

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7141313号
(P7141313)

(45)発行日 令和4年9月22日(2022.9.22)

(24)登録日 令和4年9月13日(2022.9.13)

(51)国際特許分類	F I
G 0 1 B 11/00 (2006.01)	G 0 1 B 11/00 G
G 0 1 B 11/26 (2006.01)	G 0 1 B 11/26 G
G 0 1 D 5/347(2006.01)	G 0 1 D 5/347 1 1 0 D

請求項の数 11 (全32頁)

(21)出願番号	特願2018-208660(P2018-208660)	(73)特許権者	000146847
(22)出願日	平成30年11月6日(2018.11.6)		D M G 森精機株式会社
(65)公開番号	特開2020-76593(P2020-76593A)	(74)代理人	奈良県大和郡山市北郡山町106番地
(43)公開日	令和2年5月21日(2020.5.21)		110000925
審査請求日	令和3年8月5日(2021.8.5)		特許業務法人信友国際特許事務所
		(72)発明者	田宮 英明
			神奈川県伊勢原市鈴川45 株式会社マ
			グネスケール内
		(72)発明者	見寺 祥幸
			神奈川県伊勢原市鈴川45 株式会社マ
			グネスケール内
		(72)発明者	野田 航生
			神奈川県伊勢原市鈴川45 株式会社マ
			グネスケール内
		審査官	飯村 悠斗

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 変位検出装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

被測定部材の被測定面に設けられ、前記被測定面と平行をなす第1格子ベクトル方向に沿って配置された格子を有する第1の回折格子と、

前記被測定部材の前記被測定面に対向して配置されたヘッドと、

前記ヘッドから受信した信号に基づいて、前記被測定部材における前記ヘッドに対する変位を算出し、出力する変位出力部と、を備え、

前記ヘッドと前記被測定部材は、前記被測定面と平行をなす方向及び前記被測定面と直交する高さ方向のうち少なくとも一方に、相対的に移動可能とし、

前記ヘッドは、

光を照射する光源と、

前記光源から照射された前記光を物体光である第1の光束と参照光である第2の光束に分割し、前記第1の光束を前記第1の回折格子に垂直に入射させる光束分割部と、

前記光束分割部よりも前記第1の回折格子の前記第1格子ベクトル方向の一側に配置された第1変位検出部と、

前記光束分割部及び前記第1変位検出部に対して前記第1の回折格子の前記第1格子ベクトル方向の他側に配置された第2変位検出部と、を備え、

前記第1変位検出部には、前記第1の光束が1回目に前記第1の回折格子に入射した際に、前記第1の光束における前記第1の回折格子の前記第1格子ベクトル方向の一側に向けて回折した正の次数を有する回折光が入射し、

前記第 2 変位検出部には、前記第 1 の光束が 1 回目に前記第 1 の回折格子に入射した際に、前記第 1 の光束における前記第 1 の回折格子の前記第 1 格子ベクトル方向の他側に向けて回折した負の次数を有する回折光が入射し、

前記第 1 変位検出部及び前記第 2 変位検出部は、同一の構成要素を有し、

前記第 1 変位検出部及び前記第 2 変位検出部は、

前記第 1 の回折格子により回折された前記第 1 の光束を回折し、前記第 1 の光束を再び前記第 1 の回折格子に照射する透過型の第 2 の回折格子と、

前記第 2 の回折格子を透過し、回折された前記第 1 の光束を前記第 2 の回折格子に向けて反射させる物体光用反射部材と、

前記第 1 の回折格子と前記第 2 の回折格子の間に配置され、前記第 2 の回折格子により回折された前記第 1 の光束を再び前記第 1 の回折格子に入射させる際に、前記第 1 の回折格子での 1 回目の照射位置と異なる位置に前記第 1 の光束を入射させる光束平行分岐部と、

前記光束分割部により分割された前記第 2 の光束を反射する参照光用反射部材と、

前記第 1 の回折格子と前記第 2 の回折格子により回折された前記第 1 の光束と、前記参照光用反射部材により反射された前記第 2 の光束を重ね合わせる光束結合部と、

前記光束結合部により重ね合わされた前記第 1 の光束と前記第 2 の光束を受光し、干渉信号を前記変位出力部に出力する受光部と、

前記第 1 の光束のうち前記第 2 の回折格子を透過した 0 次光を受光し、光電変換した信号を前記変位出力部に出力する傾き検出用受光部と、を備え、

前記第 2 変位検出部の前記構成要素は、前記第 1 変位検出部の構成要素に対して前記第 1 の回折格子の前記第 1 格子ベクトル方向に沿って反転して配置され

前記変位出力部は、前記第 1 変位検出部及び前記第 2 変位検出部の前記受光部及び前記傾き検出用受光部が受光した情報に基づいて、前記ヘッドと前記被測定部材における前記第 1 格子ベクトル方向と平行をなす第 1 の方向の変位と、前記高さ方向の変位と、前記高さ方向とも直交する第 2 の方向を中心軸とした第 1 傾きの角度を算出し、出力する変位検出装置。

【請求項 2】

前記光束平行分岐部は、前記第 1 の光束における前記第 1 の回折格子から前記光束平行分岐部に入射する光路に対して、前記第 1 の光束における前記光束平行分岐部から前記第 1 の回折格子に入射させる光路を平行に移動させ、

前記第 1 の回折格子の回折角度、前記第 2 の回折格子への前記第 1 の光束の入射角度、前記第 2 の回折格子の回折角度は、前記ヘッドと前記被測定部材の少なくとも一方が前記被測定面と直交する方向に変位した際の、前記第 1 の光束における前記光束分割部から前記第 1 の回折格子に入射するまでの光路長の変位量と、前記第 1 の光束における前記第 1 の回折格子から前記第 2 の回折格子に入射するまでの光路長の変位量が等しくなる角度である

請求項 1 に記載の変位検出装置。

【請求項 3】

前記第 1 の光束における前記光束分割部から前記第 1 の回折格子を介して前記光束結合部までの光路長と、前記第 2 の光束における前記光束分割部から前記参照光用反射部材を介して前記光束結合部までの光路長が等しい

請求項 2 に記載の変位検出装置。

【請求項 4】

前記第 1 の回折格子の回折角度 ϕ_1 、前記第 2 の回折格子への前記第 1 の光束の入射角度 θ 、前記第 2 の回折格子の回折角度 ϕ_2 は、下記式を満たすことを特徴とする

[式]

$$-\cos(\phi_1 + \theta) / \cos \phi_1 + [\sin(\phi_1 + \theta) - \cos(\phi_1 + \theta) \tan \phi_1] \sin \phi_2 = 1$$

請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の変位検出装置。

【請求項 5】

前記第 2 の回折格子の回折は、ブラッグ条件を満たすことを特徴とする
請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の変位検出装置。

【請求項 6】

前記変位出力部は、

前記第 1 変位検出部の前記受光部からの信号と、前記第 2 変位検出部の前記受光部からの信号に基づいて、前記ヘッドと前記被測定部材における前記第 1 の方向と前記高さ方向の相対位置の変化を算出し、出力する相対位置情報出力部と、

前記第 1 変位検出部の前記傾き検出用受光部からの信号に基づいて前記被測定部材における前記ヘッドに対する前記高さ方向の絶対位置を演算する第 1 絶対位置検出部と、

前記第 2 変位検出部の前記受光部からの信号に基づいて前記被測定部材における前記ヘッドに対する前記高さ方向の絶対位置を演算する第 2 絶対位置検出部と、

前記第 1 絶対位置検出部が演算した絶対位置と前記第 2 絶対位置検出部が演算した絶対位置に基づいて前記被測定部材の前記第 1 傾きの角度を算出する第 1 角度計算部と、

を有する請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の変位検出装置。

【請求項 7】

前記傾き検出用受光部は、前記 0 次光を受光する第 1 受光素子及び第 2 受光素子を有する
請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の変位検出装置。

【請求項 8】

前記参照光用反射部材は、

前記光束分割部により分割された前記第 2 の光束が垂直に入射し、前記第 2 の光束を反射し、かつ回折する参照用第 1 の回折格子と、

前記参照用第 1 の回折格子により回折された前記第 2 の光束を回折し、前記第 2 の光束を再び前記参照用第 1 の回折格子に照射する透過型の 2 つの参照用第 2 の回折格子と、

前記参照用第 2 の回折格子を透過し、かつ回折された前記第 2 の光束を前記参照用第 2 の回折格子に向けて反射させる 2 つの参照用ミラーと、

前記参照用第 1 の回折格子と前記参照用第 2 の回折格子の間に配置され、前記参照用第 2 の回折格子により回折された前記第 2 の光束を再び前記参照用第 1 の回折格子に入射させる際に、前記参照用第 1 の回折格子での 1 回目の照射位置と異なる位置に前記第 2 の光束を入射させる 2 つの参照用光束平行分岐部と、を有する

請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の変位検出装置。

【請求項 9】

前記光束分割部から前記参照用第 1 の回折格子に入射し、前記参照用第 1 の回折格子により回折された第 2 の光束のうち、正の次数の回折光は、前記 2 つの参照用光束平行分岐部のうち一方の参照用光束平行分岐部を介して前記 2 つの参照用第 2 の回折格子のうち一方の参照用第 2 の回折格子に入射し、

前記光束分割部から前記参照用第 1 の回折格子に入射し、前記参照用第 1 の回折格子により回折された第 2 の光束のうち、負の次数の回折光は、前記 2 つの参照用光束平行分岐部のうち他方の参照用光束平行分岐部を介して前記 2 つの参照用第 2 の回折格子のうち他方の参照用第 2 の回折格子に入射し、

前記第 2 の光束における正の次数の回折光は、前記第 1 変位検出部の前記光束結合部により前記第 1 変位検出部に入射した前記第 1 の光束と重ね合わされ、

前記第 2 の光束における負の次数の回折光は、前記第 2 変位検出部の前記光束結合部により前記第 2 変位検出部に入射した前記第 2 の光束と重ね合わされる

請求項 8 に記載の変位検出装置。

【請求項 10】

前記第 1 の回折格子は、前記被測定面と平行をなし、かつ前記第 1 格子ベクトル方向と交差する第 2 格子ベクトル方向に沿って配置された格子を有し、

前記ヘッドは、

前記光束分割部よりも前記第 1 の回折格子の前記第 2 格子ベクトル方向の一側に配置さ

10

20

30

40

50

れた第 3 変位検出部と、

前記光束分割部及び前記第 3 変位検出部に対して前記第 1 の回折格子の前記第 2 格子ベクトル方向の他側に配置された第 4 変位検出部と、をさらに備え、

前記第 3 変位検出部及び前記第 4 変位検出部は、前記第 1 変位検出部と同一の構成要素を有し、

前記第 3 変位検出部の前記構成要素は、前記第 2 格子ベクトル方向に沿って配置され、

前記第 4 変位検出部の前記構成要素は、前記第 3 変位検出部の前記構成要素に対して前記第 1 の回折格子の前記第 2 格子ベクトル方向に沿って反転して配置され、

前記第 3 変位検出部には、前記第 1 の光束が 1 回目に前記第 1 の回折格子に入射した際に、前記第 1 の光束における前記第 1 の回折格子の前記第 2 格子ベクトル方向の一側に向けて回折した正の次数を有する回折光が入射し、

10

前記第 4 変位検出部には、前記第 1 の光束が 1 回目に前記第 1 の回折格子に入射した際に、前記第 1 の光束における前記第 1 の回折格子の前記第 2 格子ベクトル方向の他側に向けて回折した負の次数を有する回折光が入射し、

前記変位出力部は、

前記第 3 変位検出部及び前記第 4 変位検出部の前記受光部及び前記傾き検出用受光部が受光した情報に基づいて、前記ヘッドと前記被測定部材における前記第 2 の方向の変位と、前記被測定部材における第 1 の方向を中心軸とした第 2 傾きの角度を算出し、

前記第 1 変位検出部、前記第 2 変位検出部、前記第 3 変位検出部及び前記第 4 変位検出部の前記受光部が受光した情報に基づいて、前記ヘッドに対する前記被測定部材の前記高さ方向の変位を算出する

20

請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載の変位検出装置。

【請求項 1 1】

前記光源と前記光束分割部の間にアイソレータを配置したことを特徴とする

請求項 1 ~ 10 のいずれか 1 項に記載の変位検出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光源から出射された光を用いた非接触センサによって被測定面の変位を検出する変位検出装置に関する。

30

【背景技術】

【0002】

従来から、被測定部材の変位や姿勢を非接触で測定する装置として光を用いた変位検出装置が広く利用されている。従来の、光を用いた変位検出装置としては、例えば、特許文献 1 に記載されているようなものがある。

【0003】

特許文献 1 には、グレーティングに検出光を照射し、グレーティングからの検出光を受光するヘッドを有する複数のエンコーダを含むエンコーダシステムの少なくとも 1 つのエンコーダを用いて、移動面内における移動体の位置情報を計測する技術が記載されています。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】国際公開第 2008 / 026742 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献 1 に記載された技術では、複数の変位センサを用いて、光源からの光を被測定部材における複数のポイントに照射することで、被測定部材の変位を検出していたため、装置の構成が複雑になっていた。

50

【 0 0 0 6 】

本発明の目的は、容易な構成で、被測定部材における被測定面と平行をなす方向、被測定部材の高さ方向の変位だけでなく、被測定部材の傾きを検出することができる変位検出装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

上記課題を解決し、本発明の目的を達成するため、本発明の変位検出装置は、被測定部材の被測定面に設けられ、被測定面と平行をなす第1格子ベクトル方向を有する第1の回折格子と、被測定部材の被測定面に対向して配置されたヘッドと、ヘッドから受信した信号に基づいて、被測定部材におけるヘッドに対する変位を算出し、出力する変位出力部と、を備えている。また、ヘッドと被測定部材は、被測定面と平行をなす方向及び被測定面と直交する高さ方向のうち少なくとも一方に、相対的に移動可能である。

10

ヘッドは、光を照射する光源と、光束分割部と、第1変位検出部と、第2変位検出部と、を備えている。光束分割部は、光源から照射された光を物体光である第1の光束と参照光である第2の光束に分割し、第1の光束を第1の回折格子に垂直に入射させる。第1変位検出部は、光束分割部よりも第1の回折格子の第1格子ベクトル方向の一側に配置される。第2変位検出部は、光束分割部及び第1変位検出部に対して第1の回折格子の第1格子ベクトル方向の他側に配置される。

第1変位検出部には、第1の光束が1回目に第1の回折格子に入射した際に、第1の光束における第1の回折格子の第1格子ベクトル方向の一側に向けて回折した正の次数を有する回折光が入射する。また、第2変位検出部には、第1の光束が1回目に第1の回折格子に入射した際に、第1の光束における第1の回折格子の第1格子ベクトル方向の他側に向けて回折した負の次数を有する回折光が入射する。

20

第1変位検出部及び第2変位検出部は、同一の構成要素を有している。

第1変位検出部及び第2変位検出部は、透過型の第2の回折格子と、物体光用反射部材と、光束平行分岐部と、参照光用反射部材と、光束結合部と、受光部と、検出用受光部と、を備えている。

第2の回折格子は、第1の回折格子により回折された第1の光束を回折し、第1の光束を再び第1の回折格子に照射する。物体光用反射部材は、第2の回折格子を透過し、回折された第1の光束を第2の回折格子に向けて反射させる。光束平行分岐部は、第1の回折格子と第2の回折格子の間に配置され、第2の回折格子により回折された第1の光束を再び第1の回折格子に入射させる際に、第1の回折格子での1回目の照射位置と異なる位置に第1の光束を入射させる。参照光用反射部材は、光束分割部により分割された第2の光束を反射する。光束係合部は、第1の回折格子と第2の回折格子により回折された第1の光束と、参照光用反射部材により反射された第2の光束を重ね合わせる。受光部は、光束結合部により重ね合わされた第1の光束と第2の光束を受光し、干渉信号を変位出力部に出力する。傾き検出用受光部は、第1の光束のうち第2の回折格子を透過した0次光を受光し、光電変換した信号を変位出力部に出力する。

30

また、第2変位検出部の構成要素は、第1変位検出部の構成要素に対して第1の回折格子の第1格子ベクトル方向に沿って反転して配置される。

40

変位出力部は、第1変位検出部及び第2変位検出部の受光部及び傾き検出用受光部が受光した情報に基づいて、ヘッドと被測定部材における第1格子ベクトル方向と平行をなす第1の方向の変位と、高さ方向の変位と、高さ方向とも直交する第2の方向を中心軸とした第1傾きの角度を算出し、出力する。

【発明の効果】

【 0 0 0 8 】

本発明の変位検出装置によれば、容易な構成で、被測定部材における被測定面と平行をなす方向の変位や被測定部材の高さ方向の変位だけでなく、被測定部材の傾きを検出することができる。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 0 9 】

【図 1】本発明の実施の形態例に係る変位検出装置における第 1 変位検出部及び第 2 変位検出部の構成を示す概略構成図である。

【図 2】本発明の実施の形態例に係る変位検出装置における第 3 変位検出部及び第 4 変位検出部の構成を示す概略構成図である。

【図 3】本発明の実施の形態例に係る変位検出装置における被測定部材及び第 1 の回折格子を示すもので、図 3 A は第 1 の回折格子を示す平面図、図 3 B は第 1 の回折格子を示す断面図である。

【図 4】本発明の実施の形態例に係る変位検出装置における第 1 の回折格子と第 2 の回折格子の回折角度の関係を示す説明図である。

10

【図 5】本発明の実施の形態例に係る変位検出装置の第 1 変位検出部における相対位置情報出力部を示すブロック図である。

【図 6】本発明の実施の形態例に係る変位検出装置における変位出力部の相対位置を算出する構成を示すブロック図である。

【図 7】本発明の実施の形態例に係る変位検出装置における変位出力部の傾き算出する構成を示すブロック図である。

【図 8】本発明の実施の形態例に係る変位検出装置における第 2 の回折格子の変形例を示すもので、図 8 A は第 2 の回折格子の変形例を示す断面図、図 8 B は第 2 の回折格子の他の変形例を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

20

【 0 0 1 0 】

以下、本発明の変位検出装置の実施の形態例について、図 1 ~ 図 8 を参照して説明する。なお、各図において共通の部材には、同一の符号を付している。また、本発明は、以下の形態に限定されるものではない。

また、以下の説明において記載される各種のレンズは、単レンズであってもよいし、レンズ群であってもよい。

【 0 0 1 1 】

1. 変位検出装置の実施の形態例

まず、本発明の変位検出装置の実施の形態例（以下、「本例」という。）の構成を図 1 ~ 図 3 に従って説明する。

30

【 0 0 1 2 】

1 - 1. 変位検出装置の構成例

図 1 は、変位検出装置の構成を示す概略構成図である。図 2 は、変位検出装置における第 1 の回折格子が設けられた被測定部材を示す斜視図である。

【 0 0 1 3 】

本例の変位検出装置 1 は、ヘッドと被測定部材のうち少なくとも一方を移動させた際の変位（移動量）を検出する変位検出装置である。

【 0 0 1 4 】

図 1 及び図 2 に示すように、変位検出装置 1 は、反射型の回折格子である第 1 の回折格子 1 1 が設けられた被測定部材 2 と、被測定部材 2 と対向するヘッド 3 と、変位出力部 4 とを備えている。なお、変位出力部 4 は、ヘッド 3 内に収容してもよく、あるいはヘッド 3 の外部に設けた携帯情報処理端末や、PC（パーソナルコンピュータ）に配置してもよい。変位出力部 4 は、第 1 相対位置情報出力部 4 A と、第 2 相対位置情報出力部 4 B と、第 3 相対位置情報出力部 4 C と、第 4 相対位置情報出力部 4 D とを有している。

40

【 0 0 1 5 】

図 3 A 及び図 3 B に示すように、被測定部材 2 は、平板状に形成されている。被測定部材 2 の被測定面 2 a には、第 1 の回折格子 1 1 が設けられている。第 1 の回折格子 1 1 は、第 1 格子ベクトル方向と、第 2 格子ベクトル方向を有している。第 1 格子ベクトル方向及び第 2 格子ベクトル方向は、被測定面 2 a に対して平行をなす。

【 0 0 1 6 】

50

そして、被測定面 2 a に対して平行でかつ、第 1 格子ベクトル方向と平行をなす方向を第 1 の方向 X とする。また、被測定面 2 a に対して平行で、かつ第 1 方向 X と直交する方向を第 2 の方向 Y とする。第 2 の方向 Y は、第 1 の回折格子 1 1 の第 2 格子ベクトル方向と平行をなす。さらに、被測定面 2 a と直交する方向、すなわち第 1 の方向 X と第 2 の方向 Y ととも直交する方向を第 3 の方向 Z とする。すなわち、第 3 の方向 Z は、被測定部材 2 とヘッド 3 が対向する高さ方向である。

【 0 0 1 7 】

ヘッド 3 と、被測定部材 2 は、第 1 の方向 X、第 2 の方向 Y 及び第 3 の方向 Z の 3 方向に相対的に移動可能に構成されている。そして、本例の変位検出装置 1 は、第 1 の方向 X と、第 3 の方向 Z と、第 1 の方向 X 及び第 3 の方向 Z ととも直交する第 2 の方向 Y の 3 次元の変位情報を出力可能な変位検出装置である。さらに、変位検出装置 1 は、被測定部材の傾きも検出可能な変位検出装置である。

10

【 0 0 1 8 】

第 1 の回折格子 1 1 は、複数の突起（格子）1 1 a により構成されている。複数の突起 1 1 a は、被測定面 2 a から第 3 の方向 Z に向けて突出している。この複数の突起 1 1 a は、第 1 の方向 X と平行をなす第 1 格子ベクトル方向と、第 2 の方向 Y と平行をなす第 2 格子ベクトル方向に沿ってそれぞれ間隔を空けて格子状に配置されている。

【 0 0 1 9 】

なお、第 1 の回折格子 1 1 を複数の突起 1 1 a により構成した例を説明したが、これに限定されるものではなく、例えば、被測定部材 2 の被測定面 2 a に形成された複数の凹部によって第 1 の回折格子 1 1 を構成してもよい。

20

【 0 0 2 0 】

第 1 の回折格子 1 1 は、例えば、ガラスやシリコンの基板からなる被測定部材 2 に形成される。そして、第 1 の回折格子 1 1 を構成する複数の突起 1 1 a は、例えば金やアルミニウム等の反射率の高い材料を被測定部材 2 の被測定面 2 a に蒸着することで形成される。なお、第 1 の回折格子 1 1 の格子ピッチ d_R 及び回折角度 については、後述する。

【 0 0 2 1 】

この被測定部材 2 に設けた第 1 の回折格子 1 1 は、ヘッド 3 から照射された光を回折して所定の回折角度によって再びヘッド 3 に戻す。

【 0 0 2 2 】

次に、ヘッド 3 の構成について説明する。

ヘッド 3 は、第 1 変位検出部 5 A と、第 2 変位検出部 5 B と、第 3 変位検出部 5 C と、第 4 変位検出部 5 D と、光源 6 と、レンズ 1 6 と、第 1 光束分割部 1 3 A と、第 2 光束分割部 1 3 B と、第 3 光束分割部 1 3 C と、第 4 光束分割部 1 3 D と、を備えている。

30

【 0 0 2 3 】

第 1 変位検出部 5 A は、ヘッド 3 の第 1 の方向 X の一側に配置され、第 2 変位検出部 5 B は、ヘッド 3 の第 1 の方向 X の他側に配置されている。また、第 3 変位検出部 5 C は、ヘッド 3 の第 2 の方向 Y の一側に配置され、第 4 変位検出部 5 D は、ヘッド 3 の第 2 の方向 Y の他側に配置されている。

【 0 0 2 4 】

第 1 変位検出部 5 A、第 2 変位検出部 5 B、第 3 変位検出部 5 C 及び第 4 変位検出部 5 D の間には、光源 6、レンズ 1 6、第 1 光束分割部 1 3 A、第 2 光束分割部 1 3 B、第 3 光束分割部 1 3 C 及び第 4 光束分割部 1 3 D が配置されている。すなわち、光源 6、レンズ 1 6、第 1 光束分割部 1 3 A、第 2 光束分割部 1 3 B、第 3 光束分割部 1 3 C 及び第 4 光束分割部 1 3 D は、ヘッド 3 における第 1 の方向 X 及び第 2 の方向 Y の中心部に配置されている。

40

【 0 0 2 5 】

光源 6 には、例えば半導体レーザダイオードやスーパーluminescenceダイオード、ガスレーザ、固体レーザ、発光ダイオード等が挙げられる。光源 6 として、可干渉距離が長い光源を用いると、被測定部材 2 の被測定面 2 a のチルト等による物体光と参照光の光路

50

長差の影響を受けにくくチルト許容範囲が広がる。また、光源 6 の可干渉距離が短くなるほど、不要な迷光の干渉によるノイズを防ぐことができ、高精度な計測をすることができる。

【 0 0 2 6 】

さらに、光源 6 として、シングルモードのレーザを用いると、波長を安定させるために、光源 6 の温度をコントロールすることが望ましい。また、シングルモードのレーザの光に、高周波重畳などを付加して、光の可干渉性を低下させてもよい。さらに、マルチモードのレーザを用いる場合も、ペルチェ素子等で光源 6 の温度をコントロールすることで、不要な迷光の干渉によるノイズを防ぎ、さらに安定した計測が可能になる。

【 0 0 2 7 】

なお、光源 6 の数は、1 つに限定されるものではなく、複数の光源 6 を配置して互いの光りを重ね合わせることで光量を増加させてもよい。また、光源 6 は、例えば、光軸を中心に回転した円偏光の光を出射する。

【 0 0 2 8 】

光源 6 から出射された光 L は、第 4 光束分割部 1 3 D に入射する。なお、光源 6 と第 4 光束分割部 1 3 D の間には、コリメートレンズ等からなるレンズ 1 6 及びアイソレータ 9 が配置されている。レンズ 1 6 は、光源 6 から出射された光 L を平行光にコリメートする。そのため、アイソレータ 9 及び第 4 光束分割部 1 3 D には、レンズ 1 6 により平行光にコリメートされた光 L が入射される。

【 0 0 2 9 】

アイソレータ 9 は、光源 6 と第 4 光束分割部 1 3 D との間において、レンズ 1 6 と第 4 光束分割部 1 3 D の間に配置されている。アイソレータ 9 は、光を一方向だけ通過させ、逆方向には光を遮断する光学素子である。光源 6 から出射された光 L が直線偏光である場合、アイソレータ 9 によって直線偏光の向きが変わる。

【 0 0 3 0 】

これにより、後述する第 1 の回折格子 1 1 によって回折された回折光のうち 0 次光が光源 6 に戻ることをアイソレータ 9 により抑制することができる。その結果、光源 6 の不要光によるモードホップ、いわゆる波長の飛びが発生することを軽減することができる。

【 0 0 3 1 】

第 1 光束分割部 1 3 A、第 2 光束分割部 1 3 B、第 3 光束分割部 1 3 C 及び第 4 光束分割部 1 3 D は、ハーフミラー又はビームスプリッタにより構成されている。第 1 光束分割部 1 3 A、第 2 光束分割部 1 3 B、第 3 光束分割部 1 3 C 及び第 4 光束分割部 1 3 D は、それぞれ入射した光を、反射した光と、透過する光の 2 つに分割する。

【 0 0 3 2 】

第 1 光束分割部 1 3 A、第 2 光束分割部 1 3 B、第 3 光束分割部 1 3 C 及び第 4 光束分割部 1 3 D は、第 3 の方向 Z における被測定部材 2 側から、第 1 光束分割部 1 3 A、第 2 光束分割部 1 3 B、第 3 光束分割部 1 3 C、第 4 光束分割部 1 3 D の順に配置されている。すなわち、第 4 光束分割部 1 3 D が光源 6 側に配置される。

【 0 0 3 3 】

第 4 光束分割部 1 3 D には、光源 6 から出射された光 L が入射する。第 4 光束分割部 1 3 D によって反射された光束は、第 4 変位検出部 5 D で用いられる参照光である第 2 の光束 L 2 D となる。第 4 光束分割部 1 3 D を反射した第 2 の光束 L 2 D は、第 2 の方向 Y の他側に向けて照射される。なお、第 4 光束分割部 1 3 D における第 2 の方向 Y の他側には、後述する第 4 変位検出部 5 D の光束結合部 5 0 D 及び参照用ミラー 1 4 D が配置されている。そのため、第 2 の光束 L 2 D は、後述する第 4 変位検出部 5 D の光束結合部 5 0 D 及び参照用ミラー 1 4 D に向けて照射される。また、第 4 光束分割部 1 3 D を透過した光は、第 3 光束分割部 1 3 C に入射する。

【 0 0 3 4 】

第 3 光束分割部 1 3 C によって反射された光束は、第 3 変位検出部 5 C で用いられる参照光である第 2 の光束 L 2 C となる。第 3 光束分割部 1 3 C を反射した第 2 の光束 L 2 C

10

20

30

40

50

は、第2の方向Yの一側に向けて照射される。なお、第3光束分割部13Cにおける第2の方向Yの一側には、後述する第3変位検出部5Cの光束結合部50C及び参照用ミラー14Cが配置されている。そのため、第2の光束L2Cは、後述する第3変位検出部5Cの光束結合部50C及び参照用ミラー14Cに向けて照射される。また、第3光束分割部13Cを透過した光は、第2光束分割部13Bに入射する。

【0035】

第2光束分割部13Bによって反射された光束は、第2変位検出部5Bで用いられる参照光である第2の光束L2Bとなる。第2光束分割部13Bを反射した第2の光束L2Bは、第1の方向Xの他側に向けて照射される。なお、第2光束分割部13Bの第1の方向Xの他側には、後述する第2変位検出部5Bの光束結合部50B及び参照用ミラー14Bが配置されている。そのため、第2の光束L2Bは、後述する第2変位検出部5Bの光束結合部50B及び参照用ミラー14Bに向けて照射される。また、第2光束分割部13Bを透過した光は、第1光束分割部13Aに入射する。

10

【0036】

第1光束分割部13Aによって反射された光束は、第1変位検出部5Aで用いられる参照光である第2の光束L2Aとなる。第1光束分割部13Aを反射した第2の光束L2Aは、第1の方向Xの一側に向けて照射される。なお、第1光束分割部13Aの第1の方向Xの一側には、後述する第1変位検出部5Aの光束結合部50A及び参照用ミラー14Aが配置されている。そのため、第2の光束L2Aは、後述する第1変位検出部5Aの光束結合部50A及び参照用ミラー14Aに向けて照射される。また、第1光束分割部13Aを透過した第1の光束L1は、被測定部材2、すなわち第1の回折格子11の入射点P11に垂直に入射する。

20

【0037】

なお、光源6と第4光束分割部13Dとの間に偏光板を設けてもよい。これにより、s偏光及びp偏光に対して直交した偏光成分としてわずかに存在する漏れ光、ノイズを除去することができる。また、光束分割部13A、13B、13C、13Dとしてハーフミラーやビームスプリッタを用いた例を説明したが、これに限定されるものではない。光束分割部13としては、例えば、偏光ビームスプリッタを用いてもよい。

【0038】

さらに、光源6、レンズ16、アイソレータ9及び4つの光束分割部13A、13B、13C、13Dは、第1光束分割部13Aを透過する光、すなわち第1の光束L1の進行方向が第3の方向Zと平行になるように配置される。そのため、第1光束分割部13Aを透過した第1の光束L1は、被測定部材2の被測定面2a、すなわち第1の回折格子11に対して垂直に入射する。これにより、被測定部材2が第3の方向Zに変位しても第1の回折格子11に入射される第1の光束L1の入射点P11の位置は、第1の回折格子11上において変化しない。

30

【0039】

その結果、後述する変位検出部5A、5B、5C、5Dによって第1の方向X及び第2の方向Yの変位を検出する際に、被測定部材2における第3の方向Zの変位が影響することを抑制することができる。

40

【0040】

第1の回折格子11の入射点P11に入射した第1の光束L1は、第1の回折格子11によって第1の方向Xに沿って正負の次数を有する2つの光束L1A、L1Bと、第2の方向Yに沿って正負の次数を有する2つの光束L1C、L1Dに分けられる。

【0041】

ここで、第1の回折格子11の第1格子ベクトル方向のプラス方向（一側）へ回折した回折光を第1の方向Xにおける正の次数の回折光とし、マイナス方向（他側）へ回折した回折光を第1の方向Xにおける負の次数の回折光とする。そして、第1の方向Xにおける正の次数を有する回折光が第1変位検出部5Aで用いられる物体光となり、第1の方向Xにおける負の次数を有する回折光が第2変位検出部5Bで用いられる物体光となる。

50

【 0 0 4 2 】

また、第 1 の回折格子 1 1 の第 2 格子ベクトル方向のプラス方向（一側）へ回折した回折光を第 2 の方向 Y における正の次数の回折光とし、マイナス方向（他側）へ回折した回折光を第 2 の方向 Y における負の次数の回折光となる。そして、第 2 の方向 Y における正の次数を有する回折光が第 3 変位検出部 5 C で用いられる物体光となり、第 2 の方向 Y における負の次数を有する回折光が第 4 変位検出部 5 D で用いられる物体光となる。

【 0 0 4 3 】

第 1 の回折格子 1 1 によって回折された第 1 の光束 L 1 における第 1 の方向 X において正の次数を有する第 1 の光束 L 1 A は、後述する第 1 変位検出部 5 A の光束平行分岐部 4 0 A に入射する。また、第 1 の回折格子 1 1 によって回折された第 1 の光束 L 1 における第 1 の方向 X において負の次数を有する第 1 の光束 L 1 B は、後述する第 2 変位検出部 5 B の光束平行分岐部 4 0 B に入射する。

10

【 0 0 4 4 】

さらに、第 1 の回折格子 1 1 によって回折された第 1 の光束 L 1 における第 2 の方向 Y において正の次数を有する第 1 の光束 L 1 C は、後述する第 3 変位検出部 5 C の光束平行分岐部 4 0 C に入射する。また、第 1 の回折格子 1 1 によって回折された第 1 の光束 L 1 における第 2 の方向 Y において負の次数を有する第 1 の光束 L 1 D は、後述する第 4 変位検出部 5 D の光束平行分岐部 4 0 D に入射する。

【 0 0 4 5 】

次に、第 1 変位検出部 5 A、第 2 変位検出部 5 B、第 3 変位検出部 5 C 及び第 4 変位検出部 5 D について説明する。なお、第 1 変位検出部 5 A、第 2 変位検出部 5 B、第 3 変位検出部 5 C 及び第 4 変位検出部 5 D は、それぞれ同様の構成を有しているため、ここでは、第 1 変位検出部 5 A について説明する。

20

【 0 0 4 6 】

図 1 に示すように、第 1 変位検出部 5 A は、第 2 の回折格子 1 2 A と、光束平行分岐部 4 0 A と、光束結合部 5 0 A と、参照光用反射部材の一例を示す参照用ミラー 1 4 A と、物体光用反射部材の一例を示す物体用ミラー 1 5 A と、第 1 の位相板 1 7 A と、第 2 の位相板 1 8 A と、を有している。さらに、第 1 変位検出部 5 A は、受光部 7 A と、第 1 傾き検出用受光部 8 0 A を有している。

【 0 0 4 7 】

光束平行分岐部 4 0 A は、第 1 の回折格子 1 1 によって回折された正の次数を有する第 1 の光束 L 1 A が入射する位置に配置されている。光束平行分岐部 4 0 A は、偏光調整位相板 4 2 と、三角柱状のプリズムからなる反射ミラー 4 3 と、偏光ビームスプリッタ 4 4 により構成されている。

30

【 0 0 4 8 】

偏光調整位相板 4 2 は、通過する光の偏光方向を変化させるものであり、入射した第 1 の光束 L 1 の偏光状態を s 偏光に変化させる。偏光調整位相板 4 2 における光の出射側には、反射ミラー 4 3 が配置されている。反射ミラー 4 3 は、偏光調整位相板 4 2 を通過した第 1 の光束 L 1 を偏光ビームスプリッタ 4 4 に向けて反射させる。

【 0 0 4 9 】

偏光ビームスプリッタ 4 4 は、s 偏光の光を反射し、p 偏光の光を透過させる。偏光ビームスプリッタ 4 4 における光を反射及び透過させる反射透過面 4 4 a と、反射ミラー 4 3 の反射面は、平行に配置されている。ここで、反射ミラー 4 3 によって反射された第 1 の光束 L 1 A は、偏光調整位相板 4 2 によって s 偏光の光に偏光状態が調整されている。そのため、偏光ビームスプリッタ 4 4 は、反射ミラー 4 3 によって反射された第 1 の光束 L 1 A を第 2 の回折格子 1 2 A に向けて反射させる。

40

【 0 0 5 0 】

また、光束平行分岐部 4 0 A の偏光ビームスプリッタ 4 4 には、後述する第 2 の回折格子 1 2 A 及び第 1 の位相板 1 7 A を透過し、かつ物体用ミラー 1 5 A によって反射された第 1 の光束 L 1 A が再び入射する。なお、光束平行分岐部 4 0 A に再び入射した第 1 の光

50

束 L 1 A の偏光方向は、p 偏光に変化されている。そのため、光束平行分岐部 4 0 A は、再び偏光ビームスプリッタ 4 4 に入射した第 1 の光束 L 1 A を透過させる。そして、光束平行分岐部 4 0 A を透過した第 1 の光束 L 1 A は、再び第 1 の回折格子 1 1 に入射する。

【 0 0 5 1 】

第 2 の回折格子 1 2 A は、光束平行分岐部 4 0 A を通過した第 1 の光束 L 1 A が入射する位置に配置されている。第 2 の回折格子 1 2 A は、その平面が第 3 の方向 Z に対して傾斜して配置されている。第 2 の回折格子 1 2 A は、光を透過させ、かつ透過した光を回折させる透過型の回折格子である。なお、第 2 の回折格子 1 2 A の格子ピッチ d_T 及び回折角度 については、後述する。

【 0 0 5 2 】

第 2 の回折格子 1 2 A における第 1 の回折格子 1 1 から入射した第 1 の光束 L 1 A が回折して透過する方向には、物体用ミラー 1 5 A が配置されている。さらに、第 2 の回折格子 1 2 A と物体用ミラー 1 5 A の間には、第 1 の位相板 1 7 A が配置されている。

【 0 0 5 3 】

第 1 の位相板 1 7 A は、通過する光の偏光方向を変化させるものであり、例えば、 $1/4$ 波長板等から構成されている。そのため、第 1 の位相板 1 7 A は、通過する光が p 偏光の場合、進行方向を中心軸として第 1 の向きに回転する円偏光に変化させる。また、通過する光が第 1 の向きに回転する円偏光の場合、s 偏光に変化させる。さらに、通過する光が s 偏光の場合、進行方向を中心軸として第 1 の方向とは反対である第 2 の向きに回転する円偏光に変化させる。そして、通過する光が第 2 の向きに回転する円偏光の場合、p 偏光に変化させる。

【 0 0 5 4 】

第 1 の位相板 1 7 A を透過した第 1 の光束 L 1 A は、第 1 の位相板 1 7 A によって偏光方向が変化されて、物体用ミラー 1 5 A に入射する。物体用ミラー 1 5 A は、第 2 の回折格子 1 2 A を回折して透過し、及び第 1 の位相板 1 7 A を透過した第 1 の光束 L 1 A が反射面に対して垂直に入射する位置に配置されている。そして、物体用ミラー 1 5 A には、第 1 の光束 L 1 A が垂直に入射するため、物体用ミラー 1 5 A は、第 1 の光束 L 1 A を、第 2 の回折格子 1 2 A を回折し、透過して入射する際の光路と、反射して第 2 の回折格子 1 2 A に再び入射する光路が一致するように反射させる。

【 0 0 5 5 】

物体用ミラー 1 5 A により反射された第 1 の光束 L 1 A は、第 1 の位相板 1 7 A 及び第 2 の回折格子 1 2 A を透過して再び光束平行分岐部 4 0 A に入射する。光束平行分岐部 4 0 A を通過した第 1 の光束 L 1 A は、再び第 1 の回折格子 1 1 に入射する。

【 0 0 5 6 】

ここで、光束平行分岐部 4 0 A に再び入射した第 1 の光束 L 1 A の偏光方向は、第 1 の位相板 1 7 A によって p 偏光に変化されている。そのため、光束平行分岐部 4 0 A は、再び偏光ビームスプリッタ 4 4 に入射した第 1 の光束 L 1 A を透過させる。そして、光束平行分岐部 4 0 A を透過した第 1 の光束 L 1 A は、再び第 1 の回折格子 1 1 に入射する。

【 0 0 5 7 】

ここで、光束平行分岐部 4 0 A は、第 1 の光束 L 1 A における第 1 の回折格子 1 1 によって回折されて光束平行分岐部 4 0 A に入射する光路を行き光路とする。また、第 2 の回折格子 1 2 A によって回折された第 1 の光束 L 1 A が光束平行分岐部 4 0 A を透過してから第 1 の回折格子 1 1 に入射するまでの光路を帰り光路とする。

【 0 0 5 8 】

光束平行分岐部 4 0 A は、第 1 の光束 L 1 A における行き光路と帰り光路が一致しないように、行き光路と帰り光路を平行に移動させている。そのため、第 1 の光束 L 1 A における再び第 1 の回折格子 1 1 に入射する位置は、行き光路の入射点 P 1 1 とは異なる入射点 P 1 2 A となる。

【 0 0 5 9 】

さらに、第 1 の光束 L 1 A は、行き光路と帰り光路で第 1 の回折格子 1 1 と第 2 の回折

10

20

30

40

50

格子 1 2 A によってそれぞれ 2 回ずつ回折される。そして、第 1 の光束 L 1 A は、第 1 の回折格子 1 1 によって再び回折されて光束結合部 5 0 A に入射する。

【 0 0 6 0 】

光束結合部 5 0 A は、第 1 光束分割部 1 3 A と参照用ミラー 1 4 A の間に配置されている。光束結合部 5 0 A は、例えば、偏光調整位相板と、偏光ビームスプリッタにより構成されている。

【 0 0 6 1 】

偏光調整位相板は、偏光ビームスプリッタと、第 1 光束分割部 1 3 A の間に配置されている。偏光調整位相板は、通過する光の偏光方向を変化させるものであり、入射した第 2 の光束 L 2 A の偏光状態を p 偏光に変化させる。

10

【 0 0 6 2 】

偏光ビームスプリッタは、光束平行分岐部 4 0 A の偏光ビームスプリッタ 4 4 と同様に、s 偏光の光を反射し、p 偏光の光を透過させる。そして、偏光ビームスプリッタは、偏光調整位相板を通過した p 偏光の第 2 の光束 L 2 A を透過させる。光束結合部 5 0 A の偏光ビームスプリッタを透過した第 2 の光束 L 2 A は、参照用ミラー 1 4 A に向かって進行する。

【 0 0 6 3 】

参照用ミラー 1 4 A は、第 1 光束分割部 1 3 A によって分割されて、光束結合部 5 0 A を透過した第 2 の光束 L 2 A の進行方向に配置されている。参照用ミラー 1 4 A は、その反射面が第 1 光束分割部 1 3 A における第 2 の光束 L 2 A を照射する面及び光束結合部 5 0 A の光を反射及び透過させる反射透過面と平行に配置されている。すなわち、参照用ミラー 1 4 A は、その反射面に第 2 の光束 L 2 A が垂直に入射する位置に配置される。そして、参照用ミラー 1 4 A には、第 2 の光束 L 2 A が垂直に入射するため、参照用ミラー 1 4 A は、第 2 の光束 L 2 A を、入射する際の光路と反射した後の光路が一致するように反射する。

20

【 0 0 6 4 】

また、光束結合部 5 0 A と参照用ミラー 1 4 A の間には、第 2 の位相板 1 8 A が配置されている。第 2 の位相板 1 8 A は、第 1 の位相板 1 7 A と同様に、通過する光の偏光方向を変化させるものであり、例えば、1 / 4 波長板等から構成されている。そのため、第 1 の位相板 1 7 A は、通過する光が p 偏光の場合、進行方向を中心軸として第 1 の向きに回転する円偏光に変化させる。また、通過する光が第 1 の向きに回転する円偏光の場合、s 偏光に変化させる。さらに、通過する光が s 偏光の場合、進行方向を中心軸として第 1 の方向とは反対である第 2 の向きに回転する円偏光に変化させる。そして、通過する光が第 2 の向きに回転する円偏光の場合、p 偏光に変化させる。

30

【 0 0 6 5 】

第 1 の光束 L 1 A における第 1 光束分割部 1 3 A から物体用ミラー 1 5 A に反射されて光束結合部 5 0 A に入射するまでの光路長の長さ、第 2 の光束 L 2 A における第 1 光束分割部 1 3 A から参照用ミラー 1 4 A に反射されて光束結合部 5 0 A に入射するまでの光路長の長さが等しくなるように、参照用ミラー 1 4 A 及び物体用ミラー 1 5 A が配置されている。

40

【 0 0 6 6 】

これにより、気圧、湿度や温度の変化によって光源 6 の波長変動があった場合でも、第 1 の光束 L 1 A と第 2 の光束 L 2 A が受ける影響を等しくすることができる。その結果、気圧補正、湿度補正や温度補正を行うことなく、周囲環境に関わらず安定した測定を行うことができる。さらに、変位検出装置 1 を製造する際に、第 1 の光束 L 1 A の光路長と、第 2 の光束 L 2 A の光路長や光軸の角度を調整し易くすることができる。

【 0 0 6 7 】

参照用ミラー 1 4 A により反射された第 2 の光束 L 2 A は、行きの光路と同じ光路を通過して、第 2 の位相板 1 8 A を通過して、再び光束結合部 5 0 A に入射する。ここで、第 2 の光束 L 2 A は、第 2 の位相板 1 8 A を 2 回通過することで、p 偏光から s 偏光に変化さ

50

れている。また、第1の光束L1Aは、第1の位相板17Aを2回通過することで、s偏光からp偏光に変化されている。

【0068】

そのため、光束結合部50Aは、p偏光の第1の光束L1Aを受光部7Aに向けて透過させて、s偏光の第2の光束L2Aを受光部7Aに向けて反射させる。これにより、光束結合部50Aによって第1の光束L1Aと第2の光束L2Aを重ね合わせることができる。そして、光束結合部50Aによって重ね合わされた第1の光束L1Aと第2の光束L2Aは、受光部7Aに向けて照射される。

【0069】

受光部7Aは、集光レンズ21と、ハーフミラー22と、第1の偏光ビームスプリッタ24と、第2の偏光ビームスプリッタ25とを有している。また、ハーフミラー22と、第2の偏光ビームスプリッタ25との光路上には、例えば、1/4波長板等からなる受光側位相板23が配置されている。

10

【0070】

集光レンズ21は、光束分割部13からの入射された第1の光束L1A及び第2の光束L2Aを集光する。また、集光レンズ21は、後述する第1の受光素子31、第2の受光素子32、第3の受光素子33及び第4の受光素子34上でビーム径が適当な大きさになるように光を集光する。ハーフミラー22は、光を分割する。ハーフミラー22によって分割された光は、第1の偏光ビームスプリッタ24、又は受光側位相板23を介して第2の偏光ビームスプリッタ25に入射する。

20

【0071】

第1の偏光ビームスプリッタ24は、入射される光束の偏光方向が入射面に対して45度傾くように配置されている。この第1の偏光ビームスプリッタ24における光の出射口側には、第1の受光素子31と、第2の受光素子32が設けられている。また、第2の偏光ビームスプリッタ25における光の出射口側には、第3の受光素子33と、第4の受光素子34が設けられている。

【0072】

これら第1の偏光ビームスプリッタ24及び第2の偏光ビームスプリッタ25は、s偏光成分を有する干渉光を反射させ、p偏光成分を有する干渉光を透過させて、光を分割するものである。

30

【0073】

第1の受光素子31、第2の受光素子32、第3の受光素子33及び第4の受光素子34は、光を受光し、干渉信号を得る。そして、受光部7Aには、変位出力部4の第1相対位置情報出力部4Aが接続されている。受光部7Aは、第1の受光素子31、第2の受光素子32、第3の受光素子33及び第4の受光素子34が得た干渉信号を第1相対位置情報出力部4Aに出力する。

【0074】

第1傾き検出用受光部80Aは、第2の回折格子12Aの近傍に配置されている。また、第1傾き検出用受光部80Aは、第2の回折格子12Aを透過した光のうち0次光L4Aが入射する位置に配置されている。第1傾き検出用受光部80Aは、第1受光素子81と、第2受光素子82とを有している。この第1受光素子81と第2受光素子82には、0次光L4Aの照射像が結像される。

40

【0075】

さらに、第1傾き検出用受光部80Aは、変位出力部4に接続されている。そして、第1傾き検出用受光部80Aは、第1受光素子81及び第2受光素子82が受光し、光電変換した信号を変位出力部4に出力する。

【0076】

第2変位検出部5Bは、第2の回折格子12Bと、参照用ミラー14Bと、物体用ミラー15Bと、第1の位相板17Bと、第2の位相板18Bと、光束平行分岐部40Bと、光束結合部50Bと、を備えている。さらに、第2変位検出部5Bは、受光部7Bと、第

50

2 傾き検出用受光部 8 0 B を有している。

【 0 0 7 7 】

また、第 2 変位検出部 5 B を構成する第 2 の回折格子 1 2 B、参照用ミラー 1 4 B、物体用ミラー 1 5 B、第 1 の位相板 1 7 B、第 2 の位相板 1 8 B、光束平行分岐部 4 0 B、光束結合部 5 0 B 及び第 2 傾き検出用受光部 8 0 B は、第 1 変位検出部 5 A に対して第 1 の方向 X に沿って反転して配置されている。

【 0 0 7 8 】

第 2 変位検出部 5 B の光束平行分岐部 4 0 B は、物体用ミラー 1 5 B によって反射され、かつ第 2 の回折格子 1 2 B を通過した第 1 の光束 L 1 B を、第 1 の回折格子 1 1 における 1 回目の入射位置の入射点 P 1 1 と異なる入射点 P 1 2 B に入射させる。なお、1 回目の入射一である入射点 P 1 1 と、2 回目の照射一である入射点 P 1 2 B は、被測定部材 2 における第 1 の方向 X 上に位置している。また、光束平行分岐部 4 0 B は、第 1 の光束 L 1 B における入射点 P 1 1 から光束平行分岐部 4 0 B に入射するまでの行き光路と、光束平行分岐部 4 0 B から第 1 の回折格子 1 1 の入射点 P 1 2 B に入射するまでの帰り光路が一致しないように、第 1 の方向 X に平行に移動させている。

10

【 0 0 7 9 】

第 1 の回折格子 1 1 の入射点 P 1 2 B に入射した第 1 の光束 L 1 B は、第 1 の回折格子 1 1 によって回折され、光束結合部 5 0 B によって第 2 の光束 L 2 B と重ね合わされて受光部 7 B に入射する。受光部 7 B は、得られた干渉信号を第 2 相対位置情報出力部 4 B に送信する。

20

【 0 0 8 0 】

第 2 傾き検出用受光部 8 0 B は、第 1 受光素子 8 1 と、第 2 受光素子 8 2 とを有している。また、第 2 傾き検出用受光部 8 0 B は、第 2 の回折格子 1 2 B を透過した光のうち 0 次光 L 4 B が入射する位置に配置されている。第 1 受光素子 8 1 と第 2 受光素子 8 2 には、0 次光 L 4 B の照射像が結像される。

【 0 0 8 1 】

さらに、第 2 傾き検出用受光部 8 0 B は、変位出力部 4 に接続されている。そして、傾き検出用受光部 8 0 B は、第 1 受光素子 8 1 及び第 2 受光素子 8 2 が受光し、光電変換した信号を変位出力部 4 に出力する。

【 0 0 8 2 】

また、第 1 傾き検出用受光部 8 0 A と、第 2 傾き検出用受光部 8 0 B は、第 1 の方向 X に沿って間隔 L L 1 を空けて配置されている。この第 1 傾き検出用受光部 8 0 A と、第 2 傾き検出用受光部 8 0 B との間隔 L L 1 の情報は、予め変位出力部 4 に格納されている。

30

【 0 0 8 3 】

図 2 に示すように、第 3 変位検出部 5 C は、第 2 の回折格子 1 2 C と、参照用ミラー 1 4 C と、物体用ミラー 1 5 C と、第 1 の位相板 1 7 C と、第 2 の位相板 1 8 C と、光束平行分岐部 4 0 C と、光束結合部 5 0 C と、を備えている。さらに、第 3 変位検出部 5 C は、受光部 7 C と、第 3 傾き検出用受光部 8 0 C を有している。また、第 2 の回折格子 1 2 C の格子ベクトル方向は、第 2 の方向 Y と第 3 の方向 Z で形成される平面上に存在する。

【 0 0 8 4 】

第 3 変位検出部 5 C の光束平行分岐部 4 0 C は、物体用ミラー 1 5 C によって反射され、かつ第 2 の回折格子 1 2 C を通過した第 1 の光束 L 1 C を、第 1 の回折格子 1 1 における 1 回目の入射位置の入射点 P 1 1 と異なる入射点 P 1 2 C に入射させる。なお、1 回目の入射一である入射点 P 1 1 と、2 回目の照射一である入射点 P 1 2 C は、被測定部材 2 における第 2 の方向 Y 上に位置している。また、光束平行分岐部 4 0 C は、第 1 の光束 L 1 C における入射点 P 1 1 から光束平行分岐部 4 0 C に入射するまでの行き光路と、光束平行分岐部 4 0 C から第 1 の回折格子 1 1 の入射点 P 1 2 C に入射するまでの帰り光路が一致しないように、第 2 の方向 Y に平行に移動させている。

40

【 0 0 8 5 】

第 1 の回折格子 1 1 の入射点 P 1 2 C に入射した第 1 の光束 L 1 C は、第 1 の回折格子

50

11によって回折され、光束結合部50Cによって第2の光束L2Cと重ね合わされて受光部7Cに入射する。受光部7Cは、得られた干渉信号を第3相対位置情報出力部4Cに送信する。

【0086】

第3傾き検出用受光部80Cは、第1受光素子81と、第2受光素子82とを有している。また、第3傾き検出用受光部80Cは、第2の回折格子12Cを透過した光のうち0次光L4Cが入射する位置に配置されている。第1受光素子81と第2受光素子82には、0次光L4Cの照射像が結像される。

【0087】

さらに、第3傾き検出用受光部80Cは、変位出力部4に接続されている。そして、第3傾き検出用受光部80Cは、第1受光素子81及び第2受光素子82が受光し、光電変換した信号を変位出力部4に出力する。

10

【0088】

第4変位検出部5Dは、第2の回折格子12Dと、参照用ミラー14Dと、物体用ミラー15Dと、第1の位相板17Dと、第2の位相板18Dと、光束平行分岐部40Dと、光束結合部50Dと、を備えている。さらに、第4変位検出部5Dは、受光部7Dと、第4傾き検出用受光部80Dを有している。また、第2の回折格子12Dの格子ベクトル方向は、第2の方向Yと第3の方向Zで形成される平面上に存在する。

【0089】

また、第4変位検出部5Dを構成する第2の回折格子12D、参照用ミラー14D、物体用ミラー15D、第1の位相板17D、第2の位相板18Dは、光束平行分岐部40D、光束結合部50D及び第4傾き検出用受光部80Dは、第3変位検出部5Cに対して第2の方向Yに沿って反転して配置されている。

20

【0090】

第4変位検出部5Dの光束平行分岐部40Dは、物体用ミラー15Dによって反射され、かつ第2の回折格子12Dを通過した第1の光束L1Dを、第1の回折格子11における1回目の入射位置の入射点P11と異なる入射点P12Dに入射させる。なお、1回目の入射である入射点P11と、2回目の照射である入射点P12Dは、被測定部材2における第2の方向Y上に位置している。また、光束平行分岐部40Dは、第1の光束L1Dにおける入射点P11から光束平行分岐部40Dに入射するまでの行き光路と、光束平行分岐部40Dから第1の回折格子11の入射点P12Dに入射するまでの帰り光路が一致しないように、第2の方向Yに平行に移動させている。

30

【0091】

第1の回折格子11の入射点P12Dに入射した第1の光束L1Dは、第1の回折格子11によって回折され、光束結合部50Dによって第2の光束L2Dと重ね合わされて受光部7Dに入射する。受光部7Dは、得られた干渉信号を第4相対位置情報出力部4Dに送信する。

【0092】

第4傾き検出用受光部80Dは、第1受光素子81と、第2受光素子82とを有している。また、第4傾き検出用受光部80Dは、第2の回折格子12Dを透過した光のうち0次光L4Dが入射する位置に配置されている。第1受光素子81と第2受光素子82には、0次光L4Dの照射像が結像される。

40

【0093】

さらに、第4傾き検出用受光部80Dは、変位出力部4に接続されている。そして、第4傾き検出用受光部80Dは、第1受光素子81及び第2受光素子82が受光し、光電変換した信号を変位出力部4に出力する。

【0094】

また、第3傾き検出用受光部80Cと、第4傾き検出用受光部80Dは、第2の方向Yに沿って間隔LL2を空けて配置されている。この第3傾き検出用受光部80Cと、第4傾き検出用受光部80Dとの間隔LL2の情報は、予め変位出力部4に格納されている。

50

【 0 0 9 5 】

なお、本例では、第 1 の回折格子 1 1 の第 1 格子ベクトル方向と第 2 格子ベクトル方向が直交する例を説明したが、これに限定されるものではない。第 1 格子ベクトル方向と第 2 格子ベクトル方向は直交しなくてもよく、被測定部材 2 の被測定面 2 a 上で互いに交差すればよい。そして、第 1 変位検出部 5 A 及び第 2 変位検出部 5 B は、第 1 格子ベクトル方向に沿って配置され、第 3 変位検出部 5 C 及び第 4 変位検出部 5 D は、第 2 格子ベクトル方向に沿って配置される。

【 0 0 9 6 】

1 - 2 . 第 1 の回折格子と第 2 の回折格子の関係

次に、上述した構成を有する第 1 の回折格子 1 1 と第 2 の回折格子 1 2 A の関係について図 4 を参照して説明する。

10

図 4 は、第 1 の回折格子 1 1 と第 2 の回折格子 1 2 A の回折角度の関係を示す説明図である。

【 0 0 9 7 】

図 4 に示すように、第 1 の回折格子 1 1 には、第 1 の光束 L 1 が第 3 の方向 Z に沿って垂直に入射する。なお、第 1 の回折格子 1 1 の格子ベクトル方向は、第 1 の方向 X と平行をなしている。そして、第 1 の回折格子 1 1 は、回折角度 θ で回折する。ここで、第 1 の光束 L 1 A の波長を λ 、第 1 の回折格子 1 1 の格子ピッチ d_R とすると、第 1 の回折格子 1 1 の回折角度 θ は、下記式 1 及び式 2 により算出することができる。

[式 1]

$$\sin \theta = \lambda / d_R$$

20

[式 2]

$$\theta = \sin^{-1}(\lambda / d_R)$$

【 0 0 9 8 】

第 1 の回折格子 1 1 で回折した第 1 の光束 L 1 A は、第 2 の回折格子 1 2 A に入射され、第 2 の回折格子 1 2 A で回折する。このときの第 2 の回折格子 1 2 A の格子ベクトル方向は、第 1 の方向 X と第 3 の方向 Z で形成される平面上に存在する。また、第 2 の回折格子 1 2 A の格子ベクトル方向は、第 1 の光束 L 1 A における第 1 の回折格子 1 1 への入射角度に対して、角度 γ で傾斜している。すなわち、第 2 の回折格子 1 2 A の格子ベクトル方向は、第 3 の方向 Z に対して角度 γ で傾斜している。

30

【 0 0 9 9 】

第 1 の光束 L 1 A が第 2 の回折格子 1 2 A に対して角度 ϕ で入射した場合、第 2 の回折格子 1 2 A がブラッグ条件を満たせば、第 2 の回折格子 1 2 A は、第 1 の光束 L 1 A を回折角度 ϕ で回折する。そのため、ブラッグ条件は、次の式 3 及び式 4 を満たすように第 2 の回折格子 1 2 A の格子ピッチ d_T 又は回折角度 ϕ を設定すればよい。なお、 λ は、第 1 の光束 L 1 A の波長である。

40

[式 3]

$$\sin \phi + \sin \phi = \lambda / d_T$$

[式 4]

$$\phi = \sin^{-1}(\lambda / 2d_T)$$

【 0 1 0 0 】

第 2 の回折格子 1 2 A がブラッグ条件を満たすことで、例えば、後述する透過型のポリ

50

ュームタイプホログラムの第2の回折格子12M(図8A参照)を用いれば、非常に高い回折効率を得ることができる。しかしながら、第2の回折格子12Aへの入射角度 θ と、格子ピッチ d_T の設計に制限がかかるため、第2の回折格子12Aとしては、ポリュームタイプホログラムを用いずに、厚みのない透過型の回折格子を用いてもよい。厚みのない透過型の回折格子を用いることで、入射角度と回折角度の選択に自由度を持たせることができる。

【0101】

第2の回折格子12Aがブラッグ条件を満たす場合、第2の回折格子12Aにより2回目(1回目は第1の回折格子11)の回折をした第1の光束L1Aは、物体用ミラー15Aによって反射されて再び第2の回折格子12Aに入射する。なお、図1及び図4に示すように、被測定部材2が第3の方向Zに変位していない場合、第1の光束L1Aにおける第2の回折格子12Aに入射する入射点Q1Aの位置は、変化しない。また、被測定部材2が第1の方向X又は第2の方向Yに変位しても、第1の光束L1Aにおける第2の回折格子12Aに入射する入射点Q1Aの位置は、変化しない。そして、第2の回折格子12Aによって3回目の回折が行われた第1の光束L1Aは、光束平行分岐部40Aを通過して第1の回折格子11に入射し、第1の回折格子11により4回目の回折が行われる。

10

【0102】

ここで、被測定部材2、すなわち第1の回折格子11が第3の方向Zに長さZだけ移動した例について説明する。

図4に示すように、第1の回折格子11が第3の方向Zに沿って上方、すなわちヘッド3に接近する向きに長さZ移動すると、第1の回折格子11の入射点P21に入射する時点で、第1の光束L1Aの光路長は、長さZ短くなる。

20

【0103】

なお、第1の光束L1Aは、被測定部材2の被測定面2a、すなわち第1の回折格子11に対して垂直に入射している。そのため、被測定部材2が第3の方向Zに変位しても第1の回折格子11に入射される第1の光束L1Aの入射点P11、P21の位置は、第1の回折格子11上において変化しない。

【0104】

第1の回折格子11が第3の方向Zに沿って上方、すなわちヘッド3に接近する向きに長さZ移動すると、第1の光束L1Aにおける第2の回折格子12Aに入射する位置は、入射点Q1Aから入射点Q2Aに変化する。

30

【0105】

また、第1の光束L1Aにおける光束平行分岐部40A内での光路長は、第1の回折格子11が第1の方向Xや第3の方向Zに移動しても変化しない。そのため、第1の回折格子11の入射点P21から光束平行分岐部40を介して第2の回折格子12Aの入射点Q2Aまでの光路長は、第1の回折格子11が第3の方向Zに移動していない時の第1の回折格子11の入射点P11から光束平行分岐部40Aを介して第2の回折格子12Aの入射点Q1Aまでの光路長よりも長さM1だけ長くなる。さらに、第2の回折格子12Aの入射点Q2Aから物体用ミラー15Aまでの距離は、第1の回折格子11が第3の方向Zに移動していない時の第2の回折格子12Aの入射点Q1Aから物体用ミラー15Aまでの光路長よりも長さM2だけ長くなる。

40

【0106】

そのため、 $Z = M1 + M2$ を満たせば、第1の回折格子11が第3の方向Zに移動しても第1の光束L1Aの光路長は、一定となる。また、 $Z = M1 + M2$ を満たす条件は、第1の回折格子11の回折角度 θ と、第2の回折格子12Aの回折角度 θ' から下記式5が示される。

[式5]

$$-\cos(\phi + \theta) / \cos \phi + \{\sin(\phi + \theta) - \cos(\phi + \theta) \tan \phi\} \sin \phi = 1$$

50

【 0 1 0 7 】

したがって、第1の回折格子11の回折角度と第2の回折格子12Aの回折角度は、上記式5を満たす値に設定される。これにより、第1の回折格子11が第3の方向Zに移動しても第1の光束L1Aの光路長を一定にすることができる。

【 0 1 0 8 】

なお、第1の光束L1Aが物体用ミラー15Aによって反射し、光束平行分岐部40Aを通過した第1の回折格子11に再び入射するまでの光路にも適用できる。さらに、第1の光束L1Aにおける光束平行分岐部40A内での光路長は、第1の回折格子11が第1の方向Xや第3の方向Zに移動しても変化しない。従って、第1の光束L1Aにおける帰り光路の光路長も常に一定にすることができる。

10

【 0 1 0 9 】

上述したように、被測定部材2が第1の方向X又は第2の方向Yに変位しても、第1の光束L1Aにおける第2の回折格子12Aに入射する入射点Qの位置は、変化しないため、第1の光束L1Aの光路長を一定に保つことができる。その結果、第1の回折格子11が第1の方向X、第2の方向Y及び第3の方向Zに移動しても第1の光束L1Aの光路長が変化しないため、第1の光束L1Aの光路長と第2の光束L2A(図1参照)の光路長を常に一定に保つことができる。

【 0 1 1 0 】

例えば、光源6の波長が790nm、第1の回折格子11の格子ピッチ d_R が1 μ m、第1の回折格子11への第1の光束L1Aの入射角度が0度、第2の回折格子12Aの格子ピッチ d_T の場合、第1の回折格子11の回折角度52.2°、第2の回折格子12Aの回折角度45.9°となる。

20

【 0 1 1 1 】

1-3. 変位出力部の構成例

次に、変位出力部4の構成例について図5～図7を参照して説明する。

図5は、本例の変位出力部4における第1相対位置情報出力部4Aを示すブロック図である。なお、第1相対位置情報出力部4A、第2相対位置情報出力部4B、第3相対位置情報出力部4C及び第4相対位置情報出力部4Dは、それぞれ同様の構成を有しているため、ここでは第1相対位置情報出力部4Aについて説明する。

【 0 1 1 2 】

図5に示すように、第1相対位置情報出力部4Aは、第1差動増幅器61aと、第2差動増幅器61bと、第1のA/D変換器62aと、第2のA/D変換器62bと、波形補正処理部63と、インクリメンタル信号発生器64とを有している。

30

【 0 1 1 3 】

第1差動増幅器61aには、第1の受光素子31及び第2の受光素子32が接続されており、第2差動増幅器61bには、第3の受光素子33及び第4の受光素子34が接続されている。また、第1差動増幅器61aには、第1のA/D変換器62aが接続されており、第2差動増幅器61bには、第2のA/D変換器62bが接続されている。そして、第1のA/D変換器62a及び第2のA/D変換器62bは、波形補正処理部63と接続している。また、波形補正処理部63は、インクリメンタル信号発生器64に接続されている。

40

【 0 1 1 4 】

第1差動増幅器61aは、第1の受光素子31及び第2の受光素子32から干渉信号を受信し、第2差動増幅器61bは、第3の受光素子33及び第4の受光素子34から干渉信号を受信する。第1差動増幅器61a及び第2差動増幅器61bは、それぞれ受信した干渉信号を差動増幅し、干渉信号の直流成分をキャンセルする。

【 0 1 1 5 】

第1差動増幅器61aで差動増幅された信号は、第1のA/D変換器62aによってA/D変換され、波形補正処理部63によって信号振幅とオフセットと位相が補正される。この信号は、例えばA相のインクリメンタル信号としてインクリメンタル信号発生器64

50

において演算される。

【 0 1 1 6 】

また同様に、第 2 差動増幅器 6 1 b で差動増幅された信号は、第 2 の A / D 変換器 6 2 b によって A / D 変換される。そして、波形補正処理部 6 3 により信号振幅とオフセットと位相とが補正され、A 相と位相が 9 0 度異なる B 相のインクリメンタル信号としてインクリメンタル信号発生器 6 4 から出力される。

【 0 1 1 7 】

こうして得られた 2 相のインクリメンタル信号は、図示しないパルス弁別回路等により正逆の判別が行われ、これにより、ヘッド 3 と被測定部材 2 との第 1 の方向 X 又は第 3 の方向 Z の相対的な変位量が、プラス方向であるかマイナス方向であるかを検出できる。なお、第 3 相対位置情報出力部 4 C 及び第 4 相対位置情報出力部 4 D では、ヘッド 3 と被測定部材 2 との第 2 の方向 Y 又は第 3 の方向 Z の相対的な変位量が、プラス方向であるかマイナス方向であるかを検出する。

10

【 0 1 1 8 】

また、図示しないカウンタによってインクリメンタル信号のパルス数をカウントすることにより、第 1 の光束 L 1 と第 2 の光束 L 2 の干渉光強度が上述の周期の何周期分変化したのかを計測できる。これにより、変位検出装置 1 により被測定部材 2 とヘッド 3 との相対的な変位量（移動量）が検出される。

【 0 1 1 9 】

なお、本例の第 1 相対位置情報出力部 4 A が出力する相対位置情報は、上述の 2 相のインクリメンタル信号であってもよいし、それから算出された変位量、変位方向を含む信号であってもよい。

20

【 0 1 2 0 】

図 6 は、変位出力部 4 における相対位置情報を算出する構成を示すブロック図である。

また、図 6 に示すように、変位出力部 4 は、第 1 相対位置情報出力部 4 A、第 2 相対位置情報出力部 4 B、第 3 相対位置情報出力部 4 C 及び第 4 相対位置情報出力部 4 D に接続された演算部 7 0 を有している。

【 0 1 2 1 】

演算部 7 0 には、第 1 相対位置情報出力部 4 A、第 2 相対位置情報出力部 4 B、第 3 相対位置情報出力部 4 C 及び第 4 相対位置情報出力部 4 D から変位情報が出力される。そして、演算部 7 0 は、第 1 相対位置情報出力部 4 A、第 2 相対位置情報出力部 4 B、第 3 相対位置情報出力部 4 C 及び第 4 相対位置情報出力部 4 D から変位情報から出力された変位情報に基づいて、第 1 の方向 X と、第 2 の方向 Y と、第 3 の方向 Z の 3 次元の変位情報を出力する。

30

【 0 1 2 2 】

図 7 は、変位出力部 4 における傾きを算出する構成を示すブロック図である。

図 7 に示すように、変位出力部 4 は、第 1 傾き検出用受光部 8 0 A からの信号を受信する差動増幅器 8 3 a と、第 2 傾き検出用受光部 8 0 B からの信号を受信する差動増幅器 8 0 b と、第 3 傾き検出用受光部 8 0 C からの信号を受信する差動増幅器 8 0 c と、第 4 傾き検出用受光部 8 0 D からの信号を受信する差動増幅器 8 0 d とを有している。

40

【 0 1 2 3 】

さらに、変位出力部 4 は、第 1 絶対位置検出部 8 4 a と、第 2 絶対位置検出部 8 4 b と、第 3 絶対位置検出部 8 4 c と、第 4 絶対位置検出部 8 4 d と、第 1 角度計算部 8 5 と、第 2 角度計算部 8 6 とを有している。

【 0 1 2 4 】

差動増幅器 8 0 a、8 0 b、8 0 c、8 0 d は、それぞれ第 1 受光素子 8 1 及び第 2 受光素子 8 2 と、接続されている。そして、差動増幅器 8 0 a、8 0 b、8 0 c、8 0 d は、第 1 受光素子 8 1 と第 2 受光素子 8 2 で光電変換された信号を差動増幅し、フォーカス信号を生成する。そして、差動増幅器 8 0 a によって生成されたフォーカス信号は、第 1 絶対位置検出部 8 4 a に出力される。

50

【 0 1 2 5 】

第1絶対位置検出部84aは、差動増幅器80aと演算部70に接続されている。そして、第1絶対位置検出部84aは、差動増幅器80aからの信号と、演算部70が演算した第3の方向Zの変位情報に基づいて、被測定部材2の被測定面2aにおける第3の方向Zの絶対位置を演算する。同様に、第2絶対位置検出部84b、第3絶対位置検出部84c及び第4絶対位置検出部84dも、同様に、被測定部材2の被測定面2aにおける第3の方向Zの絶対位置を演算する。

【 0 1 2 6 】

第1絶対位置検出部84aと第2絶対位置検出部84bは、第1角度計算部85に接続されており、第3絶対位置検出部84cと第4絶対位置検出部84dは、第2角度計算部86に接続されている。第1角度計算部85は、第1絶対位置検出部84aと第2絶対位置検出部84bが演算した絶対位置に基づいて、被測定部材2における第2の方向Yを中心軸とした第1傾きの角度 Y を算出する。また、第2角度計算部86は、第3絶対位置検出部84cと第4絶対位置検出部84dが演算した絶対位置に基づいて、被測定部材2における第1の方向Xを中心軸とした第2傾きの角度 X を算出する。なお、角度 Y 、 X の算出方法については、後述する。

10

【 0 1 2 7 】

また、変位出力部4は、第1角度計算部85及び第2角度計算部86が算出した角度 Y 、 X を演算部70に出力し、演算した第1の方向X、第2の方向Y及び第3の方向Zの変位情報を補正してもよい。

20

【 0 1 2 8 】

1 - 4 . 変位検出装置の動作例

次に、図1、図2、及び図4を参照して、上述した構成を有する変位検出装置1の動作例について説明する。

【 0 1 2 9 】

図1に示すように、光源6から出射した光Lは、レンズ16によりコリメートされて平行光となる。レンズ16によりコリメートされた平行光Lは、アイソレータ9を介して第4光束分割部13D、第3光束分割部13C、第2光束分割部13B及び第1光束分割部13Aに入射する。

【 0 1 3 0 】

平行光Lは、第4光束分割部13D、第3光束分割部13C、第2光束分割部13B及び第1光束分割部13Aによって、第1の光束L1、第2の光束L2A、L2B、L2C、L2Dに分割される。

30

【 0 1 3 1 】

第1光束分割部13Aによって反射された第2の光束L2Aは、第1変位検出部5Aの光束結合部50Aに入射する。また、第2光束分割部13Bによって反射された第2の光束L2Bは、第2変位検出部5Bの光束結合部50Bに入射し、第3光束分割部13Cによって反射された第2の光束L2Cは、第3変位検出部5Cの光束結合部50Cに入射する。そして、第4光束分割部13Dによって反射された第2の光束L2Dは、第4変位検出部5Dの光束結合部50Dに入射する。

40

【 0 1 3 2 】

第1変位検出部5Aの光束結合部50Aに入射した第2の光束L2Aは、光束結合部50Aの偏光調整位相板により、p偏光の光に変化する。p偏光の光に変化した第2の光束L2Aは、光束結合部50の偏光ビームスプリッタに入射する。

【 0 1 3 3 】

上述したように、偏光ビームスプリッタは、光のうちs偏光を反射し、p偏光を透過する。そのため、偏光ビームスプリッタに入射した第2の光束L2Aは、偏光ビームスプリッタを透過する。

【 0 1 3 4 】

第2の光束L2Aは、光束結合部50Aを通過して第2の位相板18Aに照射される。

50

第2の光束L2Aは、p偏光であるため、第2の光束L2Aは、第2の位相板18Aを通過することで、進行方向を中心軸として第1の向きに回転する円偏光に変化する。第2の位相板18Aを通過した第2の光束L2Aは、参照用ミラー14Aに照射される。

【0135】

参照用ミラー14Aに照射された第2の光束L2Aは、参照用ミラー14Aで反射されて、再び第2の位相板18Aに照射される。このときの第2の光束L2Aの偏光方向は、進行方向を中心軸として第1の向きに回転する円偏光である。そのため、第2の光束L2Aは、第2の位相板18Aによって、行きの偏光方向であるp偏光と直交するs偏光に変化する。

【0136】

第2の位相板18Aを通過した第2の光束L2Aは、光束結合部50Aの偏光ビームスプリッタに入射する。第2の光束L2Aの偏光方向がs偏光であるため、第2の光束L2Aは、光束結合部50Aの偏光ビームスプリッタによって反射される。

【0137】

なお、第2変位検出部5Bに入射した第2の光束L2B、第3変位検出部5Cに入射した第2の光束L2C及び第4変位検出部5Dに入射した第2の光束L2Dも同様であるため、その説明は省略する。

【0138】

一方、第1光束分割部13Aを透過した第1の光束L1は、被測定部材2の被測定面2a、すなわち第1の回折格子11の入射点P11に垂直に入射する。そして、図4に示すように、第1の光束L1は、第1の回折格子11によって回折角度で回折する。

【0139】

第1の回折格子11によって回折された回折光のうち、第1の方向Xにおいて正の次数を有する第1の光束L1Aは、第1変位検出部5Aの光束平行分岐部40Aに入射する。第1の回折格子11によって回折された回折光のうち、第1の方向Xにおいて負の次数を有する第1の光束L1Bは、第2変位検出部5Bの光束平行分岐部40Bに入射する。

【0140】

さらに、図2に示すように、第1の回折格子11によって回折された回折光のうち、第2の方向Yにおいて正の次数を有する第1の光束L1Cは、第3変位検出部5Cの光束平行分岐部40Cに入射する。また、第1の回折格子11によって回折された回折光のうち、第2の方向Yにおいて負の次数を有する第1の光束L1Dは、第4変位検出部5Dの光束平行分岐部40Dに入射する。

【0141】

第1変位検出部5Aの光束平行分岐部40Aに入射した第1の光束L1Aは、光束平行分岐部40Aの偏光調整位相板42によって、偏光状態がs偏光に変化する。s偏光に変化した第1の光束L1Aは、反射ミラー43によって反射されて偏光ビームスプリッタ44に入射する。第1の光束L1Aは、s偏光であるため、偏光ビームスプリッタ44によって反射される。

【0142】

光束平行分岐部40Aの偏光ビームスプリッタ44を反射した第1の光束L1Aは、第2の回折格子12Aに入射角度で入射点に入射する。上述したように、第2の回折格子12Aは、ブラッグ条件を満たしているため、第1の光束L1Aは、第2の回折格子12Aによって回折角度で回折する。

【0143】

また、第2の回折格子12Aを透過する光のうち0次光L4A（図1参照）は、第1傾き検出用受光部80Aに入射する。

【0144】

第2の回折格子12Aによって回折された第1の光束L1Aは、物体用ミラー15Aに垂直に入射する。そして、第1の光束L1Aは、再び第2の回折格子12Aに向けて、物体用ミラー15Aによって反射される。第1の光束L1Aは、入射角度で第2の回折格

10

20

30

40

50

子 1 2 A に入射する。このとき、第 1 の光束 L 1 A は、行き光路と同じ第 2 の回折格子 1 2 A における入射点 Q に入射する。そして、第 2 の回折格子 1 2 A によって 3 回目の回折が行われ、光束平行分岐部 4 0 A の偏光ビームスプリッタ 4 4 に入射する。

【 0 1 4 5 】

また、第 2 の回折格子 1 2 A と物体用ミラー 1 5 A の間には、第 1 の位相板 1 7 A が配置されている。そのため、第 2 の回折格子 1 2 A を通過した第 1 の光束 L 1 A は、s 偏光であるため、第 1 の位相板 1 7 A によって、進行方向を中心軸として第 2 の向きに回転する円偏光に変化する。また、物体用ミラー 1 5 A を反射した第 1 の光束 L 1 A は、第 1 の位相板 1 7 A を再び通過することで、第 2 の向きに回転する円偏光から p 偏光に変化する。

【 0 1 4 6 】

光束平行分岐部 4 0 A に再び入射した第 1 の光束 L 1 A の偏光方向は、第 1 の位相板 1 7 A によって p 偏光に変化されているため、第 1 の光束 L 1 A は、光束平行分岐部 4 0 A の偏光ビームスプリッタ 4 4 を透過する。

【 0 1 4 7 】

また、光束平行分岐部 4 0 A は、第 1 の光束 L 1 A における行き光路と帰り光路が一致しないように、行き光路と帰り光路を平行に移動させている。そのため、第 1 の光束 L 1 A は、光束平行分岐部 4 0 A を通過して、第 1 の回折格子 1 1 に入射角度 で、行き光路の入射点 P 1 1 とは異なる入射点 P 1 2 A に入射する。

【 0 1 4 8 】

このように、第 1 の回折格子 1 1 に対する行き光路の入射点 P 1 2 A と帰り光路の入射点 P 1 2 A が異なる位置であるため、第 1 の回折格子 1 1 にゴミが付着した際の影響を少なくすることができる。

【 0 1 4 9 】

次に、第 1 の光束 L 1 A は、第 1 の回折格子 1 1 で 4 回目の回折が行われて、光束結合部 5 0 A に照射される。このときの第 1 の光束 L 1 A の偏光方向が p 偏光であるため、光束結合部 5 0 A の偏光ビームスプリッタを透過する。そして、光束結合部 5 0 A で重ね合わされ、かつ互いに直交した直線偏光の第 1 の光束 L 1 A と第 2 の光束 L 2 A が重なり合った光束が、受光部 7 A に照射される。

【 0 1 5 0 】

光束は、集光レンズ 2 1 によって集光されて、ハーフミラー 2 2 に照射される。ハーフミラー 2 2 は、光束を 2 つの光に分割する。ハーフミラー 2 2 を透過した光束は、第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 4 に入射する。

【 0 1 5 1 】

ここで、第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 4 は、互いに偏光方向が 9 0 度異なる第 1 の光束 L 1 A 及び第 2 の光束 L 2 A の偏光方向が、第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 4 の入射面に対してそれぞれ偏光方向が 4 5 度傾くように傾けて配置されている。これにより、第 1 の光束 L 1 A 及び第 2 の光束 L 2 A は、第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 4 に対してそれぞれ p 偏光成分と s 偏光成分を有することになる。したがって、第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 4 を透過した第 1 の光束 L 1 A 及び第 2 の光束 L 2 A は、同じ偏光方向を有する偏光同士が干渉する。よって、第 1 の光束 L 1 A と第 2 の光束 L 2 A を第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 4 によって干渉させることができる。

【 0 1 5 2 】

同様に、第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 4 によって反射される第 1 の光束 L 1 A 及び第 2 の光束 L 2 A は、第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 4 に対して同じ偏光方向を有する偏光同士が干渉する。そのため、第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 4 によって干渉させることができる。

【 0 1 5 3 】

第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 4 を透過した第 1 の光束 L 1 A 及び第 2 の光束 L 2 A との干渉光は、第 1 の受光素子 3 1 によって受光される。また、第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 4 によって反射された第 1 の光束 L 1 A 及び第 2 の光束 L 2 A との干渉光は、第 2 の

10

20

30

40

50

受光素子 3 2 によって受光される。ここで、第 1 の受光素子 3 1 と第 2 の受光素子 3 2 とによって光電変換される干渉信号は、180 度位相の異なる信号となる。

【0154】

そして、第 1 の受光素子 3 1 と第 2 の受光素子 3 2 によって得られる干渉信号は、

なお、第 1 変位検出部 5 A の受光部 7 A は、下記式 6 に示す干渉信号を得る。ここで、 A_1 は、干渉の振幅である。

[式 6]

$$A_1 \times \cos(2K_1x + 2 \times B \times K_2z + \delta)$$

10

【0155】

ここで、 A_1 は、干渉の振幅であり、 K_1 は、 $2 / d_R$ で示される第 1 の回折格子 1 1 の波数である。また、 x は、第 1 の回折格子 1 1 の移動量、すなわちヘッド 3 と被測定部材 2 における第 1 の方向 X への相対的な変位量を示している。一方、 K_2 は、 $2 / d_T$ で示される第 2 の回折格子 1 2 A の波数である。 z は、第 2 の回折格子 1 2 A に入射する第 1 の光束 L 1 A における第 2 の回折格子 1 2 A の格子ベクトル方向の移動量を示している。なお、 d_R は、第 1 の回折格子 1 1 の格子ピッチであり、 d_T は、第 2 の回折格子 1 2 A の格子ピッチである。また、 δ は、初期位相を示している。

【0156】

さらに、 B は、第 2 の回折格子 1 2 A の格子ベクトル方向が第 3 の方向 Z に対して傾斜角度 τ で傾斜することに伴う係数である。そして、第 2 の回折格子 1 2 A のへの入射角度 (ブラッグ条件では、回折角度も同じになる) を θ とした場合、 $B = \cos \tau + \sin \tau \times \tan \theta$ で示すことができる。

20

【0157】

ここで、ヘッド 3 と被測定部材 2 が第 1 の方向 X に相対的に $x / 2$ だけ移動すると、第 1 の回折格子 1 1 に照射される第 1 の光束 L 1 の入射点は、点 P 1 1 から点 P 1 2 に第 1 の方向 X に $x / 2$ だけ移動する。すなわち、第 1 の光束 L 1 は、第 1 の回折格子 1 1 上を第 1 の方向 X に $x / 2$ だけ移動する。そのため、第 1 の光束 L 1 には、 $K_1 x$ の位相が加わり、1 周期の光の明暗が生じる干渉光が第 1 の受光素子 3 1 と第 2 の受光素子 3 2 によって受光される。

30

【0158】

なお、ヘッド 3 と被測定部材 2 が第 1 の方向 X や第 2 の方向 Y に相対的に移動しても、第 1 の光束 L 1 における第 2 の回折格子 1 2 A 上での入射点 P 1 1、1 2 は、変化しない。そのため、第 1 の光束 L 1 には、第 1 の回折格子 1 1 によって回折された位相のみが加わる。

【0159】

また、ヘッド 3 と被測定部材 2 が第 3 の方向 Z に相対的に $Z / (2 \times B)$ だけ移動すると、第 2 の回折格子 1 2 A に照射される第 1 の光束 L 1 A の入射点が点 Q 1 A から点 Q 2 A に第 2 の回折格子 1 2 A の格子ベクトル方向に $Z / 2$ だけ移動する。すなわち、第 1 の光束 L 1 A は、第 2 の回折格子 1 2 A 上を格子ベクトル方向に $Z / 2$ だけ移動する。そのため、第 1 の光束 L 1 A には、 $K_2 z$ の位相が加わり、1 周期の光の明暗が生じる干渉光が第 1 の受光素子 3 1 と第 2 の受光素子 3 2 によって受光される。

40

【0160】

なお、上述したように、第 1 の光束 L 1 は、第 3 の方向 Z と平行に第 1 の回折格子 1 1 に入射する。そのため、第 1 の光束 L 1 は、第 1 の回折格子 1 1 に垂直に入射する。したがって、ヘッド 3 と被測定部材 2 が第 3 の方向 Z に相対的に移動しても、第 1 の光束 L 1 における第 1 の回折格子 1 1 上での入射点 P 1 1、2 1 は、変化しない。そのため、第 1 の光束 L 1 A には、第 2 の回折格子 1 2 A によって回折された位相のみが加わる。

【0161】

さらに、第 1 の回折格子 1 1 の回折角度 θ_1 と、第 2 の回折格子 1 2 A の回折角度 θ_2 は、

50

上記式 5 を満たす値に設定されている。そのため、ヘッド 3 と被測定部材 2 が第 3 の方向 Z に相対的に Z で移動しても、Z と図 4 に示す $M_1 + M_2$ の和が常に 0 になる。その結果、第 1 の光束 L 1 A の光路長が変化せず、ヘッド 3 と被測定部材 2 が第 3 の方向 Z に相対的に Z で移動しても、第 1 の光束 L 1 A における第 2 の回折格子 1 2 A に入射する位置だけが点 Q 1 A から点 Q 2 A に変化する。

【 0 1 6 2 】

ここで、上述したように、第 1 の受光素子 3 1 及び第 2 の受光素子 3 2 によって得られる干渉信号には、光源 6 の波長に関する成分が含まれていない。よって、気圧や湿度、温度の変化による光源の波長に変動が起きても干渉強度には、影響を受けない。

【 0 1 6 3 】

一方、図 1 に示すように、ハーフミラー 2 2 を反射した光束は、受光側位相板 2 3 に入射する。互いに偏光方向が 90 度異なる直線偏光である第 1 の光束 L 1 A 及び第 2 の光束 L 2 A からなる光束は、受光側位相板 2 3 を透過することにより、互いに逆回りの円偏光となる。そして、この互いに逆回りの円偏光は同一光路上にあるので、重ね合わされることにより直線偏光となり、第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 5 に入射する。

【 0 1 6 4 】

この直線偏光の s 偏光成分は第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 5 によって反射され、第 3 の受光素子 3 3 に受光される。また、p 偏光成分は、第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 5 を透過し、第 4 の受光素子 3 4 によって受光される。

【 0 1 6 5 】

上述したように、第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 5 に入射する直線偏光は、互いに逆回りの円偏光の重ね合わせによって生じている。そして、第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 5 に入射される直線偏光の偏光方向は、ヘッド 3 と被測定部材 2 が第 1 の方向 X に相対的に $d_R / 2$ だけ移動すると $1 / 2$ 回転する。また、ヘッド 3 と被測定部材 2 が第 1 の方向 X に相対的に $d_T / (2 \times B)$ だけ移動しても、第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 5 に入射される直線偏光の偏光方向は、 $1 / 2$ 回転する。

【 0 1 6 6 】

したがって、第 3 の受光素子 3 3 と第 4 の受光素子 3 4 でも、第 1 の受光素子 3 1 及び第 2 の受光素子 3 2 と同様に、 $A_1 \times \cos(2 \times K_1 x + 2 \times B \times K_2 z + \quad)$ の干渉信号が得られる。 \quad は初期位相である。

【 0 1 6 7 】

また、第 3 の受光素子 3 3 と第 4 の受光素子 3 4 とで光電変換される信号は、180 度位相が異なる。

【 0 1 6 8 】

なお、本例では、第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 4 に対して、第 3 の受光素子 3 3 と第 4 の受光素子 3 4 に受光される光束を分割する第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 5 を 45 度傾けて配置している。このため、第 3 の受光素子 3 3 と第 4 の受光素子 3 4 において得られる信号は、第 1 の受光素子 3 1 と第 2 の受光素子 3 2 において得られる信号に対し、90 度位相がずれている。

【 0 1 6 9 】

したがって、例えば第 1 の受光素子 3 1 と第 2 の受光素子 3 2 で得られる信号を \sin 信号、第 3 の受光素子 3 3 と第 4 の受光素子 3 4 で得られる信号を \cos 信号として用いることによりリサージュ信号を取得することができる。

【 0 1 7 0 】

これらの受光素子によって得られる信号は、変位出力部 4 によって演算され、ヘッド 3 と被測定部材 2 との相対的な変位量がカウントされる。これにより、ヘッド 3 と被測定部材 2 との相対的な変位量を検出することができる。

【 0 1 7 1 】

なお、第 2 変位検出部 5 B、第 3 変位検出部 5 C 及び第 4 変位検出部 5 D に入射した第 2 の光束 L 2 B、L 2 C、L 2 D 及び第 1 の光束 L 1 B、L 1 C、L 1 D も同様に、光束

10

20

30

40

50

結合部 50B、50C、50D で重ね合わされ、それぞれの受光部 7B、7C、7D に照射される。

【0172】

第2変位検出部5Bの受光部7Bは、下記式7に示す干渉信号を得る。ここで、A2は、干渉の振幅である。

[式7]

$$A2 \times \cos(-2K1x + 2 \times B \times K2z + \delta)$$

【0173】

第3変位検出部5Cの受光部7Cは、下記式8に示す干渉信号を得る。ここで、A3は、干渉の振幅である。yは、第1の回折格子11の移動量、すなわちヘッド3と被測定部材2における第2の方向Yへの相対的な変位量を示している。

[式8]

$$A3 \times \cos(2K1y + 2 \times B \times K2z + \delta)$$

【0174】

第4変位検出部5Dの受光部7Dは、下記式9に示す干渉信号を得る。ここで、A4は、干渉の振幅である。

[式9]

$$A4 \times \cos(-2K1y + 2 \times B \times K2z + \delta)$$

【0175】

上記式6と式7に示すように、第1変位検出部5Aの受光部7Aと、第2変位検出部5Bの受光部7Bが得られる干渉信号における第1の方向Xの変位情報は、正負が異なっている。また、上記式8及び式9に示すように、第3変位検出部5Cの受光部7Cと、第4変位検出部5Dの受光部が得られる第2の方向Yの変位情報は、正負が異なっている。

【0176】

そのため、第1相対位置情報出力部4Aの変位情報Aから第2相対位置情報出力部4Bの変位情報Bを引くことで、第1の方向Xの変位情報のみを取り出すことができる。また、第3相対位置情報出力部4Cの変位情報Cから第4相対位置情報出力部4Dの変位情報Dを引くことで、第2の方向Yの変位情報のみを取り出すことができる。そして、第1相対位置情報出力部4A、第2相対位置情報出力部4B、第3相対位置情報出力部4C及び第4相対位置情報出力部4Dの全ての変位情報A、B、C、Dを足し合わせることで、第3の方向Zの変位情報のみを取り出すことができる。

【0177】

そして、図6に示すように、演算部70は、第1相対位置情報出力部4A、第2相対位置情報出力部4B、第3相対位置情報出力部4C、第4相対位置情報出力部4Dの全ての変位情報A、B、C、Dを足し合わせて、4で割ることで、ヘッド3と被測定部材2との第3の方向Zへの相対位置の変位情報を演算する。

【0178】

また、演算部70は、第1相対位置情報出力部4Aの変位情報Aから第2相対位置情報出力部4Bの変位情報Bを引き、2で割ることで、ヘッド3と被測定部材2との第1の方向Xの変位情報を演算する。演算部70は、第3相対位置情報出力部4Cの変位情報Cから第4相対位置情報出力部4Dの変位情報Dを引き、2で割ることで、ヘッド3と被測定部材2との第2の方向Yの変位情報を演算する。

【0179】

これにより、変位出力部4は、第1の方向Xと、第2の方向Yと、第3の方向Zの3次

10

20

30

40

50

元の変位情報を出力する。

【 0 1 8 0 】

本例の変位検出装置 1 によれば、第 1 の回折格子 1 1 によって回折された回折光のうち第 1 の方向 X における正の次数の回折光を第 1 変位検出部 5 A で用いて、第 1 の方向 X における負の次数の回折光を第 2 変位検出部 5 B で用いている。さらに、第 2 の方向 Y における正の次数の回折光を第 3 変位検出部 5 C で用いて、第 2 の方向 Y における負の次数の回折光を第 4 変位検出部 5 D で用いている。これにより、変位出力部 4 で得られる干渉信号の出力振幅を増加させることができる。

【 0 1 8 1 】

次に、傾き検出について説明する。

被測定部材 2 が第 3 の方向 Z の絶対位置が変化した場合、第 1 傾き検出用受光部 8 0 A における第 1 受光素子 8 1 及び第 2 受光素子 8 2 に入射する 0 次光 L 4 A は、原点 R 1 A から第 1 受光素子 8 1 側、又は第 2 受光素子 8 2 側に移動する。なお、第 2 傾き検出用受光部 8 0 B、第 3 傾き検出用受光部 8 0 C 及び第 4 傾き検出用受光部 8 0 D においても同様である。

【 0 1 8 2 】

また、被測定部材 2 が第 2 の方向 Y を中心に傾いた場合、第 1 傾き検出用受光部 8 0 A における第 1 受光素子 8 1 及び第 2 受光素子 8 2 に入射する 0 次光 L 4 A は、原点 R 1 A から第 1 受光素子 8 1 側、又は第 2 受光素子 8 2 側に移動する。同様に、第 2 傾き検出用受光部 8 0 B における第 1 受光素子 8 1 及び第 2 受光素子 8 2 に入射する 0 次光 L 4 B は、原点 R 1 B から第 1 受光素子 8 1 側、又は第 2 受光素子 8 2 側に移動する。

【 0 1 8 3 】

また、第 1 絶対位置検出部 8 4 a が演算した絶対位置と、第 2 絶対位置検出部 8 4 b が演算した絶対位置に第 3 の方向 Z に対して Z のズレが発生する。そして、第 1 角度計算部 8 5 は、第 1 絶対位置検出部 8 4 a の絶対位置と第 2 絶対位置検出部 8 4 b のずれ Z と、第 1 傾き検出用受光部 8 0 A と第 2 傾き検出用受光部 8 0 B との間隔 LL 1 を用いて、下記式 1 0 から被測定部材 2 における第 2 の方向 Y を中心軸とした第 1 傾きの角度 Y を算出する。

[式 1 0]

$$\theta Y = \arcsin(\Delta Z / LL1)$$

【 0 1 8 4 】

また、また、被測定部材 2 が第 1 の方向 X を中心に傾いた場合、第 3 傾き検出用受光部 8 0 C における第 1 受光素子 8 1 及び第 2 受光素子 8 2 に入射する 0 次光 L 4 C は、原点 R 1 C から第 1 受光素子 8 1 側、又は第 2 受光素子 8 2 側に移動する。同様に、第 4 傾き検出用受光部 8 0 D における第 1 受光素子 8 1 及び第 2 受光素子 8 2 に入射する 0 次光 L 4 D は、原点 R 1 D から第 1 受光素子 8 1 側、又は第 2 受光素子 8 2 側に移動する。

【 0 1 8 5 】

また、第 3 絶対位置検出部 8 4 c が演算した絶対位置と、第 4 絶対位置検出部 8 4 d が演算した絶対位置に第 3 の方向 Z に対して Z のズレが発生する。そして、第 2 角度計算部 8 6 は、第 3 絶対位置検出部 8 4 c の絶対位置と第 4 絶対位置検出部 8 4 d のずれ Z と、第 3 傾き検出用受光部 8 0 C と第 4 傾き検出用受光部 8 0 D との間隔 LL 2 を用いて、下記式 1 1 から被測定部材 2 における第 1 の方向 X を中心軸とした第 2 傾きの角度 X を算出する。

[式 1 1]

$$\theta X = \arcsin(\Delta Z / LL2)$$

【 0 1 8 6 】

このように、本例の変位検出装置 1 によれば、被測定部材 2 の被測定面 2 a に対して光源 6 からの光を 1 点（入射点 P 1 1）に照射するだけで、ヘッド 3 と被測定部材 2 との第 1 の方向 X、第 2 の方向 Y 及び第 3 の方向 Z の 3 次元の変位情報だけでなく、被測定部材 2 の傾きも検出することができる。

【0187】

なお、第 1 傾き検出用受光部 8 0 A、第 2 傾き検出用受光部 8 0 B、第 3 傾き検出用受光部 8 0 C 及び第 4 傾き検出用受光部 8 0 D に入射する 0 次光 L 4 A、L 4 B、L 4 C、L 4 D の原点 R 1 A、R 1 B、R 1 C、R 1 D は、第 1 受光素子 8 1 と第 2 受光素子 8 2 の境界線に限定されるものではない。例えば、被測定部材 2 の被測定面 2 a が第 1 の方向 X 及び第 2 の方向 Y、すなわち水平方向と平行をなしている状態での、0 次光 L 4 A、L 4 B、L 4 C、L 4 D が各傾き検出用受光部 8 0 A、8 0 B、8 0 C、8 0 D に入射する点を原点としてもよい。

10

【0188】

また、本例の変位検出装置 1 では、第 1 の方向 X の変位を検出するために、第 1 変位検出部 5 A と第 2 変位検出部 5 B を設け、第 2 の方向 Y の変位を検出するために、第 3 変位検出部 5 C と第 4 変位検出部 5 D を設けた例を説明した。しかしながら、第 1 の方向 X と第 3 の方向 Z の変位を検出するためだけであれば、第 1 変位検出部 5 A と第 2 変位検出部 5 B だけでよい。また、第 2 の方向 Y と第 3 の方向 Z の変位を検出するためだけであれば、第 3 変位検出部 5 C と第 4 変位検出部 5 D だけでよい。

【0189】

さらに、本例の変位検出装置 1 では、参照光である第 2 の光束 L 2 L 2 A、L 2 B、L 2 C、L 2 D が入射する参照用反射部材として参照用ミラー 1 4 A、1 4 B、1 4 C、1 4 D を適用した例を説明したが、これに限定されるものではない。上述した変位検出装置 1 では、光源 6 に波長変動が生じた場合、第 1 の光束 L 1 A、L 1 B、L 1 C、L 1 D の回折角が、第 1 の回折格子 1 1 や第 2 の回折格子 1 2 A、1 2 B、1 2 C、1 2 D によって片かする。そのため、第 1 の光束 L 1 A、L 1 B、L 1 C、L 1 D と、第 2 の光束 L 2 A、L 2 B、L 2 C、L 2 D の光路長に差が発生するおそれがある。

20

【0190】

そのため、参照用反射部材としては、例えば、物体光である第 1 の光束 L 1 が入射する光学系と同様の光学系を適用してもよい。ここで、第 1 の方向 X と第 3 の方向 Z の変位を検出する変位検出装置を例に挙げて説明する。まず、光束分割部は、光源から照射された光を、上述した第 1 の回折格子 1 1 に入射する第 1 の光束と、参照用反射部材に入射する第 2 の光束に分割する。なお、第 1 の光束が入射する側の構成は、上述した変位検出装置 1 と同様であるため、その説明は省略する。

30

【0191】

参照用反射部材は、反射型の参照用第 1 の回折格子と、2 つの参照用光束平行分岐部と、2 つの透過型の参照用第 2 の回折格子と、2 つの参照用ミラーと、2 つの第 2 の位相板とを有している。参照用第 1 の回折格子は、反射面が第 1 の方向 X と第 3 の方向 Z で形成された平面、又は第 2 の方向 Y と第 3 の方向 Z で形成された平面と略平行に配置される。そして、参照用第 1 の回折格子には、第 2 の光束が垂直に入射する。この参照用第 1 の回折格子に入射した第 2 の光束は、参照用第 1 の回折格子により回折される。

40

【0192】

参照用第 1 の回折格子は、被測定部材 2 に設けられた第 1 の回折格子 1 1 の格子ピッチと同じ格子ピッチに設定されている。

【0193】

参照用第 1 の回折格子により回折された第 2 の光束のうち、正の次数の回折光が第 1 変位検出部 5 A で用いられる参照光（第 1 参照光）となり、負の次数の回折光が第 2 変位検出部 5 B で用いられる参照光（第 2 参照光）となる。そして、第 1 参照光は、2 つの参照用光束平行分岐部のうち一方の参照用光束平行分岐部（第 1 参照用光束平行分岐部）を介して、2 つの参照用第 2 の回折格子のうち一方の参照用第 2 の回折格子に入射する。また

50

、第2参照光は、2つの参照用光束平行分岐部のうち他方の参照用光束平行分岐部（第2参照用光束平行分岐部）を介して、2つの参照用第2の回折格子のうち他方の参照用第2の回折格子に入射する。

【0194】

第1参照光は、一方の参照用第2の回折格子を透過し、かつ回折されて第2の位相板を介して2つの参照用ミラーのうち一方の参照用ミラーに入射する。同様に、第2参照光は、他方の参照用第2の回折格子を透過し、かつ回折されて第2の位相板を介して2つの参照用ミラーのうち他方の参照用ミラーに入射する。なお、参照用第1の回折格子、参照用光束平行分岐部、参照用第2の回折格子、第2の位相板及び参照用ミラーの構成及び位置関係は、上述した変位検出装置1における第1の回折格子11、光束平行分岐部40A、40B、第2の回折格子12A、12B、第1の位相板及び物体用ミラーと同様である。

10

【0195】

参照用第2の回折格子は、透過型の回折格子であり、例えば、ポリウムタイプの透過型のホログラムであってもよい。また、参照用第2の回折格子の格子ピッチは、上述した第1変位検出部5Aの第2の回折格子12A及び第2変位検出部5Bの第2の回折格子12Bの格子ピッチと同じであることが好ましい。また、参照用第1の回折格子及び2つの参照用第2の回折格子は、ヘッド3内に機械的に固定されている。

【0196】

そして、参照用ミラーにより反射された第1参照光及び第2参照光は、第2の位相板、参照用第2の回折格子及び参照用光束平行分岐部を通過して、再び参照用第1の回折格子に入射する。ここで、第1参照光及び第2参照光は、光束分割部により分割された参照用第1の回折格子に入射する1回目の入射点と異なる位置に入射する。

20

【0197】

また、光束分割部により分割された第1の光束と第2の光束における受光部までの光路長を等しくするために、参照用ミラーによって第2の光束の光路長が調整される。

【0198】

再び参照用第1の回折格子に入射した第1参照光及び第2参照光は、参照用第1の回折格子によって反射及び回折される。そして、第1参照光は、第1変位検出部5Aの光束結合部50Aに入射し、第1の光束L1Aと重なり合い、受光部7Aに入射する。また、第2参照光は、第2変位検出部5Bの光束結合部50Bに入射し、第1の光束L1Bと重なり合い、受光部7Bに入射する。

30

【0199】

これにより、光源6の波長変動によって生じる物体光である第1の光束と参照光である第2の光束の光路長の差を完全にキャンセルさせることができる。その結果、第3の方向Zの検出誤差を完全にキャンセルすることができる。さらに、周囲の環境条件、例えば温度、気圧、湿度が変化しても第1の光束と第2の光束の光路長が常に等しくなり、安定した変位の検出が可能になる。

【0200】

2. 第2の回折格子の変形例

次に、図8A及び図8Bを参照して回折格子の変形例について説明する。

40

図8Aは第2の回折格子の変形例を示す断面図、図8Bは第2の回折格子の他の変形例を示す断面図である。

【0201】

図8Aに示す第2の回折格子12Mは、写真乾板を用いた、いわゆるポリウムタイプのホログラムである。吸収型のホログラムを用いてもよいが、ここでは位相型のホログラムについて説明する。この第2の回折格子12Mにおける格子部12bは、例えば次のようにして形成される。まず、ガラス基板12aの一面に光に感光する銀塩の乳剤を塗布し、干渉縞を露光し、現像後、漂白する。これにより、格子部12bには、銀の粒子が残っている箇所と、残っていない箇所が形成される。

【0202】

50

ここで、銀の粒子が残っている箇所は、屈折率が高く、銀の粒子が残っていない箇所は、屈折率が低くなる。すなわち、位相型のホログラムである。また、材料として写真乾板の代わりにホログラム記録用フォトリソを使用してもよい。

【0203】

図8Bに示す第2の回折格子12Nは、略透明なガラス基板12aの一面に例えばクロム(Cr)からなる格子部12cを形成したものである。一般的に、格子部12cは、ガラス基板12aの一面にクロム等の薄膜を真空蒸着によって形成されるため、その厚みは、1μm以下である。

【0204】

また、図8Aに示す第2の回折格子12M及び図8Bに示す第2の回折格子12Nにおいて、入射角度を a 、回折角度を b とした場合、下記式12のブラッグ条件を満たすとき、 $a = b$ となる。なお、 n は、整数である。

[式12]

$$\sin \phi a + \sin \phi b = n \lambda / d_T$$

【0205】

また、図8Aに示す第2の回折格子12Mの場合、ブラッグ条件を満たすときに、第2の回折格子12Mによって回折される回折光の出力を最大にすることができる。すなわち、第2の回折格子12Mによって回折された回折光の光量が低下することを防ぐことができる。

【0206】

なお、本発明は上述しかつ図面に示した実施の形態に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した発明の要旨を逸脱しない範囲内で種々の変形実施が可能である。

【0207】

上述した実施の形態例では、光源から照射される光は、気体中だけでなく、液体中又は真空中の空間を飛ばして光を供給するようにしてもよい。

【0208】

また、光源6から放射された光Lの光軸、すなわち第3の方向Zを軸とした回転を検出するための構成を上述した変位検出装置1に加えてもよい。これにより、第1の方向X、第2の方向Y、第3の方向Zの変位と、第1の方向Xの傾き、第2の方向Yの傾きと、第3の方向Zを軸とした回転の6軸の変位を一つの変位検出装置で検出することができる。

【0209】

なお、本明細書において、「平行」及び「直角」等の単語を使用したか、これらは厳密な「平行」及び「直角」のみを意味するものではなく、「平行」及び「直角」を含み、さらにその機能を発揮し得る範囲にある、「略平行」や「略直角」の状態であってもよい。

【符号の説明】

【0210】

1...変位検出装置、 2...被測定部材、 2a...被測定面、 3...ヘッド、 4...変位出力部、 4A、4B、4C、4D...相対位置情報出力部、 5A、5B、5C、5D...変位検出部、 6...光源、 7A、7B、7C、7D...受光部、 11...第1の回折格子、 12A、12B、12C、12D...第2の回折格子、 13A、13B、13C、13D...光束分割部、 14A、14B、14C、14D...参照用ミラー(参照光用反射部材)、 15A、15B、15C、15D...物体用ミラー(物体光用反射部材)、 40A、40B、40C、40D...光束平行分岐部、 42...偏光調整位相板、 43...反射ミラー、 44...偏光ビームスプリッタ、 50A、50B、50C、50D...光束結合部、 70...演算部、 80A、80B、80C、80D...傾き検出用受光部、 81...第1受光素子、 82...第2受光素子、 84a、84b、84c、84d...絶対位置検出部、 85、86...角度計算部、 L1、L1A、L1B、L1C、L1D...第1の光束、 L2A、L2B、L2C、L2D...第2の光束、 L4A、L4B、L4C、L4D...0次光

10

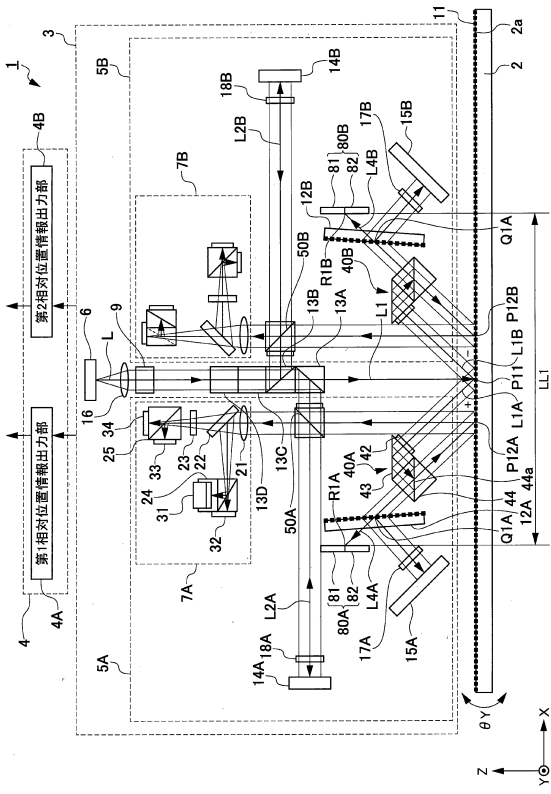
20

30

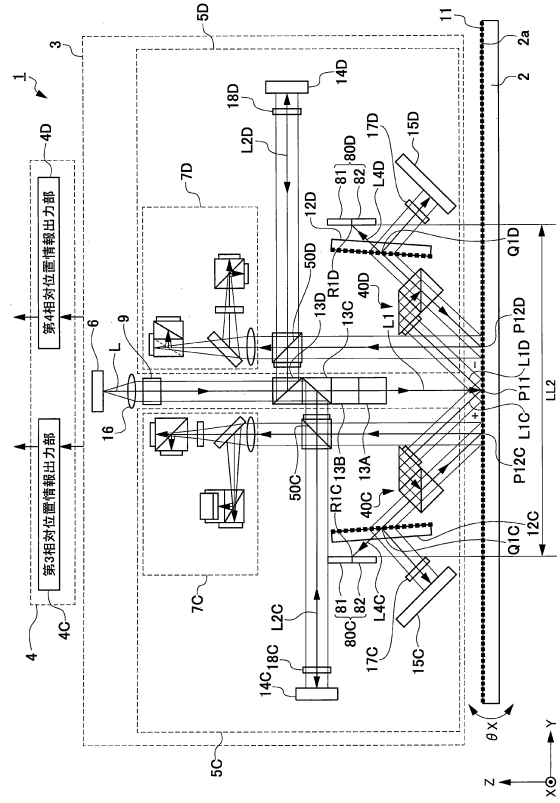
40

50

【図面】
【図 1】



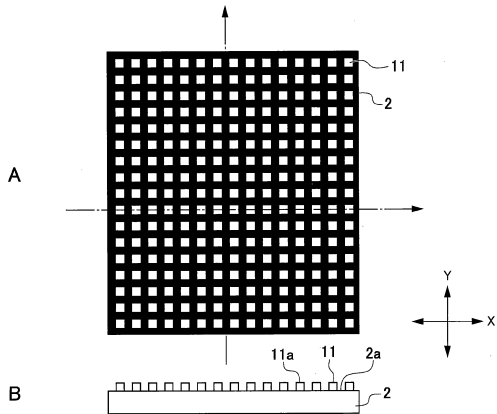
【図 2】



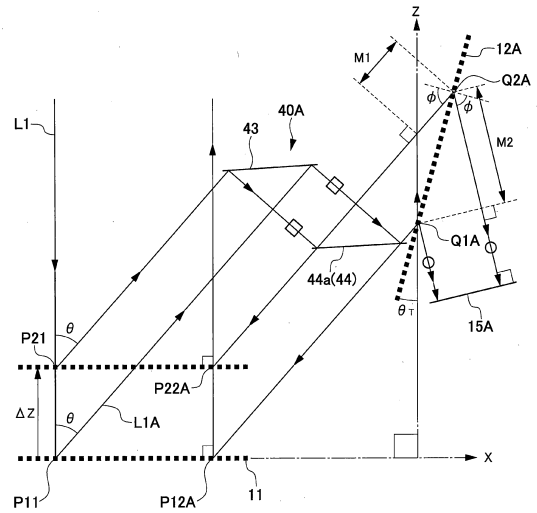
10

20

【図 3】



【図 4】

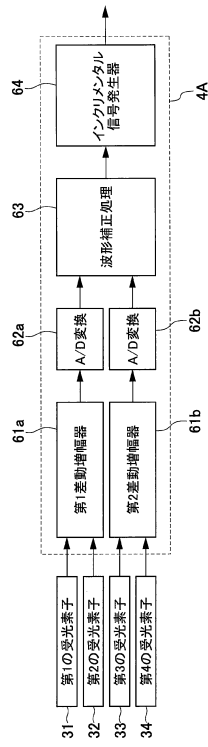


30

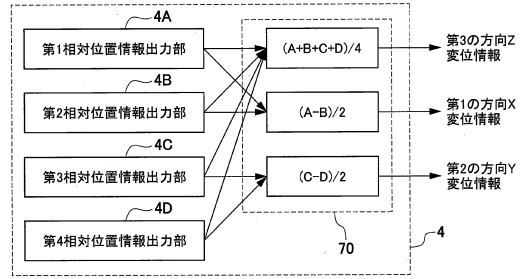
40

50

【図5】



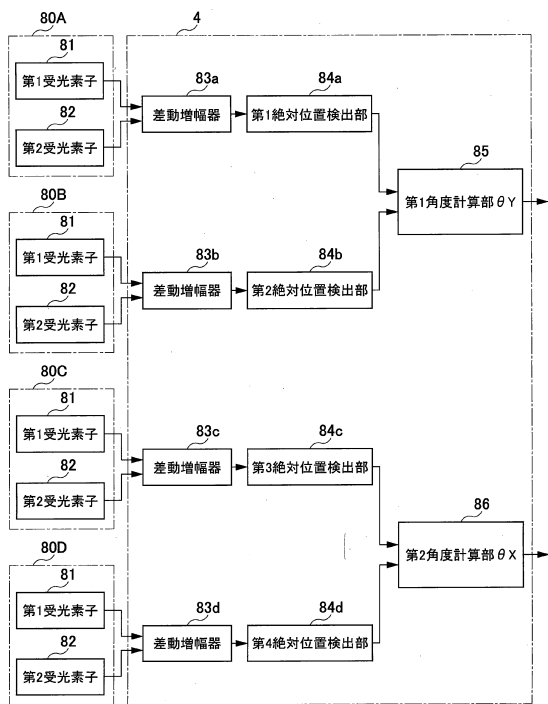
【図6】



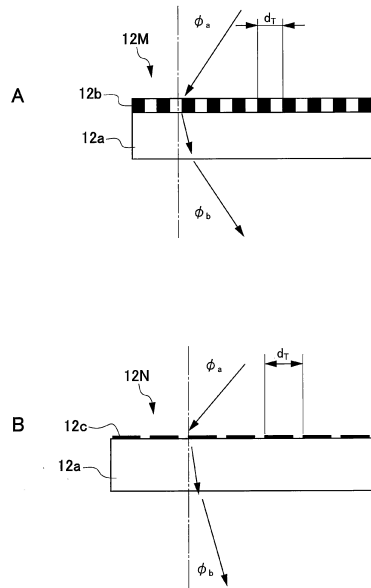
10

20

【図7】



【図8】



30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 1 3 - 1 9 5 4 3 2 (J P , A)
特開平 0 7 - 3 0 6 0 6 0 (J P , A)
特開平 0 5 - 1 8 0 6 6 7 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 0 1 0 2 9 9 9 (U S , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- G 0 1 B 1 1 / 0 0 - 1 1 / 3 0
G 0 1 D 5 / 2 6 - 5 / 3 8