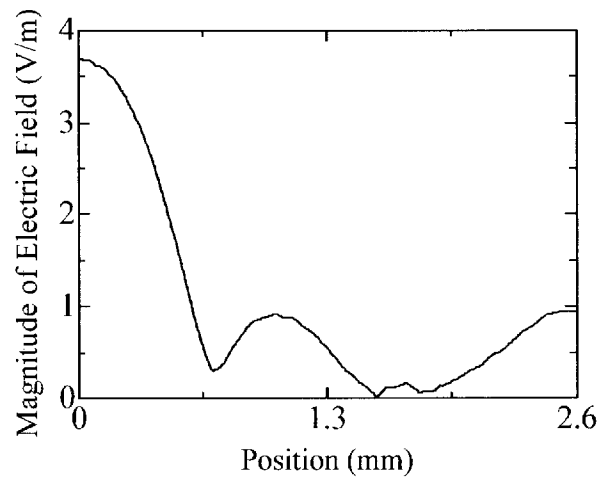
基準モデルの解析結果

[図7]

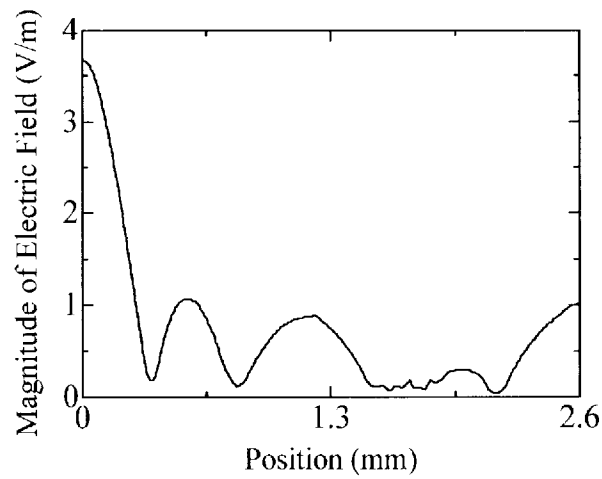


光軸上の電界強度分布

[図8]



(a) 焦点位置でのx方向の電界強度分布



(b) 焦点位置でのy方向の電界強度分布

[図9]

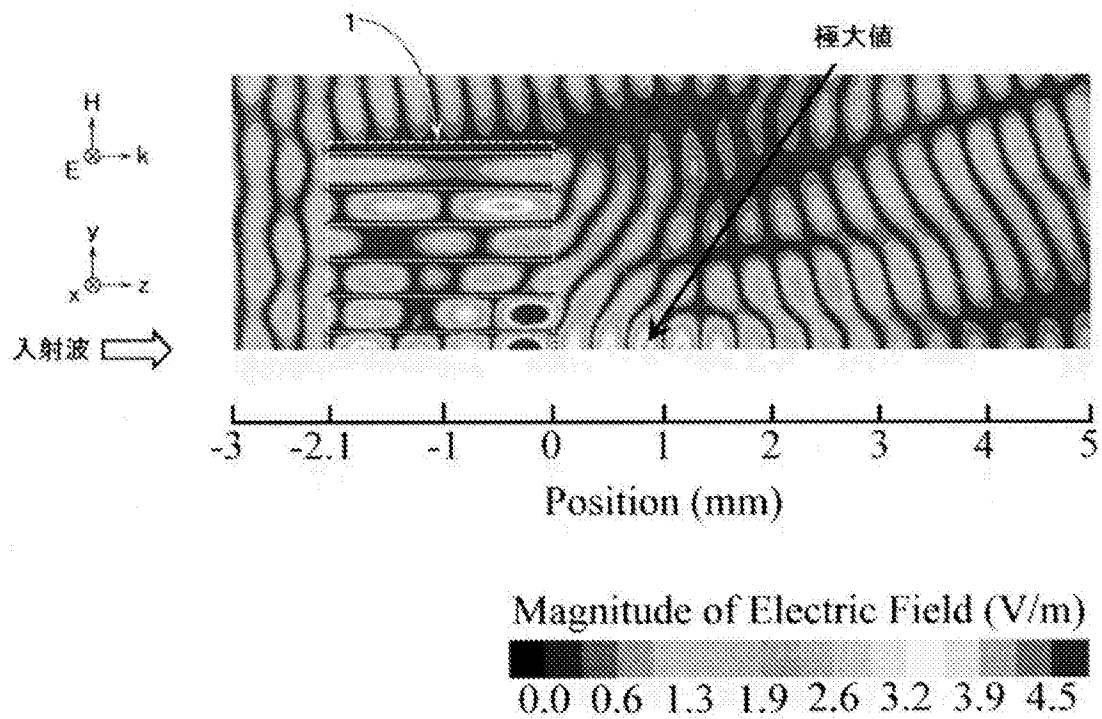
|           |                            |
|-----------|----------------------------|
| $d$       | 0.310 mm ( $0.52\lambda$ ) |
| $h$       | 3.77 mm ( $6.3\lambda$ )   |
| 12 Plates |                            |

(a)モデル1のパラメータ

|       |                                     |
|-------|-------------------------------------|
| $r_1$ | 15 $\mu\text{m}$ ( $0.025\lambda$ ) |
| $r_2$ | 50 $\mu\text{m}$ ( $0.083\lambda$ ) |
| $r_3$ | 70 $\mu\text{m}$ ( $0.12\lambda$ )  |
| $r_4$ | 80 $\mu\text{m}$ ( $0.13\lambda$ )  |
| $r_5$ | 85 $\mu\text{m}$ ( $0.14\lambda$ )  |

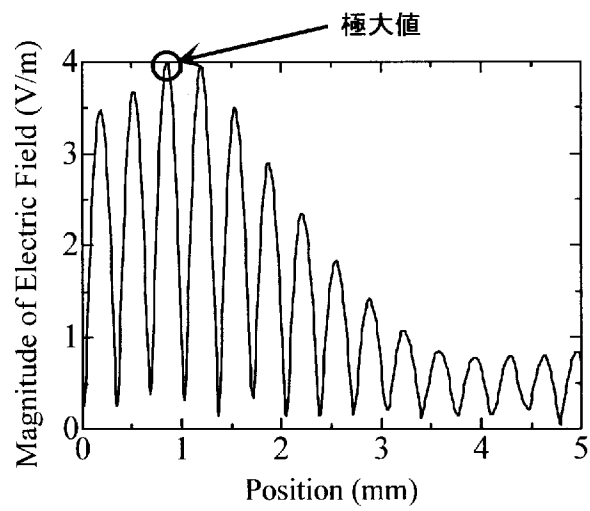
(b)モデル1の各穴の半径

[図10]

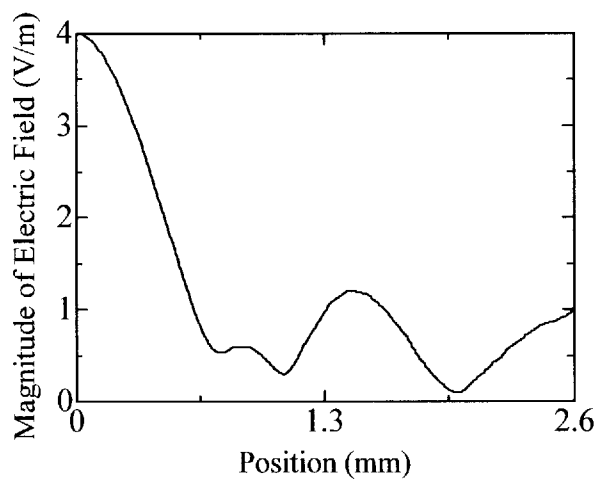


モデル1の解析結果

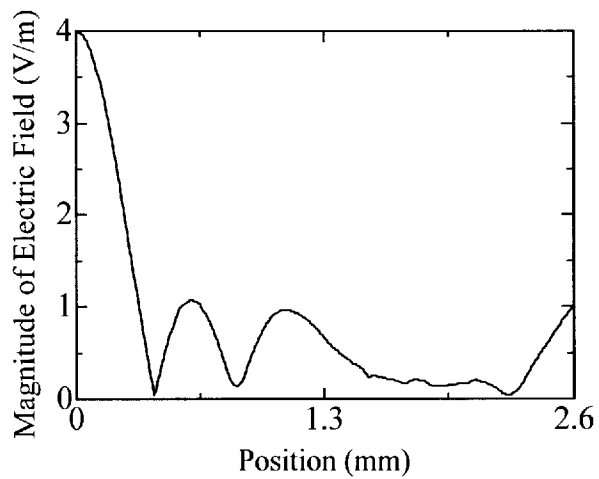
[図11]



(a) 光軸上の電界強度分布



(b) 焦点位置でのx方向の電界強度分布



(c) 焦点位置でのy方向の電界強度分布

[図12]

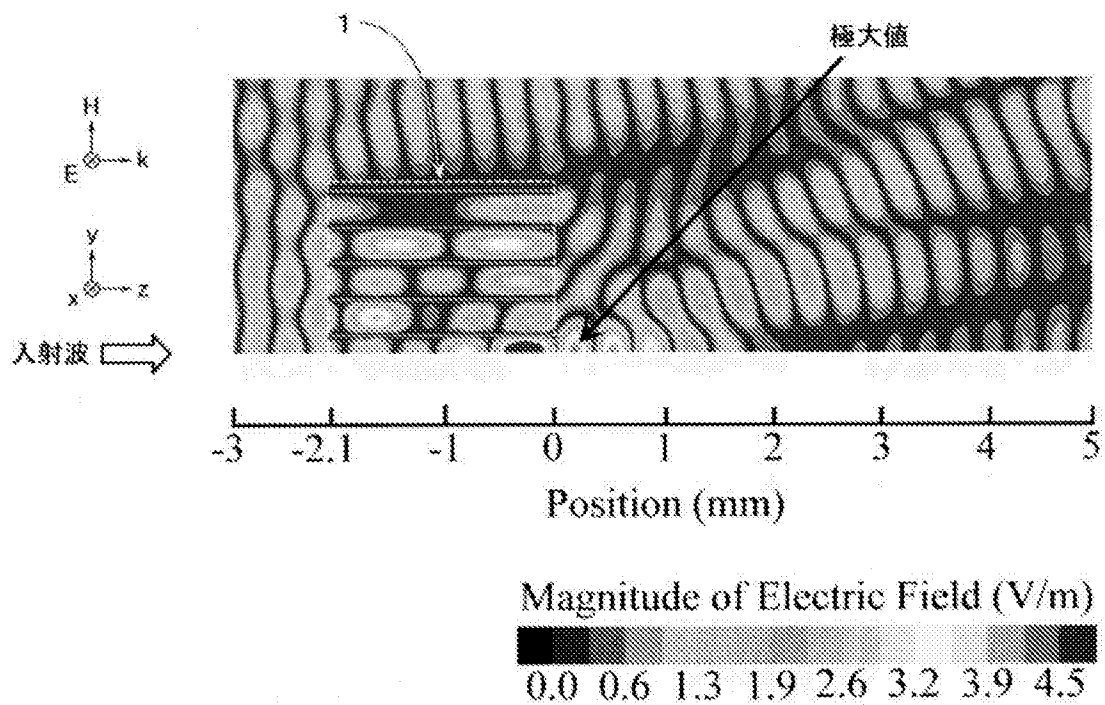
|           |                            |
|-----------|----------------------------|
| $d$       | 0.310 mm ( $0.52\lambda$ ) |
| $h$       | 3.09 mm ( $5.15\lambda$ )  |
| 10 Plates |                            |

(a)モデル2のパラメータ

|       |                                     |
|-------|-------------------------------------|
| $r_1$ | 25 $\mu\text{m}$ ( $0.042\lambda$ ) |
| $r_2$ | 55 $\mu\text{m}$ ( $0.092\lambda$ ) |
| $r_3$ | 75 $\mu\text{m}$ ( $0.13\lambda$ )  |
| $r_4$ | 85 $\mu\text{m}$ ( $0.14\lambda$ )  |

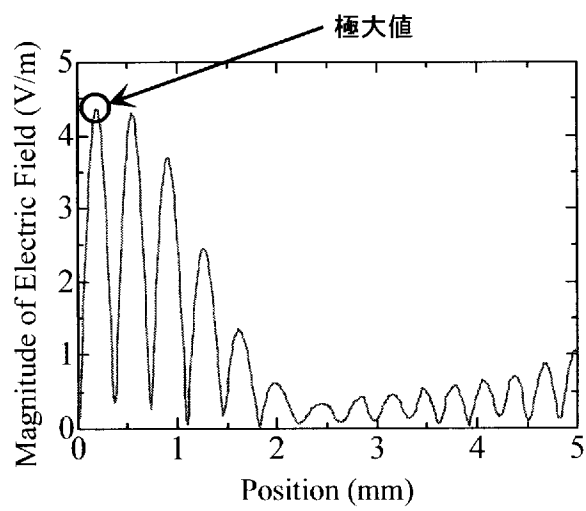
(b)モデル2の各穴の半径

[図13]

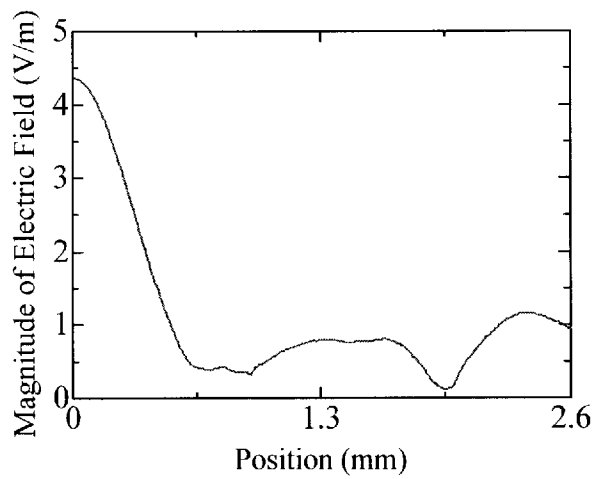


モデル2の解析結果

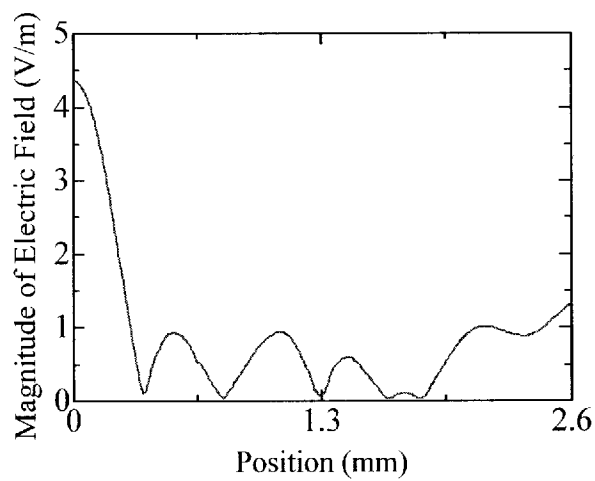
[図14]



(a) 光軸上の電界強度分布



(b) 焦点位置でのx方向の電界強度分布



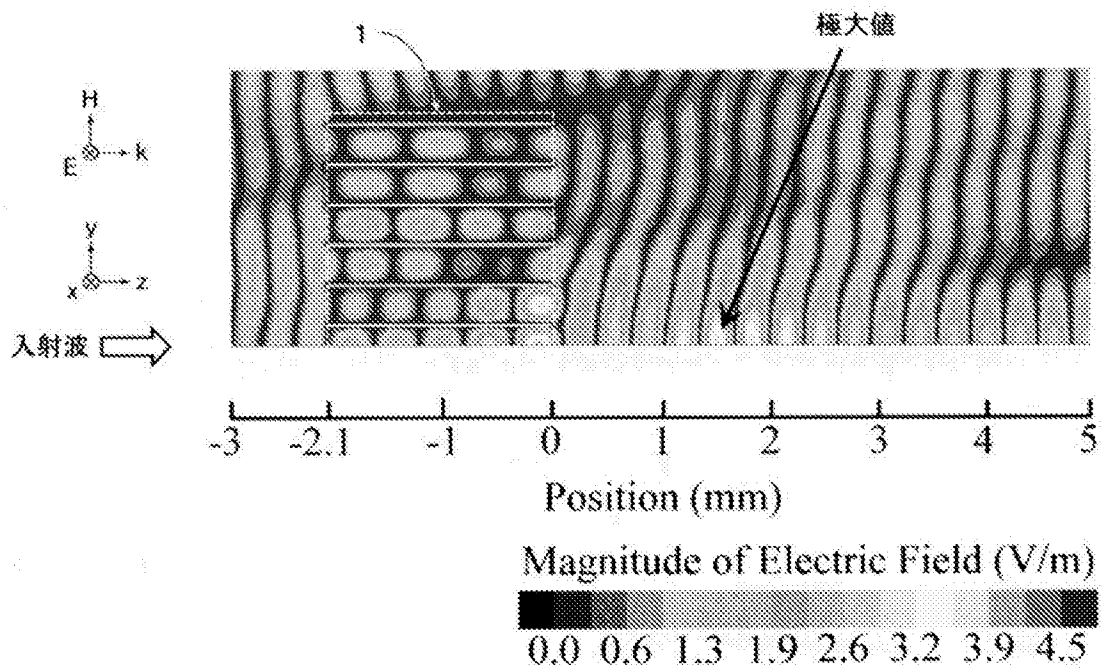
(c) 焦点位置でのy方向の電界強度分布

[図15]

|           |                            |
|-----------|----------------------------|
| $d$       | 0.350 mm ( $0.58\lambda$ ) |
| $h$       | 4.21 mm ( $7.02\lambda$ )  |
| 12 Plates |                            |

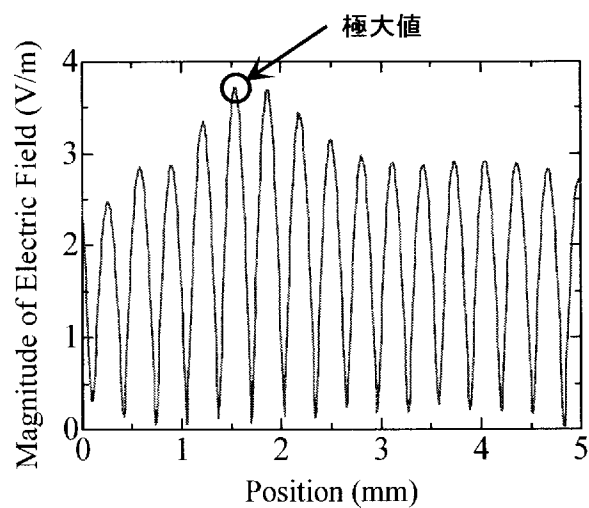
モデル3のパラメータ

[図16]



モデル3の解析結果

[図17]



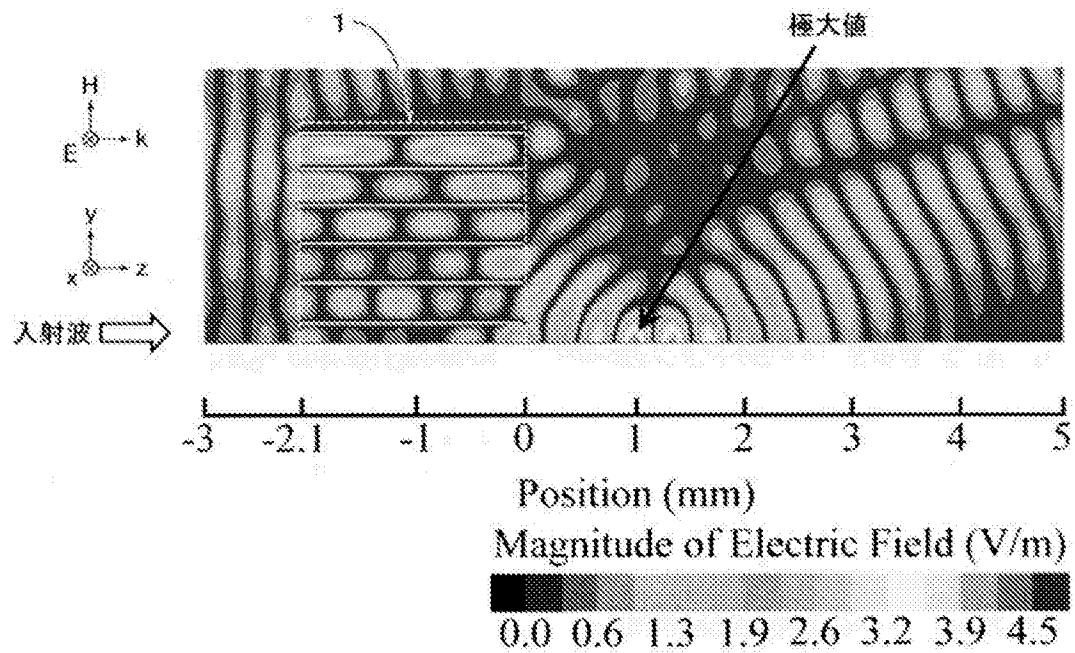
光軸上の電界強度分布

[図18]

|       |                           |           |                           |
|-------|---------------------------|-----------|---------------------------|
| $d_1$ | 0.36 mm ( $0.60\lambda$ ) | $d_5$     | 0.32 mm ( $0.53\lambda$ ) |
| $d_2$ | 0.35 mm ( $0.58\lambda$ ) | $d_6$     | 0.31 mm ( $0.52\lambda$ ) |
| $d_3$ | 0.34 mm ( $0.57\lambda$ ) | $h$       | 4.02 mm ( $6.7\lambda$ )  |
| $d_4$ | 0.33 mm ( $0.55\lambda$ ) | 12 Plates |                           |

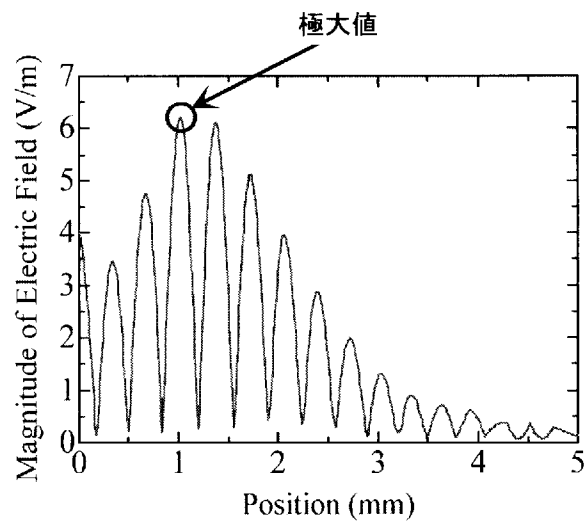
モデル4のパラメータ

[図19]



モデル4の解析結果

[図20]



光軸上の電界強度分布



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/056836

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01Q15/04(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01Q15/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2014 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2014 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2014 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                              | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | JP 62-002954 A (Makoto KIKUCHI),<br>08 January 1987 (08.01.1987),<br>entire text; all drawings<br>& JP 62-2953 A & US 4841989 A | 1-5                   |
| A         | JP 2006-074551 A (Nippon Hoso Kyokai),<br>16 March 2006 (16.03.2006),<br>entire text; all drawings<br>(Family: none)            | 1-5                   |
| A         | JP 2010-213021 A (Shiga-Ken),<br>24 September 2010 (24.09.2010),<br>entire text; all drawings<br>(Family: none)                 | 1-5                   |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
05 June, 2014 (05.06.14)

Date of mailing of the international search report  
17 June, 2014 (17.06.14)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01Q15/04(2006.01)i

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. H01Q15/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

|             |                     |
|-------------|---------------------|
| 日本国実用新案公報   | 1 9 2 2 - 1 9 9 6 年 |
| 日本国公開実用新案公報 | 1 9 7 1 - 2 0 1 4 年 |
| 日本国実用新案登録公報 | 1 9 9 6 - 2 0 1 4 年 |
| 日本国登録実用新案公報 | 1 9 9 4 - 2 0 1 4 年 |

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                       | 関連する<br>請求項の番号 |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------|
| A               | JP 62-002954 A（菊地 眞）1987.01.08, 全文, 全図<br>& JP 62-2953 A & US 4841989 A | 1-5            |
| A               | JP 2006-074551 A（日本放送協会）2006.03.16, 全文, 全図<br>（ファミリーなし）                 | 1-5            |
| A               | JP 2010-213021 A（滋賀県）2010.09.24, 全文, 全図<br>（ファミリーなし）                    | 1-5            |

☐ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）  
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 5 . 0 6 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

1 7 . 0 6 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）  
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

米倉 秀明

5 K

4 6 8 4

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 5 6