

(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2015-49096

(P2015-49096A)

(43) 公開日 平成27年3月16日(2015.3.16)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)
G 0 1 N 21/3586 (2014.01) G 0 1 N 21/35 1 0 6 2 G 0 5 9

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2013-179889 (P2013-179889)	(71) 出願人	301023238
(22) 出願日	平成25年8月30日 (2013. 8. 30)		独立行政法人物質・材料研究機構
			茨城県つくば市千現一丁目2番地1
		(72) 発明者	渡邊 誠
			茨城県つくば市千現一丁目2番地1 独立
			行政法人物質・材料研究機構内
		(72) 発明者	デミトリ ブルガレビッチ
			茨城県つくば市千現一丁目2番地1 独立
			行政法人物質・材料研究機構内
		(72) 発明者	志波 光晴
			茨城県つくば市千現一丁目2番地1 独立
			行政法人物質・材料研究機構内
		Fターム(参考)	2G059 AA01 AA02 AA05 BB12 BB20
			EE01 EE05 EE12 FF04 GG01
			GG08 HH01 JJ11 JJ14 JJ22
			KK01 MM01 NN01

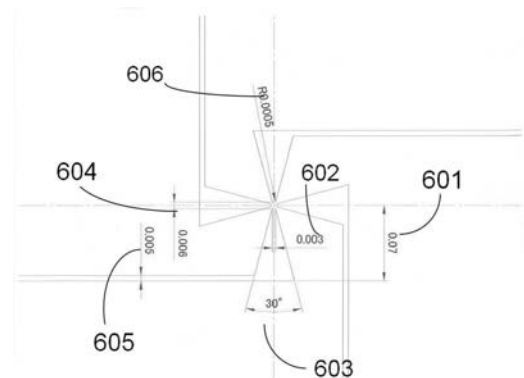
(54) 【発明の名称】 偏光感受性テラヘルツ波検出器

(57) 【要約】

【課題】物質内の組織の違いから、透過率や吸光率の差を測定し、これらを可視化するのに好適なテラヘルツ時間領域分光分析用の偏光感受性テラヘルツ波検出器を提供する。

【解決手段】蝶ネクタイ型(bowie-tie)アンテナフレア対を複数有する偏光感受性テラヘルツ波検出器であって、蝶ネクタイ型フレアの長さ601は、0.03~0.150mmであり、蝶ネクタイ型フレアの先端鋭さ602は、0.001~0.006mmであり、蝶ネクタイ型フレア角度603は10~45°であり、蝶ネクタイ型フレアの分離距離604は、0.006~0.01mmであることを特徴とする。

【選択図】図6



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

蝶ネクタイ型 (bowie-tie) アンテナフレア対を複数有する偏光感受性テラヘルツ波検出器であって、

前記蝶ネクタイ型フレアの長さは、 $0.03 \sim 0.150$ mmであり、

前記蝶ネクタイ型フレアの先端鋭さは、 $0.001 \sim 0.006$ mmであり、

前記蝶ネクタイ型フレア角度は $10 \sim 45^\circ$ であり、

前記蝶ネクタイ型フレアの分離距離は、 $0.006 \sim 0.01$ mmであることを特徴とする偏光感受性テラヘルツ波検出器。

【請求項 2】

10

フェムト秒レーザパルスが発生するフェムト秒パルスレーザと、

当該フェムト秒レーザパルスをポンプ光とプローブ光に分割するビームスプリッターと

測定対象サンプルを挟んで設けられると共に、所定電圧でバイアスされた一対のアンテナ電極であって、前記測定対象サンプルに当該ポンプ光が入射されて、当該測定対象サンプルを透過するテラヘルツ波を前記アンテナ電極の一方が受信するものであり、

前記一対のアンテナ電極の隙間から放射された広帯域テラヘルツ波を受信すると共に、前記プローブ光を受信する光伝導アンテナであって、当該光伝導アンテナは前記アンテナ電極の一方であるテラヘルツ時間領域分光器であって、

前記光伝導アンテナは受信する周波数帯域が広帯域であると共に偏光角度の感度が高いアンテナ形状を有することを特徴とするテラヘルツ時間領域分光器。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、入射したテラヘルツ波をテラヘルツ時間領域分光分析する場合に用いて好適なテラヘルツ波検出器に関する。更に詳しくは、テラヘルツ波の偏光検出を正確かつ容易に行える偏光感受性テラヘルツ波検出器に関する。

【背景技術】

【0002】

30

本発明において、テラヘルツ波とは周波数が $0.1 \sim 10$ THz ($1 \text{ THz} = 10^{12} \text{ Hz}$) の領域、したがって波長が $0.03 \text{ mm} \sim 3 \text{ mm}$ の電磁波あるいは光を意味する。テラヘルツ時間領域分光法 (Terahertz time-domain spectroscopy: THz-TDS) は、材料の特性がテラヘルツ放射の短パルスでプローブされる分光技術である。この生成・検出方式は、テラヘルツ波の振幅と位相の両方について試料物質の影響に敏感である。この点において、この技術は、振幅にのみ敏感である従来のフーリエ変換分光法と比較して、より多くの情報を提供することができる。

【0003】

そこで、テラヘルツ波は、セキュリティや情報通信、医療、非破壊検査、分子構造解析、電波天文学など幅広い分野での応用が期待されている。テラヘルツ波は、可視光では透過できない物質を透過することができ、材料によっては材料固有のスペクトルを検出できる。そのため、テラヘルツ波を用いたイメージング技術や分光分析技術は、人体などの生体検査や、化学物質の同定や損傷検出といった材料検査の分野で極めて有用な手法となりうると期待されている。

40

【0004】

しかし、テラヘルツ波は波長が $0.03 \text{ mm} \sim 3 \text{ mm}$ であり、可視光の波長 $360 \text{ nm} \sim 830 \text{ nm}$ と比較して非常に長い。電磁波によるイメージングにおける空間分解能は、回折限界により波長の半分に制限されることから、可視光などによる画像と比べ分解能が低いという問題がある。

【0005】

50

これに対し、電磁波の波長以下の微小な開口に、電磁波を照射して透過させ、開口の大きさと同程度の微小な光スポットを得る素子が開発されている（例えば特許文献１参照）。この素子を利用すれば、光スポットの大きさと同程度の空間分解能を実現でき、高分解能イメージングや高分解能分光分析にとって極めて有用である。しかし、より微小な光スポットを得るために、開口の大きさを小さくさせていくと電磁波の透過率は、開口半径の４乗に反比例して劇的に低下していく。このために、より微小な光スポットを利用するためには、透過率を高めることが課題となる。そこで、本発明者は、特許文献２で、テラヘルツ波の波長半分以下の大きさの微小な開口を利用し、従来素子の透過率に対して格段に高い透過率を有するテラヘルツ波光学素子を提案している。また、本発明者は、特許文献３で、十分な透過特性を備え、偏光特性のないバンドパスフィルターを提案している。

10

【０００６】

ところで、テラヘルツ時間領域分光分析器にはテラヘルツ波検出器が必要とされている。

現在利用されているテラヘルツ波用の検出器はダイポール型であり、入射光の偏光状態を１回で測定することはできない。そこで、偏光状態を測定するには、機械的に検出器を回転させ、複数回の計測を行う必要がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００７】

【特許文献１】特開２００９－２６３６０号公報

20

【特許文献２】ＷＯ２０１３－００８７１３号公報

【特許文献３】特開２０１１－２５３１４２号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００８】

しかし、上述の対処によると、さまざまなアプリケーションで、課題を残す結果となっている。例えば、テラヘルツ波を対象物に透過させ、透過波の強度変化を利用してイメージングを行う場合を考える。これは、物質内の組織の違いから、透過率や吸光率の差を、測定しそれを可視化しようとしていることになる。

ところが、実際の材料では組織の異方性などにより、透過波は偏光してしまうことが多い。従来のダイポール型検出器では、この偏光状態の変化について知ることが出来ず、単に透過波の強度低下という解釈になってしまう。そこで、従来のダイポール型検出器では、組織としては同じで、結晶や繊維の方向が異なっているだけである類型を区別できないという課題がある。なお、ダイポール型であっても、検出器を少しずつ回転させて、同じサンプルに対し、何度もスキャンすることで、そのような情報を得ることは可能ではあるが、スキャンにも時間がかかるため現実的ではない。

30

本発明は、物質内の組織の違いから、透過率や吸光率の差を測定し、これらを可視化する場合等に好適な、テラヘルツ時間領域分光分析用の偏光感受性テラヘルツ波検出器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

40

【０００９】

[１] 本発明の偏光感受性テラヘルツ波検出器は、例えば図６に示すように、蝶ネクタイ型（bow-tie）アンテナフレア対を複数有する偏光感受性テラヘルツ波検出器であって、蝶ネクタイ型フレアの長さ６０１は、０．０３～０．１５０ｍｍであり、蝶ネクタイ型フレアの先端鋭さ６０２は、０．００１～０．００６ｍｍであり、蝶ネクタイ型フレア角度６０３は１０～４５°であり、蝶ネクタイ型フレアの分離距離６０４は、０．００６～０．０１ｍｍであることを特徴とする。

【００１０】

[２] 本発明のテラヘルツ時間領域分光器は、例えば図１に示すように、フェムト秒レーザパルスが発生するフェムト秒パルスレーザー１と、当該フェムト秒レーザパルスをボン

50

ブ光とプローブ光に分割するビームスプリッター 2 と、測定対象サンプル 0 を挟んで設けられると共に、所定電圧でバイアスされた一対のアンテナ電極 5 a、5 b であって、前記測定対象サンプル 0 に当該ポンプ光が入射されて、当該測定対象サンプル 0 を透過するテラヘルツ波を前記アンテナ電極の一方 5 b が受信するものであり、前記一対のアンテナ電極の隙間から放射された広帯域テラヘルツ波を受信すると共に、前記プローブ光を受信する光伝導アンテナであって、当該光伝導アンテナは前記アンテナ電極の一方 5 b であるテラヘルツ時間領域分光器であって、前記光伝導アンテナは受信する周波数帯域が広帯域であると共に偏光角度の感度が高いアンテナ形状を有することを特徴とする。

【0011】

好ましくは、上記光伝導アンテナは、請求項 1 に記載の偏光感受性テラヘルツ波検出器であるとよい。

【発明の効果】

【0012】

本発明は、二組以上の電極を利用した THz 用アンテナとすることで偏光の状態を 1 回の測定で、評価可能となっている。また、実施例では、微細な中央部開口（直径 $3\ \mu\text{m}$ ）を形成することで、 $0.25 \sim 0.8\ \text{THz}$ 帯域の信号であってもこのような偏光状態の検出が可能となっている。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図 1】本発明の一実施例である偏光感受性テラヘルツ波検出器を組み込むのに好適な、テラヘルツ時間領域分光装置の全体構成図である。

【図 2】本発明の一実施例であるテラヘルツ放射を伴う 4 電極検出器の要部拡大図である。

【図 3】4 電極検出器の FDTD シミュレーションしたスペクトル応答である。

【図 4】4 電極検出器のテストおよび使用状態を示す構成図である。

【図 5】LT-GaAs のウエハ上にテラヘルツ検出器チップの全体構造図である。

【図 6】蝶ネクタイ型 (bowtie) アンテナフレアの直交対を示す検出器センターの拡大図である。

【図 7】双極子エミッタのペアからなる 4 接触検出器のスペクトル痕跡である。

【図 8】入射偏角に対する検出器の応答図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、図面を用いて本発明を説明する。

【0015】

図 1 は、本発明の一実施例である偏光感受性テラヘルツ波検出器を組み込むのに好適な、テラヘルツ時間領域分光装置の全体構成図である。テラヘルツ時間領域分光装置は、例えば株式会社先端赤外製の型式名 IRS-2000 として入手できる。図 1 の装置において、0 は二つの表面 0 a、0 b を有する測定対象サンプル、1 はフェムト秒パルスレーザー、2 はビームスプリッター、3 はポンプ光、4 a、4 b はレンズ、5 a、5 b は光伝導性アンテナ、6 は電圧計、7 は軸外パラボラミラー、8 a、8 b はシリコンレンズ、9 は電流計、10 a、10 b、10 c、10 d、10 e はミラー、11 はプローブ光、13 はコーナー反射体、14 は記録システム、15 は電流アンプを示す。偏光感受性テラヘルツ波検出器は、光伝導性アンテナ 5 b として装着される。

【0016】

このように構成された装置において、図 1 中の記号 0 で示される位置に、試料を設置し、それを透過するテラヘルツ波を測定する。即ち、この光学装置においては、フェムト秒パルスレーザー 1 で変調されたフェムト秒レーザパルスは、ポンプ光 3 とプローブ光 11 に分割される。ポンプ光 3 は、バイアスされた発振用の光伝導アンテナ 5 a に照射され、アンテナ電極間の隙間を励起キャリアが移動することに伴い、広帯域テラヘルツ波が放射される。放射されたテラヘルツ波は、スペクトル整形され、試料 0 と検出用光伝導アンテナ

10

20

30

40

50

ナ 5 b に向かって光学要素によって空間的に方向を変更する。最後に、テラヘルツ放射は、レーザープローブ光 1 1 と同時に光伝導アンテナ 5 b (P C A) に到着する。

【 0 0 1 7 】

結果として、変調電流がアンテナ電極 5 b に位置する P C A 検出器のギャップで生成され、増幅器 1 5 におけるロックによって記録される。プローブ光 1 1 の遅延ラインの長さを変化させることによって、テラヘルツ波形を細かい時間間隔でデジタル化することができ、周波数領域テラヘルツスペクトルと高速フーリエ変換 (F F T) による位相遅延データに変換される。

【 0 0 1 8 】

図 2 は、本発明の一実施例であるテラヘルツ放射を伴う 4 電極検出器の要部拡大図で、横軸方向は $\pm 10 \mu\text{m}$ 、縦軸方向も $\pm 10 \mu\text{m}$ の領域を拡大して示してある。A チャンネルの電極間隔は $6 \sim 7 \mu\text{m}$ 、先端の電極幅は $4 \mu\text{m}$ 、電極の先端からの拡大角度は 30° 程度になっている。B チャンネルの電極形状も、A チャンネルと同様である。A チャンネルについては、電極間隔に電場 E_0 が加えられている。4 電極検出器の周辺の明度は、電界ベクトルの振幅二乗比 $(|E|^2 / |E_0|^2)$ を示している。電界ベクトルの振幅二乗比 $(|E|^2 / |E_0|^2)$ は、図 2 の右側の縦軸スケールとして示されている。

テラヘルツ放射を伴う 4 電極検出器の照射によって、2 つの独立した電流計の A チャンネルと B チャンネルからの信号の測定値が電界偏光角 a に依存することになる。例えば、時間領域差分法 (Finite-difference time-domain method; F D T D 法) シミュレーションによると、直線偏光平面波入射に対する検出器の中心の周りの電界強化のマップを示している ($a = 0^\circ$ と瞬間的充電の E_0 ベクトル方向を参照)。検出器の性能とそのスペクトル応答は、特定の電極形状に決定的に依存する。

【 0 0 1 9 】

図 3 は、4 電極検出器の F D T D シミュレーションしたスペクトル応答で、横軸方向は周波数、縦軸方向は電界ベクトルの振幅二乗比 $(|E|^2 / |E_0|^2)$ を示している。

周波数領域モニタは電極チップの間にある検出器中心に配置してある (図 2 参照)。図 3 では、4 電極検出器の周波数応答が、任意の入射偏光角で同じことを示している。これは、検出器の中心の場合にのみ真である。したがって、検出器の設置には、レーザープローブフォーカスがタイトで、光学アライメントも厳密に一致していることが必要とされる。図 3 から、図 2 に示す 4 電極検出器の最も敏感なスペクトル範囲は、 $0.1 \sim 1.5$ テラヘルツまでである。このスペクトル範囲は、4 電極検出器の幾何学的形状を変えて、F D T D を再設計することで、適宜に調整できる。

【 0 0 2 0 】

図 4 は、4 電極検出器のテストおよび使用状態を示す構成図である。

検出器のテストでは、テラヘルツ波エミッタからの初期テラヘルツ放射 I_0 の偏光特性が P_1 ワイヤグリッド偏光板と線形偏光に設定されている。そして、第 2 の同一の偏光 P_2 は、マルスの法則によって定義された角度に放射線透過 I_1 の偏光を回転させるために使用される。最後に、入射放射線 I_2 の偏光角 a は 4 接点テラヘルツ検出器で検出される。実際の用途では、試料 S の代わりに透過または反射の照射 / 検出ジオメトリで P_2 を用いている。

【 0 0 2 1 】

図 5 は、L T - G a A s のウエハ上に設けられたテラヘルツ検出器チップの全体構造図である。ウエハは、一辺が 6 mm の矩形形状をしている。金 A u の電極パッドは、一辺が 1 mm の矩形形状をしており、ウエハに 4 箇所設けられている。導線は、A u の電極パッドと 4 電極検出器の A チャンネルと B チャンネルの端子を其々接続している。

【 0 0 2 2 】

図 6 は、蝶ネクタイ型 (bowie-tie) アンテナフレアの直交対を示す検出器センターの拡大図である。図において、蝶ネクタイ型フレアの長さ 6 0 1 は、 $0.03 \sim 0.150 \text{ mm}$ である。蝶ネクタイ型フレアの先端鋭さ 6 0 2 は、 $0.001 \sim 0.006 \text{ mm}$ である。蝶ネクタイ型フレア角度 6 0 3 は $10 \sim 45^\circ$ である。蝶ネクタイ型フレアの分離距

10

20

30

40

50

離 604 は、0.006 ~ 0.01 mm である。導線幅 605 は 0.005 ~ 0.01 mm である。蝶ネクタイ型フレアの先端コーナー半径 606 は 0.0002 ~ 0.0005 mm である。

【0023】

このように構成されたテラヘルツ検出器チップは、例えば通常の半導体製造プロセスで使用される微細加工技術を用いて製造される。

(i) フォトリソグラフィによって、LT-GaAs の表面上にマスクパターンに応じた積層パターンを形成する。

(ii) 電極材料を、例えば金属電子ビーム蒸着を用いて、ウェハ上に積層する。

(iii) リフトオフプロセスにより、余剰となる層を除去して、所望の配線パターンを与える。

電極は 5 / 150 nm 厚さのチタン / Au の非アニール層である。LT-GaAs の表面には、成長欠陥として、楕円形の欠陥が生じることがある。GaAs 層の電気光学特性について、これらの成長欠陥の影響はほとんど無視できる。

【0024】

図 7 は、双極子エミッタのペアからなる 4 接触検出器のスペクトル痕跡で、横軸は周波数、縦軸は強度（原子単位系：a.u.）である。図 7 に示すスペクトル特性からは、偏光検出のための使用可能なスペクトル範囲は、0.25 から 0.8 THz である。一般的には、当該範囲は、エミッタと検出器の分光畳み込み特性に依存する。

【0025】

図 8 は、入射偏角に対する検出器の応答図で、横軸は角度 α 、縦軸は 0.7 THz における A チャンネルと B チャンネルの振幅比である。実験により得られたデータ（●点）と、理論計算値（細い実線）は良い一致を示しており、A チャンネルと B チャンネルの振幅比が、入射テラヘルツ波の偏光角度と明瞭な相関を示している。オフセット f は、実験で生じる小さなもので、僅かな光学不整合に起因している。

【0026】

続いて、FDTD シミュレーションの詳細を説明する。これは、Lumerical FDTD ソリューションズ 8.6.0 ソルバー、http://docs.lumerical.com/en/fdtd/knowledge_base.html が、4 電極テラヘルツ検出器をシミュレートするために使用された（図 6 に示すフォトマスクの幾何学的形状を参照されたい。 $n = 3.4$ で $200 \mu\text{m}$ の誘電半空間の上に 150 nm 厚の完璧な導電体（PEC）が、モデル電極と LT-GaAs / Si-lens 基板材料に各々使用された。ウェスト半径が $500 \mu\text{m}$ である広帯域（0.01 - 5 テラヘルツ）のガウス源が、電極表面から $100 \mu\text{m}$ の距離にある誘電半空間のような内側に配置されている。

【0027】

このような構成のテラヘルツ波用検出器について、0.25 から 1 テラヘルツの間の検出器のスペクトル応答は、入射偏光角によってはあまり変わらなかった。また、このようなセットアップにおいて、最高品質の偏光感度が得られている。また、FDTD シミュレーションから、同一のスペクトル応答の不変性は、周波数領域収集モニター（x）が 4 つの電極検出器の中心に置いたときにのみ観察された。

【0028】

FDTD シミュレーションと現実の実験装置とのスペクトル応答特性の類似性によれば、実験的なプローブレザースポットの位置が、直近の実験ではちょうど検出器の中心であったことを示している。 $na = 0.68$ のソーラボ C330TME-B の対物レンズが有する、800 nm のプローブレーザー波長でのゼロ次回折スポット径は、僅かに $1.2 \mu\text{m}$ であることに留意する必要がある。

そして、ベクトルプロットの中心に、タイトなレーザースポットを配置することによって、このスポットの内部で生成されたキャリアが主に対向電極間の電界ベクトルに沿って駆動され、その結果、隣り合う電極間のクロストークが最小限になる。したがって、これらの FDTD シミュレーションによると、最高の検出器の性能のためにレーザースポットを

10

20

30

40

50

ームがしっかり検出器中心に正確に焦点をあわせる必要があること、すなわちボケによってその性能が低下することを、直近の実験観察で確認した。

【 0 0 2 9 】

本発明によれば、次の特徴がある。

1：本発明の検出器は、適切に調整することで、任意の市販THz-TDSシステムで使用できる。

2：AとBの検出器回路の読み取りに同時に2台のロックインを使用し、またはAとBチャネルの記録を単一のロックイン増幅器を用いて、偏光測定の簡単な実験的決定ができる。

3：適切な光学的アライメントを使用すると、検出器の応答は、A/Bチャンネル間のクロストークが低いと共に線形である。

4：偏角の測定における電流誤差は約0.4°であるが、さらなる精度向上が可能である。

5：FDTDモデリングから、よく使用する特定のテラヘルツ放射のスペクトルシグネチャと一致するように検出器の幾何学的形状を適宜に再設計できる。

【 0 0 3 0 】

6：検出器のクロストークはさらに、隣接する電極間に深いトレンチをあけることによって最小化することができる。これは、プローブ光の散乱や反射によるレーザスポットの外で生成された可能性があり、不要な電流を最小限に抑えることができる。

7：初期セットアップ時における、レーザ光照射による燃焼と静電放電に対する検出器のロバスト性は、トレンチをあけることによって改善することができる。

【 0 0 3 1 】

なお、上記の実施形態においては、蝶ネクタイ型 (bowie-tie) アンテナフレア対を複数有する示す偏光感受性テラヘルツ波検出器において、4電極検出器用の直交対の場合を示したが、本発明はこれに限定されるものではなく、6電極検出器以上の偶数電極検出器であってもよい。

また、偏光感受性テラヘルツ波検出器のアンテナ形状として蝶ネクタイ型を示したが、本発明はこれに限定されるものではなく、受信する周波数帯域が広帯域であれば任意の形状を選択することができる。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 3 2 】

本発明のテラヘルツ波用の検出器は、現在、実用化されているテラヘルツ分光装置全てにおいて、利用可能である。また、具体的な測定対象として、高分子の異方性の評価や、ガラス繊維強化プラスチック複合材料の繊維配向評価など、テラヘルツ波が透過する材料の異方性評価にきわめて有用と考えられる。さらに、本発明のテラヘルツ波用の検出器は、テラヘルツ波を用いたイメージング装置や分光分析装置に適用でき、人体などの生体検査や、化学物質の同定や損傷検出といった材料検査の分野で極めて有用な装置となる。

【 符号の説明 】

【 0 0 3 3 】

0 測定対象サンプル

1 フェムト秒パルスレーザー

2 ビームスプリッター

3 ポンプ光

4 a、4 b レンズ

5 a、5 b 光伝導性アンテナ

7 軸外パラボラミラー

8 a、8 b シリコンレンズ

1 1 プローブ光

1 5 電流アンプ

6 0 1 蝶ネクタイ型フレアの長さ

6 0 2 蝶ネクタイ型フレアの先端鋭さ

6 0 3 蝶ネクタイ型フレア角度

10

20

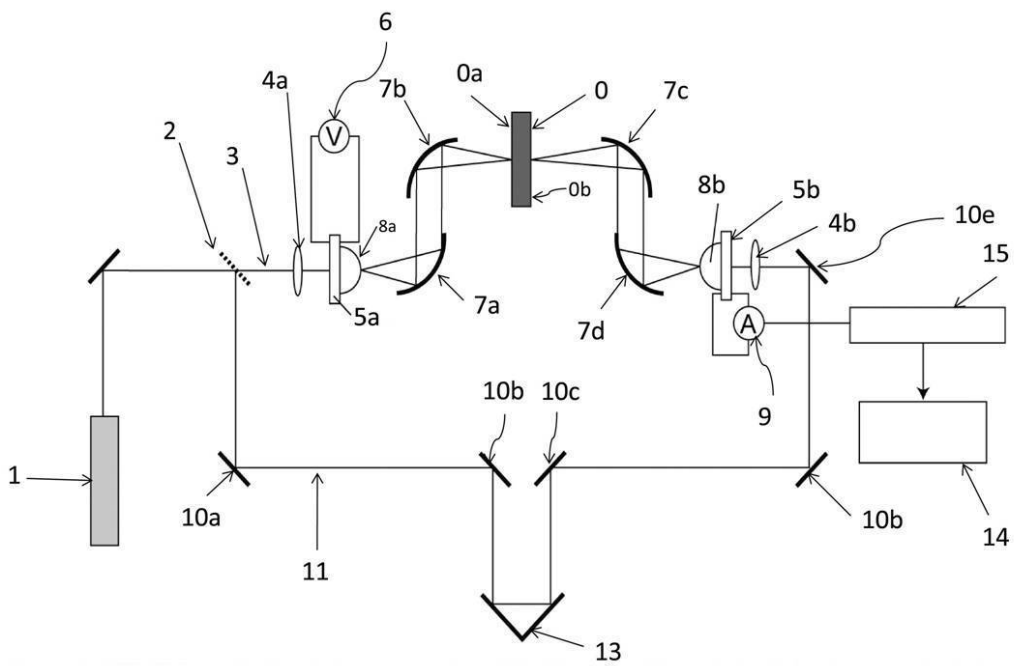
30

40

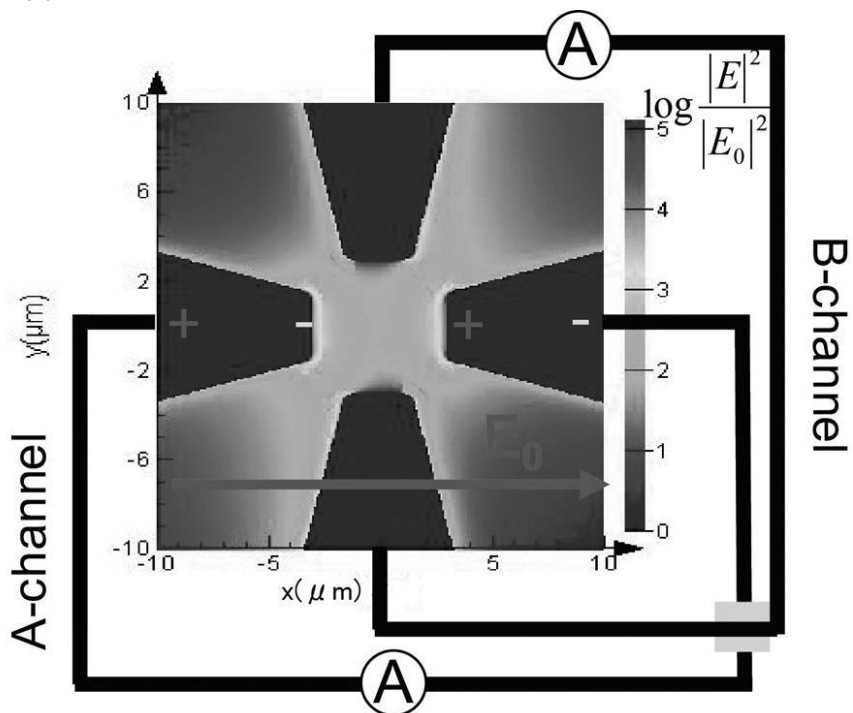
50

- 6 0 4 蝶ネクタイ型フレアの分離距離
 6 0 5 導線幅
 6 0 6 蝶ネクタイ型フレアの先端コーナー半径

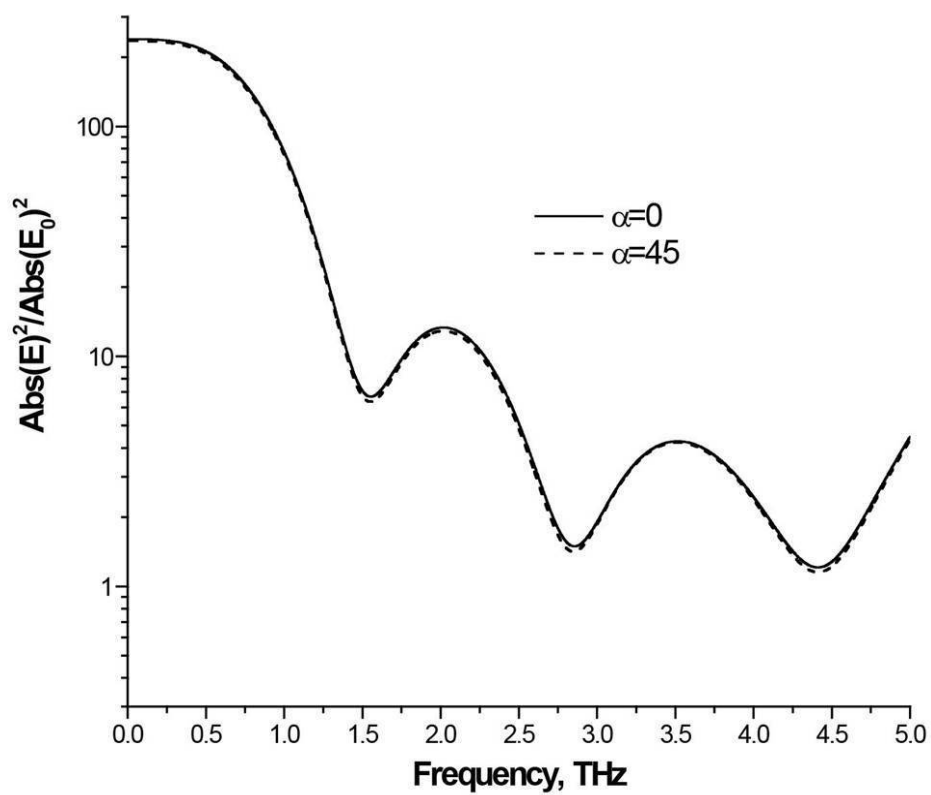
【 図 1 】



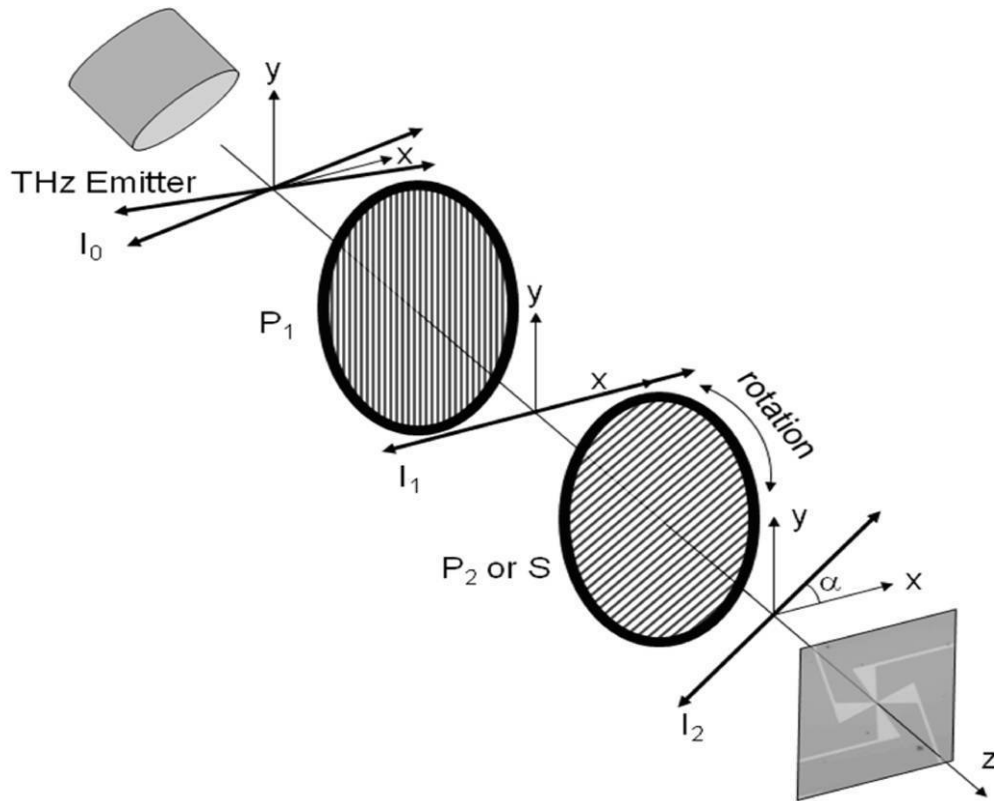
【 図 2 】



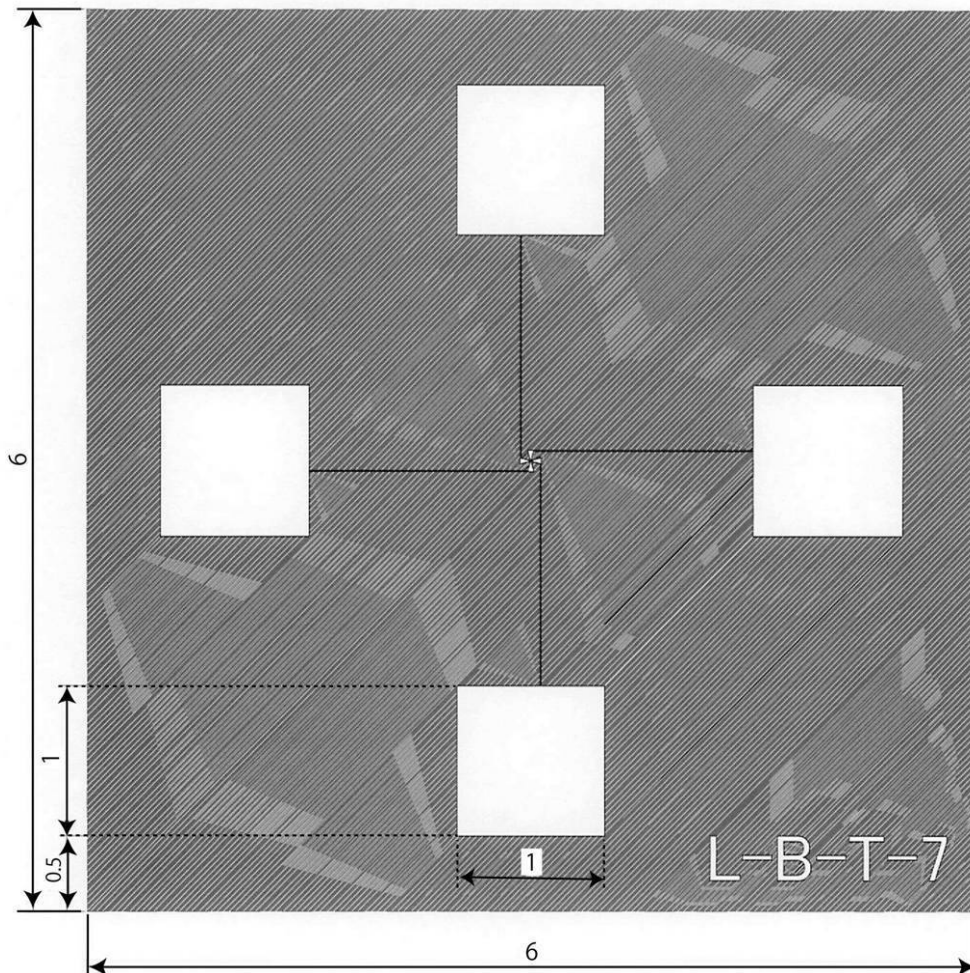
【 図 3 】



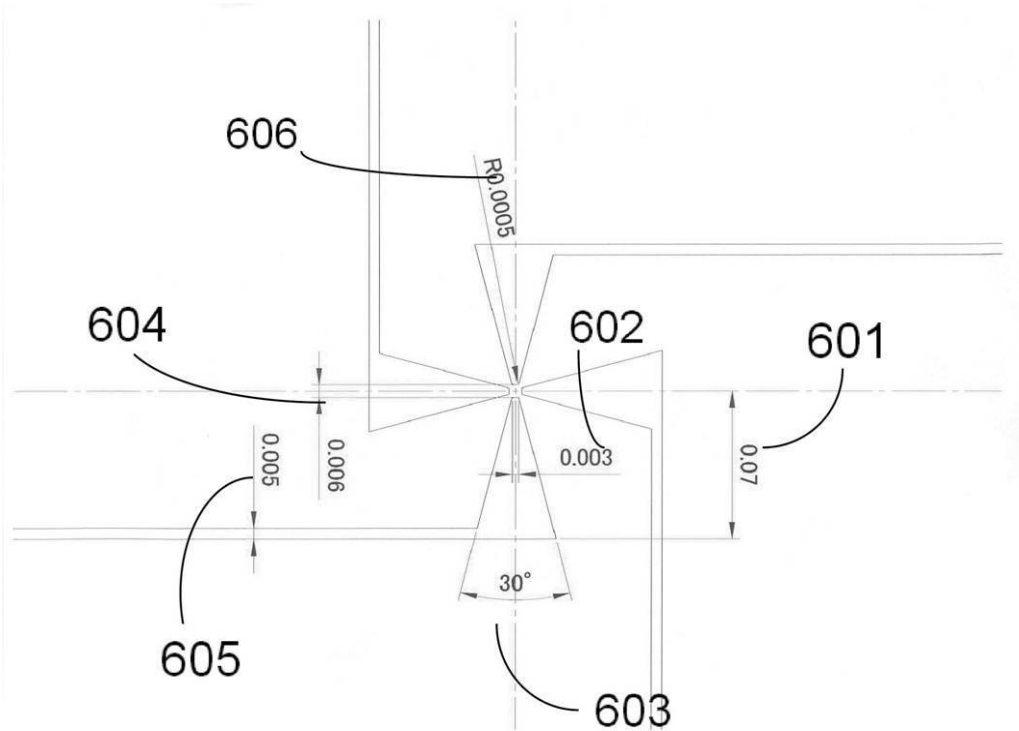
【 図 4 】



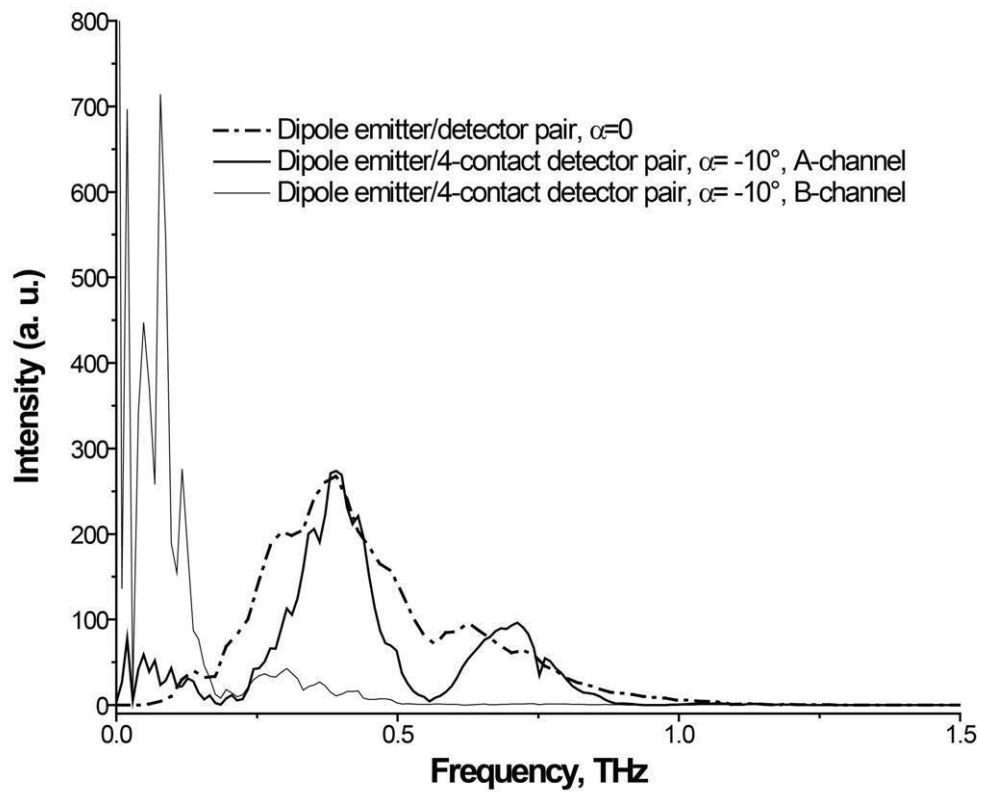
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】

Detector Response on Incident Polarization Angle

