(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2010-8139
(P2010-8139A)
(43)公開日　平成22年1月14日(2010.1.14)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G01N 21/35	(2006.01)	G01N 21/35	Z	2G059

審査請求 未請求　請求項の数 16　ＯＬ　（全 23 頁）

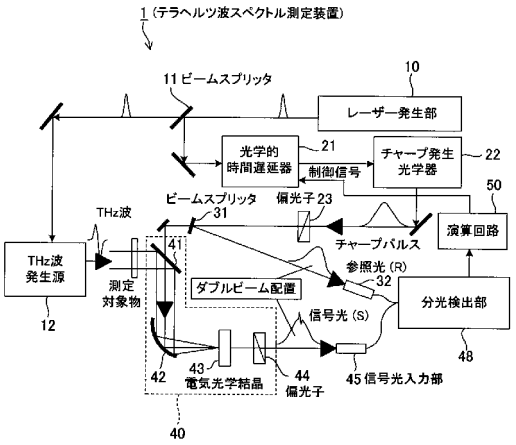
(21)出願番号　特願2008-165659 (P2008-165659)
(22)出願日　平成20年6月25日 (2008.6.25)

(71)出願人　505374783
独立行政法人　日本原子力研究開発機構
茨城県那珂郡東海村村松４番地４９
(74)代理人　100140109
弁理士　小野　新次郎
(74)代理人　100089705
弁理士　社本　一夫
(74)代理人　100075270
弁理士　小林　泰
(74)代理人　100080137
弁理士　千葉　昭男
(74)代理人　100096013
弁理士　富田　博行
(74)代理人　100093089
弁理士　佐久間　滋

最終頁に続く

(54)【発明の名称】テラヘルツ測定装置、時間波形取得法、テラヘルツ測定法及び検査装置

(57)【要約】
【課題】測定周波数帯域の広帯域化と周波数分解能の高分解能化とを実現したテラヘルツ測定装置等を提供する。
【解決手段】ＴＨｚ波スペクトル測定装置（１）は、フェムト秒レーザーをポンプ光とプローブ光とに分岐するビームスプリッタ（１１）と、ポンプ光を受けてＴＨｚ波を発生させるＴＨｚ波発生源（１２）と、プローブ光をチャープパルスに変換するチャープ発生光学器（２２）と、チャープパルスを２つに分岐するビームスプリッタ（３１）と、分岐された一方の参照光を検出する参照光検出手段と、他方をＴＨｚ波の電気光学効果にて変調する電気光学結晶（４３）と、電気光学結晶（４３）から出力された信号光を検出する信号光検出手段と、同時に検出された参照光と信号光とに基づいてＴＨｚ波の時間波形を取得する演算回路（５０）とを有する。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
超短光パルスを発生する光パルス発生手段（１０）と、
前記光パルス発生手段（１０）にて発生された前記超短光パルスをポンプ光とプローブ光の２つに分岐する第１の分岐手段（１１）と、
前記第１の分岐手段（１１）にて分岐された前記超短光パルスの前記ポンプ光を受けてテラヘルツ波（ＴＨｚ波）を発生させるテラヘルツ波発生光学系（１２）と、
前記第１の分岐手段（１１）にて分岐された前記超短光パルスの前記プローブ光を線形チャープしたチャープパルスに変換するチャープ発生光学系（２２）と、
前記チャープ発生光学系（２２）にて変換された前記チャープパルスを２つに分岐する第２の分岐手段（３１）と、
前記第２の分岐手段（３１）にて分岐された前記チャープパルスの一方を参照光としてスペクトルを検出する参照光検出手段（３２，４８）と、
前記第２の分岐手段（３１）にて分岐された前記チャープパルスの他方を前記テラヘルツ波発生光学系（１２）にて発生された前記ＴＨｚ波の電場信号で誘起された電気光学効果にて変調する電気光学結晶（４３）と、
前記電気光学結晶（４３）にて変調されて出力された光を受けて信号光としてスペクトルを検出する信号光検出手段（４５，４８）と、
同時に検出された前記参照光検出手段（３２，４８）による前記参照光と前記信号光検出手段（４５，４８）による前記信号光とに基づいて前記ＴＨｚ波の時間波形を取得する演算手段（５０）と
を有することを特徴とするテラヘルツ測定装置（１）。
【請求項２】
請求項１に記載のテラヘルツ測定装置において、前記チャープ発生光学系（２２）は、前記超短光パルスを１０ピコ秒以上に線形チャープした前記チャープパルスに変換することを特徴とするテラヘルツ測定装置。
【請求項３】
請求項１又は２に記載のテラヘルツ測定装置において、
前記第１の分岐手段（１１）にて分岐された前記超短光パルスの前記プローブ光を所定の時間だけ遅延させる光学的時間遅延器（２１）を更に有し、
前記テラヘルツ波発生光学系（１２）から発生される前記ＴＨｚ波と前記第２の分岐手段（３１）にて分岐される前記チャープパルスの他方とが前記電気光学素結晶（４３）において時間的にオーバーラップするように、前記光学的時間遅延器（２１）は前記プローブ光を遅延させることを特徴とするテラヘルツ測定装置。
【請求項４】
請求項３に記載のテラヘルツ測定装置において、
前記演算手段（５０）は、所定の測定位置に測定対象物がない状態で取得された前記ＴＨｚ波の第１の時間波形と前記測定位置に配置された測定対象物を透過した前記ＴＨｚ波の第２の時間波形とに基づいて時間遅延量を算出し、
前記光学的時間遅延器（２１）は、前記演算手段（５０）にて算出された前記時間遅延量だけ前記プローブ光を遅延させることを特徴とするテラヘルツ測定装置。
【請求項５】
請求項４に記載のテラヘルツ測定装置において、
前記第１の分岐手段（１１）にて分岐された前記超短光パルスの前記ポンプ光を更に２つに分岐する第３の分岐手段（１０１）と、
前記第３の分岐手段（１０１）にて分岐された前記超短光パルスの一方の光路を開閉するシャッター（１０３）と
を更に有し、
前記測定位置に配置された前記測定対象物に対して、前記第３の分岐手段（１０１）にて分岐された前記超短光パルスの一方を照射して光励起させると共に、前記超短光パルス

の他方を受けた前記テラヘルツ波発生光学系（１２）から前記ＴＨｚ波を照射させることを特徴とするテラヘルツ測定装置。

【請求項６】

超短光パルスをポンプ光とプローブ光の２つに分岐する第１の分岐手段（１１）と、

前記第１の分岐手段（１１）にて分岐された前記超短光パルスの前記ポンプ光を受けてテラヘルツ波（ＴＨｚ波）を発生させるテラヘルツ波発生光学系（１２）と、

前記第１の分岐手段（１１）にて分岐された前記超短光パルスの前記プローブ光を線形チャープしたチャープパルスに変換するチャープ発生光学系（２２）と、

前記チャープ発生光学系（２２）から出力された前記チャープパルスを２つに分岐する第２の分岐手段（３１）と、

前記第２の分岐手段（３１）にて分岐された前記チャープパルスの一方を参照光としてスペクトルを検出する参照光検出手段（３２，４８）と

前記第２の分岐手段（３１）にて分岐された前記チャープパルスの他方を受けて、前記テラヘルツ波発生光学系（１２）にて発生された前記ＴＨｚ波の電場信号で誘起された電気光学効果にて変調する電気光学結晶（４３）と、

前記電気光学結晶（４３）にて変調された光を信号光としてスペクトルを検出する信号光検出手段（４５，４８）と、

同時に検出された前記参照光と前記信号光とに基づいて前記テラヘルツ波発生光学系（１２）にて発生された前記ＴＨｚ波の時間波形を演算する演算手段（５０）と

を有するテラヘルツ測定装置（１）において実行される時間波形取得法であって、

ＴＨｚ波を発生させないで前記参照光R(t)_offと前記信号光S(t)_offとを同時に検出する第１の検出工程と、

ＴＨｚ波を発生させて前記信号光S(t)_onと前記参照光R(t)_onとを同時に検出する第２の検出工程と、

前記第１の検出工程にて検出された前記参照光R(t)_offと前記信号光S(t)_off、及び、前記第２の検出工程にて前記信号光S(t)_onと前記参照光R(t)_onを使って、前記ＴＨｚ波の前記時間波形$E_{THz}(t)$を演算して取得する演算工程と

を有することを特徴とする時間波形取得法。

【請求項７】

請求項６に記載の時間波形取得法において、

前記第１の検出工程にて検出された前記参照光R(t)_offと前記信号光S(t)_off、及び、当該参照光R(t)_offと当該信号光S(t)_offとから算出される分岐比S(t)_off／R(t)_offのいずれかを記憶する記憶工程を更に有し、

前記演算工程では、前記記憶工程にて記憶された前記参照光R(t)_offと前記信号光S(t)_off及び前記分岐比S(t)_off／R(t)_offのいずれか一方、並びに、前記第２の検出工程にて前記信号光S(t)_onと前記参照光R(t)_onを使って、前記ＴＨｚ波の前記時間波形$E_{THz}(t)$を演算して取得することを特徴とする時間波形取得法。

【請求項８】

請求項６又は７に記載の時間波形取得法において、

前記第１の検出工程にて検出された前記参照光R(t)_offと前記信号光S(t)_offとに基づいて分岐比S(t)_off／R(t)_offを算出し、

前記第２の検出工程にて検出された前記参照光R(t)_onと算出された前記分岐比S(t)_off／R(t)_offとを使って、前記ＴＨｚ波で変調されない前記チャープパルスI(t)_offを演算し、

前記第２の検出工程にて検出された前記信号光S(t)_onを前記ＴＨｚ波で変調された前記チャープパルスI(t)_onと見なして、前記ＴＨｚ波の前記時間波形$E_{THz}(t)$を演算して取得することを特徴とする時間波形取得法。

【請求項９】

請求項８に記載の時間波形取得法において、

前記ＴＨｚ波で変調されない前記チャープパルスI(t)_offを、式（１）

【数１】

$$I(t)_off = R(t)_on \times \frac{S(t)_off}{R(t)_off} \qquad (1)$$

により演算し、
前記ＴＨｚ波の前記時間波形$E_{THz}(t)$を、式（２）
【数２】

$$E_{THz}(t) = \frac{I(t)_on - I(t)_off}{I(t)_off} \qquad (2)$$

により取得することを特徴とする時間波形取得法。
【請求項１０】
所定の測定位置に測定対象物がない状態でＴＨｚ波の第１の時間波形を取得する第１時間波形取得工程と、
前記測定位置に配置された前記測定対象物を透過した前記ＴＨｚ波の第２の時間波形を取得する第２時間波形取得工程と、
前記第１時間波形取得工程にて取得された前記第１の時間波形と前記第２時間波形取得工程にて取得された前記第２の時間波形とに基づいて時間遅延量を算出する時間遅延量算出工程と、
前記時間遅延量算出工程にて算出された前記時間遅延量だけプローブ光を遅延させて、前記測定対象物を透過した前記ＴＨｚ波の第３の時間波形を取得する第３時間波形取得工程と、
前記第１時間波形取得工程にて取得した前記第１の時間波形と、前記第３時間波形取得工程にて取得された前記第３の時間波形とに基づいて、前記測定対象物を透過した前記ＴＨｚ波のスペクトルを計算するＴＨｚスペクトル計算工程と
を有することを特徴とするテラヘルツ測定法。
【請求項１１】
請求項１０に記載のテラヘルツ測定法において、前記時間遅延量算出工程では、前記第１の時間波形と前記第２の時間波形との主ピークの時間差に基づいて前記時間遅延量を算出することを特徴とするテラヘルツ測定法。
【請求項１２】
請求項１０又は１１に記載のテラヘルツ測定法において、
前記第１の時間波形を記憶する第１時間波形記憶工程を更に有し、
前記時間遅延量算出工程では、前記第１時間波形記憶工程にて記憶された前記第１の時間波形と前記第２の時間波形とに基づいて前記時間遅延量を算出することを特徴とするテラヘルツ測定法。
【請求項１３】
請求項１０に記載のテラヘルツ測定法において、前記第１及び第３時間波形取得工程は複数回実行され、検出された参照光と信号光とに基づいて前記ＴＨｚ波の時間波形を取得することを特徴とするテラヘルツ測定法。
【請求項１４】
超短光パルスを励起光として測定対象物に照射して、光励起された当該測定対象物を透過した透過ＴＨｚ波の時間波形を取得する励起状態での時間波形取得工程と、
基底状態の前記測定対象物を透過した前記透過ＴＨｚ波の時間波形を取得する基底状態での時間波形取得工程と、
前記励起状態での時間波形取得工程にて取得された励起状態での前記透過ＴＨｚ波の前記時間波形と、前記基底状態での時間波形取得工程にて取得された基底状態での前記透過ＴＨｚ波の前記時間波形とに基づいて、光励起によって前記測定対象物に生じる変化を解

析する解析工程と
を有することを特徴とするテラヘルツ測定法。
【請求項１５】
測定対象物を所定の測定位置に搬送する搬送手段（９８）と、
前記搬送手段（９８）により前記測定位置に搬送された前記測定対象物を透過する透過ＴＨｚ波を測定する請求項１に記載のテラヘルツ測定装置（１）と
を有することを特徴とする検査装置（９９）。
【請求項１６】
請求項１５に記載の検査装置において、
様々な物質のＴＨｚ領域におけるＴＨｚスペクトルを記憶するデータベース（９６）を更に有し、
前記テラヘルツ測定装置（１）にて測定された前記測定対象物の前記透過ＴＨｚ波と前記データベース（９６）に記憶された前記ＴＨｚスペクトルとに基づいて当該測定対象物を検査することを特徴とする検査装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、周波数域が約０．１～数ＴＨｚ（波長が３０μｍ～３０００μｍ、以下「ＴＨｚ領域」とする）のテラヘルツ波（以下、ＴＨｚ波とする）を使用するテラヘルツ測定装置等、及び透過ＴＨｚ波が特徴となるスペクトル成分をＴＨｚ領域に持つ測定対象物のテラヘルツ測定装置等に関する。
【背景技術】
【０００２】
現在、フェムト秒レーザーを用いたＴＨｚ波の測定法は、ＴＨｚ時間領域分光法（以下、Ａ法と呼ぶ）が主流である。Ａ法において、レーザーパルスは２つに分岐される。一方のレーザーパルス（ポンプパルスと呼ぶ）はＴＨｚ波発生素子に照射されて、ＴＨｚ波パルスの発生に使われる。もう一方のパルス（プローブパルスと呼ぶ）は、ＴＨｚ波パルスの時間波形をサンプリングするために用いられる。
Ａ法では、光学的時間遅延器を使って時間幅がＴＨｚ波パルスに比べて充分狭いプローブパルスを動かし、ＴＨｚ波パルスの時間波形を一点ずつサンプリングしてＴＨｚ波パルスの時間波形全体を得る。光学的時間遅延器を機械的に動かしながら所定の時間間隔毎に測定を繰り返すため、ＴＨｚ波パルスの時間波形全体を測定するのに数分程度の時間を必要とする。
【０００３】
また、Ａ法では、測定対象物をＴＨｚ波パルスの光路内の測定位置に配置した場合と配置しない場合の両方でＴＨｚ波パルスの時間波形を測定し、フーリエ変換してそれぞれの周波数スペクトル（それぞれEr及びEsとする）を取得する。取得した２つの周波数スペクトルに基づいて所定の演算をすることにより、測定対象物のＴＨｚ領域の吸収スペクトル（$\log(|Er|^2/|Es|^2)$）と複素振幅透過率スペクトル（Er/Es）とを得る。尚、以下ではＴＨｚ領域の吸収スペクトルと複素振幅透過率スペクトルをＴＨｚスペクトルと呼ぶ。
【０００４】
Ａ法での測定時間を短縮するための一つの方法として、チャープパルスを用いたマルチチャンネル計測法（以下Ｂ法と呼ぶ）が、Jiangらにより提案された（非特許文献１）。Ｂ法では、フェムト秒レーザーのレーザーパルスの時間幅をＴＨｚ波パルスの時間幅より長く伸張させたチャープパルスを作り、ＴＨｚ波パルスの波形情報全体をそのチャープパルスに載せる。よって、ＴＨｚ波パルスの時間波形の測定は、１個のチャープパルスの検出で足りる。これにより、Ｂ法では、ＴＨｚ波パルスの時間波形の単発計測が可能となり、ＴＨｚ波パルスの時間波形の測定時間は、１個のチャープパルスを検出する検出系の応答時間となる。例えば、１ミリ秒程度以下の測定時間も可能である。Ｂ法では、Ａ法に比べて測定時間の大幅な短縮が実現できる。

【０００５】
Ａ法での測定時間を短縮するための他の方法として、スペクトル幅が広い白色光パルスをフェムト秒レーザーにより発生させた後に、その白色光パルスをチャープさせて用いる方法がある（特許文献１、以下Ｃ法と呼ぶ）。Ｂ法を開示する非特許文献１ではテラヘルツ分光の測定周波数帯域及び時間分解能はそれぞれ約０．３ＴＨｚ及び０．０７ＴＨｚであるのに対して、Ｃ法の実施例では測定周波数帯域及び時間分解能はそれぞれ約１ＴＨｚ及び約０．１ＴＨｚにできることが開示されている。
Ｃ法を用いることで測定周波数帯域を、Ｂ法の０．３ＴＨｚから約１ＴＨｚに広げることは可能となるが、約０．１ＴＨｚというＣ法の時間分解能は、Ａ法の時間分解能（数０．０１ＴＨｚ）に比べると数倍悪い。
【０００６】
【非特許文献１】Zhiping Jiang and X.-C. Zhang"Electro-optic measurement of THz field pulses with a chirped optical beam", Applied Physics Letters, Vol.72, No.16, 20 April 1998, pp.1945-1947.
【特許文献１】特開２００５－２３３６８３号公報
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００７】
ところで、ＴＨｚ分光のためには、測定周波数帯域が広く、周波数分解能が高いことが重要である。
ＴＨｚ波パルスの波形変調情報が載ったチャープパルスは、一次元多素子検出器付き分光器を用いて測定される。線形のチャープパルスは周波数と時間の間に線形の関係があるので、検出器付き分光器で測定されたチャープパルスのスペクトルの周波数軸は時間軸に変換することができる。よって、ＴＨｚパルス波形測定に必要な時間分解能に応じて検出器付き分光器の波長分解能を決めればよい。
【０００８】
Ｂ法及びＣ法では、定常位相法という近似法に基づいて、時間分解能は以下の式で決定される、と考えている。
【数１】

$$\begin{pmatrix}\text{THz波パルスの}\\ \text{時間波形の}\\ \text{時間分解能}\end{pmatrix}=\sqrt{\begin{pmatrix}\text{チャープパルスの}\\ \text{時間幅}\end{pmatrix}\times\begin{pmatrix}\text{元となるフェムト秒レーザーの}\\ \text{レーザーパルスの時間幅}\end{pmatrix}}$$

【０００９】
この式に従うため、Ｂ法における測定装置の時間分解能は、Ａ法に比べて数倍程度広い。ＴＨｚ波パルスの時間波形の時間幅はテラヘルツ分光の測定周波数帯域と逆比例の関係にあるので、時間分解能が広いと測定周波数帯域が狭くなる。Ｂ法では測定周波数帯域がＡ法に比べて数分の一になる。
一方、周波数分解能を上げるには、観測時間幅を広くし、チャープパルスの時間幅を伸ばす必要がある。しかし、周波数分解能を上げようとしてチャープパルスの時間幅を伸ばすと、この式から、時間分解能が悪くなり、テラヘルツ分光の測定周波数帯域を狭めることになる。
【００１０】
Ｂ法を開示する非特許文献１では、テラヘルツ分光の測定周波数帯域及び時間分解能が、それぞれ約０．３ＴＨｚ及び０．０７ＴＨｚである。これに対して、Ｃ法の実施例では測定周波数帯域及び時間分解能はそれぞれ約１ＴＨｚ及び約０．１ＴＨｚにできることが開示されている。
Ｃ法を用いることで測定周波数帯域を、Ｂ法の０．３ＴＨｚから約１ＴＨｚに広げることは可能となるが、約０．１ＴＨｚというＣ法の時間分解能は、Ａ法の時間分解能（数０

．０１ＴＨｚ）に比べると数倍悪い。

【００１１】

Ａ法を用いたテラヘルツ分光の典型的な周波数分解能である数１０ＧＨｚをＢ法及びＣ法で得るためには、チャープパルスの時間幅を２０ピコ秒程度以上にする必要がある。しかし、上式に従うと、仮にフェムト秒レーザーのレーザーパルスの時間幅が１００フェムト秒（＝０．１ピコ秒）のとき、

【数２】

$$(\text{時間分解能}) = \sqrt{(\text{チャープパルスの時間幅}) \times (\text{レーザーパルスの時間幅})}$$
$$= \sqrt{20\text{ピコ秒} \times 0.1\text{ピコ秒}} = \sqrt{2}\text{ピコ秒} = 1.4\text{ピコ秒}$$

となるから、ＴＨｚ波の時間分解能は約１．４ピコ秒となる。時間分解能の逆数である測定周波数帯域は０．７１ＴＨｚであり、１ＴＨｚを超えない。

【００１２】

ところで、Ｂ法及びＣ法においてＴＨｚ波パルスの時間波形を導出するには、ＴＨｚ波パルスの波形変調情報が載ったチャープパルスI(t)_onと波形変調情報が載っていないチャープパルスI(t)_offの両方を測定する必要がある。

しかし、Ｂ法とＣ法のいずれでも、I(t)_onとI(t)_offの両方を同時に測定せず、別々のチャープパルスで測定した結果を用いてＴＨｚ波パルスの時間波形を導出している。これでは、フェムト秒レーザーのレーザーパルスがパルス毎に揺らぐ場合、測定結果の信頼性を上げることは困難である。

更に、Ｂ法及びＣ法にて採用された定常位相近似に基づく式は、すべての実験条件では使えない。

【００１３】

発明者は、近似を用いることなく定式化し、チャープパルスの時間幅が数十ピコ秒以上、例えば、２０ピコ秒であっても多素子検出器付き分光器の波長分解能を最適化することで時間分解能を低下させない方法を発明した。

チャープパルスの時間波形Ｃ（ｔ）は、T_c：パルス幅、２α：チャープレート、ω_0：中心周波数とするとき、以下の式で示される。

【数３】

$$C(t) = \exp\left(-t^2/T_c^2 - iat^2 - i\omega_0 t\right)$$

そして、ＴＨｚ電場振幅時間波形E_{THz}（ｔ）は、以下の式で示される。

【数４】

$$E_{THz}(t) = \frac{t}{\Delta T}\exp\left(-t^2/\Delta T^2\right)$$

【００１４】

このとき、測定により得られるＴＨｚ波形E_{mes}（ω）は、以下の式で示される。

【数５】

$$E_{mes}(\omega) \propto -\left(\frac{2\tau}{T_c^2}\cos(\theta(\Delta\omega)) - (\Delta\omega + 2a\tau)\sin(\theta(\Delta\omega))\right) \times$$
$$\exp\left(-\frac{\Delta\omega^2}{4}\left(\frac{1}{\beta + a^2/\beta} - \frac{1}{T_c^2\gamma}\right) - \frac{a\tau\Delta\omega}{\Delta T^2(\beta^2 + a^2)}\right)$$

ここで、

【数６】

$$\theta(\Delta\omega)=\frac{a\Delta\omega^2}{4}\left(\frac{1}{\beta^2+a^2}-\frac{1}{\gamma}\right)-\frac{\Delta\omega\tau\beta}{\Delta T^2\left(\beta^2+a^2\right)}-\frac{a\tau^2}{\Delta T^4\left(\beta^2+a^2\right)}+\frac{1}{2}\arctan\left(aT_c^2\right)-\frac{3}{2}\arctan\left(a/\beta\right),$$

$$\Delta\omega=\omega_0-\omega,\quad \beta=1/T_c^2+1/\Delta T^2,\quad \gamma=1/T_c^4+a^2$$

である。

【００１５】

また、発明者は、Ｂ法で、ＴＨｚ波パルスとチャープパルスが電気光学結晶中で出会う時間的なタイミング、つまり、ＴＨｚ波パルスにより変調されるチャープパルスの中の時間領域が異なると、得られるＴＨｚ波パルスの時間波形が異なることを発見した。これは、測定装置の装置応答が二つのパルスの出会うタイミングにより変化することを意味する。

一般に、測定対象物がＴＨｚ領域で１と異なる屈折率を持つ場合、測定対象物がある場合とない場合でＴＨｚ波パルスにより変調されるチャープパルス内の時間領域が変わる。よって、測定された二つのＴＨｚ波パルスの時間波形の間には、装置応答の変化に起因した変化分が存在し、そのままその二つのＴＨｚ波パルスの時間波形を用いて測定対象物のＴＨｚスペクトルを導出すると、ＴＨｚスペクトルが歪んでしまう。Ｂ法及びＣ法はこの効果を考慮していない。

【００１６】

本発明は、測定周波数帯域の広帯域化と周波数分解能の高分解能化とを実現し、信頼性の高いテラヘルツ測定装置等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】

【００１７】

以下、本発明について上記課題を解決するための手段を説明する。尚、本発明の理解を容易にするために添付図面の参照符号を括弧書きにて付記するが、それにより本発明が図示の形態に限定されるものではない。

【００１８】

上記課題を解決するために、本発明にかかるテラヘルツ測定装置（１）は、超短光パルスを発生する光パルス発生手段（１０）と、光パルス発生手段（１０）にて発生された超短光パルスをポンプ光とプローブ光の２つに分岐する第１の分岐手段（１１）と、第１の分岐手段（１１）にて分岐された超短光パルスのポンプ光を受けてテラヘルツ波（ＴＨｚ波）を発生させるテラヘルツ波発生光学系（１２）と、第１の分岐手段（１１）にて分岐された超短光パルスのプローブ光を線形チャープしたチャープパルスに変換するチャープ発生光学系（２２）と、チャープ発生光学系（２２）にて変換されたチャープパルスを２つに分岐する第２の分岐手段（３１）と、第２の分岐手段（３１）にて分岐されたチャープパルスの一方を参照光としてスペクトルを検出する参照光検出手段（３２，４８）と、第２の分岐手段（３１）にて分岐されたチャープパルスの他方をテラヘルツ波発生光学系（１２）にて発生されたＴＨｚ波の電場信号で誘起された電気光学効果にて変調する電気光学結晶（４３）と、電気光学結晶（４３）にて変調されて出力された光を受けて信号光としてスペクトルを検出する信号光検出手段（４５，４８）と、同時に検出された参照光検出手段（３２，４８）による参照光と信号光検出手段（４５，４８）による信号光とに基づいてＴＨｚ波の時間波形を取得する演算手段（５０）とを有することを特徴とする。

【００１９】

ここで、チャープ発生光学系（２２）は、超短光パルスを１０ピコ秒以上に線形チャープしたチャープパルスに変換することを特徴とすれば、Ａ法と同程度の数１０ＧＨｚの周波数分解能を実現できる。

また、第１の分岐手段（１１）にて分岐された超短光パルスのプローブ光を所定の時間

だけ遅延させる光学的時間遅延器（２１）を更に有し、テラヘルツ波発生光学系（１２）から発生されるＴＨｚ波と第２の分岐手段（３１）にて分岐されるチャープパルスの他方とが電気光学素結晶（４３）において時間的にオーバーラップするように、光学的時間遅延器（２１）はプローブ光を遅延させることを特徴とすれば、ＴＨｚ波とチャープパルスとを同期させることができ、チャープパルスに載ったＴＨｚ波の変調特性を取得できる。

更に、演算手段（５０）は、所定の測定位置に測定対象物がない状態で取得されたＴＨｚ波の第１の時間波形と測定位置に配置された測定対象物を透過したＴＨｚ波の第２の時間波形とに基づいて時間遅延量を算出し、光学的時間遅延器（２１）は、演算手段（５０）にて算出された時間遅延量だけプローブ光を遅延させることを特徴とすれば、測定対象物がある場合とない場合とでＴＨｚ波はチャープパルス内の同じ時間領域を変調する。よって、ＴＨｚ波変調領域依存性を除いたＴＨｚ波の時間波形を導出でき、歪みのないＴＨｚスペクトルを取得できる。

更にまた、第１の分岐手段（１１）にて分岐された超短光パルスのポンプ光を更に２つに分岐する第３の分岐手段（１０１）と、第３の分岐手段（１０１）にて分岐された超短光パルスの一方の光路を開閉するシャッター（１０３）とを更に有し、測定位置に配置された測定対象物に対して、第３の分岐手段（１０１）にて分岐された超短光パルスの一方を照射して光励起させると共に、超短光パルスの他方を受けたテラヘルツ波発生光学系（１２）からＴＨｚ波を照射させることを特徴とすれば、光励起によって測定対象物内で起こる化学反応や相変化などの機能解析ができる。

【００２０】

上記課題を解決するために、本発明にかかる時間波形取得法は、超短光パルスをポンプ光とプローブ光の２つに分岐する第１の分岐手段（１１）と、第１の分岐手段（１１）にて分岐された超短光パルスのポンプ光を受けてテラヘルツ波（ＴＨｚ波）を発生させるテラヘルツ波発生光学系（１２）と、第１の分岐手段（１１）にて分岐された超短光パルスのプローブ光を線形チャープしたチャープパルスに変換するチャープ発生光学系（２２）と、チャープ発生光学系（２２）から出力されたチャープパルスを２つに分岐する第２の分岐手段（３１）と、第２の分岐手段（３１）にて分岐されたチャープパルスの一方を参照光としてスペクトルを検出する参照光検出手段（３２，４８）と第２の分岐手段（３１）にて分岐されたチャープパルスの他方を受けて、テラヘルツ波発生光学系（１２）にて発生されたＴＨｚ波の電場信号で誘起された電気光学効果にて変調する電気光学結晶（４３）と、電気光学結晶（４３）にて変調された光を信号光としてスペクトルを検出する信号光検出手段（４５，４８）と、同時に検出された参照光と信号光とに基づいてテラヘルツ波発生光学系（１２）にて発生されたＴＨｚ波の時間波形を演算する演算手段（５０）とを有するテラヘルツ測定装置（１）において実行される時間波形取得法であって、ＴＨｚ波を発生させないで参照光R(t)_offと信号光S(t)_offとを同時に検出する第１の検出工程と、ＴＨｚ波を発生させて信号光S(t)_onと参照光R(t)_onとを同時に検出する第２の検出工程と、第１の検出工程にて検出された参照光R(t)_offと信号光S(t)_off、及び、第２の検出工程にて信号光S(t)_onと参照光R(t)_onを使って、ＴＨｚ波の時間波形$E_{THz}(t)$を演算して取得する演算工程とを有することを特徴とする。

【００２１】

ここで、第１の検出工程にて検出された参照光R(t)_offと信号光S(t)_off、及び、参照光R(t)_offと信号光S(t)_offとから算出される分岐比S(t)_off／R(t)_offのいずれかを記憶する記憶工程を更に有し、演算工程では、記憶工程にて記憶された参照光R(t)_offと信号光S(t)_off及び分岐比S(t)_off／R(t)_offのいずれか一方、並びに、第２の検出工程にて信号光S(t)_onと参照光R(t)_onを使って、ＴＨｚ波の時間波形$E_{THz}(t)$を演算して取得することを特徴とすれば、ＴＨｚ波を発生させないで参照光R(t)_offと信号光S(t)_offとを同時に検出する第１の検出工程を１回実行すれば、その後はＴＨｚ波を発生させて信号光S(t)_onと参照光R(t)_onとを同時に検出する第２の検出工程だけを実行してＴＨｚ波の時間波形を取得できる。

また、第１の検出工程にて検出された参照光R(t)_offと信号光S(t)_offとに基づいて分

岐比S(t)_off／R(t)_offを算出し、第２の検出工程にて検出された参照光R(t)_onと算出された分岐比S(t)_off／R(t)_offとを使って、ＴＨｚ波で変調されないチャープパルスI(t)_offを演算し、第２の検出工程にて検出された信号光S(t)_onをＴＨｚ波で変調されたチャープパルスI(t)_onと見なして、ＴＨｚ波の時間波形$E_{THz}(t)$を演算して取得することを特徴とすれば、ＴＨｚ波で変調されたチャープパルスI(t)_onと変調されないチャープパルスI(t)_offの実効的な同時測定を果たし、レーザーの揺らぎに起因する歪みを除去できる。

更に、ＴＨｚ波で変調されないチャープパルスI(t)_offを、式（１）

【数７】

$$I(t)_off = R(t)_on \times \frac{S(t)_off}{R(t)_off} \qquad (1)$$

により演算し、ＴＨｚ波の時間波形$E_{THz}(t)$を、式（２）

【数８】

$$E_{THz}(t) = \frac{I(t)_on - I(t)_off}{I(t)_off} \qquad (2)$$

により取得することを特徴とすれば、（２）式によりＴＨｚ波パルスの時間波形のレーザーの揺らぎに起因する歪みを除去できる。

【００２２】

上記課題を解決するために、本発明にかかるテラヘルツ測定法は、所定の測定位置に測定対象物がない状態でＴＨｚ波の第１の時間波形を取得する第１時間波形取得工程と、測定位置に配置された測定対象物を透過したＴＨｚ波の第２の時間波形を取得する第２時間波形取得工程と、第１時間波形取得工程にて取得された第１の時間波形と第２時間波形取得工程にて取得された第２の時間波形とに基づいて時間遅延量を算出する時間遅延量算出工程と、時間遅延量算出工程にて算出された時間遅延量だけプローブ光を遅延させて、測定対象物を透過したＴＨｚ波の第３の時間波形を取得する第３時間波形取得工程と、第１時間波形取得工程にて取得した第１の時間波形と、第３時間波形取得工程にて取得された第３の時間波形とに基づいて、測定対象物を透過したＴＨｚ波のスペクトルを計算するＴＨｚスペクトル計算工程とを有することを特徴とする。

【００２３】

ここで、時間遅延量算出工程では、第１の時間波形と第２の時間波形との主ピークの時間差に基づいて時間遅延量を算出することを特徴とすれば、測定対象物がある場合とない場合とでＴＨｚ波をチャープパルス内の同じ時間領域で変調させ、ＴＨｚ波変調領域依存性を除いたＴＨｚ波の時間波形を導出できる。

また、第１の時間波形を記憶する第１時間波形記憶工程を更に有し、時間遅延量算出工程では、第１時間波形記憶工程にて記憶された第１の時間波形と第２の時間波形とに基づいて時間遅延量を算出することを特徴とすれば、所定の測定位置に測定対象物がない状態でＴＨｚ波の第１の時間波形を取得する第１時間波形取得工程を省くことができるので、測定時間を短縮できる。

更に、第１乃至第３時間波形取得工程の少なくともいずれか１つの時間波形取得工程は複数回実行され、複数回検出された参照光と信号光とに基づいてＴＨｚ波の時間波形を取得することを特徴とすれば、信号／雑音比（Ｓ／Ｎ比）を上げることができる。

【００２４】

上記課題を解決するために、本発明にかかるテラヘルツ測定法は、超短光パルスを励起光として測定対象物に照射して、光励起された測定対象物を透過した透過ＴＨｚ波の時間波形を取得する励起状態での時間波形取得工程と、基底状態の測定対象物を透過した透過ＴＨｚ波の時間波形を取得する基底状態での時間波形取得工程と、励起状態での時間波形

取得工程にて取得された励起状態での透過ＴＨｚ波の時間波形と、基底状態での時間波形取得工程にて取得された基底状態での透過ＴＨｚ波の時間波形とに基づいて、光励起によって測定対象物に生じる変化を解析する解析工程とを有することを特徴とする。

【００２５】

上記課題を解決するために、本発明にかかる検査装置（９９）は、測定対象物を所定の測定位置に搬送する搬送手段（９８）と、搬送手段（９８）により測定位置に搬送された測定対象物を透過する透過ＴＨｚ波を測定するテラヘルツ測定装置（１）とを有することを特徴とする。

【００２６】

ここで、様々な物質のＴＨｚ領域におけるＴＨｚスペクトルを記憶するデータベース（９６）を更に有し、テラヘルツ測定装置（１）にて測定された測定対象物の透過ＴＨｚ波とデータベース（９６）に記憶されたＴＨｚスペクトルとに基づいて測定対象物を検査することを特徴とすれば、測定対象物を容易に特定できる。

【発明の効果】

【００２７】

本発明によれば、測定周波数帯域の広帯域化と周波数分解能の高分解能化とを実現し、信頼性の高いテラヘルツ測定装置等を提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【００２８】

（第１の実施形態）

以下、本発明を実施するための形態について詳細に説明する。

図１は、本発明にかかるテラヘルツ測定装置の一例としての第１の実施形態にかかるテラヘルツ波スペクトル測定装置１の構成図である。

【００２９】

図１に示すように、テラヘルツ波スペクトル測定装置１は、超短光パルスの一例としてのフェムト秒レーザーを発生する光パルス発生手段の一例としてのレーザー発生部１０と、レーザー発生部１０から出力されるフェムト秒レーザーをポンプ光とプローブ光の２つに分岐する第１の分岐手段の一例としてのビームスプリッタ１１と、ビームスプリッタ１１で分岐されたポンプ光を受けて、テラヘルツ波パルス（ＴＨｚ波パルス）を発生させるテラヘルツ波発生光学系の一例としてのＴＨｚ波発生源１２とを有する。

また、テラヘルツ波スペクトル測定装置１は、ビームスプリッタ１１で分岐されたプローブ光を受けて所定の時間遅延させて出力する光学的時間遅延器２１と、光学的時間遅延器２１にて時間遅延されて出力されたプローブ光を線形チャープしたチャープパルスに変換して出力するチャープ発生光学系の一例としてのチャープ発生光学器２２と、所定の振動方向を有する直線偏光を透過する偏光子２３とを有する。

【００３０】

更に、テラヘルツ波スペクトル測定装置１は、チャープ発生光学器２２にて変換されたチャープパルスを参照光と信号光の２つに分岐する第２の分岐手段の一例としてのビームスプリッタ３１と、ビームスプリッタ３１にて分岐された参照光を取り込んで、後述する分光検出部４８へ出力する参照光入力部３２とを有する。

更にまた、テラヘルツ波スペクトル測定装置１は、ビームスプリッタ３１にて分岐されたチャープパルスの信号光を、ＴＨｚ波発生源１２で発生されたＴＨｚ波パルスの電場信号で誘起された電気光学効果にて変調する光学素子配列４０と、光学素子配列４０で変調された信号光を取り込んで、後述する分光検出部４８へ出力する信号光入力部４５とを有する。

更にまた、テラヘルツ波スペクトル測定装置１は、参照光入力部３２から取り込んだ参照光と信号光入力部４５から取り込んだ信号光とを光ファイバを介して取得し、分光して参照光及び信号光のスペクトルを検出する分光検出部４８と、分光検出部４８にて検出された参照光と信号光とに基づいてＴＨｚ波パルスの時間波形を取得する演算手段の一例としての演算回路５０とを有して構成される。

【００３１】
ここで、レーザー発生部１０は、例えば、チタン・サファイア・レーザーの再生増幅システムで構成される。また、レーザー発生部１０は、例えば、スペクトル幅１０ｎｍ程度、パルス幅１００フェムト秒、波長８００ｎｍ、パルスエネルギ１ｍＪ／パルス、パルス繰り返し１ＫＨｚのフェムト秒レーザーの超短光パルスを発生する。尚、超短光パルスは、これに限定されるものではない。
ビームスプリッタ１１は、例えば、ハーフミラー型ビームスプリッタや偏光ビームスプリッタ等で構成される。ビームスプリッタ１１は、レーザー発生部１０から出力されるフェムト秒レーザーを、ＴＨｚ波発生源１２へ供給するポンプ光と、チャープ発生光学器２２へ供給するプローブ光の２つに分岐する。
【００３２】
ＴＨｚ波発生源１２は、例えば、低温成長ガリウム・ヒ素（ＬＴ－ＧａＡｓ）上に金属アンテナを形成した半導体等の光伝導アンテナ、インジウム・ヒ素（ＩｎＡｓ）基板等のバルク半導体、半導体量子井戸、テルル化亜鉛（ＺｎＴｅ）などの非線形光学結晶、高温超伝導体などで構成される。第１の実施形態では半導体インジウム・ヒ素基板を用いている。
ＴＨｚ波発生源１２は、ビームスプリッタ１１で分岐されたポンプ光を発生素子（図示省略）に受けて、テラヘルツ波パルス（ＴＨｚ波パルス）を発生させる。ＴＨｚ波発生源１２には、通常、発生効率、発生強度を増大させるために、大きな分岐比で分岐されたポンプ光が照射される。
【００３３】
光学的時間遅延器２１は、例えば、図示しない複数の折り返しミラーの組み合わせにより構成される。光学的時間遅延器２１は、後述する演算回路５０からの制御信号に基づいて、ビームスプリッタ１１で分岐されたプローブ光を所定の時間、遅延させて出力する。
チャープ発生光学器２２は、例えば、バルク回折格子対、プリズム、ホログラフィックグレーティング、ファイバーグレーティング、コリメータレンズ等（いずれも図示省略）を用いて構成される。チャープ発生光学器２２は、光学的時間遅延器２１にて時間遅延されて出力されたプローブ光を線形チャープしたチャープパルスに変換して出力する。チャープ発生光学器２２は、１０ピコ秒以上、例えば、２０ピコ秒程度の時間幅を持つチャープパルスを生成する。
【００３４】
ビームスプリッタ３１は、例えば、ハーフミラー型ビームスプリッタや偏光ビームスプリッタ等で構成される。ビームスプリッタ３１は、チャープ発生光学器２２にて変換されたチャープパルスを、参照光入力部３２へ供給する参照光と、信号光入力部４５へ供給する信号光の２つに分岐する。
参照光入力部３２は、例えば、光ファイバの端部等で構成される。参照光入力部３２は、ビームスプリッタ３１にて分岐されたチャープパルスの参照光が入光され、後述する分光検出部４８へ供給する。
【００３５】
光学素子配列４０は、チャープパルスを透過させＴＨｚ波パルスを反射するハーフミラー４１と、平行光を集光反射する軸外し放物面鏡４２と、ＴＨｚ波パルスの電場信号でチャープパルスを変調する電気光学結晶４３と、偏光子２３の偏光方向に直交する偏光方向を有しＴＨｚ変調を受けたチャープパルスを透過する偏光子４４とを有して構成される。
ここで、電気光学結晶４３は、例えば、テルル化亜鉛（ＺｎＴｅ）結晶等で構成される。電気光学結晶４３はＴＨｚ波パルスが照射されると、その電場信号によるポッケルス効果で透過する信号光の時間波形を変調する。
【００３６】
信号光入力部４５は、例えば、光ファイバの端部等で構成される。信号光入力部４５は、ビームスプリッタ３１にて分岐されたチャープパルスの信号光が入光され、後述する分光検出部４８へ供給する。

分光検出部４８は、例えば、回折格子等の分光器とＣＣＤ（Charge Coupled Device、電荷結合素子）等の検出器とを一体として収納する多素子検出器付き分光器等で構成される。第１の実施形態の分光検出部４８は受光領域を２つに分け、参照光入力部３２からの参照光と信号光検出部４５からの信号光とを受光している。尚、ここで、参照光入力部３２と分光検出部４８とは、本願の参照光検出手段の一例を構成し、また、信号光入力部４５と分光検出部４８とは本願の信号光検出手段の一例を構成する。分光検出部４８で検出された信号光及び参照光の横軸は波長或いは周波数である。線形のチャープパルスは周波数と時間の間で線形の関係であるから、検出された信号光及び参照光の横軸をチャープレートの値を用いて時間軸に変換できる。実際にチャープレートの値を得るには、例えば、１）周波数分解光ゲート法により求めるか、或いは、２）光学的時間遅延器２１によりＴＨｚ波とチャープパルスとが電気光学結晶４３で重なるタイミングを変えてＴＨｚ時間波形を波長又は周波数横軸上で動かし、その時の波形の主ピークの波長（或いは周波数）変化量と時間との関係をプロットする等により求めることができる。

【００３７】

演算回路５０は、例えば、ＣＰＵ（Central Processing Unit、中央処理装置）等で構成される。演算回路５０は、光学的時間遅延器２１に対して時間遅延量を指示する制御信号を出力する。また、演算回路５０は、分光検出部４８からＴＨｚ波パルスの電場時間波形を取得し、その電場時間波形をフーリエ変換してＴＨｚ波パルスの周波数スペクトルを算出する。ここで、制御信号が指示する時間遅延量として、例えば、ＴＨｚ波発生源１２から出力されるＴＨｚ波パルスがチャープ発生光学器２２から出力されるチャープパルスに時間的にオーバーラップする（時間的に同期する）ための時間遅延量がある。また、例えば、測定対象物がある場合とない場合のＴＨｚ波パルスの時間波形の主ピーク間の時間差がある。これについては後述する。

【００３８】

尚、上記した第１の実施形態にかかるテラヘルツ波スペクトル測定装置１では、多素子検出器付き分光器等で構成される１個の分光検出部４８が受光領域を分けて参照光と信号光とを検出する例を説明したが、２個の多素子検出器付き分光器が参照光の検出と信号光の検出とを分担する構成としても良い（図示省略）。

【００３９】

（動作概要）

以上の構成を有するテラヘルツ波スペクトル測定装置１の動作概要を以下に説明する。

レーザー発生部１０から出力されたフェムト秒レーザーは、ビームスプリッタ１１でポンプ光とプローブ光の２つに分岐される（第１の分岐工程）。ポンプ光はＴＨｚ波発生源１２へ導かれＴＨｚ波パルスが発生される（ＴＨｚ波発生工程）。プローブ光は光学的時間遅延器２１を通過した後にチャープ発生光学器２２を用いて２０ピコ秒程度以上の時間幅を持つチャープパルスに成形される（チャープ変換工程）。チャープパルスの時間幅からは、以下の式に従って、ＴＨｚ分光器の周波数分解能Δωが得られる。

【数９】

$$(\text{周波数分解能}\Delta\omega)\approx \frac{1}{(\text{チャープパルスの時間幅})}$$

これにより、従来法であるＡ法を用いたテラヘルツ分光と同程度の数十ＧＨｚの周波数分解能を得る。

【００４０】

チャープパルスを検出する分光検出部４８の周波数分解能Δνは、被測定ＴＨｚ波パルスの時間波形の分解に必要な時間分解能の値に基づいて決定される。必要とされる時間分解能をΔτ、チャープレートの大きさをγとすると、

【数１０】

$$\begin{pmatrix}\text{分光器の周波数}\\ \text{分解能}\Delta\nu\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}\text{必要とされる}\\ \text{時間分解能}\Delta\tau\end{pmatrix}\times\begin{pmatrix}\text{チャープレートの}\\ \text{大きさ}\gamma\end{pmatrix}$$

で得られる周波数分解能Δνが分光器の周波数分解能値の目安とされる。

この目安に基づけば、従来法であるＡ法を用いたテラヘルツ分光と同程度の測定周波数帯域と周波数分解能とを同時に実現することができる。例えば、約１００フェムト秒のパルス幅をもつレーザー（８００ｎｍ中心）を用いて、チャープレートの大きさを０．２ＴＨｚ^{2}で時間分解能約２００フェムト秒を得たいのであれば、分光器に必要とされる波長分解能が計算できる。

【００４１】

周波数分解能Δνは、以下の計算式から０．０４ＴＨｚである。

【数１１】

$$(\text{周波数分解能}\Delta\nu)=\Delta\tau\times\gamma=200\text{フェムト秒}\times0.2THz^2$$
$$=0.2\text{ピコ秒}\times0.2THz^2=0.04THz$$

８００ｎｍ＝３７５ＴＨｚであるから、波長分解能は、

【数１２】

$$(\text{波長分解能})=\frac{3\times10^8}{375\times10^{12}}-\frac{3\times10^8}{375.04\times10^{12}}\approx0.09nm$$

よって、０．１ｎｍ程度の波長分解能を有する分光器を用いる。

【００４２】

チャープ発生光学器２２にて生成されて出力されたチャープパルスは偏光子２３に通した後、ビームスプリッタ３１で２つに分岐される（第２の分岐工程）。一方は、そのまま参照光入力部３２に導かれる。もう一方は、光学素子配列４０において、ＴＨｚ波発生源１２から出力されるＴＨｚ波パルスに電気光学結晶４３内で重ねられ、チャープパルスをＴＨｚ波電場により変調させる（変調工程）。その後、偏光子４４を通して、信号光入力部４５に導かれる。分光検出部４８にて、参照光と信号光とを取得する（参照光検出工程、信号光検出工程）。

以上により、テラヘルツ波スペクトル測定装置１は、参照光と信号光とを取得できる。

【００４３】

（時間波形取得法）

以上で動作概要を説明したので、続いて、第１の実施形態にかかる時間波形取得法を説明する。

（第１の検出工程）

以下に説明する第１の検出工程では、ＴＨｚ波を発生させないで、参照光R(t)_offと信号光S(t)_offとが同時に検出される。

レーザー発生部１０によって発生されたフェムト秒レーザーが、ビームスプリッタ１１でポンプ光とプローブ光の２つに分岐される（第１の分岐工程）。ポンプ光はＴＨｚ波発生源１２へ向けて導かれるが、図示しないシャッターにて遮断される。これにより、ＴＨｚ波発生源１２はＴＨｚ波パルスを発生させない。尚、ＴＨｚ波発生源１２の後ろにシャッター（図示省略）を設け、発生したＴＨｚ波パルスを遮断しても良い。一方、プローブ光は光学的時間遅延器２１を通過した後にチャープ発生光学器２２を用いてチャープパルスに成形される（チャープ変換工程）。

【００４４】

チャープパルスはビームスプリッタ３１で２つに分岐される（第２の分岐工程）。一方は参照光入力部３２に導かれる。もう一方は、光学素子配列４０を通過して信号光入力部

４５へ導かれる。ＴＨｚ波発生源１２からＴＨｚ波パルスが出力されないので、光学素子配列４０において変調されることはない。その後、信号光入力部４５へ導かれる。分光検出部４８にて、参照光R(t)_offと信号光S(t)_offとが同時に取得される。

取得された参照光R(t)_offと信号光S(t)_offとに基づいて、演算回路５０にてビームスプリッタ３１の分岐比S(t)_off／R(t)_offが計算される。

【００４５】

（第２の検出工程）

第２の検出工程では、ＴＨｚ波を発生させて参照光R(t)_onと信号光S(t)_onとが同時に検出される。

レーザー発生部１０によって発生されたフェムト秒レーザーが、ビームスプリッタ１１でポンプ光とプローブ光の２つに分岐される（第１の分岐工程）。ポンプ光はＴＨｚ波発生源１２へ導かれ、ＴＨｚ波発生源１２はＴＨｚ波パルスを発生させる（ＴＨｚ波発生工程）。一方、プローブ光は光学的時間遅延器２１を通過した後にチャープ発生光学器２２にてチャープパルスに成形される（チャープ変換工程）。

【００４６】

チャープパルスはビームスプリッタ３１で２つに分岐される（第２の分岐工程）。一方は参照光入力部３２に導かれる。他方は、光学素子配列４０において、ＴＨｚ波発生源１２から出力されるＴＨｚ波パルスに電気光学結晶４３内で重ねられ、チャープパルスをＴＨｚ波電場により変調させる（変調工程）。その後、信号光入力部４５へ導かれる。分光検出部４８にて、参照光R(t)_onと信号光S(t)_onとが同時に取得される。

【００４７】

（演算工程）

第１の検出工程にて計算された分岐比S(t)_off／R(t)_off、及び、前記第２の検出工程にて取得された参照光R(t)_onを使って、ＴＨｚ波パルスで変調されないチャープパルスI(t)_offが、以下の（１）式で計算される。

【数１３】

$$I(t)_off = R(t)_on \times \frac{S(t)_off}{R(t)_off} \qquad (1)$$

【００４８】

また、参照光R(t)_onと同時に取得された信号光S(t)_onは、ＴＨｚ波パルスで変調されたチャープパルスI(t)_onであるから（I(t)_on＝S(t)_on）、ＴＨｚ波パルスの時間波形$E_{THz}(t)$は、以下の（２）式により計算される。

【数１４】

$$E_{THz}(t) = \frac{I(t)_on - I(t)_off}{I(t)_off} \qquad (2)$$

【００４９】

これにより、I(t)_onとI(t)_offの実効的な同時測定を果たし、（２）式から導いたＴＨｚ波パルスの時間波形のレーザーの揺らぎに起因する歪みを除去できる。

尚、第１の検出工程において計算された分岐比S(t)_off／R(t)_offを、図示しない記憶手段に記憶し、その後は第２の検出工程だけを実行するようにしても良い。

【００５０】

（透過スペクトル測定法）

以上で時間波形取得法を説明したので、次に、測定対象物を透過したＴＨｚ波のスペクトル測定法を説明する。

透過スペクトル測定法では、所定の測定位置に測定対象物が配置されていない場合と配置されている場合のＴＨｚ波パルスの時間波形を、上に説明した時間波形取得法に基づいて取得する（第１の時間波形取得工程、第２の時間波形取得工程）。取得した２つの時間波形の主ピークの間の時間差に基づいて、演算回路５０は、第１の時間波形に対する第２

の時間波形の遅延量（透過ＴＨｚ波の時間遅延量）を算出する（時間遅延量算出工程）。

【００５１】

算出した時間遅延量だけ時間を遅延させるように、演算回路５０は光学的時間遅延器２１に対して制御信号を出力して時間を遅延させ、測定対象物の透過ＴＨｚ波の時間波形を再度取得する（第３の時間波形取得工程）。そして、第１の時間波形と第３の時間波形とに基づいて、演算回路５０は測定対象物を透過したＴＨｚ波のスペクトルを計算する（ＴＨｚスペクトル計算工程）。

以上により、測定位置に測定対象物がある場合とない場合の透過ＴＨｚ波がチャープパルス内の同じ時間領域を変調するので、テラヘルツ波スペクトル測定装置１の装置応答のＴＨｚ波変調領域依存性を除いたＴＨｚ波パルスの時間波形を取得できる。そして、その効果に起因した歪みのないＴＨｚスペクトルを測定できる。

【００５２】

尚、測定対象物がない状態のＴＨｚ波パルスの時間波形取得（第１の時間波形取得工程）、測定対象物がある状態のＴＨｚ波パルスの時間波形取得（第２の時間波形取得工程）や二つのＴＨｚ時間波形の時間差分を修正して実施した測定対象物がある状態のＴＨｚ波パルスの時間波形取得（第３の時間波形取得工程）は、それぞれ単発のレーザーパルスを用いて実行できるが、信号／雑音比（Ｓ／Ｎ比）を上げるために、複数回の測定を行って取得したデータを積算しＴＨｚスペクトルを計算しても良い。

【実施例１】

【００５３】

図１に示す構成を有するテラヘルツ波スペクトル測定装置１において、パルス幅：約１５０フェムト秒、パルスエネルギー：約０．５ｍＪ、パルス繰り返し：約１ｋＨｚ、中心波長：約８００ｎｍのフェムト秒レーザーを用いて、出力されるＴＨｚスペクトルを測定した。ＴＨｚ波発生源１２として０．５ｍｍ厚のインジウム・ヒ素（ＩｎＡｓ）基板を用い、その表面にフェムト秒レーザーを照射してＴＨｚ波パルスを発生させた。チャープ発生光学器２２として１２００本／ｍｍの回折格子対を用い、約０．２ＴＨｚ^{2}のチャープレートのチャープパルスを発生させた。電気光学結晶４３にテルル化亜鉛（ＺｎＴｅ）結晶を用いた。分光検出部４８には、ＣＣＤカメラ（１３４０×４００ピクセル）付き分光器（３０ｃｍ、１８００本／ｍｍ）を用いた。分光器の分解能は約０．１ｎｍである。検出領域を二つ（１３４０×２００ピクセル）に分け、参照光と信号光とを二つの領域で同時に検出した。

【００５４】

図２は、測定により導出されたＴＨｚ波パルスの時間波形のフーリエ変換スペクトルを示す。横軸は、導出されたＴＨｚ波パルスの周波数を示し、縦軸はＴＨｚ波パルスの電場振幅を示す。

図２に示すように、測定を大気中で行ったため、測定された周波数領域において水蒸気の吸収に起因した幾つかのくぼみが存在する。

【００５５】

実施例１にて測定されたＴＨｚ波パルスの時間波形は、低周波数領域からＴＨｚ波電場振幅の最大値の半値の周波数（約１．５ＴＨｚ）まで、Ａ法を用いて取得したＴＨｚ波パルスの時間波形にほぼ一致する。このことから、実施例１は、Ａ法とほぼ同じ測定周波数帯域を有することが判る。

また、約１．１ＴＨｚ付近の水蒸気の吸収に起因するスペクトル中の鋭いくぼみに着目して周波数分解能をスペクトルの半値全幅で評価すると、実施例１の周波数分解能は、Ａ法と同じ約０．０３ＴＨｚに達している。このことから、実施例１は、Ａ法とほぼ同じ周波数分解能を有することが判る。

【００５６】

以上により、約２０ピコ秒程度のチャープパルスと分光検出部４８の高波長分解能化（約０．１ｎｍ）により、実施例１では、従来型のＡ法と同程度の測定周波数帯域及び周波数分解能が達成された。両方の値でＢ法及びＣ法での値より優れた結果を得ている。

また、実施例１では、Ｃ法のように白色パルスの発生という方法を用いることなく直接フェムト秒レーザーをチャープするだけで良い。

【００５７】

図３は、分光検出部４８の周波数分解能を変えて検出したＴＨｚ波パルスの時間波形の実験結果である。横軸は、時間（ピコ秒）を示し、縦軸は、ＴＨｚ波パルスの電場振幅を示す。

図３に示すように、分光検出部４８の周波数分解能が悪くなるとＴＨｚ波パルスのパルス幅が広がる。即ち、分光検出部４８の周波数分解能が重要なパラメータであることを示す。

【００５８】

分光器の分解能をΔω（ＴＨｚ）、チャープレートの大きさをγ（ＴＨｚ^2）とすると、Δω／γにより測定システムの時間分解能Δτをおよそ評価できる。

【数１５】

$$(\text{時間分解能}\Delta\tau)=\frac{\Delta\omega}{\gamma}=\frac{\text{分光器の分解能}(THz)}{\text{チャープレートの大きさ}(THz^2)}$$

実施例１の場合、１５０フェムト秒のレーザー（８００ｎｍ中心）を用いて、チャープレートの大きさを０．２ＴＨｚ^2、分光器の分解能を０．１ｎｍとすると、時間分解能Δτ＝Δω／γ＝０．１×１０$^{-9}$／（０．２×１０^{12}）＝約２００フェムト秒となり、Ａ法で評価されたＴＨｚ波の元波形を充分分解できる時間分解能Δτを持つ。また、このチャープレートの場合、観測時間幅が数十ピコ秒であるから、数十ＧＨｚの周波数分解能を得る。この理論的な結果は実施例１（図２）とよく対応する。

【００５９】

ＴＨｚ波パルスの時間波形の導出は、Ｂ法、Ｃ法及び実施例１で共通であり、（２）式により求める。

Ｂ法及びＣ法では、第１の実施形態にかかるダブルビーム法での信号光に相当する信号のみを測定し、参照光を同時に測定しない。よって、異なるプローブパルスでI(t)_onとI(t)_offを計測する必要がある。かかる場合、レーザーの揺らぎに起因してチャープパルスがパルス毎に変化すると、I(t)_onは、I(t)_offにＴＨｚ波の変調以外にレーザーの揺らぎに起因した変化が載った信号となり、（２）式から導かれたＴＨｚ波パルスの時間波形は歪む恐れがある。

【００６０】

一方、第１の実施形態では、ＴＨｚ波パルスを測定系に入射さることなく参照光R(t)_off及び信号光S(t)_offを同時測定して、分岐比S(t)_off／R(t)_offを予め取得する。そして、ＴＨｚ波パルスを測定系に入射させて参照光R(t)_on及び信号光S(t)_onを同時測定し、分岐比の値を用いて（２）式で用いるI(t)_offを（１）式により算出している。これにより、ＴＨｚ波パルスで変調されたチャープパルスと変調されないチャープパルスとを実質的に同時測定する。

従って、第１の実施形態では、レーザーの揺らぎに起因したＴＨｚ波パルスの時間波形の歪みを排除できる。

【００６１】

図４は、ＴＨｚ波パルスとチャープパルスとが電気光学結晶４３中で出会う時間的タイミングを変えた時に測定されるＴＨｚ波パルスの時間波形である。横軸は、チャープパルスの波長を示し、縦軸は、ＴＨｚ波パルスの電場振幅を示す。尚、横軸は、チャープレートの値を用いて時間軸に変換が可能である。例えば、周波数を変換する場合、（測定周波数刻み）を（チャープレート）で除することにより時間に変換できる。

図４に示すように、ＴＨｚ波パルスとチャープパルスとが電気光学結晶４３中で出会う時間的タイミングを変えると、時間波形は一致しない。テラヘルツ波スペクトル測定装置１（図１参照）の装置応答は、ＴＨｚ波パルスとチャープパルスとの時間的重なりに依存

することを示す。

【００６２】

ＴＨｚ周波数領域で屈折率が１と異なる測定対象物をＴＨｚ波パルスが透過するとき、透過しない場合に比して、電気光学結晶４３中でチャープパルスに出会う時間的タイミングが変わる。従って、測定対象物のＴＨｚスペクトルの導出からその効果を除去するために、まず、所定の測定位置に測定対象物が配置されている場合と配置されていない場合のＴＨｚ波パルスの時間波形を測定し、その主ピークの間の時間差を求める。光学的時間遅延器２１によりその時間差だけ時間を遅延させて、測定対象物の透過ＴＨｚ波パルスの時間波形を再度取得する。

これにより、チャープパルス内の同じ時間領域でのＴＨｚ波変調を通して、測定対象物がない場合とある場合の透過ＴＨｚ波パルスを測定することができ、両者のＴＨｚ波パルスの時間波形を用いて、測定対象物のＴＨｚスペクトルを得る。よって、ＴＨｚ波パルスとチャープパルスの時間的重なり方に依存する装置応答に起因したＴＨｚスペクトルの歪みを除去することができる。

【００６３】

第１の実施形態にかかるテラヘルツ波スペクトル測定装置１によれば、同時に検出された参照光と信号光とに基づいてＴＨｚ波の時間波形が取得される。これにより、フェムト秒レーザーのレーザーパルスがパルス毎に揺らぐ場合であっても、測定結果の信頼性を上げることができる。

また、チャープ発生光学器２２は、１０ｎｍ程度のスペクトル幅を有するフェムト秒レーザーを数十ピコ秒以上に線形チャープしたチャープパルスに変換する。よって、Ａ法と同程度の数１０ＧＨｚの周波数分解能を実現できる。

【００６４】

更に、ＴＨｚ波発生源１２から発生されるＴＨｚ波とビームスプリッタ３１にて分岐されたチャープパルスとが電気光学素結晶４３にて時間的にオーバーラップするように、光学的時間遅延器（２１）はプローブ光を遅延させる。よって、ＴＨｚ波とチャープパルスとを同期させることができ、チャープパルスに載ったＴＨｚ波の変調特性を取得できる。

更にまた、ＴＨｚ波の第１の時間波形と第２の時間波形とに基づいて算出された時間遅延量だけ、光学的時間遅延器２１によってプローブ光は遅延される。よって、測定対象物がある場合とない場合とでチャープパルス内の同じ時間領域を変調するＴＨｚ波は、ＴＨｚ波変調領域依存性を除くことができ、歪みのないＴＨｚスペクトルを取得できる。

【００６５】

更にまた、参照光と信号光とは、１個の（２チャンネル×多素子検出器付き分光器）である分光検出部４８により検出される。よって、信号光と参照光とを同時に検出することが容易となる。

更にまた、参照光と信号光とは、２個の多素子検出器付き分光器により検出される。よって、小型の多素子検出器付き分光器を採用でき、配置の自由度を高めることができる。

【００６６】

第１の実施形態にかかる時間波形取得法によれば、第１の検出工程にて検出された参照光R(t)_offと信号光S(t)_off、及び、第２の検出工程にて信号光S(t)_onと参照光R(t)_onを使って、ＴＨｚ波の時間波形$E_{THz}(t)$を演算して取得する。これにより、ＴＨｚ波で変調されたチャープパルスI(t)_onと変調されないチャープパルスI(t)_offの実効的な同時測定を果たし、レーザーの揺らぎに起因する歪みを除去できる。

また、記憶された参照光R(t)_offと信号光S(t)_off及び分岐比S(t)_off／R(t)_offのいずれか一方、並びに、第２の検出工程にて信号光S(t)_onと参照光R(t)_onを使って、ＴＨｚ波の時間波形$E_{THz}(t)$が演算されて取得される。よって、第１の検出工程を１回実行した後は、第２の検出工程だけを実行してＴＨｚ波の時間波形を取得できる。

更に、分岐比S(t)_off／R(t)_offとを使ってＴＨｚ波で変調されないチャープパルスI(t)_offが演算され、第２の検出工程にて検出された信号光S(t)_onを使ってＴＨｚ波の時間波形$E_{THz}(t)$が演算され取得される。よって、ＴＨｚ波で変調されたチャープパルスI(t

)_onと変調されないチャープパルスI(t)_offの実効的な同時測定を果たし、レーザーの揺らぎに起因する歪みを除去できる。

【００６７】

第１の実施形態にかかるテラヘルツ測定法によれば、第１の時間波形と第２の時間波形とに基づいて算出された時間遅延量だけプローブ光を遅延させて測定対象物を透過したＴＨｚ波の第３の時間波形を取得され、ＴＨｚ波のスペクトルが計算される。これにより、チャープパルス内の同じ時間領域を変調するＴＨｚ波は、ＴＨｚ波変調領域依存性を除くことができ、歪みのないＴＨｚスペクトルを取得できる。

また、第１の時間波形と第２の時間波形との主ピークの時間差に基づいて時間遅延量が算出される。よって、測定対象物がある場合とない場合とでチャープパルス内の同じ時間領域を変調するＴＨｚ波は、ＴＨｚ波変調領域依存性を除いた時間波形を導出できる。

【００６８】

更に、記憶された第１の時間波形と取得された第２の時間波形とに基づいて時間遅延量を算出する。よって、第１時間波形取得工程を省くことができるので、測定時間を短縮できる。

更にまた、複数回検出された参照光と信号光とに基づいてＴＨｚ波の時間波形が取得される。よって、信号／雑音比（Ｓ／Ｎ比）を上げることができる。

【００６９】

（第２の実施形態）

図５は、本発明にかかるテラヘルツ測定装置の第２の実施形態としてのテラヘルツ波スペクトル測定装置１００の構成図である。図１に示すテラヘルツ波スペクトル測定装置１と同一の構成要素は、同一の符号を付すことで説明を省略する。

図５に示すように、テラヘルツ波スペクトル測定装置１００は、ビームスプリッタ１１とＴＨｚ波発生光学系１２との間に、ビームスプリッタ１１にて分岐され出力されたフェムト秒レーザーを更に励起光とポンプ光とに分岐する第３の分岐手段の一例としてのビームスプリッタ１０１と、ビームスプリッタ１０１にて分岐され出力されたポンプ光を受けて所定の時間遅延させて出力する第２の光学的時間遅延器の一例としての光学的時間遅延器１０２と、ビームスプリッタ１０１にて分岐された励起光の光路を開閉するシャッター１０３とを有する点で、図１に示すテラヘルツ波スペクトル測定装置１と相違する。

【００７０】

ここで、ビームスプリッタ１０１は、例えば、ハーフミラー型ビームスプリッタや偏光ビームスプリッタ等で構成される。ビームスプリッタ１０１は、ビームスプリッタ１１で分岐されたフェムト秒レーザーを、測定対象物に照射される励起光と、光学的時間遅延器１０２へ供給されるポンプ光の２つに分岐する。

光学的時間遅延器１０２は、例えば、図示しない複数の折り返しミラーの組み合わせにより構成される。光学的時間遅延器１０２は、演算回路５０からの制御信号に基づいて、ビームスプリッタ１０１で分岐されたポンプ光を時間遅延させて出力する。

シャッター１０３は、例えば、黒色の金属薄板及びその駆動機構（図示省略）等で構成される。シャッター１０３は、演算回路５０からの制御信号に基づいて、測定対象物を光励起するための励起光としてのフェムト秒レーザーを遮断する。

【００７１】

以上の構成を有するテラヘルツ波スペクトル測定装置１００では、ビームスプリッタ１１を通過したフェムト秒レーザーは、ビームスプリッタ１０１にて更に励起光とポンプ光の２つに分けられる。

励起光は、シャッター１０３を介して測定対象物に照射される。ポンプ光は、光学的時間遅延器１０２にて所定の時間だけ時間遅延されてＴＨｚ波発生源１２に導かれる。

【００７２】

励起光が照射されて光励起した測定対象物に対して、ＴＨｚ波発生源１２からＴＨｚ波パルスが照射される。測定対象物を透過した透過ＴＨｚ波は、電気光学結晶４３においてチャープ発生光学器２２から出力されたチャープパルスに重ねられる。信号光入力部４５

及び分光検出部４８にて信号光が検出され、ＴＨｚ波パルスの時間波形が取得される（励起状態での時間波形取得工程）。

続いて、シャッター１０３によって励起光が遮断され、測定対象物は基底状態に戻る。ＴＨｚ波発生源１２からＴＨｚ波パルスが照射され、透過ＴＨｚ波が電気光学結晶４３にてチャープパルスに重ねられる。同様にして、信号光入力部４５及び分光検出部４８にて信号光が検出され、ＴＨｚ波パルスの時間波形が取得される（基底状態での時間波形取得工程）。

取得された２つのＴＨｚ波パルスの時間波形が演算回路５０にてフーリエ変換され、各々のＴＨｚスペクトルが取得される。光励起前後のＴＨｚスペクトルの変化から、光励起によって測定対象物内で起こる化学反応や相変化などの機能解析が実施される（解析工程）。

【００７３】

第２の実施形態にかかるテラヘルツ波スペクトル測定装置１００によれば、所定の測定位置に配置された測定対象物に対して、フェムト秒レーザーを照射して光励起させると共に、ＴＨｚ波発生源１２からＴＨｚ波を照射させる。これにより、光励起によって測定対象物内で起こる化学反応や相変化などの機能解析ができる。

第２の実施形態にかかるテラヘルツ測定法によれば、光励起された測定対象物を透過した透過ＴＨｚ波の時間波形と、基底状態の測定対象物を透過した透過ＴＨｚ波の時間波形とを取得し、光励起によって測定対象物に生じる変化を解析する。これにより、光励起によって測定対象物内で起こる化学反応や相変化などの機能解析ができる。

【００７４】

尚、ビームスプリッタ１０１の後に、非線形光学効果により励起光の励起波長を変換する波長変換光学素子（図示省略）を配置しても良い。励起光を測定対象物に適した波長に変換して照射することができる。

ここで、波長変換光学素子は、例えば、ベータバリウムボライト（ＢＢＯ）など非線形光学結晶等で構成される。波長変換光学素子は、ビームスプリッタ１０１にて分光された励起光を用いた非線形光学効果により、測定対象物に適した励起波長を有する励起光としての光パルスを発生させる。波長変換光学素子は、例えば、８００ｎｍの２倍波や３倍波の光パルスや可視域を連続的に波長が可変な光パルスを発生させる。

【００７５】

（検査装置）

図６は、図１に示したテラヘルツ波スペクトル測定装置１を用いた検査装置９９の概観図である。

図６に示すように、検査装置９９は、テラヘルツ波スペクトル測定装置１と、測定対象物が入った容器９７を所定の速度で搬送する搬送手段の一例としてのベルトコンベア９８と、様々な物質のＴＨｚ領域におけるＴＨｚスペクトルを記憶するデータベース９６とを有して構成される。

ここで、データベース９６は、例えば、記憶手段の一例としてのハードディスクドライブ（図示省略）を内蔵したパーソナルコンピュータ等で構成される。テラヘルツ波スペクトル測定装置１から出力される測定結果と、記憶しているＴＨｚスペクトルとを照合して、所定の判定を行う。

テラヘルツ波スペクトル測定装置１は、ベルトコンベア９８上を移動する容器９７に向かってＴＨｚ波を照射する。そして、容器９７に入っている測定対象物を透過するＴＨｚ波を受光する。ここで、容器９７は、例えば、ＴＨｚ波パルスを透過する紙やプラスチックで構成される。

【００７６】

実施例１に示した仕様を有するテラヘルツ波スペクトル測定装置１を用いれば、例えば、約１ミリ秒の時間間隔での測定が可能である。ベルトコンベア９８で運ばれる測定対象物は、最速でテラヘルツ波スペクトル測定装置１の測定時間間隔で検査が可能であるから、高速の検査が実現される。

例えば、覚醒剤などの禁止薬物や爆薬などの危険物は、ＴＨｚ領域に特徴的な指紋スペクトルを持つことが最近明らかになってきている。そのような指紋スペクトルのデータを予めデータベース９６にデータ入力しておき、測定対象物の測定結果と比較することにより、測定対象物にそのような薬物が含まれるかどうかを判定することができる。上述のように、紙やプラスチックはＴＨｚ波パルスを透過するから、例えば、郵便物等に梱包された状態でも、測定して判定することができる。

【００７７】

本実施形態にかかる検査装置９９によれば、ベルトコンベア９８により測定位置に搬送された測定対象物を透過する透過ＴＨｚ波を測定する。これにより、高速の検査が実現される。

また、データベース９６は、様々な物質のＴＨｚ領域におけるＴＨｚスペクトルを記憶する。よって、測定対象物の透過ＴＨｚ波を、データベース９６に記憶されたデータと照合することで、測定対象物を容易に特定できる。

【産業上の利用可能性】

【００７８】

本発明は、半導体、セラミックス、超伝導体、ポリマーなどの材料評価、薬品、食品の成分分析、生体関連分子の分析、遺伝子解析、タンパク質の機能解析、癌の診断、医用材料の検査、違法薬物の検査・爆発物の検査、ペットボトル中の液体の検査、違法ガソリンの取り締まり、排ガス、有毒ガス監視など環境計測の分野に利用できる。

【図面の簡単な説明】

【００７９】

【図１】第１の実施形態にかかるテラヘルツ波スペクトル測定装置の構成図である。

【図２】ＴＨｚ波パルスの時間波形のフーリエ変換スペクトルを示す図である。

【図３】周波数分解能を変えて検出したＴＨｚ波パルスの時間波形を示す図である。

【図４】ＴＨｚ波パルスとチャープパルスとの時間的タイミングを変えて得たＴＨｚ波パルスの時間波形を示す図である。

【図５】第２の実施形態にかかるテラヘルツ波スペクトル測定装置の構成図である。

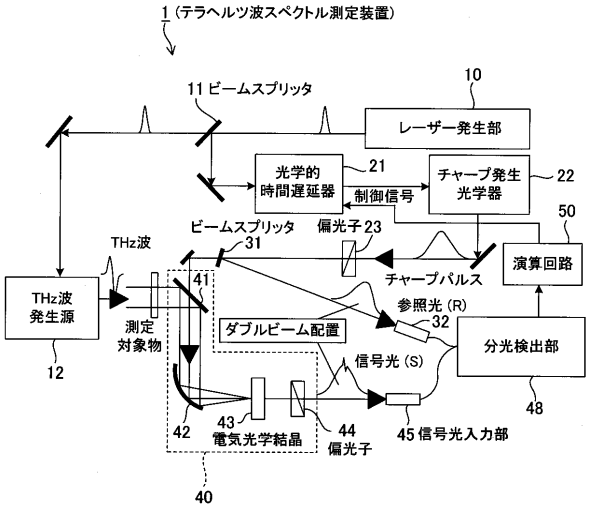
【図６】図１に示すテラヘルツ波スペクトル測定装置を用いた検査装置の概観図である。

【符号の説明】

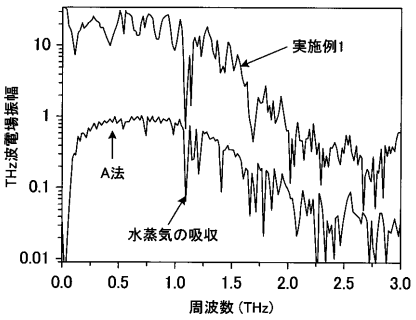
【００８０】

１，１００…テラヘルツ波スペクトル測定装置（テラヘルツ測定装置）
１０…レーザー発生部（光パルス発生手段）
１１…ビームスプリッタ（第１の分岐手段）
１２…ＴＨｚ波発生源（テラヘルツ波発生光学系）
２１…光学的時間遅延器
２２…チャープ発生光学器（チャープ発生光学系）
３１…ビームスプリッタ（第２の分岐手段）
３２…参照光入力部（参照光検出手段）
４３…電気光学結晶
４５…信号光入力部（信号光検出手段）
４８…分光検出部（参照光検出手段、信号光検出手段、多素子検出器付き分光器）
５０…演算回路（演算手段）
９６…データベース
９８…ベルトコンベア（搬送手段）
９９…検査装置
１０１…ビームスプリッタ（第３の分岐手段）
１０３…シャッター

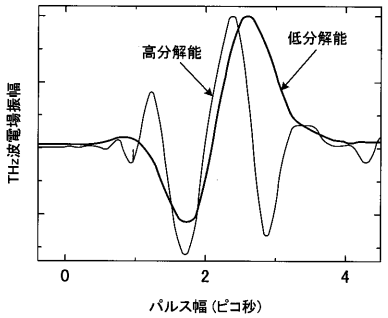
【図１】



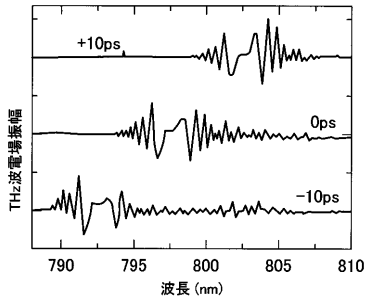
【図２】



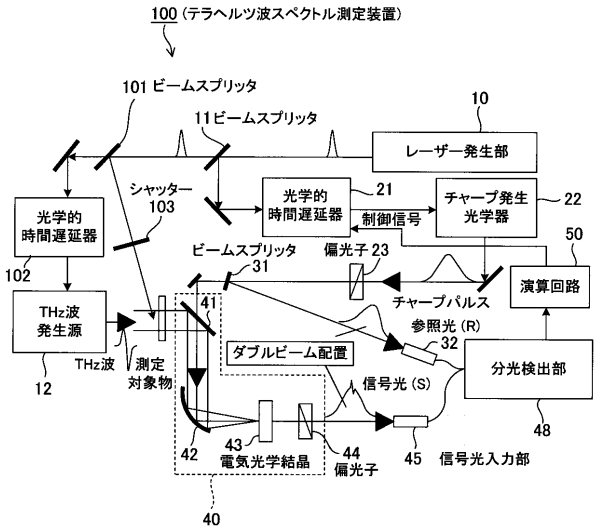
【図３】



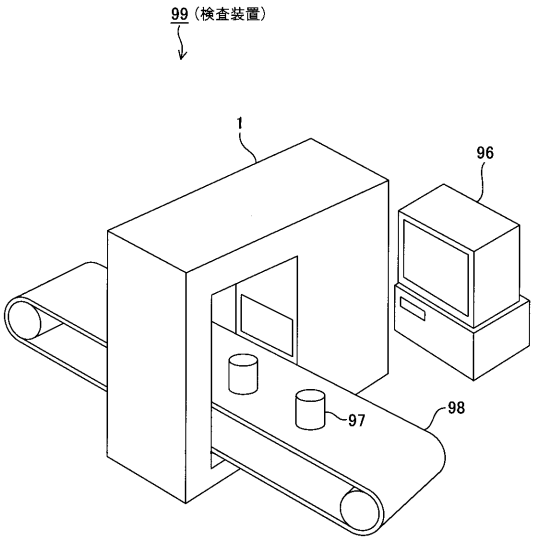
【図４】



【図５】



【図６】



フロントページの続き

(74)代理人 100119426
弁理士 小見山 泰明
(72)発明者 村上 洋
京都府木津川市梅美台８丁目１番 独立行政法人日本原子力研究開発機構 関西光科学研究所内

Ｆターム(参考) 2G059 AA01 BB01 BB04 BB11 BB12 BB16 EE01 EE12 FF04 FF09
GG01 GG08 HH01 HH06 JJ01 JJ05 JJ06 JJ13 JJ14 JJ17
JJ18 JJ19 JJ22 KK04 LL01 MM01