

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6256966号
(P6256966)

(45) 発行日 平成30年1月10日(2018.1.10)

(24) 登録日 平成29年12月15日(2017.12.15)

(51) Int.Cl. F I
G O 2 B 5/30 (2006.01) G O 2 B 5/30

請求項の数 5 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2012-222791 (P2012-222791)	(73) 特許権者	506122327 公立大学法人大阪市立大学 大阪府大阪市住吉区杉本3丁目3番138号
(22) 出願日	平成24年10月5日(2012.10.5)	(74) 代理人	100168583 弁理士 前井 宏之
(65) 公開番号	特開2014-74824 (P2014-74824A)	(72) 発明者	菜嶋 茂喜 大阪府大阪市住吉区杉本3丁目3番138号 公立大学法人大阪市立大学内
(43) 公開日	平成26年4月24日(2014.4.24)	(72) 発明者	半田 卓也 大阪府大阪市住吉区杉本3丁目3番138号 公立大学法人大阪市立大学内
審査請求日	平成27年10月1日(2015.10.1)	(72) 発明者	細田 誠 大阪府大阪市住吉区杉本3丁目3番138号 公立大学法人大阪市立大学内 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 積層型ワイヤグリッド及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

テラヘルツ波領域の偏光成分を分離する積層型ワイヤグリッドであって、
第1ワイヤグリッドと前記第1ワイヤグリッドに積層された第2ワイヤグリッドとを備え、

前記第1ワイヤグリッドは、適応波長よりも短い間隔dで一方向に沿って配列された複数の第1ワイヤと、開口を有する第1フレームとを有し、

前記複数の第1ワイヤは、前記第1フレームの一方の面を縦断して前記第1フレームの開口を跨ぐように、前記第1フレームに張設されており、

前記複数の第1ワイヤのうち互いに隣り合う第1ワイヤの間は空間であり、

前記第2ワイヤグリッドは、前記間隔dで前記一方向に沿って配列された複数の第2ワイヤと、開口を有する第2フレームとを有し、

前記複数の第2ワイヤは、前記第2フレームの一方の面を縦断して前記第2フレームの開口を跨ぐように、前記第2フレームに張設されており、

前記複数の第2ワイヤのうち互いに隣り合う第2ワイヤの間が空間であり、

前記第1フレームの前記第1ワイヤが縦断する面と、前記第2フレームの前記第2ワイヤが縦断する面とを対向させて、前記第1ワイヤグリッドと前記第2ワイヤグリッドとが積層されており、

前記複数の第1ワイヤのそれぞれの中心が位置する面と前記複数の第2ワイヤのそれぞれの中心が位置する面との距離Lは、前記間隔d以下であり、

10

20

前記複数の第1ワイヤと前記複数の第2ワイヤとは、直径 a を有し、距離 L = 直径 a である、積層型ワイヤグリッド。

【請求項2】

前記第1フレームは、矩形棒状であり、
前記複数の第1ワイヤの各々の両端は、前記第1フレームの側面に沿って折曲されると共に前記第1フレームの前記側面に固定されており、

前記第2フレームは、矩形棒状であり、
前記複数の第2ワイヤの各々の両端は、前記第2フレームの側面に沿って折曲されると共に前記第2フレームの前記側面に固定されている、請求項1に記載の積層型ワイヤグリッド。

10

【請求項3】

前記複数の第1ワイヤと前記複数の第2ワイヤとの前記一方向における相対的なシフト量は $0.5 \times$ 間隔 d である、請求項1又は請求項2に記載の積層型ワイヤグリッド。

【請求項4】

直径 a / 間隔 d = 0.5 である、請求項3に記載の積層型ワイヤグリッド。

【請求項5】

テラヘルツ波領域の偏光成分を分離する積層型ワイヤグリッドの製造方法であって、
矩形棒状の第1フレームと矩形棒状の第2フレームとを積層して備えたフレーム積層体を準備する準備工程と、

前記フレーム積層体の両主面と両側面とを巻き込むように前記フレーム積層体に長尺のワイヤを複数回巻回する巻回工程と、

前記ワイヤを前記第1フレームの両側面と前記第2フレームの両側面とに固定する固定工程と、

前記第1フレームと前記第2フレームとの境界面に沿って前記フレーム積層体を分断し、
前記第1フレームの一方の面を縦断して前記第1フレームの開口を跨ぐように前記第1フレームに張設された複数の第1ワイヤを有する第1ワイヤグリッドと、前記第2フレームの一方の面を縦断して前記第2フレームの開口を跨ぐように前記第2フレームに張設された複数の第2ワイヤを有する第2ワイヤグリッドとを得る分断工程と、

20

前記第1フレームの前記第1ワイヤが縦断する面と、前記第2フレームの前記第2ワイヤが縦断する面とを対向させて、前記第1ワイヤグリッドと前記第2ワイヤグリッドとを積層する積層工程とを包含し、

30

適応波長よりも短い間隔 d で一方向に沿って配列された前記複数の第1ワイヤを有する前記第1ワイヤグリッドと、前記間隔 d で前記一方向に沿って配列された前記複数の第2ワイヤを有する前記第2ワイヤグリッドとを、前記複数の第1ワイヤのそれぞれの中心が位置する面と前記複数の第2ワイヤのそれぞれの中心が位置する面との距離 L が前記間隔 d 以下となるように積層した前記積層型ワイヤグリッドを得る、積層型ワイヤグリッドの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、テラヘルツ波領域の偏光成分を分離する積層型ワイヤグリッドの改良に関する。

40

【背景技術】

【0002】

近年のレーザー技術の向上により、斬新なテラヘルツ波の発生方法や検出方法が次々と生み出され、それに伴って、テラヘルツ波領域における光学素子の需要が高まっている。

【0003】

ワイヤグリッドは、テラヘルツ波領域の光の偏光を制御できる光学素子であり、例えば、偏光子や偏光ビームスプリッタ等として使用されている。

【0004】

50

図19は、下記特許文献1等が開示されている従来のワイヤグリッド101の一例を示しており、(a)は正面図、(b)は側面図である。

【0005】

ワイヤグリッド101は、一方向に沿って所定間隔をおいて配列した多数の金属製のワイヤ102、102、・・・の両端部を一对のドーナツ形の板状のフレーム103、103の間に挟み込んで固定したものである。なお、図面を見やすくするために、ワイヤ102、102、・・・の各々の間隔は、実際の間隔(数十 μm)よりも大きくしてある。

【0006】

ワイヤグリッド101は、ワイヤ102と垂直な偏光のテラヘルツ波(以下「TE波」と称する。)を透過させるが、ワイヤ102と平行な偏光のテラヘルツ波(以下「TM波」と称する。)を透過させないという特性を有している。

10

【0007】

ワイヤグリッド101は、フレーム103内に形成される空間104にワイヤ102を張設したフリースタンド型であるため、電磁波の多重反射や吸収がほとんど無く、効率的な偏光子である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2003-14620号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、従来のワイヤグリッド101では、消光比が良好な条件でも 10^{-4} 台であり、グランレーザ等の可視光領域の偏光子に比べて2桁以上も劣るといった問題があった。

【0010】

また、光源の広帯域化に伴い、より広帯域に対応できる偏光子への需要が高くなると考えられる。

【0011】

本発明は上記課題を鑑みてなされたものであり、その目的は、消光比の向上と広帯域化とを図ることができる積層型ワイヤグリッドを提供することにある。

30

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記目的を達成するために、本発明は、テラヘルツ波領域の偏光成分を分離する積層型ワイヤグリッドであって、第1ワイヤグリッドと前記第1ワイヤグリッドに積層された第2ワイヤグリッドとを備え、前記第1ワイヤグリッドは、適応波長よりも短い間隔 d で一方向に沿って配列された複数の第1ワイヤを有し、前記第2ワイヤグリッドは、間隔 d で前記一方向に沿って配列された複数の第2ワイヤを有し、前記複数の第1ワイヤと前記複数の第2ワイヤとの距離 L は、間隔 d 以下であることを特徴としている。

【0013】

40

より具体的には、前記第1ワイヤグリッドは、矩形棒状の第1フレームを備え、前記複数の第1ワイヤは、前記第1フレームの一方の面を縦断するように前記第1フレームに張設されており、前記複数の第1ワイヤの各々の両端は、前記第1フレームの側面に沿って折曲されると共に前記第1フレームの前記側面に固定されており、前記第2ワイヤグリッドは、矩形棒状の第2フレームを備え、前記複数の第2ワイヤは、前記第2フレームの一方の面を縦断するように前記第2フレームに張設されており、前記複数の第2ワイヤの各々の両端は、前記第2フレームの側面に沿って折曲されると共に前記第2フレームの前記側面に固定されているものとする事ができる。

【0014】

なお、前記複数の第1ワイヤと前記複数の第2ワイヤとの前記一方向における相対的な

50

シフト量が $0.5 \times$ 間隔 d であり、前記複数の第 1 ワイヤと前記複数の第 2 ワイヤとは、直径 a を有し、距離 $L =$ 直径 a であると、より好ましい。

【0015】

また、この場合、直径 a / 間隔 d が 0.5 であると、さらに好ましい。

【0016】

本発明の積層型ワイヤグリッドは、以下のような製造方法により効率的に製造できる。すなわち、矩形棒状の第 1 フレームと矩形棒状の第 2 フレームとを積層して備えたフレーム積層体を準備する準備工程と、前記フレーム積層体の両主面と両側面とを巻き込むように、前記フレーム積層体に長尺のワイヤを複数回巻回する巻回工程と、前記ワイヤを、前記第 1 フレームの両側面と、前記第 2 フレームの両側面とに固定する固定工程と、前記第 1 フレームと前記第 2 フレームとの境界面に沿って前記フレーム積層体を分断し、第 1 ワイヤグリッドと第 2 ワイヤグリッドとを得る分断工程と、前記第 1 ワイヤグリッドの有する前記ワイヤの縦断面と、前記第 2 ワイヤグリッドの有する前記ワイヤの縦断面とを対向させて、前記第 1 ワイヤグリッドと前記第 2 ワイヤグリッドとを積層する積層工程とを包含し、適応波長よりも短い間隔 d で一方向に沿って配列された複数の第 1 ワイヤを有する前記第 1 ワイヤグリッドと、前記間隔 d で前記一方向に沿って配列された複数の第 2 ワイヤを有する前記第 2 ワイヤグリッドとを、前記複数の第 1 ワイヤと前記複数の第 2 ワイヤとの距離 L が前記間隔 d 以下となるように積層した積層型ワイヤグリッドを得る製造方法である。この場合、第 1 フレームと第 2 フレームとに同時にワイヤを巻回することができるので、本発明の積層型ワイヤグリッドを効率良く製造でき、製造コストの低減を図ることができる。

【発明の効果】

【0017】

本発明によれば、テラヘルツ波領域のワイヤグリッドの消光比の向上と広帯域化とを図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図 1】本発明による積層型ワイヤグリッドの実施形態の斜視図である。

【図 2】本発明による積層型ワイヤグリッドの実施形態を示す図であり、(a) は正面図、(b) は (a) の矢印 X 方向の側面図である。

【図 3】図 2 の A - A' 断面を模式的に示す図である。

【図 4】実施形態の積層型ワイヤグリッドのワイヤの配列パターンを模式的に示す図である。

【図 5】実施形態の積層型ワイヤグリッドと比較例の積層型ワイヤグリッドのテラヘルツ波の透過率を示すグラフである。

【図 6】実施形態の積層型ワイヤグリッドと比較例の積層型ワイヤグリッドの消光比を示すグラフである。

【図 7】シフト量 $p = 0$ の積層型ワイヤグリッドのワイヤの配列パターンを模式的に示す図である。

【図 8】シフト量 $p = 0.5 \times$ 間隔 d の場合に、距離 L を $10 \mu\text{m}$ から $30 \mu\text{m}$ ($0.5 \times$ 間隔 d から $1.5 \times$ 間隔 d) まで変化させたときのテラヘルツ波の透過率の変化を示すグラフである。

【図 9】シフト量 $p = 0.5 \times$ 間隔 d の場合に、距離 L を $10 \mu\text{m}$ から $30 \mu\text{m}$ ($0.5 \times$ 間隔 d から $1.5 \times$ 間隔 d) まで変化させたときのテラヘルツ波の透過率の変化を示すグラフ (片対数) である。

【図 10】シフト量 $p = 0.5 \times$ 間隔 d の場合に、距離 L を横軸にしてテラヘルツ波の各偏向方向における透過率と消光比のスペクトルをカラーマップ (図面ではモノクロで表示) にした図である。

【図 11】シフト量 $p = 0$ の場合に、距離 L を $10 \mu\text{m}$ から $30 \mu\text{m}$ まで変化させたときのテラヘルツ波の各偏向方向における透過率の変化を示すグラフである。

【図12】シフト量 $p = 0$ の場合に、距離 L を $10 \mu\text{m}$ から $30 \mu\text{m}$ まで変化させたときのテラヘルツ波の各偏向方向における透過率の変化を示すグラフ（片対数）である。

【図13】シフト量 $p = 0$ の場合に、距離 L を横軸にしてテラヘルツ波の各偏向方向における透過率と消光比のスペクトルをカラーマップ（図面ではモノクロで表示）にした図である。

【図14】距離 $L = 10 \mu\text{m}$ のときに、シフト量 p を $0 \mu\text{m}$ から $10 \mu\text{m}$ まで変化させたときのテラヘルツ波の各偏向方向における透過率の変化を示すグラフである。

【図15】距離 $L = 10 \mu\text{m}$ のときに、シフト量 p を $0 \mu\text{m}$ から $10 \mu\text{m}$ まで変化させたときのテラヘルツ波の各偏向方向における透過率の変化を示すグラフである。

【図16】シフト量 p を横軸にしてテラヘルツ波の各偏向方向における透過率と消光比のスペクトルをカラーマップ（図面ではモノクロで表示）にした図である。

【図17】実施形態の積層型ワイヤグリッドの製造方法の説明図である。

【図18】実施形態の積層型ワイヤグリッドの製造方法の説明図である。

【図19】従来のフリースタンド型ワイヤグリッドの一例を示す図であり、(a)は正面図、(b)は側面図である。

【図20】図19に示す構造のワイヤグリッドを2個積層した状態を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

ワイヤグリッドの消光比の向上を図る方法として、複数個のワイヤグリッドを積層することが考えられる。これにより、消光比は積層個数でべき乗した値まで向上する。

【0020】

また、本発明者がワイヤグリッドの積層条件について種々検討した結果、2個のワイヤグリッドのワイヤ間の距離をワイヤの配列間隔以下にすると、消光比の向上と広帯域化との点で好ましい結果が得られることが判明した。本発明は、かかる知見に基づいてなされたものである。

【0021】

以下、図面を参照して本発明による積層型ワイヤグリッドの実施形態を説明する。

【0022】

図1及び図2は、本発明による積層型ワイヤグリッド1の第1実施形態を示す図であり、図1は積層型ワイヤグリッド1の斜視図、図2(a)は積層型ワイヤグリッド1の正面図、図2(b)は図2(a)の矢印X方向の側面図である。

【0023】

積層型ワイヤグリッド1は、テラヘルツ波領域の偏光成分を分離するためのものであって、第1ワイヤグリッド2Aと第2ワイヤグリッド2Bとを積層して構成されている。なお、第1ワイヤグリッド2Aと第2ワイヤグリッド2Bとの基本的な構成は同じであるので、以下の説明においては、まず、第1ワイヤグリッド2Aの構成の説明を行い、第2ワイヤグリッド2Bについては、第1ワイヤグリッド2Aの構成と共通する構成の説明を省略するものとする。

【0024】

第1ワイヤグリッド2Aは、矩形棒状の第1フレーム3Aと、第1フレーム3Aの一方の面を縦断するように、第1フレーム3Aに張設されるとともに、適応波長よりも短い間隔で一方向に配列された多数の第1ワイヤ4A、4A、・・・と、多数の第1ワイヤ4A、4A、・・・を第1フレーム3Aの両側面に固定する固定手段としての第1固定具5A、5Aとを備えている。

【0025】

第1ワイヤ4Aは金属により形成されており、その材質、直径及び配列間隔は特に限定されないが、本実施形態では、第1ワイヤ4Aは直径 $10 \mu\text{m}$ のタングステン線であって、径方向に $20 \mu\text{m}$ の間隔をおいて配列されている。なお、図1及び図2では、図面を見やすくするために、多数の第1ワイヤ4A、4A、・・・の各々の配列間隔を実際の寸法よりも大きくしてある。

10

20

30

40

50

【0026】

図3は図2のA-A'断面を模式的に示す図である。多数の第1ワイヤ4A、4A、
 ・・のそれぞれの両端部4a、4a（一方のみ図示）はフレーム3の側面3aに沿って略
 直角に折曲されている。

【0027】

図2(a)に示すように、第1固定具5Aは金属等により形成される略コの字形の部材
 である。第1固定具5Aと第1フレーム3Aの側面3aとの間に第1ワイヤ4Aの端部4
 a（図3参照）を挟み込むとともに第1固定具5Aの両端部5a、5aが第1フレーム3
 Aを挟み込んだ状態で、接着剤やネジ等の適宜の手段により第1固定具5Aが第1フレ
 ム3Aに固定される。

10

【0028】

なお、第1固定具5Aと第1フレーム3Aの接着性を向上させるべく、第1フレーム3
 Aの側面3a及び/又は第1固定具5Aの内面に、微細な凹凸加工を施すようにしてもよ
 い。

【0029】

図3に示すように、第1固定具5Aの幅W1は、第1フレーム3Aの側面3aの幅W2
 よりも小さく、第1固定具5Aは、第1ワイヤグリッド2Aと第2ワイヤグリッド2Bと
 の境界面Fにはみ出さないよう、境界面Fから離間した位置に固定される。このよう
 することで、第1ワイヤグリッド2Aの第1ワイヤ4Aと、第2ワイヤグリッド2Bの第2
 ワイヤ4Bとの間隔L（図4参照）を適応波長以下にすることができる。

20

【0030】

これに対し、図19に示す従来のワイヤグリッド101を2個積層すると、一方のワイ
 ヤグリッド101のワイヤ102と、他方のワイヤグリッド101のワイヤ102との間
 の間隔を適応波長以下にすることができない。

【0031】

図20は、図19に示す構造のワイヤグリッドを2個積層した状態を示す図である。一
 方のワイヤグリッド101Aのワイヤ(図示せず)が存在する面105Aと、他方のワイヤ
 グリッド101Bのワイヤ(図示せず)が存在する面105Bとの間に2個のフレーム10
 3A、103Bが介在するため、面105Aと面105Bとの距離Yを適応波長以下にま
 で小さくすることができない。

30

【0032】

図4は、本実施形態の積層型ワイヤグリッド1の第1ワイヤ4Aと第2ワイヤ4Bの配
 列パターンを模式的に示す図である。第1ワイヤ4Aの直径及び第2ワイヤ4Bの直径を
 a、第1ワイヤ4A、4A、
 ・・の間隔及び第2ワイヤ4B、4B、
 ・・の間隔をd、第1ワイヤ4A、4A、
 ・・と第2ワイヤ4B、4B、
 ・・との距離をL、第1ワイヤ4A、4A、
 ・・の配列方向及び第2ワイヤ4B、4B、
 ・・の配列方向をx、第1ワイヤ4A、4A、
 ・・と第2ワイヤ4B、4B、
 ・・とのx方向における相
 対的なシフト量をpとする。

【0033】

本実施形態では、直径a、間隔d、距離L、シフト量pの関係が、 $a/d = 0.5$ 、 $L = a$
 、 $p = 0.5d$ であり、より具体的には、 $a = 10\mu\text{m}$ 、 $d = 20\mu\text{m}$ 、 $L = 10\mu\text{m}$ 、 $p = 10\mu\text{m}$ であ
 る。なお、これらの寸法や寸法比率はあくまでも一つの例であって、本発明は、これらの
 寸法や寸法比率に限定されるものではない。

40

【0034】

図5は、実施形態の積層型ワイヤグリッド1と比較例（後述）の積層型ワイヤグリッド
 とのテラヘルツ波の透過率を示すグラフである。

【0035】

実線の曲線C1、曲線C2は実施形態の積層型ワイヤグリッド1の特性曲線であり、曲
 線C1はTE波の特性曲線を示し、曲線C2はTM波の特性曲線を示す。破線の曲線C1
 1、曲線C12は1個のワイヤグリッドの透過率を2乗した値の特性曲線である。この破

50

線の実施形態の特性曲線は、距離 L が間隔 d に対して十分に大きい積層型ワイヤグリッド（以下「比較例」と称する。）の透過率の特性曲線である。曲線 C 1 1 は T E 波の特性曲線を示し、曲線 C 1 2 は T M 波の特性曲線を示す。

【 0 0 3 6 】

本実施形態の T E 波の透過率は、矢印で示すように、比較例の T E 波の透過率に対して 3 ~ 12 THz で上昇して低損失化している。また、比較例の T M 波の遮断周波数が約 15 THz であるのに対し、本実施形態の T M 波の遮断周波数は約 40 THz であり、本実施形態の T M 波の遮断周波数は、比較例の T M 波の遮断周波数に比べて、飛躍的に高周波にシフトしている。すなわち、本実施形態の有効周波数範囲は比較例の有効周波数範囲に比べて広帯域化している。

10

【 0 0 3 7 】

図 6 は、実施形態の積層型ワイヤグリッド 1 と比較例の積層型ワイヤグリッドとの消光比を示すグラフであり、実線の曲線 C 3 が本実施形態の消光比の特性曲線を示し、破線の曲線 C 1 3 が比較例の消光比の特性曲線を示す。本実施形態の特性曲線 C 3 では、消光比が 1 になる点が、比較例の曲線 C 1 3 に対して高周波側に大幅にシフトしている。すなわち、本実施形態の特性曲線 C 3 では、消光比が 1 になる点が、比較例の特性曲線 C 1 3 で消光比が 1 になる 15 THz（間隔 d に相当する）付近から大幅に高周波側にシフトしている。これは、本実施形態が比較例に比べて広帯域で高消光比の偏光子であることを表している。

【 0 0 3 8 】

20

このように、第 1 ワイヤグリッド 2 A の第 1 ワイヤ 4 A と第 2 ワイヤグリッド 2 B の第 2 ワイヤ 4 B との距離 L を間隔 d 以下にすると、1 個のワイヤグリッドの透過特性を 2 乗した場合とは、異なる透過特性を示すことが確認された。

【 0 0 3 9 】

特に、距離 L = 直径 a 、シフト量 $p = 0.5 \times$ 間隔 d の積層型ワイヤグリッド 1 は、40% の透過率を維持しながら、偏光子として有効な周波数範囲と消光比とを向上させることができる。この条件では、距離 L が間隔 d よりも十分に大きい比較例と比べ、T E 波入射の場合は、約 3 THz 以下でわずかに透過率が下がるものの、有効範囲では 60% 以上の高い透過率が得られている。

【 0 0 4 0 】

30

一方、T M 波入射の場合、積層型ワイヤグリッド 1 の透過率は比較例よりもさらに減少することがわかった。1 THz の消光比は 10^{-10} 台になり、これまでの先行技術よりもすぐれた結果である。また、ワイヤ 4 の間隔（ $d = 20 \mu\text{m}$ ）から予想される、偏光子としての性能を完全に失う周波数（15 THz）においても、透過率が 10^{-4} 程度と非常に良くなっている。これにより、偏光子の消光比の向上、偏光子の広帯域化（有効な周波数範囲の拡大）及び偏光子の低損失化（T E 波の透過率の向上）が実現した。

【 0 0 4 1 】

なお、テラヘルツ波の透過率と消光比とは、シフト量 p 、距離 L 、間隔 d に応じて変化する。以下にそれについて述べる。

【 0 0 4 2 】

40

図 7 はシフト量 $p = 0$ の積層型ワイヤグリッドのワイヤの配列パターンを模式的に示す図である。この例では、第 1 ワイヤグリッド 2 A の第 1 ワイヤ 4 A と第 2 ワイヤグリッド 2 B の第 2 ワイヤ 4 B とが x 方向に相対的にシフトしていない。

【 0 0 4 3 】

図 4（シフト量 $p = 0.5 \times$ 間隔 d ）と図 7（シフト量 $p = 0$ ）の場合において、距離 L を $10 \mu\text{m}$ から $30 \mu\text{m}$ まで変化させてテラヘルツ波の透過率を調べるために、シミュレーションを行った。

【 0 0 4 4 】

図 8、図 9 は、シフト量 $p = 0.5 \times$ 間隔 d の場合に、距離 L （図中では l と表示）を $10 \mu\text{m}$ から $30 \mu\text{m}$ （ $0.5 \times$ 間隔 d から $1.5 \times$ 間隔 d ）まで変化させたときのテラヘルツ波の透

50

過率の変化を示すグラフ（図9は片対数プロット）である。点線と二点鎖線は1枚のワイヤグリッドのテラヘルツ波の透過率を2乗したもので、距離Lが間隔dに対して十分に大きい2重ワイヤグリッドのテラヘルツ波の透過率を示す。実線と点線はTE波の透過率を表し、破線と二点鎖線はTM波の透過率を表す。

【0045】

図10は、シフト量 $p = 0.5 \times$ 間隔dの場合に、距離L（図中ではlと表示）を横軸にしてテラヘルツ波の各偏向方向における透過率と消光比のスペクトルとをカラーマップ（図面ではモノクロで表示）にした図である。左側の図はTM波の透過率を表し（破線は 10^{-4} の等高線）、中央の図はTE波の透過率を表し（破線は0.6の等高線）、右側の図は消光比（実線は距離L、破線は 10^{-4} の等高線）を表す。

10

【0046】

図11、図12は、シフト量 $p = 0$ の場合に、距離L（図中ではlと表示）を $10 \mu\text{m}$ から $30 \mu\text{m}$ まで変化させたときのテラヘルツ波の各偏向方向における透過率の変化を示すグラフ（図12は片対数プロット）である。点線と二点鎖線は1枚のワイヤグリッドの透過率を2乗したもので、距離Lが間隔dに対して十分に大きい2重ワイヤグリッドの透過率を示す。実線と点線はTE波の透過率を表し、破線と二点鎖線はTM波の透過率を表す。

【0047】

図13は、シフト量 $p = 0$ の場合に、距離L（図中ではlと表示）を横軸にしてテラヘルツ波の各偏向方向における透過率と消光比のスペクトルをカラーマップ（図面ではモノクロで表示）にした図である。左側の図はTM波の透過率を表し（破線は 10^{-4} の等高線）、中央の図はTE波の透過率を表し（破線は0.6の等高線）、右側の図は消光比を表す（実線は距離L、破線は 10^{-4} の等高線）。

20

【0048】

図8、図9、図11、図12から、シフト量 $p = 0.5 \times$ 間隔dの場合のTE波と、シフト量 $p = 0$ の場合のTE波とは、似た透過特性であることがわかる。

【0049】

TM波については、図11と図12から、シフト量 $p = 0$ の場合では、距離Lに応じて急峻なピークが移動しているものの、それを例外として、距離Lに依存せずほとんど一定の透過特性である。それは、図13の左側のカラーマップの等高線が、ピークの移動を例外として横軸にほぼ平行になっていることから確認できる。それに伴い、図13の右側のカラーマップから、消光比が距離Lに依存して大きく変化していないことが確認できる。

30

【0050】

一方、シフト量 $p = 0.5 \times$ 間隔dの場合には、図8と図9から、距離Lがおおよそ $17 \mu\text{m}$ を下回った辺りから、急激にTM波の透過率が下がっていることが確認できる。また、図10の右側のカラーマップから、消光比も距離Lに依存して変化していることが確認できる。

【0051】

本実施形態の積層型ワイヤグリッド1では、テラヘルツ波の透過率と消光比とはシフト量pの変化にも依存する。距離L = $10 \mu\text{m}$ 、 $12 \mu\text{m}$ 、 $30 \mu\text{m}$ のそれぞれの場合について、シフト量pを $0 \mu\text{m}$ から $10 \mu\text{m}$ まで変化させてテラヘルツ波の透過率を調べるために、シミュレーションを行った。

40

【0052】

図14、図15は、距離L = $10 \mu\text{m}$ のときに、シフト量pを $0 \mu\text{m}$ から $10 \mu\text{m}$ まで変化させたときのテラヘルツ波の各偏向方向における透過率の変化を示すグラフ（図15は片対数プロット）である。点線と二点鎖線は1枚のワイヤグリッドのテラヘルツ波の透過率を2乗したもので、距離Lが間隔dに対して十分に大きい2重ワイヤグリッドのテラヘルツ波の透過率を示す。実線と点線はTE波の透過率を表し、破線と二点鎖線はTM波の透過率を表す。

【0053】

50

図16は、シフト量 p を横軸にしてテラヘルツ波の各偏向方向における透過率と消光比のスペクトルをカラーマップ（図面ではモノクロで表示）にした図である。上段は $L = 10 \mu\text{m}$ 、中段は $L = 12 \mu\text{m}$ 、下段は $L = 30 \mu\text{m}$ の場合であり、各段の左側の図は TM 波の透過率を表し（破線は 10^{-4} の等高線）、中央の図は TE 波の透過率を表し（破線は 0.6 の等高線）、右側の図は消光比を表す（実線は L 、破線は 10^{-4} の等高線）。

【0054】

図14、図15から、シフト量 p を $0 \mu\text{m}$ からわずかにずらすと、新しいディップが発生し、テラヘルツ波の透過率が非常に大きく変化することが確認できる。そして、図16から、距離 L が小さいほどシフト量 p への依存が大きく、距離 $L = 30 \mu\text{m}$ では等高線が横軸にほとんど平行な直線であることから、シフト量 p への依存がほとんどないことが確認できる。

10

【0055】

また、ワイヤ4の直径 a / 間隔 d とテラヘルツ波の透過率との関係について調べるために、シミュレーションを行った。直径 $a = 10 \mu\text{m}$ 、間隔 $d = 20 \mu\text{m}$ の積層型ワイヤグリッドについて、直径 a を固定して間隔 d を変化させた場合、 TE 波の透過率は間隔 d が大きくなるほど向上するが、 TM 波の透過率も増加してしまい、偏光子としての有効範囲の周波数が狭くなることが確認された。また、間隔 d が小さくなる場合には逆の結果（すなわち、間隔 d が小さくなるほど TE 波の透過率が低下減少するが、 TM 波の透過率がそれ以上に減少するため、偏光子として有効な周波数の範囲が広がる）となった。

【0056】

20

なお、間隔 d が大きくなるほど TM 波の透過率が大きくなり、間隔 d が小さくなるほど TM 波の透過率が小さくなるが、 SPP （Surface Plasmon Polariton、表面プラズモンポラリトン）の励起による 15THz 付近での透過率の増加と、導波管効果によるカットオフ周波数以下の電磁波の遮断との、どちらの寄与が大きいかを考慮して間隔 d を決定する必要がある。

【0057】

以上の結果、シフト量 $p = 0.5d$ 、距離 $L =$ 直径 a 、直径 a / 間隔 d のときに、非常に優れた偏光特性を有することが確認された。

【0058】

次に、実施形態の積層型ワイヤグリッド1の製造方法について述べる。図17、図18は、実施形態の積層型ワイヤグリッド1の製造方法の説明図である。

30

【0059】

まず、図17(a)に示すように、矩形棒状の第1フレーム3Aと矩形棒状の第2フレーム3Bとを準備する。さらに、これらを積層して適宜の手段で固定し、図17(b)に示すようなフレーム積層体3'を準備する（準備工程）。

【0060】

次に、図17(c)に示すように、このフレーム積層体3'の両主面と両側面とを巻き込むようにフレーム積層体3'に長尺のワイヤ4を複数回巻回する。このとき、ワイヤ4は、互いに隣接する部位の間隔 d （図4参照）が適応波長以下となるように巻回される（巻回工程）。

40

【0061】

次に、図17(d)に示すように、フレーム積層体3'を形成する第1フレーム3Aの両側面にそれぞれ第1固定具5Aを対向させ、第2フレーム3B（図18(b)参照）の両側面にそれぞれ第2固定具5B（図18(b)参照）を対向させる。そして、図18(a)に示すように、第1固定具5Aを第1フレーム3Aの両側面にそれぞれ装着し、ワイヤ4を第1フレーム3Aの両側面に固定する。同様に、第2固定具5B（図18(b)参照）を第2フレーム3B（図18(b)参照）の両側面にそれぞれ装着し、第2ワイヤ4Bを第2フレーム3Bの両側面に固定する（固定工程）。

【0062】

次に、第1フレーム3Aと第2フレーム3Bの境界面に沿ってワイヤ4を切断してフレ

50

ーム積層体 3' を分断し、図 18 (b) に示すように、第 1 ワイヤグリッド 2 A と第 2 ワイヤグリッド 2 B とを得る (分断工程)。

【0063】

そして、第 1 ワイヤグリッド 2 A と第 2 ワイヤグリッド 2 B とを、第 1 ワイヤグリッド 2 A の有する第 1 ワイヤ 4 A の縦断面と、第 2 ワイヤグリッド 2 B の有する第 2 ワイヤ 4 B の縦断面とを対向させて、第 1 ワイヤグリッド 2 A と第 2 ワイヤグリッド 2 B とを積層し、適宜の手段で固定して、図 18 (c) に示すように、積層型ワイヤグリッド 1 を得る (積層工程)。

【0064】

この製造方法によれば、第 1 フレーム 3 A と第 2 フレーム 3 B とに対してワイヤ 4 を同時に巻き付けることができるので、製造効率が良好で、製造コストの低減を図ることができる。

10

【0065】

以上、本発明の具体的な実施形態を説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で上記実施形態に種々の改変を施すことができる。

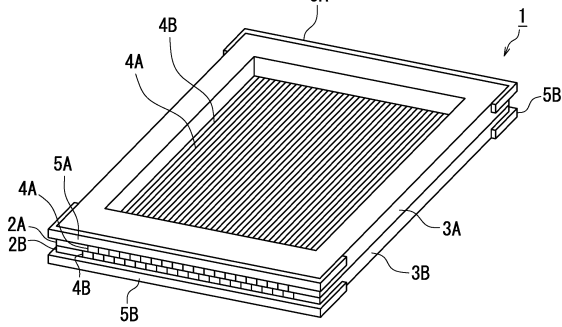
【符号の説明】

【0066】

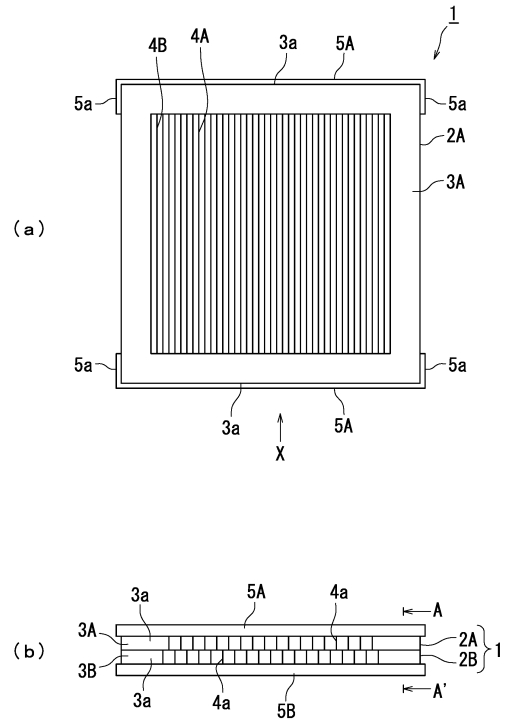
- 1 積層型ワイヤグリッド
- 2 A 第 1 ワイヤグリッド
- 2 B 第 2 ワイヤグリッド
- 3 A 第 1 フレーム
- 3 B 第 2 フレーム
- 3' フレーム積層体
- 4 長尺のワイヤ
- 4 A 第 1 ワイヤ
- 4 B 第 2 ワイヤ
- 5 A 第 1 固定具 (固定手段)
- 5 B 第 1 固定具 (固定手段)

20

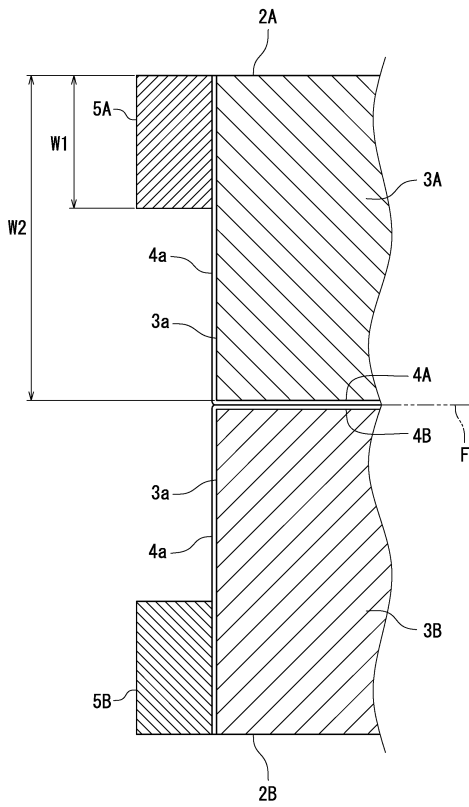
【 図 1 】



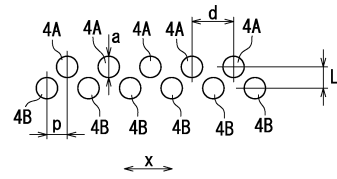
【 図 2 】



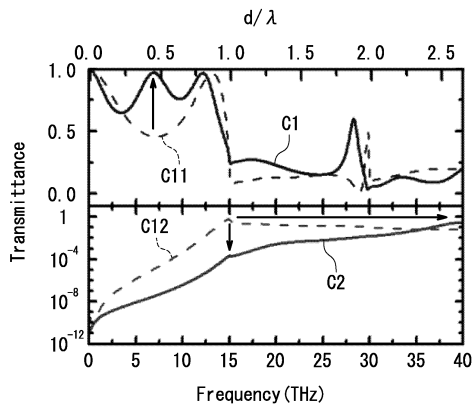
【 図 3 】



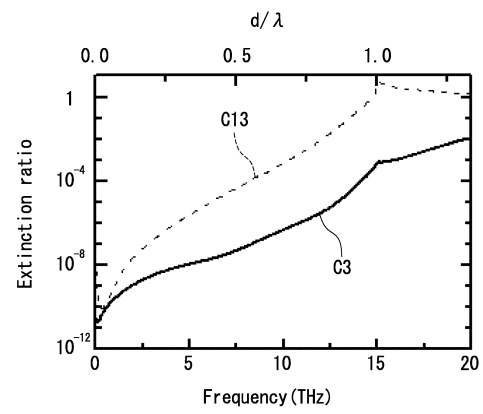
【 図 4 】



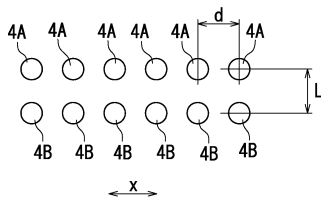
【 図 5 】



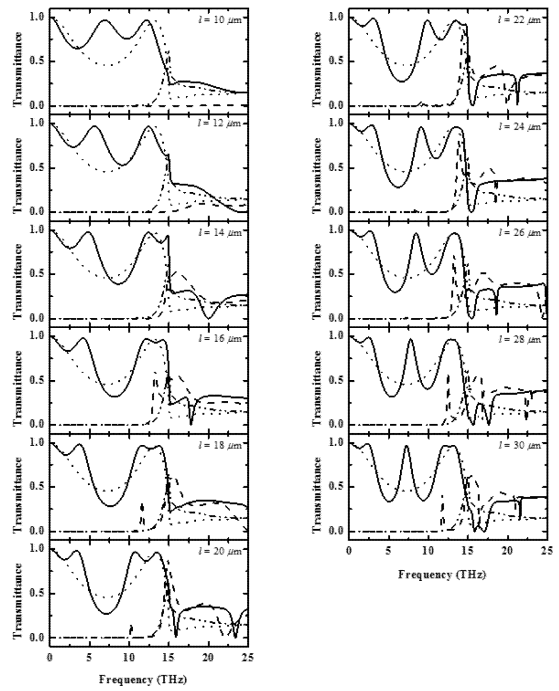
【 図 6 】



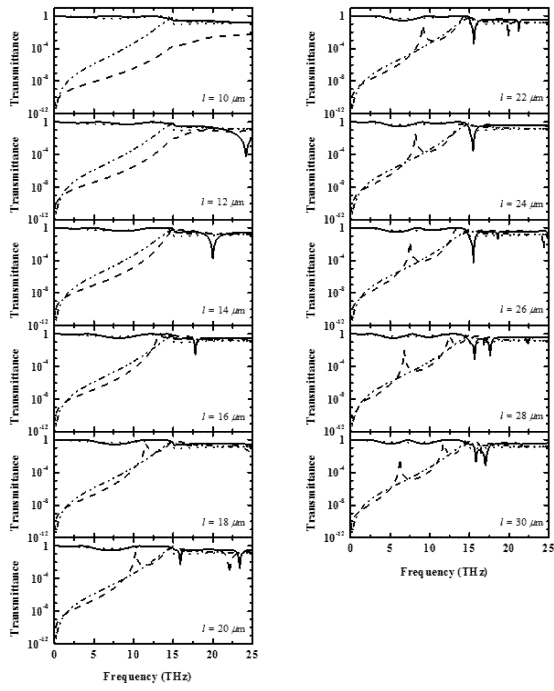
【 図 7 】



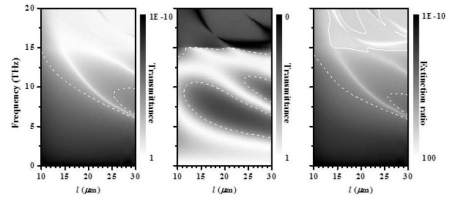
【 図 8 】



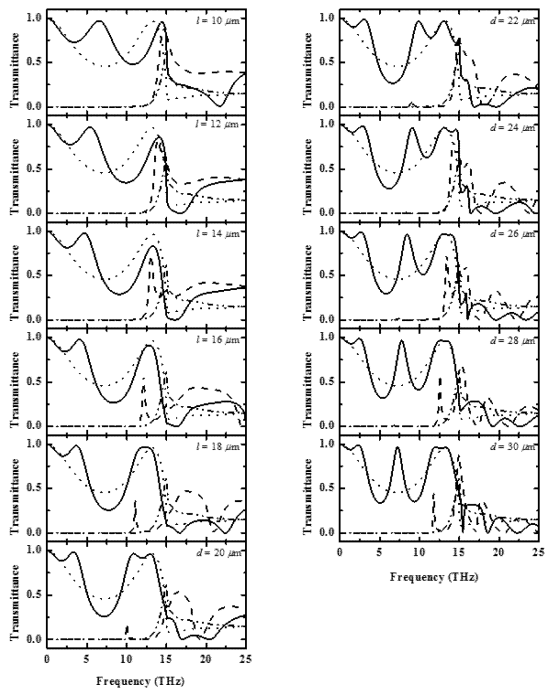
【 9 】



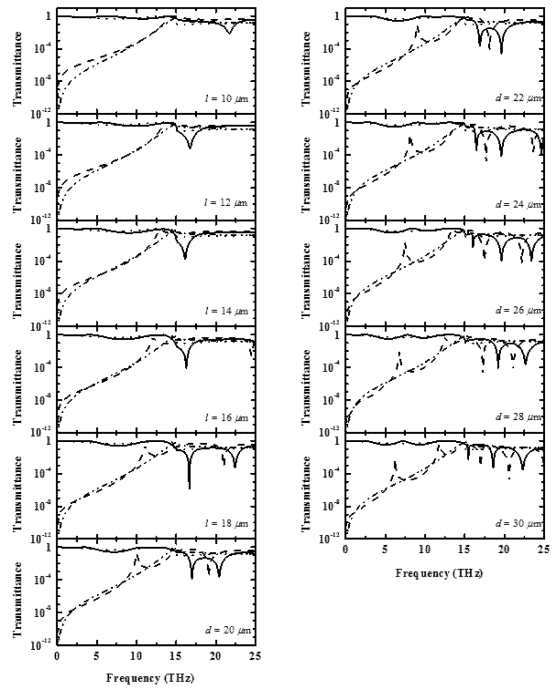
【 10 】



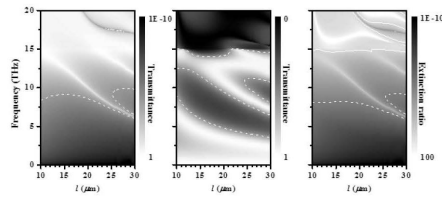
【 11 】



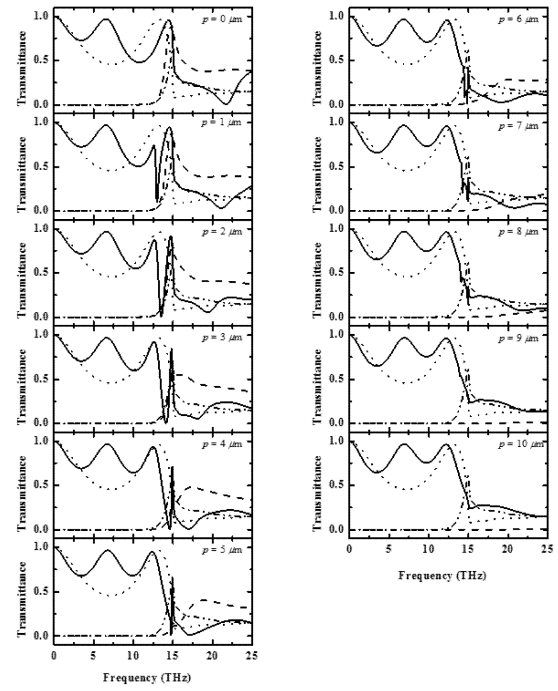
【 12 】



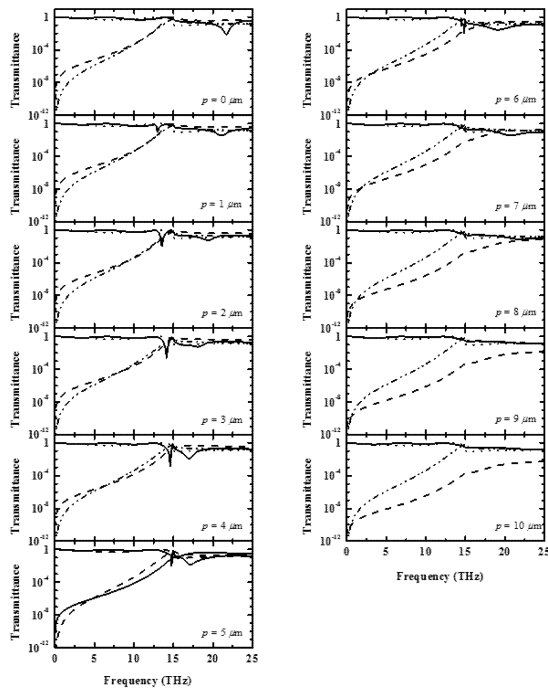
【 13 】



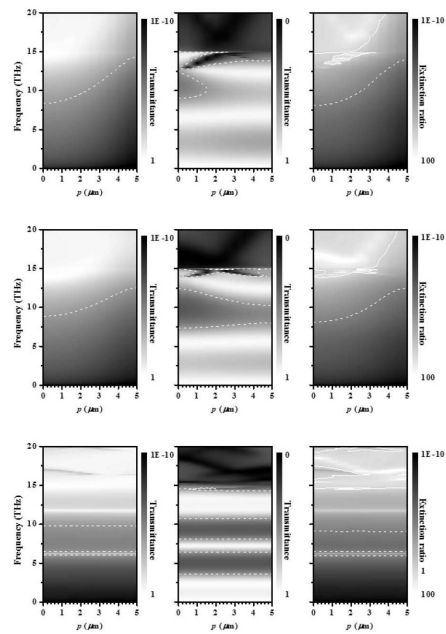
【 14 】



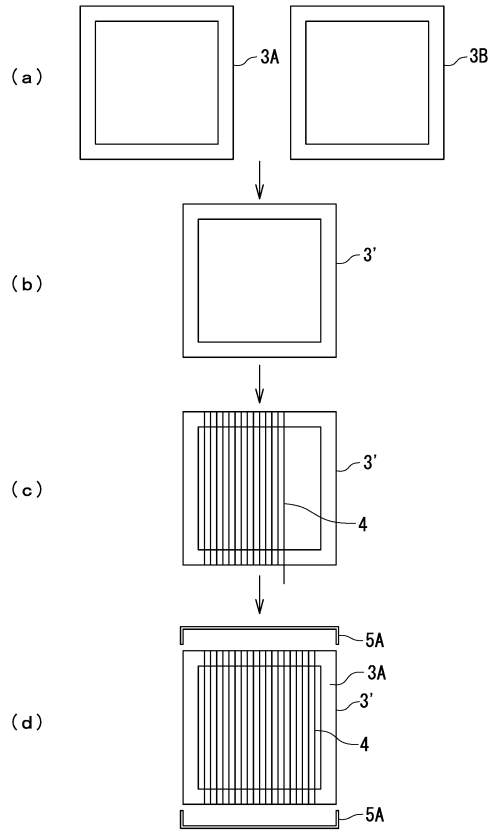
【 15 】



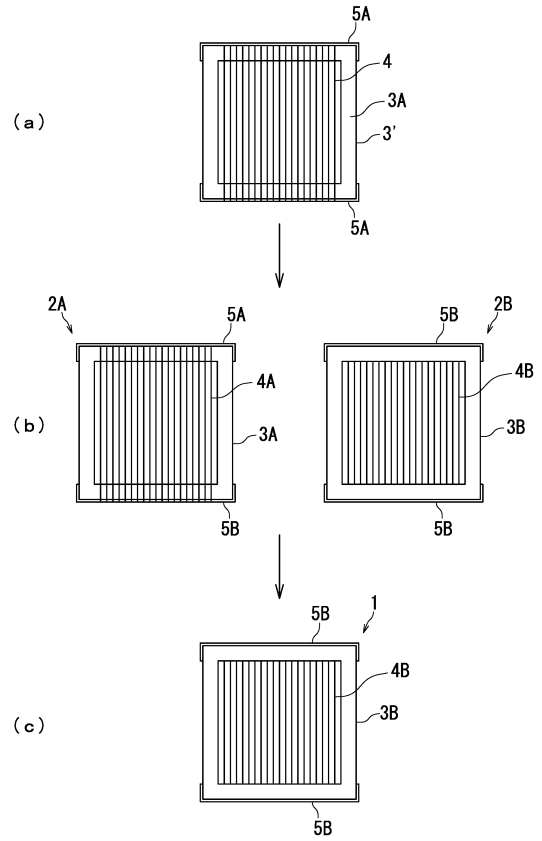
【 16 】



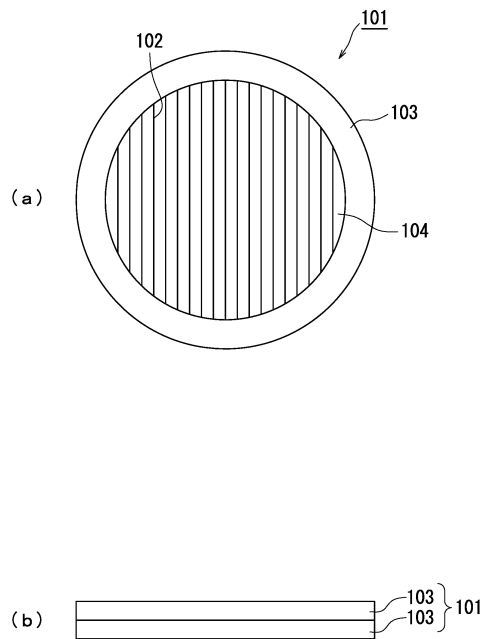
【 図 17 】



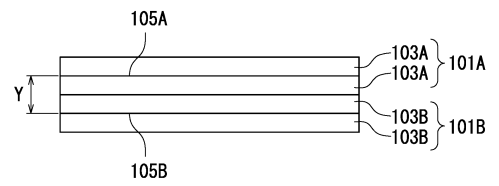
【 図 18 】



【 図 19 】



【 図 20 】



フロントページの続き

審査官 小西 隆

- (56)参考文献 特開2009-052920(JP,A)
特開2008-262205(JP,A)
特開2006-126464(JP,A)
実開昭62-188808(JP,U)
特開2008-209493(JP,A)
特開2006-163291(JP,A)
特開2003-66229(JP,A)
特開2008-268299(JP,A)
L. Y. Deng, J. H. Teng, L. Zhang, Q. Y. Wu, H. Liu, X. H. Zhang, and S. J. Chua, Extremely high extinction ratio terahertz broadband polarizer using bilayer subwavelength metal wire-grid structure, Applied Physics Letters, 米国, American Institute of Physics, 2012年 7月 2日, Vol. 101, p. 011101-1~011101-4
Tian Dong-Bin, Zhang Huai-Wu, Lai Wei-En, Wen Qi-Ye, Song Yuan-Qiang, Wang Zhi-Guo, Double Wire-Grid Terahertz Polarizer on Low-Loss Polymer Substrates, Chinese Physics Letter, 中国, Chinese Physical Society, 2010年 3月17日, Vol. 27, No. 10, p. 104210-1~104210-3
D. Tian, X. Dong, Q. Wen, W. Lei, H. Zhang, Terahertz transmission characteristics of double wire-grid polarizer on low-loss polyethylene substrate, Applied Physics B, 米国, Springer Berlin Heidelberg, 2010年11月 5日, Vol. 104, p. 125-130

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 5/30

Scopus