

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5969274号
(P5969274)

(45) 発行日 平成28年8月17日 (2016. 8. 17)

(24) 登録日 平成28年7月15日 (2016. 7. 15)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 B 11/00 (2006. 01) GO 1 B 11/00 G
GO 1 D 5/38 (2006. 01) GO 1 D 5/38 A

請求項の数 6 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2012-134628 (P2012-134628)	(73) 特許権者	000146847
(22) 出願日	平成24年6月14日 (2012. 6. 14)		DMG森精機株式会社
(65) 公開番号	特開2013-257271 (P2013-257271A)		奈良県大和郡山市北郡山町106番地
(43) 公開日	平成25年12月26日 (2013. 12. 26)	(74) 代理人	100067736
審査請求日	平成27年4月17日 (2015. 4. 17)		弁理士 小池 晃
		(74) 代理人	100096677
			弁理士 伊賀 誠司
		(74) 代理人	100106781
			弁理士 藤井 稔也
		(74) 代理人	100113424
			弁理士 野口 信博
		(74) 代理人	100150898
			弁理士 祐成 篤哉

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 位置検出装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

測定光を出射する光源と、

上記光源から出射された測定光を被測定部材に入射させる物体光となる第1の光束と、参照光となる第2の光束に分割する光束分割部と、

上記光束分割部によって分割され、かつ上記被測定部材の被測定面の任意の入射位置に入射され、上記被測定面によって反射された上記第1の光束を回折し、回折した上記第1の光束を再び上記被測定部材の被測定面の任意の入射位置とは別の入射位置に入射させる反射型の回折格子と、

上記被測定部材の被測定面の上記別の入射位置において反射された上記第1の光束を反射して上記被測定部材の被測定面の上記別の位置に戻す第1の反射部と、

上記光束分割部によって分割され、上記反射型の回折格子により回折された上記第2の光束を反射して、上記反射型の回折格子に戻す第2の反射部と、

上記第1の反射部により反射され、上記反射型の回折格子により再び回折され、上記被測定面の上記任意の入射位置において反射されて戻される上記第1の光束と、上記第2の反射部により反射され、上記回折格子によって再び回折されて戻される上記第2の光束とを重ね合わせる光束結合部と、

上記光束結合部により重ね合わされた上記第1の光束及び上記第2の光束の干渉光を受光する受光部と、

上記受光部により受光した干渉光強度に基づいて上記被測定面の高さ方向の変位情報を

10

20

出力する相対位置情報出力手段と
を備えた変位検出装置。

【請求項 2】

上記光束分割部によって分割された上記第 2 の光束が第 3 の反射部の第 1 の入射位置に入射され、入射された上記第 2 の光束を上記第 3 の反射部によって反射して上記反射型の回折格子に入射させ、上記反射型の回折格子により回折された上記第 2 の光束が上記第 3 の反射部の第 1 の入射位置とは別の第 2 の入射位置に入射され、さらに、上記第 3 の反射部によって反射された後、上記第 2 の反射部により反射され、その後、上記反射型の回折格子を介して戻されるよう構成されており、

上記光束結合部は、上記第 1 の光束と、戻された上記第 2 の光束とを重ね合わせることを特徴とする請求項 1 記載の変位検出装置。

10

【請求項 3】

上記反射型の回折格子に入射する入射角と回折角が異なることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の変位検出装置。

【請求項 4】

上記第 1 の反射部と上記被測定面の間に光束を集光するレンズを配置したことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 の何れか 1 項に記載の変位検出装置。

【請求項 5】

上記レンズの焦点距離は、上記レンズと上記反射型の回折格子までの距離と略等しいことを特徴とする請求項 4 に記載の変位検出装置。

20

【請求項 6】

上記レンズの焦点距離は、上記レンズと上記第 1 の反射部までの距離と略等しい請求項 5 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測定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関するものである。

【背景技術】

30

【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、レーザー光を被測定面に照射し、反射光の位置の変化を PSD (Position Sensitive Device) 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。

【0003】

これに対し、被測定面を鏡面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。

40

【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、被測定面の変位を検出する方式がある（例えば、特許文献 1 を参照）。この方法では、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。

【0005】

50

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 $2 \mu\text{m}$ 程度にすると、リニアスケールの検出精度は、数 $\text{nm} \sim 100$ 数 nm 程度になる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】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、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、上記変位検出装置では、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。

【0008】

そこで、本発明の目的は、上記の如き従来の問題点に鑑み、被測定部材の高さ方向の変位を高分解能で検出でき、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。

【0009】

本発明の他の目的、本発明によって得られる具体的な利点は、以下に説明される実施の形態の説明から一層明らかにされる。

【課題を解決するための手段】

【0010】

すなわち、本発明は、変位検出装置であって、測定光を出射する光源と、上記光源から出射された測定光を被測定部材に入射させる物体光となる第 1 の光束と、参照光となる第 2 の光束に分割する光束分割部と、上記光束分割部によって分割され、かつ上記被測定部材の被測定面の任意の入射位置に入射され、上記被測定面によって反射された上記第 1 の光束を回折し、回折した上記第 1 の光束を再び上記被測定部材の被測定面の任意の入射位置とは別の入射位置に入射させる反射型の回折格子と、上記被測定部材の被測定面の上記別の入射位置において反射された上記第 1 の光束を反射して上記被測定部材の被測定面の上記別の位置に戻す第 1 の反射部と、上記光束分割部によって分割され、上記反射型の回折格子により回折された上記第 2 の光束を反射して、上記反射型の回折格子に戻す第 2 の反射部と、上記第 1 の反射部により反射され、上記反射型の回折格子により再び回折され、上記被測定面の上記任意の入射位置において反射されて戻される上記第 1 の光束と、上記第 2 の反射部により反射され、上記回折格子によって再び回折されて戻される上記第 2 の光束とを重ね合わせる光束結合部と、上記光束結合部により重ね合わされた上記第 1 の光束及び上記第 2 の光束の干渉光を受光する受光部と、上記受光部により受光した干渉光強度に基づいて上記被測定面の高さ方向の変位情報を出力する相対位置情報出力手段とを備えることを特徴とする。

【0011】

本発明に係る変位検出装置は、例えば、上記光束分割部によって分割された上記第 2 の光束が第 3 の反射部の第 1 の入射位置に入射され、入射された上記第 2 の光束を上記第 3 の反射部によって反射して上記反射型の回折格子に入射させ、上記反射型の回折格子により回折された上記第 2 の光束が上記第 3 の反射部の第 1 の入射位置とは別の第 2 の入射位置に入射され、さらに、上記第 3 の反射部によって反射された後、上記第 2 の反射部により反射され、その後、上記反射型の回折格子を介して戻されるよう構成されており、上記

10

20

30

40

50

光束結合部は、上記第1の光束と、戻された上記第2の光束とを重ね合わせるものとすることができる。

【0012】

また、本発明に係る変位検出装置は、例えば、上記第1の反射部と上記被測定面の間に光束を集光するレンズを配置したものとすることができる。

【0013】

また、本発明に係る変位検出装置は、例えば、上記反射型の回折格子に入射する入射角と回折角が異なるものとすることができる。

【0014】

また、本発明に係る変位検出装置において、上記レンズの焦点距離は、例えば、上記レンズと上記反射型の回折格子までの距離と略等しいものとすることができる。さらに、上記レンズの焦点距離は、上記レンズと上記第1の反射部までの距離と略等しいものとすることができる。

10

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、光束分割部によって分割された被測定部材に入射させる物体光となる第1の光束と参照光となる第2の光束を反射型の回折格子により回折させ、回折された第1の光束と第2の光束を第1の反射部と第2の反射部により反射させて再び反射型の回折格子により回折させて光束結合部において重ね合わせることにより、干渉光強度に基づいて被測定面の高さ方向の変位情報を出力するので、被測定部材の高さ方向の変位を高分解能で検出でき、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ができる。

20

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明を適用した変位検出装置の構成例を模式的に示す斜視図である。

【図2】上記変位検出装置における光路の説明に供する図である。

【図3】上記変位検出装置における光源から回折格子までと上記回折格子から受光部までの光路を模式的に示す図である。

【図4】上記変位検出装置における上記回折格子から第1の反射部及び第1の反射部までの光路を模式的に示す図である。

【図5】上記変位検出装置に備えられた反射型の回折格子の構成例を模式的に示す側面図である。

30

【図6】上記変位検出装置に備えられた相対位置情報検出部における相対位置情報出力部の構成を示すブロック図である。

【図7】上記変位検出装置における被測定部材の被測定面に照射される第1の光束の上記被測定面上での照射スポットと回折格子上における回折位置の関係を模式的に示す図である。

【図8】上記変位検出装置において上記第1の反射部と上記被測定面の間に第1の光束を集光するレンズを配置した光路を模式的に示す図である。

【図9】上記変位検出装置において、被測定面をチルトさせた場合の干渉信号出力の変化を示す図である。

40

【図10】上記変位検出装置において上記第2の反射部と反射部の間に第2の光束を集光するレンズを配置した光路を模式的に示す図である。

【図11】本発明を適用した変位検出装置の他の構成例を模式的に示す側面図である。

【図12】本発明に係る変位検出装置を2台使用してX軸方向の制御をしながら、Y軸のチルト量を計測するようにした構成例を模式的に示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明を実施するための形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0018】

本発明は、例えば図1の模式的な斜視図に示すような構成の変位検出装置100に適用

50

される。

【0019】

この変位検出装置100は、反射型の回折格子14を用いて被測定部材1の被測定面1aにおける垂直な方向(測定方向Z)の変位を該被測定面1aにより反射される測定光に基づいて検出するものであって、測定光L0を出射する光源10と、この光源10から出射される測定光L0を上記被測定部材1に入射させる物体光となる第1の光束L1と、参照光となる第2の光束L2に分割する偏光ビームスプリッタ12と、この偏光ビームスプリッタ12により分割された第1の光束L1が上記被測定部材1の被測定面1aによって反射されて入射される回折格子14と、上記回折格子14により反射回折され、上記被測定部材1の被測定面1aにより反射された上記第2の第1の光束L1に基づいて、上記被測定部材1の被測定面1aの上記測定方向Zの相対位置を光学的に検出する相対位置検出部20を備える。

10

【0020】

この変位検出装置100では、上記被測定部材1は、その被測定面1aがXY平面とほぼ平行するよう配置され、上記反射型の回折格子14は、上記XY平面に対して垂直なYZ平面とほぼ平行に配置されている。そして、上記偏光ビームスプリッタ12によって分割された第1の光束L1は、上記測定方向Zに対して傾いた方向から上記被測定部材1の被測定面1aの任意の入射位置Paに入射され、上記被測定面1aの上記入射位置Paにおいて反射されて上記反射型の回折格子14に入射され、上記反射型の回折格子14により回折されて上記被測定部材1の被測定面1aの任意の入射位置Paとは別の入射位置P

20

【0021】

また、この変位検出装置100は、上記反射型の回折格子14によりを反射回折された上記第1の光束L1が上記被測定面1aによって反射されて入射される第1の反射鏡15を備える。

【0022】

この第1の反射鏡15は、上記被測定部材1の被測定面1aの上記別の入射位置Pbにおいて反射された上記第1の光束L1を反射して上記被測定部材1aの被測定面の上記別の位置Pbに戻すように設置されている。

【0023】

また、この変位検出装置100は、上記偏光ビームスプリッタ12によって分割され、上記反射型の回折格子14により反射回折された上記第2の光束L2が入射される第2の反射鏡18を備える。

30

【0024】

この変位検出装置100では、上記偏光ビームスプリッタ12によって分割された上記第2の光束L2が第1の入射位置P1に入射され、入射された上記第2の光束L2を反射して上記反射型の回折格子14に入射させる反射鏡17を備える。この反射鏡17は、上記反射型の回折格子14によりを反射回折された上記第2の光束L2が上記第1の入射位置P1とは別の第2の入射位置P2に入射され、入射された上記第2の光束L2を再び反射する。上記第2の反射鏡18は、上記反射鏡17の上記第2の入射位置P2において反射された上記第1の光束L2を反射して上記反射鏡17の上記第2の入射位置P2に戻すように設置されている。

40

【0025】

さらに、この変位検出装置100における相対位置検出部20は、光束結合部により重ね合わされた上記第1の光束L1及び上記第2の光束L2の干渉光Laを受光する受光部20Aと、上記受光部20Aにより受光した干渉光強度に基づいて上記被測定面1aの高さ方向の変位情報を出力する相対位置情報出力部20Bからなる。

【0026】

ここで、光源10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、白色光等が挙げられる。

50

【 0 0 2 7 】

光源 1 0 として、可干渉距離が短い光源を用いると、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。したがって、光源 1 0 は、可干渉距離ができるだけ短い光源を用いることが望ましい。

【 0 0 2 8 】

さらに、光源 1 0 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 1 0 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 1 0 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。

10

【 0 0 2 9 】

この光源 1 0 から出射された測定光 L 0 は、コリメートレンズ等からなるレンズ 1 1 を介して偏光ビームスプリッタ 1 2 に入射されている。レンズ 1 1 は、光源 1 0 から出射された測定光 L 0 を平行光にコリメートする。そのため、偏光ビームスプリッタ 1 2 には、レンズ 1 1 により平行光にコリメートされた測定光 L 0 が入射される。

【 0 0 3 0 】

偏光ビームスプリッタ 1 2 は、例えば、光源 1 0 から入射される測定光 L 0 のうち、s 偏光を反射し、p 偏光を透過し、コリメートされた測定光 L 0 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 に分割する光束分割部として機能する。また、この偏光ビームスプリッタ 1 2 は、被測定部材 1 及び反射鏡 1 7 から反射されて戻ってきた第 1 の光束 L 1 及び第 2 の光束 L 2 を重ね合わせて、相対位置検出部 2 0 の受光部 2 0 A に照射する光束結合部として機能する。すなわち、この変位検出装置 1 0 0 における偏光ビームスプリッタ 1 2 は、測定光 L 0 を第 1 の光束 L 1 と第 2 の光束 L 2 に分割する光束分割部としての役割と、第 1 の光束 L 1 と第 2 の光束 L 2 を重ね合わせる光束結合部としての役割を有している。

20

【 0 0 3 1 】

偏光ビームスプリッタ 1 2 では、測定光 L 0 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、相対位置検出部 2 0 の受光部 2 0 A に入射する際に被測定部材 1 側と第 2 の反射鏡 1 8 側でそれぞれが同じ光量になるような比率にすることが好ましい。

30

【 0 0 3 2 】

また、光源 1 0 と偏光ビームスプリッタ 1 2 との間に偏光板を設けてもよい。これにより、それぞれの偏光に対して直行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 3 】

また、第 1 の位相板 1 3 及び第 2 の位相板 1 6 は、それぞれ 1 / 4 波長板等から構成されている。

【 0 0 3 4 】

この変位検出装置 1 0 0 において、回折格子 1 4 は、上記被測定部材 1 の被測定面 1 a 上の上記入射位置 P a において反射されて入射される上記第 1 の光束 L 1 を反射し、かつ回折させ上記被測定部材 1 の被測定面 1 a 上の入射位置 P b に戻す反射型の回折格子からなる。

40

【 0 0 3 5 】

そして、この回折格子 1 4 は、図 2 に示すように、当該回折格子 1 4 に対して垂直方向である X 方向より R Z 1 だけ Z 軸を回転させており、回折した第 1 の光束 L 1 を X 方向より R Z 2 だけ Z 軸を回転させた方向に向けている。このため、1 回目の被測定面 1 a に入射した位置 P a と、2 回目の被測定面 1 a に入射した位置 P b は、異なる。

【 0 0 3 6 】

ここで、上記変位検出装置 1 0 0 において、光源 1 0 から出射されて偏光ビームスプリッタ 1 2 により分割された第 1 の光束 L 1 と第 2 の光束 L 2 が通過する光源 1 0 から反射

50

型の回折格子 14 までと上記反射型の回折格子 14 から受光部 20A までの光路を図 3 に示すとともに、上記反射型の回折格子 14 から第 1 の反射部 15 及び第 2 の反射部 18 までの光路を図 4 に示す。

【0037】

この変位検出装置 100 では、上記反射型の回折格子 14 は、被測定部材 1 の被測定面 1a に対して略直角、すなわち回折格子 14 の回折面と被測定部材 1 の被測定面 1a で形成される角度がほぼ 90° となるように配置されている。すなわち、上述の如く、上記反射型の回折格子 14 は、上記被測定部材 1 の被測定面 1a とほぼ平行な XY 平面に対して垂直な YZ 平面とほぼ平行に配置されている。

【0038】

なお、上記反射型の回折格子 14 における被測定部材 1 に対する配置する精度は、変位検出装置 100 に要求する測定精度によって種々設定されるものである。すなわち、変位検出装置 100 に高い精度を要求する場合、回折格子 14 を被測定部材 1 の被測定面 1a に対して $90^\circ \pm 0.5^\circ$ の範囲に配置することが好ましい。これに対し、回折格子 14 を被測定部材 1 の被測定面 1a に対して 90° から $\pm 2^\circ$ の範囲で配置しても、変位検出装置 100 を工作機械等の低精度の測定に用いる場合には、十分である。

【0039】

また、上記反射型の回折格子 14 に入射した第 1 の光束 L1 は、当該回折格子 14 によって反射され、かつ回折される。この回折格子 14 の格子ピッチは、回折角が回折格子 14 への入射角とほぼ等しくなるように設定するのが X 方向のサイズをコンパクトにする上で理想であるが、異なっても良い。回折角が回折格子 14 への入射角が異なる場合は、後述する図 11 に示す変位検出装置 100A ように、光学系を XZ 平面に配置することができ、Y 方向の薄型化が可能になる。

【0040】

回折格子 14 の格子ピッチは、被測定面 1a への入射角を θ_1 、光の波長を λ とすると、次の式 1 を満たす値に設定できる。なお、上述したように、回折格子 14 が被測定部材 1 の被測定面 1a に対して直角に配置されているため、回折格子 14 への入射角は、 $\theta_1 / 2 - \theta_2$ となり、回折角は、 $\theta_1 / 2 - \theta_3$ となる。

【0041】

$$\lambda = \lambda / (\sin(\theta_1 / 2 - \theta_2) + \sin(\theta_1 / 2 - \theta_3)) \quad \dots \text{式 1}$$

【0042】

なお、被測定物 1 が、半導体ウエハのように、積層された透明の材料である場合、表面以外の反射光の影響を受けることから、 θ_1 ができるだけ大きい方が望ましく、 $\theta_1 > 50^\circ$ 以上で設計し、表面の反射光量をできるだけ大きくする。

【0043】

例えば、 $\theta_1 = \theta_2$ に設定した場合は、 $RZ1 = RZ2$ となる。

【0044】

回折した光束 L1 は、X 方向より $RZ2$ だけ Z 軸を回転させた軸上の被測定面 1a に入射位置 P b に入射され、反射した後、第 1 の反射鏡 15 によって反射されて戻される。

【0045】

そのため、回折格子 14 によって反射し、かつ回折されて再び被測定部材 1 の被測定面 1a に入射するときの光路が、偏光ビームスプリッタ 12 によって分割された第 1 の光束 L1 が被測定部材 1 の被測定面 1a によって反射されて回折格子 14 に入射するときの光路に重なり合う。その結果、回折格子 14 によって回折された第 1 の光束 L1 は、偏光ビームスプリッタ 12 から被測定部材 1 の被測定面 1a に入射された照射スポット P1 と同じ入射位置 P a に戻る。そして、第 1 の光束 L1 は、被測定部材 1 の被測定面 1a で再び反射され、偏光ビームスプリッタ 12 から照射されたときの光路と同じ光路を通過して偏光ビームスプリッタ 12 に戻る。

【0046】

なお、回折格子 14 としては、例えば図 5 の側面図に一例を示すような構造の回折格子

10

20

30

40

50

が用いられる。

【 0 0 4 7 】

この回折格子 1 4 は、ホログラフィー回折格子や描画装置で作製された回折格子が用いられるが、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 1 4 A , 1 4 B を用いても良い。この回折格子 1 4 によれば、被測定部材 1 の被測定面 1 a で反射された物体光である第 1 の光束 L 1 や、第 2 の反射鏡 1 8 で反射された参照光である第 2 の光束 L 2 の回折効率を高めることができ、信号のノイズを低下させることができる。

【 0 0 4 8 】

また、この変位検出装置 1 0 0 において、反射鏡 1 7 は、図 1 及び図 3 に示すように、偏光ビームスプリッタ 1 2 によって分割された第 2 の光束 L 2 を回折格子 1 4 に反射するものである。この反射鏡 1 7 は、上記反射型の回折格子 1 4 を間に挟んで被測定部材 1 と対向する位置に設けられている。そして、反射鏡 1 7 の反射面は、被測定部材 1 の被測定面 1 a と略平行に配置される。そのため、反射鏡 1 7 及び回折格子 1 4 は、反射鏡 1 7 の反射面と回折格子 1 4 の回折面で形成される角度がほぼ 9 0 ° となるように配置されている。

10

【 0 0 4 9 】

この反射鏡 1 7 は、上記偏光ビームスプリッタ 1 2 によって分割された上記第 2 の光束 L 2 が第 1 の入射位置 P 1 に入射され、入射された上記第 2 の光束 L 2 を反射して上記反射型の回折格子 1 4 に入射させ、上記反射型の回折格子 1 4 によりを反射回折された上記第 2 の光束 L 2 が上記第 1 の入射位置 P 1 とは別の第 2 の入射位置 P 2 に入射され、入射された上記第 2 の光束 L 2 を再び反射して第 2 の反射鏡 1 8 に入射させる。

20

【 0 0 5 0 】

そして、第 2 の反射鏡 1 8 は、回折格子 1 4 によって回折された第 2 の光束 L 2 を再び反射して回折格子 1 4 に戻す。そして、この第 2 の反射鏡 1 8 によって反射され、かつ回折格子 1 4 によって回折された第 2 の光束 L 2 も、第 1 の光束 L 1 と同様に、偏光ビームスプリッタ 1 2 から照射されたときの光路と同じ光路を通過して偏光ビームスプリッタ 1 2 に戻る。

【 0 0 5 1 】

この第 2 の反射鏡 1 8 は、第 1 の光束 L 1 における偏光ビームスプリッタ 1 2 から回折格子 1 4 までの光路長と、第 2 の光束 L 2 における偏光ビームスプリッタ 1 2 から回折格子 1 4 までの光路長が等しくなるように配置される。第 2 の反射鏡 1 8 を設けたことで、この変位検出装置 1 0 0 を製造する際に、第 1 の光束 L 1 の光路長と第 2 の光束 L 2 の光路長や光軸の角度を調整し易くすることができる。その結果、気圧や湿度や温度の変化による光源 1 0 の波長変動の影響を受けにくくすることができる。

30

【 0 0 5 2 】

上述したように、第 2 の反射鏡 1 8 の反射面と回折格子 1 4 の回折面は、被測定部材 1 の被測定面 1 a と回折格子 1 4 の関係と同様に、略直角に配置することが好ましい。これにより、回折格子 1 4 によって回折されて再び第 2 の反射鏡 1 8 の反射面に入射するときの光路が、第 2 の反射鏡 1 8 によって反射されて回折格子 1 4 に入射するときの光路に重なり合う。

40

【 0 0 5 3 】

すなわち、この変位検出装置 1 0 0 では、光束分割部として機能する偏光ビームスプリッタ 1 2 により、光源 1 0 から出射された測定光 L 0 を第 1 の光束 L 1 と第 2 の光束 L 2 に分割して、上記第 1 の光束 L 1 を物体光として上記被測定部材 1 の被測定面 1 a 上の任意の入射位置 P a に入射し、上記入射位置 P a において反射された上記第 1 の光束 L 1 を反射型の回折格子 1 4 に入射して反射回折させ、回折された上記第 1 の光束 L 1 を再び上記被測定部材 1 の被測定面 1 a 上の上記入射位置 P a とは別の入射位置 P b に入射させている。さらに、上記入射位置 P b において反射された上記第 1 の光束 L 1 を第 1 の反射部として機能する第 1 の反射鏡 1 5 により反射して上記反射型の回折格子 1 4 に戻して再度反射回折させ、上記反射型の回折格子 1 4 により 2 回反射回折された上記第 1 の光束 L 1

50

を上記被測定部材 1 の被測定面 1 a 上の上記入射位置 P a において反射させることにより上記偏光ビームスプリッタ 1 2 に戻している。

【 0 0 5 4 】

また、上記第 2 の光束 L 2 を参照光として上記反射鏡 1 7 上の上記入射位置 P 1 に入射し、上記入射位置 P 1 において反射された上記第 2 の光束 L 2 を上記反射型の回折格子 1 4 に入射して反射回折させ、回折された上記第 2 の光束 L 1 を再び上記被測定部材 1 の被測定面 1 a 上の上記入射位置 P 1 とは別の入射位置 P 2 に入射させている。さらに、上記入射位置 P 2 において反射された上記第 2 の光束 L 2 を第 2 の反射部として機能する第 2 の反射鏡 1 8 により反射して上記反射型の回折格子 1 4 に戻して再度反射回折させ、上記反射型の回折格子 1 4 により 2 回反射回折された上記第 2 の光束 L 2 を上記反射鏡 1 7 上の上記入射位置 P 1 において反射させることにより上記偏光ビームスプリッタ 1 2 に戻している。

10

【 0 0 5 5 】

そして、上記偏光ビームスプリッタ 1 2 は、上記第 1 の反射鏡 1 5 により反射され、上記反射型の回折格子 1 4 により再び回折され、上記被測定面 1 a の上記入射位置 P a において反射されて戻される上記第 1 の光束 L 1 と、上記第 2 の反射鏡 1 8 により反射され、上記回折格子 1 4 によって再び回折されて戻される上記第 2 の光束 L 2 とを重ね合わせる光束結合部として機能する。

【 0 0 5 6 】

ここで、偏光ビームスプリッタ 1 2 から被測定部材 1 と回折格子 1 4 と第 1 の反射鏡 1 5 を介して偏光ビームスプリッタ 1 2 に戻るまでの第 1 の光束 L 1 の光路長と、偏光ビームスプリッタ 1 2 から反射鏡 1 7 と回折格子 1 4 と第 2 の反射鏡 1 8 を介して偏光ビームスプリッタ 1 2 に戻るまでの第 2 の光束 L 2 の光路長は、略等しく設定されている。このように、第 1 の光束 L 1 と第 2 の光束 L 2 の光路長を等しく設定することにより、気圧や湿度、温度の変化による光源 1 0 の波長変動があったとしても、第 1 の光束 L 1 及び第 2 の光束 L 2 が受ける影響を等しくすることができる。その結果、気圧補正や湿度補正、温度補正を行う必要がなく、周囲環境に関わらず安定した測定を行うことができる。

20

【 0 0 5 7 】

また、相対位置検出部 2 0 は、受光部 2 0 A と相対位置情報出力部 2 0 B からなる。

【 0 0 5 8 】

相対位置検出部 2 0 の受光部 2 0 A は、偏光ビームスプリッタ 1 2 により重ね合わされた第 1 の光束 L 1 と第 2 の光束 L 2 が入射される集光レンズ 2 1 と、この集光レンズ 2 1 により集光された第 1 の光束 L 1 と第 2 の光束 L 2 すなわち入射光を分割するハーフミラー 2 2 と、このハーフミラー 2 2 により分割された入射光が入射される第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 3 と、上記ハーフミラー 2 2 により分割された入射光が例えば 1 / 4 波長板等からなる受光側位相板 2 4 を介して入射される第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 5 を備える。

30

【 0 0 5 9 】

これら第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 3 及び第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 5 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、第 1 の光束 L 1 と第 2 の光束 L 2 との干渉光を分割するものである。

40

【 0 0 6 0 】

第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 3 は、入射される光束の偏光方向が入射面に対して 4 5 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 2 3 における光の出射口側には、第 1 の受光素子 2 6 と、第 2 の受光素子 2 7 が設けられている。また、第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 5 における光の出射口側には、第 3 の受光素子 2 8 と、第 4 の受光素子 2 9 が設けられている。

【 0 0 6 1 】

また、相対位置検出部 2 0 の相対位置情報出力部 2 0 B は、図 6 に示すように、第 1 の差動増幅器 6 1 a と、第 2 の差動増幅器 6 1 b と、第 1 の A / D 変換器 6 2 a と、第 2 の

50

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。

【0062】

第1の差動増幅器61aは、受光部20Aの第1の受光素子26及び第2の受光素子27が入力端に接続され、出力端に第2のA/D変換器62bが接続されている。また、第2の差動増幅器61bは、受光部20Aの第3の受光素子28及び第4の受光素子29が入力端に接続され、出力端に第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に接続されている。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。

【0063】

このような構成の変位検出装置100において、偏光ビームスプリッタ12により重ね合わされて、相対位置検出部20の受光部20Aに入射される第1の光束L1と第2の光束L2は、第1の偏光ビームスプリッタ23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23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23によって干渉させることができる。

【0064】

同様に、第1の偏光ビームスプリッタ23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23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23によって干渉させることができる。

【0065】

第1の偏光ビームスプリッタ23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1の受光素子26によって受光される。また、第1の偏光ビームスプリッタ23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2の受光素子27によって受光される。ここで、第1の受光素子26と第2の受光素子27とによって光電変換される信号は、180度位相の異なる信号となる。

【0066】

この変位検出装置100では、第1の光束L1を2回回折している。そのため、2回回折された第1の光束L1には、 $2Kz$ の位相が加わる。Kは、 $2/\lambda$ で示される波数である。また、zは、回折格子14上における第1の光束L1の移動量を示している。

【0067】

ここで、図7に示すように、被測定部材1が高さ方向に $z/2$ だけ移動すると、被測定部材1の被測定面1aに照射される第1の光束L1は、照射スポットが入射位置Paから入射位置Pa'に移動する。また、被測定部材1の被測定面1aで反射された第1の光束L1は、回折格子14の回折位置T1から回折位置T2に移動する。つまり、被測定物1が高さ方向に対して $z/2$ だけ移動すると、第1の光束L1は回折格子14上では2倍のzだけ移動する。さらに、2回回折することで、第1の光束L1には、 $2Kz$ の位相が加わり、2周期分の光の明暗が生じる干渉光が受光部20Aによって受光される。

【0068】

すなわち、第1の受光素子33と第2の受光素子34では、 $A \cos(2Kz + \phi)$ の干渉信号を得ることができる。また、第3の受光素子35と第4の受光素子36では、 $A \cos(2Kz + \phi')$ の干渉信号を得ることができる。

【0069】

例えば、回折格子の格子ピッチを $0.5515 \mu\text{m}$ 、波長を 780nm 、回折格子14の入射角及び回折角を 45° に設定したとき、被測定部材1が高さ方向に $0.5515 \mu\text{m}$ 移動する例について説明する。

【0070】

被測定部材1が高さ方向に $0.5515 \mu\text{m}$ 移動すると、第1の光束L1は、回折格子

10

20

30

40

50

14上を0.5515 μmの2倍、すなわち2ピッチ分移動する。さらに、第1の光束L1は、2回折られるため、4回の光の明暗が受光部20Aによって検出される。すなわち、得られる信号の1周期は、 $0.5515 \mu\text{m} / 4 = 0.1379 \mu\text{m}$ となる。

【0071】

なお、この変位検出装置100では、第1の偏光ビームスプリッタ23に対して、第3の受光素子28と第4の受光素子29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26を45度傾けて配置している。このため、第3の受光素子28と第4の受光素子29において得られる信号は、第1の受光素子26と第2の受光素子27において得られる信号に対し、90度位相がずれている。

【0072】

したがって、例えば第1の受光素子26と第2の受光素子27で得られる信号をsin信号、第3の受光素子28と第4の受光素子29において得られる信号を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。

【0073】

これらの受光素子26～29によって得られる信号は、相対位置情報出力部20Bによって演算され、被測定面1aの変位量がカウントされる。

【0074】

相対位置情報出力部20Bでは、まず、受光部20Aの第1の受光素子26と第2の受光素子27で得られた位相が互いに180度異なる信号を第1の差動増幅器61aによって差動増幅し、干渉信号の直流成分をキャンセルする。

【0075】

そして、この信号は、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から出力される。

【0076】

また同様に、第3の受光素子35及び第4の受光素子36で得られた信号は、第2の差動増幅器61bによって差動増幅され、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。

【0077】

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、被測定部材1の被測定面1aの高さ方向の変位量が、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。

【0078】

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L1と第2の光束L2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、被測定部材1の被測定面1aの変位量が検出される。

【0079】

なお、この変位検出装置100における相対位置情報出力部20B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。

【0080】

このような構成の変位検出装置100では、上記反射型の回折格子14により2回反射回されて戻ってくる物体光すなわち上記第1の光束L1と参照光すなわち上記第1の光束L1を偏光ビームスプリッタ12により重ね合わせるにより得られる干渉光Laを受光部20Aにより受光し、相対位置情報出力部20Bにより干渉光Laの干渉光強度に基づいて上記被測定面1aの高さ方向の変位情報を得るので、被測定部材1の高さ方向の変位を高分解能で検出でき、高速で安定した計測を行うことができる。

【0081】

10

20

30

40

50

また、この変位検出装置 100 では、上記反射型の回折格子 14 によりを反射回折された物体光すなわち第 1 の光束 L1 が被測定部材 1 の被測定面 1a 上の入射位置 Pa とは別の入射位置 Pb において反射されて入射される第 1 の反射鏡 15 を備え、上記被測定部材 1 の被測定面 1a の上記入射位置 Pb において反射された上記第 1 の光束 L1 を第 1 の反射鏡 15 により反射して上記被測定部材 1 の被測定面 1a の上記別の位置 Pb に戻すようにしたので、例えば図 8 に示すように、上記第 1 の反射鏡 15 と上記被測定部材 1 の被測定面 1a との間に第 1 の光束 L1 を集光するレンズ 19 を配置することができる。

【0082】

上記レンズ 19 は、上記レンズ 19 から上記被測定部材 1 の被測定面 1a までの距離を a とし、上記反射型の回折格子まで上記反射型の回折格子 14 の回折面の距離 b として、その焦点距離 f を上記レンズ 19 から上記反射型の回折格子 14 までの距離 (a + b) に近づけて、上記被測定部材 1 の被測定面 1a により反射されて上記反射型の回折格子 14 に入射される第 1 の光束 L1 を上記反射型の回折格子 14 の回折面上に集光するようにことで、上記被測定部材 1 の被測定面 1a のチルトに対する干渉信号の低下を抑制する効果がある。

10

【0083】

そこで、上記レンズ 19 の焦点距離 f は、当該レンズ 19 から上記反射型の回折格子 14 の回折面までの距離 (a + b) と略等しいものとされる。

【0084】

さらに、上記レンズの 19 焦点距離 f は、当該レンズ 19 から上記第 1 の反射鏡 15 の反射面までの距離 c と略等しいものし、 $f = a + b = c$ とすることで、上記チルトに対する干渉信号の低下を抑制する効果をさらに高めることができる。

20

【0085】

上記被測定部材 1 の被測定面 1a のチルトに対する許容を広げることは、被測定面 1a が、球面であるような、例えばレンズの形状測定なども可能になり、使い勝手がさらに向上する変位計測装置となる。

【0086】

ここで、上記レンズ 19 を焦点距離 $f = a + b = c$ を満たす条件で配置した場合と、上記レンズ 19 を配置しない場合で、被測定面 1a を X 軸方向にチルトさせた場合の干渉信号の出力結果を図 9 に示す。

30

【0087】

レンズ 19 の焦点距離 $f = 13.5 \text{ mm}$ 、 $a = \text{約} 5.7 \text{ mm}$ 、 $b = \text{約} 7.8 \text{ mm}$ 、 $c = \text{約} 13.5 \text{ mm}$ とした。

【0088】

上記レンズ 19 を配置した場合は、無い場合と比較して、大幅に角度特性が改善されることが確認された。

【0089】

さらに、上記変位検出装置 100 では、図 10 に示すように、上記第 1 の反射鏡 15 と上記被測定部材 1 の被測定面 1a との間に第 1 の光束 L1 を集光するレンズ 19A を配置するとともに、上記第 2 の反射部 18 と上記反射部 17 の間に第 2 の光束 L2 を集光するレンズ 19B を配置するようにしてもよい。

40

【0090】

このように第 2 の光束 L2 すなわち参照光側にもレンズ 19B を入れることにより、組み立て時の反射部 17 のミラー調整が簡単になる。

【0091】

また、上記変位検出装置 100 では、上記反射型の回折格子 14 の格子ピッチは、回折角が回折格子 14 への入射角とほぼ等しくなるように設定したが、図 11 に示す変位検出装置 100A のように、反射型の回折格子 14A に入射する入射角と回折角を異なるようにして、光学系を XZ 平面に配置するようにしてもよい。

【0092】

50

なお、この変位検出装置 100A において、上記変位検出装置 100 と同一の構成要素については、同一符号を図 11 中に付して、その詳細な説明を省略する。

【0093】

この変位検出装置 100A は、上記変位検出装置 100 における上記第 1 の反射部 15 に対応する第 1 の反射面 59A と上記第 2 の反射部 19 に対応する第 2 の反射面 59B を有する反射ブロック 59 を備え、光源 10 から出射された測定光 L0 が偏光ビームスプリッタ 12 により物体光となる第 1 の光束 L1 と参照光となる第 2 の光束 L2 に分割されて、上記第 1 の光束 L1 が第 1 の反射面 59A で反射され、上記第 2 の光束 L1 が第 2 の反射面 59B により反射されて、上記偏光ビームスプリッタ 12 に戻され干渉光 La として相対位置検出部 20 の受光部 20A に入射されるまでの光学系を XZ 平面に配置してある。

10

【0094】

このように光学系を XZ 平面に配置することにより、この変位検出装置 100A の Y 方向の薄型化が可能になる。

【0095】

ここで、チルトに対する許容が改善されると、ステージのチルト計測にも使用することができる。図 12 は、X 軸方向の制御可能なステージ 210 及び X 軸用リニアエンコーダ 220 に、2 台の本発明に係る変位検出装置 200A, 200B を使用してリニアエンコーダスケール 230 の反射面を検出することで、X 軸方向の制御をしながら、Y 軸のチルト量を計測する構成例である。この構成例では、ステージ 210 の両側にリニアエンコーダを配置しなくても、ステージ 210 の Y 軸のチルト量の補正が可能になり、さらにシンプルなステージ制御が実現できる。

20

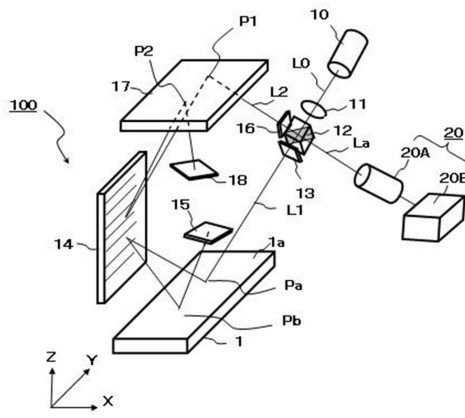
【符号の説明】

【0096】

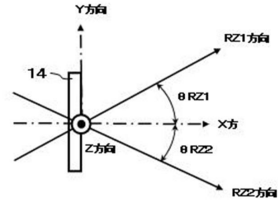
1 被測定部材、1a 被測定面、10 光源、11 レンズ、12 偏光ビームスプリッタ、13 第 1 の位相板、14, 14A 反射型の回折格子、15 第 1 の反射鏡、16 第 2 の位相板、17 反射鏡、18 第 2 の反射鏡、19, 19A, 19B レンズ、20 相対位置検出部、20A 受光部、20B 相対位置情報出力部、21 集光レンズ、22 ハーフミラー、23 第 1 の偏光ビームスプリッタ、24 受光側位相板、25 第 2 の偏光ビームスプリッタ、26 第 1 の受光素子、27 第 2 の受光素子、28 第 3 の受光素子、29 第 4 の受光素子、59A 第 1 の反射面 59A、59B 第 2 の反射面 59A、61a 第 1 の差動増幅器、61b 第 2 の差動増幅器、62a 第 1 の A/D 変換器、62b 第 2 の A/D 変換器、63 波形補正処理部、64 インクリメンタル信号発生器、100, 100A, 200A, 200B 変位検出装置、210 ステージ、220 リニアエンコーダ、230 リニアエンコーダスケール

30

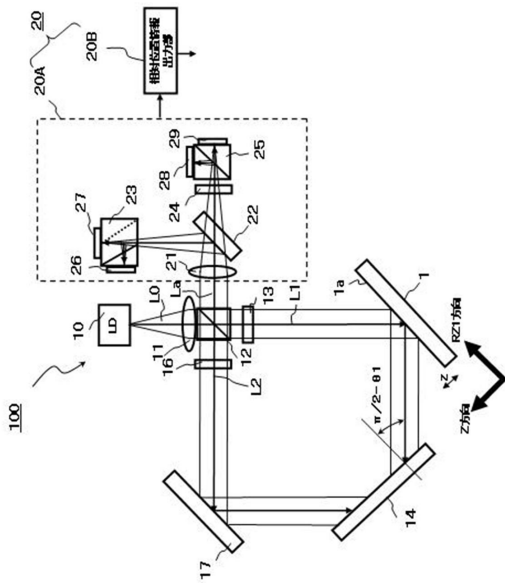
【 図 1 】



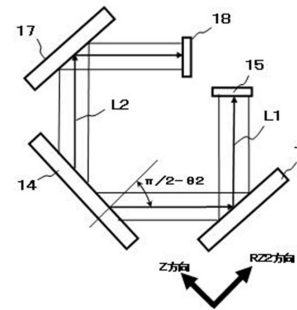
【 図 2 】



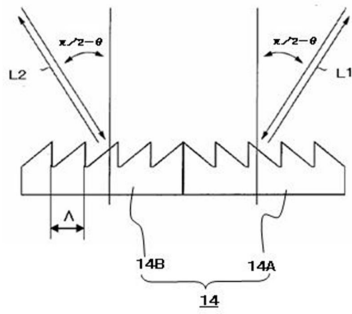
【 図 3 】



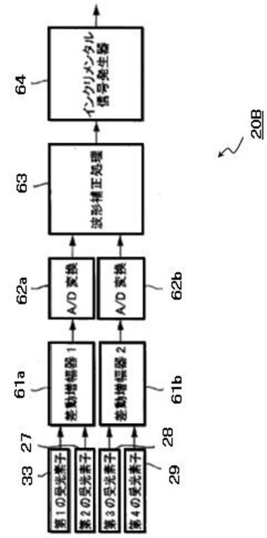
【 図 4 】



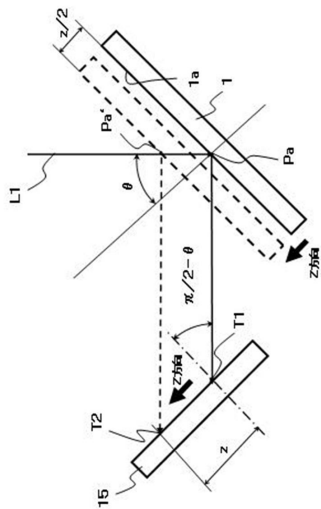
【図5】



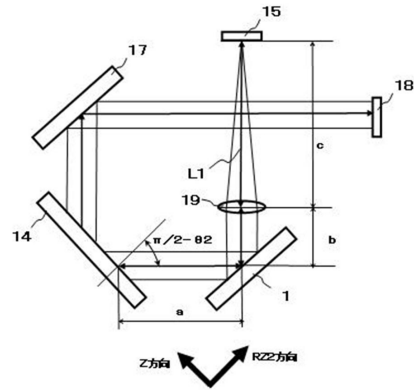
【図6】



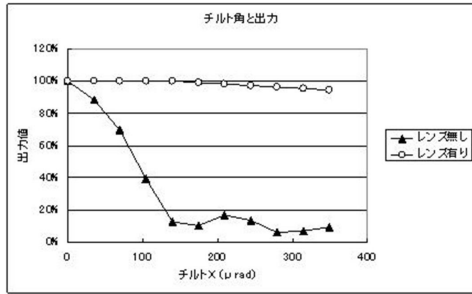
【図7】



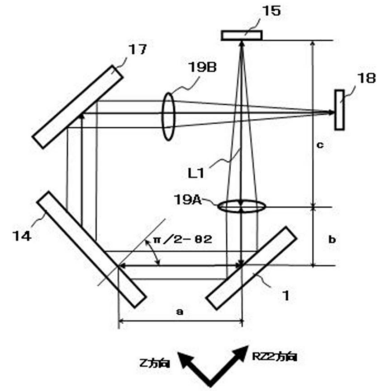
【図8】



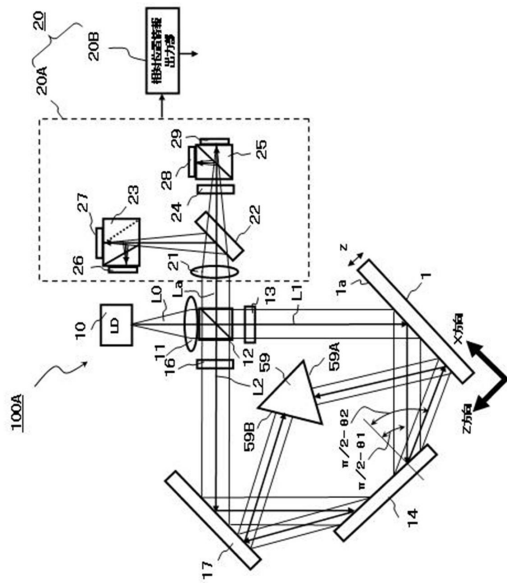
【図9】



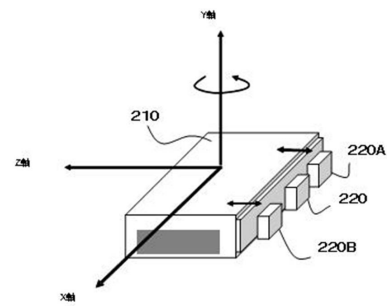
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(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

審査官 深田 高義

(56)参考文献 特開2012-073222(JP,A)
特開2003-279385(JP,A)
特開2006-177876(JP,A)
特開平08-005323(JP,A)
特開2000-081308(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01B 11/00
G01D 5/38