

(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2017-142152

(P2017-142152A)

(43) 公開日 平成29年8月17日(2017.8.17)

(51) Int.Cl.

GO1N 21/3586 (2014.01)

F1

GO1N 21/3586

テーマコード(参考)

2G059

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2016-23387(P2016-23387)  
 (22) 出願日 平成28年2月10日(2016.2.10)

(71) 出願人 000002369  
 セイコーエプソン株式会社  
 東京都新宿区新宿四丁目1番6号  
 (74) 代理人 100116665  
 弁理士 渡辺 和昭  
 (74) 代理人 100164633  
 弁理士 西田 圭介  
 (74) 代理人 100179475  
 弁理士 仲井 智至  
 (72) 発明者 岡本 純一  
 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内  
 Fターム(参考) 2G059 AA01 EE01 EE12 FF04 GG01  
 GG08 HH01 JJ11 JJ13 JJ14  
 JJ19 JJ20 KK01 LL01

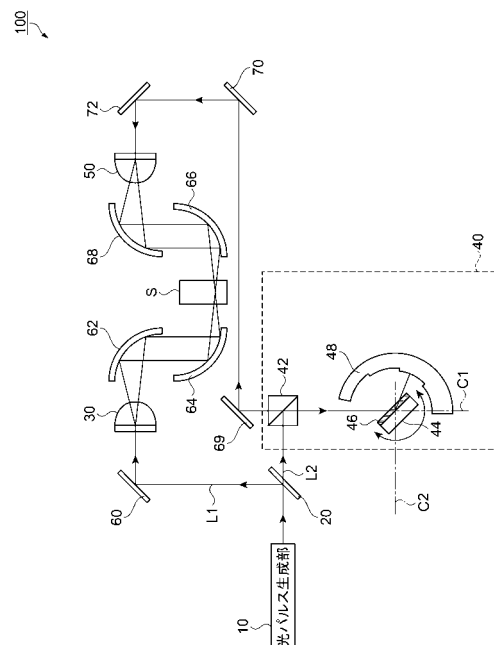
(54) 【発明の名称】 計測装置

(57) 【要約】

【課題】測定時間を短縮することができる計測装置を提供する。

【解決手段】本発明の計測装置100は、光パルスを生成可能な光パルス生成部10と、光パルス生成部10にて生成された光パルスを第1の光パルスとしてのポンプ光L1と第2の光パルスとしてのプローブ光L2に分岐する光パルス分岐部20と、ポンプ光L1が照射されてテラヘルツ波を生成するテラヘルツ波発生部30と、測定対象の試料Sに照射されて透過又は反射したテラヘルツ波とプローブ光L2が照射されるテラヘルツ波検出部50と、光パルス分岐部20からテラヘルツ波検出部50までのプローブ光L2の光路長が変化するように構成される遅延光学系40と、を備え、遅延光学系40は、プローブ光L2と交差する方向を回転軸とする回転ミラー44と、回転ミラー44で反射したプローブ光L2の光路長を異ならせる複数の厚みを有する遅延部48と、を含む。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

光パルスを生成可能な光パルス生成部と、  
前記光パルス生成部にて生成された光パルスを第 1 の光パルスと第 2 の光パルスに分岐する光パルス分岐部と、  
前記第 1 の光パルスが照射されてテラヘルツ波を生成するテラヘルツ波発生部と、  
測定対象の試料に照射されて透過又は反射した前記テラヘルツ波と前記第 2 の光パルスが照射されるテラヘルツ波検出部と、  
前記光パルス分岐部から前記テラヘルツ波検出部までの前記第 2 の光パルスの光路長が変化するように構成される遅延光学系と、  
を備え、  
前記遅延光学系は、前記第 2 の光パルスと交差する方向を回転軸とする回転ミラーと、前記回転ミラーで反射した前記第 2 の光パルスの光路長を異ならせる複数の厚みを有する遅延部と、を含む、ことを特徴とする計測装置。

10

**【請求項 2】**

前記遅延光学系は、前記第 2 の光パルスを反射又は透過する偏光ビームスプリッターと、前記第 2 の光パルスが通過し、前記第 2 の光パルスに位相差を生じさせる位相差板と、を含み、  
前記遅延部は、前記第 2 の光パルスを反射することを特徴とする請求項 1 に記載の計測装置。

20

**【請求項 3】**

前記位相差板は、前記回転ミラーに備えられていることを特徴とする請求項 2 に記載の計測装置。

**【請求項 4】**

前記位相差板は、前記遅延部に備えられていることを特徴とする請求項 2 に記載の計測装置。

**【請求項 5】**

前記遅延部は、一部が開口する円筒状であり、円筒の中心が前記回転ミラーの回転軸と一致していることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項に記載の計測装置。

**【請求項 6】**

前記遅延光学系は、前記回転ミラーと前記遅延部との間に、前記回転ミラーで反射した前記第 2 の光パルスを平行光とするコリメータレンズを含む、ことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項に記載の計測装置。

30

**【請求項 7】**

前記遅延光学系は、前記回転ミラーで反射した前記第 2 の光パルスを平行光とするコリメータレンズを含み、前記コリメータレンズと前記遅延部との間に、前記位相差板を備えていることを特徴とする請求項 2 に記載の計測装置。

**【請求項 8】**

前記遅延部は、前記第 2 の光パルスを透過する透過部材と、前記透過部材の平坦部に設けられた反射膜と、を含む、ことを特徴とする請求項 6 に記載の計測装置。

40

**【請求項 9】**

前記遅延光学系は、前記回転ミラーで反射した前記第 2 の光パルスの軸をずらす楕円ミラーを含む、ことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 4 のいずれか一項に記載の計測装置。

**【請求項 10】**

前記遅延光学系は、前記回転ミラーで反射した前記第 2 の光パルスを平行光とするコリメータレンズと、前記コリメータレンズを通過した前記第 2 の光パルスを集光する集光レンズと、を含み、

前記コリメータレンズと前記集光レンズとの間に前記遅延部を配置し、

前記遅延部は、前記第 2 の光パルスを透過する透過部材であることを特徴とする請求項 1 に記載の計測装置。

50

**【請求項 1 1】**

前記遅延光学系は、前記回転ミラーで反射した前記第 2 の光パルスの軸をずらす 2 つの楕円ミラーを含み、

2 つの前記楕円ミラーの間に、前記遅延部を配置し、

前記遅延部は、前記第 2 の光パルスを透過する透過部材であることを特徴とする請求項 1 に記載の計測装置。

**【請求項 1 2】**

前記遅延光学系は、2 つの前記回転ミラーと、

2 つの前記回転ミラーの間に、前記回転ミラーで反射した前記第 2 の光パルスを平行光とするコリメータレンズと、前記遅延部と、前記コリメータレンズを通過した前記第 2 の光パルスを集光する集光レンズと、を含み、

前記コリメータレンズと前記集光レンズとの間に前記遅延部を配置し、

前記遅延部は、前記第 2 の光パルスを透過する透過部材であることを特徴とする請求項 1 に記載の計測装置。

**【請求項 1 3】**

前記遅延部は、前記第 2 の光パルスが交差する面に、反射防止膜が設けられていることを特徴とする請求項 1 2 に記載の計測装置。

**【請求項 1 4】**

前記遅延光学系は、2 つの前記回転ミラーと、

前記回転ミラーで反射した前記第 2 の光パルスの軸をずらす 2 つの楕円ミラーと、を含み、

2 つの前記楕円ミラーの間に前記遅延部を配置し、

前記遅延部は、前記第 2 の光パルスを透過する透過部材であることを特徴とする請求項 1 に記載の計測装置。

**【請求項 1 5】**

2 つの前記回転ミラーは、同期していることを特徴とする請求項 1 2 乃至請求項 1 4 のいずれか一項に記載の計測装置。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、計測装置に関する。

**【背景技術】****【0002】**

近年、100GHz 以上 30THz 以下の周波数を有する電磁波であるテラヘルツ波が注目されている。テラヘルツ波は、例えば、イメージング、分光計測等の各種計測、非破壊検査等に用いることができる。

**【0003】**

例えば、テラヘルツ波を用いた計測装置として、テラヘルツ時間領域分光法 (THz - Time Domain Spectroscopy、THz - TDS) を用いた計測装置が知られている。例えば、特許文献 1 に開示された THz - TDS を用いた計測装置では、まず、フェムト秒レーザーから出射された光パルスは、ビームスプリッターで 2 つの経路に分けられる。一方の光パルス (ポンプ光) は、LT - GaAs 上にアンテナを形成した光伝導素子に照射され、テラヘルツ波を発生させる。発生したテラヘルツ波は対象物体に照射され、対象物体を透過したテラヘルツ波は検出用の光伝導素子に入射する。他方の光パルス (プローブ光) は、遅延手段を経て、検出用の光伝導素子に照射される。この他方の光パルスは、検出用の光伝導素子において対象物体を透過したテラヘルツ波を検出するときのゲート信号として用いられる。

**【0004】**

このような THz - TDS を用いた計測装置において、対象物体をイメージングする際には、対象物体を透過したテラヘルツ波の時間波形が必要となる。時間波形の取得には、

10

20

30

40

50

検出用の光伝導素子に入射するテラヘルツ波と光パルス（プローブ光）とに少しずつ異なる時間差をつける必要がある。例えば、特許文献1の計測装置では、ミラーをプローブ光の進行方向に沿って機械的に移動させる遅延手段を用いることで、プローブ光の光路長を可変にしてテラヘルツ波と光パルス（プローブ光）との間に時間差をつけている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2010-156664号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0006】

しかしながら、特許文献1の計測装置では、上述したように、ミラーを機械的に移動させてプローブ光の光路長を変化させる。しかし、ミラーをプローブ光の進行方向に沿って機械的に移動させることでプローブ光の光路長を変化させると時間が掛かってしまい、測定時間が長くなってしまいう問題がある。特に、THz-TDSを用いたイメージングでは、一画素ごとの測定時間が長くなるため、その影響が大きいという問題があった。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の形態又は適用例として実現することが可能である。

20

【0008】

[適用例1] 本適用例に係る計測装置は、光パルスを生成可能な光パルス生成部と、前記光パルス生成部にて生成された光パルスを第1の光パルスと第2の光パルスに分岐する光パルス分岐部と、前記第1の光パルスが照射されてテラヘルツ波を生成するテラヘルツ波発生部と、測定対象の試料に照射されて透過又は反射した前記テラヘルツ波と前記第2の光パルスが照射されるテラヘルツ波検出部と、前記光パルス分岐部から前記テラヘルツ波検出部までの前記第2の光パルスの光路長が変化するように構成される遅延光学系と、を備え、前記遅延光学系は、前記第2の光パルスと交差する方向を回転軸とする回転ミラーと、前記回転ミラーで反射した前記第2の光パルスの光路長を異ならせる複数の厚みを有する遅延部と、を含む、ことを特徴とする。

30

【0009】

本適用例によれば、回転ミラーを回転し、複数の厚みを有する遅延部に第2の光パルスを照射することにより、厚みの異なる遅延部で遅延した第2の光パルスは、回転ミラーと遅延部との距離が異なるため、第2の光パルスの光路長を変化させることができる。そのため、例えば遅延光学系がミラーを第2の光パルスの進行方向に沿って直線的に移動させて第2の光パルスの光路長を変化させる場合に比べて、ミラーを高速に回転させることができ、光路長を高速で変化させることができる。従って、このような計測装置では、測定時間の短縮を図ることができる。

【0010】

[適用例2] 上記適用例に記載の計測装置において、前記遅延光学系は、前記第2の光パルスを反射又は透過する偏光ビームスプリッターと、前記第2の光パルスが通過し、前記第2の光パルスに位相差を生じさせる位相差板と、を含み、前記遅延部は、前記第2の光パルスを反射することが好ましい。

40

【0011】

本適用例によれば、第2の光パルスが位相差板を通過することにより、位相差を生じた後に、偏光ビームスプリッターで反射した第2の光パルスの偏光成分を変化させて偏光ビームスプリッターを透過させ、テラヘルツ波検出部に入射させることができる。そのため、厚みの異なる遅延部で反射し光路長が異なる第2の光パルスをテラヘルツ波検出部に入射させることができ、対象物体を計測することができる。

【0012】

50

[ 適用例 3 ] 上記適用例に記載の計測装置において、前記位相差板は、前記回転ミラーに備えられていることが好ましい。

【 0 0 1 3 】

本適用例によれば、第 2 の光パルスが回転ミラーに備えられた位相差板を通過することにより、位相差を生じた後に、偏光ビームスプリッターで反射した第 2 の光パルスの偏光成分を変化させて偏光ビームスプリッターを透過させ、光路長の異なる第 2 の光パルスをテラヘルツ波検出部に入射させることができる。

【 0 0 1 4 】

[ 適用例 4 ] 上記適用例に記載の計測装置において、前記位相差板は、前記遅延部に備えられていることが好ましい。

【 0 0 1 5 】

本適用例によれば、第 2 の光パルスが遅延部に備えられた位相差板を通過することにより、位相差を生じた後に、偏光ビームスプリッターで反射した第 2 の光パルスの偏光成分を変化させて偏光ビームスプリッターを透過させ、光路長の異なる第 2 の光パルスをテラヘルツ波検出部に入射させることができる。

【 0 0 1 6 】

[ 適用例 5 ] 上記適用例に記載の計測装置において、前記遅延部は、一部が開口する円筒状であり、円筒の中心が前記回転ミラーの回転軸と一致していることが好ましい。

【 0 0 1 7 】

本適用例によれば、遅延部が円筒状で、円筒の中心が回転ミラーの回転軸と一致させることで、遅延光学系の小型化が図れ、遅延部で反射した第 2 の光パルスを回転ミラーにより偏光ビームスプリッター方向に正確に反射することができる。

【 0 0 1 8 】

[ 適用例 6 ] 上記適用例に記載の計測装置において、前記遅延光学系は、前記回転ミラーと前記遅延部との間に、前記回転ミラーで反射した前記第 2 の光パルスを平行光とするコリメータレンズを含む、ことが好ましい。

【 0 0 1 9 】

本適用例によれば、回転ミラーと遅延部との間に、コリメータレンズを配置することで、遅延部を階段状の形状とすることができ、遅延部の製造が容易となる。

【 0 0 2 0 】

[ 適用例 7 ] 上記適用例に記載の計測装置において、前記遅延光学系は、前記回転ミラーで反射した前記第 2 の光パルスを平行光とするコリメータレンズを含み、前記コリメータレンズと前記遅延部との間に、前記位相差板を備えていることが好ましい。

【 0 0 2 1 】

本適用例によれば、第 2 の光パルスがコリメータレンズと遅延部との間に配置された位相差板を通過することにより、位相差を生じた後に、偏光ビームスプリッターで反射した第 2 の光パルスの偏光成分を変化させて偏光ビームスプリッターを透過させ、光路長の異なる第 2 の光パルスをテラヘルツ波検出部に入射させることができる。

【 0 0 2 2 】

[ 適用例 8 ] 上記適用例に記載の計測装置において、前記遅延部は、前記第 2 の光パルスを透過する透過部材と、前記透過部材の平坦部に設けられた反射膜と、を含む、ことが好ましい。

【 0 0 2 3 】

本適用例によれば、回転ミラーで反射された第 2 の光パルスが、厚みが異なる透過部材を透過し、反射膜で反射され、再び回転ミラーに戻るまでの時間は、透過部材の厚みに比例し変化するため、第 2 の光パルスの光路長を変化させることができる。

【 0 0 2 4 】

[ 適用例 9 ] 上記適用例に記載の計測装置において、前記遅延光学系は、前記回転ミラーで反射した前記第 2 の光パルスの軸をずらす楕円ミラーを含む、ことが好ましい。

【 0 0 2 5 】

10

20

30

40

50

本適用例によれば、回転ミラーを回転して反射した第2の光パルスを楕円ミラーに照射することにより、第2の光パルスの軸をずらし、正確に遅延部へ照射することができる。そのため、第2の光パルスの光路長を変化させることができる。

【0026】

[適用例10] 上記適用例に記載の計測装置において、前記遅延光学系は、前記回転ミラーで反射した前記第2の光パルスを平行光とするコリメータレンズと、前記コリメータレンズを通過した前記第2の光パルスを集光する集光レンズと、を含み、前記コリメータレンズと前記集光レンズとの間に前記遅延部を配置し、前記遅延部は、前記第2の光パルスを透過する透過部材であることが好ましい。

【0027】

本適用例によれば、コリメータレンズを透過した第2の光パルスは、厚みの異なる遅延部を透過することで、遅延部の厚みに比例し透過時間が変化するため、光路長の変化した第2の光パルスをテラヘルツ波検出部へ入射させることができる。

【0028】

[適用例11] 上記適用例に記載の計測装置において、前記遅延光学系は、前記回転ミラーで反射した前記第2の光パルスの軸をずらす2つの楕円ミラーを含み、2つの前記楕円ミラーの間に、前記遅延部を配置し、前記遅延部は、前記第2の光パルスを透過する透過部材であることが好ましい。

【0029】

本適用例によれば、楕円ミラーで反射した第2の光パルスは、厚みの異なる遅延部を透過することで、遅延部の厚みに比例し透過時間が変化するため、光路長の変化した第2の光パルスをテラヘルツ波検出部へ入射させることができる。

【0030】

[適用例12] 上記適用例に記載の計測装置において、前記遅延光学系は、2つの前記回転ミラーと、2つの前記回転ミラーの間に、前記回転ミラーで反射した前記第2の光パルスを平行光とするコリメータレンズと、前記遅延部と、前記コリメータレンズを通過した前記第2の光パルスを集光する集光レンズと、を含み、前記コリメータレンズと前記集光レンズとの間に前記遅延部を配置し、前記遅延部は、前記第2の光パルスを透過する透過部材であることが好ましい。

【0031】

本適用例によれば、コリメータレンズを透過した第2の光パルスは、厚みの異なる遅延部を透過することで、遅延部の厚みに比例し透過時間が変化するため、光路長の変化した第2の光パルスをテラヘルツ波検出部へ入射させることができる。

【0032】

[適用例13] 上記適用例に記載の計測装置において、前記遅延部は、前記第2の光パルスが交差する面に、反射防止膜が設けられていることが好ましい。

【0033】

本適用例によれば、遅延部の第2の光パルスが交差する面に、反射防止膜が設けられているため、コリメータレンズを透過した第2の光パルスの反射ロスや遅延部を透過した第2の光パルスの反射ロスを低減することができる。

【0034】

[適用例14] 上記適用例に記載の計測装置において、前記遅延光学系は、2つの前記回転ミラーと、前記回転ミラーで反射した前記第2の光パルスの軸をずらす2つの楕円ミラーと、を含み、2つの前記楕円ミラーの間に前記遅延部を配置し、前記遅延部は、前記第2の光パルスを透過する透過部材であることが好ましい。

【0035】

本適用例によれば、楕円ミラーで反射した第2の光パルスは、厚みの異なる遅延部を透過することで、遅延部の厚みに比例し透過時間が変化するため、光路長の変化した第2の光パルスをテラヘルツ波検出部へ入射させることができる。

【0036】

10

20

30

40

50

[ 適用例 1 5 ] 上記適用例に記載の計測装置において、2つの前記回転ミラーは、同期していることが好ましい。

【 0 0 3 7 】

本適用例によれば、2つの回転ミラーが同期しているので、光路長の変化した第2の光パルスを正確にテラヘルツ波検出部へ入射させることができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 8 】

【 図 1 】 本発明の第1実施形態に係る計測装置の構成を模式的に示す図。

【 図 2 】 本実施形態に係る計測装置のテラヘルツ波発生部を模式的に示す平面図。

【 図 3 】 図1の遅延光学系の構成を模式的に示す図。

10

【 図 4 】 本実施形態に係る計測装置のテラヘルツ波検出部を模式的に示す平面図。

【 図 5 】 本実施形態に係る計測装置のテラヘルツ波時間波形の取得方法の説明図。

【 図 6 】 本発明の第2実施形態に係る計測装置の遅延光学系の構成を模式的に示す図。

【 図 7 】 本発明の第3実施形態に係る計測装置の遅延光学系の構成を模式的に示す図。

【 図 8 】 本発明の第4実施形態に係る計測装置の遅延光学系の構成を模式的に示す図。

【 図 9 】 本発明の第5実施形態に係る計測装置の遅延光学系の構成を模式的に示す図。

【 図 1 0 】 本発明の第6実施形態に係る計測装置の遅延光学系の構成を模式的に示す図。

【 図 1 1 】 本発明の第7実施形態に係る計測装置の遅延光学系の構成を模式的に示す図。

【 図 1 2 】 本発明の第8実施形態に係る計測装置の構成を模式的に示す図。

【 図 1 3 】 本発明の第9実施形態に係る計測装置の構成を模式的に示す図。

20

【 図 1 4 】 本発明の第10実施形態に係る計測装置の構成を模式的に示す図。

【 図 1 5 】 本発明の第11実施形態に係る計測装置の遅延光学系の構成を模式的に示す図

。

【 図 1 6 】 本発明の第12実施形態に係る計測装置の構成を模式的に示す図。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 3 9 】

以下、本発明の好適な実施形態について、図面を用いて詳細に説明する。なお、以下に説明する実施形態は、特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではない。また、以下で説明される構成の全てが本発明の必須構成要件であるとは限らない

。

30

【 0 0 4 0 】

< 第1実施形態 >

( 計測装置 )

先ず、本発明の第1実施形態に係る計測装置100の構成について、図面を参照しながら説明する。図1は、本実施形態に係る計測装置100の構成を模式的に示す図である。

【 0 0 4 1 】

計測装置100では、テラヘルツ時間領域分光法 ( T H z - T D S ) を用いて、計測を行う。テラヘルツ時間領域分光法とは、テラヘルツ波を試料Sに入射させ、試料Sを透過又は反射した後のテラヘルツ波の波形を時間分解計測し、その波形をフーリエ変換することにより周波数ごとの振幅と位相を得るという分光法である。ここで、テラヘルツ波とは、周波数が100GHz以上30THz以下の電磁波、特に300GHz以上10THz以下の電磁波をいう。

40

【 0 0 4 2 】

計測装置100は、図1に示すように、光パルス生成部10と、光パルス分岐部20と、テラヘルツ波発生部30と、遅延光学系40と、テラヘルツ波検出部50と、を含む。計測装置100は、さらに、ミラー60、62、64、66、68、69、70、72を含む。

【 0 0 4 3 】

光パルス生成部10は、複数の異なる波長の光パルス ( レーザー光 ) を生成することができる。光パルス生成部10は、波長の異なる光パルスを所定の時間間隔で、順次、射出

50

する。ここで、光パルスとは、短時間に急峻に強度が変化する光をいう。光パルス生成部 10 で生成された光パルスのパルス幅は、例えば、1 fs (フェムト秒) 以上 800 fs 以下である。光パルス生成部 10 から射出された光パルスは、光パルス分岐部 20 に入射する。なお、光パルス生成部 10 として、チタンサファイアレーザーやファイバーレーザー等が用いられる。

【0044】

光パルス分岐部 (ビームスプリッター) 20 は、光パルス生成部 10 にて生成された光パルスを第 1 の光パルスとしてのポンプ光 L1 と第 2 の光パルスとしてのプローブ光 L2 に分岐する。すなわち、光パルス生成部 10 にて生成された光パルスは、光パルス分岐部 20 によって、ポンプ光 L1 とプローブ光 L2 とに分割される。図示の例では、光パルス分岐部 20 は、光パルス生成部 10 から射出された光パルスの一部を反射させてポンプ光 L1 とし、光パルス生成部 10 から射出された光パルスの一部を透過してプローブ光 L2 とする。

10

【0045】

テラヘルツ波発生部 30 は、光パルス分岐部 20 で分岐されたポンプ光 L1 が照射されてテラヘルツ波を生成する。図示の例では、光パルス分岐部 20 で分岐されたポンプ光 L1 は、ミラー 60 で反射されて、テラヘルツ波発生部 30 に入射する。テラヘルツ波発生部 30 は、例えば、光伝導アンテナ (Photo Conductive Antenna、PCA) である。図 2 は、テラヘルツ波発生部 30 を模式的に示す平面図である。テラヘルツ波発生部 30 は、図 2 の例では、ダイポール型の光伝導アンテナである。

20

【0046】

テラヘルツ波発生部 30 は、基板 32 と、基板 32 上に設けられた 1 対の電極 36, 38 と、を有している。基板 32 は、例えば、半絶縁性 GaAs (SI-GaAs) 基板と、SI-GaAs 基板上に設けられている低温成長 GaAs (LT-GaAs) 層と、を有している。1 対の電極 36, 38 は、ギャップ 34 を介して対向配置されている。1 対の電極 36, 38 間の距離は適宜設定されるが、例えば、1 μm 以上 10 μm 以下である。電極 36, 38 の材質は、例えば、Au である。

【0047】

テラヘルツ波発生部 30 では、ギャップ 34 にポンプ光 L1 が照射されることにより、自由電子が励起される。そして、この自由電子を電極 36, 38 間に電圧を印加することによって加速させる。これにより、テラヘルツ波が発生する。

30

【0048】

ミラー 62, 64 は、図 1 に示すように、テラヘルツ波発生部 30 で発生したテラヘルツ波を、試料 S に導くための光学素子である。ミラー 62, 64 は、例えば、楕円面ミラー、放物面ミラー等である。

【0049】

ミラー 66, 68 は、試料 S に照射されて透過したテラヘルツ波を、テラヘルツ波検出部 50 に導くための光学素子である。ミラー 66, 68 は、例えば、楕円面ミラー、放物面ミラー等である。

40

【0050】

遅延光学系 40 は、光パルス分岐部 20 からテラヘルツ波検出部 50 までのプローブ光 L2 の光路長が変化するように構成されている。遅延光学系 40 では、プローブ光 L2 の光路長を変化させることにより、プローブ光 L2 に光学的な時間遅延を生じさせ、プローブ光 L2 がテラヘルツ波検出部 50 に入射するタイミングを制御する。

【0051】

図 3 は、図 1 の遅延光学系 40 の構成を模式的に示す図である。

遅延光学系 40 は、図 3 に示すように、偏光ビームスプリッター 42 と、回転ミラー 44 と、位相差板 46 と、遅延部 48 と、を含む光学系である。位相差板 46 は、回転ミラー 44 に配置されている。

【0052】

50

偏光ビームスプリッター 42 は、プローブ光 L2 の一部は反射し、一部は透過して、偏光成分を分離するものであり、プローブ光 L2 の例えば水平方向の偏光を反射し、垂直方向の偏光を透過する。従って、入射したプローブ光 L2 の一部を反射し、回転ミラー 44 へ照射する。

回転ミラー 44 は、偏光ビームスプリッター 42 で反射したプローブ光 L2 が進行する方向に沿った中心軸 C1 と中心軸 C1 と直交する中心軸 C2 との交点を回転軸としている。回転ミラー 44 は、トルクモーター等で回転軸周りを回転する。そのため、回転ミラー 44 を高速で回転させることができる。従って、例えば遅延光学系がミラーをプローブ光 L2 の進行方向に沿ってステップモーター等で直線的に移動させる場合に比べて、回転ミラー 44 を高速に回転させることができるので、光路長を高速で変化させることができる。

10

#### 【0053】

遅延部 48 は、一部が開口する円筒状であり、円筒の中心が回転ミラー 44 の回転軸と一致しており、回転ミラー 44 で反射されたプローブ光 L2 が照射される。また、遅延部 48 は、回転ミラー 44 の回転軸方向に厚みが異なる複数の厚みを有しており、プローブ光 L2 が照射される側に反射面が施されている。回転ミラー 44 を回転することで、回転軸と遅延部 48 との距離を変化させることができるため、プローブ光 L2 の光路長を異ならせることができる。具体的には、回転ミラー 44 を回転することで、厚み  $t_3$  の遅延部 48 に照射されていたプローブ光 L2 (破線で示す) を厚みの薄い厚み  $t_1$  の遅延部 48 に照射することで、プローブ光 L2 の光路長を異ならせることができる。なお、本実施形態の回転ミラー 44 は円筒状であるため、遅延光学系 40 の小型化が図れる。

20

#### 【0054】

位相差板 46 は、回転ミラー 44 の偏光ビームスプリッター 42 で反射したプローブ光 L2 が照射する側に配置されている。偏光ビームスプリッター 42 で反射したプローブ光 L2 が位相差板 46 を通過することにより、位相差を生じさせることができる。また、例えば水平方向の偏光成分を垂直方向の偏光成分に変化させることができる。そのため、遅延部 48 で反射し光路長が変化したプローブ光 L2 は、位相差板 46 を通過することで垂直方向の偏光成分となるため、偏光ビームスプリッター 42 を透過し、テラヘルツ波検出部 50 に入射される。

#### 【0055】

なお、本実施形態では、4つの厚み  $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $t_4$  を有する遅延部 48 を一例として説明したが、これに限定されることはなく、2つ以上の厚みを有していればよく、プローブ光 L2 の光路長の差を変化させることができればよい。

30

#### 【0056】

ミラー 69, 70, 72 は、遅延光学系 40 で遅延されたプローブ光 L2 をテラヘルツ波検出部 50 に導くための光学素子である。

#### 【0057】

テラヘルツ波検出部 50 は、測定対象の試料 S に照射されて透過したテラヘルツ波とプローブ光 L2 が照射される。テラヘルツ波検出部 50 は、例えば、光伝導アンテナである。図 4 は、テラヘルツ波検出部 50 を模式的に示す平面図である。テラヘルツ波検出部 50 は、図 4 の例では、ダイポール型の光伝導アンテナである。

40

#### 【0058】

テラヘルツ波検出部 50 は、基板 52 と、基板 52 上に設けられた、1対の電極 56, 58 と、を有している。基板 52 は、例えば、半絶縁性 GaAs (Si-GaAs) 基板と、Si-GaAs 基板上に設けられている低温成長 GaAs (LT-GaAs) 層と、を有している。1対の電極 56, 58 は、ギャップ 54 を介して対向配置されている。1対の電極 56, 58 間の距離は適宜設定されるが、例えば、 $1\mu\text{m}$  以上  $10\mu\text{m}$  以下である。電極 56, 58 の材質は、例えば、Au である。

#### 【0059】

テラヘルツ波検出部 50 では、基板 52 の表面 (電極 56, 58 が形成された面) 側か

50

らギャップ 5 4 に試料 S を透過したテラヘルツ波が照射され、かつ、基板 5 2 の裏面側からギャップ 5 4 にプローブ光 L 2 が照射される。プローブ光 L 2 によって基板 5 2 中に発生したキャリアはテラヘルツ波に伴う振動電場で加速されるため、テラヘルツ波の振動電場に比例した電流が流れる。すなわち、テラヘルツ波検出部 5 0 では、電極 5 6 , 5 8 間に、テラヘルツ波とプローブ光 L 2 とが同時に照射されると、照射されたテラヘルツ波の強度（振動電場）に応じた電流が電極 5 6 , 5 8 に流れる。この電流を電極 5 6 , 5 8 に接続された電流計で計測することより、テラヘルツ波の振動電場の強度を計測することができる。

#### 【 0 0 6 0 】

なお、上述のテラヘルツ波発生部 3 0 およびテラヘルツ波検出部 5 0 は、光伝導アンテナ（PCA）に限定されない。例えば、テラヘルツ波発生部 3 0 およびテラヘルツ波検出部 5 0 は、非線形光学結晶を用いた方式であってもよい。

10

#### 【 0 0 6 1 】

（計測装置の動作）

次に、計測装置 1 0 0 の動作について説明する。図 5 は、計測装置 1 0 0 におけるテラヘルツ波（信号光）の時間波形の取得方法を説明するための図である。

#### 【 0 0 6 2 】

光パルス生成部 1 0 から射出された光パルスは、光パルス分岐部 2 0 によってポンプ光 L 1 とプローブ光 L 2 とに分割される。ポンプ光 L 1 は、ミラー 6 0 を介して、テラヘルツ波発生部 3 0 を照射する。これにより、テラヘルツ波発生部 3 0 からテラヘルツ波が発生する。テラヘルツ波発生部 3 0 で発生したテラヘルツ波は、ミラー 6 2 , 6 4 を介して試料 S を照射する。そして、試料 S を透過したテラヘルツ波は、ミラー 6 6 , 6 8 を介してテラヘルツ波検出部 5 0 を照射する。

20

#### 【 0 0 6 3 】

一方、光パルス分岐部 2 0 で分割されたプローブ光 L 2 は、遅延光学系 4 0 に入射する。遅延光学系 4 0 において、プローブ光 L 2 は光路長が与えられ、ポンプ光 L 1 との間に光学的な時間遅延が生じる。遅延光学系 4 0 から射出されたプローブ光 L 2 は、ミラー 6 9 , 7 0 , 7 2 を介してテラヘルツ波検出部 5 0 を照射する。これにより、テラヘルツ波検出部 5 0 では、ポンプ光 L 1 とプローブ光 L 2 との光路差に応じた遅延時間でテラヘルツ波を検出することができる。

30

#### 【 0 0 6 4 】

テラヘルツ波検出部 5 0 では、上述したように、ポンプ光 L 1 とプローブ光 L 2 との光路差に応じた遅延時間でテラヘルツ波を検出するため、図 5 に示すように、テラヘルツ波の異なる位置（位相）において、テラヘルツ波の強度（振動電場）に応じた信号（電流）を取得することができる。この信号をプロットすることで、テラヘルツ波の時間経過が記録され、横軸がプローブ光 L 2 の時間、縦軸が信号強度（電流値）で示されるテラヘルツ波の時間波形が得られる。

#### 【 0 0 6 5 】

また、試料 S を支持するステージ（図示せず）を移動させることで、試料 S におけるテラヘルツ波の照射領域を変更し、当該領域ごとにテラヘルツ波の時間波形を取得することにより、試料 S のイメージングを行うことができる。

40

#### 【 0 0 6 6 】

なお、上述したように、光パルス生成部 1 0 から射出される光パルスの波長は変化するため、ポンプ光 L 1 の波長も変化する。すなわち、テラヘルツ波発生部 3 0 に照射されるポンプ光 L 1 の波長は変化する。次式は、PCA 理論式である。

#### 【 0 0 6 7 】

【数 1】

$$E_{THz}(t, z, \theta) = -\frac{\mu_0 L_{gap} w_{gap} \sin \theta}{4\pi z} \cdot \frac{dJ_{S,PC}(t_r)}{dt_r} \cdot \hat{\theta}$$

$$J_{S,PC}(t) = \frac{\sqrt{\pi}}{2} q \mu_e E_{bias} \cdot \frac{(1-R) I_{opt}^0 \tau_p \exp(4\tau_c \tau_{cs} \tau_p^2)}{h\nu} \times$$

$$\left[ \exp\left(-\frac{t}{\tau_c} + \frac{\tau_p^2}{4\tau_c^2}\right) \cdot \operatorname{erfc}\left(-\tau_p + \frac{\tau_p}{2\tau_c}\right) - \exp\left(-\frac{t}{\tau_{cs}} + \frac{\tau_p^2}{4\tau_{cs}^2}\right) \cdot \operatorname{erfc}\left(-\frac{t}{\tau_p} + \frac{\tau_p}{2\tau_{cs}}\right) \right] \quad 10$$

$$\text{ただし } \frac{1}{\tau_{cs}} = \frac{1}{\tau_c} + \frac{1}{\tau_s} \quad \operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2} dt$$

【0068】

ここで、 $E_{THz}$  はテラヘルツの電磁波を表し、 $J$  はフェムト秒レーザーを照射したときに流れる電流である。また、 $\mu_0$  は真空中の透磁率であり、 $R$  は反射率であり、 $q$  は電気素量であり、 $\mu_e$  は電子の磁気モーメントであり、 $E_{bias}$  は印加バイアスであり、 $h$  はプランク定数であり、 $\nu$  は振動数 ( $c/\lambda$ ) であり、 $\tau_c$  はキャリア寿命であり、 $\tau_p$  は励起光パルス幅であり、 $L_{gap}$  はギャップ長であり、 $w_{gap}$  はギャップ幅である。 20

【0069】

上記式において、波長依存性を持つのは反射率  $R$  と振動数  $\nu$  である。反射率が波長による変化が小さいと仮定すれば、PCAで発生するテラヘルツ波電磁波強度は波長に依存する。

【0070】

従って、計測装置100では、上述した手法で得られたテラヘルツ波の時間波形の強度を、例えばポンプ光L1の波長に対するPCAで発生するテラヘルツ波の強度分布で補正する。ここで、ポンプ光L1の波長に対するPCAで発生するテラヘルツ波の強度分布は、試料Sがない状態でポンプ光L1の波長を変化させて、PCAで発生するテラヘルツ波を測定することで求めることができる。なお、上記のPCA理論式を用いて、テラヘルツ波の時間波形の強度を補正してもよい。 30

【0071】

計測装置100は、例えば、以下の特徴を有する。

【0072】

計測装置100では、光パルス生成部10で光パルスを生成し、遅延光学系40が光パルス分岐部20からテラヘルツ波検出部50までの第2の光パルスとしてのプローブ光L2の光路長を変化させる。そのため、計測装置100では、プローブ光L2の光路長の変更を回転ミラー44を回転し、回転ミラー44との距離が異なる複数の厚みを有する遅延部48に反射させるため、ミラーをプローブ光L2の進行方向に沿って直線的に移動させる場合に比べて、ミラーを高速に回転させることができ、光路長を高速で変化させることができ、測定時間の短縮を図ることができる。よって、例えば、計測装置100において、THz-TDSを用いたイメージングを行う場合でも、トータルの測定時間を短くすることができる。 40

【0073】

計測装置100では、遅延光学系40は、偏光ビームスプリッター42と、位相差板46と、を含む。これにより、遅延光学系40では、プローブ光L2が位相差板46を通過 50

することにより、位相差を生じた後に、偏光ビームスプリッター４２で反射したプローブ光Ｌ２の偏光成分を変化させて偏光ビームスプリッター４２を透過させ、テラヘルツ波検出部５０に入射させることができる。そのため、厚みの異なる遅延部４８で反射し光路長が異なるプローブ光Ｌ２をテラヘルツ波検出部５０に入射させることができ、試料Ｓを計測することができる。

【００７４】

< 第２実施形態 >

次に、本発明の第２実施形態に係る計測装置１００ａについて、図６を参照して説明する。

図６は、本発明の第２実施形態に係る計測装置１００ａの遅延光学系４０ａの構成を模式的に示す図である。

以下、第２実施形態に係る計測装置１００ａについて、前述した第１実施形態の計測装置１００との相違点を中心に説明する。また、同様の構成には、同一符号を付してあり、同様の事項については、その説明を省略する。

【００７５】

計測装置１００ａの遅延光学系４０ａは、図６に示すように、偏光ビームスプリッター４２と、回転ミラー４４ａと、遅延部４８ａと、を含む光学系で、第１実施形態の計測装置１００と同様の構成であるが、位相差板４６ａの配置が異なる。

【００７６】

位相差板４６ａは、遅延部４８ａの内周部（回転ミラー４４ａ側の面）に遅延部４８ａの外縁に沿って配置されている。

【００７７】

このような構成とすることで、偏光ビームスプリッター４２で反射したプローブ光Ｌ２が、遅延部４８ａに配置された位相差板４６ａを通過することにより、位相差を生じた後に、プローブ光Ｌ２の偏光成分が変化し、偏光ビームスプリッター４２を透過させることができる。そのため、回転ミラー４４ａとの距離が異なる複数の厚みを有する遅延部４８ａに反射させ、光路長が変化したプローブ光Ｌ２をテラヘルツ波検出部５０に入射させることができる。

【００７８】

< 第３実施形態 >

次に、本発明の第３実施形態に係る計測装置１００ｂについて、図７を参照して説明する。

図７は、本発明の第３実施形態に係る計測装置１００ｂの遅延光学系４０ｂの構成を模式的に示す図である。

以下、第３実施形態に係る計測装置１００ｂについて、前述した第１実施形態の計測装置１００との相違点を中心に説明する。また、同様の構成には、同一符号を付してあり、同様の事項については、その説明を省略する。

【００７９】

計測装置１００ｂの遅延光学系４０ｂは、図７に示すように、回転ミラー４４と遅延部４８ｂとの間に、第２の光パルスを平行光とするコリメータレンズ８０を含む光学系で、遅延部４８ｂの形状が第１実施形態の遅延部４８と異なる。

【００８０】

遅延部４８ｂの形状は、コリメータレンズ８０を透過してプローブ光Ｌ２が照射される面が階段状に厚みが異なり、反対面は平坦である。そのため、遅延部４８ｂの製造が容易である。また、プローブ光Ｌ２が照射される側に反射面が施されている。

【００８１】

このような構成とすることで、回転ミラー４４を回転することで、反射方向が変化したプローブ光Ｌ２をコリメータレンズ８０で平行光として遅延部４８ｂに照射することができる。そのため、回転ミラー４４を回転し、コリメータレンズ８０との距離が異なる複数の厚みを有する遅延部４８ｂにそれぞれ照射することで、プローブ光Ｌ２の光路長を異な

10

20

30

40

50

らせることができる。具体的には、厚み  $t_1$  の遅延部 48b に照射されていたプローブ光 L2 を、回転ミラー 44 を回転し、厚み  $t_2$  の遅延部 48b に照射することで、プローブ光 L2 の光路長を異ならせることができる。

【0082】

なお、本実施形態では、5つの厚み  $t_1$  ,  $t_2$  ,  $t_3$  ,  $t_4$  ,  $t_5$  を有する遅延部 48b を一例として説明したが、これに限定されることはなく、2つ以上の厚みを有していればよく、プローブ光 L2 の光路長の差を変化させることができればよい。

【0083】

< 第4実施形態 >

次に、本発明の第4実施形態に係る計測装置 100c について、図8を参照して説明する。

図8は、本発明の第4実施形態に係る計測装置 100c の遅延光学系 40c の構成を模式的に示す図である。

以下、第4実施形態に係る計測装置 100c について、前述した第1実施形態の計測装置 100 との相違点を中心に説明する。また、同様の構成には、同一符号を付してあり、同様の事項については、その説明を省略する。

【0084】

計測装置 100c の遅延光学系 40c は、図8に示すように、回転ミラー 44c と遅延部 48c との間に、第2の光パルスを平行光とするコリメータレンズ 80 を含む光学系で、遅延部 48c の形状が第1実施形態の遅延部 48 と異なり、位相差板 46c の位置も異なる。

【0085】

遅延部 48c の形状は、コリメータレンズ 80 を透過してプローブ光 L2 が照射される面が階段状に厚みが異なり、反対面は平坦である。また、プローブ光 L2 が照射される側に反射面が施されている。位相差板 46c は、遅延部 48c の反射面が施された階段状に厚みが異なる面に配置されている。

【0086】

このような構成とすることで、プローブ光 L2 が遅延部 48c に備えられた位相差板 46c を通過することにより、位相差を生じた後に、偏光ビームスプリッター 42 で反射した第2の光パルスの偏光成分を変化させることができるため、厚みの異なる遅延部 48c で反射したプローブ光 L2 は偏光ビームスプリッター 42 を透過させることができる。そのため、回転ミラー 44c を回転することで、厚みの異なる遅延部 48c に反射させて、光路長の異なる第2の光パルスをテラヘルツ波検出部 50 に入射させることができる。

【0087】

< 第5実施形態 >

次に、本発明の第5実施形態に係る計測装置 100d について、図9を参照して説明する。

図9は、本発明の第5実施形態に係る計測装置 100d の遅延光学系 40d の構成を模式的に示す図である。

以下、第5実施形態に係る計測装置 100d について、前述した第1実施形態の計測装置 100 との相違点を中心に説明する。また、同様の構成には、同一符号を付してあり、同様の事項については、その説明を省略する。

【0088】

計測装置 100d の遅延光学系 40d は、図9に示すように、回転ミラー 44d と遅延部 48d との間に、第2の光パルスを平行光とするコリメータレンズ 80 を含む光学系で、遅延部 48d の形状が第1実施形態の遅延部 48 と異なり、位相差板 46d の位置も異なる。

【0089】

遅延部 48d の形状は、コリメータレンズ 80 を透過してプローブ光 L2 が照射される面が階段状に厚みが異なり、反対面は平坦である。また、プローブ光 L2 が照射される側

10

20

30

40

50

に反射面が施されている。なお、位相差板 46d は、コリメータレンズ 80 と遅延部 48d との間に配置されている。

【0090】

このような構成とすることで、プローブ光 L2 がコリメータレンズ 80 と遅延部 48d との間に配置された位相差板 46d を通過することにより、位相差を生じた後に、偏光ビームスプリッター 42 で反射した第 2 の光パルスの偏光成分を変化させることができるため、厚みの異なる遅延部 48d で反射したプローブ光 L2 は偏光ビームスプリッター 42 を透過させることができる。そのため、回転ミラー 44d を回転することで、厚みの異なる遅延部 48d に反射させて、光路長の異なる第 2 の光パルスをテラヘルツ波検出部 50 に入射させることができる。

10

【0091】

< 第 6 実施形態 >

次に、本発明の第 6 実施形態に係る計測装置 100e について、図 10 を参照して説明する。

図 10 は、本発明の第 6 実施形態に係る計測装置 100e の遅延光学系 40e の構成を模式的に示す図である。

以下、第 6 実施形態に係る計測装置 100e について、前述した第 1 実施形態の計測装置 100 との相違点を中心に説明する。また、同様の構成には、同一符号を付してあり、同様の事項については、その説明を省略する。

【0092】

計測装置 100e の遅延光学系 40e は、図 10 に示すように、回転ミラー 44 と遅延部 48e との間に、第 2 の光パルスを平行光とするコリメータレンズ 80 を含む光学系で、遅延部 48e が第 1 実施形態の遅延部 48 と異なる。

20

【0093】

遅延部 48e は、コリメータレンズ 80 を透過してプローブ光 L2 が照射される面が階段状に厚みが異なり、反対面は平坦であり、プローブ光 L2 が透過するシリコン等の透過部材 82 と、透過部材 82 の平坦部に配置された反射膜 84 と、で構成されている。なお、透過部材 82 の構成材料としては、1THz での屈折率が 3.6 であるシリコン以外に、屈折率 3.5 のガリウムヒ素 (GaAs)、屈折率 2.5 の水晶 (SiO<sub>2</sub>)、屈折率 1.52 のシクロオレフィンポリマー (COP)、屈折率 1.46 のポリエチレン面転 (TPX)、屈折率 1.54 のポリエチレン (PE)、および屈折率 1.43 のポリテトラフルオロエチレン (PTFE) が好ましい。

30

【0094】

このような構成とすることで、回転ミラー 44 で反射されたプローブ光 L2 は、コリメータレンズ 80 を透過して平行光となり、厚みが異なる透過部材 82 を透過し、反射膜 84 で反射され、再び透過部材 82 を透過して、コリメータレンズ 80 を透過し回転ミラー 44 に戻る。この時間は、透過部材 82 の厚みに比例し変化する。具体的には、厚みの薄い透過部材 82 では速く、厚みの厚い透過部材 82 では遅くなる。そのため、回転ミラー 44 を回転し、厚みの異なる透過部材 82 を透過させることで、第 2 の光パルスの光路長を変化させることができる。

40

【0095】

< 第 7 実施形態 >

次に、本発明の第 7 実施形態に係る計測装置 100f について、図 11 を参照して説明する。

図 11 は、本発明の第 7 実施形態に係る計測装置 100f の遅延光学系 40f の構成を模式的に示す図である。

以下、第 7 実施形態に係る計測装置 100f について、前述した第 1 実施形態の計測装置 100 との相違点を中心に説明する。また、同様の構成には、同一符号を付してあり、同様の事項については、その説明を省略する。

【0096】

50

計測装置 100 f の遅延光学系 40 f は、図 11 に示すように、回転ミラー 44 で反射したプローブ光 L2 の軸をずらす楕円ミラー 86 を含む光学系で、遅延部 48 f の形状が第 1 実施形態の遅延部 48 と異なる。

【0097】

遅延部 48 f の形状は、楕円ミラー 86 で反射したプローブ光 L2 が照射される面が階段状に厚みが異なり、反対面は平坦である。また、楕円ミラー 86 で反射したプローブ光 L2 が照射される側に反射面が施されている。

【0098】

このような構成とすることで、回転ミラー 44 を回転して反射したプローブ光 L2 を楕円ミラー 86 に照射することにより、プローブ光 L2 の軸をずらし、プローブ光 L2 を異なる厚みを有する遅延部 48 f へ照射することができる。そのため、プローブ光 L2 の光路長を変化させることができる。そのため、回転ミラー 44 を回転することで、厚みの異なる遅延部 48 f に反射させて、光路長の異なる第 2 の光パルスを送出部 50 に入射させることができる。

【0099】

< 第 8 実施形態 >

次に、本発明の第 8 実施形態に係る計測装置 100 g について、図 12 を参照して説明する。

図 12 は、本発明の第 8 実施形態に係る計測装置 100 g の構成を模式的に示す図である。

以下、第 8 実施形態に係る計測装置 100 g について、前述した第 1 実施形態の計測装置 100 との相違点を中心に説明する。また、同様の構成には、同一符号を付してあり、同様の事項については、その説明を省略する。

【0100】

計測装置 100 g の遅延光学系 40 g は、図 12 に示すように、偏光ビームスプリッター 42 と位相差板 46 とが無く、プローブ光 L2 を平行光とするコリメータレンズ 81 g と、遅延部 48 g を透過したプローブ光 L2 を集光する集光レンズ 80 g と、を含む光学系で、遅延部 48 g が第 1 実施形態の遅延部 48 と異なる。また、集光レンズ 80 g を透過したプローブ光 L2 は、ミラー等を介さず直接テラヘルツ波検出部 50 に入射される。

【0101】

遅延部 48 g の形状は、コリメータレンズ 81 g を透過してプローブ光 L2 が照射される面が階段状に厚みが異なり、反対面は平坦であり、プローブ光 L2 が透過するシリコン等の透過部材で構成されている。また、遅延部 48 g は、コリメータレンズ 81 g と集光レンズ 80 g との間に配置されている。

【0102】

このような構成とすることで、回転ミラー 44 で反射されたプローブ光 L2 は、コリメータレンズ 81 g を透過して平行光となり、厚みが異なる遅延部 48 g を透過し、集光レンズ 80 g を透過して、テラヘルツ波検出部 50 に入射される。プローブ光 L2 は、遅延部 48 g の厚みに比例して透過時間が増加するので、回転ミラー 44 を回転し、厚みの異なる遅延部 48 g を透過させることで、プローブ光 L2 がテラヘルツ波検出部 50 に到達する時間を変化させることができる。つまり、プローブ光 L2 の光路長を変化させることができる。

【0103】

< 第 9 実施形態 >

次に、本発明の第 9 実施形態に係る計測装置 100 h について、図 13 を参照して説明する。

図 13 は、本発明の第 9 実施形態に係る計測装置 100 h の構成を模式的に示す図である。

以下、第 9 実施形態に係る計測装置 100 h について、前述した第 1 実施形態の計測装置 100 との相違点を中心に説明する。また、同様の構成には、同一符号を付してあり、

10

20

30

40

50

同様の事項については、その説明を省略する。

【0104】

計測装置100hの遅延光学系40hは、図13に示すように、偏光ビームスプリッター42と位相差板46とが無く、回転ミラー44で反射したプローブ光L2の軸をずらす楕円ミラー86hと、遅延部48hを透過したプローブ光L2の軸をずらしテラヘルツ波検出部50に入射させる楕円ミラー87hと、を含む光学系で、遅延部48hの形状が第1実施形態の遅延部48と異なる。

【0105】

遅延部48hの形状は、楕円ミラー86hで反射したプローブ光L2が照射される面が階段状に厚みが異なり、反対面は平坦であり、プローブ光L2が透過するシリコン等の透過部材で構成されている。また、遅延部48hは、楕円ミラー86hと楕円ミラー87hとの間に配置されている。

10

【0106】

このような構成とすることで、回転ミラー44を回転して反射したプローブ光L2を楕円ミラー86hに照射することにより、プローブ光L2の軸をずらし、プローブ光L2は異なる厚みを有する遅延部48hへ照射され、遅延部48hを透過したプローブ光L2は、楕円ミラー87hで反射し、テラヘルツ波検出部50に入射する。プローブ光L2は、遅延部48hの厚みに比例して透過時間が変化するので、回転ミラー44を回転し、厚みの異なる遅延部48hを透過させることで、プローブ光L2がテラヘルツ波検出部50に到達する時間を変化させることができる。つまり、プローブ光L2の光路長を変化させる

20

【0107】

<第10実施形態>

次に、本発明の第10実施形態に係る計測装置100iについて、図14を参照して説明する。

図14は、本発明の第10実施形態に係る計測装置100iの構成を模式的に示す図である。

以下、第10実施形態に係る計測装置100iについて、前述した第1実施形態の計測装置100との相違点を中心に説明する。また、同様の構成には、同一符号を付してあり、同様の事項については、その説明を省略する。

30

【0108】

計測装置100iの遅延光学系40iは、図14に示すように、偏光ビームスプリッター42と位相差板46とが無く、プローブ光L2を反射する2つの回転ミラー44i, 45iと、プローブ光L2を平行光とするコリメータレンズ80iと、遅延部48iを透過したプローブ光L2を集光する集光レンズ81iと、を含む光学系で、遅延部48iが第1実施形態の遅延部48と異なる。また、2つの回転ミラー44i, 45iの間に、コリメータレンズ80iと集光レンズ81iとが配置されている。

【0109】

遅延部48iの形状は、コリメータレンズ80iを透過したプローブ光L2が照射される面が階段状に厚みが異なり、反対面は平坦であり、プローブ光L2が透過するシリコン等の透過部材で構成されている。また、遅延部48iは、コリメータレンズ80iと集光レンズ81iとの間に配置されている。なお、回転ミラー44iと回転ミラー45iとは、同期して回転し、プローブ光L2を反射する。

40

【0110】

このような構成とすることで、回転ミラー44iを回転して反射したプローブ光L2は、コリメータレンズ80iを透過して平行光となり、厚みが異なる遅延部48iを透過し、集光レンズ81iを透過して、回転ミラー45iに照射される。回転ミラー45iは、回転ミラー44iと同期して回転し、プローブ光L2を反射することで、ミラー70, 71, 72を介してプローブ光L2をテラヘルツ波検出部50に入射される。プローブ光L2は、遅延部48iの厚みに比例して透過時間が変化するので、回転ミラー44iを回転

50

し、厚みの異なる遅延部 48 i を透過させることで、プローブ光 L 2 がテラヘルツ波検出部 50 に到達する時間を変化させることができる。つまり、プローブ光 L 2 の光路長を変化させることができる。

【0111】

<第11実施形態>

次に、本発明の第11実施形態に係る計測装置 100 j について、図15を参照して説明する。

図15は、本発明の第11実施形態に係る計測装置 100 j の遅延光学系 40 j の構成を模式的に示す図である。

以下、第11実施形態に係る計測装置 100 j について、同様の構成を有する前述した第10実施形態の計測装置 100 i との相違点を中心に説明する。また、同様の構成には、同一符号を付してあり、同様の事項については、その説明を省略する。

【0112】

計測装置 100 j の遅延光学系 40 j は、図15に示すように、遅延部 48 j が第10実施形態の遅延部 48 i と異なり、遅延部 48 j のプローブ光 L 2 が交差する面に、反射防止膜 88 が設けられている。

【0113】

このような構成とすることで、コリメータレンズ 80 j を透過したプローブ光 L 2 の遅延部 48 j の表面での反射ロスや遅延部 48 j を透過した第2の光パルスの遅延部 48 j の表面での反射ロスを低減することができる。そのため、プローブ光 L 2 の出力レベルの低下を低減し、計測装置 100 j の計測精度を向上させることができる。

【0114】

<第12実施形態>

次に、本発明の第12実施形態に係る計測装置 100 k について、図16を参照して説明する。

図16は、本発明の第12実施形態に係る計測装置 100 k の構成を模式的に示す図である。

以下、第12実施形態に係る計測装置 100 k について、同様の構成を有する前述した第10実施形態の計測装置 100 i との相違点を中心に説明する。また、同様の構成には、同一符号を付してあり、同様の事項については、その説明を省略する。

【0115】

計測装置 100 k の遅延光学系 40 k は、図16に示すように、プローブ光 L 2 を反射する2つの回転ミラー 44 k , 45 k と、プローブ光 L 2 の軸をずらす2つの楕円ミラー 86 k , 87 k と、楕円ミラー 86 k で反射したプローブ光 L 2 を透過する遅延部 48 k と、を含む光学系である。

【0116】

楕円ミラー 86 k は、プローブ光 L 2 を反射する面が回転ミラー 44 k に対向して配置され、楕円ミラー 87 k は、プローブ光 L 2 を反射する面が回転ミラー 45 k に対向して配置されている。また、2つの楕円ミラー 86 k , 87 k の間に遅延部 48 k が配置されている。なお、遅延部 48 k は、プローブ光 L 2 が透過するシリコン等の透過部材で構成されている。また、回転ミラー 44 k と回転ミラー 45 k とは、同期して回転し、プローブ光 L 2 を反射する。

【0117】

このような構成とすることで、回転ミラー 44 k を回転して反射したプローブ光 L 2 は、楕円ミラー 86 k で反射し、厚みが異なる遅延部 48 k を透過し、楕円ミラー 87 k で反射され、回転ミラー 45 k に照射される。回転ミラー 45 k は、回転ミラー 44 k と同期して回転し、プローブ光 L 2 を反射することで、ミラー 70 , 72 , 73 , 74 を介してプローブ光 L 2 をテラヘルツ波検出部 50 に入射される。プローブ光 L 2 は、遅延部 48 k の厚みに比例して透過時間が変化するので、回転ミラー 44 k を回転し、厚みの異なる遅延部 48 k を透過させることで、プローブ光 L 2 がテラヘルツ波検出部 50 に到達す

10

20

30

40

50

る時間を変化させることができる。つまり、プローブ光 L2 の光路長を変化させることができる。

【0118】

本発明は、実施の形態で説明した構成と実質的に同一の構成（例えば、機能、方法及び結果が同一の構成、あるいは目的及び効果が同一の構成）を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成の本質的でない部分を置き換えた構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成と同一の作用効果を奏する構成又は同一の目的を達成することができる構成を含む。また、本発明は、実施の形態で説明した構成に公知技術を付加した構成を含む。

【符号の説明】

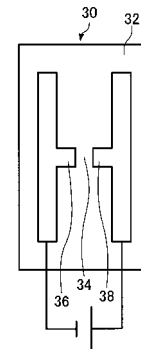
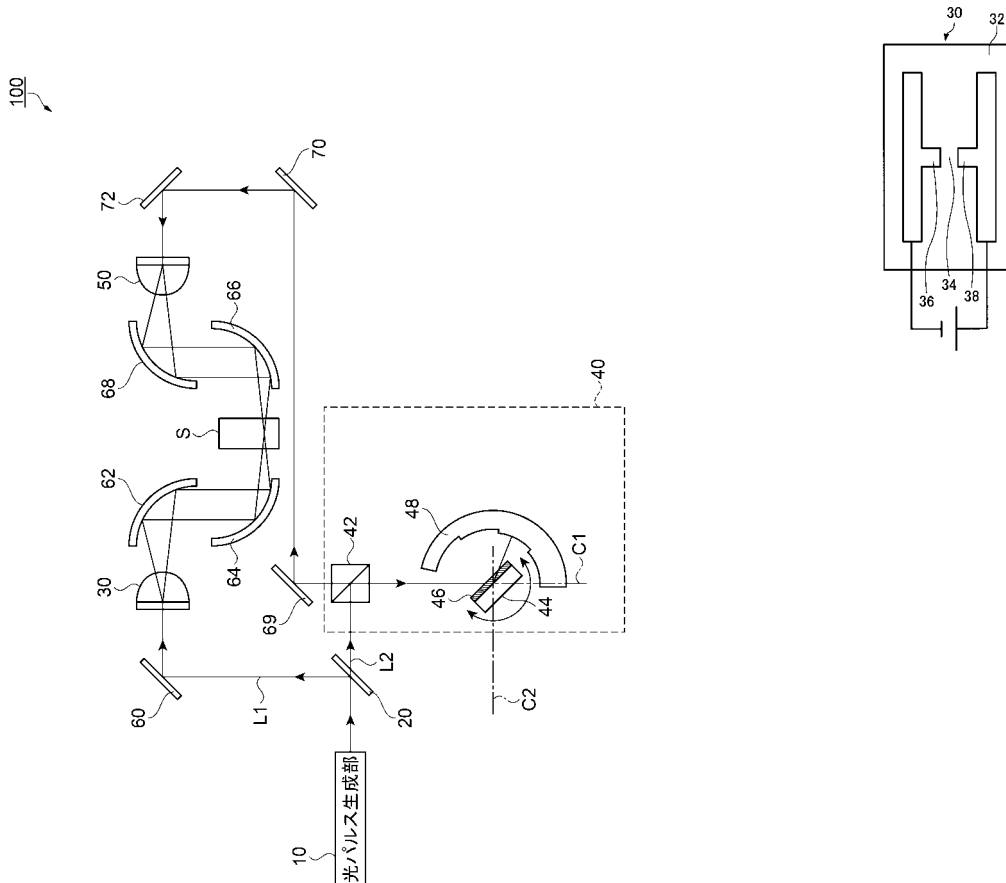
10

【0119】

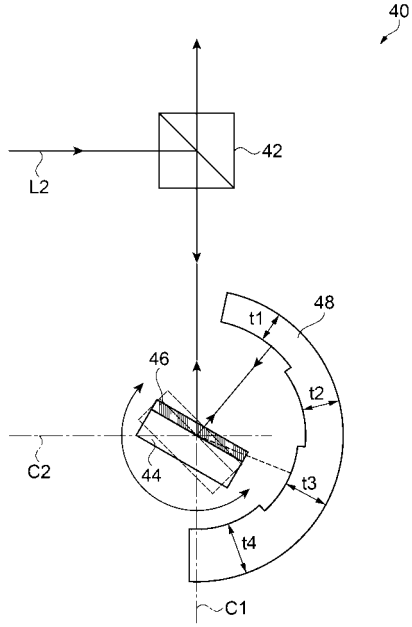
10 ... 光パルス生成部、20 ... 光パルス分岐部、30 ... テラヘルツ波発生部、32 ... 基板、34 ... ギャップ、36, 38 ... 電極、40 ... 遅延光学系、42 ... 偏光ビームスプリッター、44 ... 回転ミラー、46 ... 位相差板、48 ... 遅延部、50 ... テラヘルツ波検出部、52 ... 基板、54 ... ギャップ、56, 58 ... 電極、60, 62, 64, 66, 68, 69, 70, 72 ... ミラー、80 ... コリメータレンズ、80g ... 集光レンズ、82 ... 透過部材、84 ... 反射膜、86 ... 楕円ミラー、88 ... 反射防止膜、100 ... 計測装置。

【図1】

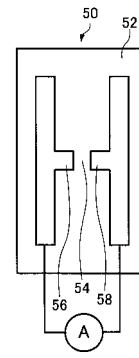
【図2】



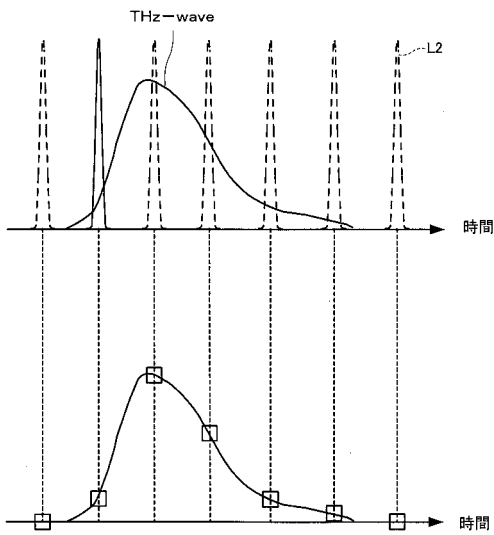
【 図 3 】



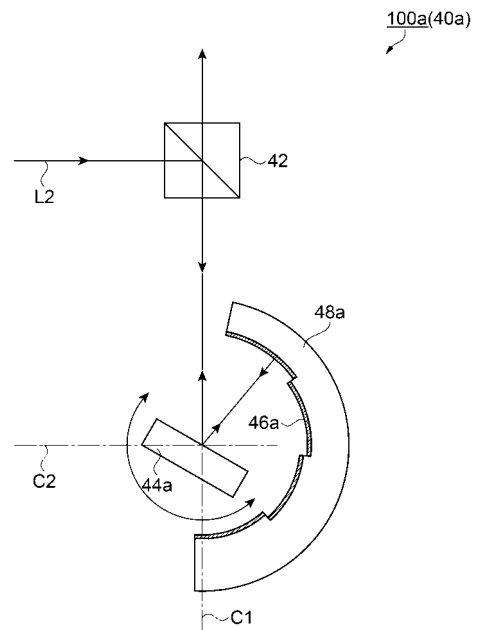
【 図 4 】



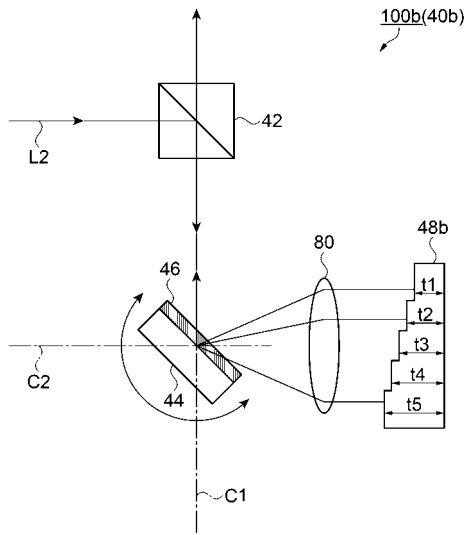
【 図 5 】



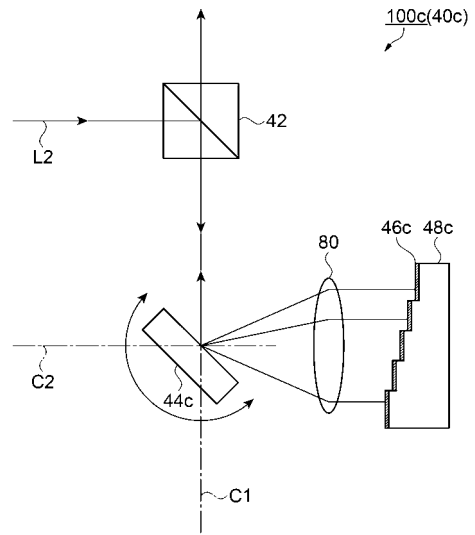
【 図 6 】



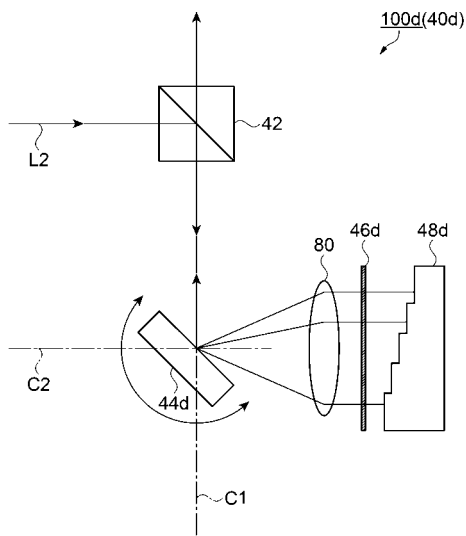
【 図 7 】



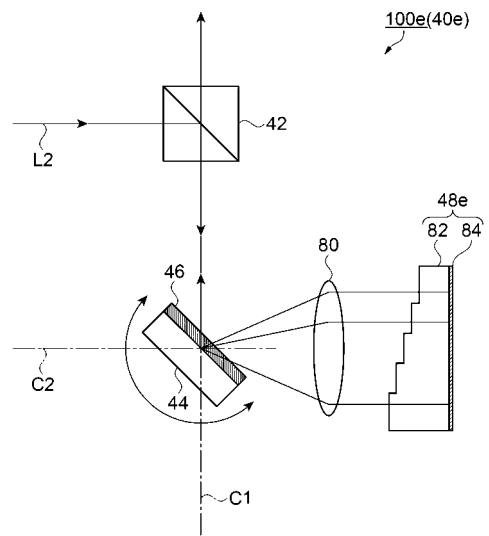
【 図 8 】



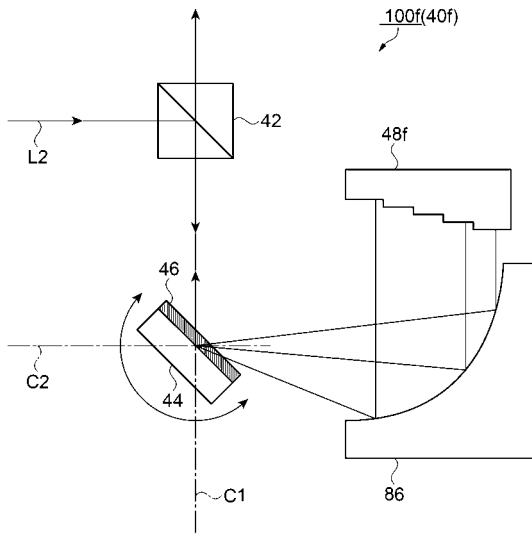
【 図 9 】



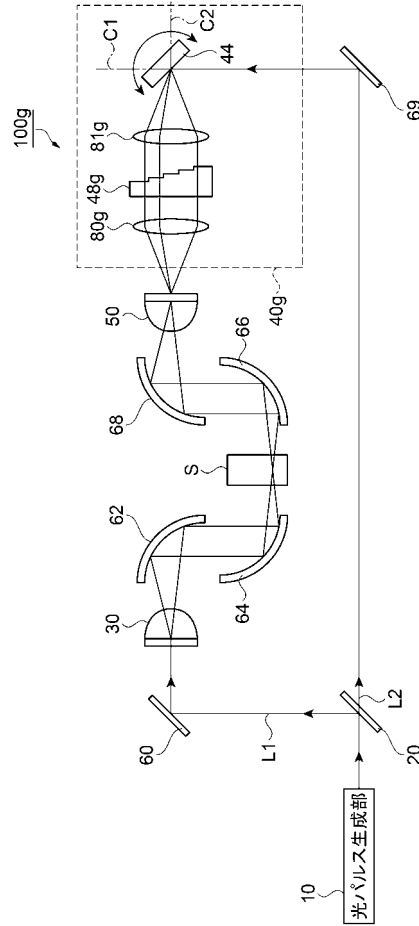
【 図 10 】



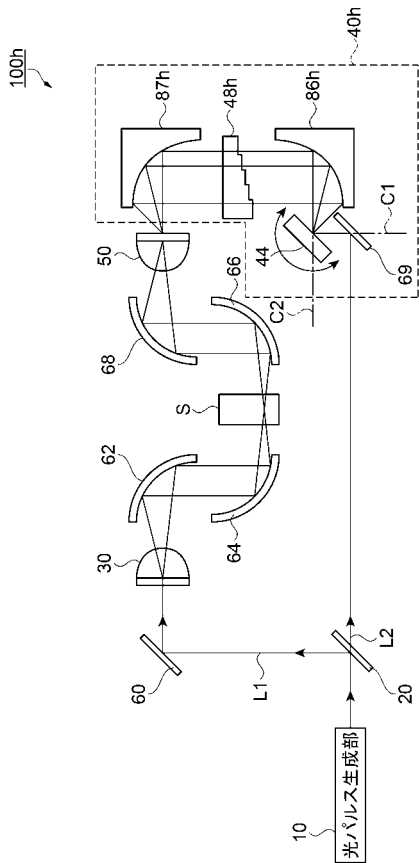
【図 1 1】



【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】

