

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4154388号  
(P4154388)

(45) 発行日 平成20年9月24日(2008.9.24)

(24) 登録日 平成20年7月11日(2008.7.11)

(51) Int.Cl.

F 1

G O 1 N 21/35 (2006.01)  
G O 1 N 22/00 (2006.01)G O 1 N 21/35  
G O 1 N 22/00Z  
X

請求項の数 2 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2004-376370 (P2004-376370)  
 (22) 出願日 平成16年12月27日 (2004.12.27)  
 (65) 公開番号 特開2006-184078 (P2006-184078A)  
 (43) 公開日 平成18年7月13日 (2006.7.13)  
 審査請求日 平成18年6月30日 (2006.6.30)

(73) 特許権者 000001007  
 キヤノン株式会社  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
 (74) 代理人 100090538  
 弁理士 西山 恵三  
 (74) 代理人 100096965  
 弁理士 内尾 裕一  
 (72) 発明者 笠井 信太郎  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ  
 ノン株式会社内  
 (72) 発明者 尾内 敏彦  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ  
 ノン株式会社内

審査官 ▲高▼場 正光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】被対象物を透過した電磁波の状態を検出するための検出装置

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

被測定対象物を透過したテラヘルツ波を検出するための装置であって、テラヘルツ波を発生させるための発生手段と、

前記テラヘルツ波を伝送するための金属導波管、金属平行平板導波路または伝送線路で構成されている伝送路と、

前記伝送路を伝搬してきたテラヘルツ波を検出するための検出手段とを備え、前記伝送路をテラヘルツ波が伝搬する際に、前記伝送路でテラヘルツ波が分布する領域の一部に、前記被測定対象物を配置するための通路を有し、

前記通路内に配置される前記被測定対象物を透過したテラヘルツ波を前記検出手段で検出し、前記通路に前記被測定対象物を導く注射針を備えることを特徴とする装置。

## 【請求項 2】

前記通路が流路であることを特徴とする請求項 1 記載の装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0 0 0 1】

伝搬する電磁波の伝搬状態の変化を検出する技術に関し、検出した情報を用いて物質の計測・感知・分析を行う。

## 【背景技術】

## 【0 0 0 2】

10

20

近年、いわゆるテラヘルツ波を応用した技術が注目されている。テラヘルツ波を利用した分光分析やイメージングなどが、産業応用として期待されている。

#### 【0003】

例えば、テラヘルツ波の応用分野として、X線に代わる安全な透視検査装置としてイメージングを行なう技術、物質内部の吸収スペクトルや複素誘電率を求めて結合状態を調べる分光技術、生体分子の解析技術、キャリア濃度や移動度を評価する技術などが開発されている。

#### 【0004】

中でもテラヘルツ波を用いて分光学的手法により物質を分析する方法として、テラヘルツ波を分析対象物質に照射し、透過あるいは反射したテラヘルツ波のスペクトルを得る方法が公知技術として知られている。

10

#### 【0005】

ところで、水は30GHz～30THzの周波数領域に非常に強い吸収スペクトルを多数持っている。このため、例えば液体の水が入った厚さ1ミリの容器は、テラヘルツ波をほとんど完全に遮断してしまう。ゆえに、透過したテラヘルツ波から物質の情報を得るいわゆる透過分光が出来ない。

#### 【0006】

そこで水など非常に強い吸収スペクトル帯をテラヘルツ領域にもつ物質およびその中に含まれる分子などの吸収スペクトルや複素誘電率を求める方法として、非特許文献1に開示されているようなプリズムでの全反射時に発生するテラヘルツ波のエバネッセント波を用いる方法が知られている。これは、テラヘルツ波発生源から発せられたテラヘルツ波をプリズムの第一の面に入射させ、第二の面で全反射し、第三の面から出射したテラヘルツ波を検出器で検出し、第二の面でテラヘルツ波が全反射するに伴い発生するテラヘルツ波のエバネッセント波と相互作用するように第二の面上に試料を設置することで、試料を分光学的に分析する方法である。この方法では、固体・粉末・液体などの形態の試料を分析することができる。

20

【非特許文献1】第51回応用物理学関係連合講演会予稿集28p-YF-7

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0007】

30

非特許文献1の方法では空間光学系を用いているため、システムの小型化が困難であり、また光学調整が困難である。そこで、本発明はシステムの小型化や光学調整の容易な検出装置を提供するものである。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0008】

そこで、本発明は、

被対象物を透過した電磁波の状態を検出するための検出装置であって、

電磁波を発生するための発生手段と、

前記電磁波を伝送するための伝送路と、

前記電磁波を検出するための検出手段とを備え、

40

前記伝送路中で前記電磁波が分布する領域の一部に通路を有し、

前記発生手段により発生した電磁波が、前記通路中の被測定対象物を透過し、前記検出手段により前記電磁波の状態を検出する検出装置を提供するものである。

#### 【0009】

ここで、前記発生手段や前記検知手段は、1つでもいいが、複数設ければ測定精度が上がる所以より好ましい。

#### 【発明の効果】

#### 【0010】

本発明により、微装置自体の小型化、光学調整の軽減が図れる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

50

**【0011】**

以下に具体的に説明する。テラヘルツ波を導波する伝送路の内部（例えば導波路のコア、金属導波管（金属平行平板導波路を含む）の内部、伝送線路の接地線と信号線に挟まれた誘電体部分など）に、液体や紛体など流動性を持つ物質を導入できる流路を持つことが好ましいが、被対象物質を伝送路中に配置できる通路であればなんでもよい。前記流路は電磁波の伝搬方向と平行ではなく、また伝送路中における電磁が強く分布している領域を通過するよう設置されていることが好ましい。前記伝送路を導波するテラヘルツ波と前記流路中にある流動性を持つ物質が相互作用し、前記流動性を持つ物質を透過したテラヘルツ波の伝搬状態・スペクトルが変化することを利用し、前記流動性物質を前記流路に導入する前後のテラヘルツ波の伝搬状態・スペクトルを比較することで、前記流動性物質の物性を調べたり、物質の同定を行ったりするものである。

10

**【0012】**

前記流路のテラヘルツ波伝搬方向に対する厚さを十分薄くすることで、水など非常に強い吸収を持つ物質に対しても前記テラヘルツ波は前記試料を透過できるようにする。

**【0013】**

前記伝送路として導波路を用いる場合は、導波路を構成するクラッドおよびコアの一部に空隙を設けることで流路としても良い。また前記伝送路として金属導波管を用いる場合は、金属導波管を構成する導波管内部の空洞内部に誘電体でできたパイプ状の中空部材を設けることで流路としても良いし、あるいは導波管内部が誘電体で満たされている場合は、前記誘電体の一部に空隙を設けることで流路としても良い。また前記伝送路として伝送線路を用いる場合は、伝送線路を構成する設置線と信号線の間の誘電体部分の一部に空隙を設けることで、流路としても良い。

20

**【0014】**

前記伝送線路として金属導波管を用いる場合で、かつ金属導波管内部が空洞である場合は、空洞内部に誘電体でできたパイプ状の中空部材を設けることで流路とすることができる。この場合流路を構成するパイプ状の中空部材は低損失・低分散・低屈折率な誘電体であることが望ましい。また金属導波管内部を誘電体で満たし、前記誘電体の一部に空隙を設けることで流路とする場合は、前記誘電体は低損失・低分散・低屈折率であることが望ましい。この流路を設けることにより、微量の資料しか得られない場合でも測定可能になる。さらに、流路を外気から遮蔽した状態で設けることにより、外気に対し敏感に影響される物質のセンシングが可能になる。

30

**【0015】**

テラヘルツ波は、外部から伝送路に結合させてもよいが、テラヘルツ波発生源を伝送路の一部に集積化させても良い。例えば導波路や導波管を用いる場合は、導波路や導波管の端面にテラヘルツ波発生源を集積化させても良いし、伝送線路を用いる場合は、伝送線路上にテラヘルツ波発生源を集積化させても良い。また同様に、伝送路を伝搬したテラヘルツ波を外部に放射させテラヘルツ波検出器でテラヘルツ波を検出しても良いが、テラヘルツ波検出器を伝送路の一部に集積化しても良い。この場合テラヘルツ波が空気中の水分の影響を受けないことや、光学調整が不要になることや、小型化が図れるといった利点がある。

40

**【0016】**

テラヘルツ波発生源および発生方法として、低温成長ヒ化ガリウム上に形成された光伝導アンテナに電圧をかけフェムト秒レーザを照射する方法が一例として挙げられる。テラヘルツ波発生源の集積化の一例として、前記光伝導アンテナを例えば導波管の一端面に設置しても良い。またテラヘルツ波検出器として、光伝導アンテナに電圧をかけずにフェムト秒レーザを照射し、電流を測定する方法が挙げられる。テラヘルツ波検出器の集積化の一例として、前記光伝導アンテナを導波管の単面のうちテラヘルツ波が透過して来る方の端面に設置しても良い。これにより、テラヘルツ波が空気中の水分の影響を受けることなく、センシングが可能になる。

**【0017】**

50

またテラヘルツ波が透過して来る方の端面に電気光学効果をもつE O結晶（例えばZnTe）を設置し、E O結晶の結晶方位・テラヘルツ波の偏光方向を適切に選ぶことで、E O結晶の反射率や屈折率が偏光依存性を持って変化する現象を利用した公知の方法を用いても良い。

#### 【0018】

またテラヘルツ波発生源を集積化する方法の別の例として、非線形性を持った物質（たとえばDAST結晶）を導波管や導波路の内部や端面に設置しても良い。

#### 【0019】

また例えば血液のように別の場所から試料を採取する必要があるとき、被測定対象物を取得するための手段として採取器具（例えば注射針）と得られた被測定対象物を通路に接続するための接続手段として前記流路を別の流路（例えばチューブ）で接続することで、試料の採取と同時に試料を所定の位置に設置できる。また、流路中の試料は外気と接触する面積が小さいため、外気に影響されやすい試料を測定する上で有利である。10

#### 【0020】

流動性試料に含まれる特定（一種類または複数種類）の粒子または分子をセンシングする場合、流路の一端から流動性試料を導入し、別の一端に特定の粒子または分子を透過せずその他の流動性物質（例えば水）を透過するフィルタ（例えば半透膜）を設けることでき、センシング部における特定の粒子または分子の濃度を高めつつセンシングを行なうことができる。この方法では、試料の濃縮とセンシングを続けてまたは同時に行なうことができ、作業効率上有利である。20

#### 【0021】

また、流路の壁面に特定（一種類または複数種類）の粒子または分子を吸着あるいは結合する物質を設置し、流動性物質に含まれる特定の粒子または分子を流路壁面に捉え、前記粒子または分子を吸着または結合したことによって前記流路壁面に設置された物質の複素誘電率や吸収スペクトルの変化から、流動性試料およびその中に含まれる粒子または分子のセンシングができる。

#### 【0022】

以下に、本発明による光学素子の実施形態について、図面を参照して説明する。

#### 【実施例1】

#### 【0023】

本発明による第一の実施例は、図1のような導波路および図2のような測定・感知・分析装置を提供するものである。以下詳細を図1および図2に示しながら説明する。平行平板導波路10は、金属板11aおよび11bが、ポリスチレン板12を挟む構造となっている。前記ポリスチレン板12には、空隙13が設けられている。金属板11aと11bの向かい合う面の間隔は約100μmである。また金属板11aと11bの典型的な大きさは、x方向、z方向ともに10mmから20mm程度である。空隙13はx方向に約50μmである。空隙13には、流体など流動性を持った試料を導入することができる。この例では、金属板11a、11bの間隔を100μmとしたが、これに限るものではない。また金属板11aおよび11bに挟まれた部材としてポリスチレンを挙げたが、これに限るものではない。金属板11aおよび11bに挟まれた部材としては、テラヘルツ波に対し吸収（損失）・分散が十分小さいものであれば、他の誘電体（樹脂や半導体）でも良い。また屈折率が1に近い方が望ましい。また金属板11a、11bの替わりに、導電率の高い半導体を用いても良い。3040

#### 【0024】

平行平板導波路10を伝播するテラヘルツ波は空隙13に導入された流動性を持つ試料と相互作用する。空隙13に前記流動性試料導入する前後で、平行平板導波路10を透過したテラヘルツ波のスペクトルが変化したり、伝搬状態が変化したりすることを利用して、前記流動性物質の計測・感知・分析ができる。

#### 【0025】

以下に、センシング系全体の説明を図2を用いてする。フェムト秒レーザ20から発せ50

られた 100 fs ( フェムト秒 ) 程度のパルス幅を持つレーザ光をビームスプリッター 21 で二つに光路を分け、一方を低温成長させた GaAs ( LT - GaAs ) 等で作製したバイアスされた光伝導アンテナ 22a のギャップ部に照射してテラヘルツ波パルス 27 を発生させる ( 光伝導アンテナの背面には高抵抗 Si などでできた半球レンズを密着させる ) 。テラヘルツ波パルス 27 は放物面鏡 23a 、高抵抗 Si ( 例えれば 10 k cm ) などで作られた半円筒レンズ 24a を経て、平行平板導波路 10 の第一端から平行平板導波路 10 に結合する。テラヘルツ波パルスは平行平板導波路 10 中の空隙 13 中に導入された試料 ( 図示せず ) と相互作用した後、平行平板導波路 10 の第二端から半円筒レンズ 24b 、放物面鏡 23b を経て光伝導アンテナ 22b に到達する。一方、ビームスプリッター 21 で分けられたレーザ光のもう一方は、時間遅延器 28 、ミラー 25 などを経て光伝導アンテナ 22b にテラヘルツ波パルスと同時に到達する。このとき時間遅延器 28 を用いて、時間遅延器 28 を経て光伝導アンテナ 22b に到達したレーザ光と、平行平板導波路 10 を経て光伝導アンテナ 22b に到達したテラヘルツ波パルスが到着するタイミングをずらすことで、テラヘルツ波パルスの波形が求められる。時間遅延器 28 を経たフェムト秒レーザ光が光伝導アンテナ 22b に照射されると、フェムト秒レーザのパルス時間幅と光伝導アンテナ 22b を構成する半導体膜のキャリア寿命に応じた時間だけ、光伝導アンテナ 22b に電流が流れる。このときの電流の大きさは、光伝導アンテナ 22b に入射するテラヘルツ波 27 の電場振幅の大きさを反映したものであることから、光伝導アンテナに流れる電流を計測することでテラヘルツ波パルス 27 の波形が得られ、これをフーリエ変換することでテラヘルツ波パルス 27 のスペクトルが得られる。

#### 【 0026 】

平行平板導波路は TEM モードで電磁波を伝搬できる。ゆえに空隙 13 に試料が存在しないときは、テラヘルツ波パルス 27 は平行平板導波路 10 の前後でパルス波形の形状を変えることなく平行平板導波路 10 を伝搬する。すなわち空隙 13 に試料が存在しない時は、平行平板導波路 10 に入射する前のテラヘルツ波パルス 27 の波形と、平行平板導波路 10 を透過したとのテラヘルツ波パルス 27 の波形はほぼ相似である。

#### 【 0027 】

空隙 13 は x 方向に 50 μm 程度と十分薄いので、水などテラヘルツ波をよく吸収する試料が空隙 13 を満たしていても、平行平板導波路 10 を伝搬するテラヘルツ波は吸収し尽くされずに空隙 13 を透過することが出来る。

#### 【 0028 】

次に、本実施例における計測の一例を、図 3 を用いて具体的に述べる。図 3 は、本発明の実施例によって得られるテラヘルツ波のスペクトルを模式的に表したものである。まず、図 1 における空隙 13 に流動性試料を導入していない状態で、平行平板導波路 10 を透過するテラヘルツ波の波形を記録し、フーリエ変換してパワースペクトル 30 を求める。次に流動性試料を図 1 における空隙 13 に導入した上で、平行平板導波路 10 を透過したテラヘルツ波の波形を記録し、フーリエ変換したパワースペクトル 31 を求める。パワースペクトル 31 と 30 の比を求ることで、流動性試料のテラヘルツ波に対する吸収スペクトル 32 が求められる。

#### 【 0029 】

この方法では、空隙 13 の容積が十分小さく、必要とする試料は微量であるので、高価な試料 ( 例えれば抗体を含む溶液 ) を検査する上で有利である。

#### 【 0030 】

またここでテラヘルツ波パルス発生方法として光伝導アンテナによる方法を挙げたが、他の方法 ( 例えれば非線形結晶にフェムト秒レーザを照射する方法や、パラメトリック発振を利用した方法 ) を用いても良い。また、検出方法も、例えれば電気光学結晶を用いた公知の方法などを用いても良い。

#### 【 実施例 2 】

#### 【 0031 】

本発明による第 2 の実施例は、図 4 に示すように、光伝導アンテナ 33a 、 33b を平

10

20

30

40

50

行平板導波路 10 の両端に設けることである。ただし、光伝導アンテナ 33a、33b には高抵抗 Si などできた半球レンズ等は密着させない。この場合、テラヘルツ波空間伝搬光学系の光軸調整が不要になり、系の小型化が図れる。

#### 【0032】

光伝導アンテナ 33a、33b は、典型的には y 方向と z 方向に数ミリから 1 センチ程度の大きさの基板を持つ。金属板 11a、11b、およびポリスチレン板 12、空隙 13 の典型的な大きさは、実施例 1 と同じであるが、金属板 11a、11b の y 方向の長さ（厚さ）を 5 ミリ程度以上にすることで、光伝導アンテナ 22a、22b を平行平板導波路 10 の両端に設けることを可能にする。

#### 【0033】

または図 5 のように、平行平板導波路 10 の各々の端面に光伝導アンテナ 33a、および電気光学効果を持つ物質である EO 結晶 34（例えば ZnTe）を設けてもよい。この場合、フェムト秒レーザを光伝導アンテナ 33a に照射することによって発生したテラヘルツ波が空隙 13 を透過した後 EO 結晶 34 に到達し、到達したテラヘルツ波の電波の振幅に応じて EO 結晶 34 のレーザ光に対する反射率が変化することでテラヘルツ波の振幅を求めるという公知の技術を用いてテラヘルツ波を検出する。

#### 【0034】

また平行平板導波路 10 の一端に、光伝導素子 33a の変わりに DAST 結晶や InP などの非線形光学結晶を設置してもよい。この場合、フェムト秒レーザを直接照射することでテラヘルツが発生する。

#### 【実施例 3】

#### 【0035】

本発明第 3 の実施例を、図 6 に示し以下に説明する。平行平板導波路 10 を構成する金属板 11a、11b の間に、ポリスチレンなどテラヘルツ波に対し吸収・損失および分散が小さい材料で出来た中空部材 40 を挟んだ構造である。この構造では、例えば中空部材 40 の先にチューブ 41 を接続し、チューブ 41 の先に注射針 42 を接続することで、人体から血液を採取と同時に導波路中へ導き、血液のテラヘルツ透過スペクトルを容易に得ることができる。

#### 【0036】

本実施例では、流動性試料の採取と試料の計測・感知・分析を連続して行なうことができる。

#### 【実施例 4】

#### 【0037】

本発明による第 4 の実施例は、平行平板導波路の替わりに断面が方形または円形の導波管を用いたものである。図 7 に示したように、断面が方形の導波管中 50 に流動性試料導入のための中空部材 40 を設ける。方形導波管の断面の典型的な大きさは、x 方向、y 方向ともに 100 μm から 200 μm である。このような導波管を用いると、平行平板導波路に比べ小型化が図れる点で有利である。

#### 【0038】

また、伝送線路において信号線とグラウンドの間に流動性試料を導入できる空隙を設けてもよい。図 8 のように、伝送線路 60（図の例ではマイクロストリップライン）の信号線 61 とグラウンド 62 の間に流路 63 を設けたものである。伝送線路中に流路を設けることで、同一基板上に試料導入流路とテラヘルツ導波部分（伝送線路）を一体化して作製することが出来、更なる小型化が図れる。

#### 【実施例 5】

#### 【0039】

本発明による第 5 の実施例を、図 9 に示しながら以下に説明する。実施例 1 に示したような、空隙 13 を持った平行平板導波路 10 において、空隙 13 の一部にフィルタ 14 を設ける。空隙 13 の一端でフィルタ 14 が設置された側を空隙 13 の第一端とし、第一端の反対の端を第二端とする。例えば体液中に含まれるある種のたんぱく質をセンシングす

10

20

30

40

50

る場合、水を透過し前記のある種のたんぱく質を透過しないフィルタ（例えば半透膜）を設置する。第二端より空隙 13 中に体液を流しつづけることで、空隙 13 中における前記ある種のたんぱく質の濃度は上昇し、前記ある種のたんぱく質の透過スペクトルを高感度に精度よく測定することができる。

#### 【0040】

この方法では、試料の高濃度化とセンシングが同一部分でできるため、試料の移し替えなどの手間が省ける。

#### 【実施例 6】

#### 【0041】

本発明による第 6 の実施例を、図 10 に示しながら以下に説明する。実施例 1 に示した 10 ような空隙 13 を持った平行平板導波路 10 において、空隙 13 の内側に溶液中の特定な物質と特異的に結合もしくは吸着する物質 15（例えばビオチン）を施す。前記物質 15 と特異的に結合する物質 16（例えばアビジン）を含む溶液を空隙 13 に流す。水溶液中の前記物質 16 が空隙 13 の内側に施された前記物質 15 に結合し、テラヘルツ波の周波数領域における前記物質 15 の複素誘電率、吸収スペクトルが変化することを利用して物質のセンシングを高感度に行うことができる。この実施例の方法では、特定の物質のセンシングを高感度に行うことができるほか、透過テラヘルツ波のスペクトルから物質 15 に非特異的に吸着する物質と特異的に吸着する物質を、区別することも可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0042】

【図 1】計測・感知・分析装置に用いる、流路を備えた平行平板導波路

【図 2】計測・感知・分析装置

【図 3】計測・感知・分析方法の模式図

【図 4】両端に光伝導素子を設置した、流路を備えた平行平板導波路

【図 5】一端に光伝導素子を設置し、別の一端に E O 結晶を設置した、流路を備えた平行 20 平板導波路

【図 6】試料採取機能と流路を備えた平行平板導波路

【図 7】流路を備えた方形型導波管

【図 8】流路を備えた伝送線路

【図 9】フィルタを有した流路を備えたテラヘルツセンサ導波路

【図 10】特定の物質に特異的に吸着・結合する物質を施した流路を備えたテラヘルツセ 30 クンサ導波路

#### 【符号の説明】

#### 【0043】

10 平行平板導波路

11 a , b 金属板

12 ポリスチレン板

13 空隙

14 フィルタ

15 溶液中の物質と特異的に結合もしくは吸着する物質

16 水溶液中にあり、物質 15 と特異的に結合もしくは吸着する物質

20 フェムト秒レーザ

21 ビームスプリッター

22 a , b 光伝導アンテナ

23 a . b 放物面鏡

24 a , b 半円筒レンズ

25 ミラー

26 時間遅延器

27 テラヘルツ波パルス

30 空隙に試料がないときのテラヘルツ波スペクトル

10

20

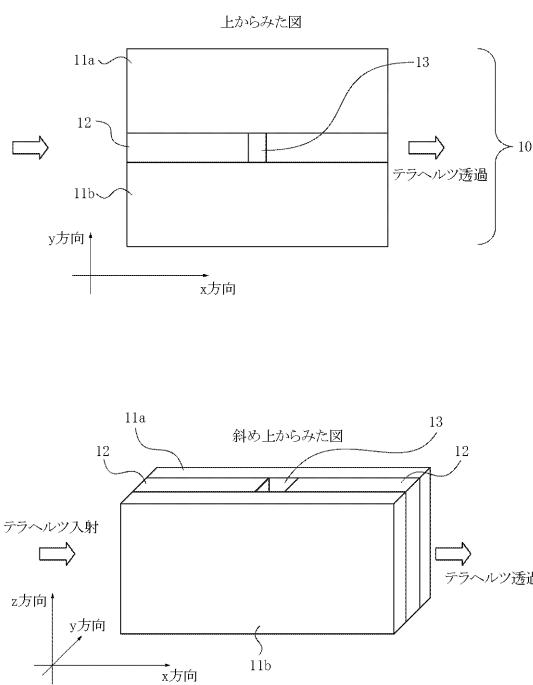
30

40

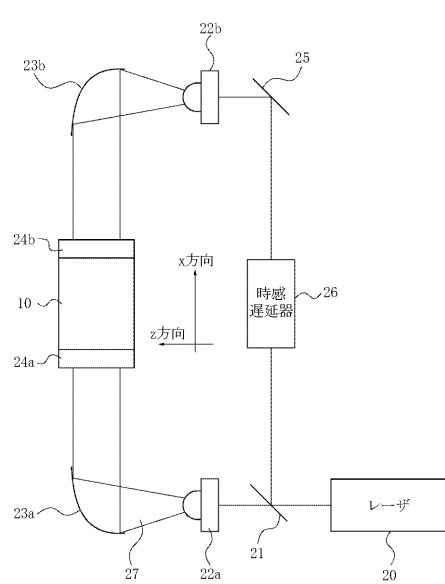
50

- 3 1 空隙に試料があるときのテラヘルツ波スペクトル  
 3 2 空隙に試料があるときとないときのテラヘルツ波スペクトルの比  
 3 3 a , b 光伝導アンテナ  
 3 4 EO 結晶  
 4 0 中空部材  
 4 1 チューブ  
 4 2 注射針  
 5 0 方形導波管  
 6 0 伝送線路  
 6 1 信号線  
 6 2 グラウンド  
 6 3 流路
- 10

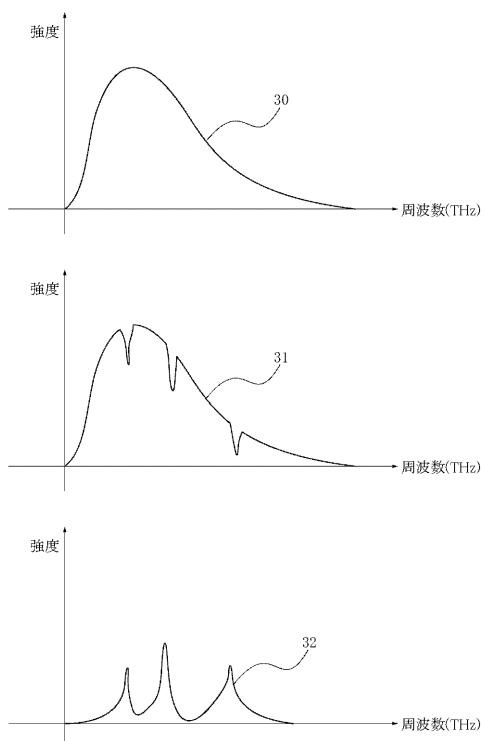
【図 1】



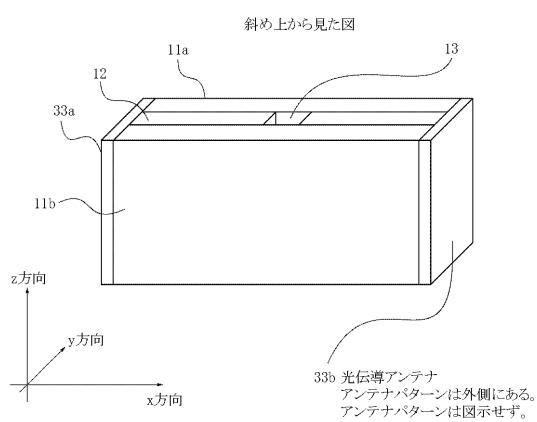
【図 2】



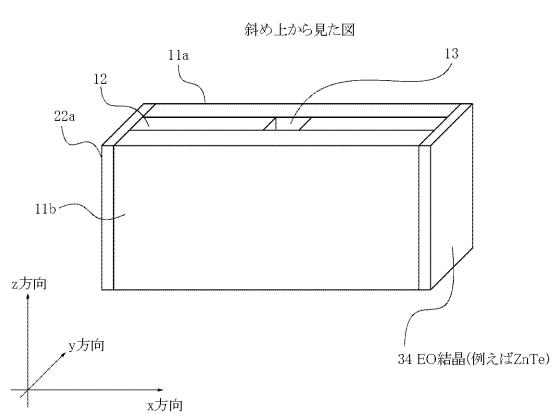
【図3】



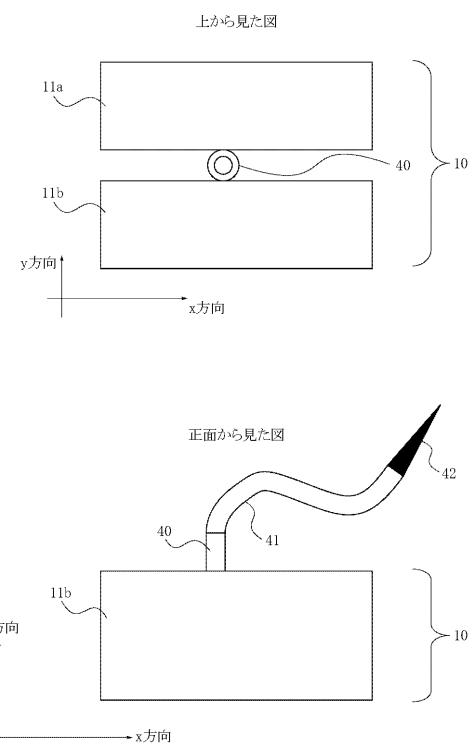
【図4】



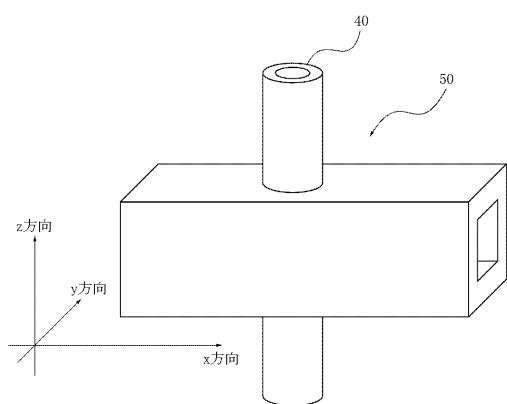
【図5】



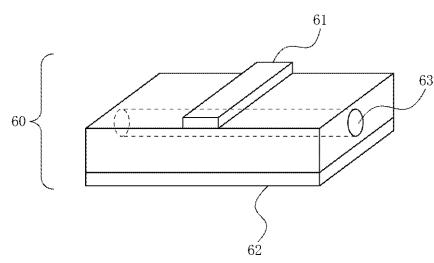
【図6】



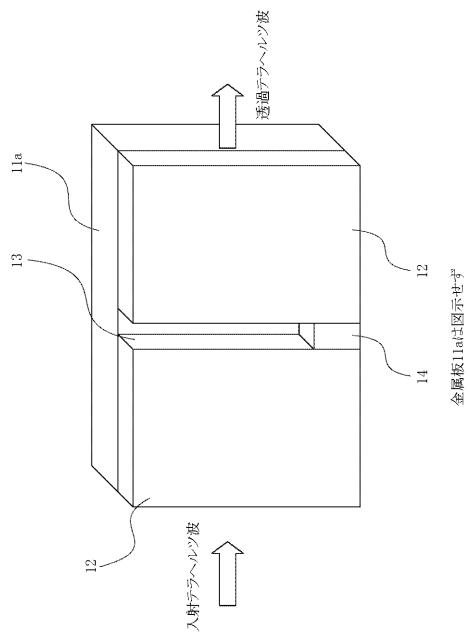
【図7】



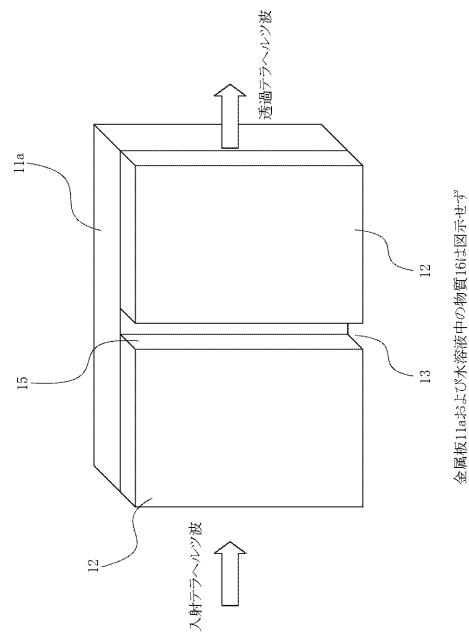
【図8】



【図9】



【図10】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2004-317573(JP,A)  
特開2004-069395(JP,A)  
特開2004-085353(JP,A)  
国際公開第00/050859(WO,A1)  
E. Knoesel 外3名, "Charge Transport and Carrier Dynamics in Liquids Probed by THz Time-Domain Spectroscopy", Physical Review Letters, 2001年 1月 8日, Vol. 86, Issue 2, pp. 340-343, doi:10.1103/PhysRevLett.86.340  
J. Zhang 外1名, "Waveguide terahertz time-domain spectroscopy of nanometer water layers", OPTICS LETTERS, 2004年 7月 15日, Vol.29, No.14, pp.1617-1619  
武田 三男, "フォトニックフラクタルを用いたテラヘルツ電磁波制御の研究", 大阪大学接合科学研究所共同研究報告, 2004年10月, pp.221-223

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N21/00 - 21/61  
JST Plus (JDreamII)  
IEEE  
Science Direct  
Science Citation Index Expanded (Web of Science)