

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5284184号
(P5284184)

(45) 発行日 平成25年9月11日(2013.9.11)

(24) 登録日 平成25年6月7日(2013.6.7)

(51) Int.Cl.

G O 1 N 21/35 (2006.01)

F I

G O 1 N 21/35

Z

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2009-135631 (P2009-135631)
(22) 出願日 平成21年6月5日(2009.6.5)
(65) 公開番号 特開2010-281700 (P2010-281700A)
(43) 公開日 平成22年12月16日(2010.12.16)
審査請求日 平成24年6月1日(2012.6.1)

(73) 特許権者 000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(74) 代理人 100086483
弁理士 加藤 一男
(72) 発明者 井辻 健明
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
ヤノン株式会社内

審査官 横尾 雅一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 テラヘルツ波の時間波形を取得するための装置及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

テラヘルツ波の時間波形を取得するための方法であって、
テラヘルツ波を発生させるための発生部と、該テラヘルツ波を検出するための検出部と、
該発生部と該検出部とにそれぞれ照射される励起光の光路長差を変えるための第1の遅延部と、
励起光を該発生部と該検出部とにそれぞれ到達させるまでの時間差を変えるための第2の遅延部と、
を有する装置において、該第2の遅延部における第1の光路長差で、前記第1の遅延部を用いて第1の時間波形を取得するステップと、
前記第2の遅延部を用いて、前記第1の光路長差を該第1の光路長差とは異なる第2の光路長差に変えるステップと、
前記第2の光路長差で、前記第1の遅延部を用いて第2の時間波形を取得するステップと、

前記取得された第1及び第2の時間波形を、前記第1及び第2の光路長差をそれぞれから
予め定められた光路長差に合わせることで変換して、新たな第1及び第2の時間波形を取
得するステップと、

前記予め定められた光路長差に合わせることで取得された第1及び第2の時間波形を加算
平均するステップと、を含むことを特徴とする方法。

【請求項2】

前記発生部から発生されたテラヘルツ波を検体に照射し、
前記検体を透過あるいは該検体を反射したテラヘルツ波を前記検出部で検出し、

前記加算平均により、前記第 1 の遅延部の移動に由来する周波数成分の抑制された時間波形を用いて、前記検体の情報を取得することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

テラヘルツ波の時間波形を取得するための装置であって、
テラヘルツ波を発生させるための発生部と、
前記発生部から発生されたテラヘルツ波を検出するための検出部と、
前記発生部と前記検出部とにそれぞれ照射される励起光の光路長差を変えるための第 1 の遅延部と、
励起光を前記発生部と前記検出部とにそれぞれ到達させるまでの時間差を変えるための第 2 の遅延部と、
前記第 2 の遅延部における第 1 及び第 2 の光路長差それぞれで、前記第 1 の遅延部を用いて第 1 及び第 2 の時間波形を取得するための処理部と、を有し、
前記処理部は、前記取得された第 1 及び第 2 の時間波形を、前記第 1 及び第 2 の光路長差をそれぞれから予め定められた光路長差に合わせることで変換して、新たな第 1 及び第 2 の時間波形を取得し、前記予め定められた光路長差に合わせることで取得された第 1 及び第 2 の時間波形を加算平均することを特徴とする装置。

10

【請求項 4】

前記発生部から発生されたテラヘルツ波を検体に照射し、
前記検体を透過あるいは該検体を反射したテラヘルツ波を前記検出部で検出し、
前記加算平均により、前記第 1 の遅延部の移動に由来する周波数成分の抑制された時間波形を用いて、前記検体の情報を取得することを特徴とする請求項 3 に記載の装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、テラヘルツ波の時間波形を取得するための装置及び方法に関する。特に、時間領域でのテラヘルツ波を測定するテラヘルツ波測定装置（THz-TDS装置、THz-Time Domain Spectroscopy装置）及び方法に関する。

【背景技術】

【0002】

テラヘルツ波は、0.03 THz以上30 THz以下の範囲のうちの任意の周波数帯域の成分を有する電磁波である。この様な周波数帯域には、生体分子をはじめとして、様々な物質の構造や状態に由来する特徴的な吸収が多く存在する。この様な特徴を活かして、非破壊にて物質の分析や同定などを行う検査技術が開発されている。また、X線に替わる安全なイメージング技術や高速な通信技術などへの応用が期待されている。

30

【0003】

テラヘルツ波の時間波形は、多くの場合、サブピコ秒のパルス形状である。この様なパルスを実時間で取得することは困難であるため、THz-TDS装置は、フェムト秒オーダのパルス幅を有する励起光によってサンプリング計測を行っている。このサンプリングは、テラヘルツ波を発生する発生部とこの波を検出する検出部に到達する励起光の時間差を調整することで実現される。例えば、この時間差は、折り返し光学系を有するステージ（遅延光学部とも呼ぶ）を励起光の伝播経路に挿入し、折り返し量を調整することで取得する。この発生部又は検出部としては、半導体膜に微小間隙を有するアンテナパターンを設けた光伝導素子を用いる場合がある。よって、諸所で、発生部又は検出部がこうした光伝導素子であるとして説明を進める。

40

【0004】

近年、前記THz-TDS装置の測定感度が向上するに従い、遅延光学部に用いたステージの振動の影響が指摘されている（特許文献1参照）。遅延光学部に用いるステージが振動すると、励起光の光軸が揺れる。この結果、前記光伝導素子の微小間隙に照射される単位面積あたりの光量に変化し、信号のS/N比の悪化を招くことが予想される。

【先行技術文献】

50

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2008-014815号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記の如き遅延光学部のステージとしては、数10mmの移動を行う直動ステージを用いることがある。そして、直動ステージとして、ステッピングモータと精密ボールネジを組み合わせ、テーブルを移動するものが使用される場合がある。この様なステージでは、テーブルを機械的に移動するため、例えば、ボールネジのネジピッチ等の形状に応じて、テーブルの面がステージの設置基準面に対して変動することが起こり得る。また、雰囲気などの設置環境により、遅延光学部を支持する筐体や部材が歪むことや、場所固有の外部振動を拾うことにより、テーブルの面がステージの設置基準面に対して変動することも起こり得る。また、遅延光学部を支持する筐体や部材が光学的に歪む場合も、テーブルの面がステージの設置基準面に対して変動することも起こり得る。テーブルの移動によって、この変動が周期的な振動として現れる場合、励起光の光軸も周期的に揺れ、テラヘルツ波の時間波形に周期的な信号成分が重畳する。この様な時間波形をフーリエ変換すると、図2(d)に示す様に、検出部が検出したテラヘルツ波のスペクトル(919)と共に、遅延光学部の振動による偽スペクトル(920)が現れる。例えば、テラヘルツ波の時間波形に数100Hzの振動成分が重畳すると、4THzから6THz付近に偽スペクトルが現れ、測定装置の測定帯域を制限し、分析性能を低下させる要因となる。

10

20

【課題を解決するための手段】

【0007】

前記課題に鑑み、本発明のテラヘルツ波の時間波形を取得するための方法は、テラヘルツ波を発生させるための発生部と、該テラヘルツ波を検出するための検出部と、該発生部と該検出部とにそれぞれ照射される励起光の光路長差を変えるための第1の遅延部と、励起光を該発生部と該検出部とにそれぞれ到達させるまでの時間差を変えるための第2の遅延部と、を有する装置において、該第2の遅延部における第1の光路長差で、前記第1の遅延部を用いて第1の時間波形を取得するステップと、前記第2の遅延部を用いて、前記第1の光路長差を該第1の光路長差とは異なる第2の光路長差に変えるステップと、前記第2の光路長差で、前記第1の遅延部を用いて第2の時間波形を取得するステップと、前記取得された第1及び第2の時間波形を、前記第1及び第2の光路長差をそれぞれから予め定められた光路長差に合わせることで変換して、新たな第1及び第2の時間波形を取得するステップと、前記予め定められた光路長差に合わせることで取得された第1及び第2の時間波形を加算平均するステップと、を含むことを特徴とする。

30

【0008】

また、前記課題に鑑み、本発明のテラヘルツ波の時間波形を取得するための装置は、テラヘルツ波を発生させるための発生部と、前記発生部から発生されたテラヘルツ波を検出するための検出部と、前記発生部と前記検出部とにそれぞれ照射される励起光の光路長差を変えるための第1の遅延部と、励起光を前記発生部と前記検出部とにそれぞれ到達させるまでの時間差を変えるための第2の遅延部と、前記第2の遅延部における第1及び第2の光路長差それぞれで、前記第1の遅延部を用いて第1及び第2の時間波形を取得するための処理部と、を有し、前記処理部は、前記取得された第1及び第2の時間波形を、前記第1及び第2の光路長差をそれぞれから予め定められた光路長差に合わせることで変換して、新たな第1及び第2

40

50

の時間波形を取得し、前記予め定められた光路長差に合わせることで取得された第 1 及び第 2 の時間波形を加算平均することを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、測定した複数のテラヘルツ波時間波形を、第 2 の遅延部における複数の光路長差をそれぞれから予め定められた光路長差に合わせることで変換して、新たな第 1 及び第 2 の時間波形を取得し、予め定められた光路長差に合わせることで取得された複数の時間波形を加算平均する。こうして、テラヘルツ波の時間波形に重畳する装置由来の振動について、この振動による周波数成分の位相を変化させて測定を行っている。そして、これらの時間波形を加算平均することで、こうした振動が時間波形に与える影響を抑制している。この結果、例えば、第 1 の遅延部の周期的な振動由来の偽スペクトルを抑制できるので、測定帯域が広がり、分析性能を向上することが可能となる。

10

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図 1】本発明によるテラヘルツ波測定装置及び方法の一実施形態の概略構成、及び第 1 の遅延部と第 2 の遅延部の動作を説明する図。

【図 2】テラヘルツ波の時間波形を処理する本発明における工程例、及び従来技術における遅延光学部の振動による偽スペクトルを説明する図。

【図 3】本発明の実施例 1 におけるテラヘルツ波測定装置及び方法の動作フローを説明する図。

20

【図 4】本発明の実施例 2 におけるテラヘルツ波測定装置及び方法の動作フローを説明する図。

【図 5】本発明の実施例 3 におけるテラヘルツ波測定装置及び方法の動作フローを説明する図。

【図 6】第 1 の遅延部と第 2 の遅延部の配置の他の例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本発明の実施形態を説明する。本発明のテラヘルツ波の時間波形を取得するための装置及び方法において重要なことは、次の点である。測定した複数のテラヘルツ波時間波形を、第 2 の遅延部における複数の光路長差それぞれから予め定められた光路長差に合わせ、予め定められた光路長差に合わせられた複数の時間波形を加算平均することである。すなわち、測定した複数のテラヘルツ波時間波形を、第 2 の遅延部における複数の光路長差をそれぞれから予め定められた光路長差に合わせることで変換して、新たな複数の時間波形を取得し、予め定められた光路長差に合わせることで取得された複数の時間波形を加算平均することである。

30

【0012】

前記考え方に基づき、テラヘルツ波の時間波形を取得するための本発明の技術の基本的な実施形態は、上述した様な構成を有する。より具体的には、本発明の方法は、第 1 の遅延部を備える装置において、テラヘルツ波の時間波形を取得するための方法であって、次の第 1 から第 5 のステップを含む。ここで、第 1 の遅延部は、テラヘルツ波を発生する発生部と検出する検出部とに夫々到達する励起光の時間差を、励起光が伝播する光路長差により調整する。第 1 のステップでは、前記光路長差を第 1 の光路長差（第 1 の値）に設定した第 1 の状態で、第 1 の遅延部の移動を用いて第 1 の時間波形を測定する。第 2 のステップでは、前記第 1 の状態から、前記光路長差を第 1 の値とは異なる第 2 の光路長差（第 2 の値）に設定した第 2 の状態に移す。第 3 のステップでは、前記第 2 の状態で、第 1 の遅延部の移動を用いて第 2 の時間波形を測定する。第 4 のステップでは、前記第 1 及び第 2 のテラヘルツ波時間波形を構成するデータ列について、前記光路長差が基準の値である基準の状態における第 1 の遅延部の予め定められた位置からのデータ列に変換する。すなわち、前記光路長差を変えるための第 2 の遅延部における複数の光路長差それぞれから予め定められた光路長差に合わせる。第 5 のステップでは、前記第 4 のステップを経た時間波

40

50

形について加算平均を行う。また、テラヘルツ波の時間波形を取得するための本発明の装置は、第1の遅延部と第2の遅延部と処理部を有する。第1の遅延部は、所定の移動を行うことで、テラヘルツ波を発生する発生部とテラヘルツ波を検出する検出部とに夫々到達する励起光の時間差を、励起光が伝播する光路長差の変化により変化させる。第2の遅延部は、第1の遅延部が前記所定の移動を行うところの状態における前記光路長差を調整する。処理部は、第2の遅延部により前記光路長差が夫々異なる値に調整された複数の状態において第1の遅延部が前記所定の移動を行うことで測定される複数の時間波形を加算平均する。また、処理部は、前記複数の時間波形のデータ列について、前記光路長差が基準の値である基準の状態における第1の遅延部の予め定められた位置からのデータ列に変換し、変換したデータ列について加算平均を行う。

10

【0013】

前記基本的な実施形態に基づいて、次に述べる様なより具体的な実施形態が可能である。前記第1の遅延部が所定の移動を行う状態において、前記光路長差は第2の遅延部によって設定することができる。また、テラヘルツ波取得技術を用いて、発生部からのテラヘルツ波を検体に照射し検体を透過或いは検体で反射したテラヘルツ波を検出部で検出して、前記第1の遅延部の移動に由来する実時間における予め定めた周波数成分の信号を抑制した状態で検体の情報を取得することができる。

【0014】

前記第1の遅延部は、時間波形測定毎に、時間波形測定のためにホームポジションである所定の出発位置から所定の移動を行うものである。これは、機械的な移動をする可動部を含むものである。後述する例の如く、可動部が折り返しミラーの様な光学系である場合は第1の遅延光学部と称する。前記第2の遅延部は、時間波形測定毎に、第1の遅延部の前記所定の移動の前記所定の出発位置における励起光の光路長差を調整するものである。故に、前記所定の移動の各位置において、第1の遅延部による光路長差はこの調整前のものからこの調整量だけずれる。第2の遅延部は、機械的な移動をする可動部を含むものであっても、励起光が伝搬する光路中の時定数（屈折率）を電気光学結晶の電氣的制御などで変化させるものなどであってもよい。要するに、第2の遅延部は、第1の遅延部の出発位置における励起光の光路長差を調整できるものであれば、どの様なものでもよい。第2の遅延部についても、後述する例の如く、可動部を備え、この可動部が折り返しミラーの様な光学系である場合は第2の遅延光学部と称する。光路長差を第1の値に設定した第1の状態や第2の値に設定した第2の状態などの「状態」について、可動部を含む第2の遅延部の当該可動部の位置の移動で光路長差の調整を行う場合は、後述する例の如く、第1の位置や第2の位置などと「位置」と称する。第2の遅延部の調整量は、後述する例における測定位置出力部などにより定めることができる。この調整量は、第1の遅延部の移動に由来する実時間における予め定めた周波数成分の信号を効果的に抑制するという観点から、前記予め定められた位置における光路長差の値を含む $V \cdot T$ の光路長差の調整範囲にあるのが好ましい。ここで、 V は、第1の遅延部の移動の動作速度、 T は、第1の遅延部の移動に由来する実時間における予め定めた周波数成分の周期である。

20

30

【0015】

次に、本発明の思想を実施し得る形態について、図面を参照して説明する。図1に示すテラヘルツ波測定装置の実施形態は、THz-TDS装置の基本構成を踏襲しており、時間領域でテラヘルツ波の時間波形を測定するものである。テラヘルツ波の時間波形を測定する部分は、発生部（101）、検出部（102）、第1の遅延光学部（103）、処理部（106）、バイアス印加部（107）、電流検出部（108）、レーザ源（109）を含む。本実施形態では、第1の遅延光学部（103）に由来する周期的な振動成分を抑制するために、この基本構成に加え、第2の遅延光学部（104）と測定位置出力部（105）を備える。

40

【0016】

発生部（101）は、テラヘルツ波を発生する部分である。発生部（101）では、瞬時電流を利用する手法やキャリアのバンド間遷移を利用する手法を用いることができる。前

50

者の手法としては、半導体や有機結晶の表面にレーザ光を照射してテラヘルツ波を発生する手法や、半導体薄膜上に金属電極でアンテナパターンを形成した光伝導素子に電界を印加してレーザ光を照射する方法などが適用できる。また、PINダイオードが適用できる。利得構造を利用する手法としては、半導体量子井戸構造を用いる手法が適用できる。本実施形態では、光伝導素子を用いる。検出部(102)は、テラヘルツ波の電界強度を検出する部分である。検出部(102)では、光伝導による電界強度に対応した電流を検出する手法、電気光学効果を用いて電場を検出する手法、磁気光学効果を用いて磁場を検出する手法などを用いることができる。光伝導による電流を検出する手法としては、光伝導素子が適用できる。電気光学効果を用いて電場を検出する手法としては、直交偏光子と電気光学結晶を使った手法が適用できる。磁気光学効果を用いて磁場を検出する手法としては、直交偏光子と磁気光学結晶を使った手法が適用できる。検出部(102)に入射するテラヘルツ波は、検出部(102)に焦点を結ぶことで、単位面積あたりの強度を増やし、検出感度を高められる。本実施形態では、光伝導素子を用いる。

10

【0017】

レーザ源(109)は、超短パルスレーザを出力する部分である。発生部(101)と検出部(102)は、この超短パルスレーザによってキャリアが励起されることで動作する。図1(a)に示す様に、超短パルスレーザは、L1とL2の二つの光路に分岐される。光路L1を通る超短パルスレーザは、発生部(101)に inputs する。光路L2を通る超短パルスレーザは、第1の遅延光学部(103)を介して検出部(102)に inputs する。

20

【0018】

第1の遅延光学部(103)は、テラヘルツ波の時間波形のうちの、検出部(102)でサンプリングする位置を調整する部分である。具体的には、例えば、発生部(101)に inputs される励起光L1に対し、検出部(102)に inputs される励起光L2のタイミングを遅延させる。この励起光L1とL2の時間差の調整法としては、励起光が伝播する光路長を直接調整する手法と実効的な光路長を調整する手法がある。前者の手法としては、折り返し光学系と可動部を用いる方法がある。後者の手法としては、励起光が伝搬する光路中の時定数を変化させる方法がある。例えば、厚みの変化する光学結晶を機械的移動機構で光路中に出し入れする方法などがある。何れの手法を用いるものであれ、第1の遅延光学部(103)は、機械的な可動部を備える。図1(a)は、1段の折り返し光学系と可動部としての直動ステージとを用いる例を示している。これに対して、後述の第2の遅延光学部(104)は、励起光L1とL2の時間差を調整できるものであれば、機械的な可動部を備えるものに限らず、どのようなものでよい。例えば、電気光学結晶に印加する電圧を変化させて、電気光学結晶を挿入した光路の時定数を変化させる様な手段を用いることもできる。

30

【0019】

バイアス印加部(107)は、発生部(101)を駆動するためのバイアスを供給する部分である。発生部(101)として光伝導素子を用いる場合、アンテナパターンを含む金属電極にバイアスを印加する。特に、電流検出部(108)がロックイン検出系を含む場合、バイアス印加部(107)が供給するバイアスをロックイン検出系の参照信号と同等の周波数で変調する方法を用いることができる。電流検出部(108)は、電流信号を測定可能な電圧信号に変換する部分である。検出部(102)として光伝導素子を用いる場合、電流検出部(108)は、検出部(102)から出力される電流信号を電圧信号に変換する。前述した様に、検出部(102)から出力される信号が微小な場合、ロックイン検出系を含むことがある。ただし、本発明においてこの電流検出部(108)は必須でなく、検出部(102)の信号に応じて、この信号を、処理部(106)が処理し易い信号に調整し得る手段に置き換えることができる。

40

【0020】

処理部(106)は、テラヘルツ波の時間波形を構築する部分である。第1の遅延光学部(103)の調整量(本実施形態では直動ステージの移動量)と電流検出部(108)の出力を参照し、時間波形を構築する。そして、処理部(106)は、複数の時間波形を加

50

算平均して信号のSN比の向上を図る。ここで、周波数スペクトルを求める場合、この時間波形をフーリエ変換する。THz-TDS装置を分析装置として用いる場合は、図1(a)に示す様に配置されるサンプルにテラヘルツ波を照射したときの時間波形の変化を求める。また、処理部(106)は、照射されるテラヘルツ波とサンプルとの相対的な位置をモニタすることで、サンプルを可視化することができる。以上の構成は、THz-TDS装置として知られる一般的な構成である。

【0021】

図1(a)に示す如く、本発明の実施形態では、第1の遅延光学部(103)由来の振動成分を抑制するための構成として、第2の遅延光学部(104)と測定位置出力部(105)を備える。本明細書では、この振動成分をテラヘルツ波時間波形における所定の周波数成分とも表現する。

10

【0022】

第2の遅延光学部(104)は、テラヘルツ波の時間波形を測定する位置を定める部分である。第1の遅延光学部(103)と同じく、第2の遅延光学部(104)は、励起光L1とL2が発生部(101)と検出部(102)に到達する時間差を調整する。詳細には、第1の遅延光学部(103)がテラヘルツ波時間波形のサンプリングの点を調整するのに対し、第2の遅延光学部(104)は、時間波形の測定毎に、第1の遅延光学部(103)で決められる各サンプリングの位置を僅かに変化させる。詳細な動作については後述する。測定位置出力部(105)は、第2の遅延光学部(104)の移動量を調整してこの移動量を処理部(106)に出力する部分である。本装置は、テラヘルツ波を繰り返し測定し、これらのテラヘルツ波の時間波形を加算平均するものであるが、測定位置出力部(105)は、テラヘルツ波の測定毎に、第2の遅延光学部(104)の移動量を調整する。

20

【0023】

次に、本実施形態の装置の動作を説明する。本装置は、テラヘルツ波の時間波形の測定を複数回行い、これらの時間波形を加算平均する装置である。図1(a)において、励起光L1の照射によって発生部(101)はテラヘルツ波(T1)を発生する。テラヘルツ波の伝播経路中にサンプルがある場合、テラヘルツ波(T1)は、サンプルによる吸収や散乱の影響を含んだテラヘルツ波(T2)になり、検出部(102)に入射する。検出部(102)に入射されるテラヘルツ波(T2)は、第1の遅延光学部(103)を経た励起光(L2)によってサンプリング計測される。サンプリングされる点は、第1の遅延光学部(103)で励起光L1とL2が伝播する光路長差を変化させることによって調整される。サンプリングされる点の信号は、電流検出部(108)を経て処理部(106)に送られ、第1の遅延光学部(103)の調整量と共にプロットされ、時間波形を構築する。ここまでの動作は、一般的なTHz-TDS装置の動作である。本実施形態の装置は、この時間波形を複数回測定する間に、第2の遅延光学部(104)を調整して、所定の周波数成分の信号(第1の遅延光学部(103)由来の励起光の振動)を抑制している。この部分の動作を以下に説明する。

30

【0024】

図1(b)に示す様に、第2の遅延光学部(104)は第1の遅延光学部(103)を構成するステージ上に設置され、第2の遅延光学部(104)上に、第1の遅延光学部(103)を構成する折り返しミラーが設置されている。図1(a)の処理部(106)は、第2の遅延光学部(104)と第1の遅延光学部(103)との位置を決めて図1(b)の基準の位置A(210)を定める。位置A(210)は、例えば、時間波形のピークが生じる位置であり、最終的に、処理部(106)はこの位置A(210)におけるテラヘルツ波の時間波形を提供する。測定位置出力部(105)は、測定毎に第2の遅延光学部(104)を調整することで、位置A(210)を含む範囲において、測定する位置を変化させる。例えば、図1(b)によると、測定回数がn-1の時、第2の遅延光学部(104)は第1の遅延光学部(103)を構成する折り返しミラーを第1の位置(211)に調整する。そして、この状態で、第1の遅延光学部(103)を用いて第1のテラヘル

40

50

ツ波の時間波形(214)を取得する。また、測定回数がnの時、第2の遅延光学部(104)は折り返しミラーを第1の位置(211)とは異なる第2の位置(212)に調整する。そして、この状態で、第1の遅延光学部(103)を用いて第2のテラヘルツ波の時間波形(215)を取得する。

【0025】

この時、第1のテラヘルツ波時間波形(214)と第2のテラヘルツ波時間波形(215)を比較すると、テラヘルツ波パルスのピークが生じる位置は異なるが、第1の遅延光学系(103)に由来する振動成分の信号の位相は殆ど変化がない。これは、振動成分の信号が第1の遅延光学部(103)に由来するものであるため、第1の遅延光学部(103)のステージの駆動開始位置や駆動速度(即ち、測定毎の第1の遅延光学部(103)の振動態様)を変化させない限り固定されるためである。図1(b)では、説明の都合上、この所定の周波数成分の信号をテラヘルツ波パルスと独立して表現しているが、実際には、テラヘルツ波の時間波形全体に対して重畳している。

【0026】

テラヘルツ波の時間波形の測定毎に、例えば、第1の遅延光学部(103)を10mm/s程度の速度Vで動かす場合、ボールネジの形状等を勘案すると、第1の遅延光学部(103)は数kHzの周波数で振動することが多い。この時、テラヘルツ波の時間波形について、第1の遅延光学部(103)が数μmから数10μm移動する毎にサンプリングを行うとすると、サンプリング周波数が振動成分の周波数よりも小さくなる。具体的には、エイリアシング(Aliasing)の影響で振動成分は数100Hzの信号に変換される。この数100Hzの振動成分の信号は、テラヘルツ波の時間波形に換算すると5THz程度の周波数成分となる。典型的には、図2(d)に示す様に、遅延光学部の振動による偽スペクトル(920)となる。本明細書では、テラヘルツ波の時間波形に換算される前の信号成分(時間軸が第1の遅延光学部(103)の移動速度で定義される信号成分)を実時間における信号成分とする。この実時間における周波数成分の周期をTとする時、第2の遅延光学部(104)による光路長差の調整範囲(213)は $V \cdot T$ とするのが好ましい。図1(b)では、1段の折り返し光学系を用いているため、第2の遅延光学部(104)は、 $(1/2) \cdot V \cdot T$ の範囲で動かす。

【0027】

上述したテラヘルツ波の時間波形を処理する工程を説明する。測定毎に第2の遅延光学部(104)で測定する位置を変化させると、処理部(106)では、図2(a)の様に、パルスのピーク位置が異なる時間波形が構築される。処理部(106)では、これらの時間波形を加算平均するために、パルスのピーク位置を位置A(210)に調整する。具体的には、テラヘルツ波時間波形を構成するデータ列について、パルスのピーク位置が位置A(210)となる様にデータ列を構成する時間軸を移動する。図2(b)は、このデータ列の変換ステップを経た後の各時間波形を示す。図2(b)によると、この変換ステップを経た時間波形は、パルスのピーク位置が位置Aとなるが、第1の遅延光学部(103)に由来する振動成分の位相は異なっている。この様に、振動成分の位相は異なっているため、これらの波形を加算平均すると、図2(c)の様に、振動成分が重畳した従来の時間波形(317)とは異なり、所定の周波数成分を抑制した時間波形(318)を取得できる。

【0028】

第2の遅延光学部(104)によって調整される光路長差の調整範囲(213)を $V \cdot T$ にすると、振動成分の位相変化を1波長以内にすることができる。よって、振動の繰り返しの影響(例えば、1つ目と2つ目の振動波形について相対的に同じ位置となること)を防止することができる。そのため、加算平均する際の振動成分の抑制をより効率的に行うことができる。すなわち、単位測定時間あたりの周期的な振動成分の抑制効果を向上することが可能となる。

【0029】

また、位置A(210)に対し、第1の位置(211)と第2の位置(212)を擬似ラ

10

20

30

40

50

ンダムに設定してもよい。この時、各テラヘルツ波の時間波形を加算平均する際、変換ステップを経た振動成分の位相の相関性が小さい（例えば、ほぼ0）ため、所定の周波数成分の抑制効果が高まる。本実施形態では、位置A（210）は、光路長差の調整範囲（213）の中心付近に設定しているが、これに限るものではなく、例えば、光路長差の調整範囲（213）の境界にあってもよい。

【0030】

また、本実施形態では、第2の遅延光学部（104）は第1の遅延光学部（103）の上に設置されているが、これに限らない。例えば、図6（a）の様に、励起光L2の伝播光路に第1の遅延光学部（103）と第2の遅延光学部（104）が個々別個に配置されていてもよい。この場合、励起光L1の伝播光路に個々に配置されてもよい。また、図6（b）の様に、励起光L1とL2の伝播光路に夫々分離して配置される構成も可能である。この様な構成を取ることで、装置形態や設置環境に応じて柔軟に対応することができる。

10

【0031】

以上の様な構成によって、本実施形態のテラヘルツ波測定装置は、第1の遅延光学部（103）の形状に由来する周期的な振動成分を抑制することができる。そのため、周期的な振動由来の偽スペクトルを抑制できるので、測定装置の測定帯域が広がり、分析性能を向上することが可能となる。

【0032】

以下、図を用いて、動作フローなどに特徴を持つ実施例を説明する。

（実施例1）

20

図3は、実施例1におけるテラヘルツ波測定装置の動作フローを示す。本実施例の基本的構成は前記実施形態と共通するので、その部分の説明は省略する。図3において、テラヘルツ波測定装置が測定を開始すると、処理部（106）は、位置A（210）を決定する（S401）。第1の遅延光学部（103）は位置A（210）に移動され、第1の遅延光学部（103）は、この時の位置データを記憶部に格納する。より具体的には、第2の遅延光学部（104）の位置は固定され、第1の遅延光学部の位置が位置Aに移動される。この後、第2の遅延光学部（104）は、時間波形の測定毎に、位置Aを基準として移動される。記憶部には、位置Aの時の各遅延光学部の位置が記憶される。記憶部は処理部（106）の内部に備えられていてもよいし、外部に備えられていてもよい。

【0033】

30

次に、測定位置出力部（105）が、第2の遅延光学部（104）を第1の位置（211）に移動する（S402）。測定位置出力部（105）は、この時の測定位置出力部（105）の位置データを記憶部に格納する。第2の遅延光学部（104）の可動範囲は光路長差の調整範囲（213）内である。

【0034】

テラヘルツ波測定装置は、この状態で、第1の遅延光学部（103）によってサンプリング点を移動し、第1のテラヘルツ波時間波形（214）を取得する（S403）。これは、従来のテラヘルツ波測定装置と同じ動作である。取得された波形データは、第1の遅延光学部（103）の位置と電流検出部（108）の強度信号の配列である。この位置データは、テラヘルツ波領域のサンプリングの時間間隔に相当する。そのため、位置のデータ列は、テラヘルツ波領域の時間のデータ列に変換してもよい。この第1のテラヘルツ波時間波形（214）の波形データは記憶部に格納される。

40

【0035】

処理部（106）は記憶部を参照し、波形データを構成する位置データ列を、位置A（210）における位置データ列に変換する（S408）。具体的には、位置A（210）と第1の位置（211）のデータを記憶部より参照し、位置A（210）と第1の位置（211）の差分を求める。そして、波形データの位置データ列について、この差分の値で補正する。位置データ列が時間データ列の場合、位置データ列は、差分の値を時間に換算して補正される。変換された波形データは、再び記憶部に格納される。

【0036】

50

次に、測定位置出力部（１０５）は、第２の遅延光学部（１０４）を第２の位置（２１２）に移動する（Ｓ４０４）。測定位置出力部（１０５）は、この時の第２の遅延光学部（１０４）の位置データを記憶部に格納する。ここでも、前記第１の位置（２１１）におけるステップと同様なステップが実行される（Ｓ４０５、Ｓ４０８）。こうして、第２のテラヘルツ波時間波形（２１５）について、変換された波形データが記憶部に格納される。

【００３７】

続いて、テラヘルツ波測定装置は時間波形の取得回数をモニタし、測定回数が所定回数に達したかを判断する（Ｓ４０６）。測定回数が所定回数に満たない場合、第２の位置（２１２）を第１の位置（２１１）に再定義し、（Ｓ４０４）から（Ｓ４０５）の工程を実行する（Ｓ４０７）。測定回数が所定回数に達した場合、処理部（１０６）は記憶部に格納された複数の波形データを参照し、測定回数によって加算平均を行う（Ｓ４０９）。この工程は、（Ｓ４０６）の工程の判断を待たず、波形データが記憶部に格納される度に逐次行う形態にしてもよい。加算平均した波形データは、作業者の望むデータ形式に処理され、提示される（Ｓ４１０）。テラヘルツ波測定装置は、これら一連の工程が終了したら、測定を終了する。

10

【００３８】

本実施例のこのような工程によっても、前記実施形態の説明のところで述べたものと同様な効果が奏される。

【００３９】

（実施例２）

20

実施例２は、実施例１に示した動作フローの変形例に係る。具体的には、実施例１とは、テラヘルツ波測定装置の測定終了を判断する基準が異なる。ここでも、これまでの説明と共通する部分の説明は省略する。図４は、本実施例におけるテラヘルツ波測定装置の動作フローを示す。テラヘルツ波測定装置が測定を開始すると、処理部（１０６）は、位置Ａ（２１０）を決定する（Ｓ４０１）。ここでの第１の遅延光学部（１０３）の位置と第２の遅延光学部（１０４）の位置との情報は記憶しておく。次に、測定位置出力部（１０５）は、第２の遅延光学部（１０４）を第１の位置（２１１）に移動する（Ｓ４０２）。この状態において、テラヘルツ波測定装置は、第１の遅延光学部（１０３）の所定の移動によってサンプリング点を移動し、第１のテラヘルツ波時間波形（２１４）を取得する（Ｓ４０３）。次に、処理部（１０６）は記憶部に記憶されている前記情報を参照し、波形データを構成する位置データ列を、位置Ａ（２１０）における位置データ列に変換する（Ｓ４０８）。続いて、測定位置出力部（１０５）は、第２の遅延光学部（１０４）を第２の位置（２１２）に移動する（Ｓ４０４）。この状態で、テラヘルツ波測定装置は、第１の遅延光学部（１０３）の所定の移動によってサンプリング点を移動し、第２のテラヘルツ波時間波形（２１５）を取得する（Ｓ４０５）。ここでも、処理部（１０６）は記憶部の情報を参照し、波形データを構成する位置データ列を、位置Ａ（２１０）における位置データ列に変換する（Ｓ４０８）。

30

【００４０】

本実施例では、第２のテラヘルツ波時間波形（２１５）を測定した段階で、逐次加算平均を行った（Ｓ４０９）後、テラヘルツ波測定装置は、加算平均したテラヘルツ波時間波形のSN比を求め、所望のSN比が得られたかを判断する（Ｓ５０６）。時間波形が所望のSN比に満たない場合、テラヘルツ波測定装置は、第２の位置（２１２）を第１の位置（２１１）に再定義し、（Ｓ４０４）から（Ｓ４０９）の工程を行う（Ｓ４０７）。時間波形が所望のSN比に達した場合、テラヘルツ波測定装置は、繰り返し測定を停止する。そして、加算平均した波形データは、作業者の望むデータ形式に処理され、提示される（Ｓ４１０）。テラヘルツ波測定装置は、これら一連の工程が終了したら、測定を終了する。

40

【００４１】

本実施例のこのような工程によって、テラヘルツ波測定装置は、所望のSN比に達したら測定を終了することができる。そのため、装置は、常に同じSN比の時間波形を提供できるので、複数の時間波形の比較を行う際、精度が向上する。また、所望のSN比に達したら測定を

50

終了するため、余分な測定を行うことがなく、作業効率が向上する。

【0042】

(実施例3)

実施例3は、実施例2に示した動作フローの変形例に係る。具体的には、実施例2とは、テラヘルツ波測定装置の測定終了を判断する基準が異なる。ここでも、これまでの説明と共通する部分の説明は省略する。図5は、本実施例におけるテラヘルツ波測定装置の動作フローを示す。テラヘルツ波測定装置が測定を開始すると、処理部(106)は、位置A(210)を決定する(S401)。測定位置出力部(105)は、第2の遅延光学部(104)を第1の位置(211)に移動する(S402)。テラヘルツ波測定装置は、第1の遅延光学部(103)によってサンプリング点を移動し、第1のテラヘルツ波時間波形(214)を取得する(S403)。処理部(106)は記憶部の情報を参照し、波形データを構成する位置データ列を、位置A(210)における位置データ列に変換する(S408)。測定位置出力部(105)は、第2の遅延光学部(104)を第2の位置(212)に移動する(S404)。装置は、第1の遅延光学部(103)によってサンプリング点を移動し、第2のテラヘルツ波時間波形(215)を取得する(S405)。処理部(106)は記憶部の情報を参照し、波形データを構成する位置データ列を、位置A(210)における位置データ列に変換する(S408)。

10

【0043】

本実施例では、第2のテラヘルツ波時間波形(215)を測定した段階で、逐次加算平均を行う(S409)。装置は、加算平均したテラヘルツ波時間波形のSN比を求め、所望のSN比が得られたかを判断する(S506)。更に、装置は、時間波形の取得回数をモニタし、測定回数が所定回数に達したかを判断する(S406)。時間波形のSN比が所望のSN比に満たなく、測定回数が所定回数に満たない場合、装置は、第2の位置(212)を第1の位置(211)に再定義し、(S404)から(S409)の工程を行う(S407)。

20

【0044】

時間波形が所望のSN比に達するか、測定回数が所定回数に達した場合、装置は繰り返し測定を停止する。そして、加算平均した波形データは、作業者の望むデータ形式に処理され、提示される(S410)。テラヘルツ波測定装置は、これら一連の工程が終了したら、測定を終了する。

【0045】

30

本実施例のこのような工程によって、テラヘルツ波測定装置は、何らかの理由で所望のSN比に達することが困難な場合であっても、一定時間で測定を終了することができる。本実施例によれば、終了条件を複数用意することで、汎用性が高まる。より具体的には、例えば、過剰な測定時間がかかることを防止し、測定者へのストレスを軽減することができる。また、不測の事態にも対応が容易になる。

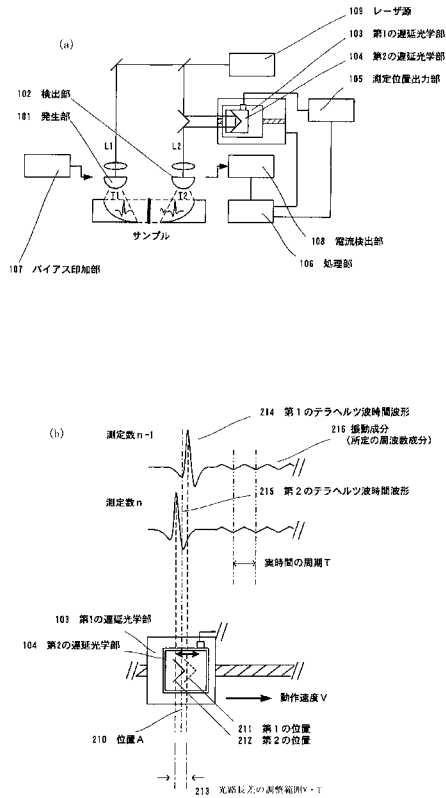
【符号の説明】

【0046】

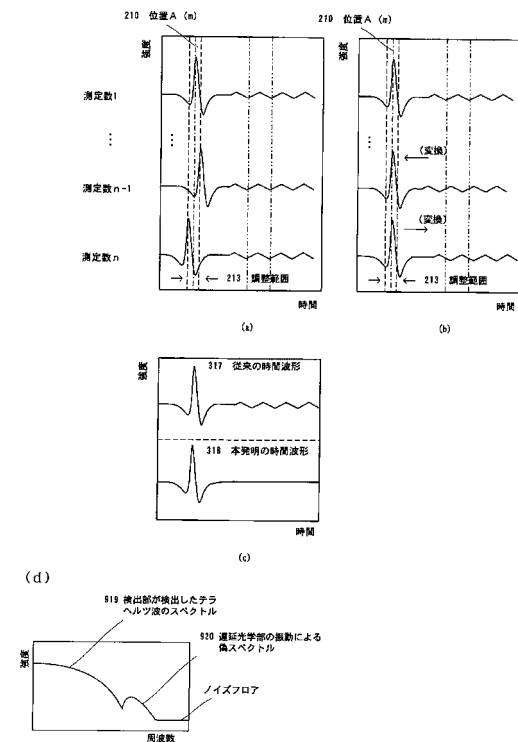
101 発生部：102 検出部：103、703、803 第1の遅延光学部(第1の遅延部)：104、704、804 第2の遅延光学部(第2の遅延部)：105 測定位置出力部：106 処理部：210 位置A(第1の遅延部の予め定められた位置、予め定められた光路長差の状態)：211 第1の位置(第1の状態)：212 第2の位置(第2の状態)：213 光路長差の調整範囲：214 第1の時間波形：215 第2の時間波形：318 本発明の時間波形：L1、L2 励起光(光路)

40

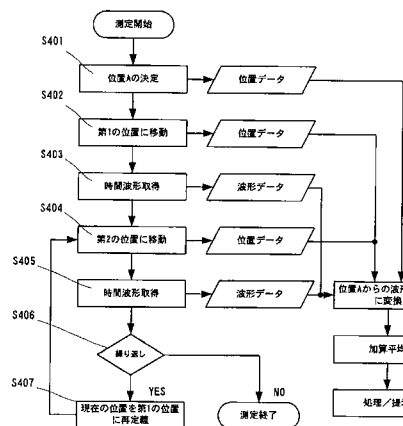
【図 1】



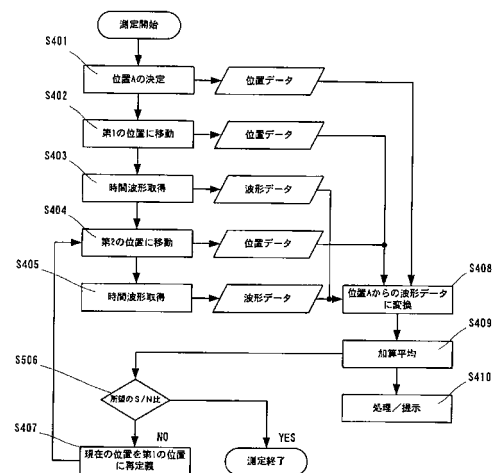
【図 2】



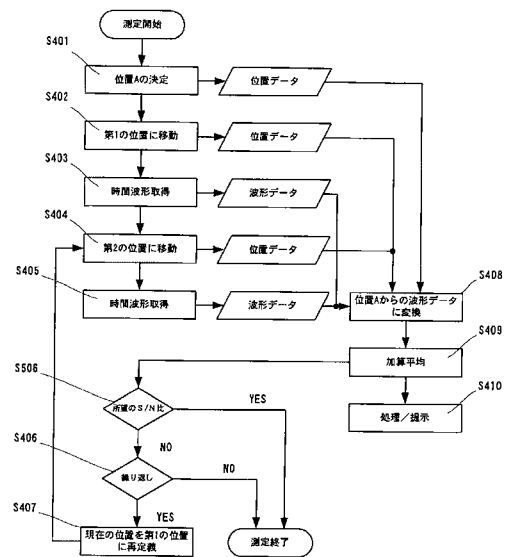
【図 3】



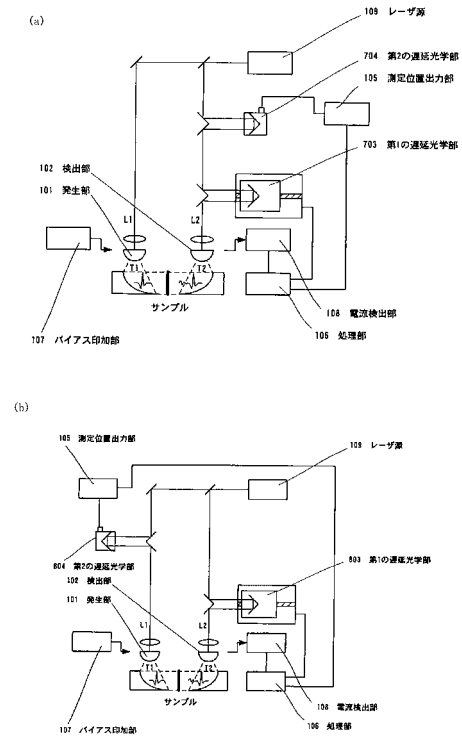
【図 4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2008-151618(JP,A)
特開2008-020268(JP,A)
特開2008-014815(JP,A)
特表2006-516722(JP,A)
福島一城、外2名、テラヘルツ時間領域分光法における時間遅延ステージ位置決め精度の影響に関する研究、精密工学会誌、日本、2007年、第73巻第1号、第140頁-第144頁
- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01N 21/00-21/74
G02B 26/00-26/08
JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)