

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6513846号  
(P6513846)

(45) 発行日 令和1年5月15日 (2019.5.15)

(24) 登録日 平成31年4月19日 (2019.4.19)

(51) Int. Cl.

F I

G O 1 B 11/00 (2006.01)

G O 1 B 11/00

G

G O 1 B 11/24 (2006.01)

G O 1 B 11/24

D

請求項の数 14 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2018-46769 (P2018-46769)  
 (22) 出願日 平成30年3月14日 (2018.3.14)  
 (65) 公開番号 特開2018-205301 (P2018-205301A)  
 (43) 公開日 平成30年12月27日 (2018.12.27)  
 審査請求日 平成30年12月26日 (2018.12.26)  
 (31) 優先権主張番号 特願2017-111271 (P2017-111271)  
 (32) 優先日 平成29年6月6日 (2017.6.6)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000005108  
 株式会社日立製作所  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号  
 (74) 代理人 110000198  
 特許業務法人湘洋内外特許事務所  
 (72) 発明者 渡辺 正浩  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株  
 式会社日立製作所内  
 (72) 発明者 針山 達雄  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株  
 式会社日立製作所内  
 (72) 発明者 谷口 敦史  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株  
 式会社日立製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 距離測定装置、及び立体形状測定装置。

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

測定光を出力する発光部と、  
 前記発光部から出力された測定光の偏光を制御する偏光状態制御部と、  
 前記偏光状態制御部により制御された前記測定光を選択的に射出する光路切り替え素子と、を備え、  
 前記偏光状態制御部は、前記光路切り替え素子から複数方向に向かって前記測定光を射出するように偏光を制御し、  
 前記光路切り替え素子は、対象物までの距離の測定に用いる反射光であって、該光路切り替え素子から射出した前記測定光の前記対象物に対する前記反射光を取り込む距離測定装置であって、  
 前記光路切り替え素子は、前記測定光を透過させることにより第1の方向に前記測定光を射出するとともに、前記測定光を反射させることにより前記第1の方向と略直角をなす第2の方向に前記測定光を射出し、  
 前記第1の方向と平行な回転軸周りに前記光路切り替え素子を回転させる回転機構を備えることを特徴とする、距離測定装置。

【請求項 2】

測定光を出力する発光部と、  
 前記発光部から出力された測定光の偏光を制御する偏光状態制御部と、  
 前記偏光状態制御部により制御された前記測定光を選択的に射出する光路切り替え素子

10

20

と、を備え、

前記偏光状態制御部は、前記光路切り替え素子から複数方向に向かって前記測定光を射出するように偏光を制御し、

前記光路切り替え素子は、対象物までの距離の測定に用いる反射光であって、該光路切り替え素子から射出した前記測定光の前記対象物に対する前記反射光を取り込む距離測定装置であって、

焦点の合う波長の前記反射光を検出することにより前記距離を測定する距離演算部を備えることを特徴とする、距離測定装置。

【請求項 3】

距離測定装置と移動機構を備え、対象物の立体的な形状を測定する立体形状測定装置であって、

前記距離測定装置は、

測定光を出力する発光部と、

前記発光部から出力された測定光の偏光を制御する偏光状態制御部と、

前記偏光状態制御部により制御された前記測定光を選択的に射出する光路切り替え素子と、を備え、

前記偏光状態制御部は、前記光路切り替え素子から複数方向に向かって前記測定光を射出するように偏光を制御し、

前記光路切り替え素子は、対象物までの距離の測定に用いる反射光であって、該光路切り替え素子から射出した前記測定光の前記対象物に対する前記反射光を取り込み、

前記移動機構は、前記光路切り替え素子を縦方向、横方向、及び奥行方向を含む多方向へ移動させる

ことを特徴とする、立体形状測定装置。

【請求項 4】

測定光を出力する発光部と、

前記発光部から出力された測定光の偏光を制御する偏光状態制御部と、

前記偏光状態制御部により制御された前記測定光を選択的に射出する光路切り替え素子と、を備え、

前記偏光状態制御部は、前記光路切り替え素子から複数方向に向かって前記測定光を射出するように偏光を制御し、

前記光路切り替え素子は、対象物までの距離の測定に用いる反射光であって、該光路切り替え素子から射出した前記測定光の前記対象物に対する前記反射光を取り込む距離測定装置であって、

前記光路切り替え素子と、前記光路切り替え素子の前又は後ろに配置された集光レンズとが設けられた測定プローブ先端部を備え、

前記測定プローブ先端部は、前記距離測定装置に対して着脱交換可能であることを特徴とする、距離測定装置。

【請求項 5】

請求項 1、2、及び 4 のいずれか一項に記載の距離測定装置であって、

前記偏光状態制御部は、前記測定光の偏光方向を変化させ、

前記光路切り替え素子は、偏光方向の変化に応じて選択的に前記測定光を射出することを特徴とする、距離測定装置。

【請求項 6】

請求項 1、2、及び 4 のいずれか一項に記載の距離測定装置であって、

前記光路切り替え素子は、偏光ビームスプリッター、又は複屈折プリズムとミラーとの組合せであることを特徴とする、距離測定装置。

【請求項 7】

請求項 1、2、及び 4 のいずれか一項 に記載の距離測定装置であって、

前記発光部から出力された前記測定光の偏光方向を切り替えて前記偏光状態制御部に出力する偏光切り替え部を備え、

前記偏光状態制御部は、前記偏光切り替え部から出力された前記測定光の偏光方向を変化させ、

前記光路切り替え素子は、偏光方向の変化に応じて選択的に前記測定光を射出することを特徴とする、距離測定装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の距離測定装置であって、

前記偏光状態制御部は、1 / 2 波長板であり、

前記 1 / 2 波長板の主軸の角度は、前記光路切り替え素子の入射面に対して所定の角度を保つように制御されており、

前記偏光切り替え部は、前記測定光の偏光方向の / 2 回転を切り替えることにより、前記偏光状態制御部から出力される前記測定光の偏光方向を変化させることを特徴とする、距離測定装置。

10

【請求項 9】

請求項 8 に記載の距離測定装置であって、

前記 1 / 2 波長板の主軸の角度を制御する駆動部と、

前記光路切り替え素子の前記入射面の角度を回転させる回転機構と、を備えることを特徴とする、距離測定装置。

【請求項 10】

請求項 1、2、及び 4 のいずれか一項に記載の距離測定装置であって、

前記光路切り替え素子の後ろに、前記測定光が射出される複数方向に対応して複数の集光レンズを備え、

20

前記各集光レンズは、前記測定光を所定の焦点距離に集光することを特徴とする、距離測定装置。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の距離測定装置であって、

前記各集光レンズはそれぞれ異なる焦点距離を有することを特徴とする、距離測定装置。

【請求項 12】

請求項 4 に記載の距離測定装置であって、

前記測定プローブ先端部を回転させる回転機構を備えることを特徴とする、距離測定装置。

30

【請求項 13】

請求項 4 又は 12 に記載の距離測定装置であって、

前記集光レンズが受光する測定光は平行光であることを特徴とする、距離測定装置。

【請求項 14】

請求項 4、12、及び 13 のいずれか一項に記載の距離測定装置であって、

前記距離測定装置に対して着脱交換可能な交換用測定プローブ先端部を備え、

前記交換用測定プローブ先端部の長さ、又は前記交換用測定プローブ先端部が備える前記集光レンズの焦点距離は、前記測定プローブ先端部と異なることを特徴とする、距離測定装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、距離測定装置、及び立体形状測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、光学式測定器に関する技術が開示されている。同文献の段落[0034]には、「収容部 34 内には、収容部 34 に固定して一体的に設けられた棒状の軸（支持部材）36 と、軸 36 を中心として可動な状態で軸 36 に保持された反射ミラー 37、反射ミラー 37 を回動前後の所定位置に保持するための保持部材 35 とが配設されている

50

。軸 3 6、反射ミラー 3 7 及び保持部材 3 5 は、光源 3 8 から出力された測定用光の進行方向を所定方向に（例えば 9 0 度）変えるための方向制御部を構成している。」と記載されている。また、段落[0035]には、「保持部材 3 5 は、反射ミラー 3 7 が軸 3 6 を中心として回転する前は、光源 3 8 からの測定用光を反射しない位置である第 1 位置に反射ミラー 3 7 を保持する。また、保持部材 3 5 は、反射ミラー 3 7 が軸 3 6 を中心として所定角度（例えば 4 5 度）回転して光源 3 8 からの測定用光の進行方向を所定方向（9 0 度）に変える位置である第 2 位置まで動いた後は、反射ミラー 3 7 を前記第 2 位置に保持するように機能する。」と記載されている。また、段落[0036]には、「これにより、反射ミラー 3 7 は、前記第 1 位置では光源 3 8 からの測定用光の進行方向は変えず、前記第 2 位置では光源 3 8 からの測定用光の進行方向を所定方向に変えるように動作する。」と記載されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2 0 0 7 - 2 7 1 6 0 1 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

光を照射することにより立体的な対象物の形状を測定する場合、照射の方向を変更することで、光を射出する測定部の移動を抑制して測定を行うことができる。

20

【0005】

特許文献 1 に記載された技術では、収容部内に設置されたミラーを移動させることで、照射の方向を変更している。収容部内でミラーを移動させるためには、収容部の小型化が制限される。すると、特に狭隘部を測定する際に、測定が制限される可能性がある。

【0006】

本発明は、上記の点に鑑みてなされたものであって、距離測定装置において測定部の小型化を実現することのできる技術の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本願は、上記課題の少なくとも一部を解決する手段を複数含んでいるが、その例を挙げると、以下の通りである。

30

【0008】

上記課題を解決するため、本発明の一態様に係る距離測定装置は、測定光を出力する発光部と、前記発光部から出力された測定光の偏光を制御する偏光状態制御部と、前記偏光状態制御部により制御された前記測定光を選択的に射出する光路切り替え素子と、を備え、前記偏光状態制御部は、前記光路切り替え素子から複数方向に向かって前記測定光を射出するように偏光を制御し、前記光路切り替え素子は、対象物までの距離の測定に用いる反射光であって、該光路切り替え素子から射出した前記測定光の前記対象物に対する前記反射光を取り込むことを特徴とする。

【発明の効果】

40

【0009】

本発明によれば、距離測定装置において測定部の小型化を実現させる技術を提供することができる。

【0010】

上記した以外の課題、構成、及び効果は、以下の実施形態の説明により明らかにされる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図 1】第 1 の実施形態における距離測定装置の一例を示す模式図である。

【図 2】光路切り替え素子の動作を説明するための図である。

50

【図 3】第 1 の実施形態における測距制御機構の構成の一例を示す図である。

【図 4】反射強度プロファイルから被測定物表面における反射位置を求める方法の一例を示す図である。

【図 5】第 1 の実施形態における測距制御機構の構成の他の例を示す図である。

【図 6】立体形状測定装置の一例を示す模式図である。

【図 7】立体形状測定装置の他の例を示す模式図である。

【図 8】立体形状測定装置の機能ブロックの一例を示す図である。

【図 9】第 2 の実施形態における距離測定装置の一例を示す模式図である

【図 10】第 2 の実施形態における測距制御機構の構成の一例を示す図である。

【図 11】第 2 の実施形態における測距制御機構の構成の他の例を示す図である。

【図 12】第 1 の実施形態における各光学素子の絶対的な角度の関係を説明する図である。

【図 13】第 1 の実施形態における各光学素子の相対的な角度の関係を説明する図である。

【図 14】第 3 の実施形態における距離測定装置の一例を示す模式図である。

【図 15】第 3 の実施形態における各光学素子の相対的な角度の関係を簡潔に説明する図である。

【図 16】第 3 の実施形態における立体形状測定装置の機能ブロックの一例を示す図である。

【図 17】第 4 の実施形態における測定プローブ先端部の構成の例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

< 第 1 の実施形態 >

【0013】

以下、図面に基づいて本発明の実施形態の例を説明する。図 1 は、第 1 の実施形態における距離測定装置 10 の一例を示す模式図である。本実施形態における距離測定装置 10 は、測距制御機構 110 と、接続ケーブル 150 と、測定プローブ 160 とを有する。

【0014】

測距制御機構 110 については後に詳述するが、測定プローブ 160 に対して測定光を出力する。接続ケーブル 150 は光ファイバを有し、測定光を測定プローブ 160 に導く。測定プローブ 160 は、対象物 T に測定光を照射し、対象物 T からの反射光を測距制御機構 110 へと導く装置である。

【0015】

測定プローブ 160 は、レンズ系 161 と、回転機構 162 と、光路切り替え素子 163 と、測定プローブ先端部 164 と、偏光状態制御部 165 と、偏光状態制御部駆動装置 166 と、を有する。レンズ系 161 は、測距制御機構 110 から出力され接続ケーブル 150 に導かれた測定光を絞り、偏光状態制御部 165 へと導く。回転機構 162 は、後述する距離演算部の制御により、モーター等の駆動装置を用いて、レンズ系 161 から出力される測定光と平行な回転軸周りに光路切り替え素子 163 を回転させる。

【0016】

光路切り替え素子 163 は、偏光状態制御部 165 によって制御された測定光を用いて、選択的に光を射出する。光路切り替え素子 163 は、光路切り替えの機能を有し、レンズ系 161 から出力される測定光の進行方向と同じ進行方向である第 1 の方向 300a と、第 1 の方向 300a に略直交する第 2 の方向 300b と、の少なくとも一方に向かって光を射出する。光路切り替え素子 163 は、例えば偏光方向の変化に応じて選択的に光を射出する。光路切り替え素子 163 は、例えば偏光ビームスプリッターである。

【0017】

測定プローブ先端部 164 は、光路切り替え素子 163 を係止するとともに、光路切り替え素子 163 から射出される光を通過させる。測定プローブ先端部 164 は、例えば図 1 に示す下方（第 1 の方向 300a）に開口部を有する筒状であり、光を透過する材料で

10

20

30

40

50

構成され、内壁の少なくとも一部で光路切り替え素子 163 を係止している。測定プローブ先端部 164 は、レンズ系 161 から出力される測定光と平行な回転軸周りに回転し、測定プローブ先端部 164 の回転に伴い光路切り替え素子 163 が回転する。

【0018】

なお、測定プローブ先端部 164 の構成はこれに限られない。例えば 1 又は複数の支柱で光路切り替え素子 163 を係止し、支柱の駆動に伴い光路切り替え素子 163 が回転するものであってもよい。また、測定プローブ先端部 164 は、例えば透明な 2 層の筒からなり、内筒で光路切り替え素子 163 を係止し、光路切り替え素子 163 を回転させてもよい。

【0019】

偏光状態制御部 165 は、距離演算部の制御により、測距制御機構 110 から出力された測定光の偏光を制御する。偏光状態制御部 165 は、例えば測定光の偏光方向を変化させる。偏光状態制御部駆動装置 166 は、偏光状態制御部 165 が測定光の偏光を変更させるために、偏光状態制御部 165 を駆動させる。偏光状態制御部 165 と偏光状態制御部駆動装置 166 については後述する。

【0020】

測距制御機構 110 から出力された測定光は、接続ケーブル 150 及びレンズ系 161 を経由して偏光状態制御部 165 に到達し、偏光状態制御部 165 で偏光が制御される。偏光状態制御部 165 によって制御された測定光は光路切り替え素子 163 に到達する。

【0021】

光路切り替え素子 163 から第 1 の方向 300a に射出された光は、測定プローブ先端部 164 の開口部から対象物 T に到達する。対象物 T に反射又は散乱した光は、光路切り替え素子 163、偏光状態制御部 165、レンズ系 161、接続ケーブル 150 の順に、射出された光の経路を逆に進行して測距制御機構 110 に到達する。測距制御機構 110 は到達した測定光を電気信号に変換し、図示しない距離演算部に伝達する。距離演算部は対象物 T までの距離を算出する。

【0022】

図 1 に示すように、対象物 T が円筒形状である場合、第 1 の方向 300a へ射出された測定光を用いることにより、円筒形状の底部深さを測定することができる。

【0023】

また、光路切り替え素子 163 から第 2 の方向 300b に射出された光は、光路切り替え素子 163 の回転に応じて回転し、測定プローブ先端部 164 の側面の開口部又は壁面を透過して対象物 T に照射される。対象物 T に反射又は散乱した光は、第 1 の方向 300a に射出された光と同様に射出された経路を逆行して測距制御機構 110 に到達し、対象物 T までの距離が算出される。第 2 の方向 300b へ射出された測定光を用いることにより、例えば円筒形状の側面の形状を測定することができる。

【0024】

図 2 は、光路切り替え素子 163 の動作を説明するための図である。図 2 (A1) 及び (A2) は、光路切り替え素子 163 に偏光ビームスプリッター 180 を用いた場合の例を示す。図 2 (A1) は、図 2 の左右方向に測定光が偏光しており、図 2 (A2) は、図 2 の奥行方向 (紙面奥側と手前側の方向) に測定光が偏光している状態を示している。

【0025】

図 2 (A1) に示すように、図 2 の左右方向に偏光した状態で測定光が入射すると、入射した測定光は偏光ビームスプリッター 180 のプリズムを透過し、入射した測定光と同じ第 1 の方向 300a に進行する。なお、対象物 T に反射した光は同じ経路を逆行して測距制御機構 110 に到達する。

【0026】

また、図 2 (A2) に示すように、図 2 の奥行方向に偏光した状態で測定光が偏光ビームスプリッター 180 に入射すると、入射した測定光はプリズムに反射し、測定光と略直交する第 2 の方向 300b に進行する。第 1 の方向 300a に進行する光と同様に、対象

10

20

30

40

50

物 T に反射した光は同じ経路を逆行して測距制御機構 110 に到達する。

【0027】

この性質を利用し、偏光状態制御部 165 によって光路切り替え素子 163 に対して所定の角度を保つように偏光を制御すると、測定光の進行方向を第 1 の方向 300a 又は第 2 の方向 300b に維持することが可能となる。即ち、偏光状態制御部 165 によって測定光の偏光を制御することにより、測定光の進行方向を第 1 の方向 300a 又は第 2 の方向 300b に切り替えることができる。

【0028】

例えば、偏光状態制御部 165 として 1/2 波長板を用いる。1/2 波長板に入射する直線偏光状態の光の偏光方向を、1/2 波長板の主軸の方向をとすると、出射する光の偏光方向は  $2\theta$  となる。

10

回転機構 162 により回転する光路切り替え素子 163 の反射方向をとすると、 $\theta = 2\theta - \phi$  を保つように (即ち、 $\phi = (\theta + \phi) / 2$  となるように) 偏光状態制御部 165 を制御することで、第 1 の方向 300a に進行する光による測定を行うことができる。また、 $\theta = 2\theta - \phi + \phi / 2$  を保つように (即ち、 $\phi = (\theta + \phi) / 2 - \phi / 4$  となるように) 偏光状態制御部 165 を制御することで、第 2 の方向 300b に進行する光による測定を行うことができる。

【0029】

測定光の進行方向の制御に関して説明を補足する。

図 12 は、第 1 の実施形態における各光学素子の絶対的な角度の関係を説明する図である。例えば、偏光状態制御部 165 として 1/2 波長板 305、光路切り替え素子 163 として偏光ビームスプリッター 180 を用いる。1/2 波長板 305 に入射する直線偏光の振動方向の角度を、1/2 波長板 305 の主軸の方向をとすると、出射する直線偏光の振動方向の角度は  $2\theta$  となる。なお、角度  $\theta$  および、さらに後述する角度  $\phi$  は、第 1 の方向 300a (座標軸 z と平行) に直交する座標軸 x を基準とした絶対的な回転角度とする。

20

回転機構 162 により回転する偏光ビームスプリッター 180 が光を反射させる方向の角度をとする。ここで、角速度  $\omega$  と時間  $t$  と初期角度  $\theta_0$  を用いることで  $\theta = \theta_0 + \omega t$  と表現することができる。このとき、 $\phi = 2\theta - \phi$  を保つように (即ち、 $\phi = (\theta + \phi) / 2$  となるように) 1/2 波長板 305 を制御することで、第 1 の方向 300a に進行する光による測定を行うことができる (図 12 (A))。また、 $\theta = 2\theta - \phi + \phi / 2$  を保つように (即ち、 $\phi = (\theta + \phi) / 2 - \phi / 4$  となるように) 1/2 波長板 305 を制御することで、第 2 の方向 300b に進行する光による測定を行うことができる (図 12 (B))。

30

図 13 は、第 1 の実施形態における各光学素子の相対的な角度の関係を説明する図である。ここでは、測定光の振動方向角度と、1/2 波長板の主軸の角度と、光路切り替え素子 163 の相対的な角度の関係について説明する。例えば、偏光状態制御部 165 として 1/2 波長板 305、光路切り替え素子 163 として偏光ビームスプリッター 180 を用いる。偏光ビームスプリッター 180 は、入射面 309 に平行な振動方向を持つ直線偏光を透過 (即ち第 1 の方向 300a の方向に出射) し、入射面 309 に対して  $\phi / 2$  の角度を成す振動方向を持つ直線偏光を反射 (即ち第 2 の方向 300b の方向に出射) する。1/2 波長板 305 は、入射する直線偏光の振動方向が 1/2 波長板 305 の主軸と成す角度の 2 倍分、直線偏光の振動方向を傾けて出射する。

40

ここで、入射面 309 が、1/2 波長板 305 に入射する第 1 の測定光振動方向 306a に対して相対角度  $\phi$  の傾きを持っている場合を考える。

図 13 (A) に示すように、測定光を第 1 の方向 300a に照射する場合には、1/2 波長板 305 の主軸 308 が、1/2 波長板 305 に入射する第 1 の測定光振動方向 306a に対して  $\phi / 2$  の角度を保つように 1/2 波長板 305 を制御することで、1/2 波長板 305 から出射する測定光振動方向 307 が入射面 309 に対して平行を保つようにする。

50

また、図 13 (B) に示すように、測定光を第 2 の方向 300b に照射する場合には、1/2 波長板 305 の主軸 308 が、1/2 波長板 305 に入射する第 1 の測定光振動方向 306a に対して  $\theta/2 + \theta/4$  の角度を保つように 1/2 波長板 305 を制御することで、1/2 波長板 305 から出射する測定光振動方向 307 が入射面 309 に対して  $\theta/2$  の角度を保つようにする。

#### 【0030】

なお、先述したように、1/2 波長板 305 を偏光状態制御部駆動装置 166 で回転することにより、偏光状態制御部 165 の制御が可能となる。

#### 【0031】

図 2 の説明に戻る。また、他の例として、偏光状態制御部 165 に液晶素子を用いることができる。偏光状態制御部駆動装置 166 により、液晶素子に印加する電圧を制御し、液晶素子の旋光性を制御することにより、偏光状態制御部 165 は出力する測定光の偏光方向を変更することができる。

10

#### 【0032】

また、他の例として、レンズ系 161 からランダム偏光又は円偏光の偏光成分を有する測定光を出射し、偏光状態制御部 165 に偏光板を用い、偏光状態制御部駆動装置 166 で偏光板を回転させることにより、測定光の偏光方向を制御してもよい。この場合、偏光板の主軸の方向を  $\theta$  とすると、光路切り替え素子 163 の反射方向の  $\theta$  に対し、 $\theta = \theta$  又は  $\theta = \theta - \theta/2$  となるように偏光板の方向を制御する。これにより、光路切り替え素子 163 から出射される光の方向を第 1 の方向 300a 又は第 2 の方向 300b に切り替えることができる。

20

#### 【0033】

また、他の例として、偏光状態制御部 165 にファイバ型偏光制御素子を用いることができる。偏光状態制御部駆動装置 166 により、光ファイバにねじれや圧迫を加えれば、複屈折の誘起により、偏光状態制御部 165 から出力される測定光の偏光方向を制御することができる。

#### 【0034】

図 2 (B1) 及び図 2 (B2) は、複屈折板 181 とミラー 182 との組合せを光路切り替え素子 163 に用いた場合の例を示す。図 2 (B1) は、図 2 の奥行方向に測定光が偏光しており、図 2 (B2) は、図 2 の左右方向に測定光が偏光している状態を示している。

30

#### 【0035】

複屈折板 181 は、測定光の偏光状態に応じて光路をシフトさせる性質を有している。例えば図 2 (B1) 及び図 2 (B2) に示すように、図 2 の奥行方向に偏光した測定光を直進させ、図 2 の左右方向に偏光した測定光の光路をシフトするように複屈折板 181 を設置する。また、複屈折板 181 によりシフトした光路上にミラー 182 を配置することにより、シフトした測定光の出射方向を変更する。

#### 【0036】

これにより、図 2 (A1) 又は図 2 (A2) に示す場合と同様に、レンズ系 161 から出射される測定光と同じ光軸を有する第 1 の方向 300a か、又は第 1 の方向 300a と光軸の異なる第 2 の方向 300b か、に選択的に光を出射することができる。なお、図 2 (A1) 及び図 2 (A2) に示す場合と、複屈折板を光路切り替え素子 163 に用いる図 2 (B1) 及び図 2 (B2) に示す場合とでは、偏光方向と光の出射方向とが反対の関係にある。

40

#### 【0037】

本実施形態によれば、光路切り替え素子 163 から異なる方向に測定光を出射することができるため、測定プローブ先端部 164 を小型化することができる。例えば、測定プローブ先端部 164 にミラーを設置し、ミラーを駆動させることにより測定光の出射方向を異ならせる場合に比べ、測定プローブ先端部 164 内にミラーを駆動させるスペースを必要とせず、効率的に測定に用いる箇所を構成することが可能となる。

50



## 【 0 0 3 8 】

図 3 は、第 1 の実施形態における測距制御機構 1 1 0 の構成の一例を示す図である。図 3 に示す測距制御機構 1 1 0 は、F M C W (Frequency Modulated Continuous Waves) 又は S S - O C T (Swept-Source Optical Coherence Tomography) (あるいは波長掃引 O C T) を用いて対象物 T との距離を測定する。なお、F M C W は主に可干渉距離の長い光源を用いる長距離の計測に用いられ、S S - O C T は主に可干渉距離の短い光源を用いる微細構造の測定に用いられるが、基本原理は共通している。

## 【 0 0 3 9 】

図 3 に示す測距制御機構 1 1 0 は、先述の測定プローブ 1 6 0 の他、制御装置 2 1 0 と、表示装置 2 2 0 とに接続されている。制御装置 2 1 0 は、測距制御機構 1 1 0 から受信した情報を用いて対象物 T との距離を算出する距離演算部を備える。表示装置 2 2 0 は、測定結果を出力する。距離演算部は、測距制御機構 1 1 0 が有していてもよい。また、制御装置 2 1 0 は、測定プローブ 1 6 0 と直接通信可能に接続されていてもよい。

10

## 【 0 0 4 0 】

測距制御機構 1 1 0 は、レーザー光源 1 0 1 と、発振機 1 0 2 と、光ファイバケーブル 1 0 3 ・ 1 0 4 ・ 1 0 6 ・ 1 1 4 と、光ファイバ 1 0 5 と、受光器 1 0 7 ・ 1 0 9 と、サーキュレーター 1 0 8 と、参照ミラー 1 1 2 と、光スイッチ 1 1 3 a ・ 1 1 3 b と、測距制御機構制御部 1 1 1 と、を有する。

## 【 0 0 4 1 】

測距制御機構制御部 1 1 1 は、発振機 1 0 2 に対して掃引波形信号を送信する。発振機 1 0 2 は、レーザー光源 1 0 1 に対して三角波電流を注入し、駆動電流を変調する。結果として、レーザー光源 1 0 1 は、一定の変調速度で時間的に周波数掃引された F M (Frequency Modulated) 光を発生する。

20

## 【 0 0 4 2 】

なお、レーザー光源 1 0 1 を外部共振器付き半導体レーザー装置として構成し、レーザー光源 1 0 1 の共振波長を発振機 1 0 2 からの三角波状の制御信号により変化させてもよい。その結果、レーザー光源 1 0 1 から時間的に周波数掃引された F M 光が発生する。

## 【 0 0 4 3 】

発生した F M 光を光ファイバケーブル 1 0 3 で分割する。なお、光ファイバケーブル 1 0 3 ・ 1 0 4 ・ 1 1 4 はビームスプリッターであってもよい。分割された光の一方は参照光学系へと導光され、光ファイバケーブル 1 0 4 にてさらに分割される。

30

## 【 0 0 4 4 】

分割された光は光ファイバ 1 0 5 にて一定の光路差を設けた後、光ファイバケーブル 1 0 6 にて合波され、受光器 1 0 7 に受光される。これは、マッハツェンダー干渉計の構成となっており、受光器 1 0 7 では光路差に比例した一定のビート信号が発生する。

## 【 0 0 4 5 】

光ファイバケーブル 1 0 3 で分割された光の他方は、サーキュレーター 1 0 8 を通過し、光ファイバケーブル 1 1 4 によって分岐され、一方は参照ミラー 1 1 2 に反射して参照光となり、他方は測定プローブ 1 6 0 から対象物 T に照射される。図 3 に示す測距制御機構 1 1 0 は、光スイッチ 1 1 3 a ・ 1 1 3 b を有しているが、これらについては後述する。

40

## 【 0 0 4 6 】

対象物 T に反射した光が接続ケーブル 1 5 0 を介して測距制御機構 1 1 0 に戻る。戻った測定光は光スイッチ 1 1 3 a ・ 1 1 3 b を通過し、参照ミラー 1 1 2 に反射された参照光と光ファイバケーブル 1 1 4 で合流し、サーキュレーター 1 0 8 により受光器 1 0 9 に導光される。参照光と測定光との干渉により発生するビート信号が検出される。

## 【 0 0 4 7 】

測距制御機構制御部 1 1 1 は、受光器 1 0 7 で受光された参照ビート信号をサンプリングクロックとして、受光器 1 0 9 で受光された測定ビート信号を A / D 変換する。又は、参照ビート信号と測定ビート信号とを一定のサンプリングクロックでサンプリングする。

## 【 0 0 4 8 】

50

より具体的には、参照ビート信号は、ヒルベルト変換を行うことにより、90度位相のずれた信号を作り出すことができる。ヒルベルト変換の前後の参照信号から、信号の局所位相を求めることが可能であるため、この位相を補間することで、参照信号が一定の位相となるタイミングを求めることができる。

【0049】

このタイミングに合わせて、測定ビート信号を補間サンプリングすることで、参照信号を基準として測定信号をリサンプリングすることが可能となる。または、測距制御機構制御部111の有するAD/DA変換機で参照ビート信号をサンプリングクロックとして測定信号をサンプリングしてA/D変換しても、同様の効果を奏する。

【0050】

ビート信号の解析に関し、測定光と参照光との受光器109への到達時間には差  $t$  があるが、この間に光源の周波数が変化しているので、これによる周波数差に等しいビート周波数  $f_b$  のビート信号が検出される。周波数掃引幅を  $\Delta f$  とし、 $T$  だけ変調するのに要する時間を  $T$  とすると、次式の関係がある。

【0051】

【数1】

$$\Delta t = \frac{T}{2\Delta f} f_b \quad \dots (1)$$

【0052】

測定対象までの距離  $L$  は、 $t$  の間に光が進む距離の半分なので、大気中の光速度  $c$  を用いて、次式のように算出できる。

【0053】

【数2】

$$L = \frac{cT}{2\Delta f} f_b \quad \dots (2)$$

【0054】

測距制御機構制御部111において得られた測定信号をFFT (First Fourier Transform: 高速フーリエ変換) して、ピーク位置と大きさを求めると、対象物Tの反射位置と反射光量にそれぞれ対応する。OCT装置においては、生体などの半透明体の散乱位置と散乱の大きさの可視化が望まれるため、FFTの振幅スペクトルをそのまま用いることができる。本実施形態では、対象物Tの表面の位置を正確に求めるため、図4に示すような補間を行って距離検出分解能を高める。

【0055】

図4は、反射強度プロファイルから被測定物表面における反射位置を求める方法の一例を示す図である。本図の横軸がFFTの周波数軸、縦軸が反射強度とすると、ピーク付近は本図に示すような離散的なデータとなる。点の間隔、即ち距離分解能は、 $c/2\Delta f$  となる。SS-OCTとして一般的な波長1300nm、掃引幅100nmに対して  $\Delta f = 17.8 \text{ THz}$  なので、距離分解能  $c/2\Delta f = 8.4 \mu\text{m}$  となる。

【0056】

また、FMCWに対して一般的な波長1500nm、掃引幅2nmに対しては、 $\Delta f = 267 \text{ GHz}$  なので、距離分解能  $c/2\Delta f = 0.56 \text{ mm}$  となる。これに対し、図4に示すように頂点付近の3点以上の点を用いて、二次関数又はガウス関数といった関数を当てはめ、当てはめられた関数のピークを用いると、分解能を1/10程度に高めることが可能となる。

【0057】

説明を図3に戻す。ここで、光スイッチ113a・113bについて説明する。参照光

10

20

30

40

50

と測定光との干渉によるビート信号を得るためには、光ファイバカプラ 114 から参照ミラー 112 までの光路長と、光ファイバカプラ 114 から対象物 T までの光路長の差が、レーザー光源 101 の可干渉距離以下である必要がある。これを防ぐため、光ファイバカプラ 114 から対象物 T までの距離に応じて光スイッチ 113a と光スイッチ 113b とを同時に切り替えて、各スイッチ間の光ファイバの長さを変更する。

【0058】

また、光ファイバカプラ 114 から参照ミラー 112 までの光路長と、光ファイバカプラ 114 から対象物 T までの光路長の差が長すぎる場合、即ち可干渉距離が長い場合にも、ビート周波数が高くなりすぎて受光器 109 で検出できなくなる。そのため、ビート周波数が受光器 109 で検出可能な周波数となるように、光スイッチ 113a と光スイッチ 113b とを同時に切り替え、各スイッチ間の光ファイバの長さを変更する。

10

【0059】

なお、図 3 では、切り替える光ファイバは 2 本であるが、測定対象の範囲に応じて 3 本以上の光ファイバを設置し、長さを切り替えるものであってもよい。また、切り替えるタイミングは、一定であってもよいし、対象物 T の光路切り替え素子 163 からの距離等の状況に応じて変更するものであってもよい。例えば、光路切り替え素子 163 の回転に同期して、1 回転ごとに光スイッチ 113a 及び光スイッチ 113b を切り替えてもよい。

【0060】

また、光路には光ファイバを用いるものとして説明しているが、一旦光ファイバーコリメーター等を用いて自由空間を伝播する光とし、光をミラー等で切り替えたり、ミラーを移動させたりして光路長を変更してもよい。

20

【0061】

また、分岐に用いる光ファイバカプラ 114 と参照ミラー 112 との間の光路に光スイッチ 113a・113b を設け、同様に光スイッチ 113a・113b の間の光ファイバの長さを切り替えてもよい。なお、光スイッチ 113a・113b は、測距制御機構制御部 111 により切り替えを制御される。

【0062】

なお、図 3 において、光ファイバカプラ 114 から光スイッチ 113b までの光路は測距制御機構 110 に設置されている。しかしながら、これらの光路は、測距制御機構 110 でなく、測定プローブ 160 内に設置されてもよい。

30

【0063】

また、測距制御機構 110 を用いて行われる距離測定方法は、上述の例に限られない。例えば、TOF (Time Of Flight) 法のように、パルス又はパースト状の光を対象物 T に照射し、パルス又はパーストが受光されるまでの時間を測定する方法、Phase・Shift 法、又は光コム測距法のように連続的に強度変調された光を対象物 T に照射して、受光した信号の位相を測定する方法が使用できる。また、焦点ずれを測定することにより距離を測定してもよいし、白色共焦点法、非点収差法、ナイフエッジ法、コノスコピックホログラフィ法を使用することもできる。

【0064】

図 5 は、第 1 の実施形態における測距制御機構 110 の構成の他の例を示す図である。図 5 に示す測距制御機構 110 は、測距の原理として、SD-OCT (Spectral Domain-Optical Coherence Tomography) (又は周波数ドメイン OCT) を用いた構成例である。測距制御機構 110 は、サーキュレーター 108 と、光ファイバカプラ 114 と、参照ミラー 112 と、測距制御機構制御部 111 との他、広帯域光源 115 と、分光器 116 と、を有する。

40

【0065】

広帯域光源 115 で生成された測定光は、光ファイバを経由してサーキュレーター 108 に到達する。サーキュレーター 108 から導出された測定光は光ファイバカプラ 114 により分割され、分割された測定光の一部が測定プローブ 160 を介して対象物 T に対して出射される。分割された測定光の一部は参照光として参照ミラー 112 に反射される。

50

対象物 T に反射した測定光は測定プローブ 160 を経由して測距制御機構 110 に戻り、参照ミラー 112 に反射した反射光と光ファイバケーブル 114 で合流し、サーキュレータ 108 を経由して分光器 116 にて検出される。

【0066】

検出される光のスペクトルは、横軸を光の波数、縦軸を強度とすると、対象物 T と参照ミラー 112 との間の光路長の差に比例した周波数の振動を示す。そのため、本図に示す測距制御機構制御部 111 は、この周波数を解析することで距離測定を実現する。

【0067】

測距制御機構 110 の構成のさらに他の例について説明する。測距制御機構 110 は、測距に白色共焦点法を用いた構成を採用することが可能である。その場合、測距制御機構 110 は、図 5 に示す参照ミラー 112 と光ファイバケーブル 114 を含まず、代わりにレンズ系 161 に意図的に色収差が生じるように構成する。また、測定光の波長によって焦点位置が異なるような測定プローブ 160 を用いる。

【0068】

この場合、対象物 T に反射又は散乱した光はレンズ系 161 で再度集光されて測距制御機構 110 に戻る際に、対象物 T との距離で焦点が合う波長のみが捕捉される。即ち、分光器 116 でこの光を検出し、スペクトルがピークとなる波長を測距制御機構制御部 111 で算出すると、対象物 T の測距が実現できる。本構成例によれば、FFT を行わずとも、検出されたスペクトルデータそのものを図 4 に示すデータとして得ることができる。

【0069】

図 6 は、立体形状測定装置 20 の一例を示す模式図である。本実施形態における立体形状測定装置 20 は、距離測定装置 10 の機能を用いて対象物 T の立体形状を測定する。立体形状測定装置 20 は、移動機構を有する。移動機構は、XZ 軸移動機構 251 と、Y 軸移動機構 252 と、を有する。XZ 軸移動機構 251 には、測定プローブ 160 が設置される。図 6 に示す XZ 軸移動機構 251 には、測定プローブ 160 を有する距離測定装置 10 が設置されている。

【0070】

XZ 軸移動機構 251 は、X 軸方向（図 6 に示す左右方向）及び Z 軸方向（図 6 に示す上下方向）に移動する。XZ 軸移動機構 251 は測定プローブ 160 を支持しており、XZ 軸移動機構 251 の移動に伴って測定プローブ先端部 164 が移動する。Y 軸移動機構 252 は、門型の構造物あって、Y 軸方向（図 6 に示す奥行方向）に移動する。Y 軸移動機構 252 は、XZ 軸移動機構 251 を支持しており、Y 軸移動機構 252 の移動に伴い、XZ 軸移動機構 251 に指示された測定プローブ先端部 164 が移動する。

【0071】

なお、移動機構の構成はこれに限られず、測定プローブ先端部 164 を 3 軸方向に移動させるものであれば方法を問わない。例えば、測距制御機構 110 を XZ 軸移動機構 251 に設置せず、測定プローブ 160 のみを XZ 軸移動機構 251 に設置することにより、測定プローブ先端部 164 を 3 軸方向に移動させてもよい。

【0072】

本実施形態における立体形状測定装置 20 は、3 次元測定器において用いられる一般的な軸構成を有しているが、3 次元測定器のプローブの代わりに本実施形態の距離測定装置 10 の測定プローブ 160 を設置することで、高機能な非接触型形状測定を実現することが可能となる。

【0073】

また、一般的な 3 軸加工器では、Z 軸は工具側、X 軸及び Y 軸は対象物 T 側に設けることが多く、その構成は図 6 に示す立体形状測定装置 20 の構成とは異なる。しかしながら、3 軸加工器において本実施形態における測定プローブ 160 を設置することで、加工機上オンマシン測定を実現することが可能となる。

【0074】

また、多自由度系ロボットに本実施形態の測定プローブ 160 を設置し、測定プローブ

10

20

30

40

50

先端部 164 を移動させることにより、より自由度の高い測定を可能とする立体形状測定装置 20 を構成することができる。

【0075】

図 7 は、立体形状測定装置 20 の他の例を示す模式図である。図 6 に示す立体形状測定装置 20 と異なる点を説明する。図 7 に示す立体形状測定装置 20 の有する移動機構は、XZ 軸移動機構 251 と、Y 軸移動機構 252 の他、回転機構 256 を有する。回転機構 256 は構造物 254 に支持された回転軸 253 により係止され、回転軸 253 周りに回転する。また、回転機構 256 は、回転軸 253 に直交する図示しない回転軸であって、図 7 に示す Z 軸方向に延伸する回転軸周りに回転する。

【0076】

回転機構 256 には試料台 255 が設置されており、試料台 255 は回転機構 256 の回転に伴い回転する。これにより、試料台 255 に設置された対象物 T が移動する。本構成により、対象物 T の 2 自由度の姿勢を制御することができる。

【0077】

即ち、図 7 に示す立体形状測定装置 20 は、XZ 軸移動機構 251 及び Y 軸移動機構 252 を用いて測定プローブ 160 と対象物 T との間の相対位置 3 自由度を制御できただけでなく、回転機構 256 を用いて相対位置 2 自由度を制御することができ、合計 5 自由度の制御が可能となる。これにより、対象物 T のあらゆる箇所をあらゆる方向から測定することができる。

【0078】

なお、一般的な 5 軸加工器において、測定プローブ 160 を設置することで、加工機上オンマシン測定を実現することが可能となる。付言すると、加工機によって自由度の数や構成が異なるため、本実施形態における立体形状測定装置 20 は、図 6 及び図 7 に示す構成に限定されるものではない。

【0079】

図 8 は、立体形状測定装置 20 の機能ブロックの一例を示す図である。立体形状測定装置 20 は、演算部 260 と、測距制御機構 110 と、測定プローブ 160 と、表示部 280 と、移動機構 250 と、を備える。測距制御機構 110 と測定プローブ 160 とは、上述の例と同様である。演算部 260 は、図示しない CPU (Central Processing Unit) 等の演算装置を用いて、立体形状測定処理全体を統括的に制御する。表示部 280 は、測定結果を出力する装置であって、上述の表示装置 220 と同様の機能を有する。

【0080】

演算部 260 は、距離演算部 261 と、形状算出部 262 と、移動機構制御部 263 とを備える。距離演算部 261 は、測距制御機構 110 により取り込まれた測定ビート信号と参照ビート信号を解析し、距離に変換する。また、距離演算部 261 は、測定プローブ 160 を制御し、測定プローブ先端部 164 の回転角度と、該回転に同期した偏光光の偏光状態を制御する。

【0081】

形状算出部 262 は、距離演算部 261 により通知されるデータを用いて、対象物 T の形状を測定する。距離演算部 261 により通知されるデータには、測定光の検出方向のデータが含まれる。形状算出部 262 により測定された情報は、表示部 280 を介して出力される。

【0082】

移動機構制御部 263 は、移動機構 250 を制御し、測定プローブ 160 と対象物 T との間の相対位置を制御する。移動機構制御部 263 により制御された対象物 T の位置や姿勢は、距離演算部 261 に通知される。なお、演算部 260 は、測距制御機構 110 や測定プローブ 160 内に設置されてもよい。

【0083】

< 第 2 の実施形態 >

【0084】

10

20

30

40

50

次に、第２の実施形態における距離測定装置３０について説明する。

【００８５】

図９は、第２の実施形態における距離測定装置３０の一例を示す模式図である。以下、第１の実施形態と異なる点を説明する。本実施形態における距離測定装置３０は、偏光状態制御部駆動装置１６６と偏光状態制御部１６５とを有しない点で、第１の実施形態における距離測定装置１０と異なる。本実施形態における距離測定装置３０は、測定光の偏光状態ではなく、波長を用いることにより、測定光の出射方向の切り替えを行う。

【００８６】

測距制御機構１１０を出射した測定光は、レンズ系１６１を経由して光路切り替え素子１６３に導入される。

10

【００８７】

図２（Ｃ１）及び図２（Ｃ２）は、第２の実施形態における光路切り替え素子１６３の動作を説明するための図である。図２（Ｃ１）及び図２（Ｃ２）は、光路切り替え素子１６３にダイクロイックミラー１８３を用いた場合の例を示す。なお、ダイクロイックミラー１８３は、ダイクロイックプリズムであってもよい。

【００８８】

ダイクロイックミラー及びダイクロイックプリズムは、ある波長を境界として、境界より長い波長の光を反射し、短い波長の光を透過する。又は、境界より短い波長の光を反射し、長い波長の光を透過する。図２（Ｃ１）は、測定光が透過している状態を示している。測定光は、第１の方向３００ａに進行している。図２（Ｃ２）は、測定光が反射している状態を示している。測定光は、該測定光と略直交する第２の方向３００ｂに進行している。即ち、光路切り替え素子１６３にダイクロイックミラー１８３を用いることにより、異なる方向に測定光を出射することが可能となる。

20

【００８９】

なお、第１の実施形態と同様に、本実施形態における光路切り替え素子１６３は、対象物Ｔに反射した光を取り込み、出射の経路を逆行して測距制御機構１１０へと導く。

【００９０】

図１０は、第２の実施形態における測距制御機構１１０の構成の一例を示す図である。本態様における測距制御機構１１０は、光ファイバカプラ１０３・１０４・１０６・１１４と、光ファイバ１０５と、受光器１０７・１０９と、サーキュレーター１０８と、参照ミラー１１２と、光スイッチ１１３ａ・１１３ｂと、測距制御機構制御部１１１と、のほか、レーザー光源１０１ａ・１０１ｂと、発振機１０２ａ・１０２ｂと、光ファイバ切り替え器１９１と、を有する。

30

【００９１】

レーザー光源１０１ａ及びレーザー光源１０１ｂとは、各々波長が異なる。発振機１０２ａはレーザー光源１０１ａを、発振機１０２ｂはレーザー光源１０１ｂを、各々発振する。なお、レーザー光源１０１ａ及びレーザー光源１０１ｂを一つの発振機１０２で発振してもよい。

【００９２】

発振機１０２ａ及び発振機１０２ｂから出射された光は、光ファイバ切り替え器１９１により選択的に制御される。光ファイバ切り替え器１９１は、測距制御機構制御部１１１により制御される。なお、光ファイバ切り替え器１９１に代えて、異なる波長の光を一つの光ファイバに合流させる素子を用いてもよい。例えば、いわゆるＷＤＭ(Wavelength Division Multiplexing)カプラを用いることができる。この場合、レーザー光源１０１ａからの光か、又はレーザー光源１０１ｂからの光かを測距制御機構制御部１１１に選択させることにより、測定光の波長を選択することができる。

40

【００９３】

本態様の測距制御機構１１０を用いることにより、波長の異なる光を光路切り替え素子１６３に選択的に入射することができる。その結果、光路切り替え素子１６３から、第１の方向３００ａ又は第２の方向３００ｂに選択的に測定光が出射される。

50

## 【0094】

図11は、第2の実施形態における測距制御機構110の構成の他の例を示す図である。本態様における測距制御機構110は、2式のOCT/FMCW用光生成・検出部171a・171bを有している。OCT/FMCW用光生成・検出部171a・171bは、各々、レーザー光源101と、発振機102と、光ファイバカプラ103・104・106と、光ファイバ105と、受光器107・109と、サーキュレーター108と、を有している。OCT/FMCW用光生成・検出部171aと、OCT/FMCW用光生成・検出部171bとによるレーザーダイオードは、波長域が異なる。

## 【0095】

また、本態様における測距制御機構110は、WDMカプラ192を有している。WDMカプラ192は、OCT/FMCW用光生成・検出部171aと、OCT/FMCW用光生成・検出部171bとから出射された光を合流し、光ファイバカプラ114に入射させる。

## 【0096】

本構成により、2種類の波長域の測定光を同時に生成する。その結果、光路切り替え素子163から第1の方向300aと第2の方向300bへと同時に測定光が出射される。反射光の測定ビート信号と参照ビート信号とを、OCT/FMCW用光生成・検出部171aと、OCT/FMCW用光生成・検出部171bとの各々の有する受光器107及び受光器109で検出し、測距制御機構制御部111で2セットの信号を並行して処理する。これにより、第1の方向300aと、第2の方向300bとの距離測定を並行して行うことができる。

## 【0097】

以上、第1の実施形態及び第2の実施形態では、測定光の性質と光路切り替え素子163との組合せにより、光路切り替え素子163から異なる2方向に測定光を出力する。これにより、測定プローブ先端部164においてミラーを可動させる等の構成を必要とせず、測定に用いる構成を小型化することが可能となる。

## 【0098】

<第3の実施形態>

## 【0099】

次に、第3の実施形態における距離測定装置40について説明する。

## 【0100】

図14は、第3の実施形態における距離測定装置40の一例を示す模式図である。以下、第1の実施形態と異なる点を説明する。本実施形態における距離測定装置30は、測距制御機構110の後段に、偏光安定化装置301と直線偏光切り替えスイッチ302を備える。本実施形態では、偏光状態制御部165として1/2波長板を用いる。

## 【0101】

偏光安定化装置301は、入力された測定光の偏光状態を一定方向に振動する直線偏光に安定化させて出力する機能を持つ。直線偏光切り替えスイッチ302は、内蔵する液晶素子への電圧の印加によって、入力された測定光の直線偏光の方向を1/2回転させて出力する機能を持つ。なお、偏光安定化装置301と直線偏光切り替えスイッチ302は、所望の振動方向を持つ直線偏光を出力するために用いており、一般的な偏光状態解析器と偏光状態発生器の組合せでも実現できる。

## 【0102】

ここで、直線偏光切り替えスイッチ302に電圧を印加しない場合（オフ）の、1/2波長板に入射する直線偏光の振動方向の角度を $\theta$ とすると、直線偏光切り替えスイッチ302に電圧を印加した場合（オン）に出射される直線偏光の振動方向の角度は $\theta + \pi/2$ となる。なお、角度 $\theta$ 、さらに後述する角度 $\theta_0$ および $\theta_1$ は、第1の方向300a（座標軸zと平行）に直交する座標軸xを基準とした絶対的な回転角度とする。

## 【0103】

ここで、回転機構162により回転する光路切り替え素子163が光を反射させる方向

10

20

30

40

50

の角度を  $\theta$  とし、 $1/2$  波長板の主軸の方向を  $\theta$  とする。このとき、直線偏光切り替えスイッチ 302 に電圧を印加せずに、 $\theta = 2\alpha - \beta$  を保つように（即ち、 $\theta = (\alpha + \beta)/2$  となるように） $1/2$  波長板を制御することで、第 1 の方向 300 a に進行する光による測定を行うことができる。また、直線偏光切り替えスイッチ 302 に電圧を印加し、 $1/2$  波長板を  $\theta = 2\alpha - \beta$  の角度を保つように制御することで、第 2 の方向 300 b に進行する光による測定を行うことができる。

#### 【0104】

図 15 は、第 3 の実施形態における各光学素子の相対的な角度の関係を説明する図である。ここでは、測定光の振動方向角度と、 $1/2$  波長板の主軸の角度と、光路切り替え素子 163 の相対的な角度の関係について説明する。例えば、偏光状態制御部 165 として  $1/2$  波長板 305、光路切り替え素子 163 として偏光ビームスプリッター 180 を用いる。偏光ビームスプリッター 180 は、入射面 309 に平行な振動方向を持つ直線偏光を透過（即ち第 1 の方向 300 a の方向に出射）し、入射面 309 に対して  $\theta/2$  の角度を成す振動方向を持つ直線偏光を反射（即ち第 2 の方向 300 b の方向に出射）する。 $1/2$  波長板 305 は、入射する直線偏光の振動方向が  $1/2$  波長板 305 の主軸と成す角度の 2 倍分、直線偏光の振動方向を傾けて出射する。

#### 【0105】

ここで、入射面 309 が、 $1/2$  波長板 305 に入射する第 1 の測定光振動方向 306 a に対して相対角度  $\theta$  の傾きを持っている場合を考える。

#### 【0106】

図 15 (A) に示すように、測定光を第 1 の方向 300 a に照射する場合には、まず直線偏光切り替えスイッチ 302 をオフすることによって、 $1/2$  波長板 305 に入射する測定光振動方向を、第 1 の測定光振動方向 306 a に切り替える。このとき、 $1/2$  波長板 305 の主軸 308 の角度が、 $1/2$  波長板 305 に入射する第 1 の測定光振動方向 306 a に対して  $\theta/2$  の角度を保つように  $1/2$  波長板 305 を制御することで、 $1/2$  波長板 305 から出射する測定光振動方向 307 が入射面 309 に対して平行を保つようにする。

#### 【0107】

また、図 15 (B) に示すように、測定光を第 2 の方向 300 b に照射する場合には、まず直線偏光切り替えスイッチ 302 をオンすることによって、 $1/2$  波長板 305 に入射する測定光振動方向を、第 1 の測定光振動方向 306 a から第 2 の測定光振動方向 306 b に切り替える。このとき、 $1/2$  波長板 305 の主軸 308 の角度が、図 13 (A) の場合と同じ角度（即ち第 2 の測定光振動方向 306 b に対する  $1/2$  波長板 305 の主軸 308 の角度が  $\theta/2 + \theta/2$ ）となるように制御することで、 $1/2$  波長板 305 から出射する測定光振動方向 307 が入射面 309 に対して  $\theta/2$  の角度を保つようにする。

#### 【0108】

つまり、第 3 の実施形態によれば、 $1/2$  波長板 305 の主軸 308 の角度は、測定方向によらず一定となるため、偏光状態制御部駆動装置 166 の制御を簡易にすることができる。また、偏光状態制御部駆動装置 166 の機械的な動作を伴わずに、直線偏光切り替えスイッチ 302 の電氣的な制御によって測定方向を変更することで、高速な測定方向の切り替えが可能となる。これにより計測時間の大幅な短縮が実現する。

#### 【0109】

第 1 の実施形態においては、偏光状態制御部駆動装置 166 として、一般的なサーボモータを用いて、第 1 の方向 300 a から第 2 の方向 300 b へと測定方向の変更を行うことができる。例えば、回転速度 500 rpm のサーボモータを用いた場合には、サーボモータを  $\pi/4$  回転させるため、少なくとも約 100 ミリ秒程度の測定方向切り替え時間を要することになる。

#### 【0110】

これに対して、一般的な直線偏光切り替えスイッチ 302 による測定方向の切り替え速

10

20

30

40

50



度は約 0.1 ミリ秒以下程度であるため、第 3 の実施形態で示す構成によって高速な測定方向切り替えが可能となる。

【0111】

図 16 は、第 3 の実施形態における立体形状測定装置 50 の機能ブロックの一例を示す図である。以下、第 1 の実施形態と異なる点を説明する。立体形状測定装置 50 は、図 8 に示す立体形状測定装置 20 の機能に加え、偏光切り替え部 310 を備える。

【0112】

偏光切り替え部 310 は、測定光の偏光状態を直線偏光に保ち、測定方向によって偏光状態を切り替える装置であって、切り替えた直線偏光を測定プローブ 160 に伝送する。偏光切り替え部 310 は、偏光安定化装置 301 と直線偏光切り替えスイッチ 302 に相当する。偏光切り替え部 310 (直線偏光切り替えスイッチ 302) は、ユーザの手動操作によって測定方向を切り替えてもよいし、距離演算部 261 からの制御によって測定方向を切り替えてもよい。

【0113】

< 第 4 の実施形態 >

【0114】

図 17 は、第 4 の実施形態における測定プローブ先端部 164 の構成の例を示す図である。測定プローブ先端部 164 は、光路切り替え素子 163 に加え、1 つ又は 2 つの集光レンズ系 304 を備える。

【0115】

レンズ系 161 によって集光状態を整形された測定光 303 は、光路切り替え素子 163 の前又は後ろに位置する集光レンズ系 304 によって集光される。例えばレンズ系 161 によって測定光 303 を平行光に整形した場合には、測定光 303 の集光位置は集光レンズ系 304 によって決定される。

【0116】

図 17 (A) の例では、偏光状態制御部 165 と光路切り替え素子 163 の間に集光レンズ系 304 が配置されている。この場合、第 1 の方向 300a 及び第 2 の方向 300b のいずれの方向への測定光も、同じ焦点距離で集光される。後述の図 17 (B) と比べると、使用する集光レンズ系 304 が 1 つであるため、製作が簡易で測定プローブ先端部 164 の小径化が可能となる。

【0117】

図 17 (B) の例では、光路切り替え素子 163 と測定対象 T の間に、異なる測定方向 (第 1 の方向 300a 及び第 2 の方向 300b) にそれぞれ集光レンズ系 304 が配置されている。この場合、第 1 の方向 300a 及び第 2 の方向 300b のいずれの方向への測定光も同じ焦点距離に集光されるように各集光レンズ系 304 を構成してもよいし、それぞれ異なる焦点距離に集光されるように各集光レンズ系 304 を構成してもよい。例えば対象物 T までの測定方向別の距離 a および b が大きく異なる場合には、それぞれの距離に応じた焦点距離を選択することが可能となる。

【0118】

焦点距離の異なる複数の測定プローブ先端部 164 を用意し、測定プローブ先端部 164 を測定プローブ 160 に対して着脱交換可能に構成してもよい。例えば、対象物 T の穴径に応じて測定プローブ先端部 164 を交換することで、測定光 303 の集光位置を測定対象 T までの距離に適應するように調整することが可能となる。

【0119】

なお、上述の第 1 ~ 第 3 実施形態では、レンズ系 161 に、例えば電動式の焦点可変レンズのような焦点可変機構を持たせることで、対象物 T への測定距離に応じて測定光の焦点位置を調整することができる。これに対して、第 4 実施形態では、測定プローブ先端部 164 を着脱交換可能とすることで、焦点可変機構をレンズ系 161 に持たせる必要がなくなる。

【0120】

Z軸方向の長さの異なる複数の測定プローブ先端部164を用意し、測定プローブ先端部164を測定プローブ160に対して着脱交換可能に構成してもよい。例えば、対象物Tの穴の深さに応じて測定プローブ先端部164を交換することで、測定対象Tに確実に測定光が届くように調整することが可能となる。

【0121】

また、仕様が同じ複数の測定プローブ先端部164を用意し、測定プローブ先端部164を測定プローブ160に対して着脱交換可能に構成してもよい。このようにすれば、測定プローブ先端部164が破損した際に、測定プローブ160全部を修理するのではなく、測定プローブ先端部164のみ交換することができる。

【0122】

さらに、測定プローブ先端部164と測定プローブ160の接合部には、光路切り替え素子163と偏光状態制御部165の相対的な位置関係を拘束可能な構造を持たせることで、交換時の調整を簡易化することができる。

【0123】

このように、本実施形態では、測定プローブ先端部164の長さの変更、測定方向毎の焦点距離の変更を容易に選択できるため、ユーザの用途に応じた計測を助けることができる。

【0124】

なお、上述の各実施形態において、距離測定精度を維持するために、測定プローブ先端部164は、環境温度変化による膨張・収縮や、自重たわみ、あるいは回転に伴う振動を抑制する必要がある。これらの要求を満たす測定プローブ先端部164の材質の一例としては、軽量、高強度、高剛性、高振動減衰性、低熱膨張率等を特徴とするCFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)が挙げられる。

【0125】

以上、本発明に係る各実施形態及び変形例の説明を行ってきたが、本発明は、上記した実施形態の一例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施形態の一例は、本発明を分かり易くするために詳細に説明したものであり、本発明は、ここで説明した全ての構成を備えるものに限定されない。また、ある実施形態の一例の構成の一部を他の一例の構成に置き換えることが可能である。また、ある実施形態の一例の構成に他の一例の構成を加えることも可能である。また、各実施形態の一例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることもできる。また、上記の各構成、機能、処理部、処理手段等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現してもよい。また、図中の制御線や情報線は、説明上必要と考えられるものを示しており、全てを示しているとは限らない。ほとんど全ての構成が相互に接続されていると考えてもよい。

【0126】

また、上記の距離測定装置の構成は、処理内容に応じて、さらに多くの構成要素に分類することもできる。また、1つの構成要素がさらに多くの処理を実行するように分類することもできる。

【符号の説明】

【0127】

10・30：距離測定装置、20：立体形状測定装置、101・101a・101b：レーザー光源、102・102a：102b：発振機、103・104・106・114：光ファイバケーブル、105：光ファイバ、107・109：受光器、108：サーキュレーター、110：測距制御機構、111：測距制御機構制御部、112：参照ミラー、113a・113b：光スイッチ、115：広帯域光源、116：分光器、150：接続ケーブル、160：測定プローブ、161：レンズ系、162・256：回転機構、163：光路切り替え素子、164：測定プローブ先端部、165：偏光状態制御部、166：偏光状態制御部駆動装置、171a・171b：OCT/FMCW用光生成・検出部、180：偏光ビームスプリッター、181：複屈折板、182：ミラー、183：ダイクロ

10

20

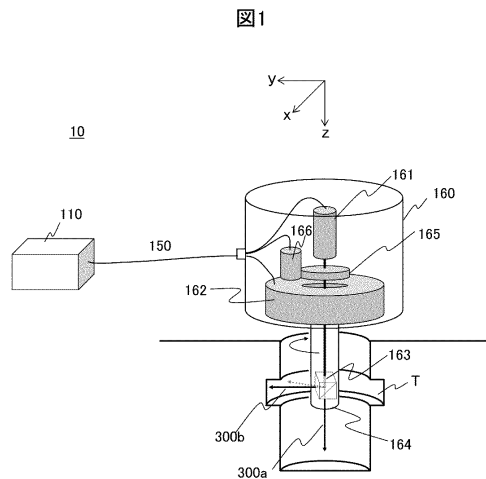
30

40

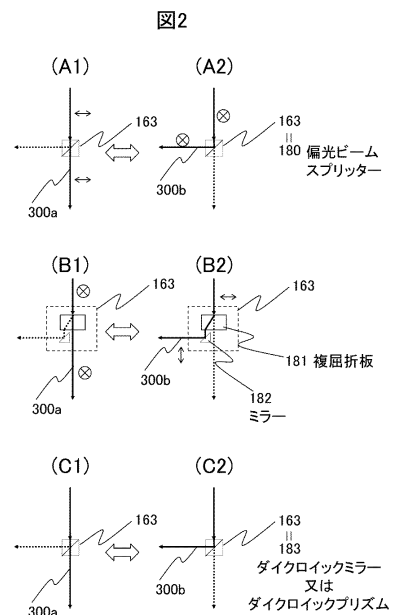
50

イックミラー、191：光ファイバ切り替え器、192：WDMカプラ、210：制御装置、220：表示装置、250：移動機構、260：演算部、261：距離演算部、262：形状算出部、263：移動機構制御部、251：XZ軸移動機構、252：Y軸移動機構、253：回転軸、254：構造物、255：試料台、280：表示部、300a：第1の方向、300b：第2の方向、301：偏光安定化装置、302：直線偏光切り替えスイッチ、303：測定光、304：集光レンズ系、305：1/2波長板、306a：1/2波長板に入射する第1の測定光振動方向、306b：1/2波長板に入射する第2の測定光振動方向、307：1/2波長板から出射する測定光振動方向、308：1/2波長板の主軸、309：入射面、310：偏光切り替え部、T：対象物

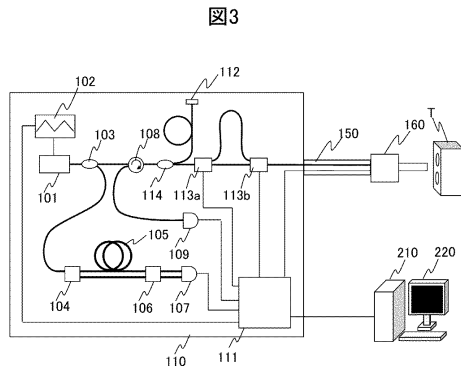
【図1】



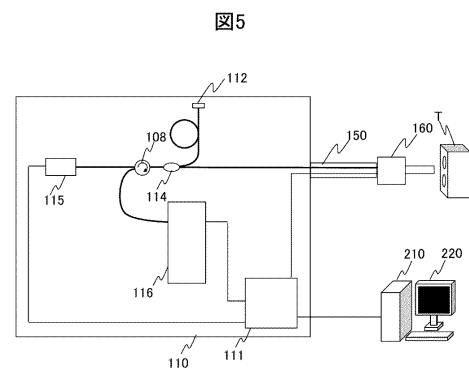
【図2】



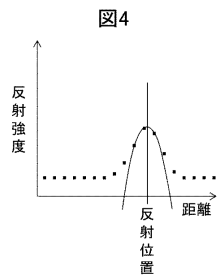
【図 3】



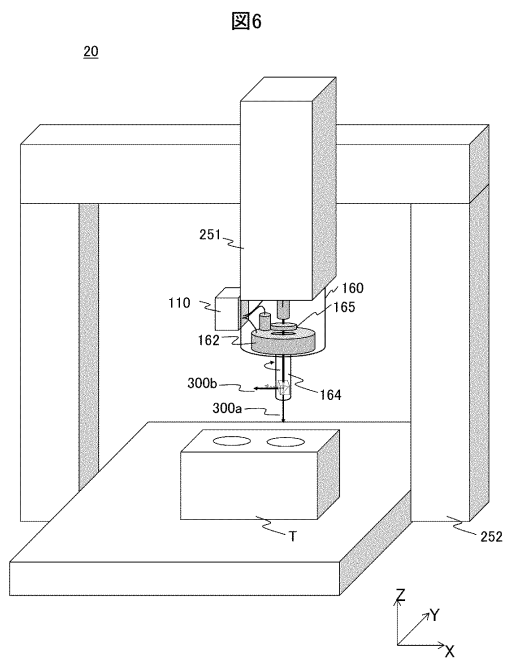
【図 5】



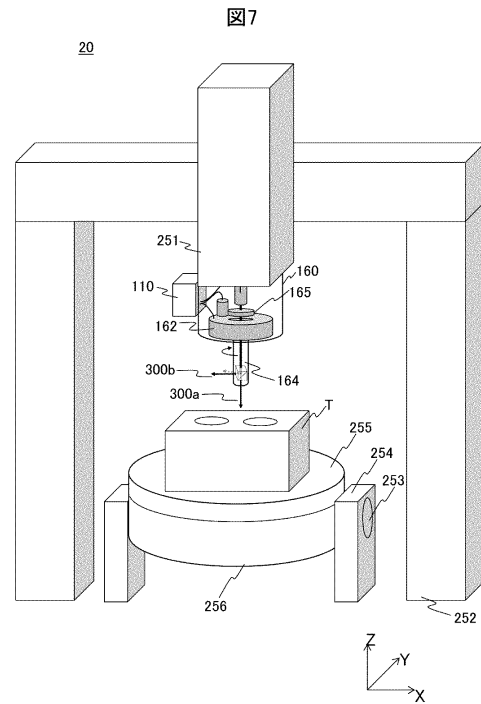
【図 4】



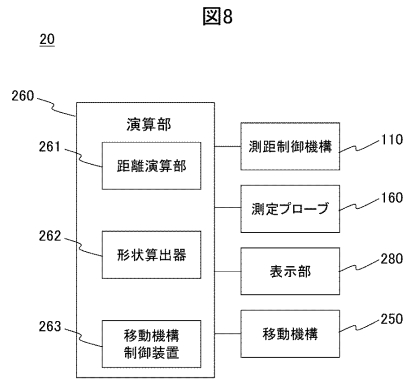
【図 6】



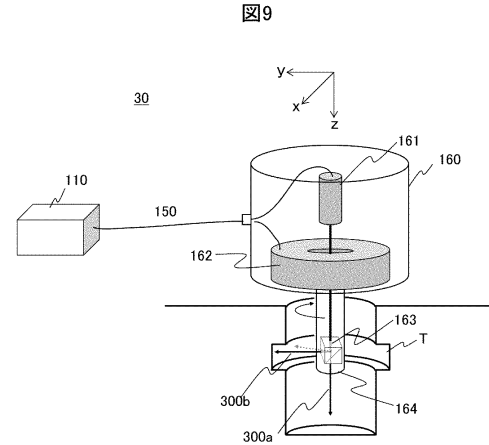
【図 7】



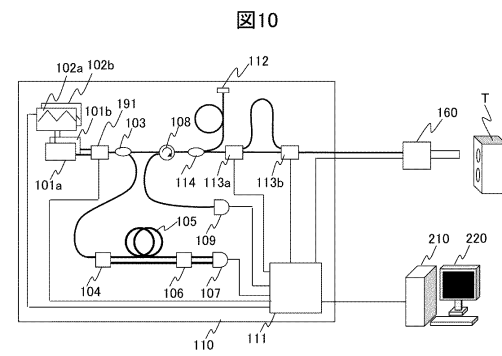
【図 8】



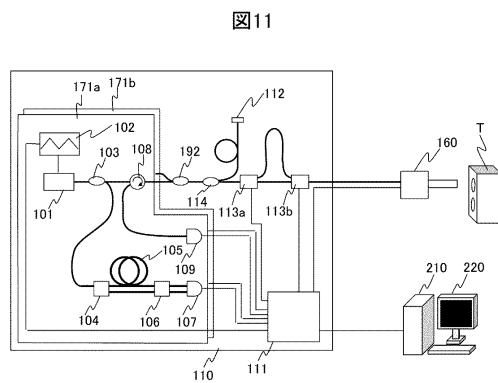
【図 9】



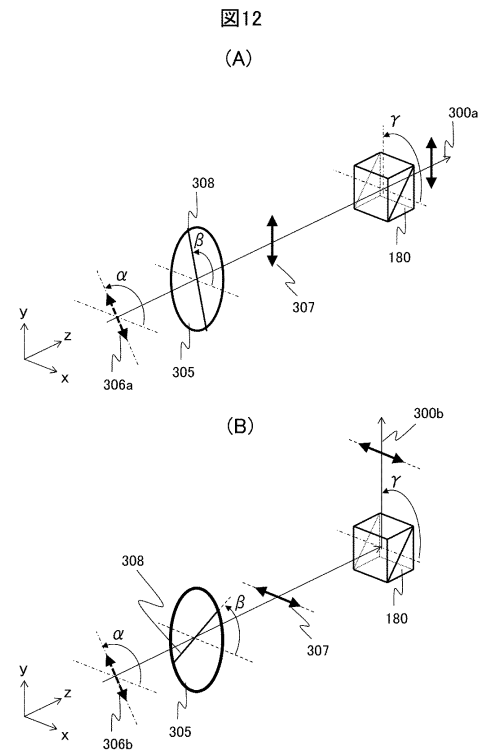
【図 10】



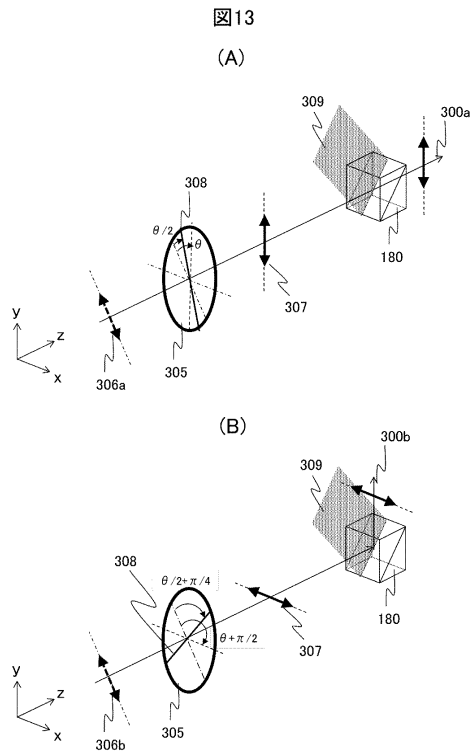
【図 11】



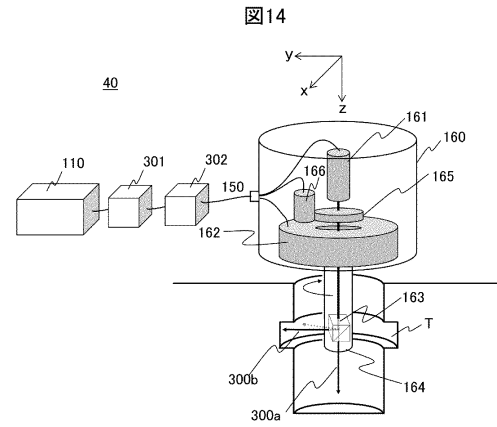
【図 12】



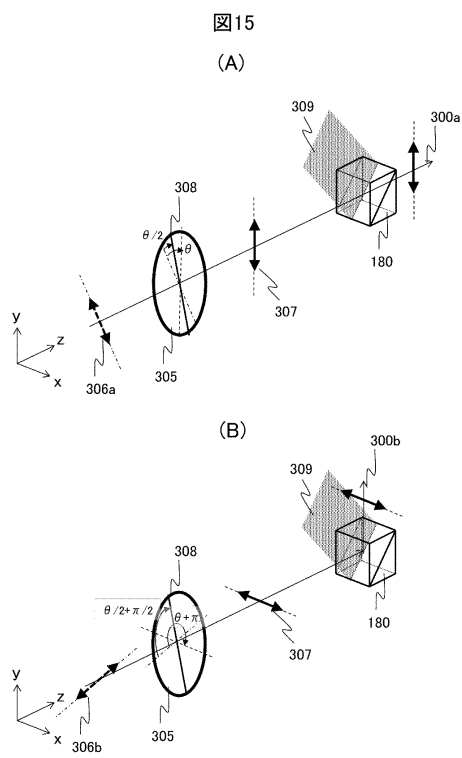
【図 13】



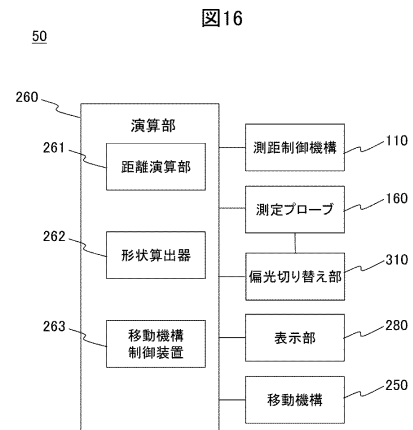
【図 14】



【図 15】

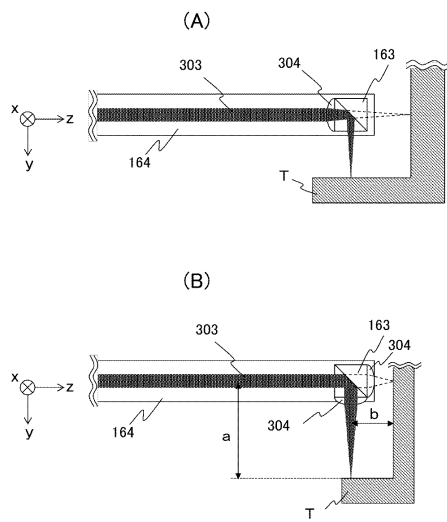


【図 16】



【図 17】

図 17



---

フロントページの続き

(72)発明者 丸野 兼治

東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

審査官 河内 悠

(56)参考文献 特表2015-517094(JP,A)  
国際公開第16/024332(WO,A1)  
特公昭50-008668(JP,B1)  
特開2016-133393(JP,A)  
特開2014-238299(JP,A)  
米国特許第05949546(US,A)  
特開2006-292642(JP,A)  
特開2007-271601(JP,A)  
特開2002-031514(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 11/00 - 11/30  
G01C 3/06  
G01S 7/48 - 7/51  
G01S 17/00 - 17/95