

(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2011-228572

(P2011-228572A)

(43) 公開日 平成23年11月10日(2011.11.10)

(51) Int.Cl.
H01S 1/02 (2006.01)

F I
H01S 1/02

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2010-98684 (P2010-98684)
(22) 出願日 平成22年4月22日 (2010. 4. 22)

(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 100106459
弁理士 高橋 英生
(74) 代理人 100105500
弁理士 武山 吉孝
(74) 代理人 100103735
弁理士 鈴木 隆盛
(74) 代理人 100118821
弁理士 祖父江 栄一

最終頁に続く

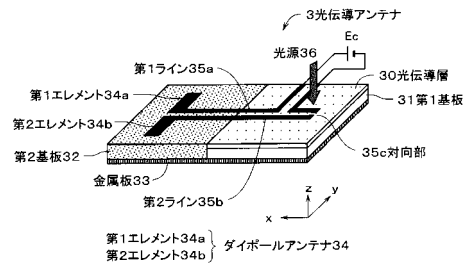
(54) 【発明の名称】 テラヘルツ電磁波発生装置

(57) 【要約】

【課題】 光伝導膜を有していても放射利得等のアンテナ性能を向上する。

【解決手段】 金属板33の上に第1基板31と第2基板32とが横方向に配列されて設けられている。第1基板の表面に光伝導層30が形成されており、第2基板の表面に第1エレメント34a、第2エレメント34bからなるダイポールアンテナ34が形成されている。ダイポールアンテナ34の給電点から引き出された第1ライン35aおよび第2ライン35bは、第2基板32の表面から第1基板31の光伝導層30上に形成されており、第1ライン35aの中途が切断されてバイアス電源Ecが印加されている。第1ライン35aの端部と第2ライン35bの端部とが対向する対向部35cにパルス状の光を照射することにより、ダイポールアンテナ34からテラヘルツ電磁波が放射される。

【選択図】 図15



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

金属板と、

該金属板上に配置され、光が照射された際に自由電子が生じる比誘電率 r_1 の光伝導層が表面に形成された絶縁性の第 1 基板と、

前記金属板上に前記第 1 基板の横に隣接して密着するよう配置された比誘電率 r_2 の絶縁性の第 2 基板と、

該第 2 基板の表面に形成された導電性のダイポール素子と、

該ダイポール素子の給電点から引き出され、前記第 2 基板の表面から前記第 1 基板における前記光伝導層上にわたって形成された第 1 ラインおよび第 2 ラインと、

前記光伝導層上に形成されている前記第 1 ラインと前記第 2 ラインの端部が所定の間隔で対向している対向部と、

該対向部にパルス状の光を照射する光源と、

前記第 1 ラインと前記第 2 ラインとの間に電源を印加するバイアス電源とを備え、

比誘電率 $r_1 > \text{比誘電率 } r_2$ とされていることを特徴とするテラヘルツ電磁波発生装置。

10

【請求項 2】

光が照射された際に自由電子が生じる光伝導層が一面に形成され、他面に金属層が形成された比誘電率 r_1 の絶縁性の第 1 基板と、

前記金属層上に配置された比誘電率 r_2 の絶縁性の第 2 基板と、

20

該第 2 基板の表面に形成された導電性のダイポール素子と、

該ダイポール素子の給電点から引き出され、前記第 2 の基板、前記金属層、前記第 1 の基板および前記光伝導層を貫通して、前記光伝導層上に形成された第 1 ラインおよび第 2 ラインと、

前記光伝導層上に形成されている前記第 2 ラインに形成された切欠部と、

該切欠部にパルス状の光を照射する光源と、

前記第 1 ラインの端部と、前記第 2 ラインの端部との間に印加されたバイアス電源とを備え、

比誘電率 $r_1 > \text{比誘電率 } r_2$ とされていることを特徴とするテラヘルツ電磁波発生装置。

30

【請求項 3】

前記ダイポール素子が形成されている前記第 2 基板の表面に、前記ダイポール素子から発生されたテラヘルツ電磁波を収束するレンズが設けられていることを特徴とする請求項 1 または 2 記載のテラヘルツ電磁波発生装置。

【請求項 4】

前記第 2 基板の表面に複数のダイポール素子が配列されて形成され、各ダイポール素子の給電点が前記第 1 ラインおよび前記第 2 ラインに並列に接続されていることを特徴とする請求項 1 または 2 記載のテラヘルツ電磁波発生装置。

【請求項 5】

前記第 1 基板における比誘電率 r_1 と前記第 2 基板における比誘電率 r_2 との比である r_1 / r_2 が、約 4 以上とされていることを特徴とする請求項 1 または 2 記載のテラヘルツ電磁波発生装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、テラヘルツ電磁波を効率的に発生することのできるテラヘルツ電磁波発生装置に関する。

【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

50

電磁波とされており、波長が赤外～遠赤外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ーによる材料のキャラクタリゼーション、環境計測、生物や医学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100 Gbps級の超高速無線通信が可能となる。特に半導体製作による光伝導アンテナは、製作が容易でテラヘルツ時間領域分光法などで既に多くの実績を有している。

10

【0003】

従来のテラヘルツ電磁波発生装置とされる光伝導アンテナ100の一構成例を図17に示す。

図17に示す光伝導アンテナ100は、GaAs (Gallium Arsenide) 基板とされる第1基板111の一面に光伝導膜110とされる低温成長GaAs膜を形成し、光伝導膜110の上に平行伝送線路からなる導電性の第1ライン112aおよび第2ライン112bを蒸着等により形成している。GaAsは、Ga (ガリウム) とAs (砒素) の化合物からなる化合物半導体である。第1ライン112aおよび第2ライン112bのほぼ中央には、対向部112cで対向する導電性の第1エレメント113aおよび第2エレメント113bが形成されている。対向部112cの間隔は、例えば数 μm 程度とされる。このような構成の光伝導アンテナ100において、第1ライン112aと第2ライン112bとの間に直流のバイアス電圧 E_c を印加する。この状態では、第1ライン112aと第2ライン112bとの間是对向部112cにより絶縁されているため電流は流れない。そこで、光源114から 10^{-15} 秒程度のフェムト秒パルスレーザー光を対向部112cに照射する。パルスレーザー光を対向部112cに照射すると、対向部112cにおける光伝導膜110中に光導電効果により自由キャリアが生じ、この自由キャリアがバイアス電圧 E_c により加速されることにより、第1エレメント113aおよび第2エレメント113bを介して第1ライン112aと第2ライン112b間にサブピコ秒(10^{-12} 秒)程度のパルス状の電流が流れる。このパルス状の電流によって第1エレメント113aおよび第2エレメント113bが励振されて、テラヘルツ電磁波が第1エレメント113aおよび第2エレメント113bから放射される。なお、第1エレメント113aおよび第2エレメント113bはダイポールアンテナ113として作用する。

20

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2006-313803号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

図17に示す従来の光伝導アンテナ100では、テラヘルツ電磁波は光伝導膜110および第1基板111を介してz軸方向に放射される。そこで、従来の光伝導アンテナ100におけるy-z面(E面)とx-z面(H面)の放射指向特性を図18に示す。図18を参照すると、y-z面(E面)の放射指向特性においては、約 $\pm 16^\circ$ 方向の放射界が高くされているが、z軸方向とされる 0° 方向(正面方向)のメインビームの放射界は小さくなっている。さらに、 $\pm 180^\circ$ 方向にはほぼ放射されない。また、x-z面(H面)の放射指向特性においては、z軸方向とされる 0° 方向(正面方向)にメインビームが放射され、メインビームの両側とされる約 $\pm 30^\circ$ 方向にサイドローブが放射されている。この場合のメインビームおよびサイドローブの最大放射界はほぼ同様とされているが、y-z面(E面)の最大放射界より小さくなっている。また、 $\pm 180^\circ$ 方向にはほぼ放射されない。

40

50

【 0 0 0 6 】

このように、従来の光伝導アンテナ 1 0 0 においては正面方向の放射利得が低下している。この原因は、低温成長 GaAs を材料とする光伝導膜 1 1 0 の比誘電率 ϵ_r が約 1.3 の高誘電率とされて、光伝導膜 1 1 0 で損失を受けていること、および、第 1 基板 1 1 および光伝導膜 1 1 0 の境界面において反射していることが原因と考えられる。しかしながら、光伝導膜 1 1 0 の材料としては、光源 1 1 4 からレーザ光が照射された際に生じる自由電子のキャリア寿命が短いと共にキャリア移動度が大きい材料とする必要があり、このような材料の比誘電率は、一般的に高いことが知られている。すると、光伝導膜を有することが必須の構成要件とされる光伝導アンテナでは、放射利得等のアンテナ性能を向上することができないという問題点があった。

10

そこで、本発明は、光伝導膜を有していてもアンテナ性能を向上することができるテラヘルツ電磁波発生装置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】

【 0 0 0 7 】

上記目的を達成するために、本発明のテラヘルツ電磁波発生装置は、金属板と、該金属板上に配置され、光が照射された際に自由電子が生じる比誘電率 $\epsilon_r 1$ の光伝導層が表面に形成された絶縁性の第 1 基板と、前記金属板上に前記第 1 基板の横に隣接して密着するように配置された比誘電率 $\epsilon_r 2$ の絶縁性の第 2 基板と、該第 2 基板の表面に形成された導電性のダイポール素子と、該ダイポール素子の給電点から引き出され、前記第 2 基板の表面から前記第 1 基板における前記光伝導層上にわたって形成された第 1 ラインおよび第 2 ラインと、前記光伝導層上に形成されている前記第 1 ラインと前記第 2 ラインの端部が所定の間隔で対向している対向部と、該対向部にパルス状の光を照射する光源と、前記第 1 ラインと前記第 2 ラインとの間に電源を印加するバイアス電源とを備え、比誘電率 $\epsilon_r 1 > \epsilon_r 2$ とされていることを最も主要な特徴としている。

20

【発明の効果】

【 0 0 0 8 】

本発明によれば、パルス状の光が照射される光伝導層上に形成されている対向部が、第 2 基板上に形成されているダイポール素子の給電部として作用するようになり、対向部から給電されたダイポール素子からテラヘルツ電磁波が放射されるようになる。この場合、対向部が形成されている光伝導層は比誘電率が高くされるが、ダイポール素子が形成されている第 2 基板の比誘電率を低くすることができる。これにより、放射利得等のアンテナ性能を向上することができるテラヘルツ電磁波発生装置とすることができる。

30

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 9 】

【図 1】本発明のテラヘルツ電磁波発生装置の第 1 実施例にかかる光伝導アンテナの構成を一部破断して示す斜視図である。

【図 2】本発明のテラヘルツ電磁波発生装置の第 1 実施例にかかる光伝導アンテナの構成を断面図で示す側面図である。

【図 3】本発明のテラヘルツ電磁波発生装置の第 1 実施例にかかる光伝導アンテナの x - z 面の放射特性を示す図である。

40

【図 4】本発明のテラヘルツ電磁波発生装置の第 1 実施例にかかる光伝導アンテナの y - z 面の放射特性を示す図である。

【図 5】本発明のテラヘルツ電磁波発生装置にかかる光伝導アンテナの解析モデルの構成を示す斜視図である。

【図 6】本発明のテラヘルツ電磁波発生装置にかかる光伝導アンテナの解析モデルの構成を示す側面図である。

【図 7】本発明のテラヘルツ電磁波発生装置にかかる光伝導アンテナの解析モデルの入力インピーダンスの周波数特性を示す図である。

【図 8】本発明のテラヘルツ電磁波発生装置にかかる光伝導アンテナの解析モデルの反射損失の周波数特性を示す図である。

50

【図 9】本発明のテラヘルツ電磁波発生装置にかかる光伝導アンテナの他の解析モデルの入力インピーダンスの周波数特性を示す図である。

【図 10】本発明のテラヘルツ電磁波発生装置にかかる光伝導アンテナの他の解析モデルの反射損失の周波数特性を示す図である。

【図 11】本発明のテラヘルツ電磁波発生装置にかかる光伝導アンテナの解析モデルの x - z 面の放射特性を示す図である。

【図 12】本発明のテラヘルツ電磁波発生装置にかかる光伝導アンテナの解析モデルの y - z 面の放射特性を示す図である。

【図 13】本発明のテラヘルツ電磁波発生装置にかかる光伝導アンテナの解析モデルの高さを変えた際の入力インピーダンス特性を示す図である。

【図 14】本発明のテラヘルツ電磁波発生装置の第 2 実施例にかかる光伝導アンテナの構成を一部破断して示す斜視図である。

【図 15】本発明のテラヘルツ電磁波発生装置の第 3 実施例にかかる光伝導アンテナの構成を示す斜視図である。

【図 16】本発明のテラヘルツ電磁波発生装置の第 4 実施例にかかる光伝導アンテナの構成を示す斜視図である。

【図 17】従来の光伝導アンテナの構成を示す斜視図である。

【図 18】従来の光伝導アンテナの y - z 面および x - z 面の放射特性を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

本発明のテラヘルツ電磁波発生装置の第 1 実施例にかかる光伝導アンテナの構成を一部破断して示す斜視図を図 1 に示し、その光伝導アンテナの構成を断面図で示す側面図を図 2 に示す。

これらの図に示す第 1 実施例の光伝導アンテナ 1 は、絶縁性あるいは半絶縁性の所定厚みの第 1 基板 11 の一面に光伝導層 10 が形成され、第 1 基板 11 の他面に金属層 12 が蒸着等により形成されている。第 1 基板 11 は、例えば GaAs (Gallium Arsenide) 基板とされ、光伝導層 10 の材料は、例えば低温成長 GaAs (比誘電率 ϵ_r は約 13) とされ、金属層 12 の材料は金、銀、アルミニウムや銅等とされる。GaAs は、Ga (ガリウム) と As (砒素) の化合物からなる化合物半導体である。金属層 12 の上面には所定厚みの絶縁性の第 2 基板 13 が貼着されて一体化されている。第 2 基板 13 の材料は、例えばフッ素樹脂 (比誘電率 ϵ_r は約 3) とされる。この第 2 基板 13 の上面に、第 1 エlement 15a および第 2 エlement 15b からなるダイポールアンテナ 15 が蒸着等により形成されている。第 1 エlement 15a と第 2 エlement 15b とが対向する給電点となる端部から、第 1 ライン 16a および第 2 ライン 16b がそれぞれ内部に向かってほぼ平行に引き出されて、第 2 基板 13、金属層 12、第 1 基板 11 および光伝導層 10 を貫通して光伝導層 10 の外表面上にわたり形成されている。このように、第 1 ライン 16a および第 2 ライン 16b は L 字状に屈曲されて形成されている。そして、光伝導層 10 上に形成されている第 2 ライン 16b には切欠部 16c が形成されている。この場合、金属層 12 と第 1 ライン 16a および第 2 ライン 16b とが短絡しないように、金属層 12 にはライン 16a、16b の外形寸法より大きな寸法の孔部が形成される。また、切欠部 16c の間隔は、例えば数 μm 程度とされると共に、第 1 ライン 16a および第 2 ライン 16b とでコプレーナラインを形成することができる。第 1 エlement 15a および第 2 エlement 15b からなるダイポールアンテナ 15 が形成されている第 2 基板 13 の上面には、レンズ 14 が貼着されている。

【0011】

このような構成の第 1 実施例の光伝導アンテナ 1 において、第 1 ライン 16a の端部と第 2 ライン 16b の端部との間に直流のバイアス電圧 E_c を印加する。この状態では、第 2 ライン 16b は切欠部 16c により絶縁されている。ここで、光源 17 から 10^{-15} 秒程度のフェムト秒パルスレーザ光を第 2 ライン 16b における切欠部 16c に照射する。パルスレーザ光を切欠部 16c に照射すると、切欠部 16c における光伝導層 10 中に光

10

20

30

40

50

導電効果により自由キャリアが生じ、この自由キャリアがバイアス電圧 E_c により加速されることにより、切欠部 16c にサブピコ秒 (10^{-12} 秒) 程度のパルス状の電流が流れる。このパルス状の電流は第 1 ライン 16a および第 2 ライン 16b を介して第 1 エlement 15a および第 2 エlement 15b に供給されて、テラヘルツ電磁波が第 1 エlement 15a および第 2 エlement 15b から放射される。このように、切欠部 16c が第 1 エlement 15a および第 2 エlement 15b からなるダイポールアンテナ 15 の給電部となる。この場合、第 2 基板 13 の下面に配置された金属層 12 の作用により、ダイポールアンテナ 15 から放射されたテラヘルツ電磁波が反射され、z 軸方向に放射されたテラヘルツ電磁波と合成されることにより z 軸方向へ強く放射される。合成されたテラヘルツ電磁波は、レンズ 14 により収束されて放射されるようになる。なお、ダイポールアンテナ 15 の電気長は、放射されるテラヘルツ電磁波の波長を λ とした際に約 $\lambda/2$ の長さとなる。また、第 2 基板 13 の厚さは約 $\lambda/4$ の電気長に相当する厚さとするのが好適とされる。さらに、レンズ 14 は、例えばシリコンレンズとされ、図 2 に示すようにレンズ 14 の上部形状が凸状の膨出部 14a を備える形状とされて、テラヘルツ電磁波を収束している。なお、レンズ 14 を省略しても良い。

10

20

30

40

50

【0012】

第 1 実施例の光伝導アンテナ 1 における x - z 面の放射特性を図 3 に示し、y - z 面の放射特性を図 4 に示す。放射されるテラヘルツ電磁波の周波数は約 500 GHz とされている。ただし、図 3 および図 4 に示す放射特性は第 2 基板 13 の誘電体損 ($\tan \delta$) が無いものとした時の放射特性である。

図 3 を参照すると、光伝導アンテナ 1 の放射方向とされる x - z 面の 0° 方向 (z 軸方向) に B 点で示す約 5.6 dBi の高い放射利得のビームが放射されている。また、光伝導アンテナ 1 の下面方向には非常に小さいサイドローブしか放射されていないことが分かる。また、図 4 を参照すると光伝導アンテナ 1 の放射方向とされる y - z 面の 0° 方向 (z 軸方向) に B 点で示す約 5.6 dBi の高い放射利得のビームが放射されている。また、光伝導アンテナ 1 の下面方向にはわずかしか放射されていないことが分かる。このように、本発明の第 1 実施例の光伝導アンテナ 1 において、高い放射利得が得られるのは、図 17 に示す従来の光伝導アンテナ 100 のようにテラヘルツ電磁波が比誘電率が高く損失の多い光伝導膜 110 を透過することなく直接自由空間に放射される構成とされると共に、比誘電率 ϵ_r が約 3 と低く損失の少ない第 2 基板 13 を透過して金属層 12 で反射された反射波が、直接波にほぼ同相で合成されるからと考えられる。

【0013】

次に、本発明の第 1 実施例にかかる光伝導アンテナ 1 の解析モデルを図 5 および図 6 に示す。図 5 は光伝導アンテナ 1 の解析モデル 1' の構成を示す斜視図であり、図 6 は光伝導アンテナ 1 の解析モデル 1' の構成を示す側面図である。

本発明の第 1 実施例にかかる光伝導アンテナ 1 においては、テラヘルツ電磁波は金属層 12 で反射されて金属層 12 より下方へは放射されないため、第 2 基板 13 の上面に第 1 エlement 15a および第 2 エlement 15b が形成され、下面に金属層 12 が配置された図 5、図 6 に示す構成を解析モデル 1' の構成とすることができる。この図 5、図 6 に示す解析モデル 1' において、設計周波数 f を 500 GHz とし、その自由空間の波長を λ で表すと λ は約 0.6 mm となる。そして、解析モデル 1' において設計した寸法を波長 λ を用いて表すと、第 2 基板 13 の長さ L_1 と幅 L_2 とは約 1.41 λ とされ、第 2 基板 13 の高さ H は約 0.17 λ とされ、ダイポールアンテナ 15 の長さ E_L の電気長は約 0.5 λ とされ、第 1 エlement 15a と第 2 エlement 15b とが対向する給電点の間隔 D は約 0.03 λ とされる。なお、第 2 基板 13 の比誘電率 ϵ_r は約 3.0 とされている。

【0014】

この寸法条件により時間領域差分法シミュレータによりシミュレーションした解析モデル 1' の入力インピーダンスの周波数特性を図 7 に、反射損失の周波数特性を図 8 に示す。300 GHz から 500 GHz まで周波数をスキャンさせた際の入力インピーダンスが

図7に示されており、図7を参照すると、入力インピーダンスの実部は周波数が300 GHzの時に約20 となり、周波数が高くなるにつれて次第に上昇していき、周波数が385 GHzにおいて約49.6 となり、周波数が500 GHzにおいては約170 となる。また、入力インピーダンスの虚部は周波数が300 GHzの時に約-100 となり、周波数が高くなるにつれて次第に上昇していき、周波数が385 GHzにおいて約0 となり、その後飽和して下降していき周波数が500 GHzにおいては約51 となる。また、300 GHzから500 GHzまで周波数をスキャンさせた際の反射損失が図8に示されており、図8を参照すると、反射損失は周波数が300 GHzの時には約-1 dBしか得られていないが、周波数が高くなるにつれて次第に減衰していき、周波数が385 GHzにおいて共振して-30 dB以下の良好な反射損失が得られている。そして、周波数が385 GHzを超えていくと共振から外れて減衰量が少なくなっていく、周波数が500 GHzにおいては約-5 dBの減衰量となっている。

10

20

30

40

50

【0015】

上記した寸法では、約385 GHzにおいて共振しており、この際に入力インピーダンスの虚部が約0 になると共に実部が約49.6 となって、50 の特性インピーダンスに整合されるようになる。このように、約385 GHzにおいて共振するのは第2基板13が誘電体とされて、その比誘電率 ϵ_r に基づいて波長が短縮されるからである。比誘電率 ϵ_r が3.0の場合は、波長短縮率は約71%になる。そこで、約385 GHzにおいて共振している上記した寸法をスケールリングすることにより約500 GHzに共振するように設計する。すなわち、解析モデル1'における各部の寸法を、 $385/500 = 0.77$ 倍する。スケールリング後の解析モデル1'の寸法は、第2基板13の長さL1と幅L2とは約1.07 (約0.64 mm)とされ、第2基板13の高さHは約0.13 (約0.078 mm)とされ、ダイポールアンテナ15の長さELの電気長は約0.27とされる。ただし、第1エレメント15aと第2エレメント15bとが対向する給電点の間隔Dは共振周波数に影響を与えないことからスケールリングされず約0.03 (約0.018 mm)とされる。

【0016】

上記したようにスケールリングした寸法の解析モデル1'における入力インピーダンスの周波数特性を図9に、反射損失の周波数特性を図10に示す。400 GHzから600 GHzまで周波数をスキャンさせた際の入力インピーダンスが図9に示されており、図9を参照すると、入力インピーダンスの実部は周波数が400 GHzの時に約20 となり、周波数が高くなるにつれて次第に上昇していき、周波数が500 GHzにおいて約47.3 となり、周波数が600 GHzにおいては約123 となる。また、入力インピーダンスの虚部は周波数が400 GHzの時に約-85 となり、周波数が高くなるにつれて次第に上昇していき、周波数が500 GHzにおいて約0 となり、その後飽和するよう上昇していき周波数が600 GHzにおいては約62 となる。

【0017】

また、400 GHzから600 GHzまで周波数をスキャンさせた際の反射損失が図10に示されており、図10を参照すると、反射損失は周波数が400 GHzの時には約-1 dBしか得られていないが、周波数が高くなるにつれて次第に減衰していき、周波数が500 GHzにおいて共振して-20 dB以下の良好な反射損失が得られている。そして、周波数が500 GHzを超えていくと共振から外れて減衰量が少なくなっていく、周波数が600 GHzにおいては約-6 dBの減衰量となる。

このようにスケールリングすることにより、解析モデル1'を500 GHzで共振するよう設計することができる。このことから、スケールリングをすることにより、400 GHzや600 GHzなどの周波数に共振するよう設計することができるようになる。

【0018】

次に、図5, 図6に示す解析モデル1'におけるy-z面の放射特性を図11に示し、x-z面の放射特性を図12に示す。この場合、解析モデル1'の寸法は上記したように500 GHzにスケールリングした寸法とされ、周波数は約500 GHzとされている。

図 1 1 を参照すると、解析モデル 1' の放射方向とされる $y - z$ 面の 0° 方向 (z 軸方向) に C 点で示す約 5.8 dBi の高い放射利得のビームが放射されている。また、解析モデル 1' の下面方向には非常に小さいサイドローブしか放射されていないことが分かる。また、図 1 2 を参照すると解析モデル 1' の放射方向とされる $x - z$ 面の 0° 方向 (z 軸方向) に C 点で示す約 5.8 dBi の高い放射利得のビームが放射されている。また、解析モデル 1' の下面方向にはわずかしか放射されていないことが分かる。また、周波数を 490 GHz にした場合は、解析モデル 1' における $y - z$ 面および $x - z$ 面の放射特性はほぼ同様となり、 0° 方向 (z 軸方向) の放射利得として若干増加した約 5.9 dBi が得られ、反射損失としては約 -19.3 dB が得られる。さらに、周波数を 510 GHz とした場合は、解析モデル 1' における $y - z$ 面および $x - z$ 面の放射特性はほぼ同様となり、 0° 方向 (z 軸方向) の放射利得として若干低下した約 5.7 dBi が得られ、反射損失としては約 -20.8 dB が得られる。

10

20

30

40

50

【0019】

次に、解析モデル 1' において第 2 基板 13 の高さ H をパラメータとした際の入力インピーダンス特性を図 1 3 に示す。

第 2 基板 13 の高さ H を 0.1 から 0.2 まで変化した際の入力インピーダンスの実部と虚部の変化を図 1 3 に示されている。図 1 3 を参照すると、入力インピーダンスの実部は高さ H が 0.1 の時に約 30 となり、高さ H が 0.125 、 0.15 と高くなるにつれて次第に上昇していく。そして、高さ H が 0.15 を超えると緩やかに上昇していき、高さ H が 0.2 となると約 68 になる。また、入力インピーダンスの虚部は高さ H が 0.1 の時に約 0 となり、高さ H が 0.125 を超えるまではほぼ 0 オームとなる。高さ H が 0.125 を超えていくと次第に虚部の絶対値が大きくなっていき、高さ H が 0.2 になると約 -35 となる。図 1 3 を参照すると、高さ H を約 0.13 とすることにより、 50 の特性インピーダンスに整合することのできる入力インピーダンスが得られることが分かる。

【0020】

このように、解析モデル 1' において、高い放射利得が得られるのは、図 1 7 に示す従来の光伝導アンテナ 100 のようにテラヘルツ電磁波が比誘電率が高く損失の多い光伝導膜 110 を透過することなく直接自由空間に放射される構成とされると共に、比誘電率 ϵ_r が約 3 と低く損失の少ない第 2 基板 13 を透過して金属層 12 で反射された反射波が、直接波にほぼ同相で合成されるからと考えられる。そして、上述した解析モデル 1' に基づいて、図 1、図 2 に示す第 1 実施例の光伝導アンテナ 1 が具現化されており、光伝導アンテナ 1 の各部の寸法は解析モデル 1' における各部の寸法と同様とされている。

なお、上記説明した図 7 ないし図 1 3 の特性は、第 2 基板 13 の誘電体損 ($\tan \delta$) が低いものとした時の特性である。

【0021】

次に、本発明のテラヘルツ電磁波発生装置の第 2 実施例にかかる光伝導アンテナの構成を一部破断して示す斜視図を図 1 4 に示す。

図 1 4 に示す第 2 実施例の光伝導アンテナ 2 は、絶縁性あるいは半絶縁性の所定厚みの第 1 基板 21 の一面に光伝導層 20 が形成され、第 1 基板 21 の他面に金属層 22 が蒸着等により形成されている。第 1 基板 21 は、例えば GaAs 基板とされ、光伝導層 20 の材料は、例えば低温成長 GaAs (比誘電率 ϵ_r は約 13) とされ、金属層 22 の材料は金、銀、アルミニウムや銅等とされる。金属層 22 の上面には所定厚みの絶縁性の第 2 基板 23 が貼着されている。第 2 基板 23 の材料は、例えばフッ素樹脂 (比誘電率 ϵ_r は約 3) とされる。この第 2 基板 23 の上面に、第 1 エlement 25a1 および第 2 エlement 25b1 からなる第 1 ダイポールアンテナ 25-1 と、第 1 エlement 25a2 および第 2 エlement 25b2 からなる第 2 ダイポールアンテナ 25-2 と、第 1 エlement 25a3 および第 2 エlement 25b3 からなる第 3 ダイポールアンテナ 25-3 の 3 つのダイポールアンテナが蒸着等により形成されている。

【0022】

3つの第1エレメント25a1~25a3と3つの第2エレメント25b1~25b3とが対向する第1ダイポールアンテナ25-1~第3ダイポールアンテナ25-3の給電点から、3本の第1ライン26a1, 26a2, 26a3および3本の第2ライン26b1, 26b2, 26b3がそれぞれ内部に向かってほぼ平行に引き出されている。第1ライン26a1~26a3および第2ライン26b1~26b3は、第2基板23、金属層22、第1基板21および光伝導層20を貫通して、光伝導層20の外表面上に引き出されており、光伝導層20の外表面上に沿って第1共通ライン26dおよび第2共通ライン26eが形成されている。そして、第1ライン26a1~26a3および第2ライン26b1~26b3がそれぞれ第1共通ライン26dおよび第2共通ライン26eに接続されている。光伝導層20上に形成されている第2共通ライン26eには切欠部26cが形成されている。この場合、金属層22と第1ライン26a1~26a3および第2ライン26b1~26b3とが短絡しないように、金属層22には第1ライン26a1~26a3および第2ライン26b1~26b3の外形寸法より大きな寸法の孔部が形成される。また、切欠部26cの間隔は、例えば数 μm 程度とされると共に、第1共通ライン26dおよび第2共通ライン26eとでコプレーナラインを形成することができる。第1ダイポールアンテナ25-1~第3ダイポールアンテナ25-3が形成されている第2基板23の上面には、レンズ24が貼着されている。

10

【0023】

このような構成の第2実施例の光伝導アンテナ2において、第1共通ライン26dおよび第2共通ライン26eの端部との間に直流のバイアス電圧 E_c を印加する。この状態では、第2共通ライン26eは切欠部26cにより絶縁されており、第1共通ライン26dおよび第2共通ライン26eに電流は流れない。ここで、光源27から 10^{-15} 秒程度のフェムト秒パルスレーザ光を第2共通ライン26eにおける切欠部26cに照射する。パルスレーザ光を切欠部26cに照射すると、切欠部26cにおける光伝導層20中に光導電効果により自由キャリアが生じ、この自由キャリアがバイアス電圧 E_c により加速されることにより、切欠部26cにサブピコ秒(10^{-12} 秒)程度のパルス状の電流が流れる。このパルス状の電流は第1共通ライン26dおよび第2共通ライン26eと、第1ライン26a1~26a3および第2ライン26b1~26b3とを介して第1ダイポールアンテナ25-1~第3ダイポールアンテナ25-3に同相に供給されて、テラヘルツ電磁波が第1ダイポールアンテナ25-1~第3ダイポールアンテナ25-3からそれぞれ放射される。なお、第1ダイポールアンテナ25-1、第2ダイポールアンテナ25-2、第3ダイポールアンテナ25-3に同相で給電されるように、給電線路の長さの違いは n とされている。ただし、 n は整数、 λ は使用する周波数の波長である。これにより、第1ダイポールアンテナ25-1ないし第3ダイポールアンテナ25-3から放射されるテラヘルツ電磁波の位相が同相となる。

20

30

【0024】

このように、切欠部26cが3組の第1ダイポールアンテナ25-1~第3ダイポールアンテナ25-3の給電部となる。この場合、第2基板23の下面に配置された金属層22の作用により、第1ダイポールアンテナ25-1~第3ダイポールアンテナ25-3から放射されたテラヘルツ電磁波が反射され、この反射波が z 軸方向に同相で放射されたテラヘルツ電磁波とほぼ同相で合成されることにより z 軸方向へ強く放射される。合成されたテラヘルツ電磁波は、レンズ24により収束されるようになる。この場合、光伝導アンテナ4は3つのダイポールアンテナ25-1~25-3から同相でテラヘルツ電磁波が放射されるアレーアンテナとされていることから、 z 軸方向により強く電磁波が放射される。なお、第1ダイポールアンテナ25-1~第3ダイポールアンテナ25-3の電気長は、放射されるテラヘルツ電磁波の波長を λ とした際に約 $\lambda/2$ の長さとなる。また、第2基板23の厚さは、放射されるテラヘルツ電磁波の波長を λ とした際に約 $\lambda/4$ の電気長が得られる厚さとされるのが好適である。さらに、レンズ24は、例えばシリコンレンズとされ、レンズ24の上部形状が凸状の膨出部を備える形状とされて、テラヘルツ電磁波を収束している。なお、レンズ24を省略しても良い。

40

50

【 0 0 2 5 】

第 2 実施例の光伝導アンテナ 2 は、3 組の第 1 ダイポールアンテナ 2 5 - 1 ~ 第 3 ダイポールアンテナ 2 5 - 3 からなるアレーアンテナを備え、z 軸方向へ同相で放射されることからビームが鋭くなり放射利得を第 1 実施例の光伝導アンテナ 1 より向上することができる。なお、本発明の第 2 実施例の光伝導アンテナ 2 においても、テラヘルツ電磁波が比誘電率が高く損失の多い光伝導膜を透過することなく直接自由空間に放射される構成とされると共に、比誘電率 r_2 が約 3 と低く損失の少ない第 2 基板 2 3 を透過して金属層 2 2 で反射された反射波が、直接波にほぼ同相で合成されることから、高い放射利得を得ることができる。

【 0 0 2 6 】

次に、本発明のテラヘルツ電磁波発生装置の第 3 実施例にかかる光伝導アンテナの構成を示す斜視図を図 1 5 に示す。

図 1 5 に示す第 3 実施例の光伝導アンテナ 3 は、金属板 3 3 の上に絶縁性あるいは半絶縁性の所定厚みの第 1 基板 3 1 と、所定厚みの絶縁性の第 2 基板 3 2 とが横方向に密着するように接着されて一体になるよう配置されている。第 1 基板 3 1 の表面には光伝導層 3 0 が形成されている。第 1 基板 3 1 は、例えば GaAs 基板とされ、光伝導層 3 0 の材料は、例えば低温成長 GaAs (比誘電率 r_1 は約 13) とされ、第 2 基板 3 2 の材料は、例えばフッ素樹脂 (比誘電率 r_2 は約 3) とされ金属板 3 3 の材料は金、銀、アルミニウムや銅等とされる。この第 2 基板 3 2 の表面に、第 1 エlement 3 4 a および第 2 エlement 3 4 b からなるダイポールアンテナ 3 4 が蒸着等により形成されている。第 1 エlement 3 4 a と第 2 エlement 3 4 b とが対向するダイポールアンテナ 3 4 の給電点から、第 1 ライン 3 5 a および第 2 ライン 3 5 b がほぼ平行に第 2 基板 3 2 の表面に形成されている。

【 0 0 2 7 】

この第 1 ライン 3 5 a および第 2 ライン 3 5 b は第 1 基板 3 1 側へ延伸されて、第 1 基板 3 1 の表面の光伝導層 3 0 上にも形成されている。光伝導層 3 0 上に形成されている第 1 ライン 3 5 a の中途は切断されて L 字状に折曲されて外部へ引き出されるように形成されている。また、第 1 ライン 3 5 a および第 2 ライン 3 5 b の先端部は対向部 3 5 c を介して対向するように形成されている。この場合、対向部 3 5 c の間隔は、例えば数 μm 程度とされると共に、第 1 ライン 3 5 a および第 2 ライン 3 5 b は金属板 3 3 がグランドプレーンとされてマイクロストリップラインを形成することができる。また、ダイポールアンテナ 3 4 が形成されている第 2 基板 3 2 の上面にレンズを設けるようにしてもよい。

このような構成の第 3 実施例の光伝導アンテナ 3 において、第 1 ライン 3 5 a の中途に形成された L 字状に折曲された端部間に直流のバイアス電圧 E_c を印加する。この状態では、第 1 ライン 3 5 a および第 2 ライン 3 5 b の間是对向部 3 5 c により絶縁されて電流は流れず、第 1 エlement 3 4 a および第 2 エlement 3 4 b からなるダイポールアンテナ 3 4 からの放射はない。

【 0 0 2 8 】

ここで、光源 3 6 から 10^{-15} 秒程度のフェムト秒パルスレーザー光を第 1 ライン 3 5 a における対向部 3 5 c に照射する。パルスレーザー光が対向部 3 5 c に照射されると、対向部 3 5 c における光伝導層 3 0 中に光導電効果により自由キャリアが生じ、この自由キャリアがバイアス電圧 E_c により加速されることにより、対向部 3 5 c にサブピコ秒 (10^{-12} 秒) 程度のパルス状の電流が流れる。このパルス状の電流により、第 1 ライン 3 5 a および第 2 ライン 3 5 b を介してダイポールアンテナ 3 4 が励振されて、テラヘルツ電磁波が第 1 エlement 3 4 a および第 2 エlement 3 4 b からなるダイポールアンテナ 3 4 から放射される。このように、対向部 3 5 c がダイポールアンテナ 3 4 の給電部となる。この場合、第 2 基板 3 2 の下面に配置された金属板 3 3 の作用により、ダイポールアンテナ 3 4 から下方へ放射されたテラヘルツ電磁波が反射され、この反射波は z 軸方向に放射されたテラヘルツ電磁波とほぼ同相で合成されることにより z 軸方向に強く放射される。なお、ダイポールアンテナ 3 4 の電気長は、放射されるテラヘルツ電磁波の波長を λ とし

10

20

30

40

50

た際に約 $\lambda/2$ の長さとなる。また、第2基板32の厚さは、放射されるテラヘルツ電磁波の波長を λ とした際に約 $\lambda/4$ の電気長が得られる厚さとなるのが好適となる。また、第2基板32の上面にレンズを設けると、テラヘルツ電磁波を収束することができる。

第3実施例の光伝導アンテナ3は、テラヘルツ電磁波が比誘電率が高く損失の多い光伝導膜を透過することなく直接自由空間に放射される構成とされると共に、比誘電率 r_2 が約3と低く損失の少ない第2基板32を透過して金属板33で反射された反射波が、直接波にほぼ同相で合成されることから、高い放射利得を得ることができる。

【0029】

次に、本発明のテラヘルツ電磁波発生装置の第4実施例にかかる光伝導アンテナの構成を示す斜視図を図16に示す。

図16に示す第4実施例の光伝導アンテナ4は、金属板43の上に絶縁性あるいは半絶縁性の所定厚みの第1基板41と、所定厚みの絶縁性の第2基板42とが横方向に密着するように接着されて一体になるよう配置されている。第1基板41の表面には光伝導層40が形成されている。第1基板41は、例えばGaAs基板とされ、光伝導層40の材料は、例えば低温成長GaAs（比誘電率 r_1 は約1.3）とされ、第2基板42の材料は、例えばフッ素樹脂（比誘電率 r_2 は約3）とされ金属板43の材料は金、銀、アルミニウムや銅等とされる。この第2基板42の表面に、第1エレメント44a1および第2エレメント44b1からなる第1ダイポールアンテナ44-1と、第1エレメント44a2および第2エレメント44b2からなる第2ダイポールアンテナ44-2と、第1エレメント44a3および第2エレメント44b3からなる第3ダイポールアンテナ44-3の3つのダイポールアンテナが蒸着等により形成されている。

【0030】

第2基板42の表面に第1ライン45aおよび第2ライン45bがほぼ平行に形成されており、3つの第1エレメント44a1~44a3の給電点が第1ライン45aにそれぞれ接続されており、3つの第2エレメント44b1~44b3の給電点が第2ライン45bにそれぞれ接続されている。この場合、第1ライン45aおよび第2ライン45bに接続される第1ダイポールアンテナ44-1ないし第3ダイポールアンテナ44-3の給電点の間の電気長は約 $n\lambda$ とされている。ただし、 n は整数、 λ は使用する周波数の波長である。これにより、第1ダイポールアンテナ44-1ないし第3ダイポールアンテナ44-3から放射されるテラヘルツ電磁波の位相が同相となる。

第1ライン45aおよび第2ライン45bは第1基板41側へ延伸されて、第1基板41の表面の光伝導層40上にも形成されている。光伝導層40上に形成されている第1ライン45aの中途は切断されてL字状に折曲されて外部へ引き出されるように形成されている。また、第1ライン45aおよび第2ライン45bの先端部は対向部45cを介して対向するように形成されている。この場合、対向部45cの間隔は、例えば数 μm 程度とされると共に、第1ライン45aおよび第2ライン45bは金属板43がグランドプレーンとされてマイクロストリップラインを形成することができる。また、3つのダイポールアンテナ44-1~44-3が形成されている第2基板42の上面にレンズを設けるようにしてもよい。

【0031】

このような構成の第4実施例の光伝導アンテナ4において、第1ライン45aの中途に形成されたL字状に折曲された端部間に直流のバイアス電圧 E_c を印加する。この状態では、第1ライン45aおよび第2ライン45bの間は対向部45cにより絶縁されて電流は流れず、第1エレメント44a1~44a3および第2エレメント44b1~44b3からなる3つのダイポールアンテナ44-1~44-3からの放射はない。ここで、光源46から 10^{-15} 秒程度のフェムト秒パルスレーザー光を第1ライン45aと第2ライン45bとの間に形成された対向部45cに照射する。パルスレーザー光が対向部45cに照射されると、対向部45cにおける光伝導層40中に光導電効果により自由キャリアが生じ、この自由キャリアがバイアス電圧 E_c により加速されることにより、対向部45cにサ

10

20

30

40

50

ブピコ秒 (10^{-12} 秒) 程度のパルス状の電流が流れる。このパルス状の電流により、第1ライン45aおよび第2ライン45bを介して3つのダイポールアンテナ44-1~44-3が励振されて、テラヘルツ電磁波が第1エレメント44a1~44a3および第2エレメント44b1~44b3からなる3つのダイポールアンテナ44-1~44-3から放射される。このように、対向部45cが3つのダイポールアンテナ44-1~44-3の給電部となる。

【0032】

この場合、第2基板42の下面に配置された金属板43の作用により、3つのダイポールアンテナ44-1~44-3から下方へ放射されたテラヘルツ電磁波が反射され、この反射波はz軸方向に同相で放射されたテラヘルツ電磁波とほぼ同相で合成されることによりz軸方向に強く放射される。この場合、光伝導アンテナ4は3つのダイポールアンテナ44-1~44-3から同相でテラヘルツ電磁波が放射されるアレーアンテナとされていることから、z軸方向により強く電磁波が放射される。なお、ダイポールアンテナ44-1~44-3の電気長は、放射されるテラヘルツ電磁波の波長を λ とした際に約 $\lambda/2$ の長さとなる。また、第2基板42の厚さは、放射されるテラヘルツ電磁波の波長を λ とした際に約 $\lambda/4$ の電気長が得られる厚さとなるのが好適となる。また、第2基板42の上面にレンズを設けると、テラヘルツ電磁波を収束することができる。

第4実施例の光伝導アンテナ4は、テラヘルツ電磁波が比誘電率が高く損失の多い光伝導膜を透過することなく直接自由空間に放射される構成とされると共に、比誘電率 ϵ_r が約3と低く損失の少ない第2基板42を透過して金属板43で反射された反射波が、直接波にほぼ同相で合成されると共にアレーアンテナとされていることから、高い放射利得を得ることができる。

【産業上の利用可能性】

【0033】

以上説明した本発明の光伝導アンテナにおいて、光伝導層の材料は低温成長GaAsに限らず、イオン注入InP (Indium Phosphide)、イオン注入シリコン、MOCVD (Metal Organic Chemical Vapor Deposition) CdTe (Cadmium Telluride)、イオン注入ゲルマニウム等のキャリア寿命が短く、移動度が大きい材料を用いることができる。また、上記した光伝導アンテナの寸法は一例であって、この寸法に限ることはない。

ここで、本発明の第1実施例の光伝導アンテナ1の製造方法の概略を説明すると、GaAsの第1基板11の一面にGaAsを低温成長させることにより光伝導層10を作成する。次いで、第1基板11の他面に金属層12を蒸着等により形成する。フッ素樹脂からなる第2基板13の上面に金属層を蒸着等により形成し、次いで、金属層をエッチングすることにより第1エレメント15aおよび第2エレメント15bからなるダイポールアンテナ15を形成する。光伝導層10の上面に金属層を蒸着等により形成して、金属層をエッチングすることにより第1ライン16aと、切欠部16cを備える第2ライン16bとを形成する。ここで、第1基板11の金属層12の上面に第2基板13の下面を貼着することにより、第1基板11上に第2基板13を一体化する。そして、ダイポールアンテナ15の給電点の位置からエッチングすることにより、第2基板13と金属層12と第1基板11と光伝導層10までスルーホールを形成する。次いで、スルーホール内を金属メッキしてスルーホールと第1ライン16aおよび第2ライン16bとに電氣的に接続する。これにより、第1実施例の光伝導アンテナ1を製造することができる。

【0034】

また、本発明の第2実施例の光伝導アンテナ2は、第1実施例の光伝導アンテナ1とほぼ同様の製造方法により製造することができる。さらに、本発明の第3実施例の光伝導アンテナ3は、第1基板31の表面にGaAsを低温成長させることにより光伝導層30を形成する。次いで、金属板33の上にGaAsの第1基板31と、フッ素樹脂からなる第2基板32とを横方向に密着させて接着する。第1基板31と第2基板32とは一側辺同士が接着される。そして、第1基板31および第2基板32の表面の全面に金属層を蒸着等により形成し、次いで、金属層をエッチングすることにより第1エレメント34aおよ

び第2エレメント34bからなるダイポールアンテナ34と、第1ライン35aおよび第2ライン35bを形成する。この際に、対向部35cも形成される。これにより、第3実施例の光伝導アンテナ3を製造することができる。本発明の第4実施例の光伝導アンテナ4は、第3実施例の光伝導アンテナ3とほぼ同様の製造方法により製造することができる。

【符号の説明】

【0035】

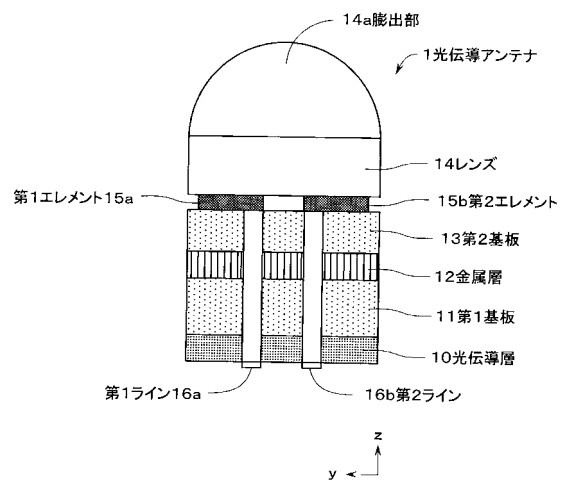
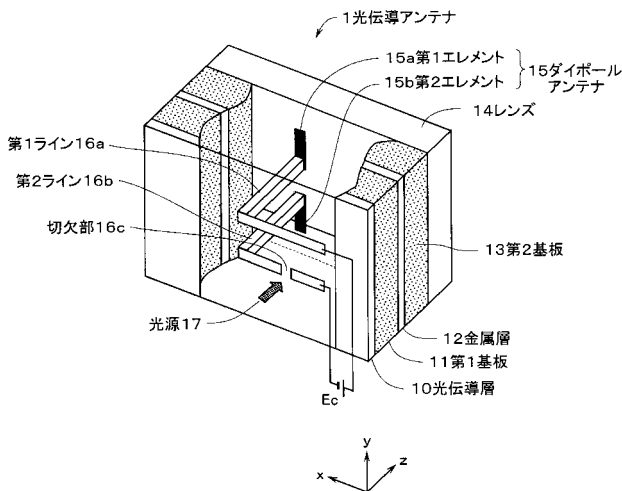
1 光伝導アンテナ、2 光伝導アンテナ、3 光伝導アンテナ、10 光伝導層、11 第1基板、12 金属層、13 第2基板、14 レンズ、14a 膨出部、15 ダイポールアンテナ、15a 第1エレメント、15b 第2エレメント、16a 第1ライン、16b 第2ライン、16c 切欠部、17 光源、20 光伝導層、21 第1基板、22 金属層、23 第2基板、24 レンズ、25 ダイポールアンテナ、25-1 第1ダイポールアンテナ、25-2 第2ダイポールアンテナ、25-3 第3ダイポールアンテナ、25a1, 25a2, 25a3 第1エレメント、25b1, 25b2, 25b3 第2エレメント、26a1, 26a2, 26a3 第1ライン、26b1, 26b2, 26b3 第2ライン、26c 切欠部、26d 第1共通ライン、26e 第2共通ライン、27 光源、30 光伝導層、31 第1基板、32 第2基板、33 金属板、34 ダイポールアンテナ、34a 第1エレメント、34b 第2エレメント、35a 第1ライン、35b 第2ライン、35c 対向部、36 光源、44-1 第1ダイポールアンテナ、44-2 第2ダイポールアンテナ、44-3 第3ダイポールアンテナ、44a1, 44a2, 44a3 第1エレメント、44b1, 44b2, 44b3 第2エレメント、45a 第1ライン、45b 第2ライン、45c 対向部、46 光源、100 光伝導アンテナ、110 光伝導膜、111 第1基板、112a 第1ライン、112b 第2ライン、112c 対向部、113 ダイポールアンテナ、113a 第1エレメント、113b 第2エレメント、114 光源

10

20

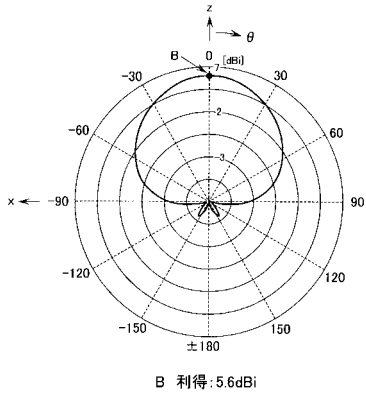
【図1】

【図2】

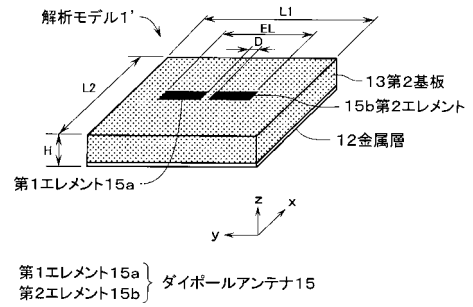


第1エレメント15a } ダイポールアンテナ15
第2エレメント15b }

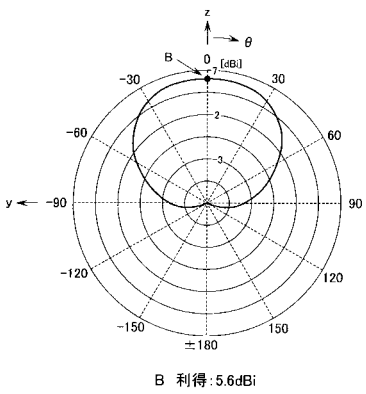
【 図 3 】



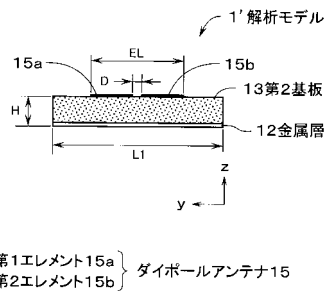
【 図 5 】



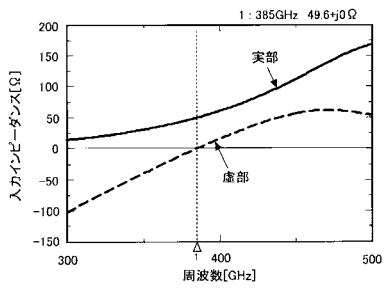
【 図 4 】



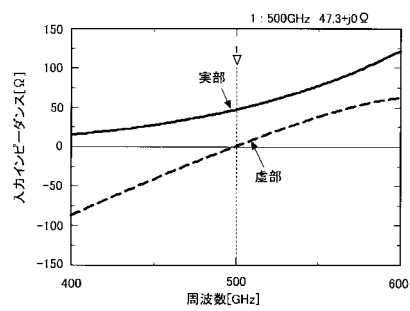
【 図 6 】



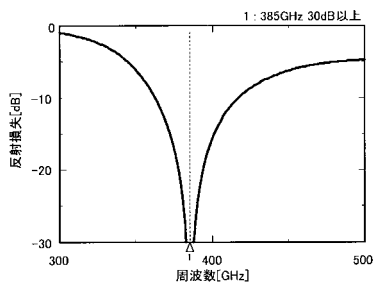
【 図 7 】



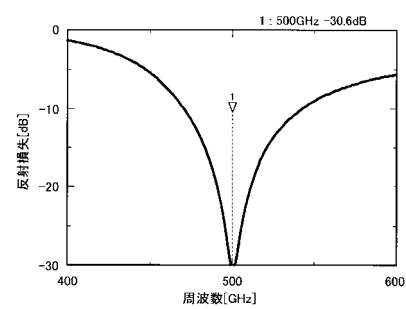
【 図 9 】



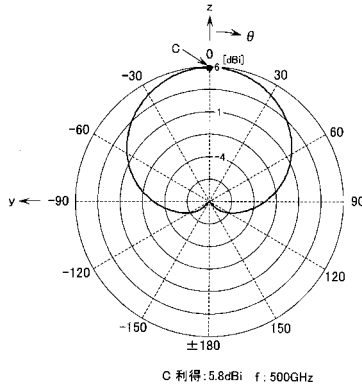
【 図 8 】



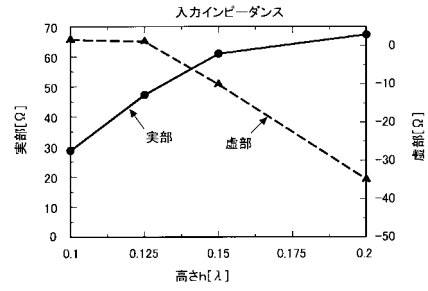
【 図 10 】



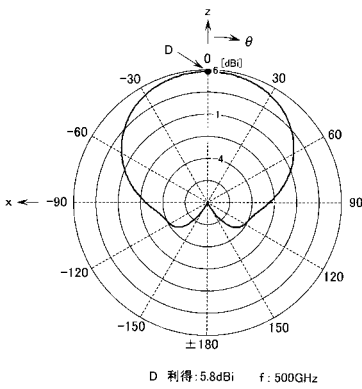
【図11】



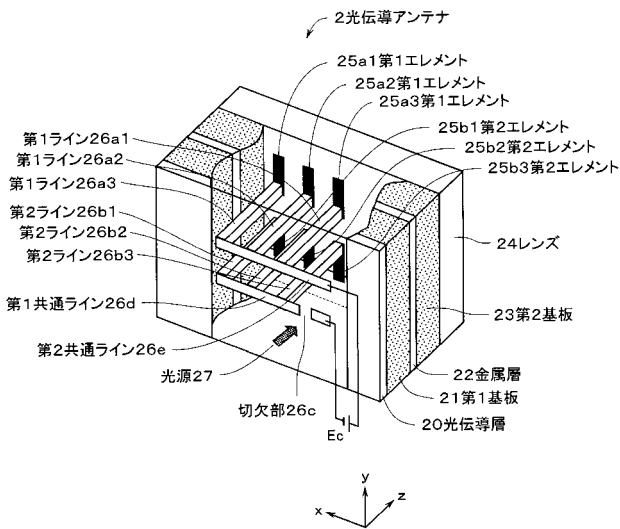
【図13】



【図12】

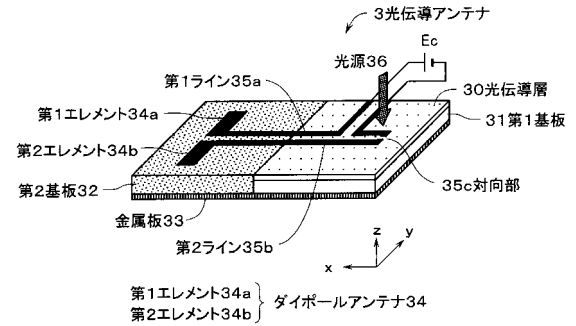


【図14】

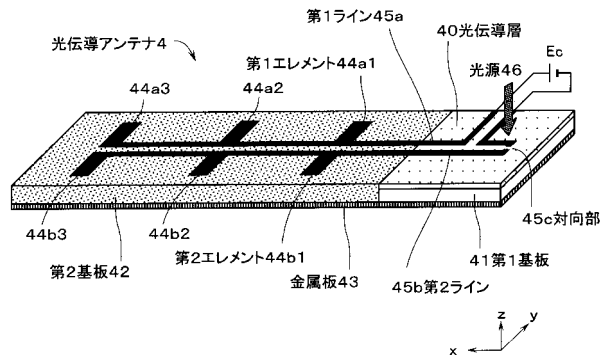


- 第1エレメント25a1 } 第1ダイポールアンテナ25-1
- 第2エレメント25b1 }
- 第1エレメント25a2 } 第2ダイポールアンテナ25-2
- 第2エレメント25b2 }
- 第1エレメント25a3 } 第3ダイポールアンテナ25-3
- 第2エレメント25b3 }

【図15】

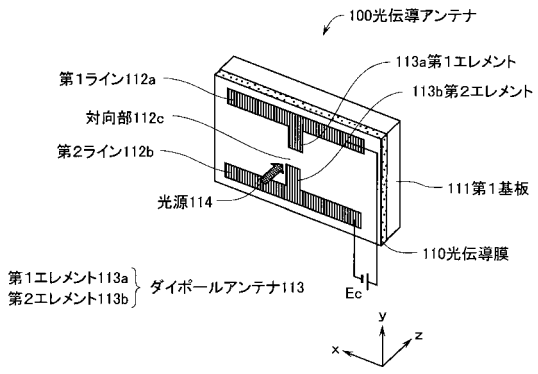


【図16】

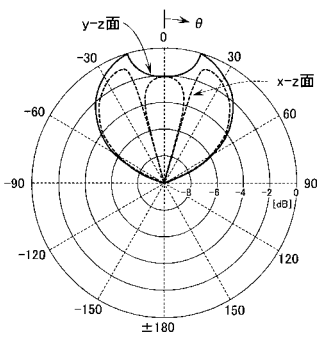


- 第1エレメント44a1 } 第1ダイポールアンテナ44-1
- 第2エレメント44b1 }
- 第1エレメント44a2 } 第2ダイポールアンテナ44-2
- 第2エレメント44b2 }
- 第1エレメント44a3 } 第3ダイポールアンテナ44-3
- 第2エレメント44b3 }

【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



フロントページの続き

- (72)発明者 鈴木 健仁
茨城県日立市中成沢町四丁目1番1号 国立大学法人茨城大学 工学部内
- (72)発明者 今井 洋
茨城県日立市中成沢町四丁目1番1号 国立大学法人茨城大学 工学部内
- (72)発明者 阿久井 仁志
茨城県日立市中成沢町四丁目1番1号 国立大学法人茨城大学 工学部内