

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7042183号
(P7042183)

(45)発行日 令和4年3月25日(2022.3.25)

(24)登録日 令和4年3月16日(2022.3.16)

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

請求項の数 10 (全38頁)

(21)出願番号	特願2018-138038(P2018-138038)	(73)特許権者	000146847 D M G 森精機株式会社 奈良県大和郡山市北郡山町106番地
(22)出願日	平成30年7月23日(2018.7.23)	(74)代理人	110000925 特許業務法人信友国際特許事務所
(65)公開番号	特開2019-39910(P2019-39910A)	(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
(43)公開日	平成31年3月14日(2019.3.14)	(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
審査請求日	令和3年3月4日(2021.3.4)	(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
(31)優先権主張番号	特願2017-162746(P2017-162746)	審査官	櫻井 仁
(32)優先日	平成29年8月25日(2017.8.25)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

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た第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、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第1の光束と第2の光束に分割し、前記第1の光束を前記第1の回折格子に向けて照射する変位検出部と、
前記第2の光束と、前記変位検出部を介して前記第1の回折格子から戻ってきた前記第1の光束とを受光する受光部と、を備え、
前記変位検出部は、
前記光を前記第1の光束と、前記第2の光束に分割し、かつ分割された前記第1の光束を前記第1の回折格子に向けて照射する光束分割部と、
前記光束分割部により分割され、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第2の回折格子と、
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て前記受光部に照射する光束
結合部と、を備え、

前記ヘッドは、光源から出射された光を前記第 1 の回折格子に垂直に対して入射させ、
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
ることを特徴とする

10

変位検出装置。

【請求項 2】

前記変位検出部は、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くなることを特徴とする 請
求項 1 に記載の変位検出装置。

20

【請求項 3】

前記第 1 の回折格子の回折角度 θ_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_2 、前記第 2 の回折格子の回折角度 θ_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 又は 2 に記載の変位検出装置。

【請求項 4】

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

30

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の変位検出装置。

【請求項 5】

前記ヘッドは、

前記変位検出部からなり、前記第 1 の回折格子の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、

前記第 1 変位検出部に対して前記第 1 の回折格子の格子ベクトル方向の他側に配置され、
前記第 1 変位検出部と同一の構成要素を有する第 2 変位検出部と、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
の回折格子の格子ベクトル方向に沿って反転して配置され、

40

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 の回折格子の格子ベクトル方向の一側に向けて回折し
た格子ベクトル方向において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 の回折格子の格子ベクトル方向の他側に向けて回折し
た格子ベクトル方向において負の次数を有する回折光が入射する

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】

前記第 1 の回折格子は、前記被測定面と平行をなす第 1 格子ベクトル方向と、

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

50

方向と、を有し、

前記ヘッドは、

前記変位検出部からなり、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、前記第 1 変位検出部と同一の構成要素を有する第 2 変位検出部と、

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れ、前記第 1 変位検出部と同一の構成要素を有する第 3 変位検出部と、

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反対側に配置され、前記第 1 変位検出部と同一の構成要素を有する第 4 変位検出部と、を備え、

10

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 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前記第 1 格子ベクトル方向において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前記第 1 格子ベクトル方向において負の次数を有する回折光が入射し、

20

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前記第 2 格子ベクトル方向において正の次数を有する回折光が入射し、

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前記第 2 格子ベクトル方向において負の次数を有する回折光が入射することを特徴とする

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】

30

前記光束平行分岐部は、

前記第 1 の光束の偏光状態を調整する偏光調整位相板と、

前記偏光調整位相板により偏光状態が調整された前記第 1 の光束を反射させる反射ミラーと、

前記反射ミラーにより反射された前記第 1 の光束を反射し、前記第 2 の回折格子により回折された前記第 1 の光束を透過させる偏光ビームスプリッタと、

を有することを特徴とする

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】

前記反射ミラーの反射面と、前記偏光ビームスプリッタにおける前記第 1 の光束を反射及び透過させる反射透過面は、互いに平行に配置されることを特徴とする

40

請求項 7 に記載の変位検出装置。

【請求項 9】

前記変位検出部は、前記受光部と前記光束結合部の間に配置され、前記第 1 の光束を回折する補正回折格子をさらに備えたことを特徴とする

請求項 1 に記載の変位検出装置。

【請求項 10】

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 ~ 9 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】

50

【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し、詳しくは被測定面の垂直な方向の変位を検出する技術に係わる。

【背景技術】**【0002】**

従来から、被測定面の変位や形状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。代表的な例としては、レーザ光を被測定面に照射し、反射光の位置の変化をPSDで検出する方法がある。しかしながら、この方法では、被測定面の傾きの影響を受けやすく、感度が低く、測定範囲を広げると測定の分解能が落ちるといった問題があった。

10

【0003】

これに対し、被測定面をミラーとしてマイケルソンの干渉計を使用する方法がある。この方法は、検出範囲が広く、直線性に優れるが、測定範囲が広がると光源の波長の変化と空気の屈折率の変化を受ける。

【0004】

一方、光源から出射した光を対物レンズで被測定面に集光し、被測定面で反射した反射光を非点光学素子で集光して受光素子に入射させて、非点収差法によりフォーカスエラー信号を生成する。そして、フォーカスエラー信号を用いてサーボ機構を駆動させ、対物レンズの焦点位置が被測定面となるように対物レンズを変位させる。このとき、対物レンズに連結部材を介して一体的に取り付けられたリニアスケールの目盛を読み取ることで、被測定面の傾きの変化を受けにくく、大きな測定範囲を高い分解能で計測できるメリットがあった。

20

【0005】

特許文献1に開示された変位検出装置では、変位検出の高精度化を図るために、対物レンズの開口数(NA: Numerical Aperture)を大きくして被測定面に集光させるビーム径を小さくしている。例えば、被測定面に結像されるビーム径を2 μ m程度にすると、リニアスケールの検出精度は、数nm~100数nm程度になる。

【先行技術文献】

30

【特許文献】**【0006】**

【文献】特開平5-89480号公報

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0007】**

しかしながら、従来の特許文献1に記載された変位検出装置では、例えば磁石とコイルを用いたアクチュエータ等のような駆動機構により対物レンズをその光軸方向に上下運動させている。そのため、アクチュエータの構造や質量によって対物レンズの上下運動のメカ的な応答周波数が制限されていた。その結果、特許文献1に記載された変位検出装置では、高速で振動する被測定物の計測は難しかった。また、検出点を絞れる反面、被測定物上の異物やビーム形状に近い細かな形状変化の影響を受け、大きな誤差を発生する、という問題があり、その使用条件に制約が生じてしまっていた。

40

【0008】

本発明の目的は、高精度に被測定部材の高さ方向の変位を検出でき、高速で安定した計測が可能な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】**【0009】**

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、第1の回折格子と、ヘッドと、を備えている。第1の回折格子は、被測定部材の被測定面に設けられ

50

る。ヘッドは、被測定部材の被測定面に対向して配置される。ヘッドと被測定部材は、被測定面と平行で、かつ第1の回折格子の格子ベクトル方向とも平行をなす方向及び被測定面と直交する方向のうち少なくとも一方に、相対的に移動可能としている。

ヘッドは、光を照射する光源と、変位検出部と、受光部と、を備えている。変位検出部は、光源から照射された光を第1の光束と第2の光束に分割し、第1の光束を第1の回折格子に向けて照射する。受光部は、第2の光束と、変位検出部を介して第1の回折格子から戻ってきた第1の光束とを受光する。

変位検出部は、光束分割部と、第2の回折格子と、光束平行分岐部と、参照光用反射部材と、光束結合部と、を備えている。光束分割部は、光を第1の光束と、第2の光束に分割し、かつ分割された第1の光束を第1の回折格子に向けて照射する。第2の回折格子は、光束分割部により分割され、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。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。光束結合部は、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て受光部に照射する。

ヘッドは、光源から出射された光を第1の回折格子に垂直に対して入射させる。

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

第1の回折格子の回折角度、第2の回折格子への第1の光束の入射角度、第2の回折格子の回折角度は、ヘッドと被測定部材の少なくとも一方が被測定面と直交する方向に変位した際の、第1の光束における光束分割部から第1の回折格子に入射するまでの光路長の変位量と、第1の光束における第1の回折格子から第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。

【発明の効果】

【0010】

本発明の変位検出装置によれば、従来のような駆動機構を必要としないので、使用時に発生する熱を抑制できる。さらに、駆動機構を駆動させる必要が無いので、応答周波数といった問題も解消され、使用条件を広くすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の第1の実施の形態例に係る変位検出装置の構成を示す概略構成図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態例に係る変位検出装置の被測定部材及び第1の回折格子を示す斜視図である。

【図3】本発明の第1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。

【図4】本発明の第1の実施の形態例に係る変位検出装置における相対位置情報出力手段を示すブロック図である。

【図5】本発明の第1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5Aは第2の回折格子の変形例を示す断面図、図5Bは第2の回折格子の他の変形例を示す断面図である。

【図6】本発明の第2の実施の形態例に係る変位検出装置の構成を示す概略構成図である。

【図7】本発明の第2の実施の形態例に係る変位検出装置における相対位置情報出力手段を示すブロック図である。

【図8】本発明の第3の実施の形態例に係る変位検出装置の構成を示す概略構成図である。

【図9】本発明の第3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10】本発明の第3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

10

20

30

40

50

第 4 変位検出の構成を示す概略構成図である。

【図 1 1】本発明の第 3 の実施の形態例に係る変位検出装置における相対位置情報出力手段を示すブロック図である。

【図 1 2】本発明の第 3 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 1 2 A は第 1 の回折格子を示す平面図、図 1 2 B は第 1 の回折格子を示す断面図である。

【図 1 3】本発明の第 4 の実施の形態例に係る変位検出装置の構成を示す概略構成図である。

【図 1 4】本発明の第 4 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 の回折格子の入射角度及び回折角度の関係を示す説明図である。

10

【図 1 5】本発明の第 5 の実施の形態例に係る変位検出装置の構成を示す概略構成図である。

【図 1 6】本発明の第 5 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 の回折格子の入射角度及び回折角度の関係を示す説明図である。

【図 1 7】本発明の第 6 の実施の形態例に係る変位検出装置の構成を示す概略構成図である。

【図 1 8】本発明の第 7 の実施の形態例に係る変位検出装置の構成を示す概略構成図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

20

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 1 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。

【0013】

1. 変位検出装置の第 1 の実施の形態例

まず、本発明の変位検出装置の第 1 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。

【0014】

30

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。

【0015】

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。

【0016】

図 1 に示すように、変位検出装置 1 は、被測定部材 2 の被測定面 2 a に設けた第 1 の回折格子 1 1 と、ヘッド 3 と、相対位置情報出力手段 4 とを備えている。なお、相対位置情報出力手段 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。

40

【0017】

ヘッド 3 と被測定部材 2 は、被測定面 2 a に対して平行な方向でかつ第 1 の回折格子 1 1 の格子ベクトル方向 S 1（図 2 参照）と平行をなす方向又は、被測定面 2 a に対して垂直な方向に相対的に移動可能に配置される。すなわち、ヘッド 3 と被測定部材 2 のうち少なくとも一方が、被測定面 2 a と平行な方向又は、被測定面 2 a と垂直な方向のうち少なくとも一方に移動可能に配置される。

【0018】

以下、被測定面 2 a に対して平行で、かつ第 1 の回折格子 1 1 の格子ベクトル方向 S 1（図 2 参照）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

50

、かつ第1の方向Xと直交する方向を第2の方向Yとする。そして、被測定面2aと直交する方向、すなわち第1の方向Xと第2の方向Yとも直交する方向を第3の方向Zとする。

【0019】

図2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におけるヘッド3と対向する被測定面2aには、第1の回折格子11が設けられている。第1の回折格子11は、反射型の回折格子である。

【0020】

第1の回折格子11は、被測定面2aから突出する複数の突条11aにより構成されている。複数の突条11aは、第1の方向Xに沿って所定の間隔を空けて配置されている。複数の突条11aにおける隣り合う2つの突条11aの間隔が、第1の回折格子11の格子ピッチ d_R となる。

10

【0021】

そして、この複数の突条11aの格子ベクトル方向 S_1 は、第1の方向Xと平行に配置される。また、突条11aが延在する方向(格子ライン方向) S_2 は、被測定面2aにおいて第2の方向Yと平行になる。なお、格子ベクトル方向 S_1 及び格子ライン方向 S_2 は、被測定面2aと平行をなす平面上に存在する。そして、格子ベクトル方向 S_1 は、第1の方向Xと平行である必要はなく、同様に、格子ライン方向 S_2 は、第2の方向Yと平行である必要はない。

【0022】

なお、本例では、被測定面2aから突出する複数の突条11aによって第1の回折格子11が構成される例を説明したが、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2aに複数の溝部を形成することで、第1の回折格子11を構成してもよい。

20

【0023】

また、第1の回折格子11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11を構成する複数の突条11a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2aに蒸着することで形成される。なお、第1の回折格子11の格子ピッチ d_R 及び回折角度については、後述する。

【0024】

この被測定部材2に設けた第1の回折格子11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。

30

【0025】

ヘッド3は、変位検出部5と、光源6と、変位検出部5に設けられた受光部7とを有している。なお、受光部7は、変位検出部5内に配置してもよく、あるいは変位検出部5の外側に配置してもよい。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。

【0026】

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2aのチルト等による物体光と参照光の光路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。

40

【0027】

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。

【0028】

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。

50

【 0 0 2 9 】

光源 6 から出射された光 L は、変位検出部 5 に入射する。なお、光源 6 と変位検出部 5 の間には、コリメートレンズ等からなるレンズ 1 6 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、変位検出部 5 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 3 0 】

変位検出部 5 は、光源 6 から照射された光 L を被測定部材 2 の第 1 の回折格子 1 1 に向けて照射し、被測定部材 2 から戻ってきた光 L を受光部 7 に導く。変位検出部 5 は、第 2 の回折格子 1 2 と、光束分割部 1 3 と、光束平行分岐部 4 0 と、光束結合部 5 0 と、参照光用反射部材の一例を示す参照用ミラー 1 4 と、物体光用反射部材の一例を示す物体用ミラー 1 5 と、第 1 の位相板 1 7 と、第 2 の位相板 1 8 と、を有している。

10

【 0 0 3 1 】

光束分割部 1 3 としては、例えば、ハーフミラーやビームスプリッタにより構成されている。光束分割部 1 3 には、光源から照射され、レンズ 1 6 により平行光にコリメートされた光 L が入射する。

【 0 0 3 2 】

光束分割部 1 3 は、光 L を物体光である第 1 の光束 L 1 と、参照光である第 2 の光束 L 2 の 2 つの光束に分割する。光束分割部 1 3 を透過した光 L が第 1 の光束 L 1 となり、光束分割部 1 3 によって反射された光 L が第 2 の光束 L 2 となる。光束分割部 1 3 を透過した第 1 の光束 L 1 は、第 1 の回折格子 1 1 に向かって進行し、光束分割部 1 3 によって反射された第 2 の光束 L 2 は、光束結合部 5 0 を介して参照用ミラー 1 4 に向かって進行する。

20

【 0 0 3 3 】

光束分割部 1 3 では、光 L が第 1 の光束 L 1 と第 2 の光束 L 2 に分割されるが、その光量比率は、後述する受光部 7 に入射する際に、第 1 の回折格子 1 1 側と、参照用ミラー 1 4 側でそれぞれが同じ光量となるような比率にすることが好ましい。

【 0 0 3 4 】

さらに、光源 6 と光束分割部 1 3 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。

【 0 0 3 5 】

また、光束分割部 1 3 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 1 3 としては、例えば、偏光ビームスプリッタを用いてもよい。

30

【 0 0 3 6 】

また、光源 6、レンズ 1 6、光束分割部 1 3 は、光束分割部 1 3 を透過する光、すなわち第 1 の光束 L 1 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、光束分割部 1 3 を透過した第 1 の光束 L 1 は、被測定部材 2 の被測定面 2 a、すなわち第 1 の回折格子 1 1 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 1 1 に入射される第 1 の光束 L 1 の入射点 P 1 1 の位置は、第 1 の回折格子 1 1 上において変化しない。

40

【 0 0 3 7 】

光束平行分岐部 4 0 は、第 1 の回折格子 1 1 によって回折された再び変位検出部 5 に戻った第 1 の光束 L 1 が入射する位置に配置されている。光束平行分岐部 4 0 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。

【 0 0 3 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。

50

【 0 0 3 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 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 を第 2 の回折格子 1 2 に向けて反射させる。

【 0 0 4 0 】

また、光束平行分岐部 4 0 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 及び第 1 の位相板 1 7 を透過し、かつ物体用ミラー 1 5 によって反射された第 1 の光束 L 1 が再び入射する。なお、光束平行分岐部 4 0 に再び入射した第 1 の光束 L 1 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 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 を透過させる。そして、光束平行分岐部 4 0 を透過した第 1 の光束 L 1 は、再び第 1 の回折格子 1 1 に入射する。

10

【 0 0 4 1 】

ここで、光束平行分岐部 4 0 は、第 1 の光束 L 1 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 に入射する光路を行き光路とする。そして、第 2 の回折格子 1 2 によって回折された第 1 の光束 L 1 が光束平行分岐部 4 0 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。光束平行分岐部 4 0 は、第 1 の光束 L 1 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 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 となる。

20

【 0 0 4 2 】

第 2 の回折格子 1 2 は、光束平行分岐部 4 0 を通過した第 1 の光束 L 1 が入射する位置に配置されている。第 2 の回折格子 1 2 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 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 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 4 3 】

第 2 の回折格子 1 2 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 が透過する方向には、物体用ミラー 1 5 が配置されている。さらに、第 2 の回折格子 1 2 と物体用ミラー 1 5 の間には、第 1 の位相板 1 7 が配置されている。

30

【 0 0 4 4 】

第 1 の位相板 1 7 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 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。

40

【 0 0 4 5 】

第 1 の位相板 1 7 を透過した第 1 の光束 L 1 は、第 1 の位相板 1 7 によって偏光方向が変化されて、物体用ミラー 1 5 に入射する。物体用ミラー 1 5 は、第 2 の回折格子 1 2 及び第 1 の位相板 1 7 を透過した第 1 の光束 L 1 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 には、第 1 の光束 L 1 が垂直に入射するため、物体用ミラー 1 5 は、第 1 の光束 L 1 を、第 2 の回折格子 1 2 を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 に再び入射する光路が一致するように反射させる。

【 0 0 4 6 】

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

50

第1の光束L1は、再び第1の回折格子11に入射する。

【0047】

ここで、光束平行分岐部40に再び入射した第1の光束L1の偏光方向は、第1の位相板17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40は、再び偏光ビームスプリッタ44に入射した第1の光束L1を透過させる。そして、光束平行分岐部40を透過した第1の光束L1は、再び第1の回折格子11に入射する。

【0048】

ここで、光束平行分岐部40は、第1の光束L1における第1の回折格子11によって回折されて光束平行分岐部40に入射する光路を行き光路とする。また、第2の回折格子12によって回折された第1の光束L1が光束平行分岐部40を透過してから第1の回折格子11に入射するまでの光路を帰り光路とする。

10

【0049】

光束平行分岐部40は、第1の光束L1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L1における再び第1の回折格子11に入射する位置は、行き光路の入射点P11とは異なる入射点P12となる。

【0050】

さらに、第1の光束L1は、行き光路と帰り光路で第1の回折格子11と第2の回折格子12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L1は、第1の回折格子11によって再び回折されて光束結合部50に入射する。

20

【0051】

光束結合部50は、光束分割部13と参照用ミラー14の間に配置されている。光束結合部50は、例えば、偏光調整位相板52と、偏光ビームスプリッタ53により構成されている。

【0052】

偏光調整位相板52は、偏光ビームスプリッタ53と、光束分割部13の間に配置されている。偏光調整位相板52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L2の偏光状態をp偏光に変化させる。

【0053】

偏光ビームスプリッタ53は、光束平行分岐部40の偏光ビームスプリッタ44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53は、偏光調整位相板52を通過したp偏光の第2の光束L2を透過させる。光束結合部50の偏光ビームスプリッタ53を透過した第2の光束L2は、参照用ミラー14に向かって進行する。

30

【0054】

参照用ミラー14は、光束分割部13によって分割されて、光束結合部50を透過した第2の光束L2の進行方向に配置されている。参照用ミラー14は、その反射面が光束分割部13における第2の光束L2を照射する面及び光束結合部50の偏光ビームスプリッタ53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14は、その反射面に第2の光束L2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14には、第2の光束L2が垂直に入射するため、参照用ミラー14は、第2の光束L2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。

40

【0055】

また、光束結合部50と参照用ミラー14の間には、第2の位相板18が配置されている。第2の位相板18は、第1の位相板17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17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

50

する円偏光の場合、p偏光に変化させる。

【0056】

第1の光束L1における光束分割部13から物体用ミラー15に反射されて光束結合部50に入射するまでの光路長の長さ、第2の光束L2における光束分割部13から参照用ミラー14に反射されて光束結合部50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14及び物体用ミラー15が配置されている。

【0057】

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L1と第2の光束L2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L1の光路長と、第2の光束L2の光路長や光軸の角度を調整し易くすることができる。

10

【0058】

参照用ミラー14により反射された第2の光束L2は、行きの光路と同じ光路を通過して、第2の位相板18を通過して、再び光束結合部50に入射する。ここで、第2の光束L2は、第2の位相板18を2回通過することで、p偏光からs偏光に変化されている。また、第1の光束L1は、第1の位相板17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。

【0059】

そのため、光束結合部50は、p偏光の第1の光束L1を受光部7に向けて透過させて、s偏光の第2の光束L2を受光部7に向けて反射させる。これにより、光束結合部50によって第1の光束L1と第2の光束L2を重ね合わせることができる。そして、光束結合部50によって重ね合わされた第1の光束L1と第2の光束L2は、受光部7に向けて照射される。

20

【0060】

受光部7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。

【0061】

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L1及び第2の光束L2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。

30

【0062】

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。

40

【0063】

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。

【0064】

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7には、相対位置情報出力手段4が接続されている。受光部7は、第1の受光素子31、第2の受光素子32、第3の受光素子

50

3 3 及び第 4 の受光素子 3 4 が得た干渉信号を相対位置情報出力手段 4 に出力する。

【 0 0 6 5 】

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 の関係について図 3 を参照して説明する。

図 3 は、第 1 の回折格子 1 1 と第 2 の回折格子 1 2 の回折角度の関係を示す説明図である。

【 0 0 6 6 】

図 3 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 S 1 は図 2 に示すように、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 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]

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

[式 2]

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

【 0 0 6 7 】

第 1 の回折格子 1 1 で回折した第 1 の光束 L 1 は、第 2 の回折格子 1 2 に入射され、第 2 の回折格子 1 2 で回折する。このときの第 2 の回折格子 1 2 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 の格子ベクトル方向は、第 1 の光束 L 1 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 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。

【 0 0 6 8 】

第 1 の光束 L 1 が第 2 の回折格子 1 2 に対して角度 ϕ で入射した場合、第 2 の回折格子 1 2 がブラッグ条件を満たせば、第 2 の回折格子 1 2 は、第 1 の光束 L 1 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 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 の波長である。

[式 3]

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

[式 4]

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

【 0 0 6 9 】

第 2 の回折格子 1 2 がブラッグ条件を満たすことで、例えば、後述する透過型のボリュームタイプホログラムの第 2 の回折格子 1 2 M (図 5 A 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 1 2 への入射角度 ϕ 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 1 2 としては、ボリュームタイプホ

プ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。

【 0 0 7 0 】

第 2 の回折格子 1 2 がブラッグ条件を満たす場合、第 2 の回折格子 1 2 により 2 回目（ 1 回目は第 1 の回折格子 1 1 ）の回折をした第 1 の光束 L 1 は、物体用ミラー 1 5 によって反射されて再び第 2 の回折格子 1 2 に入射する。なお、図 1 及び図 3 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 L 1 における第 2 の回折格子 1 2 に入射する入射点 Q 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 L 1 における第 2 の回折格子 1 2 に入射する入射点 Q の位置は、変化しない。そして、第 2 の回折格子 1 2 によって 3 回目の回折が行われた第 1 の光束 L 1 は、光束平行分岐部 4 0 を通過して第 1 の回折格子 1 1 に入射し、第 1 の回折格子 1 1 により 4 回目の回折が行われる。

10

【 0 0 7 1 】

ここで、被測定部材 2、すなわち第 1 の回折格子 1 1 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 3 に示すように、第 1 の回折格子 1 1 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 1 1 の入射点 P 2 1 に入射する時点で、第 1 の光束 L 1 の光路長は、長さ Z 短くなる。

【 0 0 7 2 】

なお、第 1 の光束 L 1 は、被測定部材 2 の被測定面 2 a、すなわち第 1 の回折格子 1 1 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 1 1 に入射される第 1 の光束 L 1 の入射点 P 1 1、P 2 1 の位置は、第 1 の回折格子 1 1 上において変化しない。

20

【 0 0 7 3 】

第 1 の回折格子 1 1 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 L 1 における第 2 の回折格子 1 2 に入射する位置は、入射点 Q 1 から入射点 Q 2 に変化する。

【 0 0 7 4 】

また、第 1 の光束 L 1 における光束平行分岐部 4 0 内での光路長は、第 1 の回折格子 1 1 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 1 1 の入射点 P 2 1 から光束平行分岐部 4 0 を介して第 2 の回折格子 1 2 の入射点 Q 2 までの光路長は、第 1 の回折格子 1 1 が第 3 の方向 Z に移動していない時の第 1 の回折格子 1 1 の入射点 P 1 1 から光束平行分岐部 4 0 を介して第 2 の回折格子 1 2 の入射点 Q 1 までの光路長よりも長さ M 1 だけ長くなる。さらに、第 2 の回折格子 1 2 の入射点 Q 2 から物体用ミラー 1 5 までの距離は、第 1 の回折格子 1 1 が第 3 の方向 Z に移動していない時の第 2 の回折格子 1 2 の入射点 Q 1 から物体用ミラー 1 5 までの光路長よりも長さ M 2 だけ長くなる。

30

【 0 0 7 5 】

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

40

[式 5]

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

【 0 0 7 6 】

したがって、第 1 の回折格子 1 1 の回折角度 θ と第 2 の回折格子 1 2 の回折角度 ϕ 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 1 1 が第 3 の方向 Z に移動

50

しても第1の光束L1の光路長を一定にすることができる。

【0077】

なお、第1の光束L1が物体用ミラー15によって反射し、光束平行分岐部40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L1における光束平行分岐部40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L1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。

【0078】

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L1における第2の回折格子12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L1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L1の光路長が変化しないため、第1の光束L1の光路長と第2の光束L2の光路長を常に一定に保つことができる。

10

【0079】

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L1の入射角度が0度、第2の回折格子12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12の回折角度45.9°となる。

【0080】

1-3. 相対位置情報出力手段の構成例

次に、図4を参照して相対位置情報出力手段4の構成例について説明する。

図4は、本例の相対位置情報出力手段4を示すブロック図である。

【0081】

図4に示すように、相対位置情報出力手段4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。

20

【0082】

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。

30

【0083】

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。

40

【0084】

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において演算される。

【0085】

また同様に、第2差動増幅器61bで差動増幅された信号は、第2のA/D変換器62bによってA/D変換される。そして、波形補正処理部63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90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64から出力される。

50

【 0 0 8 6 】

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。

【 0 0 8 7 】

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 0 8 8 】

なお、本例の相対位置情報出力手段 4 の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。

【 0 0 8 9 】

1 - 4 . 変位検出装置の動作例

次に、図 1、図 3 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 0 9 0 】

図 1 に示すように、光源 6 から出射した光 L は、レンズ 1 6 によりコリメートされて平行光となる。レンズ 1 6 によりコリメートされた平行光 L は、光束分割部 1 3 に入射する。光束分割部 1 3 に入射した光は、第 1 の光束 L 1 と第 2 の光束 L 2 に分割される。

【 0 0 9 1 】

光束分割部 1 3 によって反射された第 2 の光束 L 2 は、光束結合部 5 0 に入射する。第 2 の光束 L 2 は、光束結合部 5 0 の偏光調整位相板 5 2 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 L 2 は、光束結合部 5 0 の偏光ビームスプリッタ 5 3 に入射する。

【 0 0 9 2 】

上述したように、偏光ビームスプリッタ 5 3 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 5 3 に入射した第 2 の光束 L 2 は、偏光ビームスプリッタ 5 3 を透過する。

【 0 0 9 3 】

第 2 の光束 L 2 は、光束結合部 5 0 を通過して第 2 の位相板 1 8 に照射される。第 2 の光束 L 2 は、p 偏光であるため、第 2 の光束 L 2 は、第 2 の位相板 1 8 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 1 8 を通過した第 2 の光束 L 2 は、参照用ミラー 1 4 に照射される。

【 0 0 9 4 】

参照用ミラー 1 4 に照射された第 2 の光束 L 2 は、参照用ミラー 1 4 で反射されて、再び第 2 の位相板 1 8 に照射される。このときの第 2 の光束 L 2 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 L 2 は、第 2 の位相板 1 8 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。

【 0 0 9 5 】

第 2 の位相板 1 8 を通過した第 2 の光束 L 2 は、光束結合部 5 0 の偏光ビームスプリッタ 5 3 に入射する。第 2 の光束 L 2 の偏光方向が s 偏光であるため、第 2 の光束 L 2 は、光束結合部 5 0 の偏光ビームスプリッタ 5 3 によって反射される。

【 0 0 9 6 】

一方、光束分割部 1 3 を透過した第 1 の光束 L 1 は、被測定部材 2 の被測定面 2 a、すなわち第 1 の回折格子 1 1 の入射点 P 1 1 に垂直に入射する。そして、図 3 に示すように、第 1 の光束 L 1 は、第 1 の回折格子 1 1 によって回折角度 θ で回折する。1 回目の回折が行われた第 1 の光束 L 1 は、光束平行分岐部 4 0 に入射する。

【 0 0 9 7 】

10

20

30

40

50

第1の光束L1は、光束平行分岐部40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L1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L1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。

【0098】

光束平行分岐部40の偏光ビームスプリッタ44を反射した第1の光束L1は、第2の回折格子12に入射角度 θ で入射点Q(図1参照)に入射する。上述したように、第2の回折格子12は、ブラッグ条件を満たしているため、第1の光束L1は、第2の回折格子12によって回折角度 θ で回折する。

【0099】

第2の回折格子12によって回折された第1の光束L1は、物体用ミラー15に垂直に入射する。そして、第1の光束L1は、再び第2の回折格子12に向けて、物体用ミラー15によって反射される。第1の光束L1は、入射角度 θ で第2の回折格子12に入射する。このとき、第1の光束L1は、行き光路と同じ第2の回折格子12における入射点Qに入射する。そして、第2の回折格子12によって3回目の回折が行われ、光束平行分岐部40の偏光ビームスプリッタ44に入射する。

【0100】

また、第2の回折格子12と物体用ミラー15の間には、第1の位相板17が配置されている。そのため、第2の回折格子12を通過した第1の光束L1は、s偏光であるため、第1の位相板17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15を反射した第1の光束L1は、第1の位相板17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。

【0101】

光束平行分岐部40に再び入射した第1の光束L1の偏光方向は、第1の位相板17によってp偏光に変化されているため、第1の光束L1は、光束平行分岐部40の偏光ビームスプリッタ44を透過する。

【0102】

また、光束平行分岐部40は、光束平行分岐部40は、第1の光束L1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L1は、光束平行分岐部40を通過して、第1の回折格子11に入射角度 θ で、行き光路の入射点P11とは異なる入射点P12に入射する。

【0103】

このように、第1の回折格子11に対する行き光路の入射点P12と帰り光路の入射点P12が異なる位置であるため、第1の回折格子11にゴミが付着した際の影響を少なくすることができる。

【0104】

次に、第1の光束L1は、第1の回折格子11で4回目の回折が行われて、光束結合部50に照射される。このときの第1の光束L1の偏光方向がp偏光であるため、光束結合部50の偏光ビームスプリッタ53を透過する。そして、光束結合部50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L1と第2の光束L2が重なり合った光束が、受光部7に照射される。

【0105】

光束は、集光レンズ21によって集光されて、ハーフミラー22に照射される。ハーフミラー22は、光束を2つの光に分割する。ハーフミラー22を透過した光束は、第1の偏光ビームスプリッタ24に入射する。

【0106】

ここで、第1の偏光ビームスプリッタ24は、互いに偏光方向が90度異なる第1の光束L1及び第2の光束L2の偏光方向が、第1の偏光ビームスプリッタ24の入射面に対してそれぞれ偏光方向が45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L1及び第2の光束L2は、第1の偏光ビームスプリッタ24に対してそれぞれp偏光成

10

20

30

40

50

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24を透過した第1の光束L1及び第2の光束L2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L1と第2の光束L2を第1の偏光ビームスプリッタ24によって干渉させることができる。

【0107】

同様に、第1の偏光ビームスプリッタ24によって反射される第1の光束L1及び第2の光束L2は、第1の偏光ビームスプリッタ24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24によって干渉させることができる。

【0108】

第1の偏光ビームスプリッタ24を透過した第1の光束L1及び第2の光束L2との干渉光は、第1の受光素子31によって受光される。また、第1の偏光ビームスプリッタ24によって反射された第1の光束L1及び第2の光束L2との干渉光は、第2の受光素子32によって受光される。ここで、第1の受光素子31と第2の受光素子32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。

10

【0109】

そして、第1の受光素子31と第2の受光素子32によって得られる干渉信号は、 $A \times \cos(2 \times K_1 x + 2 \times B \times K_2 z + \dots)$ の干渉信号が得られる。ここで、A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11の波数である。また、x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12の波数である。zは、第2の回折格子12に入射する第1の光束L1における第2の回折格子12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11の格子ピッチであり、 d_T は、第2の回折格子12の格子ピッチである。また、 ϕ は、初期位相を示している。

20

【0110】

さらに、Bは、第2の回折格子12の格子ベクトル方向が第3の方向Zに対して傾斜角度 θ 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12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、 $B = \cos \theta + \sin \theta \times \tan \theta$ で示すことができる。

【0111】

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11に照射される第1の光束L1の入射点が第1の方向Xに $x/2$ だけ移動する。すなわち、第1の光束L1は、第1の回折格子11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L1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31と第2の受光素子32によって受光される。

30

【0112】

なお、ヘッド3と被測定部材2が第1の方向Xに相対的に移動しても、第1の光束L1における第2の回折格子12上での入射点は、変化しない。そのため、第1の光束L1には、第1の回折格子11によって回折された位相のみが加わる。

【0113】

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12に照射される第1の光束L1の入射点が第2の回折格子12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L1は、第2の回折格子12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L1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31と第2の受光素子32によって受光される。

40

【0114】

なお、上述したように、第1の光束L1は、第3の方向Zと平行に第1の回折格子11に入射する。そのため、第1の光束L1は、第1の回折格子11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L1に

50

おける第1の回折格子11上での入射点は、変化しない。そのため、第1の光束L1には、第2の回折格子12によって回折された位相のみが加わる。

【0115】

さらに、第1の回折格子11の回折角度 θ_1 と、第2の回折格子12の回折角度 θ_2 は、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3に示すM1 + M2の和が常に0になる。その結果、第1の光束L1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L1における第2の回折格子12に入射する位置だけが変化する。

【0116】

ここで、上述したように、第1の受光素子31及び第2の受光素子32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。

【0117】

一方、図1に示すように、ハーフミラー22を反射した光束は、受光側位相板23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L1及び第2の光束L2からなる光束は、受光側位相板23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25に入射する。

【0118】

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25によって反射され、第3の受光素子33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25を透過し、第4の受光素子34によって受光される。

【0119】

上述したように、第2の偏光ビームスプリッタ25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25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25に入射される直線偏光の偏光方向は、 $1/2$ 回転する。

【0120】

したがって、第3の受光素子33と第4の受光素子34でも、第1の受光素子31及び第2の受光素子32と同様に、 $A \times \cos(2 \times K_1 x + 2 \times B \times K_2 z + \phi)$ の干渉信号が得られる。 ϕ は初期位相である。

【0121】

また、第3の受光素子33と第4の受光素子34とで光電変換される信号は、180度位相が異なる。

【0122】

なお、本例では、第1の偏光ビームスプリッタ24に対して、第3の受光素子33と第4の受光素子34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25を45度傾けて配置している。このため、第3の受光素子33と第4の受光素子34において得られる信号は、第1の受光素子31と第2の受光素子32において得られる信号に対し、90度位相がずれている。

【0123】

したがって、例えば第1の受光素子31と第2の受光素子32で得られる信号を \sin 信号、第3の受光素子33と第4の受光素子34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チ信号を取得することができる。

【0124】

これらの受光素子によって得られる信号は、相対位置情報出力手段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

10

20

30

40

50

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 2 5 】

本例の変位検出装置 1 では、変位検出部 5 の受光部 7 で得られる干渉信号には、第 1 の方向 X と第 3 の方向 Z の変位情報が含まれる。そのため、ヘッド 3 と被測定部材 2 が第 1 の方向 X のみに相対的に移動する際の、ヘッド 3 と被測定部材 2 の第 1 の方向 X への相対的な変位を検出する装置に適用できる。または、ヘッド 3 と被測定部材 2 が第 3 の方向 Z のみに相対的に移動する際の、ヘッド 3 又は被測定部材 2 の第 3 の方向 Z への相対的な変位を検出する装置にも適用できる。すなわち、本例の変位検出装置 1 は、1 つの装置で 2 通りの使用方法を有している。

【 0 1 2 6 】

1 - 5 . 第 2 の回折格子の変形例

次に、図 5 A 及び図 5 B を参照して回折格子の変形例について説明する。

図 5 A は第 2 の回折格子の変形例を示す断面図、図 5 B は第 2 の回折格子の他の変形例を示す断面図である。

【 0 1 2 7 】

図 5 A に示す第 2 の回折格子 1 2 M 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 1 2 M における格子部 1 2 b は、例えば次のようにして形成される。まず、ガラス基板 1 2 a 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 1 2 b 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。

【 0 1 2 8 】

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ポリマーを使用してもよい。

【 0 1 2 9 】

図 5 B に示す第 2 の回折格子 1 2 N は、略透明なガラス基板 1 2 a の一面に例えばクロム (Cr) からなる格子部 1 2 c を形成したものである。一般的に、格子部 1 2 c は、ガラス基板 1 2 a 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、1 μm 以下である。

【 0 1 3 0 】

また、図 5 A に示す第 2 の回折格子 1 2 M 及び図 5 B に示す第 2 の回折格子 1 2 N において、入射角度を a 、回折角度を b とした場合、下記式 6 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 6]

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

【 0 1 3 1 】

また、図 5 A に示す第 2 の回折格子 1 2 M の場合、ブラッグ条件を満たすときに、第 2 の回折格子 1 2 M 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 1 2 M 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。

【 0 1 3 2 】

2 . 第 2 の実施の形態例

次に、図 6 及び図 7 を参照して第 2 の実施の形態例にかかる変位検出装置について説明する。

図 6 は、第 2 の実施の形態例にかかる変位検出装置の構成を示す概略構成図、図 7 は、第 2 の実施の形態例にかかる変位検出装置における相対位置情報出力手段を示すブロック図である。

【 0 1 3 3 】

この第 2 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 0 1 は、第 1 の方向 X と第 3 の方向 Z の 2 次元の変位情報を出力可能な変位検出装置である。そのため、ここでは、第 1 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 と共通する部分には同一の符号を付して重複した説明を省略する。

【 0 1 3 4 】

図 6 に示すように、変位検出装置 1 0 1 は、第 1 の回折格子 1 1 1 が設けられた被測定部材 2 と、ヘッド 3 と、相対位置情報出力手段 1 0 4 とを備えている。ヘッド 3 と被測定部材 2 は、第 1 の方向 X と第 3 の方向 Z の 2 方向に相対的に移動可能に構成されている。

10

【 0 1 3 5 】

ヘッド 1 0 3 は、第 1 変位検出部 5 A と、第 2 変位検出部 5 B と、光源 6 と、レンズ 1 6 と、第 1 光束分割部 1 1 3 A と、第 2 光束分割部 1 1 3 B と、を備えている。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。

【 0 1 3 6 】

そして、第 1 変位検出部 5 A と第 2 変位検出部 5 B における第 1 の方向 X の間には、光源 6、レンズ 1 6、第 1 光束分割部 1 1 3 A と、第 2 光束分割部 1 1 3 B が配置されている。

20

【 0 1 3 7 】

第 1 光束分割部 1 1 3 A 及び第 2 光束分割部 1 1 3 B は、それぞれハーフミラーや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 1 3 A は、第 2 光束分割部 1 1 3 B よりも第 3 の方向 Z において被測定部材 2 側に配置されている。すなわち、第 2 光束分割部 1 1 3 B は、第 1 光束分割部 1 1 3 A よりも光源 6 側に配置される。第 1 光束分割部 1 1 3 A 及び第 2 光束分割部 1 1 3 B は、それぞれ入射した光を、反射した光と、及び透過する光の 2 つに分割する。

【 0 1 3 8 】

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

30

【 0 1 3 9 】

第 1 光束分割部 1 1 3 A によって反射された光束は、第 1 変位検出部 5 A で用いられる参照光である第 2 の光束 L 2 A となる。第 1 光束分割部 1 1 3 A を反射した第 2 の光束 L 2 A 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 1 1 3 A の第 1 の方向 X の一側には、後述する第 1 変位検出部 5 A の光束結合部 5 0 A 及び参照用ミラー 1 4 A が配置されている。そのため、第 2 の光束 L 2 A は、後述する第 1 変位検出部 5 A の光束結合部 5 0 A 及び参照用ミラー 1 4 A に向けて照射される。また、第 1 光束分割部 1 1 3 A を透過した第 1 の光束 L 1 は、被測定部材 2、すなわち第 1 の回折格子 1 1 1 の入射点 P 1 1 に垂直に入射する。

40

【 0 1 4 0 】

第 1 の回折格子 1 1 1 の入射点 P 1 1 に入射した第 1 の光束 L 1 は、第 1 の回折格子 1 1 1 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 L 1 A、L 1 B に分けられる。ここで、第 1 の回折格子 1 1 1 の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負の次数の

50

回折光とする。そして、正の次数を有する回折光が第 1 変位検出部 5 A で用いられる物体光となり、負の次数を有する回折光が第 2 変位検出部 5 B で用いられる物体光となる。

【 0 1 4 1 】

第 1 の回折格子 1 1 1 によって回折された第 1 の光束 L 1 における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 1 によって回折された第 1 の光束 L 1 における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。

【 0 1 4 2 】

第 1 変位検出部 5 A は、受光部 7 A と、第 2 の回折格子 1 2 A と、参照用ミラー 1 4 A と、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、光束平行分岐部 4 0 A と、光束結合部 5 0 A と、を備えている。受光部 7 A は、相対位置情報出力手段 1 0 4 の第 1 相対位置情報出力部 4 A に接続されている。そして、受光部 7 A は、得られた干渉信号を第 1 相対位置情報出力部 4 A に送信する。

10

【 0 1 4 3 】

第 1 変位検出部 5 A の光束平行分岐部 4 0 A は、物体用ミラー 1 5 A によって反射され、かつ第 2 の回折格子 1 2 A を通過した第 1 の光束 L 1 A を、第 1 の回折格子 1 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 A に入射させる。なお、1 回目の入射である入射点 P 1 1 と、2 回目の照射である入射点 P 1 2 A 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 A は、第 1 の光束 L 1 A における入射点 P 1 1 から光束平行分岐部 4 0 A に入射するまでの行き光路と、光束平行分岐部 4 0 A から第 1 の回折格子 1 1 1 の入射点 P 1 2 A 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。

20

【 0 1 4 4 】

第 1 の回折格子 1 1 1 の入射点 P 1 2 A に入射した第 1 の光束 L 1 A は、第 1 の回折格子 1 1 1 によって回折され、光束結合部 5 0 A によって第 2 の光束 L 2 A と重ね合わされて受光部 7 A に入射する。第 1 変位検出部 5 A の受光部 7 A は、下記式 7 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 7]

$$A1 \times \cos(2K1x + 2 \times B \times K2z + \delta)$$

30

【 0 1 4 5 】

第 2 変位検出部 5 B は、受光部 7 B と、第 2 の回折格子 1 2 B と、参照用ミラー 1 4 B と、物体用ミラー 1 5 B と、第 1 の位相板 1 7 B と、第 2 の位相板 1 8 B と、光束平行分岐部 4 0 B と、光束結合部 5 0 B と、を備えている。受光部 7 B は、相対位置情報出力手段 1 0 4 の第 2 相対位置情報出力部 4 B に接続されている。そして、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。

40

【 0 1 4 6 】

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 及び光束結合部 5 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 1 4 7 】

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 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 回目の入射である入射点 P 1 1 と、2 回目の照射である入射点 P 1 2 B は、被測定部材 2

50

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 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。

【 0 1 4 8 】

第 1 の回折格子 1 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 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。第 2 変位検出部 5 B の受光部 7 B は、下記式 8 に示す干渉信号を得る。ここで、A 2 は、干渉の振幅である。

[式 8]

10

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

【 0 1 4 9 】

上記式 7 と式 8 に示すように、第 1 変位検出部 5 A の受光部 7 A と、第 2 変位検出部 5 B の受光部 7 B 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。

20

【 0 1 5 0 】

図 7 に示すように、相対位置情報出力手段 1 0 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、演算部 1 1 4 とを有している。上述したように、第 1 変位検出部 5 A の受光部 7 A と、第 2 変位検出部 5 B の受光部 7 B 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。

【 0 1 5 1 】

そのため、第 1 相対位置情報出力部 4 A からの変位情報 A と、第 2 相対位置情報出力部 4 B からの変位情報 B 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。また、第 1 相対位置情報出力部 4 A の変位情報 A から第 2 相対位置情報出力部 4 B 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。

30

【 0 1 5 2 】

そして、演算部 1 1 4 は、第 1 相対位置情報出力部 4 A からの変位情報 A と、第 2 相対位置情報出力部 4 B からの変位情報 B を足し合わせて、2 で割ることで、ヘッド 1 0 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している。また、演算部 1 1 4 は、第 1 相対位置情報出力部 4 A の変位情報 A から第 2 相対位置情報出力部 4 B の変位情報 B を引き、2 で割ることで、ヘッド 1 0 3 と被測定部材 2 との第 1 の方向 X の変位情報を演算している。

【 0 1 5 3 】

これにより、第 2 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 0 1 によれば、第 1 の方向 X と第 3 の方向 Z の 2 次元の変位情報を出力することができる。

40

【 0 1 5 4 】

その他の構成は、第 1 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 と同様であるため、それらの説明は省略する。このような構成を有する変位検出装置 1 0 1 によっても、上述した第 1 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 と同様の作用効果を得ることができる。

【 0 1 5 5 】

さらに、第 2 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 0 1 によれば、第 1 の回折格子 1 1 1 によって回折された回折光のうち正の次数の回折光を第 1 変位検出部 5 A で用いて、負の次数の回折光を第 2 変位検出部 5 B で用いている。これにより、相対位置情報出力手段 1 0 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 5 6 】

50

3. 第3の実施の形態例

次に、図8～図12を参照して第3の実施の形態例にかかる変位検出装置について説明する。

図8は、第3の実施の形態例に係る変位検出装置の構成を示す概略構成図である。図9は、第3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10は、第3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11は、第3の実施の形態例に係る変位検出装置における相対位置情報出力手段を示すブロック図である。図12A及び図12Bは、第3の実施の形態例に係る変位検出装置における第1の回折格子を示すものである。

【0157】

この第3の実施の形態例にかかる変位検出装置201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。そのため、ここでは、第1の実施の形態例にかかる変位検出装置1と共通する部分には同一の符号を付して重複した説明を省略する。

【0158】

図8、図9及び図10に示すように、変位検出装置201は、第1の回折格子211が設けられた被測定部材202と、ヘッド203と、相対位置情報出力手段204とを備えている。ヘッド203と、被測定部材202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。

【0159】

図12A及び図12Bに示すように、被測定部材202は、平板状に形成されている。被測定部材202の被測定面202aには、第1の回折格子211が設けられている。第1の回折格子211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格子ベクトル方向を有している。

【0160】

また、第1の回折格子211は、複数の突起211aにより構成されている。複数の突起211aは、被測定面202a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211a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。

【0161】

なお、第3の実施の形態例にかかる第1の回折格子211を複数の突起211a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202の被測定面202aに形成された複数の凹部によって第1の回折格子211を構成してもよい。

【0162】

図8、図9及び図10に示すように、ヘッド203は、第1変位検出部5Aと、第2変位検出部5Bと、第3変位検出部5Cと、第4変位検出部5Dと、光源6と、レンズ16と、第1光束分割部213Aと、第2光束分割部213Bと、第3光束分割部213Cと、第4光束分割部213Dと、を備えている。第1変位検出部5Aは、ヘッド203の第1の方向Xの一側に配置され、第2変位検出部5Bは、ヘッド203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5Cは、ヘッド203の第2の方向Yの一側に配置され、第4変位検出部5Dは、ヘッド203の第2の方向Yの他側に配置されている。

【0163】

第1変位検出部5A、第2変位検出部5B、第3変位検出部5C及び第4変位検出部5Dの間には、光源6、レンズ16、第1光束分割部213A、第2光束分割部213B、第3光束分割部213C及び第4光束分割部213Dが配置されている。すなわち、光源6、レンズ16、第1光束分割部213A、第2光束分割部213B、第3光束分割部213C及び第4光束分割部213Dは、ヘッド203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。

10

20

30

40

50

【 0 1 6 4 】

第 1 光束分割部 2 1 3 A、第 2 光束分割部 2 1 3 B、第 3 光束分割部 2 1 3 C 及び第 4 光束分割部 2 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 2 1 3 A、第 2 光束分割部 2 1 3 B、第 3 光束分割部 2 1 3 C 及び第 4 光束分割部 2 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 1 6 5 】

第 1 光束分割部 2 1 3 A、第 2 光束分割部 2 1 3 B、第 3 光束分割部 2 1 3 C 及び第 4 光束分割部 2 1 3 D は、第 3 の方向 Z における被測定部材 2 0 2 側から、第 1 光束分割部 2 1 3 A、第 2 光束分割部 2 1 3 B、第 3 光束分割部 2 1 3 C、第 4 光束分割部 2 1 3 D の順に配置されている。すなわち、第 4 光束分割部 2 1 3 D が光源 6 側に配置される。

10

【 0 1 6 6 】

第 4 光束分割部 2 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 2 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 2 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 2 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 2 1 3 D を透過した光は、第 3 光束分割部 2 1 3 C に入射する。

【 0 1 6 7 】

第 3 光束分割部 2 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 2 1 3 C を反射した第 2 の光束 L 2 C 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 2 1 3 C 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 5 C の光束結合部 5 0 C 及び参照用ミラー 1 4 C が配置されている。そのため、第 2 の光束 L 2 C は、後述する第 3 変位検出部 5 C の光束結合部 5 0 C 及び参照用ミラー 1 4 C に向けて照射される。また、第 3 光束分割部 2 1 3 C を透過した光は、第 2 光束分割部 2 1 3 B に入射する。

20

【 0 1 6 8 】

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

30

【 0 1 6 9 】

第 1 光束分割部 2 1 3 A によって反射された光束は、第 1 変位検出部 5 A で用いられる参照光である第 2 の光束 L 2 A となる。第 1 光束分割部 2 1 3 A を反射した第 2 の光束 L 2 A 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 2 1 3 A の第 1 の方向 X の一側には、後述する第 1 変位検出部 5 A の光束結合部 5 0 A 及び参照用ミラー 1 4 A が配置されている。そのため、第 2 の光束 L 2 A は、後述する第 1 変位検出部 5 A の光束結合部 5 0 A 及び参照用ミラー 1 4 A に向けて照射される。また、第 1 光束分割部 2 1 3 A を透過した第 1 の光束 L 1 は、被測定部材 2、すなわち第 1 の回折格子 2 1 1 の入射点 P 1 1 に垂直に入射する。

40

【 0 1 7 0 】

第 1 の回折格子 2 1 1 の入射点 P 1 1 に入射した第 1 の光束 L 1 は、第 1 の回折格子 2 1 1 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 L 1 A、L 1 B 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 L 1 C、L 1 D に分けられる。ここで、第 1 の回折格子 2 1 1 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

50

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 5 A 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 5 B で用いられる物体光となる。

【 0 1 7 1 】

また、第 1 の回折格子 2 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 1 7 2 】

第 1 の回折格子 1 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、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 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、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。さらに、第 1 の回折格子 1 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 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、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 1 7 3 】

なお、第 1 変位検出部 5 A 及び第 2 変位検出部 5 B は、第 2 の実施の形態例に係る第 1 変位検出部 5 A 及び第 2 変位検出部 5 B と同様の構成を有しているため、その説明は省略する。

【 0 1 7 4 】

なお、第 1 変位検出部 5 A の受光部 7 A は、下記式 9 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 9]

$$A1 \times \cos(2K1x + 2 \times B \times K2z + \delta)$$

30

【 0 1 7 5 】

また、第 2 変位検出部 5 B の受光部 7 B は、下記式 1 0 に示す干渉信号を得る。ここで、A 2 は、干渉の振幅である。

[式 1 0]

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

40

【 0 1 7 6 】

第 3 変位検出部 5 C は、受光部 7 C と、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。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。受光部 7 C は、相対位置情報出力手段 2 0 4 の第 3 相対位置情報出力部 4 C に接続されている。そして、受光部 7 C は、得られた干渉信号を第 3 相対位置情報出力部 4 C に送信する。

50

【 0 1 7 7 】

第3変位検出部5Cの光束平行分岐部40Cは、物体用ミラー15Cによって反射され、かつ第2の回折格子12Cを通過した第1の光束L1Cを、第1の回折格子211における1回目の入射位置の入射点P11と異なる入射点P12Cに入射させる。なお、1回目の入射一である入射点P11と、2回目の照射一である入射点P12C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40Cは、第1の光束L1Cにおける入射点P11から光束平行分岐部40Cに入射するまでの行き光路と、光束平行分岐部40Cから第1の回折格子211の入射点P12C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。

【 0 1 7 8 】

第1の回折格子211の入射点P12Cに入射した第1の光束L1Cは、第1の回折格子211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。第3変位検出部5Cの受光部7Cは、下記式11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211の移動量、すなわちヘッド203と被測定部材202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 1 1]

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

【 0 1 7 9 】

第4変位検出部5Dは、受光部7Dと、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。また、第2の回折格子12C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。受光部7Dは、相対位置情報出力手段204の第4相対位置情報出力部4Dに接続されている。そして、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。

【 0 1 8 0 】

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及び光束結合部50D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。

【 0 1 8 1 】

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211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回目の入射一である入射点P11と、2回目の照射一である入射点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211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。

【 0 1 8 2 】

第1の回折格子211の入射点P12Dに入射した第1の光束L1Dは、第1の回折格子211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。第4変位検出部5Dの受光部7Dは、下記式12に示す干渉信号を得る。ここで、A4は、干渉の振幅である。

[式 1 2]

10

20

30

40

50

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

【 0 1 8 3 】

図 1 1 に示すように、相対位置情報出力手段 2 0 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、演算部 2 1 4 とを有している。

10

【 0 1 8 4 】

上述したように、第 1 変位検出部 5 A の受光部 7 A と、第 2 変位検出部 5 B の受光部 7 B 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、第 3 変位検出部 5 C の受光部 7 C と、第 4 変位検出部 5 D 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。

【 0 1 8 5 】

そのため、第 1 相対位置情報出力部 4 A の変位情報 A から第 2 相対位置情報出力部 4 B 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 4 C の変位情報 C から第 4 相対位置情報出力部 4 D 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 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 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。

20

【 0 1 8 6 】

そして、演算部 2 1 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、第 4 相対位置情報出力部 4 D 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 1 0 3 と被測定部材 2 0 2 との第 3 の方向 Z への相対位置の変位情報を演算している。

【 0 1 8 7 】

また、演算部 2 1 4 は、第 1 相対位置情報出力部 4 A の変位情報 A から第 2 相対位置情報出力部 4 B の変位情報 B を引き、2 で割ることで、ヘッド 1 0 3 と被測定部材 2 0 2 との第 1 の方向 X の変位情報を演算している。演算部 2 1 4 は、第 3 相対位置情報出力部 4 C の変位情報 C から第 4 相対位置情報出力部 4 D の変位情報 D を引き、2 で割ることで、ヘッド 1 0 3 と被測定部材 2 0 2 との第 2 の方向 Y の変位情報を演算している。

30

【 0 1 8 8 】

これにより、第 3 の実施の形態例にかかる変位検出装置 2 0 1 によれば、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ことができる。

【 0 1 8 9 】

その他の構成は、第 1 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 と同様であるため、それらの説明は省略する。このような構成を有する変位検出装置 2 0 1 によっても、上述した第 1 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 と同様の作用効果を得ることができる。

40

【 0 1 9 0 】

また、第 3 の実施の形態例では、第 1 の回折格子 2 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 0 2 の被測定面 2 0 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 1 9 1 】

さらに、第 3 の実施の形態例にかかる変位検出装置 2 0 1 によれば、回折格子 2 1 1 によ

50

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だけでなく、第 1 の方向 X における負の次数の回折光を用いている。さらに、第 2 の方向 Y における正の次数の回折光及び負の次数の回折光を用いている。これにより、相対位置情報出力手段 204 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。

【0192】

4. 第 4 の実施の形態例

次に、図 13 及び図 14 を参照して第 4 の実施の形態例にかかる変位検出装置について説明する。

図 13 は、第 4 の実施の形態例にかかる変位検出装置の構成を示す概略構成図、図 14 は、第 4 の実施の形態例にかかる変位検出装置における第 1 の回折格子と第 2 の回折格子の入射角度及び回折角度の関係を示す説明図である。

10

【0193】

この第 4 の実施の形態例にかかる変位検出装置 501 が、第 1 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 と異なる点は、第 2 の回折格子として反射型の回折格子を用いた点である。そのため、ここでは、第 1 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 と共通する部分には同一の符号を付して重複した説明を省略する。

【0194】

図 13 に示すように、変位検出装置 501 は、ヘッド 503 と、第 1 の回折格子 11 が設けられた被測定部材 2 と、相対位置情報出力手段 504 とを備えている。ヘッド 503 は、変位検出部 505 と、光源 6 と、変位検出部 505 に設けられた受光部 7 とを有している。

20

【0195】

また、変位検出部 505 は、第 2 の回折格子 512 と、光束分割部 13 と、第 1 の位相板 17 と、第 2 の位相板 18 と、参照用ミラー 14 と、光束平行分岐部 40 と、光束結合部 50 と、を有している。なお、光束分割部 13、参照用ミラー 14、第 1 の位相板 17、第 2 の位相板 18、光束平行分岐部 40 及び光束結合部 50 は、第 1 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 と同様の構成を有しているため、その説明は省略する。なお、第 1 の位相板 17 は、光束平行分岐部 40 と第 2 の回折格子 512 の間に配置される。

【0196】

第 2 の回折格子 512 は、入射した第 1 の光束 L1 を反射し、かつ回折する反射型の回折格子である。そして、第 2 の回折格子 512 は、第 1 の回折格子 11 によって回折された第 1 の光束 L1 を、再び光束平行分岐部 40 を介して第 1 の回折格子 11 に向けて反射し、回折する。そのため、第 4 の実施の形態例にかかる変位検出装置 501 では、第 2 の回折格子 512 が物体光用反射部材としての役割を有している。その結果、物体光用反射部材として新たにミラーやプリズム等を設ける必要がなくなり、部品点数を削減することができる。

30

【0197】

次に、図 14 を参照して、第 1 の回折格子 11 の回折角度 θ_1 と、第 2 の回折格子 512 への入射角度 θ_2 及び回折角度 θ_3 の関係について説明する。

図 14 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、すなわちヘッドに接近する向きに長さ Z 移動すると、第 1 の光束 L1 における第 1 の回折格子 11 に入射する位置は、入射点 P11 から入射点 P21 に変化する。そのため、第 1 の光束 L1 が第 1 の回折格子 11 に入射する時点で、第 1 の光束 L1 の光路長は、長さ M 短くなる。

40

【0198】

また、第 1 の回折格子 11 が第 3 の方向 Z に沿って上方、すなわちヘッドに接近する向きに長さ Z 移動すると、第 1 の光束 L1 における第 2 の回折格子 512 に入射する位置は、入射点 Q1 から入射点 Q2 に変化する。そして、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 512 の入射点 Q2 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 40 を介して第 2 の回折格子 512 の入射点 Q1 までの光路長よりも

50

長さ M_1 だけ長くなる。

【0199】

そのため、 $M = M_1$ 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L1の光路長は、一定となる。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L1の光路長を一定にすることができる。

【0200】

その他の構成は、第1の実施の形態にかかる変位検出装置1と同様であるため、それらの説明は省略する。このような構成を有する変位検出装置501によっても、上述した第1の実施の形態例にかかる変位検出装置1と同様の作用効果を得ることができる。

【0201】

5. 第5の実施の形態例

次に、図15及び図16を参照して第5の実施の形態例にかかる変位検出装置について説明する。

図15は、第5の実施の形態例にかかる変位検出装置の構成を示す概略構成図、図16は、第5の実施の形態例にかかる変位検出装置における第1の回折格子と第2の回折格子の入射角度及び回折角度の関係を示す説明図である。

【0202】

この第5の実施の形態例にかかる変位検出装置601は、第4の実施の形態例にかかる変位検出装置501と同様に、第2の回折格子として反射型の回折格子を用いたものである。そのため、ここでは、第1の実施の形態例にかかる変位検出装置1と共通する部分には同一の符号を付して重複した説明を省略する。

【0203】

図15に示すように、変位検出装置601は、ヘッド603と、第1の回折格子11が設けられた被測定部材2と、相対位置情報出力手段4とを備えている。ヘッド603は、変位検出部605と、光源6と、変位検出部605に設けられた受光部7とを有している。

【0204】

また、変位検出部605は、第2の回折格子612と、光束分割部13と、第1の位相板17と、第2の位相板18と、参照用ミラー14と、光束平行分岐部40と、光束結合部50と、物体用ミラー615と、を有している。なお、光束分割部13、参照用ミラー14、第1の位相板17、第2の位相板18、光束平行分岐部40及び光束結合部50は、第1の実施の形態例にかかる変位検出装置1と同様の構成を有しているため、その説明は省略する。なお、第1の位相板17は、光束平行分岐部40と第2の回折格子612の間、または第2の回折格子612と物体用ミラー615の間に配置される。

【0205】

第2の回折格子612は、入射した第1の光束L1を反射し、かつ回折する反射型の回折格子である。そして、第2の回折格子612は、第1の回折格子11によって回折された第1の光束L1を、物体用ミラー615に向けて反射し、回折する。物体用ミラー615は、入射した第1の光束L1を再び第2の回折格子612に向けて反射させる。

【0206】

この第5の実施の形態例にかかる変位検出装置601では、第4の実施の形態例にかかる変位検出装置501に対して物体用ミラー615が追加されている。しかしながら、物体用ミラー615を設けることで、第1の光束L1の光路長と第2の光束L2の光路長を一致させる作業を容易に行うことができる。

【0207】

次に、図16を参照して、第1の回折格子11の回折角度 θ_1 と、第2の回折格子612への入射角度 θ_2 及び回折角度 θ_3 の関係について説明する。

図16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、すなわちヘッドに接近する向きに長さ Z 移動すると、第1の光束L1における第1の回折格子11に入射する位置は、入射点P11から入射点P21に変化する。そのため、第1の光束L1が第1の回折格子11に入射する時点で、第1の光束L1の光路長は、長さ M 短くなる。

10

20

30

40

50

【0208】

また、第1の回折格子11が第3の方向Zに沿って上方、すなわちヘッドに接近する向きに長さZ移動すると、第1の光束L1における第2の回折格子612に入射する位置は、入射点Q1から入射点Q2に変化する。そして、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612の入射点Q2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40を介して第2の回折格子612の入射点Q1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612の入射点Q2から物体用ミラー615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612の入射点Q1から物体用ミラー615までの光路長よりも長さM2だけ長くなる。

10

【0209】

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L1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_1 と、第2の回折格子612への入射角度 ϕ_1 と、第2の回折格子12の回折角度 θ_2 から下記式13に示す条件となる。

[式13]

$$-\cos(\phi_1 + \theta) / \cos \phi_1 + \{\sin(\phi_1 + \theta) - \cos(\phi_1 + \theta) \tan \phi_1\} \sin \phi_2 = 1$$

20

【0210】

したがって、第1の回折格子11の回折角度 θ_1 と第2の回折格子612の回折角度 θ_2 は、上記式13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L1の光路長を一定にすることができる。また、第2の回折格子612がブラッグ条件を満たす場合、 $\theta_1 = \theta_2$ となり上記式13は、上記式5に変換される。

【0211】

なお、第4の実施の形態例にかかる第2の回折格子512及び第5の実施の形態例にかかる第2の回折格子612としては、例えば、溝の断面形状を鋸歯状に形成した、いわゆるブレード回折格子を用いることが好ましい。これにより、特定の波長に対して回折効率を高めることができる。

30

【0212】

その他の構成は、第1の実施の形態にかかる変位検出装置1と同様であるため、それらの説明は省略する。このような構成を有する変位検出装置601によっても、上述した第1の実施の形態例にかかる変位検出装置1と同様の作用効果を得ることができる。

【0213】

6. 第6の実施の形態例

次に、図17を参照して第6の実施の形態例にかかる変位検出装置について説明する。図17は、第6の実施の形態例にかかる変位検出装置の構成を示す概略構成図である。

40

【0214】

この第6の実施の形態例にかかる変位検出装置701は、第1の実施の形態例にかかる変位検出装置1に光路調整部材を設けたものである。そのため、第1の実施の形態例にかかる変位検出装置1と共通する部分には、同一の符号を付して重複した説明を省略する。

【0215】

図17に示すように、変位検出装置701は、ヘッド703と、第1の回折格子11が設けられた被測定部材2と、相対位置情報出力手段704とを備えている。ヘッド703は、変位検出部705と、光源6と、変位検出部705に設けられた受光部7とを有している。

【0216】

50

また、変位検出部 705 は、第 2 の回折格子 12 と、光束分割部 13 と、参照用ミラー 14 と、物体用ミラー 15 と、第 1 の位相板 17 と、第 2 の位相板 18 と、光束平行分岐部 40 と、光束結合部 50 と、光路補正部材を示す補正回折格子 710 と、を備えている。なお、第 2 の回折格子 12、光束分割部 13、参照用ミラー 14、物体用ミラー 15、第 1 の位相板 17、第 2 の位相板 18、光束平行分岐部 40 及び光束結合部 50 は、第 1 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 と同様の構成を有しているため、その説明は省略する。

【0217】

補正回折格子 710 は、光束結合部 50 と、受光部 7 との間に配置されている。補正回折格子 710 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。補正回折格子 710 は、光束結合部 50 を通過し、かつ光束結合部 50 によって重ね合わされた第 1 の光束 L1 と第 2 の光束 L2 を回折して受光部 7 に入射させる。第 2 の回折格子 12 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。補正回折格子 710 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。

10

【0218】

図 17 に示すように、第 1 の回折格子 11 が第 2 の方向 Y を回転軸としてチルトした場合、第 1 の光束 L1 における第 1 の回折格子 11 で 1 回目に回折される方向も傾く。そのため、第 1 の光束 L1 における光束平行分岐部 40 を介して第 2 の回折格子 12 に入射する位置も変化する。そして、光束平行分岐部 40 を介して再び第 1 の回折格子 11 に入射する位置が、入射点 P12 から変化する。その結果、第 1 の光束 L1 における光束分割部 13 から光束結合部 50 までの光路長に変化が発生する。

20

【0219】

そして、第 1 の光束 L1 の光路長が変化することで、補正回折格子 710 に入射する位置が変化する。そのため、補正回折格子 710 は、第 1 の光束 L1 を回折させる。このように、第 1 の光束 L1 に発生する光路長の変化を補正回折格子 710 での回折によって補正することができる。

【0220】

これに対して、第 2 の光束 L2 は、第 1 の回折格子 11 のチルトの影響を受けることなく、常に一定の光路を辿るため、その光路長は変化しない。そのため、第 2 の光束 L2 における補正回折格子 710 に入射する位置は、変化しない。その結果、補正回折格子 710 は、第 2 の光束 L2 の光路長には影響を及ぼさない。

30

【0221】

これにより、第 6 の実施の形態例にかかる変位検出装置 701 によれば、第 1 の回折格子 11 が設けられた被測定部材 2 にチルトが発生しても、補正回折格子 710 によって第 1 の光束 L1 の光路長を補正することができる。その結果、被測定部材 2 がチルトしても、高精度な測定を行うことができる。

【0222】

その他の構成は、第 1 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 と同様であるため、それらの説明は省略する。このような構成を有する変位検出装置 701 によっても、上述した第 1 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 と同様の作用効果を得ることができる。

40

【0223】

7. 第 7 の実施の形態例

次に、図 18 を参照して第 7 の実施の形態例にかかる変位検出装置について説明する。

図 18 は、第 7 の実施の形態例にかかる変位検出装置の構成を示す概略構成図である。

【0224】

この第 7 の実施の形態例にかかる変位検出装置 801 は、第 1 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 にアイソレータを設けたものである。そのため、第 1 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 と共通する部分には、同一の符号を付して重複した説明を省略する。

【0225】

図 18 に示すように、変位検出装置 801 は、ヘッド 803 と、第 1 の回折格子 11 が設

50

けられた被測定部材 2 と、相対位置情報出力手段 4 とを備えている。ヘッド 803 は、変位検出部 805 と、光源 6 と、変位検出部 805 に設けられた受光部 7 と、を有している。

【0226】

変位検出部 805 には、アイソレータ 811 が設けられている。なお、変位検出部 805 のその他の構成は、第 1 の実施の形態例にかかる変位検出部 5 と同様であるため、その説明は省略する。

【0227】

アイソレータ 811 は、光源 6 と光束分割部 13 との間において、レンズ 16 と光束分割部 13 の間に配置されている。アイソレータ 811 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 811 によって直線偏光の向きが変わる。そして、アイソレータ 811 によって向きが変わった光 L は、光束分割部 13 により 1 : 1 で分配されることが好ましい。

10

【0228】

これにより、第 1 の回折格子 11 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 811 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。

【0229】

その他の構成は、第 1 の実施の形態にかかる変位検出装置 1 と同様であるため、それらの説明は省略する。このような構成を有する変位検出装置 801 によっても、上述した第 1 の実施の形態例にかかる変位検出装置 1 と同様の作用効果を得ることができる。

20

【0230】

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。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。

【0231】

なお、本明細書において、「平行」及び「直交」等の単語を使用したか、これらは厳密な「平行」及び「直交」のみを意味するものではなく、「平行」及び「直交」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「略直交」の状態であってもよい。

【符号の説明】

30

【0232】

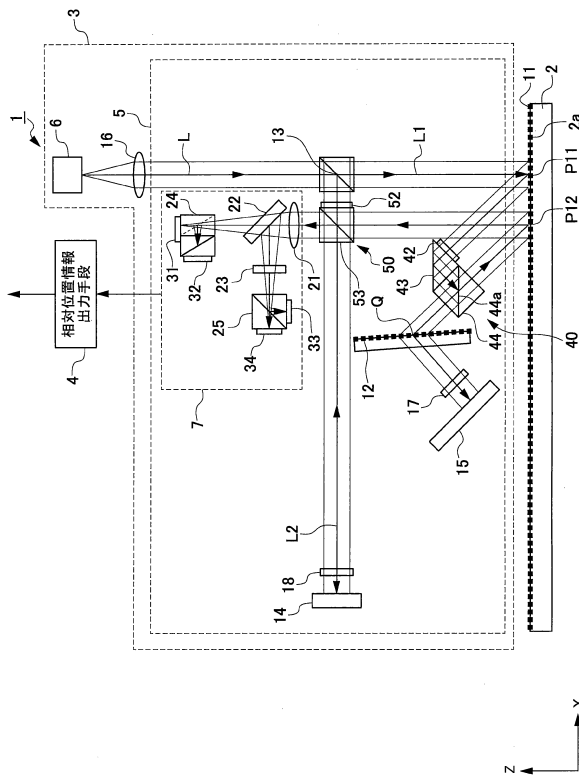
1 ... 変位検出装置、 2 ... 被測定部材、 2 a ... 被測定面、 3 ... ヘッド、 4 ... 相対位置情報出力手段、 5 ... 変位検出部、 6 ... 光源、 7 ... 受光部、 11 ... 第 1 の回折格子、 12 ... 第 2 の回折格子、 13 ... 光束分割部、 14 ... 参照用ミラー（参照光用反射部材）、 15 ... 物体用ミラー（物体光用反射部材）、 17 ... 第 1 の位相板 18 ... 第 2 の位相板、 40 ... 光束平行分岐部、 42 ... 偏光調整位相板、 43 ... 反射ミラー、 44 ... 偏光ビームスプリッタ、 50 ... 光束結合部、 710 ... 補正回折格子、 L1 ... 第 1 の光束、 L2 ... 第 2 の光束

40

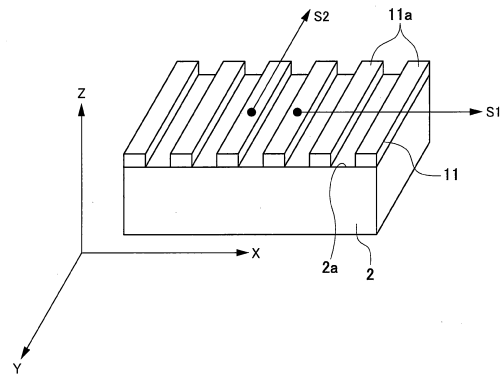
50

【図面】

【図 1】



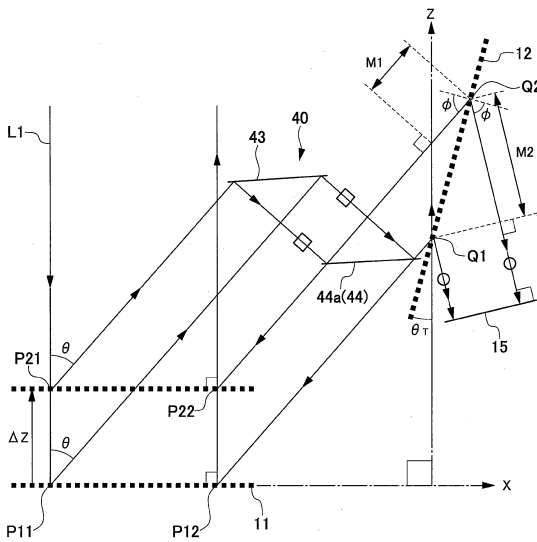
【図 2】



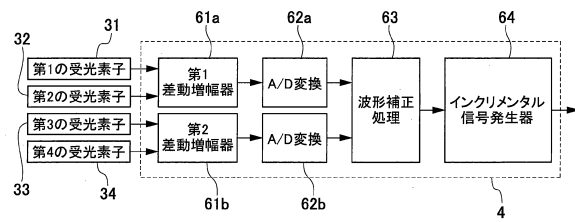
10

20

【図 3】



【図 4】

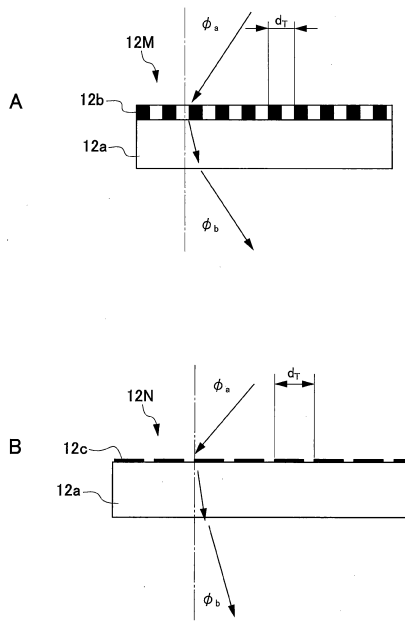


30

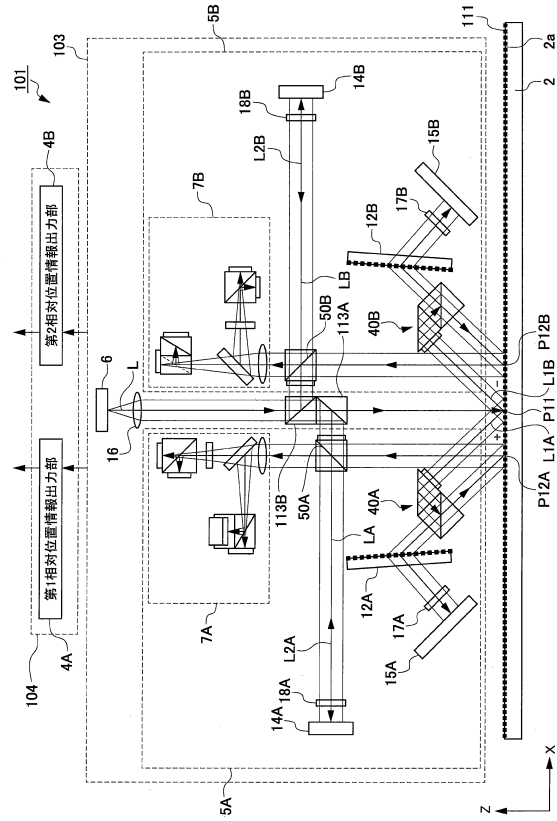
40

50

【図5】



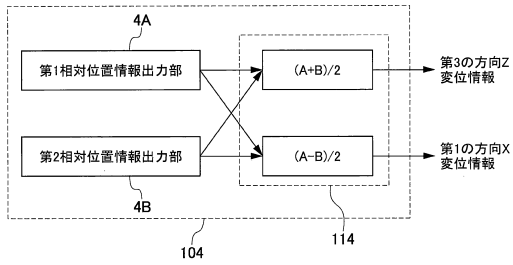
【図6】



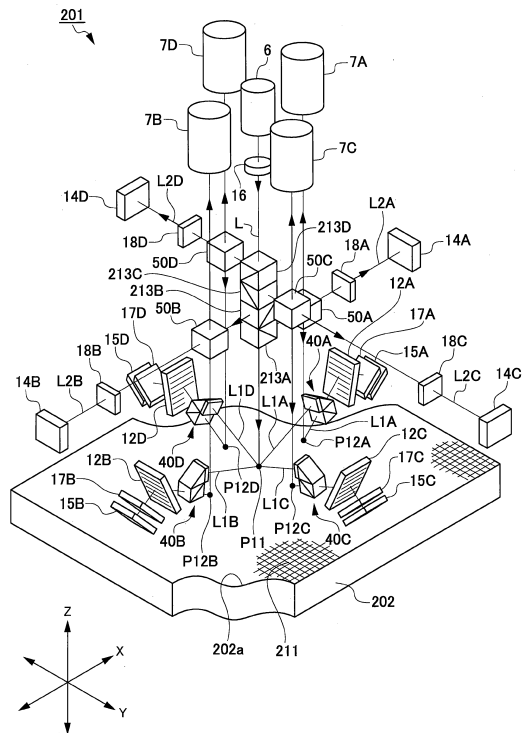
10

20

【図7】



【図8】

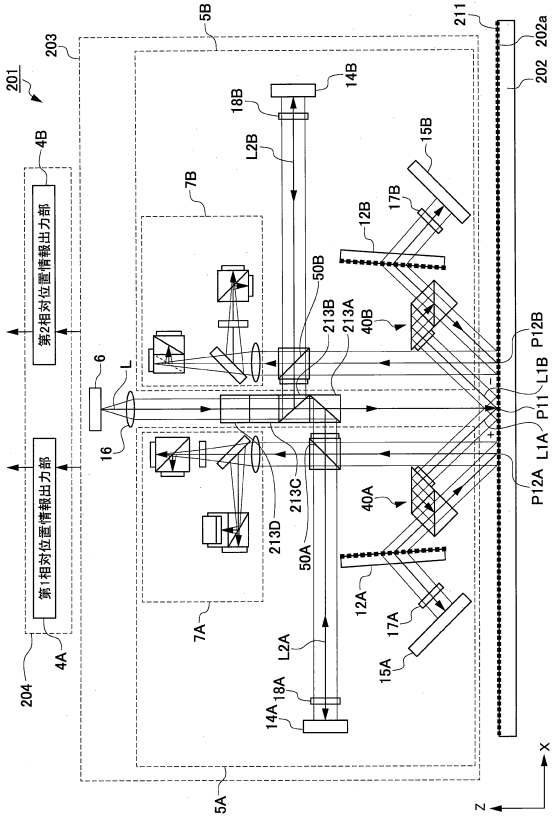


30

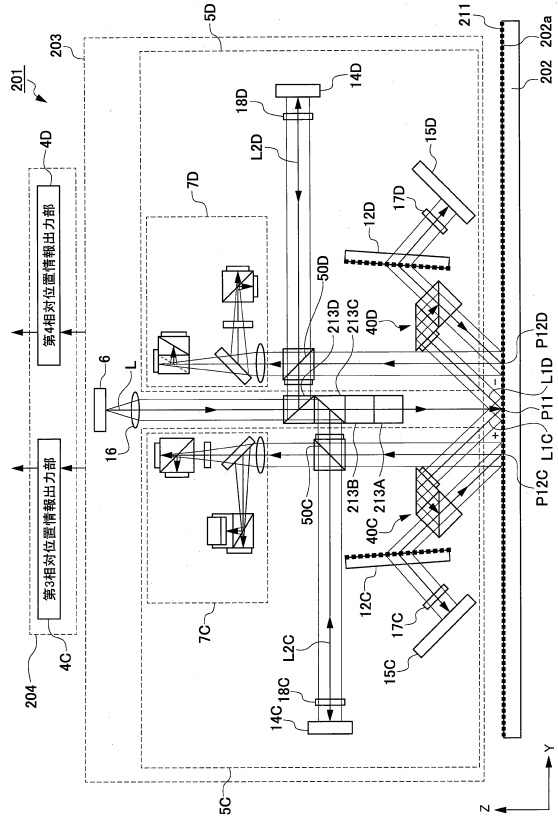
40

50

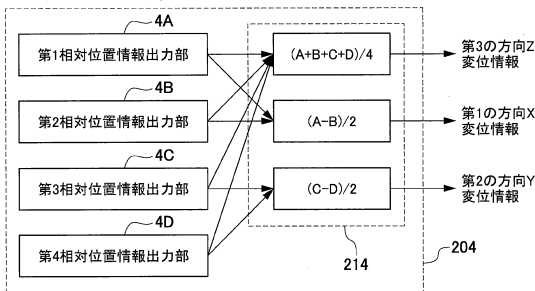
【図9】



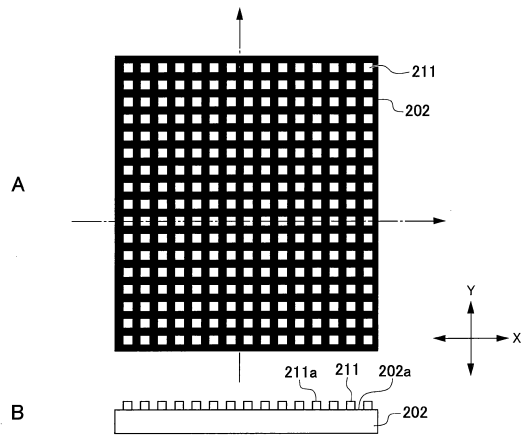
【図10】



【図11】



【図12】



10

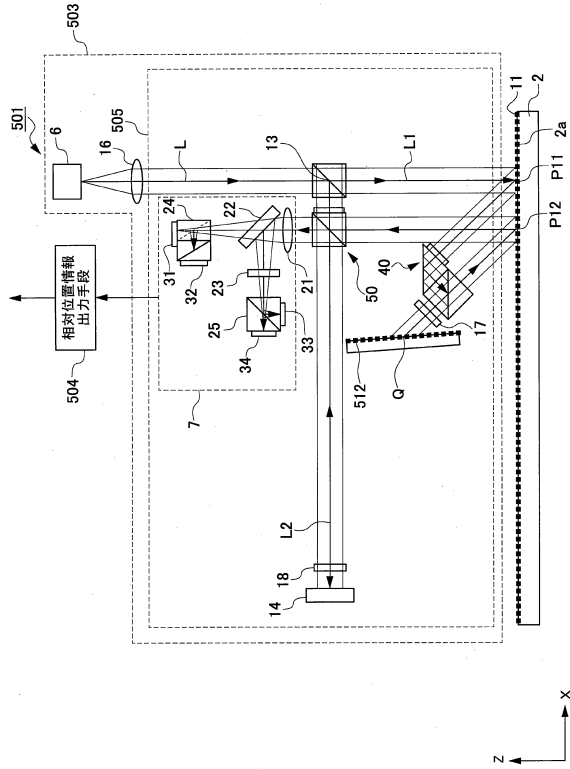
20

30

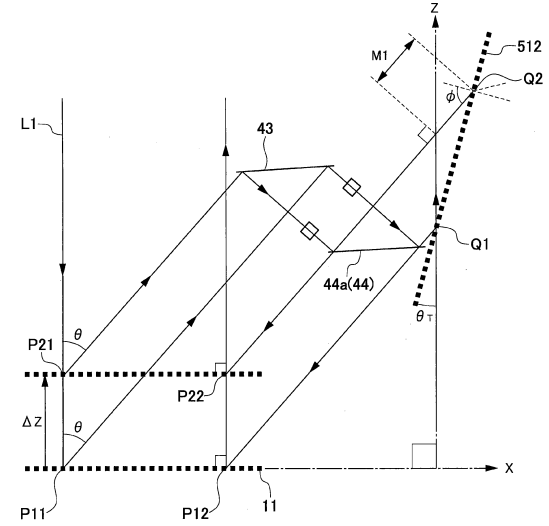
40

50

【図 13】



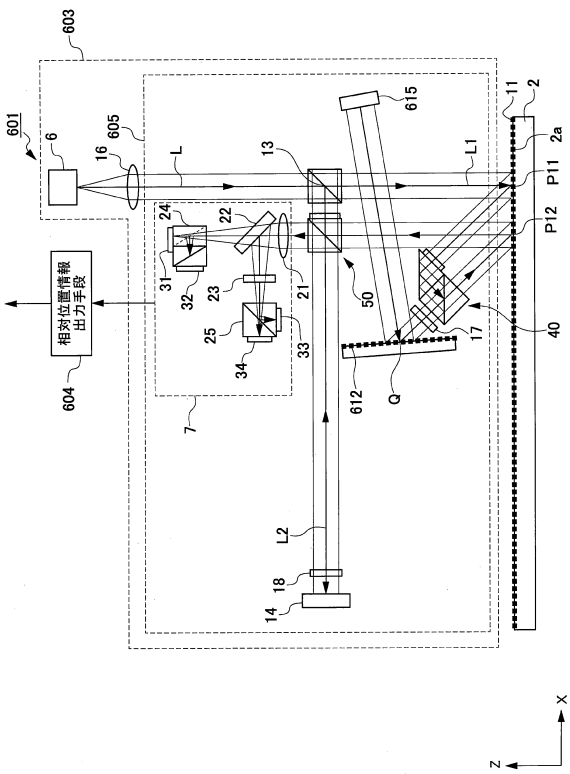
【図 14】



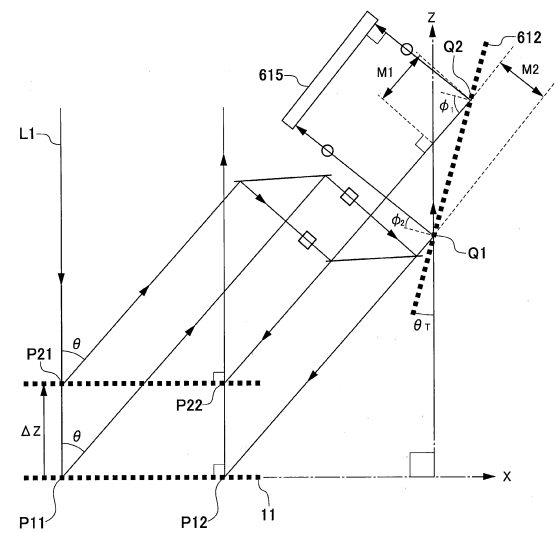
10

20

【図 15】



【図 16】

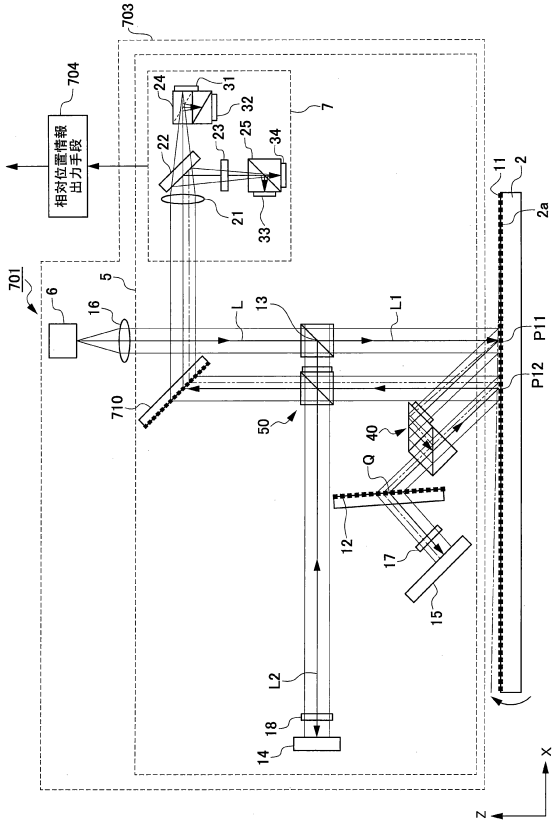


30

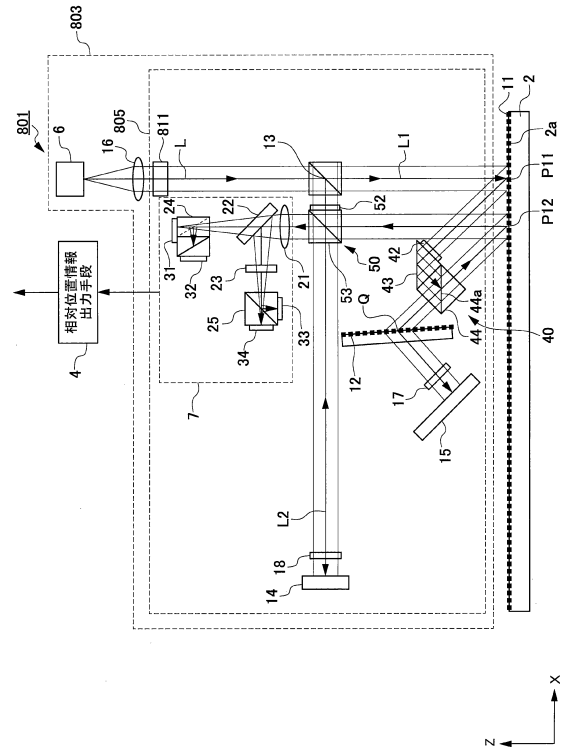
40

50

【図 17】



【図 18】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平 07 - 004992 (JP, A)
特開 2013 - 152205 (JP, A)
米国特許第 04939368 (US, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01B 11/00 - 11/30
G01D 5/26 - 5/38