(19)日本国特許庁(JP)　　再公表特許(A1)　　(11)国際公開番号
WO2005/073795

発行日　平成20年1月10日(2008.1.10)　　(43)国際公開日　平成17年8月11日(2005.8.11)

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード（参考）
G02F 1/37 (2006.01)	G02F 1/37	2K002

審査請求 有　予備審査請求 未請求　（全 34 頁）

出願番号	特願2005-517379 (P2005-517379)
(21)国際出願番号	PCT/JP2004/016165
(22)国際出願日	平成16年10月29日(2004.10.29)
(31)優先権主張番号	特願2004-55131 (P2004-55131)
(32)優先日	平成16年1月29日(2004.1.29)
(33)優先権主張国	日本国(JP)
(31)優先権主張番号	特願2004-55134 (P2004-55134)
(32)優先日	平成16年1月29日(2004.1.29)
(33)優先権主張国	日本国(JP)

(71)出願人　000173902
財団法人半導体研究振興会
宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉５１９－１１７６
(74)代理人　100083806
弁理士　三好　秀和
(72)発明者　西澤　潤一
宮城県仙台市青葉区米ケ袋一丁目６番１６号
(72)発明者　須藤　建
宮城県仙台市青葉区吉成一丁目５番１１号
(72)発明者　佐々木　哲朗
宮城県仙台市青葉区旭ヶ丘二丁目４５番１２号－２０１

最終頁に続く

(54)【発明の名称】電磁波発生装置

(57)【要約】
１．０μｍより長波長の第１のポンプ光（ｈν$_1$）を出射する第１のポンプ光出射部（２）と、１．０μｍより長波長で、第１のポンプ光（ｈν$_1$）とは異なる波長の第２のポンプ光（ｈν$_2$）を、波長可変で出射する第２のポンプ光出射部（２５）と、第１のポンプ光（ｈν$_1$）と第２のポンプ光（ｈν$_2$）との差周波数の電磁波（ｈν$_3$）を生成する非線形光学結晶（１９）と、第１のポンプ光（ｈν$_1$）と第２のポンプ光（ｈν$_2$）との差周波数１ＴＨｚにおける外部交叉角度を０．５°以内に調整し、第１のポンプ光及び第２のポンプ光を非線形光学結晶（１９）に入射させる光学系（Ｍ$_1$，Ｍ$_2$，１８）とを備える。そして、第２のポンプ光（ｈν$_2$）の周波数と外部交叉角度を連動して変えることにより、非線形光学結晶（１９）から可変波長のテラヘルツ電磁波（ｈν$_3$）を発生させる電磁波発生装置である。

【特許請求の範囲】
【請求項１】
１．０μｍより長波長の第１のポンプ光を出射する第１のポンプ光出射部と、
１．０μｍより長波長で、前記第１のポンプ光とは異なる波長の第２のポンプ光を、波長可変で出射する第２のポンプ光出射部と、
前記第１のポンプ光と前記第２のポンプ光との差周波数の電磁波を生成する非線形光学結晶と、
前記第１のポンプ光と前記第２のポンプ光との外部交叉角度を、差周波数１ＴＨｚにおいて０．５°以内に調整し、前記第１のポンプ光及び前記第２のポンプ光を前記非線形光学結晶に入射させる光学系
とを備え、前記第２のポンプ光の周波数と前記外部交叉角度を連動して変えることにより、前記非線形光学結晶から可変波長のテラヘルツ電磁波を発生させることを特徴とする電磁波発生装置。
【請求項２】
前記非線形光学結晶は、ＧａＰ結晶、$ZnGeP_2$結晶及びＧａＳｅ結晶のいずれかであることを特徴とする請求項１に記載の電磁波発生装置。
【請求項３】
前記第１のポンプ光出射部から波長１．０６４μｍのＹＡＧレーザの出力を前記第１のポンプ光として出射し、
前記第２のポンプ光出射部は、インジェクションシーディング機構を有するオプティカルパラメトリックオシレータを備え、前記オプティカルパラメトリックオシレータを前記ＹＡＧレーザの出力で励起することにより、前記第２のポンプ光出射部から前記オプティカルパラメトリックオシレータの出力を前記第２のポンプ光として出射する
ことを特徴とする請求項１に記載の電磁波発生装置。
【請求項４】
前記第１のポンプ光出射部は、前記第１のポンプ光を出射するクロム添加フォルステライトレーザ、イッテルビウム添加イットリウム・リチウム・フルオライドレーザ、イッテルビウム添加ファイバレーザのいずれかからなる第１のポンプ光源を備え、
前記第２のポンプ光出射部は、前記第２のポンプ光を出射するクロム添加フォルステライトレーザ、イッテルビウム添加イットリウム・リチウム・フルオライドレーザ、イッテルビウム添加ファイバレーザのいずれかからなる第２のポンプ光源を備える
ことを特徴とする請求項１に記載の電磁波発生装置。
【請求項５】
前記第１及び第２のポンプ光源をそれぞれ励起し、前記第１及び第２のポンプ光源から前記第１及び第２のポンプ光を出射させる励起光源を更に備えることを特徴とする請求項４に記載の電磁波発生装置。
【請求項６】
前記第１のポンプ光のパルス及び前記第２のポンプ光のパルスの前記非線形光学結晶に到達するタイミングを制御するタイミング制御機構を更に備えることを特徴とする請求項４に記載の電磁波発生装置。
【請求項７】
第１のポンプ光を出射する第１のポンプ光出射部と、
前記第１のポンプ光とは異なる波長の第２のポンプ光を、波長可変で出射する第２のポンプ光出射部と、
前記第１のポンプ光と前記第２のポンプ光との差周波数の電磁波を生成する光学異方性結晶
とを備え、前記第２のポンプ光の周波数を変えることにより、前記光学異方性結晶から可変波長のテラヘルツ電磁波を発生させることを特徴とする電磁波発生装置。
【請求項８】
前記第１のポンプ光出射部は、前記第１のポンプ光を出射するクロム添加フォルステライ

トレーザ、イッテルビウム添加イットリウム・リチウム・フルオライドレーザ、イッテルビウム添加ファイバレーザのいずれかからなる第１のポンプ光源を備え、
　前記第２のポンプ光出射部は、前記第２のポンプ光を出射するクロム添加フォルステライトレーザ、イッテルビウム添加イットリウム・リチウム・フルオライドレーザ、イッテルビウム添加ファイバレーザのいずれかからなる第２のポンプ光源を備える
　ことを特徴とする請求項７に記載の電磁波発生装置。
【請求項９】
前記非線形光学結晶は、$ZnGeP_2$結晶及びＧａＳｅ結晶のいずれかであることを特徴とする請求項７に記載の電磁波発生装置。
【請求項１０】
第１のポンプ光を出射する第１のポンプ光出射部と、
　前記第１のポンプ光とは異なる波長の第２のポンプ光を、波長可変で出射する第２のポンプ光出射部と、
　前記第１のポンプ光と前記第２のポンプ光との差周波数の電磁波を生成する非線形光学結晶と、
　前記第１のポンプ光と前記第２のポンプ光との外部交叉角度を調整し、前記第１のポンプ光及び前記第２のポンプ光を前記非線形光学結晶に入射させる光学系と、
　前記第１のポンプ光のパルス及び前記第２のポンプ光のパルスの前記非線形光学結晶に到達するタイミングを制御するタイミング制御機構
　とを備え、前記第２のポンプ光の周波数と前記外部交叉角度を連動して変えることにより、前記非線形光学結晶から可変波長のテラヘルツ電磁波を発生させることを特徴とする電磁波発生装置。
【請求項１１】
前記第１のポンプ光出射部は、前記第１のポンプ光を出射するクロム添加フォルステライトレーザ、イッテルビウム添加イットリウム・リチウム・フルオライドレーザ、イッテルビウム添加ファイバレーザのいずれかからなる第１のポンプ光源を備え、
　前記第２のポンプ光出射部は、前記第２のポンプ光を出射するクロム添加フォルステライトレーザ、イッテルビウム添加イットリウム・リチウム・フルオライドレーザ、イッテルビウム添加ファイバレーザのいずれかからなる第２のポンプ光源を備える
　ことを特徴とする請求項１０に記載の電磁波発生装置。
【請求項１２】
前記タイミング制御機構は、前記第１及び第２のポンプ光源をそれぞれ励起する励起光パルスの間の時間差を調整することによりタイミングを制御することを特徴とする請求項１１に記載の電磁波発生装置。
【請求項１３】
前記タイミング制御機構は、前記第１のポンプ光源を励起する第１ＹＡＧロッドと、前記第２のポンプ光源を励起する第２ＹＡＧロッドとを有するダブルパルスＹＡＧレーザを備え、前記第１ＹＡＧロッドからの励起光パルスと、前記第２ＹＡＧロッドからの励起光パルスとの間の時間差を調整することによりタイミングを制御することを特徴とする請求項１１に記載の電磁波発生装置。
【請求項１４】
前記非線形光学結晶から出射した前記テラヘルツ電磁波のビームを分割するビームスプリッタと、
　分割された前記ビームの強度を検知し、検知出力を前記タイミング制御機構にフィードバックする検知器
　とを更に有し、前記タイミング制御機構は、前記検知出力が最大となるように前記タイミングを制御することを特徴とする請求項１０に記載の電磁波発生装置。
【請求項１５】
第１のポンプ光を出射する第１のポンプ光出射部と、
　前記第１のポンプ光とは異なる波長の第２のポンプ光を、波長可変で出射する第２のポ

ンプ光出射部と、
前記第１のポンプ光と前記第２のポンプ光との差周波数の電磁波を生成し、該電磁波を電磁波出射面から出射する非線形光学結晶と、
前記第１のポンプ光と前記第２のポンプ光との外部交叉角度を調整し、前記第１のポンプ光及び前記第２のポンプ光を前記非線形光学結晶に入射させる光学系と、
前記第１のポンプ光の光軸に対する前記電磁波出射面の角度を制御する角度制御機構
とを備え、前記第２のポンプ光の周波数、前記外部交叉角度及び前記電磁波出射面の角度を連動して変えることにより、前記電磁波出射面から可変波長のテラヘルツ電磁波を出射させることを特徴とする電磁波発生装置。
【請求項１６】
前記電磁波出射面から出射した前記電磁波を反射する第１の非軸放物面鏡と、
該第１の非軸放物面鏡で反射した前記電磁波を反射し、前記第１の非軸放物面鏡に対して線形ステージ上を移動する第２の非軸放物面鏡と、
前記電磁波出射面に対してある出射角度を持って出射した前記電磁波を、その出射角度によらず任意の点に集光するように前記第２の非軸放物面鏡の位置を制御する位置制御装置
とを更に備えることを特徴とする請求項１５に記載の電磁波発生装置。
【請求項１７】
前記第１のポンプ光を反射し前記第１のポンプ光を前記非線形光学結晶に入射する角度を調整するように回転可能な第１入射ミラーと、前記第２のポンプ光を反射し前記第２のポンプ光を前記非線形光学結晶に入射する角度を調整するように回転可能な第２入射ミラーとを、前記非線形光学結晶とともに搭載し、前記電磁波出射面上の出射点を中心軸として回転するテラヘルツ発生部回転ステージを備え、
該テラヘルツ発生部回転ステージを回転することにより、前記電磁波出射面に対してある出射角度を持って出射した前記電磁波を、その出射角度によらず任意の点に集光することを特徴とする請求項１５に記載の電磁波発生装置。
【請求項１８】
前記非線形光学結晶は、ＧａＰ結晶、$ZnGeP_2$結晶及びＧａＳｅ結晶のいずれかであることを特徴とする請求項１５に記載の電磁波発生装置。
【請求項１９】
前記第１のポンプ光出射部から波長１．０６４μｍのＹＡＧレーザの出力を前記第１のポンプ光として出射し、
前記第２のポンプ光出射部は、インジェクションシーディング機構を有するオプティカルパラメトリックオシレータを備え、前記オプティカルパラメトリックオシレータを前記ＹＡＧレーザの出力で励起することにより、前記第２のポンプ光出射部から前記オプティカルパラメトリックオシレータの出力を前記第２のポンプ光として出射する
ことを特徴とする請求項１５に記載の電磁波発生装置。
【請求項２０】
前記第１のポンプ光出射部は、前記第１のポンプ光を出射するクロム添加フォルステライトレーザ、イッテルビウム添加イットリウム・リチウム・フルオライドレーザ、イッテルビウム添加ファイバレーザのいずれかからなる第１のポンプ光源を備え、
前記第２のポンプ光出射部は、前記第２のポンプ光を出射するクロム添加フォルステライトレーザ、イッテルビウム添加イットリウム・リチウム・フルオライドレーザ、イッテルビウム添加ファイバレーザのいずれかからなる第２のポンプ光源を備える
ことを特徴とする請求項１５に記載の電磁波発生装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、周波数可変のテラヘルツ帯の電磁波発生装置に関する。
【背景技術】

【０００２】
波長可変テラヘルツ電磁波の発生装置として、図１に示すような、誘電体であるニオブ酸リチウム（$LiNbO_3$）結晶内のポラリトンモードを利用したテラヘルツ電磁波発生装置が知られている。即ち、図１において、$LiNbO_3$結晶１に第１のポンプ光（第１のポンプ光を、単に「ポンプ光」と呼ぶこともある。）$h\nu_1$及び第２のポンプ光（第２のポンプ光を「信号光」或いは「アイドラ光」と呼ぶこともある。）$h\nu_2$を入射し、差周波発生によりテラヘルツ電磁波$h\nu_3 = h\nu_1 - h\nu_2$を発生する。
【０００３】
こうして得られるテラヘルツ電磁波$h\nu_3$の周波数帯域は、およそ０．７ＴＨｚから２．５ＴＨｚの範囲のコヒーレント光である。しかし、テラヘルツ電磁波分光スペクトルの違いを使って多様な生体物質などを識別するにはスペクトル可変範囲として上記周波数帯域は狭すぎるのである。より高周波の周波数帯域のスペクトルを測定することによって、スペクトルパターンの違いが明確となり多様な分子の識別が可能となる。
【０００４】
$LiNbO_3$結晶１のテラヘルツ帯での吸収係数は、３ＴＨｚを超えると極めて大きくなるため、出力が著しく低下し、周波数帯が制限される一因となっている。又、２つのポンプ光$h\nu_1$及び$h\nu_2$のビームの平行方向における位相不整合度が大きいため、図１に示すようにポンプ光$h\nu_1$及び$h\nu_2$のなす交叉角度及びテラヘルツ電磁波$h\nu_3$の取り出し角度を大きくした角度整合法をとらざるを得ない。図１においては、テラヘルツ電磁波$h\nu_3$は、$LiNbO_3$結晶１の表面に配置された複数のシリコン（Ｓｉ）プリズム５からなるプリズムアレイを介して取り出し、テラヘルツ電磁波$h\nu_3$の取り出し角度を大きくしている。そのためテラヘルツ電磁波$h\nu_3$とポンプ光$h\nu_1$及び$h\nu_2$のビームの重なりが悪く、周波数帯域・効率とも低下する原因となっている。
【０００５】
一方、$LiNbO_3$結晶に一つのポンプ光を入射し、パラメトリック発振によりテラヘルツ電磁波$h\nu_3$を発生することも可能である。このようなパラメトリック発振型の$LiNbO_3$テラヘルツ発生装置においては、発生したテラヘルツ電磁波$h\nu_3$のスペクトル線幅は、連続波（ＣＷ）レーザダイオード（半導体レーザ）によるインジェクションシーディングを行うことにより、１００ＭＨｚ程度まで狭線幅にできる。
【０００６】
即ち、$LiNbO_3$テラヘルツ発生装置をスレーブレーザ（ホストレーザ）とし、スペクトル幅の狭いＣＷレーザダイオードをシードレーザ（マスター発振器）として、この２つのレーザを組み合わせ、スレーブレーザ（ホストレーザ）とシードレーザ（マスター発振器）の両方の性質を兼ね備えさせることにより、スペクトル幅の狭いテラヘルツ電磁波$h\nu_3$を発生することができる。シードレーザには高安定レーザ、スレーブレーザには高出力のレーザを用い、高安定且つ高出力のレーザを発振することができる。しかしながら、ＣＷレーザダイオードのモードホッピングのため、逆に、広い範囲で連続的に周波数掃引することが困難となる。一方、インジェクションシーディングを行わないと、スペクトル線幅は極めて大きく１００ＧＨｚ（０．１ＴＨｚ）を越えるため、分解能が著しく低下し、周波数帯域が狭いことと合わせて物質同定の性能が十分でない。
【発明の開示】
【０００７】
本発明の目的は述上の欠点を克服した、広周波数帯域、高出力、高分解能、且つモードホップのない周波数可変のテラヘルツ帯の電磁波発生装置を提供することである。
【０００８】
上記目的を鑑み、本発明の第１の特徴は、（ａ）１．０μｍより長波長の第１のポンプ光を出射する第１のポンプ光出射部と、（ｂ）１．０μｍより長波長で、第１のポンプ光とは異なる波長の第２のポンプ光を、波長可変で出射する第２のポンプ光出射部と、（ｃ）第１のポンプ光と第２のポンプ光との差周波数の電磁波を生成する非線形光学結晶と、（ｄ）第１のポンプ光と第２のポンプ光との外部交叉角度を、差周波数１ＴＨｚにおいて

０．５°以内に調整し、第１のポンプ光及び第２のポンプ光を非線形光学結晶に入射させる光学系とを備え、第２のポンプ光の周波数と外部交叉角度を連動して変えることにより、非線形光学結晶から可変波長のテラヘルツ電磁波を発生させる電磁波発生装置であることを要旨とする。

【０００９】

本発明の第２の特徴は、（ａ）第１のポンプ光を出射する第１のポンプ光出射部と、（ｂ）第１のポンプ光とは異なる波長の第２のポンプ光を、波長可変で出射する第２のポンプ光出射部と、（ｃ）第１のポンプ光と第２のポンプ光との差周波数の電磁波を生成する光学異方性結晶とを備え、第２のポンプ光の周波数を変えることにより、光学異方性結晶から可変波長のテラヘルツ電磁波を発生させる電磁波発生装置であることを要旨とする。

【００１０】

本発明の第３の特徴は、（ａ）第１のポンプ光を出射する第１のポンプ光出射部と、（ｂ）第１のポンプ光とは異なる波長の第２のポンプ光を、波長可変で出射する第２のポンプ光出射部と、（ｃ）第１のポンプ光と第２のポンプ光との差周波数の電磁波を生成する非線形光学結晶と、（ｄ）第１のポンプ光と第２のポンプ光との外部交叉角度を調整し、第１のポンプ光及び第２のポンプ光を非線形光学結晶に入射させる光学系と、（ｅ）第１のポンプ光のパルス及び第２のポンプ光のパルスの非線形光学結晶に到達するタイミングを制御するタイミング制御機構とを備え、第２のポンプ光の周波数と外部交叉角度を連動して変えることにより、非線形光学結晶から可変波長のテラヘルツ電磁波を発生させる電磁波発生装置であることを要旨とする。

【００１１】

本発明の第４の特徴は、（ａ）第１のポンプ光を出射する第１のポンプ光出射部と、（ｂ）第１のポンプ光とは異なる波長の第２のポンプ光を、波長可変で出射する第２のポンプ光出射部と、（ｃ）第１のポンプ光と第２のポンプ光との差周波数の電磁波を生成し、この電磁波を電磁波出射面から出射する非線形光学結晶と、（ｄ）第１のポンプ光と第２のポンプ光との外部交叉角度を調整し、第１のポンプ光及び第２のポンプ光を非線形光学結晶に入射させる光学系と、（ｅ）第１のポンプ光の光軸に対する電磁波出射面の角度を制御する角度制御機構とを備え、第２のポンプ光の周波数、外部交叉角度及び電磁波出射面の角度を連動して変えることにより、電磁波出射面から可変波長のテラヘルツ電磁波を出射させる電磁波発生装置であることを要旨とする。

【図面の簡単な説明】

【００１２】

【図１】図１は、従来のテラヘルツ帯の電磁波発生装置を示す図である。

【図２】図２は、本発明の第１実施例～第８実施例に係る電磁波発生装置における第１、第２のポンプ光及びテラヘルツ電磁波の波数ベクトルの方向を示す図である。

【図３】図３は、本発明の第１実施例に係る電磁波発生装置における第１、第２のポンプ光及びテラヘルツ電磁波の結晶内伝播光路を示す図である。

【図４】図４は、本発明の第１実施例に係る電磁波発生装置の構成を示す図である。

【図５】図５は、非線形光学結晶としてＧａＰ結晶を用いた場合の外部交叉角度の周波数依存性を示す図である。

【図６】図６は、本発明の第２実施例に係る電磁波発生装置の構成を示す図である。

【図７】図７は、本発明の第３実施例に係る電磁波発生装置における非線形光学結晶の形状とビーム方向を示す図である。

【図８】図８は、本発明の第４実施例に係る電磁波発生装置の構成を示す図である。

【図９】図９は、本発明の第４実施例に係る電磁波発生装置におけるポンプ光間の外部交叉角度制御法を示す図である。

【図１０】図１０は、本発明の第４実施例に係る電磁波発生装置におけるポンプ光間の外部交叉角度制御法の他の例を示す図である。

【図１１】図１１は、本発明の第４実施例に係る電磁波発生装置における発生テラヘルツ電磁波の出射方向の制御法を示す図である。

【図１２】図１２は、本発明の第４実施例に係る電磁波発生装置による、テラヘルツ電磁波出力特性の１例である。
【図１３】図１３は、本発明の第５実施例に係る電磁波発生装置の構成を示す図である。
【図１４】図１４は、本発明の第５実施例に係る電磁波発生装置における非線形光学結晶の回転角制御法を示す図である。
【図１５】図１５は、本発明の第６実施例に係る電磁波発生装置における発生テラヘルツ電磁波の出射方向の制御法を示す図である。
【図１６】図１６は、本発明の第７実施例に係る電磁波発生装置の構成を示す図である。
【図１７】図１７は、本発明の第８実施例に係る電磁波発生装置の構成を示す図である。
【発明を実施するための最良の形態】

【００１３】
次に、図面を参照して、本発明の第１～第８実施例を説明する。以下の図面の記載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号を付している。但し、図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、各層の厚みの比率等は現実のものとは異なることに留意すべきである。したがって、具体的な厚みや寸法は以下の説明を参酌して判断すべきものである。又、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることは勿論である。

【００１４】
又、以下に示す第１～第８実施例は、本発明の技術的思想を具体化するための装置や方法を例示するものであって、本発明の技術的思想は、構成部品の材質、形状、構造、配置等を下記のものに特定するものでない。本発明の技術的思想は、請求の範囲に記載された技術的範囲内において、種々の変更を加えることができる。

【００１５】
本発明の第１～第８実施例に係る電磁波発生装置においては、テラヘルツ電磁波（テラヘルツ光）を発生する非線形光学結晶としてＧａＰ結晶を使う場合に付いて、主に例示する。ＧａＰ結晶は$LiNbO_3$結晶よりラマン効率が高いことを我々は明らかにしている。更に、ＧａＰ結晶では、フォノンポラリトンを構成する横波の純粋な振動周波数が１１ＴＨｚと極めて高いので広周波数帯域のポラリトンモードが得られる。更に$LiNbO_3$結晶よりテラヘルツ帯吸収係数が小さいことは既に知られている。２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$の波長がおよそ１．０μｍより小さい範囲においては、平行方向配置（コリニア）にて差周波光と非線形分極との位相整合関係が得られる。但し、非線形光学結晶は、ＧａＰ結晶に限定されるものではなく、$ZnGeP_2$結晶やＧａＳｅ結晶等のように、テラヘルツ帯で透明で、且つラマン効率が高い半導体結晶や誘電体結晶であれば、非線形光学結晶として使用可能である。非線形光学結晶として、ＧａＰ結晶の場合は、角度による位相整合を行うが、$ZnGeP_2$結晶やＧａＳｅ結晶のような光学異方性結晶では、結晶異方性を利用したコリニアな位相整合を行うことが可能で、極めて安価な波長可変テラヘルツ電磁波発生装置を得ることができる。

【００１６】
光学異方性結晶を用いる場合は例外であるが、以下に示す第１～第８実施例に係る電磁波発生装置では、コリニア位相整合条件を満たす波長範囲とは逆に、２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$の波長を１．０μｍより僅かに大きくする。その結果、平行方向では位相整合は得られないが、２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$間に微小な交叉角度を持たせることにより、角度位相整合が得られる。$LiNbO_3$結晶においても角度位相整合が行われているが、大きな交叉角度を与えなければならず、２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$、テラヘルツ電磁波$h\nu_3$の重なりが悪く、効率が低い。非線形光学結晶としてＧａＰ結晶を用いた場合においては、ポンプ光が１．０μｍより僅かに長波長であれば位相整合角度が微小であるためこのような欠点を克服でき、周波数帯域を広げる効果が大きい。テラヘルツ電磁波の周波数を掃引するには非線形光学結晶に接近したミラーやビームスプリッタの回転角を微小に変化し、同時に第２のポンプ光（信号光）の周波数を掃引する。微小な交叉角度の精密制御は回転ステージにより容易に達成できるのでテラヘルツ周波数の精密制御が可能

となる。

【００１７】

非線形光学結晶がＧａＰ結晶の場合について、フォノンポラリトンの微小角度整合の原理を、図２を使って説明する。以下の式の展開では、第１のポンプ光$h\nu_1$の源となるフォノンポラリトンの波数ベクトルk_L，第２のポンプ光$h\nu_2$の源となるフォノンポラリトンの波数ベクトルk_S及びテラヘルツ電磁波$h\nu_3$の源となるフォノンポラリトンの波数ベクトルｑとし、ν_1，ν_2及びν_3はそれぞれの周波数とする。

【００１８】

非線形光学結晶においてはポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$の波長が１．０μｍ以下で平行方向での位相整合（Δｑ＝０）が得られるが、１．０μｍより長波長では位相不整合Δｑを発生する。n_Iをテラヘルツ電磁波$h\nu_3$の周波数での非線形光学結晶の屈折率、n_Lをポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$の周波数での非線形光学結晶の屈折率とすると、２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$が結晶内でなす内部交叉角度θ_{in}が十分に小さいときは、図２の波数ベクトルの幾何学的な関係から、次の式が得られる。

【００１９】

$$\theta_{in}=(2\Delta q/q)^{1/2}(n_I/n_L)(\nu_3/\nu_1) \quad \cdots\cdots (1)$$

但し、Δｑはポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$の波長を１．０μｍより長波長にしたため平行方向では位相整合が得られなくなったため生じた波数の不一致の大きさであり、

$$\Delta q=k_L-k_S-q \quad \cdots\cdots (2)$$

である。平行方向の位相整合はおよそ１．０μｍが限界波長であると計算され、実験的にもほぼこれに近いことが確認できている。ポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$の波長をＹＡＧレーザの波長１．０６４μｍとした場合、限界波長より６．４％長波長であるが、テラヘルツ電磁波の分散関係からは位相不整合度Δｑ／ｑは約３％と計算される。したがって、式（１）から、内部交叉角度θ_{in}は，ν_3＝１ＴＨｚでは３．２’（分）＝０．０５４°という小さな値を有することが計算できる。

【００２０】

一方、テラヘルツ電磁波の進行方向（出射角）θ_Iは、図２から次の式が得られる。

【００２１】

$$\sin\theta_I=k_s/q\ \sin\theta_{in} \quad \cdots\cdots (3)$$

更に、式（１）及び（３）から次の式が得られる。

$$\sin\theta_I=(2\Delta q/q)^{1/2} \quad \cdots\cdots (4)$$

即ち、出射角θ_Iはｋ／ｑ倍されるため、内部交叉角度θ_{in}よりは相当大きいが０．５ＴＨｚから４ＴＨｚにおいて、出射角θ_Iは約１０°から１４°である。ｔａｎ１４°＝０．２５であるため、テラヘルツ電磁波$h\nu_3$の光路Φ_3とポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$の光路Φ_1，Φ_2の重なりは、図３に示すように、およそ８０％以上となり、実効的な相互作用距離は結晶長に近くなり高出力を広い範囲の周波数にわたって得ることができる。

【００２２】

テラヘルツ電磁波$h\nu_3$の周波数ν_3を７ＴＨｚに増大させると、テラヘルツ電磁波$h\nu_3$の分散が大きくなるため２Δｑ／ｑが増大する。分散特性の計算によれば７ＴＨｚではΔｑ／ｑ＝１２％まで増大するが、この場合でも、Δｑは未だ小さいといってよい範囲にある。即ち式（１）より内部交叉角度θ_{in}＝４６’（分）と計算され１°以下の微少角度である。結晶外においては約１４２’、即ち、２．４°となる。このときテラヘルツ電磁波$h\nu_3$の方向、出射角θ_Iは式（４）から約３０°であり、図３のようにビーム径３ｍｍ、結晶長５ｍｍの場合、約５０％以上のビーム重なりを得ることができる。このため７ＴＨｚにおいても効率低下は著しくない。しかし、出射角θ_Iは結晶内の全反射臨界角１７°を超えているため図３のように垂直入射に近い場合は全反射のため出力面から外部に取り出せなくなる。その場合は、ポンプ光の入射角を０°ではなく、１３°以上にかたむければ臨界角１７°以下にすることができる。

【００２３】

尚、非線形光学結晶として、$ZnGeP_2$結晶やGaSe結晶のような光学異方性結晶を用いる場合は、結晶異方性を利用したコリニアな位相整合を行うことが可能であるので、式（１）で示す内部交叉角度θ_{in}の制約を考慮する必要がない。即ち、非線形光学結晶として、光学異方性結晶を用いる場合は、ポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$を互いに平行に入射させ（内部交叉角度$\theta_{in}=0°$）、光学異方性結晶の結晶方位を回転させることにより、位相整合を行うことが可能である。

【００２４】

（第１実施例）

図４に示すように、本発明の第１実施例に係る電磁波発生装置は、１．０μmより長波長の第１のポンプ光$h\nu_1$を出射する第１のポンプ光出射部２と、１．０μmより長波長で、第１のポンプ光$h\nu_1$とは異なる波長の第２のポンプ光$h\nu_2$を、波長可変で出射する第２のポンプ光出射部２５と、第１のポンプ光$h\nu_1$と第２のポンプ光$h\nu_2$との差周波数の電磁波$h\nu_3$を生成する非線形光学結晶１９と、第１のポンプ光$h\nu_1$と第２のポンプ光$h\nu_2$との差周波数$\nu_3=1THz$における外部交叉角度θ_{in}^{ext}を０．５°以内に調整し、第１のポンプ光及び第２のポンプ光を非線形光学結晶１９に入射させる光学系（M_1，M_2，１８）とを備える。ここで、外部交叉角度θ_{in}^{ext}は結晶外における第１のポンプ光$h\nu_1$と第２のポンプ光$h\nu_2$との交叉角度であって内部交叉角度θ_{in}とは、ほぼ：

$$\theta_{in}^{ext}=n_L\theta_{in} \quad \cdots\cdots(5)$$

なる関係を有する。n_Lはポンプ光周波数での非線形光学結晶１９の屈折率であるから、非線形光学結晶１９が、GaPの場合は、屈折率$n_L=3.1$程度である。

【００２５】

式（１）からは、外部交叉角度θ_{in}^{ext}は、非線形光学結晶１９の横波格子振動周波数より十分小さい領域では、差周波数ν_3に比例して増大する。差周波数ν_3が横波格子振動周波数に近くなると、外部交叉角度θ_{in}^{ext}は式（１）が示す比例関係からずれ初め、図５に示すような周波数分散を示す曲線（カーブ）に沿って変化する。

【００２６】

図５は、非線形光学結晶としてGaP結晶を用いた場合の外部交叉角度θ_{in}^{ext}の差周波数ν_3依存性を示す図であるが、黒マルで示した実測値は式（１）で計算される値よりも、低周波側では小さな外部交叉角度θ_{in}^{ext}となる。例えば差周波数ν_3が１THzのときは外部交叉角度$\theta_{in}^{ext}=5'=0.083°$、内部交叉角度$\theta_{in}=1.6'=0.027°$の微少角度となる。差周波数$\nu_3$が２THzのときは外部交叉角度$\theta_{in}^{ext}=17'=0.28°$、内部交叉角度$\theta_{in}=5.5'=0.09°$の微少角度となる。差周波数$\nu_3$が６THzのときは外部交叉角度$\theta_{in}^{ext}=100'=1.7°$、内部交叉角度$\theta_{in}=32'=0.55°$の微少角度となる。差周波数$\nu_3$が７THzのときは外部交叉角度$\theta_{in}^{ext}=180'=3°$、内部交叉角度$\theta_{in}=57.8'=0.96°$の微少角度となる。

【００２７】

これに対して、冒頭で図１を用いて説明した$LiNbO_3$結晶の場合は、差周波数ν_3が１THzのときは外部交叉角度$\theta_{in}^{ext}=0.95°$（内部交叉角度$\theta_{in}=0.44°$）、差周波数ν_3が２THzのときは外部交叉角度$\theta_{in}^{ext}=1.85°$（内部交叉角度$\theta_{in}=0.86°$）となり、GaPの場合に比してかなり大きな角度となる。以後の説明では、主に、直接制御の対象となる外部交叉角度θ_{in}^{ext}を用いて説明するが、式（５）から等価な内部交叉角度θ_{in}に容易に換算可能なことは勿論である。

【００２８】

外部交叉角度θ_{in}^{ext}を調整し、第１及び第２のポンプ光を非線形光学結晶１９に入射させる光学系（M_1，M_2，１８）は、第１ミラーM_1、第２ミラーM_2及び偏光ビームスプリッタ１８からなる。第１ミラーM_1は、第１のポンプ光出射部２から出射した第１のポンプ光$h\nu_1$を反射し、第１のポンプ光$h\nu_1$を第２のポンプ光出射部２５に入射させるミラーである。第２ミラーM_2は、第１のポンプ光出射部２から出射した第１の

ポンプ光$h\nu_1$を反射し、第１のポンプ光$h\nu_1$を偏光ビームスプリッタ１８に入射する角度を調整するように回転可能なミラーである。図４に示す光学系（M_1，M_2，１８）の配置により、第２のポンプ光出射部２５から出射した信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$を偏光ビームスプリッタ１８を透過させる。又、第１のポンプ光出射部２から出射したポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$は、第２ミラーM_2を介して垂直方向から入射させて偏光ビームスプリッタ１８の偏光面で反射させ、平行に近い微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}で、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$及び信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$を非線形光学結晶１９内で結合させる光学系を構成している。

【００２９】

但し、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$と信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$は、偏光ビームスプリッタ１８よってビームを平行に近く重ねれば良いので、第４実施例の図９に示すように、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$を偏光ビームスプリッタ１８を透過させ、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$に対し偏波面の直交する信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$を垂直方向から入射させて偏光ビームスプリッタ１８の偏光面で反射させ、平行に近い微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}で、第１のポンプ光及び第２のポンプ光を非線形光学結晶１９内で結合させる光学系を構成しても良い。そして、第２のポンプ光$h\nu_2$の周波数の変化とともに、光学系（M_1，M_2，１８）を駆動し、第１のポンプ光$h\nu_1$と第２のポンプ光$h\nu_2$の外部交叉角度θ_{in}^{ext}を連動して変えることにより、非線形光学結晶１９から可変波長のテラヘルツ電磁波$h\nu_3$を発生させる。

【００３０】

尚、図４に示した光学系（M_1，M_2，１８）は、例示であり、第１ミラーM_1、第２ミラーM_2及び偏光ビームスプリッタ１８の他に、他のミラー等の光学素子を加えても良く、第１ミラーM_1、第２ミラーM_2の代わりに、プリズム等の第１ミラーM_1や第２ミラーM_2と等価な機能を有する光学素子に置き換えても、外部交叉角度θ_{in}^{ext}を調整して、第１及び第２のポンプ光を非線形光学結晶１９に入射させることができることは勿論である。

【００３１】

具体的には、第１のポンプ光出射部２として波長１．０６４μｍのパルスを発振するＹＡＧレーザ１６を使用する。第２のポンプ光出射部２５として、波長可変パラメトリックオッシレータ（ＯＰＯ）１７を用いる。波長可変ＯＰＯ１７は、励起光源１６としてのＹＡＧレーザからのポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$の基本波を３逓倍した３５５ｎｍの光で励起される。

【００３２】

テラヘルツ電磁波$h\nu_3$のスペクトル線幅を狭くかつ、広い周波数にわたってモードホップなしで動作させるために、波長可変ＯＰＯ１７は、インジェクションシーディング機構（手段）を備える。インジェクションシーディング機構（手段）として、波長可変ＯＰＯ１７内にシードレーザ（マスター発振器）を具備する。シードレーザ（マスター発振器）としては、例えば、Ｑ値の高い共振器を硼酸バリウム（BaB_2O_4）結晶に用い、スペクトル幅を狭くすれば良い。即ち、シードレーザ（マスター発振器）及びスレーブレーザ（ホストレーザ）共に、BaB_2O_4結晶のパラメトリック効果を用いる。そして、スレーブレーザ（ホストレーザ）である波長可変ＯＰＯ１７の共振器長を、シードレーザとスレーブレーザの縦モードが一致するように制御すれば良い。スレーブレーザの共振器長を制御する共振器ロックには、少なくとも（波長）／（共振器のフィネス）オーダー以上の正確な制御が必要になるので、例えば、ピエゾドライバで共振器長を制御することが好ましい。即ち、波長可変ＯＰＯ１７の出力をフォトディテクターで検出し、その信号をブランキング回路を経てロックインアンプに入力する。更に、このロックインアンプの出力信号を、ピエゾドライバでファンクションジェネレーターからの変調信号と加算し、ピエゾ駆動電圧に変換し、変調ミラーを動かすようにすれば良い。このとき、ファンクションジェネレーターの同調信号をロックインアンプの参照信号とするようにしても良い。このような波長可変ＯＰＯ１７は励起光源（ＹＡＧレーザ）１６の第３高調波即ち波長３５５

ｎｍ光で励起されることによりスペクトル線幅を広げる原因となる波長縮退を避け、更にインジェクションシーディングを行うことにより、波長可変ＯＰＯ１７のスペクトル線幅を狭くできるので、差周波として発生するテラヘルツ電磁波ｈν$_3$のスペクトル線幅も同様に狭くなる。

【００３３】

波長可変ＯＰＯ１７の出力光波長を１．０３８μｍから１．０６３５μｍの範囲に選べば差周波数ν$_3$は０．１５ＴＨｚから７ＴＨｚの範囲になる。又、波長可変ＯＰＯ１７の波長を１．０６４６μｍから１．０９１μｍの範囲に選んでも良い。

【００３４】

尚、励起光源（ＹＡＧレーザ）１６も、同様に、Ｑ値の高い共振器のＹＡＧレーザをシードレーザ（マスター発振器）として用い、スペクトル幅を狭くし、インジェクションシーディングすることにより、狭線幅の励起光源とすることが好ましい。

【００３５】

ポンプ光（第１のポンプ光）ｈν$_1$と信号光（第２のポンプ光）ｈν$_2$は直交した偏波方向を持ち、偏光ビームスプリッタ１８よってビームを平行に近い微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}に重ねる。ビームスプリッタ１８、又は、第２ミラーＭ$_2$を微小回転させ、テラヘルツ電磁波ｈν$_3$の周波数ν$_3$に応じて極く小さい外部交叉角度θ_{in}^{ext}となるようにポンプ光（第１のポンプ光）ｈν$_1$或いは信号光（第２のポンプ光）ｈν$_2$のビーム方向を調整する。

【００３６】

非線形光学結晶１９としてＧａＰ結晶を用いる場合は、ＧａＰ結晶の光軸方向を［１１０］方向にすれば、非線形光学結晶１９の出力面からテラヘルツ電磁波ｈν$_3$、ポンプ光（第１のポンプ光）ｈν$_1$と信号光（第２のポンプ光）ｈν$_2$共に取り出される。テラヘルツ電磁波ｈν$_3$が０．１５ＴＨｚから５ＴＨｚにおいてはθ$_1$が約１０－１７°、７ＴＨｚにおいても３０°以下と小さいのでポンプ光（第１のポンプ光）ｈν$_1$、信号光（第２のポンプ光）ｈν$_2$とテラヘルツ電磁波ｈν$_3$の重なりが大きく、長距離の相互作用が行われる。その結果、０．１５－７ＴＨｚの広い周波数にわたって１００ｍＷ以上のテラヘルツ電磁波ｈν$_3$のパルス出力が得られる。

【００３７】

尚、第４及び第５実施例で後述するように、偏光ビームスプリッタ１８を搭載した回転ステージの回転、ビームスプリッタ用線形ステージの位置を、コンピュータ制御するようにし、波長可変ＯＰＯ１７の波長を波長コントローラ等を用いて自動で掃引し、波長コントローラと連動して、２つのポンプ光ｈν$_1$，ｈν$_2$間の外部交叉角度θ_{in}^{ext}を自動的に制御するように自動位相制御装置（コンピュータシステム）を構成すれば、それぞれの周波数ν$_3$で最高出力を非線形光学結晶１９から発生させることができる。

【００３８】

第１のポンプ光出射部２である励起光源（ＹＡＧレーザ）１６のスペクトル線幅は十分狭いので、差周波であるテラヘルツ電磁波ｈν$_3$のスペクトル線幅は第２のポンプ光出射部２５のＯＰＯ１７のスペクトル線幅で決まることになる。ＯＰＯ１７はインジェクションシーディングされているためスペクトル線幅約４ＧＨｚであり、差周波であるテラヘルツ電磁波ｈν$_3$のスペクトル線幅もほぼ４ＧＨｚである。テラヘルツ帯における固体、液体状物質のスペクトル線幅は一般的に５０ＧＨｚ以上なので第１実施例に係る電磁波発生装置は十分に高分解能の分光測定を可能にする。

【００３９】

（第２実施例）

図６に示すように、本発明の第２実施例に係る電磁波発生装置は、１．０μｍより長波長の第１のポンプ光ｈν$_1$を出射する第１のポンプ光出射部２４と、１．０μｍより長波長で、第１のポンプ光ｈν$_1$とは異なる波長の第２のポンプ光ｈν$_2$を、波長可変で出射する第２のポンプ光出射部２５と、第１のポンプ光ｈν$_1$と第２のポンプ光ｈν$_2$との差周波数の電磁波ｈν$_3$を生成する非線形光学結晶１９と、第１のポンプ光ｈν$_1$と第２の

ポンプ光$h\nu_2$との差周波数１ＴＨｚにおける外部交叉角度θ_{in}^{ext}を０．５°以内に調整し、第１のポンプ光及び第２のポンプ光を非線形光学結晶１９に入射させる光学系（M_3，M_4，M_5，１８）とを備える。

【００４０】

光学系（M_3，M_4，M_5，１８）は、ハーフミラーM_3、第１ミラーM_5、第２ミラーM_4及び偏光ビームスプリッタ１８からなる。ハーフミラーM_3は、励起光源１６としてのＹＡＧレーザから出射した励起光の一部を透過し第１のポンプ光出射部２４に入射させ、励起光源（ＹＡＧレーザ）１６から出射した励起光の他の一部を反射し、第２のポンプ光出射部２５に入射させるミラーである。第１ミラーM_5は、ハーフミラーM_3で反射した励起光を更に反射し、励起光源（ＹＡＧレーザ）１６から出射した励起光の他の一部を第２のポンプ光出射部２５に入射させるミラーである。第２ミラーM_4は、第１のポンプ光出射部２４から出射した第１のポンプ光$h\nu_1$を反射し、第１のポンプ光$h\nu_1$を偏光ビームスプリッタ１８に入射する角度を調整するように回転可能なミラーである。図６に示す光学系（M_3，M_4，M_5，１８）の配置により、第２のポンプ光出射部２５から出射した信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$を偏光ビームスプリッタ１８を透過させる。又、第１のポンプ光出射部２４から出射したポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$は、第２ミラーM_4を用いて、垂直方向から入射させて偏光ビームスプリッタ１８の偏光面で反射させ、平行に近い微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}で、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$及び信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$を、非線形光学結晶１９内で結合させる光学系を構成している。

【００４１】

但し、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$と信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$は、偏光ビームスプリッタ１８よってビームを平行に近く重ねれば良いので、第４実施例の図９に示すように、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$を偏光ビームスプリッタ１８を透過させ、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$に対し偏波面の直交する信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$を垂直方向から入射させて偏光ビームスプリッタ１８の偏光面で反射させ、平行に近い微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}で、第１のポンプ光及び第２のポンプ光を非線形光学結晶１９内で結合させる光学系を構成しても良い。そして、第２のポンプ光$h\nu_2$の周波数の変化とともに、光学系（M_3，M_4，M_5，１８）を駆動し、第１のポンプ光$h\nu_1$と第２のポンプ光$h\nu_2$の外部交叉角度θ_{in}^{ext}を連動して変えることにより、非線形光学結晶１９から可変波長のテラヘルツ電磁波$h\nu_3$を発生させる。

【００４２】

尚、図６に示した光学系（M_3，M_4，M_5，１８）は、例示であり、ハーフミラーM_3、第１ミラーM_5、第２ミラーM_4及び偏光ビームスプリッタ１８の他に、他のミラー等の光学素子を加えても良く、第１ミラーM_5、第２ミラーM_4等の代わりに、プリズム等の第１ミラーM_5や第２ミラーM_4等と等価な機能を有する光学素子に置き換えても良いことは勿論である。

【００４３】

第１のポンプ光出射部２４及び第２のポンプ光出射部２５にそれぞれ備えられる第１及び第２のポンプ光源として、励起光源（ＹＡＧレーザ）１６で励起されるクロム（Ｃｒ）添加フォルステライトレーザを使う。このＣｒ添加フォルステライトレーザは、かんらん石の主成分であるフォルステライト（SiO_2・２ＭｇＯ＝Mg_2SiO_4）中のＣｒの準位を用いているため、インジェクションシーディングなしのＯＰＯに比べてスペクトル線幅が極めて狭い。Ｃｒ添加フォルステライトレーザは、波長１．０６４μｍの励起光源（ＹＡＧレーザ）１６を用いて励起され、ＯＰＯのようにＹＡＧ第３高調波を用いないので効率が高い。

【００４４】

即ち、第２実施例に係る電磁波発生装置では、２つのＣｒ添加フォルステライトレーザを第１のポンプ光出射部２４及び第２のポンプ光出射部２５にそれぞれ備えられる第１及び第２のポンプ光源として用い、第１のポンプ光出射部２４を固定波長で、第２のポンプ

光出射部２５を波長可変ポンプ光源とし、インジェクションシーディングなしで差周波としてのテラヘルツ電磁波$h\nu_3$のスペクトル線幅を狭くすることができる。

【００４５】

ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$の波長を、例えば、１．２０μｍに固定する。第１のポンプ光出射部２４に備えられる第１のポンプ光源は、内部にエタロンを設置することにより、固定波長でスペクトル線幅を１ＧＨｚ程度に狭くすることができる。第２のポンプ光出射部２５に備えられる第２のポンプ光源には同種のＣｒ添加フォルステライトレーザを使い、波長を掃引する。第２のポンプ光出射部２５は連続波長掃引のため、エタロンを挿入しないのでスペクトル線幅は１０ＧＨｚから１５ＧＨｚである。更に、Ｃｒ添加フォルステライトレーザは、ＯＰＯのようにＹＡＧの高調波を使う必要がないため、基本波１．０６４μｍによって励起でき、高出力且つ安価であることが特徴である。

【００４６】

この結果、差周波として発生するテラヘルツ電磁波$h\nu_3$のスペクトル線幅はほぼ１０ＧＨｚから１５ＧＨｚを得ることができる。第２のポンプ光出射部２５のＣｒ添加フォルステライトレーザ（第２のポンプ光源）から出射する信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$の波長を、１．２０２４μｍから１．２３４６μｍまで変えることにより、発生するテラヘルツ電磁波$h\nu_3$の周波数範囲は第１実施例に係る電磁波発生装置と同様、０．５ＴＨｚから７ＴＨｚの間である。出力も第１実施例に係る電磁波発生装置と同様である。

【００４７】

このとき、第４及び第５実施例で後述するように、偏光ビームスプリッタ１８を搭載した回転ステージの回転やビームスプリッタ用線形ステージの位置を、コンピュータ制御するようにし、第２のポンプ光出射部２５のＣｒ添加フォルステライトレーザ（第２のポンプ光源）の波長を波長コントローラ等を用いて自動で掃引し、この波長コントローラと連動して、２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$間の外部交叉角度θ_{in}^{ext}を自動的に制御するように自動位相制御装置（コンピュータシステム）を構成すれば、それぞれの周波数ν_3で最高出力を非線形光学結晶１９から発生させることができる。

【００４８】

外部交叉角度θ_{in}^{ext}は、図５に示すように差周波数ν_3に依存するが、ポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$が波長１．２５ｍｍ帯のＣｒ添加フォルステライトレーザであるときは、１ＴＨｚ、２ＴＨｚにおいて外部交叉角度θ_{in}^{ext}は、式（１）からそれぞれおよそ１２’、２４’と計算される。

【００４９】

尚、第１のポンプ光出射部２４及び第２のポンプ光出射部２５に用いる第１及び第２のポンプ光源としてのＣｒ添加フォルステライトレーザを、イッテルビウム（Ｙｂ）を添加したＹＬＦ（イットリウム・リチウム・フルオライド）レーザやＹｂを添加したファイバレーザで置き換えることもできる。Ｙｂ添加ＹＬＦレーザやＹｂ添加ファイバレーザを用いる場合も、インジェクションシーディングなしで比較的狭線幅を得られるので、極めて安価である利点を有する。但し、Ｙｂ添加ＹＬＦレーザやＹｂ添加ファイバレーザの場合は、ＹＡＧレーザ１６の波長１．０６４μｍより、僅かに波長が短いので、ＹＡＧレーザ１６の２倍波（波長５３０ｎｍ）で励起する必要がある。

【００５０】

（第３実施例）

第３実施例に係る電磁波発生装置は、第１実施例及び第２実施例に係る電磁波発生装置とほぼ同様な構成であるが、非線形光学結晶１９の形状が、図６に示すような断面が直角３角形となる３角柱構造である点が異なる。図６のように非線形光学結晶１９の断面形状を約３０°、６０°の直角３角形となし、最長辺の入力面S_1からポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$を入射するようにすれば、テラヘルツ電磁波$h\nu_3$は、電磁波出射面（出力端面）S_3からほぼ垂直に取り出すことができる。

【００５１】

例えば、テラヘルツ電磁波$h\nu_3$の周波数ν_3が７ＴＨｚの場合、テラヘルツ電磁波h

ν_3の進行方向θ_Iはほぼ３０°となるが、テラヘルツ電磁波$h\nu_3$は、電磁波出射面（出力端面）S_3からほぼ垂直に取り出されるので、テラヘルツ電磁波$h\nu_3$の検出光学系の配置が容易になり、又、結晶配置が１－２°ずれても問題を生じない。一方、ポンプ光は電磁波出射面（出力端面）S_3では全反射されるが、端面S_2から外部に放出される。

【００５２】

このように、第３実施例に係る電磁波発生装置は第１及び第２実施例に係る電磁波発生装置と違って、テラヘルツ電磁波$h\nu_3$の周波数が７ＴＨｚ以上になってもテラヘルツ電磁波$h\nu_3$は全反射せずに出力を取り出せる。

【００５３】

（第４実施例）

第４実施例に係る電磁波発生装置は、図８に示すように、第１のポンプ光$h\nu_1$を出射する第１のポンプ光出射部２４と、第１のポンプ光$h\nu_1$とは異なる波長の第２のポンプ光$h\nu_2$を、波長可変で出射する第２のポンプ光出射部２５と、第１のポンプ光$h\nu_1$と第２のポンプ光$h\nu_2$との差周波数の電磁波$h\nu_3$を生成する非線形光学結晶１９と、第１のポンプ光$h\nu_1$と第２のポンプ光$h\nu_2$との外部交叉角度θ_{in}^{ext}を調整し、第１のポンプ光及び第２のポンプ光を非線形光学結晶１９に入射させる光学系１８とを備える。そして、第２のポンプ光$h\nu_2$の周波数と外部交叉角度θ_{in}^{ext}を連動して変えることにより、非線形光学結晶１９から可変波長のテラヘルツ電磁波$h\nu_3$を発生させる。第１実施例に係る電磁波発生装置と同様に、第１のポンプ光出射部２４を機能させるための励起光源１６として、１．０６４μｍのパルスを発振するＹＡＧレーザを用い、第２のポンプ光出射部２５を機能させる光源として、励起光源（ＹＡＧレーザ）１６の３倍波で励起する可変波長ＯＰＯ５４を用いる。即ち、図８に示す第４実施例に係る電磁波発生装置においては、第１アッテネータ５２とにより第１のポンプ光出射部２４が構成され、可変波長ＯＰＯ５４と第２アッテネータ５３とにより、第２のポンプ光出射部２５が構成されている。

【００５４】

更に、図８に示すように、第４実施例に係る電磁波発生装置は励起光源（ＹＡＧレーザ）１６と第１のポンプ光出射部２４との間に、タイミング制御機構（手段）２６を挿入している。タイミング制御機構（手段）２６は、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$のパルス及び信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$のパルスの非線形光学結晶１９に到達するタイミングを制御する機能を有する。

【００５５】

既に述べたように、非線形光学結晶１９としてＧａＰ結晶を用いた場合においては、２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$の波長を１．０μｍより大きい波長にして、ポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$間に微小な角度を持たせることにより角度位相整合が達成されるので、非線形光学結晶１９内でポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$、テラヘルツ電磁波$h\nu_3$の重なりが大きくなり、効率良く広い周波数帯域でテラヘルツ電磁波$h\nu_3$が得られる。微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}でテラヘルツ電磁波$h\nu_3$を発生する非線形光学結晶である非線形光学結晶１９に導入するために、２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$は、偏光ビームスプリッタ１８を用いて結合される。

【００５６】

図９に示すように、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$は偏光ビームスプリッタ１８を透過させ、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$に対し偏波面の直交する信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$は垂直方向から入射させて偏光ビームスプリッタ１８の偏光面で反射させ、平行に近い微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}で結合させる。ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$と信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$は、偏光ビームスプリッタ１８よってビームを平行に近く重ねれば良いので、図１０に示すように、信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$を偏光ビームスプリッタ１８を透過させ、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$は垂直方向から入射させて偏光ビームスプリッタ１８の偏光面で反射させ、平行に近い微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}で結合させるような光学系でも構わない。図９の光学系であろうと、

図１０の光学系であろうと、２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$が同時に非線形光学結晶１９に到達するように、第１のポンプ光出射部２４側の光路には、タイミング制御機構（手段）２６として、遅延線路５１を挿入させている。励起光源（ＹＡＧレーザ）１６の出力光を遅延線路５１を経由した後、第１のポンプ光出射部２４に到達するように光路を構成することにより、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$のパルス及び信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$のパルスが非線形光学結晶１９に同時に到達するように、タイミングを制御することができる。

【００５７】

遅延線路５１は、反射鏡を複数枚用いて構成すれば良い。例えば、複数枚の反射鏡で１ｍずつ折り返し、２～３ｍ程度の光路を形成すれば良い。そして、遅延時間を変えるには、いずれか反射鏡を光路上で移動させ、光路長を変えれば良い。可変波長ＯＰＯ５４を用いる場合は、可変波長ＯＰＯ５４の光出力パルスの励起光源（ＹＡＧレーザ）１６に対する遅れは、数ナノ秒（ｎｓ）程度である。光路長１ｍに付き、３．３ナノ秒の遅れであるから、複数枚の反射鏡で２～３ｍ程度の光路を形成すれば、十分な遅延時間を得ることができる。

【００５８】

第２のポンプ光出射部２５において、可変波長ＯＰＯ５４の波長を１．０３８～１．０６３５μｍの範囲、或いは１．０６４６～１．０９１μｍの範囲で選べば、差周波数ν_3は０．１５～７ＴＨｚとなる。ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$及び信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$の強度は、第１アッテネータ５２及び第２アッテネータ５３により、それぞれ０．１～５０ｍＪの範囲で調節される。第１アッテネータ５２及び第２アッテネータ５３は、それぞれ１／２波長板と偏光子からなる。

【００５９】

非線形光学結晶としてＧａＰ結晶を用いた場合は、外部交叉角度θ_{in}^{ext}は、図５に示すような周波数依存性を示すので、差周波数ν_3の増加に伴い、２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$間で０°から４°程度の任意の微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}を得るために、図９及び図１０に示すように偏光ビームスプリッタ１８は回転ステージ５５により外部交叉角度θ_{in}^{ext}を制御する。２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$を、偏光ビームスプリッタ１８と約６０ｍｍ離れて配置されている非線形光学結晶１９の表面で任意の微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}において常に同じ点で重ね合わせるために、偏光ビームスプリッタ１８は更に、回転ステージ５５による回転に連動してビームスプリッタ用線形ステージ５６上を動く。このビームスプリッタ用線形ステージ５６の移動量は０から６．３ｍｍ程度である。

【００６０】

任意の周波数を即時に得る、或いは任意の速度で周波数掃引することは、２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$の少なくとも一方の波長を任意に制御するとともに、連動して非線形光学結晶１９に近接したミラーやビームスプリッタの回転角度を瞬時に設定することにより可能となる。例えば第２のポンプ光出射部２５として、可変波長ＯＰＯ５４を用いた場合、可変波長ＯＰＯ５４の波長は波長コントローラ３ａを用い、ＧＰＩＢ通信等によってパーソナルコンピュータ１１から高速に設定可能となる。第２のポンプ光出射部２５に用いる波長可変レーザとしての可変波長ＯＰＯ５４は、例えば、Ｓｐｅｃｔｒａ Ｐｈｙｓｉｃｓ社可変波長ＭＯＰＯ５４－ＳＬが使用可能である。

【００６１】

図２を用いて既に説明したように、非線形光学結晶１９より出射されるテラヘルツ電磁波$h\nu_3$はその周波数ν_3により出射角度（ポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$とテラヘルツ電磁波$h\nu_3$のなす角）θ_Iが変化する。周波数ν_3＝０．４～６ＴＨｚでこの出射角度θ_Iは３０～６０°となる。出射角度θ_Iを周波数ν_3によらず、一定位置或いは一定線上を通過するようにするには、図１１のように一対の非軸放物面鏡７ａ，７ｂを用いる。第１の非軸放物面鏡７ａは非線形光学結晶１９直近において、上記周波数範囲のテラヘルツ電磁波$h\nu_3$を捕獲できるよう配置する。この際、第１の非軸放物面鏡７ａの焦点の位置に非

線形光学結晶１９のテラヘルツ電磁波$h\nu_3$の出射点が来るような光学配置にすれば、テラヘルツ電磁波$h\nu_3$の出射方向に関わらず、テラヘルツ電磁波$h\nu_3$のビームを同一光路にすることができる。即ち、第１の非軸放物面鏡７ａの反射光は、周波数ν_3によらず必ず特定の平行線上を通過する。

【００６２】

第２の非軸放物面鏡７ｂは第１の非軸放物面鏡７ａに相対して配置し、第１の非軸放物面鏡７ａで反射されるテラヘルツ電磁波$h\nu_3$の光軸に垂直な軸に沿って、放物面鏡用線形ステージ（図示省略）上を移動する。第１の非軸放物面鏡７ａの位置を固定し、第２の非軸放物面鏡７ｂが必ず鏡上の同じ点でテラヘルツ電磁波$h\nu_3$を受け、垂直方向に反射するようにすれば、いずれの周波数ν_3においても、テラヘルツ電磁波$h\nu_3$は同一線上を通過することになる。結局テラヘルツ電磁波$h\nu_3$の焦点はこの線上を移動することになるが、シリコンボロメータやＤＴＧＳ赤外光検出器のようなテラヘルツ帯の電磁波検出器では、直前にホーン形状の集光系を用いれば、焦点が移動しても問題にならない。

【００６３】

入射ポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$の微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}を制御するための偏光ビームスプリッタ１８を搭載した回転ステージ５５、ビームスプリッタ用線形ステージ５６は、例えばステッピングモータとこのステッピングモータ用のモータコントローラ４を用いれば、ＧＰＩＢ通信やＵＳＢ通信、ＲＳ－２３２Ｃ通信等によりパーソナルコンピュータ１１から容易に高速に制御可能である。即ち、波長コントローラ３ａを用いて自動で連続的に周波数ν_3を掃引し、更に、モータコントローラ４を波長コントローラ３ａと連動して駆動し、２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$間の外部交叉角度θ_{in}^{ext}を自動的に制御するように自動位相制御装置を構成すれば、それぞれの周波数ν_3で最高出力を非線形光学結晶１９から発生させることができる。

【００６４】

同様に、図示を省略した放物面鏡用線形ステージを、モータコントローラ４を用いて、例えばステッピングモータを駆動すれば、ＧＰＩＢ通信やＵＳＢ通信、ＲＳ－２３２Ｃ通信等によりパーソナルコンピュータ１１から容易に高速に、第２の非軸放物面鏡７ｂの位置を制御することが可能である。こうすれば、自動で連続的に周波数ν_3を掃引し、且つそれぞれの周波数ν_3で最高出力を得るために、可変波長ＯＰＯ５４の波長、２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$間の外部交叉角度θ_{in}^{ext}、第２の非軸放物面鏡７ｂの位置を同時に制御できる。図１２に、このシステムを用いたテラヘルツ電磁波発生装置の出力特性例を示す。

【００６５】

尚、図示を省略しているが、図８の構成で、波長コントローラ３ａを用いて自動で可変波長ＯＰＯ５４の周波数ν_3を掃引し、モータコントローラ４により遅延線路５１を波長コントローラ３ａと連動して駆動し、可変波長ＯＰＯ５４の発振遅れ時間を、可変波長ＯＰＯ５４の波長と連動して制御することができる。即ち、複数枚の反射鏡で折り返した光路を構成し、ステップモータやピエゾドライバ等を用いて、いずれか反射鏡を光路上で移動させれば、発振遅れ時間の自動調整が可能になる。

【００６６】

（第５実施例）

第５実施例に係る電磁波発生装置は、図１３に示すように、第１のポンプ光$h\nu_1$を出射する第１のポンプ光出射部２４と、第１のポンプ光$h\nu_1$とは異なる波長の第２のポンプ光$h\nu_2$を、波長可変で出射する第２のポンプ光出射部２５と、第１のポンプ光$h\nu_1$と第２のポンプ光$h\nu_2$との差周波数の電磁波$h\nu_3$を生成する非線形光学結晶１９と、第１のポンプ光$h\nu_1$と第２のポンプ光$h\nu_2$との外部交叉角度θ_{in}^{ext}を調整し、第１のポンプ光及び第２のポンプ光を非線形光学結晶１９に入射させる光学系１８とを備える。そして、第２のポンプ光$h\nu_2$の周波数と外部交叉角度θ_{in}^{ext}を連動して変えることにより、非線形光学結晶１９から可変波長のテラヘルツ電磁波$h\nu_3$を発生させる。更に、図１３に示すように、第４実施例に係る電磁波発生装置は第２のポンプ光出射

部２５と光学系１８との間に、タイミング制御機構（手段）２７を挿入している。タイミング制御機構（手段）２７は、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$のパルス及び信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$のパルスの非線形光学結晶１９に到達するタイミングを制御する機能を有する。

【００６７】

第１のポンプ光出射部２４及び第２のポンプ光出射部２５には、それぞれ第１及び第２のポンプ光源として、１．１５～１．３５μｍの範囲で波長可変なＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ａ及びＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ｂが用いられている。

【００６８】

２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$が同時に非線形光学結晶１９に到達するように、第２のポンプ光出射部２５側の光路には、タイミング制御機構（手段）２７として、可変遅延線路５６を挿入させている。第２のポンプ光出射部２５の出力光を可変遅延線路５６を経由した後、非線形光学結晶１９に到達するように光路を構成することにより、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$のパルス及び信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$のパルスが非線形光学結晶１９に同時に到達するように、タイミングを制御することができる。可変遅延線路５６は、第４実施例の遅延線路５１と同様に、反射鏡を複数枚用いて構成すれば良い。例えば、そして、遅延時間を変えるには、ステップモータやピエゾドライバ等で、いずれか反射鏡を光路上で移動させ、光路長を変えれば良い。

【００６９】

２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$は第４実施例に係る電磁波発生装置と同様に、互いに直交する偏波面を持って、微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}で非線形光学結晶１９に入射される。例えば第１のポンプ光出射部２４に備えられる第１のポンプ光源から出射されるポンプ光$h\nu_1$の波長を１．２０μｍに固定し、第２のポンプ光出射部２５に備えられる第２のポンプ光源から出射されるポンプ光$h\nu_2$の波長を１．２０２４～１．２３４６μｍの範囲で選べば、差周波数ν_3は０．５～７ＴＨｚとなる。第１のポンプ光出射部２４或いは第２のポンプ光出射部２５に用いる第１及び第２のポンプ光源としてのＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ａ，５５ｂを、Ｙｂ添加したＹＬＦレーザやＹｂ添加ファイバレーザで置き換えることもできることは、第２実施例と同様である。

【００７０】

既に第２実施例に係る電磁波発生装置で説明したように、Ｃｒ添加フォルステライトレーザ５５ａ，５５ｂは、フォルステライト結晶内のＣｒ準位エネルギーを利用しているので高出力が得られ、且つインジェクションシーディング等の特別の機構（手段）なしでスペクトル線幅を１０～１５ＧＨｚとすることが可能である。又、ＯＰＯレーザと同様に励起光源１６としてのＹＡＧレーザで励起できるが、ＯＰＯレーザのようにＹＡＧレーザの高調波を用いる必要がないので、簡易且つ安価にすることができる。但し、Ｃｒ添加フォルステライトレーザ５５ａ，５５ｂは発振波長により、発振開始までの遅れ時間が異なることがあるので、２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$が同時に非線形光学結晶１９に照射されるようにタイミング制御機構（手段）２７により、遅延時間を調節している。

【００７１】

図１３においては、第２のポンプ光出射部２５の出力側にタイミング制御機構（手段）２７としての可変遅延線路５６を挿入し、その線路長を可変させる場合を例示したが、逆に、第１のポンプ光出射部２４側にタイミング制御機構（手段）として機能する可変遅延線路を挿入しても良い。或いは、タイミング制御機構（手段）として、第１のポンプ光出射部２４及び第２のポンプ光出射部２５がそれぞれ有する２台のＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ａ，５５ｂをそれぞれ独立に励起する励起光源（ＹＡＧレーザ）を１台ずつ用意し、２台の励起光源間の発振開始時間を調節しても良い。２台のＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ａ，５５ｂは発振波長により、発振開始までの遅れ時間が１０ナノ秒以上になることがある。このような場合、反射鏡を複数枚用いて構成した可変遅延線路５６では、光路が長くなり、装置の構成が大きくなりすぎる場合がある。したがって、調整すべき遅延時間が長くなる場合は、独立に励起する２台の励起光源を用いる方法が、電磁波

発生装置の小型化に有効である。

【００７２】

第５実施例に係る電磁波発生装置においても、第４実施例に係る電磁波発生装置とほぼ同様の非線形光学結晶１９に対する入射ビーム光学系が可能である。しかしながら入射光の波長、つまりエネルギーが異なるために入射ポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$間の微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}は、本発明の第４実施例に係る電磁波発生装置と若干異なる。２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$間の微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}＝０～３°に伴い、出射するテラヘルツ電磁波$h\nu_3$も周波数ν_3＝０．４～３ＴＨｚで出射角度θ_I＝５０～８０°と第４実施例に係る電磁波発生装置より大きな出射角度θ_Iとなる。出射テラヘルツ電磁波$h\nu_3$の周波数ν_3が３～４ＴＨｚ程度を超えて、更に高周波になると非線形光学結晶１９の裏面つまり電磁波出射面で全反射する可能性がある。これを避けるためには、図１４に示すように非線形光学結晶１９を結晶用回転ステージ５７上に載せ、必要に応じて回転させれば、より高周波でも電磁波出射面での全反射が防げる。結晶用回転ステージ５７は、第１のポンプ光$h\nu_1$の光軸に対する電磁波出射面の角度を制御する「角度制御機構（手段）」として機能する。第１のポンプ光$h\nu_1$の光軸に対し角度を定義するか、第２のポンプ光$h\nu_2$の光軸に対する角度を定義するかは任意であり、第５実施例に係る角度制御機構（手段）は、第２のポンプ光$h\nu_2$の光軸に対する非線形光学結晶１９の裏面（電磁波出射面）の角度を制御しても構わない。非線形光学結晶１９から出射されたテラヘルツ電磁波$h\nu_3$の集光系は、本発明の第４実施例に係る電磁波発生装置とほぼ同様な設計が可能である。

【００７３】

第４実施例に係る電磁波発生装置で説明したように、偏光ビームスプリッタ１８を搭載した回転ステージ５５、ビームスプリッタ用線形ステージ５６を、例えばステッピングモータとこのステッピングモータ用のモータコントローラ４を駆動するように、ＧＰＩＢ通信やＵＳＢ通信、ＲＳ－２３２Ｃ通信等によりパーソナルコンピュータ１１制御すれば、入射ポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$の微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}を自動的に制御可能である。２台のＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ａ，５５ｂの内、例えば第１のＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ａのレーザ波長を固定し、第２のＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ｂのレーザ波長を、波長コントローラ３ａを用いて自動で連続的に周波数ν_3を掃引し、更に、モータコントローラ４を波長コントローラ３ａと連動して駆動し、２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$間の外部交叉角度θ_{in}^{ext}を自動的に制御するように自動位相制御装置を構成すれば、それぞれの周波数ν_3で最高出力を非線形光学結晶１９から発生させることができる。

【００７４】

更に、波長コントローラ３ａを用いて自動で第２のＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ｂの周波数ν_3を掃引し、モータコントローラ４により可変遅延線路５６を波長コントローラ３ａと連動して駆動し、第２のＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ｂの発振遅れ時間を、第２のＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ｂの波長と連動して制御することができる。即ち、可変遅延線路５６を複数枚の反射鏡で光路を折り返した構造にしておき、モータコントローラ４によりステップモータを駆動し、いずれか反射鏡を光路上で移動させれば、発振遅れ時間の自動調整が可能になる。

【００７５】

更に、波長コントローラ３ａを用いて自動で第２のＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ｂの周波数ν_3を掃引し、モータコントローラ４を波長コントローラ３ａと連動して駆動し、角度制御機構（手段）を構成する結晶用回転ステージ５７の回転を制御すれば、非線形光学結晶１９の裏面（電磁波出射面）の光軸に対する角度を、第２のＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ｂの波長と連動して制御することができる。同様に、図示を省略した放物面鏡用線形ステージを、モータコントローラ４を用いて、例えばステッピングモータを駆動すれば、第２のＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ｂの波長と連動して制御することができる。

【００７６】
このように、波長コントローラ３ａを用いて、第２のＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ｂのレーザ波長を掃引すると同時に、モータコントローラ４を用いて、発振遅れ時間、２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$間の外部交叉角度θ_{in}^{ext}、非線形光学結晶１９の裏面（電磁波出射面）の光軸に対する角度、第２の非軸放物面鏡７ｂの位置を連動して自動的に制御し、それぞれの周波数で最高出力を得ることができる。
【００７７】
図９に示した波長コントローラ３ａやステッピングモータ用のモータコントローラ４は、ＧＰＩＢ通信やＵＳＢ通信、ＲＳ－２３２Ｃ通信等によりパーソナルコンピュータ１１を用いて、容易に高速に制御可能である。
【００７８】
（第６実施例）
第１実施例～第５実施例に係る電磁波発生装置と同様に、第６実施例に係る電磁波発生装置においても、差周波発生のために２つのポンプ光$h\nu_1$，$h\nu_2$を非線形光学結晶１９に入射する。但し、第６実施例に係る電磁波発生装置は、図１５のように、非線形光学結晶１９とともに、第１入射ミラーM_{21}と，第２入射ミラーM_{22}とを搭載するテラヘルツ発生部回転ステージ５８を備える。第１入射ミラーM_{21}は、第１のポンプ光$h\nu_1$を反射し、第１のポンプ光$h\nu_1$を非線形光学結晶１９に入射する角度を調整するように回転可能なミラーである。第２入射ミラーM_{22}は、第２のポンプ光$h\nu_2$を反射し、第２のポンプ光$h\nu_2$を非線形光学結晶１９に入射する角度を調整するように回転可能なミラーである。このテラヘルツ発生部回転ステージ５８は、図１５に示すように、非線形光学結晶１９の電磁波出射面上の出射点３３を中心軸として回転する。このテラヘルツ発生部回転ステージ５８の回転角を制御することにより、電磁波出射面に対してある出射角度を持って出射したテラヘルツ電磁波$h\nu_3$を、任意の周波数において、その出射角度によらず任意の点に集光することが可能である。
【００７９】
第１入射ミラーM_{21}には、第１中間ミラーM_{11}を介して、第１のポンプ光$h\nu_1$が入射する。第１中間ミラーM_{11}は、第１のポンプ光$h\nu_1$を反射し第１のポンプ光$h\nu_1$を第１入射ミラーM_{21}に入射する角度を調整するように回転可能である。第２入射ミラーM_{22}には、第２中間ミラーM_{12}を介して、第２のポンプ光$h\nu_1$が入射する。第２中間ミラーM_{12}は、第２のポンプ光$h\nu_1$を反射し第２のポンプ光$h\nu_1$を第２入射ミラーM_{22}に入射する角度を調整するように回転可能である。即ち、第６実施例に係る電磁波発生装置は、ポンプ光入射角度を制御するためにミラーM_{11}，M_{12}の回転角度を調整すると同時に、テラヘルツ発生部回転ステージ５８を回転し、ミラーM_{21}，M_{22}の位置の移動をすると同時に、ミラーM_{21}，M_{22}の回転角度も制御する。
【００８０】
図１５に示すように、テラヘルツ電磁波出射方向にスリット３５を開口した遮蔽板３６を用意しておけば、テラヘルツ周波数によらず、常にスリット３５を介して、テラヘルツ電磁波$h\nu_3$が出射（供給）できる。
【００８１】
同様の構成は、ミラーM_{21}，M_{22}の代わりにプリズムを用い、非線形光学結晶１９とプリズムとをテラヘルツ発生部回転ステージ５８上に搭載しても得られる。
【００８２】
（第７実施例）
第２実施例に係る電磁波発生装置等で説明した第１及び第２のポンプ光源としてのＣｒ添加フォルステライトは、Ｃｒの励起準位の寿命が長いため、励起光源１６としてのＹＡＧレーザのパルスで励起されてから出力パルスを発生するまで相当の遅れ時間を生じる。この遅れ時間は各種の要因によって異なるので２つのＣｒ添加フォルステライトレーザを図６のように同時に励起光源（ＹＡＧレーザ）１６で励起しても同時に出力を発生しない場合がある。このタイミングのずれは出力光のパルス幅、数ナノ秒よりも大きくなりえる

ので、その場合はポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$と信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$の時間的重なりがないからテラヘルツ電磁波$h\nu_3$を得ることができない。少しタイミングがずれていればテラヘルツ電磁波出力が小さくなる。このため、第５実施例に係る電磁波発生装置では、図１３に示すように、第２のポンプ光出射部２５側にタイミング制御機構（手段）２７として可変遅延線路５６を挿入し、その線路長を可変させ、タイミングを調整した。

【００８３】

第７実施例に係る電磁波発生装置においては、第１及び第２のポンプ光源としての２つのＣｒ添加フォルステライトレーザから、信号光（第２のポンプ光）のパルスとポンプ光（第１のポンプ光）のパルスとをほぼ同時に非線形光学結晶１９に到達させるタイミングを制御するタイミング制御機構（手段）（６，１０）を備えることによって、効率の高い周波数可変テラヘルツ電磁波を発生する。第５実施例に係る電磁波発生装置において説明した、第１のポンプ光出射部２４及び第２のポンプ光出射部２５がそれぞれ有する２台のＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ａ，５５ｂをそれぞれ独立に励起する励起光源を１台ずつ用意し、２台の励起光源間の発振開始時間を調節する構成も、タイミング制御機構（手段）として機能するが、第７実施例に係るタイミング制御機構（手段）は、ダブルパルスＹＡＧレーザ６を用いることにより、第１及び第２のポンプ光源としての２つのＣｒ添加フォルステライトレーザをそれぞれ励起する励起光パルスの間の時間差を調整する。

【００８４】

即ち、第２実施例の図６のような１個の励起光源（ＹＡＧレーザ）１６の出力をビームスプリッタによって２つのビームに分ける方式に代わり、第７実施例に係る電磁波発生装置においては、図１６に示すように、１個のフラッシュランプ６１で第１ＹＡＧロッド６２及び第２ＹＡＧロッド６３を励起するＹＡＧレーザ６即ち「ダブルパルスＹＡＧレーザ６」を励起光源として用い、ダブルパルスＹＡＧレーザ６をタイミング制御機構（手段）として機能させることによって２つのＣｒ添加フォルステライトレーザを励起する。ダブルパルスＹＡＧレーザ６は、一つのフラッシュランプ６１で第１ＹＡＧロッド６２及び第２ＹＡＧロッド６３を励起し、２つの１０６４ｎｍの波長の出力パルス光$h\nu_1$，$h\nu_2$を得る。

【００８５】

フラッシュランプ６１で第１ＹＡＧロッド６２及び第２ＹＡＧロッド６３を励起してから相当遅れてＱ－スイッチパルスによってＹＡＧレーザの発振を生じるので、第１ＹＡＧロッド６２及び第２ＹＡＧロッド６３のＱスイッチパルスのタイミングを１ナノ秒の精度でそれぞれ変えることができる。この結果、第７実施例に係るタイミング制御機構（手段）では、第１ＹＡＧロッド６２からの励起光パルスが第１のポンプ光源（Ｃｒ添加フォルステライトレーザ）を励起する時間と、第２ＹＡＧロッド６３からの励起光パルスが第２のポンプ光源（Ｃｒ添加フォルステライトレーザ）を励起する時間との間の時間差を調整することにより、第１のポンプ光源からのポンプ光（第１のポンプ光）のパルスと第２のポンプ光源からの信号光（第２のポンプ光）のパルスとが、ほぼ同時に非線形光学結晶１９に到達するようにタイミングを制御する。「ほぼ同時に」とは、「Ｃｒ添加フォルステライトレーザの出力光のパルス幅よりも、十分に短い時間で」という意味であり、例えば、Ｃｒ添加フォルステライトレーザのパルス幅は、一般に２０～３０ナノ秒程度であり、このような場合は、１ナノ秒或いはそれ以下の時間差にすれば良い。

【００８６】

本発明の第２実施例に係る電磁波発生装置と同様に、図１６に示す本発明の第７実施例に係る電磁波発生装置は、第１のポンプ光$h\nu_1$と第２のポンプ光$h\nu_2$との外部交叉角度θ_{in}^{ext}を調整し、第１のポンプ光及び第２のポンプ光を非線形光学結晶１９に入射させる光学系（M_6，１８）を備える。光学系（M_6，１８）は、反射鏡（ミラー）M_6及び偏光ビームスプリッタ１８からなる。反射鏡（ミラー）M_6は、第１のポンプ光出射部２４から出射した第１のポンプ光$h\nu_1$を反射し、第１のポンプ光$h\nu_1$を偏光ビームスプリッタ１８に入射する角度を調整するように回転可能なミラーである。図１６に示

す光学系（M_6，１８）の配置により、第２のポンプ光出射部２５から出射した信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$を偏光ビームスプリッタ１８を透過させる。又、第１のポンプ光出射部２４から出射したポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$は、反射鏡（ミラー）M_6を用いて、垂直方向から入射させて偏光ビームスプリッタ１８の偏光面で反射させ、平行に近い微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}で、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$及び信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$を、非線形光学結晶１９結合させる光学系を構成している。但し、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$と信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$は、偏光ビームスプリッタ１８よってビームを平行に近く重ねれば良いので、第４実施例の図９に示すように、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$を偏光ビームスプリッタ１８を透過させ、ポンプ光（第１のポンプ光）$h\nu_1$に対し偏波面の直交する信号光（第２のポンプ光）$h\nu_2$を垂直方向から入射させて偏光ビームスプリッタ１８の偏光面で反射させ、平行に近い微小な外部交叉角度θ_{in}^{ext}で、第１のポンプ光及び第２のポンプ光を非線形光学結晶１９内で結合させる光学系を構成しても良い。そして、第２のポンプ光$h\nu_2$の周波数の変化とともに、光学系（M_6，１８）を駆動し、外部交叉角度θ_{in}^{ext}を連動して変えることにより、非線形光学結晶１９から可変波長のテラヘルツ電磁波$h\nu_3$を発生させる。

【００８７】

尚、図１６に示した光学系（M_6，１８）は、例示であり、反射鏡（ミラー）M_6及び偏光ビームスプリッタ１８の他に、他のミラー等の光学素子を加えても良く、反射鏡（ミラー）M_6の代わりに、プリズム等の反射鏡（ミラー）M_6と等価な機能を有する光学素子に置き換えても良いことは勿論である。

【００８８】

第１のポンプ光源からのポンプ光（第１のポンプ光）のパルスと第２のポンプ光源からの信号光（第２のポンプ光）のパルスとが、ほぼ同時に非線形光学結晶１９に到達するということは、第１及び第２のポンプ光源からの出力（パルス）をほぼ同時にすることである。第１及び第２のポンプ光源としての２つのＣｒ添加フォルステライトレーザの出力（パルス）がほぼ同時になるようにするには、ダブルパルスＹＡＧレーザ６のＱスイッチパルスのタイミングを変化させるようにあらかじめプログラムしておけば良い。或いは、テラヘルツ電磁波出力が最大になるようにＱスイッチパルス発生のタイミングをフィードバック制御するループを形成することにより、第１のポンプ光源からのポンプ光（第１のポンプ光）と第２のポンプ光源からの信号光（第２のポンプ光）のタイミングを一致させることができる。

【００８９】

ダブルパルスＹＡＧレーザ６は、図１６に示すトリガパルス発生回路１０により駆動される。即ち、トリガパルス発生回路１０は、フラッシュランプ励起用パルスP_1、ＹＡＧレーザＱ－スイッチパルスP_2，P_3を発生し、トリガパルス発生回路１０とダブルパルスＹＡＧレーザ６とによって、信号光（第２のポンプ光）のパルスとポンプ光（第１のポンプ光）のパルスとをほぼ同時に非線形光学結晶１９に到達させるタイミング制御機構（手段）（６，１０）を構成している。

【００９０】

図１６において、第１のポンプ光出射部２４の第１のポンプ光源、第２のポンプ光出射部２５の第２のポンプ光源として、それぞれＣｒ添加フォルステライトレーザを用いる。Ｃｒ添加フォルステライトレーザの遅れ時間は、主に、ダブルパルスＹＡＧレーザ６からの励起光強度とＣｒ添加フォルステライトレーザの出力波長によって決まるので、第１及び第２のポンプ光源としての２つのＣｒ添加フォルステライトレーザは、必ずしも同一のタイミングで出力を発生しない。テラヘルツ電磁波$h\nu_3$の周波数ν_3を掃引するには、例えば、第１のポンプ光出射部２４を構成する一方のＣｒ添加フォルステライトレーザ（第１のポンプ光源）の波長を固定し、第２のポンプ光出射部２５を構成する他方のＣｒ添加フォルステライトレーザ（第２のポンプ光源）の波長を掃引する（逆に、第２のポンプ光出射部２５を構成するＣｒ添加フォルステライトレーザ（第２のポンプ光源）の波長を

固定し、第１のポンプ光出射部２４を構成するＣｒ添加フォルステライトレーザ（第１のポンプ光源）の波長を掃引するようにしても良い。）。

【００９１】

第２のポンプ光出射部２５を構成するＣｒ添加フォルステライトレーザ（第２のポンプ光源）の波長と強度が掃引に伴って変化するから、この２つのパラメータの関数として、２つのＣｒ添加フォルステライトレーザの出力が同時となるための２つのＱ－スイッチパルス$Ｐ_2$，$Ｐ_3$のタイミング差ｔをあらかじめプログラムしておき、プログラムに従って２つのＱ－スイッチパルス$Ｐ_2$，$Ｐ_3$を発生すれば良い。Ｃｒ添加フォルステライトレーザの出力パルス幅は約１０ナノ秒であるからＱ－スイッチパルス$Ｐ_2$，$Ｐ_3$のタイミング差ｔは、１ナノ秒の精度で制御すれば十分である。

【００９２】

第１のポンプ光出射部２４と第２のポンプ光出射部２５からそれぞれ出射したポンプ光（第１のポンプ光）$ｈν_1$と信号光（第２のポンプ光）$ｈν_2$は、偏光ビームスプリッタ１８よってビームを平行に近い微小な外部交叉角度$θ_{in}^{ext}$で重ねられ、非線形光学結晶１９に入射する。非線形光学結晶１９から、ポンプ光（第１のポンプ光）$ｈν_1$と信号光（第２のポンプ光）$ｈν_2$の差の周波数を有するテラヘルツ電磁波$ｈν_3$が出力する。

【００９３】

第５実施例で説明したように、２台のＣｒ添加フォルステライトレーザ５５ａ，５５ｂを用いる場合は、発振波長により遅れ時間が１０ナノ秒以上になることがある。このような場合、反射鏡を複数枚用いて構成した可変遅延線路５６では、光路が長くなり、装置の構成が大きくなりすぎる場合がある。したがって、調整すべき遅延時間が長くなる場合は、第７実施例に係る電磁波発生装置のように、ダブルパルスＹＡＧレーザ６を用いる方法が、電磁波発生装置の小型化に有効である。尚、第１のポンプ光出射部２４或いは第２のポンプ光出射部２５に用いる第１及び第２のポンプ光源としてのＣｒ添加フォルステライトレーザを、Ｙｂ添加したＹＬＦレーザやＹｂ添加ファイバレーザで置き換えても良いこともできることは、第２実施例や第５実施例と同様である。

【００９４】

（第８実施例）

第８実施例に係る電磁波発生装置においては、図１７に示すようにテラヘルツ電磁波出力をビームスプリッタ９で分割し、検知器８でテラヘルツ強度を検知する。検知器８が出力する検知出力$Ｄ_{out}$をトリガパルス発生回路１０とダブルパルスＹＡＧレーザ６とから構成されるタイミング制御機構（手段）（６，１０）に、フィードバックしている。即ち、検知出力$Ｄ_{out}$を、トリガパルス発生回路１０に入力することによりフィードバックループが構成され、最大のテラヘルツ出力が得られるＱ－スイッチパルス$Ｐ_2$，$Ｐ_3$のタイミング差ｔの最適値を自動的に見出すことができる。他は、第７実施例に係る電磁波発生装置と実質的に同様であるので、重複した説明を省略する。

【００９５】

尚、フィードバックの初期設定値として第７実施例に係る電磁波発生装置で述べたプログラム値を使えば高速で最適値に達することができる。

【００９６】

（その他の実施例）

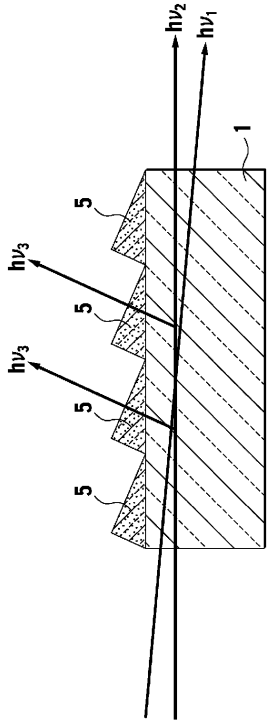
上記のように、本発明は第１～第８実施例によって記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面は本発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施例、実施例及び運用技術が明らかとなろう。即ち、本発明はここでは記載していない様々な実施例等を含むことは勿論である。したがって、本発明の技術的範囲は上記の説明から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ定められるものである。

【産業上の利用可能性】

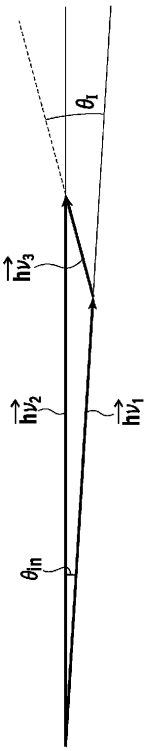
【００９７】

本発明のテラヘルツ電磁波発生装置によれば、０．５ＴＨｚから７ＴＨｚ程度の範囲で、任意の周波数のテラヘルツ電磁波を瞬時に、一定の場所に大出力で発生できるので、テラヘルツ電磁波照射装置やテラヘルツ分光計測装置などの産業の分野に利用できる。更に、本発明のテラヘルツ電磁波発生装置によれば、小型で安定度の高い、周波数可変テラヘルツ電磁波源が得られので、生体分子のテラヘルツ共振スペクトルの測定や医療用テラヘルツ画像スペクトルなどの産業の分野に、幅広い応用が可能となる。特に、生体物質、癌細胞など、大きな分子や高分子を識別するための波長可変テラヘルツ電磁波を用いた分光光源として利用可能である。

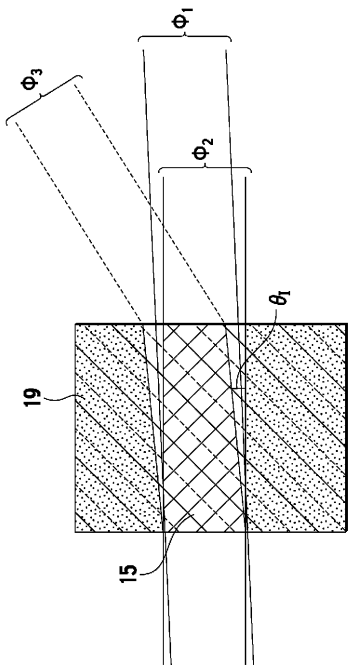
【図１】



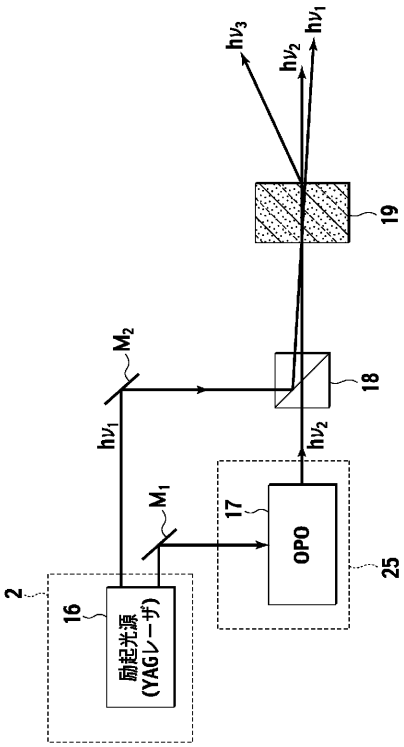
【図２】



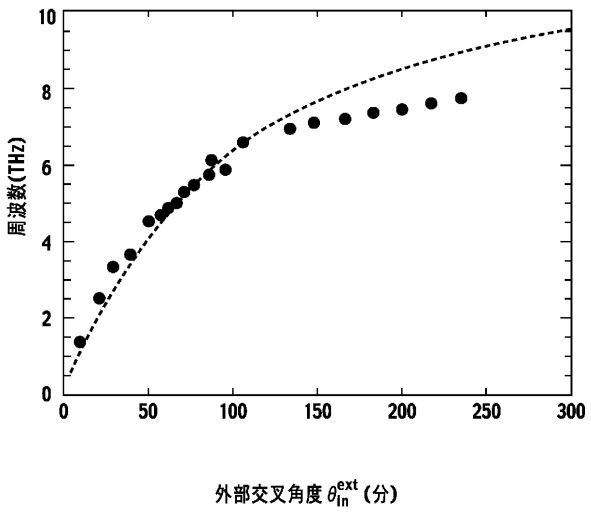
【図３】


Φ1
Φ3
Φ2
θ1
19
15

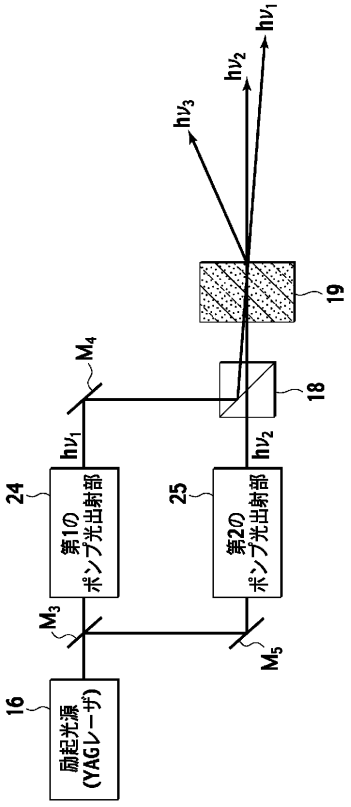
【図４】


hν3
hν2
hν1
19
M2
18
hν1
hν2
M1
17
OPO
25
2
16
励起光源
(YAGレーザ)

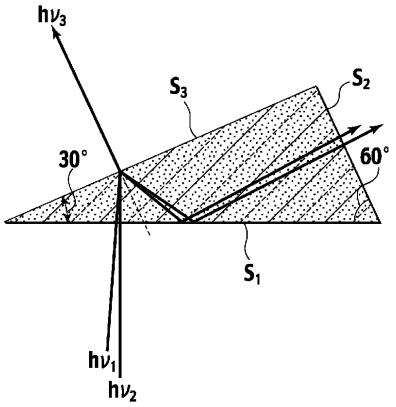
【図５】


周波数(THz)
外部交叉角度 θ_{in}^{ext} (分)
0
2
4
6
8
10
0
50
100
150
200
250
300

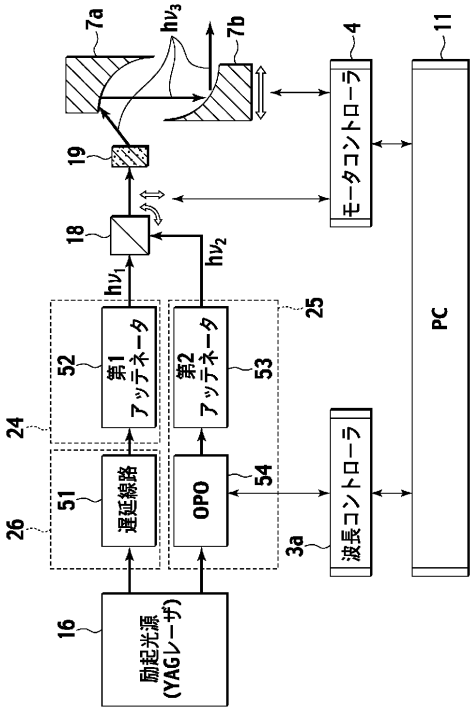
【図６】


hν3
hν2
hν1
19
M4
18
hν1
hν2
24
第1の
ポンプ光出射部
25
第2の
ポンプ光出射部
M3
M5
16
励起光源
(YAGレーザ)

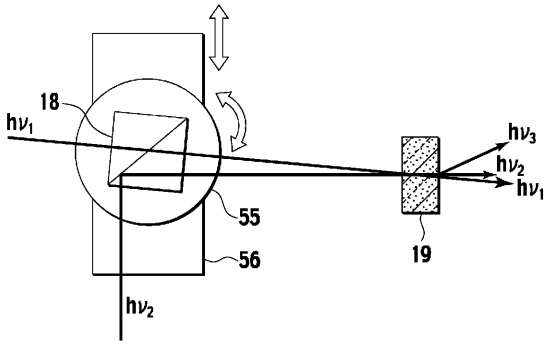
【図７】



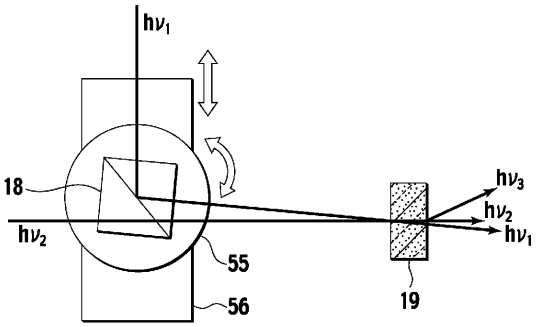
【図８】



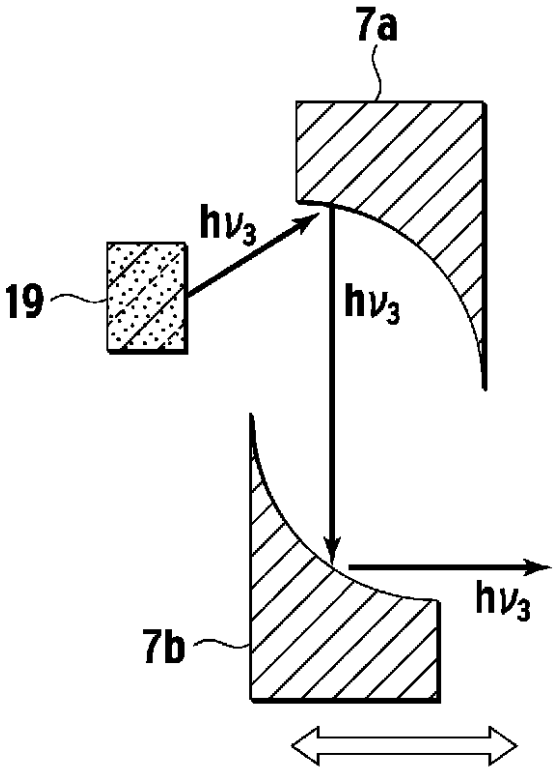
【図９】



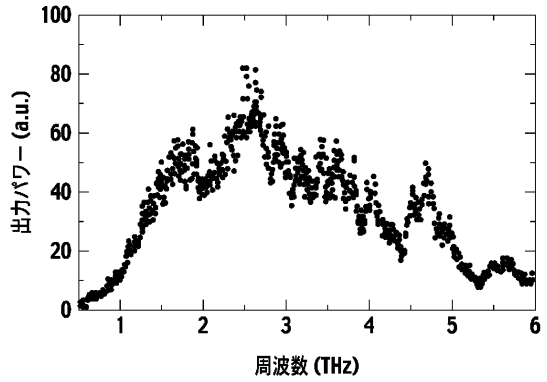
【図１０】



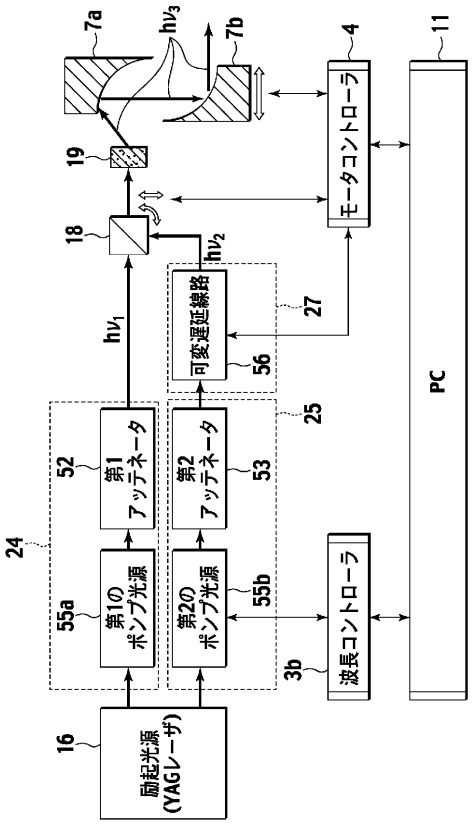
【図１１】



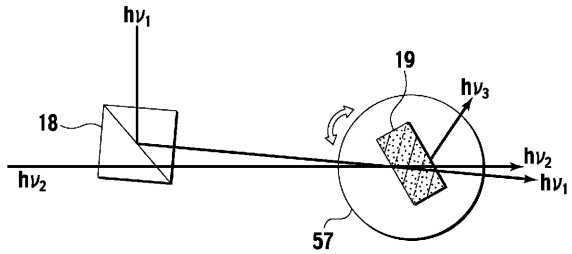
【図１２】



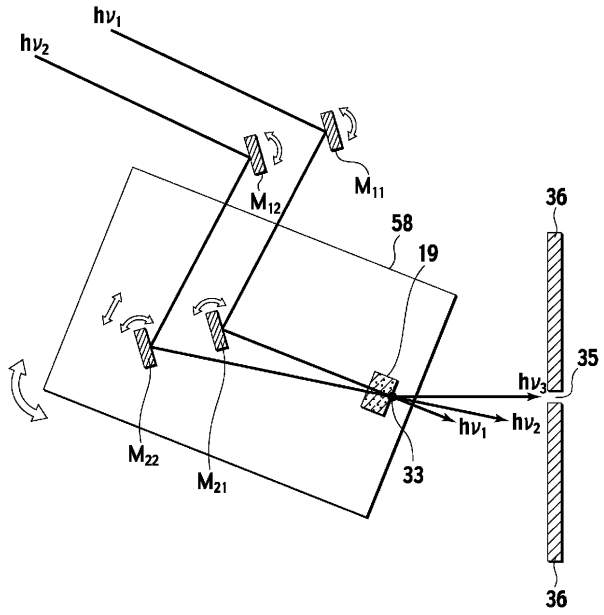
【図１３】



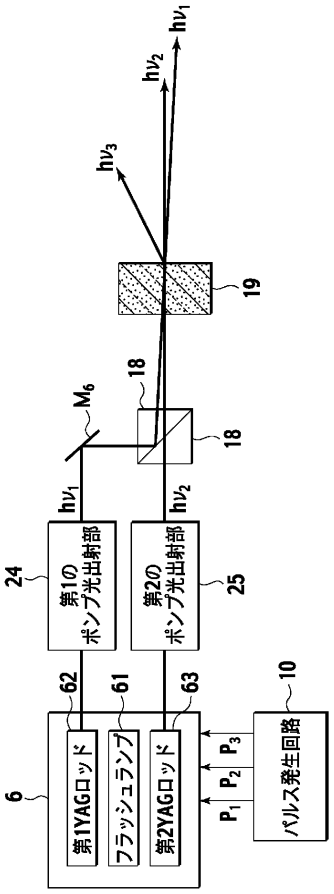
【図１４】



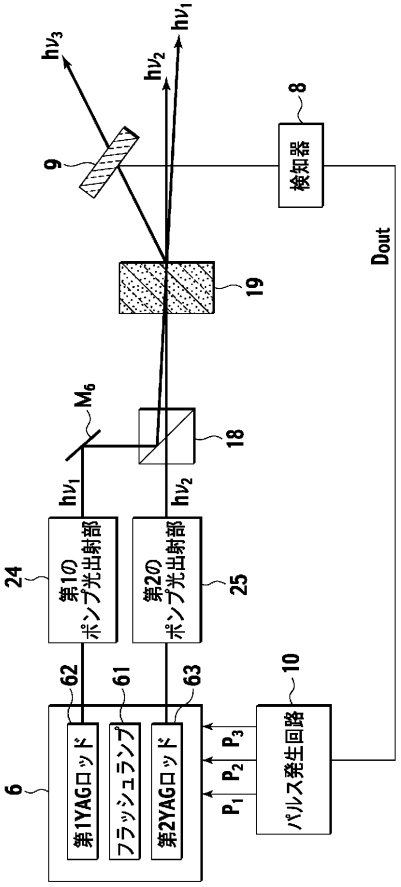
【図１５】



【図１６】


hν1
hν2
hν3
19
18
M6
18
hν1
hν2
24
第1のポンプ光出射部
第2のポンプ光出射部
25
62
61
63
10
6
第1YAGロッド
フラッシュランプ
第2YAGロッド
P1 P2 P3
パルス発生回路

【図１７】


hν3
hν2
hν1
9
8
検知器
Dout
19
M6
18
hν1
hν2
24
第1のポンプ光出射部
第2のポンプ光出射部
25
62
61
63
10
6
第1YAGロッド
フラッシュランプ
第2YAGロッド
P1 P2 P3
パルス発生回路

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2004/016165

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl[7] G02F1/37

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)
Int.Cl[7] G02F1/35, G02F2/02, H01S3/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	TANABE, T. et al., Frequency-tunabel high-power terahertz wave generation from GaP, Journal of Applied Physics., Vol.93, No.8, 15 April, 2003 (15.04.03), pages 4610 to 4615	1,2,10 3-6,11-16, 18-20
X Y	TANABE, T. et al., Frequency-tunable terahertz wave generation via excitation of phonon-polaritons in GaP, 2003, Int.Symp.Comp. Semicond., pages 193 to 194	1,2,10,15,18 3-6,11-14, 16,19,20
X Y	TANABE, T. et al., Characteristics of terahertz-wave generation from GaSe crystals, Journal of Physics D:Appl.Phys., Vol.37, No.2, 21 January, 2004 (21.01.04), pages 155 to 158	7,9 8

☒ 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	Date of mailing of the international search report
24 January, 2005 (24.01.05)	08 February, 2005 (08.02.05)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2004)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2004/016165

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	Wei Shi et al., Efficient, tunable, and coherent 0.18-5.27-THz source based on GaSe crystal, Optics Letters, Vol.27, No.16, 15 August, 2002 (15.08.02), pages 1454 to 1456	7,9 8
Y	JP 10-213828 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 11 August, 1998 (11.08.98), (Family: none)	3,19
Y	JP 2002-287190 A (The Institute of Physical and Chemical Research), 03 October, 2002 (03.10.02), (Family: none)	4-6,8,11-13, 20
Y	JP 05-110179 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 30 April, 1993 (30.04.93), (Family: none)	14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2004/016165

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

A technical matter common to all the claims is allowing first and second pump lights to enter a non-linear optical crystal to change the frequency of the second pump light, thereby generating a variable-wavelength tera-hertz electromagnetic wave. However, the matter is well known (in documents 1-4 referred to in the international search report), and does not constitute a technical feature that makes contribution over the prior art.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

国際調査報告

国際出願番号 PCT／JP2004／016165

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int. Cl[7] G02F1／37

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（IPC））

Int. Cl[7] G02F1／35 G02F2／02 H01S3／00

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 1922－1996年
日本国公開実用新案公報 1971－2005年
日本国登録実用新案公報 1994－2005年
日本国実用新案登録公報 1996－2005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）

JICST
INSPEC

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	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	関連する請求の範囲の番号
X Y	TANABE, T. et al. Frequency-tunable high-power terahertz wave generation from GaP, Journal of Applied Physics, Vol.93, No.8 (15 April 2003), p.4610-4615	1,2,10 3-6,11-16,18-20
X Y	TANABE,T. et al. Frequency-tunable terahertz wave generation via excitation of phonon-polaritons in GaP, 2003 Int.Symp.Comp.Semicond., p.193-194	1,2,10,15,18 3-6,11-14,16,19,20

☒ 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	国際調査報告の発送日
24. 01. 2005	08. 2. 2005

国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官（権限のある職員）	
日本国特許庁（ISA／JP） 郵便番号100－8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	佐藤 宙子	2X 9316
	電話番号 03－3581－1101 内線 3293	

様式PCT／ISA／210（第2ページ）（2004年1月）

国際調査報告	国際出願番号 PCT／JP2004／016165

C（続き）. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	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	関連する請求の範囲の番号
X Y	TANABE, T. et al. Characteristics of terahertz-wave generation from GaSe crystals, Journal of Physics D:Appl.Phys., Vol.37, No.2 (21 Jan. 2004), p.155-158	7, 9 8
X Y	Wei Shi et al. Efficient, tunable, and coherent 0.18-5.27-THz source based on GaSe crystal, Optics Letters, Vol.27, No.16 (15 Aug.2002), p.1454-1456	7, 9 8
Y	JP 10-213828 A(三菱重工業株式会社)1998.08.11 (ファミリーなし)	3, 19
Y	JP 2002-287190 A(理化学研究所)2002.10.03 (ファミリーなし)	4-6, 8, 11-13, 20
Y	JP 05-110179 A(浜松ホトニクス株式会社)1993.04.30 (ファミリーなし)	14

様式PCT／ISA／210（第2ページの続き）（2004年1月）

国際調査報告	国際出願番号 PCT／JP2004／016165

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第１ページの２の続き）

法第８条第３項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、

2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第２文及び第３文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第１ページの３の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

全ての請求の範囲において共通な技術的事項とは、非線形光学結晶に第１のポンプ光及び第２のポンプ光とを入射し、第２のポンプ光の周波数を変えることで可変波長のテラヘルツ電磁波を発生させることである。　しかしながら該事項は既に周知であり（国際調査報告で引用された文献１－４等）、先行技術に対して貢献する技術的特徴とはならない。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。

2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。

3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。

4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。

☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

フロントページの続き

(81)指定国　　AP(BW,GH,GM,KE,LS,MW,MZ,NA,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,MD,RU,TJ,TM),EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PL,PT,RO,SE,SI,SK,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KP,KR,KZ,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LV,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MZ,NA,NI,NO,NZ,OM,PG,PH,PL,PT,RO,RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SY,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

特許法第３０条第１項適用申請有り

(72)発明者　田邉　匡生
宮城県仙台市太白区富沢三丁目２０番４６号－６０６
(72)発明者　木村　智之
宮城県仙台市宮城野区原町苦竹字梅田１－７０２
Ｆターム(参考) 2K002 AB12　BA04　CA02　HA18

（注）この公表は、国際事務局（ＷＩＰＯ）により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願（日本語実用新案登録出願）の国際公開の効果は、特許法第１８４条の１０第１項(実用新案法第４８条の１３第２項）により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。