

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4381671号
(P4381671)

(45) 発行日 平成21年12月9日(2009.12.9)

(24) 登録日 平成21年10月2日(2009.10.2)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 D 5/36 (2006.01)	GO 1 D 5/36 K
GO 1 D 5/38 (2006.01)	GO 1 D 5/36 D
GO 1 B 11/00 (2006.01)	GO 1 D 5/36 T
	GO 1 D 5/38 A
	GO 1 B 11/00 G

請求項の数 22 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2002-308931 (P2002-308931)	(73) 特許権者	000108421
(22) 出願日	平成14年10月23日(2002.10.23)		ソニーマニュファクチャリングシステム
(65) 公開番号	特開2004-144581 (P2004-144581A)		ズ株式会社
(43) 公開日	平成16年5月20日(2004.5.20)		埼玉県久喜市清久町1-10
審査請求日	平成17年7月6日(2005.7.6)	(74) 代理人	100067736
			弁理士 小池 晃
		(74) 代理人	100086335
			弁理士 田村 榮一
		(74) 代理人	100096677
			弁理士 伊賀 誠司
		(72) 発明者	田宮 英明
			東京都品川区西五反田3丁目9番17号
			ソニー・プレジジョン・テクノロジー株式
			会社内

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】

所定の間隔で位置情報が記録されている第1の領域と、上記第1の領域とは異なる間隔で位置情報が記録されている第2の領域とが形成されている移動可能なスケールと、

上記第1の領域に記録されている位置情報を読み取る第1の読取手段と、

上記第1の読取手段により読み出した位置情報に基づいたインクリメンタル信号を発生することにより、該インクリメンタル信号で示される変位量を出力するインクリメンタル信号発生手段と、

上記第1の読取手段により読み出した位置情報に基づき第1の位相を検出する第1の位相検出手段と、

上記第2の領域に記録されている位置情報を読み取る第2の読取手段と、

上記第2の読取手段により読み出した位置情報に基づき第2の位相を検出する第2の位相検出手段と、

上記第1の位相と上記第2の位相とを比較する位相比較手段と、

上記位相比較手段の比較結果に応じて、原点信号を発生する原点信号発生手段を備え、

上記第1の領域と上記第2の領域は、同一の測定方向に等量分変位するように上記スケール上に形成され、

上記第1の読取手段により読み取られる上記第1の領域に記録されている位置情報の読み取り位置と、上記第2の読取手段により読み取られる上記第2の領域に記録されている位置情報の読み取り位置とが測定方向に対してインライン上に並んでいる変位検出装置。

【請求項 2】

上記スケールは、測定方向に対して一方の側に第 1 の領域が形成されており、他方の側に第 2 の領域が形成されている請求項 1記載の変位検出装置。

【請求項 3】

上記スケールは、第 1 の領域を両側から挟むように第 2 の領域が形成されている請求項 1記載の変位検出装置。

【請求項 4】

上記スケールは、垂直方向に第 1 の領域と第 2 の領域とが層状に重なって形成されている請求項 1記載の変位検出装置。

【請求項 5】

上記原点信号発生手段は、上記第 1 の位相と上記第 2 の位相との差が任意の設定された値になったときに原点信号を発生するように、上記値を設定する設定手段をさらに備える請求項 1記載の変位検出装置。

10

【請求項 6】

上記原点信号発生手段は、上記第 1 の位相と上記第 2 の位相との差が 0 のときのみ原点信号を発生する請求項 1記載の変位検出装置。

【請求項 7】

上記原点信号発生手段は、上記第 1 の位相と上記第 2 の位相との差が設定された値に所定回数一致したときに原点信号を発生する請求項 1記載の変位検出装置。

【請求項 8】

上記第 1 の位相又は上記第 2 の位相を選択する選択手段と、
上記第 1 の位相と上記第 2 の位相との差が設定された値に一致した後に、上記選択手段で選択した方の位相が任意の値に達したときに上記原点信号発生手段により原点信号を発生するように、上記値を設定する設定手段とをさらに備える請求項 1記載の変位検出装置。

20

【請求項 9】

上記原点信号発生手段は、上記第 1 の位相と上記第 2 の位相との差が設定された値に一致した後に、上記選択手段で選択した方の位相が上記設定手段で設定した値に達し、そこから所定距離離れた位置に再度現れる上記設定した値に上記位相の差が達したときに原点信号を発生する請求項 8記載の変位検出装置。

30

【請求項 10】

上記所定距離は、 $(2n + 1) / 2$ であり、

上記 n は、0 以上の整数であり、

上記 n は、上記選択手段で第 1 の位相差を選択した場合には、上記第 1 の領域に記録されている回折格子の間隔であり、上記選択手段で第 2 の位相差を選択した場合には、上記第 2 の領域に記録されている回折格子の間隔である請求項 9記載の変位検出装置。

【請求項 11】

上記スケールに形成されている第 1 の領域及び第 2 の領域に記録されている位置情報は、透過型又は反射型の回折格子からなり、

上記第 1 の読取手段は、第 1 の光源部と、上記第 1 の光源部からの光を 2 つに分割する第 1 の分割部と、分割された 2 つの光が上記回折格子により回折され、上記回折された 2 つの回折光どうしを重ね合わせ電気信号に変換する第 1 の光学系とを有し、

40

上記第 2 の読取手段は、第 2 の光源部と、上記第 2 の光源部からの光を 2 つに分割する第 2 の分割部と、分割された 2 つの光が上記回折格子により回折され、上記回折された 2 つの回折光どうしを重ね合わせ電気信号に変換する第 2 の光学系とを有する請求項 1記載の変位検出装置。

【請求項 12】

上記第 1 の読取手段は、分割された 2 つの光が上記回折格子により回折された回折光を再び上記回折格子に入射させる第 1 の反射部をさらに有し、

上記第 2 の読取手段は、分割された 2 つの光が上記回折格子により回折された回折光を

50

再び上記回折格子に入射させる第2の反射部をさらに有し、

上記第1の光学系は、上記回折格子で複数回回折された回折光を重ね合わせ、

上記第2の光学系は、上記回折格子で複数回回折された回折光を重ね合わせる請求項1記載の変位検出装置。

【請求項13】

上記第1の光源部及び上記第2の光源部の可干渉距離を200μm以内にす請求項1記載の変位検出装置。

【請求項14】

上記第1の光学系により2つの回折光どうしが干渉したときの変調度を検出する第1の変調度検出手段と、

上記第1の変調度検出手段の検出結果に基づいて光路長差の変化を監視する第1の監視手段と、

上記第2の光学系により2つの回折光どうしが干渉したときの変調度を検出する第2の変調度検出手段と、

上記第2の変調度検出手段の検出結果に基づいて光路長差の変化を監視する第2の監視手段とをさらに備える請求項1記載の変位検出装置。

【請求項15】

第1の領域を両側から挟むようにして第2の領域が形成されているスケール又は、垂直方向に第1の領域と第2の領域とが層状に重なって形成されているスケールにおいて、

上記第1の光学系により重ね合わせられる回折光の光路を、上記スケールが変位する方向に対して中心対称に配置す請求項1記載の変位検出装置。

【請求項16】

上記第1の光学系は、変調率が最大になるように調整する第1の調整部をさらに備え、

上記第2の光学系は、変調率が最大になるように調整する第2の調整部をさらに備える請求項1記載の変位検出装置。

【請求項17】

上記第1の光源部及び上記第2の光源部は、同一の光源部である請求項1記載の変位検出装置。

【請求項18】

第1の領域を両側から挟むように第2の領域が形成されているスケール又は、垂直方向に第1の領域と第2の領域とが層状に重なって形成されているスケールにおいて、

上記第1の光源部及び上記第2の光源部とは、1つの光源部により構成されており、第1の分割部及び第2の分割部とは、1つの分割部により構成されいる請求項1記載の変位検出装置。

【請求項19】

上記第1の光源部は、上記第1の分割部と光ファイバーで結線されており、上記光ファイバーを介して光を上記第1の分割部に入射し、

上記第1の分割部は、上記第1の光学系と光ファイバーで結線されており、上記光ファイバーを介して光が入射され、

上記第2の光源部は、上記第2の分割部と光ファイバーで結線されており、上記光ファイバーを介して光を上記第2の分割部に入射し、

上記第2の分割部は、上記第2の光学系と光ファイバーで結線されており、上記光ファイバーを介して光が入射される請求項1記載の変位検出装置。

【請求項20】

上記第1の光源部、上記第2の光源部、上記第1の光学系及び上記第2の光学系は、当該変位検出装置の外部に配設す請求項19記載の変位検出装置。

【請求項21】

上記第1の光源部は、上記第1の分割部と光ファイバーで結線されており、上記光ファイバーを介して光を上記第1の分割部に入射し、

上記第1の光学系の受光素子部は、該第1の光学系の他の構成要素と光ファイバーで結

10

20

30

40

50

線されており、上記光ファイバーを介して光が入射され、

上記第2の光源部は、上記第2の分割部と光ファイバーで結線されており、上記光ファイバーを介して光を上記第2の分割部に入射し、

上記第2の光学系の受光素子部は、該第2の光学系の他の構成要素と光ファイバーで結線されており、上記光ファイバーを介して光が入射される請求項1記載の変位検出装置。

【請求項22】

上記第1の光源部、上記第2の光源部、上記第1の光学系の受光素子部及び上記第2の光学系の受光素子部は、当該変位検出装置の外部に配設する請求項21記載の変位検出装置。

10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光の干渉を利用してスケールの変位（移動）量を検出するようにした変位検出装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来、移動するスケール上に記録されている回折格子の位置の変位を光の干渉を利用して検出するようにしたものに格子干渉計がある。以下に変位検出装置4について図5を用いて説明する。なお、図5は、透過型の回折格子を用いた変位検出装置4である。

20

【0003】

変位検出装置4は、図5に示すように、可干渉光源部90と、第1のレンズ91と、第1の偏光ビームスプリッタ（PBS, polarization beam splitter）92と、第1の1/4波長板93と、反射プリズム94と、第2の1/4波長板95と、第2のレンズ96と、ビームスプリッタ（BS, beam splitter）97と、第2のPBS98と、第1の光電変換器99と、第2の光電変換器100と、第3の1/4波長板101と、第3のPBS102と、第3の光電変換器103と、第4の光電変換器104と、第1の差動増幅器105と、第2の差動増幅器106と、インクリメンタル信号発生器107とを備え、スケール108上に記録された透過型の回折格子を読み取る。

【0004】

30

可干渉光源部90は、第1のレンズ91に光を出射する。第1のレンズ91は、入射した光を適当なビームに絞り、第1のPBS92に出射する。第1のPBS92は、入射された光を、S偏光成分を有する光とP偏光成分を有する光の2つの光に分割する。なお、S偏光成分を有する光は、第1のPBS92で反射され、P偏光成分を有する光は、第1のPBS92を透過する。なお、可干渉光源部90からの光が直線偏光の光であれば、偏光方向を45度傾けて第1のPBS92に入射させる。こうすることにより、S偏光成分の光とP偏光成分の光の強度を等しくすることができる。

【0005】

S偏光成分を有する光は、スケール108上に記録されている回折格子のP点に入射し、また、P偏光成分を有する光は、回折格子のQ点に入射し、以下の式で示される方向にそれぞれ回折される。

40

$$\sin \theta_1 + \sin \theta_2 = n \cdot \lambda / p$$

なお、 θ_1 は、スケール108への入射角を示し、 θ_2 は、スケール108からの回折角を示し、 p は、格子のピッチ（幅）を示し、 λ は、光の波長を示し、 n は、回折次数を示している。

【0006】

変位検出装置4では、P点への入射角を θ_{1p} とし、その回折角を θ_{2p} とし、Q点への入射角を θ_{1q} とし、その回折角を θ_{2q} とすると、 $\theta_{1p} = \theta_{2p} = \theta_{1q} = \theta_{2q}$ になるように調整している。また、回折次数は、P点及びQ点で同次数である。

【0007】

50

P点で回折された光は、第1の1/4波長板93を通過し、反射プリズム94で垂直に反射され、再びP点に戻り回折格子により回折される。このとき、第1の1/4波長板93の光学軸は、入射された光の偏光方向に対して45度傾けてあるので、P点に戻った光はP偏光成分の光となっている。

【0008】

また、Q点で回折された光も同様に、第2の1/4波長板95を通過し、反射プリズム94で垂直に反射され、再びQ点に戻り回折格子により回折される。このとき、第2の1/4波長板95の光学軸は、入射された光の偏光方向に対して45度傾けてあるので、Q点に戻った光はS偏光成分の光となっている。

【0009】

このようにP点及びQ点で再び回折された光は、第1のPBS92に戻る。P点から戻ってきた光は、P偏光成分を有しているため、第1のPBS92を通過し、また、Q点から戻ってきた光は、S偏光成分を有しているため、第1のPBS92で反射される。したがって、P点及びQ点から戻ってきた光は、第1のPBS92で重ね合わされて、第2のレンズ96に入射する。重ね合わされた光は、第2のレンズ96により適当なビームに絞られて、BS97に入射する。BS97は、入射された光を2つに分割し、一方の光を第2のPBS98に入射し、他方の光を第3の1/4波長板101に入射する。なお、第2のPBS98及び第3の1/4波長板101は、入射される光の偏光方向に対して45度にそれぞれ傾いている。

【0010】

第2のPBS98に入射された光は、S偏光成分を有する光とP偏光成分を有する光に分割され、S偏光成分を有する光を第1の光電変換器99に入射し、P偏光成分を有する光を第2の光電変換器100に入射する。また、第1の光電変換器99及び第2の光電変換器100では、 $\text{Ac} \cos(4Kx + \quad)$ の干渉信号が得られる。なお、Kは、 $2 / \quad$ を示し、xは、移動量を示し、 \quad は、初期位相を示している。また、第1の光電変換器99では、第2の光電変換器100と180度位相の異なる信号が得られる。

【0011】

また、第3の1/4波長板101に入射された光は、P偏光成分を有する光とS偏光成分を有する光とが互いに逆回りの円偏光となり、重ね合わされて直線偏光となり、第3のPBS102に入射する。第3のPBS102に入射された光は、S偏光成分を有する光とP偏光成分を有する光に分割され、S偏光成分を有する光を第3の光電変換器103に入射し、P偏光成分を有する光を第4の光電変換器104に入射する。なお、第3のPBS102に入射される直線偏光の偏光方向は、回折格子がx方向に $\quad / 2$ だけ移動すると1回転する。したがって、第3の光電変換器103及び第4の光電変換器104は、第1の光電変換器99及び第2の光電変換器100と同様に $\text{Ac} \cos(4Kx + \quad)$ の干渉信号を得ることができる。

【0012】

また、第3の光電変換器103では、第4の光電変換器104と180度位相が異なる信号が得られる。なお、第3のPBS102は、第2のPBS98に対して45度傾けてある。したがって、第3の光電変換器103及び第4の光電変換器104で得られる信号は、第1の光電変換器99及び第2の光電変換器100で得られる信号に対して90度位相が異なっている。

【0013】

第1の差動増幅器105は、第1の光電変換器99及び第2の光電変換器100から入力される電気信号を差動増幅し、干渉信号のDC(直流)成分をキャンセルした信号をインクリメンタル信号発生器106に出力する。また、第2の差動増幅器106も同様に、第3の光電変換器103及び第4の光電変換器104から入力される電気信号を差動増幅し、干渉信号のDC(直流)成分をキャンセルした信号をインクリメンタル信号発生器107に出力する。

【0014】

10

20

30

40

50

このように構成されている変位検出装置 4 では、図 5 に示す垂線 A に対して、対称な光学系になっているため、回折格子が Y 方向に移動しても位置計測の誤差を生じない特徴がある。また、P 点に入射する光路と Q 点に入射する光路とを等しくすると、光源の波長の影響を受けにくくすることができる。

【 0 0 1 5 】

【特許文献 1】

特公平 2 - 3 5 2 4 8 号公報

【 0 0 1 6 】

【発明が解決しようとする課題】

このような変位検出装置 4 は、集積回路を製造するための X 線露光描画装置や、精密機械工作に利用される。このとき、正確な位置又は距離を測定するために、インクリメンタル信号とは別に、基準点又は原点が設定される必要がある。上記変位検出装置 4 では、インクリメンタル信号を検出するスケール 1 0 8 と、原点信号を検出するスケール 1 0 8 とが別のトラックに形成されており、それぞれに対して読み取り機構を備えている。このため、アップ誤差及び温度ドリフトによる誤差の影響を受け、精密な原点検出が困難で、特に、ナノメートル (nm) オーダーの安定した原点の繰返し精度を得ることが困難であった。

【 0 0 1 7 】

そこで、本発明では、上述したような実情に鑑みて提案されたものであり、インクリメンタル信号と、ナノメートルオーダーで安定した原点信号を発生することが可能な変位検出装置を提供することを目的とする。

【 0 0 1 8 】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る変位検出装置は、上述の課題を解決するために、所定の間隔で位置情報が記録されている第 1 の領域と、上記第 1 の領域とは異なる間隔で位置情報が記録されている第 2 の領域とが形成されている移動可能なスケールと、上記第 1 の領域に記録されている位置情報を読み取る第 1 の読取手段と、上記第 1 の読取手段により読み出した位置情報に基づいたインクリメンタル信号を発生することにより、該インクリメンタル信号で示される変位量を出力するインクリメンタル信号発生手段と、上記第 1 の読取手段により読み出した位置情報に基づき第 1 の位相を検出する第 1 の位相検出手段と、上記第 2 の領域に記録されている位置情報を読み取る第 2 の読取手段と、上記第 2 の読取手段により読み出した位置情報に基づき第 2 の位相を検出する第 2 の位相検出手段と、上記第 1 の位相と上記第 2 の位相とを比較する位相比較手段と、上記位相比較手段の比較結果に応じて、原点信号を発生する原点信号発生手段を備え、上記第 1 の領域と上記第 2 の領域は、同一の測定方向に等量分変位するように上記スケール上に形成され、上記第 1 の読取手段により読み取られる上記第 1 の領域に記録されている位置情報の読み取り位置と、上記第 2 の読取手段により読み取られる上記第 2 の領域に記録されている位置情報の読み取り位置とが測定方向に対してインライン上に並んでいる。

【 0 0 1 9 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

【 0 0 2 0 】

本発明は、例えば図 1 に示すような変位検出装置 1 に適用される。変位検出装置 1 は、第 1 の光学系 1 0 と、第 2 の光学系 1 1 と、スケール 1 2 と、インクリメンタル信号発生器 1 3 と、第 1 の位相検出器 1 4 と、第 2 の位相検出器 1 5 と、位相比較器 1 6 と、パルス信号発生器 1 7 とを備える。

【 0 0 2 1 】

第 1 の光学系 1 0 は、図 1 に示すように、可干渉光源部 2 0 と、第 1 のレンズ 2 1 と、第 1 の偏光ビームスプリッタ (PBS, polarization beam splitter) 2 2 と、第 1 の 1 / 4 波長板 2 3 と、反射プリズム 2 4 と、第 2 の 1 / 4 波長板 2 5 と、第 2 のレンズ 2 6 と、

10

20

30

40

50

ビームスプリッタ (BS, beam splitter) 27 と、第2のPBS 28 と、第1の光電変換器 29 と、第2の光電変換器 30 と、第3の1/4波長板 31 と、第3のPBS 32 と、第3の光電変換器 33 と、第4の光電変換器 34 と、第1の差動増幅器 35 と、第2の差動増幅器 36 とを備え、スケール 12 上に記録された回折格子を読み取り、読み取った結果を、インクリメンタル信号発生器 13 及び第1の位相検出器 14 に出力する。

【0022】

ここで、スケール 12 について説明する。スケール 12 は、測定方向に対して一方の側に、ピッチ間隔が d で回折格子が記録されている第1の領域 12a が形成されており、他方の側に、ピッチ間隔が $d + \lambda/n$ (n は 0 以外の実数) で回折格子が記録されている第2の領域 12b が形成されている。例えば、 d は、 $0.55 \mu\text{m}$ である。また、スケール 12 10
12 では、第1の領域 12a への光の入射点 (P 点、Q 点) と、第2の領域 12b への光の入射点 (R 点、S 点) は、計測方向にインラインに並んでいる。なお、第1の領域 12a と第2の領域 12b は、同一のスケール上に形成されていても良いし、別々のスケール上に形成されていても良い。別々のスケール上に形成される場合には、各スケールは、同じ基台の上に固定され、同一の変位方向に等量分変位するように形成する。

【0023】

可干渉光源部 20 は、第1のレンズ 21 に光を出射する。第1のレンズ 21 は、入射した光を適度に絞り、第1のPBS 22 に出射する。第1のPBS 22 は、入射された光をS偏光成分を有する光とP偏光成分を有する光の2つに分割する。第1のPBS 22 は、スケール 12 の第1の領域 12a のP点までの光路とQ点までの光路が中心対称となるよう
20
に、S偏光成分を有する光をP点に入射し、P偏光成分を有する光をQ点に入射する。なお、可干渉光源部 20 からの光が直線偏光の光であれば、偏光方向を45度傾けて第1のPBS 22 に入射させる。こうすることにより、S偏光成分の光とP偏光成分の光の強度を等しくすることができる。

【0024】

また、P点及びQ点に入射した光は、回折格子により以下の式で示される方向にそれぞれ回折される。

$$\sin \theta_1 + \sin \theta_2 = n \cdot \lambda / d$$

なお、 θ_1 は、スケール 12 への入射角を示し、 θ_2 は、スケール 12 からの回折角を示し、 d は、格子のピッチ (幅) を示し、 λ は、光の波長を示し、 n は、回折次数を示して
30
いる。

【0025】

変位検出装置 1 では、P点への入射角を θ_{1p} とし、その回折角を θ_{2p} とし、Q点への入射角を θ_{1q} とし、その回折角を θ_{2q} とすると、 $\theta_{1p} = \theta_{1q}$ 、 $\theta_{2p} = \theta_{2q}$ になるように調整している。また、回折次数は、P点及びQ点で同次数とし、変位検出装置 1 では、回折次数は1次とする。

【0026】

P点で回折された光は、第1の1/4波長板 23 を通過し、反射プリズム 24 で垂直に反射され、再びP点に戻り回折格子により回折される。このとき、第1の1/4波長板 23 の光学軸は、入射された光の偏光方向に対して45度傾けてあるので、P点に戻った光は
40
P偏光成分の光となっている。

【0027】

また、Q点で回折された光も同様に、第2の1/4波長板 25 を通過し、反射プリズム 24 で垂直に反射され、再びQ点に戻り回折格子により回折される。このとき、第2の1/4波長板 25 の光学軸は、入射された光の偏光方向に対して45度傾けてあるので、Q点に戻った光はS偏光成分の光となっている。

【0028】

このようにP点及びQ点で再び回折された光は、第1のPBS 22 に戻る。

【0029】

P点から戻ってきた光は、P偏光成分を有しているので、第1のPBS 22 を通過し、ま
50

た、Q点から戻ってきた光は、S偏光成分を有しているため、第1のPBS22で反射される。したがって、P点及びQ点から戻ってきた光は、第1のPBS22で重ね合わされて、第2のレンズ26に入射する。

【0030】

ここで、第1のPBS22からP点を経て第1の1/4波長板23までの光路長と、第1のPBS22からQ点を経て第2の1/4波長板25までの光路長の関係について述べる。なお、変位検出装置1では、第1のPBS22からP点を経て第1の1/4波長板23までの光路と、第1のPBS22からQ点を経て第2の1/4波長板25までの光路とは、中心対称となっている。

【0031】

また、本実施例では、光源の波長の変動による誤差を生じさせないために、第1のPBS22で分割されたS偏光成分を有する光がP点を経て第1の1/4波長板23に達するまでの光路長と、第1のPBS22で分割されたP偏光成分を有する光がQ点を経て第2の1/4波長板25に達するまでの光路長とを等しく調整している。この調整の精度は、必要な測長精度と当該検出装置1が用いられる環境の温度条件に依存する。必要な測長精度をEとし、スケールのピッチをとし、光源の波長をとし、温度変化による波長の変化量をとすると光路長差Lは以下の式を満足している必要がある。

$$E > \frac{\lambda}{2} \times \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \times L \times \frac{1}{4}$$

例えば、使用される環境の温度変化量を10とすると、一般的に使用されている波長780nmの半導体レーザの波長変動は、約3nmなので、 $\frac{\Delta \lambda}{\lambda} = 0.55 \mu\text{m}$ とし、 $E = 0.1 \mu\text{m}$ とすると $L < 74 \mu\text{m}$ にする必要がある。このLを調整するためには適当な可干渉距離を有する光源を使用すればよい。

【0032】

一般に、干渉計における干渉縞の変調度を表すビジビリティは、光源の干渉性と、干渉する2つの光の光路長の差とによって決定される。シングルモード発振を行なっているレーザ等の干渉性の良い光源においては、光路長の差が大きくてもビジビリティが失われることはない。これに対して、干渉性の悪い光源においては、光路長の差の変化によって干渉縞のビジビリティが変化することが知られている。

【0033】

このような光源を用いれば、光路長の差が生じたときに干渉信号の変調度(ビジビリティ)の低下としてこれを検出することができるので、干渉信号の変調度が最大になるように調整することにより光路長を等しくすることができる。例えば、可干渉距離が200μm程度の発振波長がマルチモードの半導体レーザを用いれば光路長差を $L < 74 \mu\text{m}$ に容易にあわせることができる。

【0034】

また、可干渉光源20としては、調整を行なうときのみ上記のように可干渉距離の制限された光源を用いるようにし、調整後に別のより安価な可干渉距離の長い光源(例えば、発振波長がシングルモードの一般的な半導体レーザ)に置き換えても良い。

【0035】

第2のレンズ26は、入力された光を適度に絞り、BS27に入射する。BS27は、入射された光を2つに分割し、一方の光を第2のPBS28に入射し、他方の光を第3の1/4波長板31に入射する。なお、第2のPBS28及び第3の1/4波長板31は、入射される光の偏光方向に対して45度にそれぞれ傾いている。

【0036】

第2のPBS28に入射された光は、S偏光成分を有する光とP偏光成分を有する光に分割され、S偏光成分を有する光を第1の光電変換器29に入射し、P偏光成分を有する光を第2の光電変換器30に入射する。また、第1の光電変換器29及び第2の光電変換器30では、 $\cos(4Kx + \phi)$ の干渉信号が得られる。なお、Kは、 $2\pi/\lambda$ を示し、xは、移動量を示し、 ϕ は、初期位相を示している。また、第1の光電変換器29では、第2の光電変換器30と180度位相の異なる信号が得られる。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 7 】

また、第3の1/4波長板31に入射された光は、P偏光成分を有する光とS偏光成分を有する光とが互いに逆回りの円偏光となり、重ね合わされて直線偏光となり、第3のPBS32に入射する。第3のPBS32に入射された光は、S偏光成分を有する光とP偏光成分を有する光に分割され、S偏光成分を有する光を第3の光電変換器33に入射し、P偏光成分を有する光を第4の光電変換器34に入射する。なお、第3のPBS32に入射される直線偏光の偏光方向は、回折格子がx方向に $\lambda/2$ だけ移動すると1回転する。したがって、第3の光電変換器33及び第4の光電変換器34は、第1の光電変換器29及び第2の光電変換器30と同様に $\cos(4Kx + \pi)$ の干渉信号を得ることができる。

10

【 0 0 3 8 】

また、第3の光電変換器33では、第4の光電変換器34と180度位相が異なる信号が得られる。なお、第3のPBS32は、第2のPBS28に対して45度傾けてある。したがって、第3の光電変換器33及び第4の光電変換器34で得られる信号は、第1の光電変換器29及び第2の光電変換器30で得られる信号に対して90度位相が異なっている。

【 0 0 3 9 】

第1の差動増幅器35は、第1の光電変換器29及び第2の光電変換器30から入力される電気信号を差動増幅し、干渉信号のDC(直流)成分をキャンセルした信号をインクリメンタル信号発生器13及び第1の位相検出器14に出力する。また、第2の差動増幅器36も同様に、第3の光電変換器33及び第4の光電変換器34から入力される電気信号を差動増幅し、干渉信号のDC(直流)成分をキャンセルした信号をインクリメンタル信号発生器13及び第1の位相検出器14に出力する。

20

【 0 0 4 0 】

インクリメンタル信号発生器13は、第1の差動増幅器35及び第2の差動増幅器36から供給された信号に基づき、スケールの変位方向及び変位量を求め、インクリメンタル信号を発生する。第1の位相検出器14は、第1の差動増幅器35及び第2の差動増幅器36から供給される信号に基づき、図2に示すようなりサージュ信号の角度 θ_a を求める。第1の位相検出器14は、求めた角度 θ_a を位相比較器16に供給する。

30

【 0 0 4 1 】

また、第2の光学系11は、図1に示すように、可干渉光源部40と、第1のレンズ41と、第1の偏光ビームスプリッタ(PBS, polarization beam splitter)42と、第1の1/4波長板43と、反射プリズム44と、第2の1/4波長板45と、第2のレンズ46と、ビームスプリッタ(BS, beam splitter)47と、第2のPBS48と、第1の光電変換器49と、第2の光電変換器50と、第3の1/4波長板51と、第3のPBS52と、第3の光電変換器53と、第4の光電変換器54と、第1の差動増幅器55と、第2の差動増幅器56とを備え、スケール12上に記録された回折格子を読み取り、読み取った結果を第2の位相検出器15に出力する。また、第2の光学系11の動作は、上述した第1の光学系10と同様である。

40

【 0 0 4 2 】

第2の位相検出器15は、第1の位相検出器14と同様に、第1の差動増幅器55及び第2の差動増幅器56から供給される信号に基づき、リサージュ信号の角度 θ_b を求める。第2の位相検出器15は、求めた角度 θ_b を位相比較器16に出力する。

【 0 0 4 3 】

ここで、位相比較器16の動作について説明する。第1の位相検出器14では、スケール12が所定の計測方向に $\lambda/4$ だけ変位すると、リサージュ信号の角度 θ_a が一回転する。また、第2の位相検出器15では、スケール12が所定の計測方向に $(\lambda + \lambda/n)/4$ だけ変位すると、リサージュ信号の角度 θ_b が一回転する。

【 0 0 4 4 】

位相比較器16は、第1の位相検出器14から入力したリサージュ信号の角度 θ_a と、第

50

2の位相検出器15から入力したリサージュ信号の角度 θ_b との差分 $(\theta_a - \theta_b)$ を求める。この差分 θ は、スケール12の変位に応じて変化し、スケール12が所定の測定方向に $(1+n)/4$ だけ変位するともとの値と同じになる。

【0045】

位相比較器16は、差分 θ をパルス信号発生器17に出力する。パルス信号発生器17は、位相比較器16から入力した差分 θ が所定の値 θ_c のときに、パルス信号を出力する。例えば、差分 θ が、スケール12の所定の測定方向に $(1+n)/4$ ごとにもとの値と同じになるのであれば、パルス信号発生器17は、 $(1+n)/4$ ごとにパルス信号を発生する。

【0046】

また、パルス信号発生器17は、上記の値 θ_c (以下、設定値という。)を任意に設定することができる。パルス信号発生器17は、例えば、設定値を検出が容易な0度に設定すると、位相比較器16から入力された差分 θ が0度のときにパルス信号を発生する。

【0047】

また、パルス信号発生器17は、第1の光学系10及び第2の光学系11の間隔と、スケール12の第1の領域12a及び第2の領域12bの間隔が変化しなければ、所定間隔ごとにパルス信号を発生するので、このパルス信号を原点信号として利用することが可能である。また、この原点信号の発生間隔は、第1の領域12aに記録されている回折格子の格子ピッチと、第2の領域12bに記録されている格子ピッチとの差分 d/n に応じて任意に設定することが可能である。

【0048】

ここで、パルス信号発生器17が発生するパルス信号の分解能について述べる。パルス信号を原点信号に利用する場合には、周期が長いほど良いので、 n が大きいほど良い。

【0049】

しかし、2つの位相差が一致したところからリサージュが一周回った点では、位相差が $d/4n$ しか現れないので、一致したということがこの $d/4n$ よりも精度良く検出することができないと、位置を $d/4$ だけ間違えてしまうことになる。2つの位相差をどのくらい分解能が良く検出できるかは、2つの位相差を読み出す精度と S/N によるため、結果として、これが n の大きさを制限してしまう。

【0050】

例えば、変位検出装置1では格子ピッチを $0.55\mu\text{m}$ とし、 n を100とすると繰り返し原点は、約 $13.9\mu\text{m}$ ごとに1回現れる。このとき必要な分解能は、分解能を $d/4n$ としたときに最低でも $n=200\sim 400$ が必要で、分解能は高ければ高いほど良い。例えば、 $n=100$ の場合には、 $d/4$ 位置が変化しても位相差は $2\pi/100$ にしかならないため、位相差が分解能の幅に入る距離は $d/4$ の幅になる。この幅を狭めるためには、分解能を上げることになり、 $n=1000$ の場合には、 $d/(4\times 10)$ の幅となる。

【0051】

しかしながら、 S/N の問題があるために分解能を上げることは簡単ではない。そのため位相差の一致を検出する信号をゲートとして信号の1波長 $(d/4)$ を選択し、その中の $d/4$ の決められた一方の信号の位相が特定位相になったときに原点信号を発生ようにすることは有効である。これにより原点の精度と分解能が位相差検出分解能まで上げることができる。なお、本発明に係る実施の形態では、原点の精度を $0.3\text{nm}\sim 0.7\text{nm}$ 程度まで上げることができる。

【0052】

また、パルス信号発生器17は、当該変位検出装置1が測定対象の装置に取り付けられた後に、ユーザーにより設定値を変更できるようにしても良い。なお、この場合には、初期設定では、設定値を適当な値にしておき、ユーザーからの問い合わせに応じて上記設定値を変更するプログラムを配布する。

【0053】

10

20

30

40

50

また、パルス信号発生器 17 は、位相比較器 16 から入力された差分 が設定値になった回数を数え、上記回数が所定の値に達したときにパルス信号を発生するようにしても良い。

【0054】

また、パルス信号発生器 17 は、差分 が設定値に達した後に、第 1 の位相検出器 14 で生成されるリサージュ信号の角度 θ_a (以下、角度 θ_a という。)又は第 2 の位相検出器 15 で生成されるリサージュ信号の角度 θ_b (以下、角度 θ_b という。)が任意の角度 θ_n に達したときに原点信号を発生するようにしても良い。また、パルス信号発生器 17 は、差分 が設定値に達した後に、任意の角度 θ_n に角度 θ_a 又は角度 θ_b が達し、そこから所定距離離れた位置に再び現れる任意の角度 θ_n に角度 θ_a 又は角度 θ_b が達したときに原点信号を発生するようにしても良い。なお、上記所定距離は、 $(2n+1) \cdot \lambda / 2$ であり、 n は、0 以上の整数であり、 λ は、パルス信号発生器 17 がスケール 12 の第 1 の領域 12a を原点信号の発生に利用する場合には、第 1 の領域 12a に記録されている回折格子のピッチ間隔であり、パルス信号発生器 17 がスケール 12 の第 2 の領域 12b を原点信号の発生に利用する場合には、第 2 の領域 12b に記録されている回折格子のピッチ間隔である。

10

【0055】

なお、パルス信号発生器 17 は、当該変位検出装置 1 が測定対象の装置に取り付けられた後に、ユーザーにより角度 θ_n を変更できるようにしても良い。この場合には、初期設定では、角度 θ_n を適当な値にしておき、ユーザーからの問い合わせに応じて上記角度 θ_n を変更するプログラムを配布する。

20

【0056】

このように構成された変位検出装置 1 は、測定方向に対して一方の側に、ピッチ間隔が λ / n で回折格子が記録されている第 1 の領域 12a と、他方の側にピッチ間隔が λ / n で回折格子が記録されている第 2 の領域 12b とが形成されているスケール 12 に、入射光の回折点が入ラインに並ぶように、第 1 の光学系 10 及び第 2 の光学系 11 で光を中心対称に入射し、回折格子により回折された光を干渉し、第 1 の位相検出器 14 及び第 2 の位相検出器 15 で上記干渉光からそれぞれ位相差を検出し、位相比較器 16 で上記位相差の差分を検出し、パルス発生器 17 で上記差分が所定の値となったときにパルスを発生するので、アップ誤差の影響を受けることなく、インクリメンタル信号発生器 13 によりインクリメンタル信号を検出すると同時にパルス信号発生器 17 により正確な原点信号を発生することが可能である。

30

【0057】

また、変位検出装置 1 では、光路を中心対称にする第 1 の光学系 10 及び第 2 の光学系 11 を用い、さらに干渉させる光の光路差を等しくしているため、スケール 12 が Y 方向に移動しても、また、外部の気温による光源の波長が変動しても走行誤差を生じないため、安定した原点信号を得ることが可能である。

【0058】

また、変位検出装置 1 は、格子干渉計である第 1 の光学系 10 及び第 2 の光学系 11 を用いているので、スケール 12 を形成している第 1 の領域 12a と第 2 領域 12b に記録されている回折格子の格子ピッチを小さくすることができ、例えば、格子ピッチを $0.55 \mu\text{m}$ とすると、位相を検出するための信号は $0.1379 \dots \mu\text{m}$ (138 nm) の周期の信号となり、高い精度での位相差検出ができ、ナノメートルオーダーで原点信号を得ることができる。

40

【0059】

また、第 1 の光学系 10 の可干渉光源部 20 と第 1 のレンズ 21 との間と、第 2 のレンズ 26 と BS 27 との間と、第 2 の光学系 11 の可干渉光源部 40 と第 1 のレンズ 41 との間と、第 2 のレンズ 46 と BS 47 との間を光ファイバーで結線しても良い。

【0060】

また、第 2 のレンズ 26 と BS 27 との間と、第 2 のレンズ 46 と BS 47 との間を光フ

50

ファイバーで結線する代わりに、第2のPBS28と第1の光電変換器29との間と、第2のPBS28と第2の光電変換器30との間と、第3のPBS32と第3の光電変換器33との間と、第3のPBS32と第4の光電変換器34との間と、第2のPBS48と第1の光電変換器49との間と、第2のPBS48と第2の光電変換器50との間と、第3のPBS52と第3の光電変換器53との間と、第3のPBS52と第4の光電変換器54との間とを光ファイバーで結線しても良い。

【0061】

なお、第2のPBS28から出力された光を集光して光ファイバーに入力するために、集光レンズを第1の光電変換器29との間及び第2の光電変換器30との間に配設し、第3のPBS32から出力された光を集光して光ファイバーに入力するために、集光レンズを第3の光電変換器33との間及び第4の光電変換器34との間に配設し、第2のPBS48から出力された光を集光して光ファイバーに入力するために、集光レンズを第1の光電変換器49との間及び第2の光電変換器50との間に配設し、第3のPBS52から出力された光を集光して光ファイバーに入力するために、集光レンズを第3の光電変換器53との間及び第4の光電変換器54との間に配設しても良い。

10

【0062】

このような構成にすることにより、変位検出装置1は、熱源をスケール12から遠ざけることができるので、より安定した位相検出を行なうことができ、また、可干渉光源部20及び可干渉光源部40が出射する光の波長を温度制御することにより、一定波長に固定することができる。さらに、可干渉光源部20及び可干渉光源部40を当該変位検出装置1の外部に配設しておけば、可干渉光源部20及び可干渉光源部40が故障した場合にも容易に交換作業を行なうことができる。

20

【0063】

なお、変位検出装置1では、第1の光学系10及び第2の光学系11で干渉光どうしを干渉したときの変調度を検出し、上記検出結果に基づいて光路長の差を監視するようにしても良い。監視の結果、光路長に差が生じているときには、光路長を等しくするように調整する。

【0064】

また、本発明は、例えば、図3に示すような変位検出装置2に適用される。なお、変位検出装置2では、上述した変位検出装置1の形態と同一の部分は同一符号を付することによりその詳細な説明を省略する。

30

【0065】

変位検出装置2は、検出光学系で光源と光の分岐部を共用したものである。変位検出装置2は、可干渉光源部60と、レンズ61と、ビームスプリッタ(BS)62と、第1の全反射ミラー63と、偏光ビームスプリッタ(PBS)64と、反射部65と、第2の全反射ミラー66と、第3の全反射ミラー67と、第1の光学系68と、第2の光学系69と、スケール70と、インクリメンタル信号発生器13と、第1の位相検出器14と、第2の位相検出器15と、位相比較器16と、パルス信号発生器17とを備える。反射部65は、第1の1/4波長板71と、第2の1/4波長板72と、第1の反射プリズム73と、第3の1/4波長板74と、第4の1/4波長板75と、第2の反射プリズム76とを備える。

40

【0066】

スケール70は、ピッチ間隔が λ で回折格子が記録されている第1の領域70aを両側から挟むように、ピッチ間隔が $\lambda + \lambda/n$ (n は0以外の実数)で回折格子が記録されている第2の領域70bが形成されている。例えば、 λ は、 $0.55\mu\text{m}$ である。また、スケール70では、第1の領域70aへの光の入射点(P点、Q点)と、第2の領域70bへの光の入射点(R点、S点)は、計測方向にインラインに並んでいる。なお、第1の領域70aと第2の領域70bは、同一のスケール上に形成されていても良いし、別々のスケール上に形成されていても良い。別々のスケール上に形成される場合には、各スケールは、同じ基台の上に固定され、同一の変位方向に等量分変位するように形成する。

50

【0067】

また、変位検出装置2では、P点への入射角を θ_{1p} とし、その回折角を θ_{2p} とし、Q点への入射角を θ_{1q} とし、その回折角を θ_{2q} とすると、 $\theta_{1p} = \theta_{1q}$ 、 $\theta_{2p} = \theta_{2q}$ になるように調整している。また、R点への入射角を θ_{1r} とし、その回折角を θ_{2r} とし、S点への入射角を θ_{1s} とし、その回折角を θ_{2s} とすると、 $\theta_{1r} = \theta_{1s}$ 、 $\theta_{2r} = \theta_{2s}$ になるように調整している。さらに、回折次数は、P点、Q点、R点及びS点で同次数とし、変位検出装置2で使用する回折次数は1次とする。

【0068】

可干渉光源部60は、レンズ61に光を出射する。レンズ61は、入射した光を適度に絞り、BS62に出射する。BS62は、入射された光を2つに分割し、分割した一方の光を第1の全反射ミラー63に出射し、分割した他方の光をPBS64に出射する。

10

【0069】

PBS64は、入射された光をS偏光成分を有する光とP偏光成分を有する光の2つに分割する。PBS64は、スケール70の第1の領域70aのP点までの光路とQ点までの光路が中心対称となるように、S偏光成分を有する光をP点に入射し、P偏光成分を有する光をQ点に入射する。なお、可干渉光源部60からの光が直線偏光の光であれば、偏光方向を45度傾けてPBS64に入射させる。こうすることにより、S偏光成分の光とP偏光成分の光の強度を等しくすることができる。

【0070】

また、P点及びQ点に入射した光は、回折格子により以下の式で示される方向にそれぞれ回折される。

20

$$\sin \theta_1 + \sin \theta_2 = n \cdot \lambda / p$$

なお、 θ_1 は、スケール70への入射角を示し、 θ_2 は、スケール70からの回折角を示し、 p は、格子のピッチ(幅)を示し、 λ は、光の波長を示し、 n は、回折次数を示している。

【0071】

P点で回折された光は、第1の1/4波長板71を通過し、第1の反射プリズム73で垂直に反射され、再びP点に戻り回折格子により回折される。このとき、第1の1/4波長板71の光学軸は、入射された光の偏光方向に対して45度傾けてあるので、P点に戻った光はP偏光成分の光となっている。

30

【0072】

また、Q点で回折された光も同様に、第2の1/4波長板72を通過し、第1の反射プリズム73で垂直に反射され、再びQ点に戻り回折格子により回折される。このとき、第2の1/4波長板72の光学軸は、入射された光の偏光方向に対して45度傾けてあるので、Q点に戻った光はS偏光成分の光となっている。

【0073】

このようにP点及びQ点で再び回折された光は、PBS64に戻る。P点から戻ってきた光は、P偏光成分を有しているので、PBS64を通過し、また、Q点から戻ってきた光は、S偏光成分を有しているので、PBS64で反射される。したがって、P点及びQ点から戻ってきた光は、PBS64で重ね合わされて、第2の全反射ミラー66及び第3の全反射ミラー67を経て、第1の光学系68に入射する。

40

【0074】

第1の光学系68は、変位検出装置1に備えられている第1の光学系10から可干渉光源部20と、第1のレンズ21と、第1のPBS22とを除いた構成となっており、その他の構成及び動作は第1の光学系10と同様である。

【0075】

一方、BS62を透過した光は、第1の全反射ミラー63で反射され、PBS64に入射する。

【0076】

PBS64は、入射された光をS偏光成分を有する光とP偏光成分を有する光の2つに分

50

割しする。PBS64は、スケール70の第2の領域70bのR点までの光路とS点までの光路が中心対称となるように、S偏光成分を有する光をR点に入射し、P偏光成分を有する光をS点に入射する。なお、可干渉光源部60からの光が直線偏光の光であれば、偏光方向を45度傾けてPBS64に入射させる。こうすることにより、S偏光成分の光とP偏光成分の光の強度を等しくすることができる。

【0077】

また、R点及びS点に入射した光は、回折格子により以下の式で示される方向にそれぞれ回折される。

$$\sin \theta_1 + \sin \theta_2 = n \cdot \lambda / p$$

なお、 θ_1 は、スケール70への入射角を示し、 θ_2 は、スケール70からの回折角を示し、 p は、格子のピッチ(幅)を示し、 λ は、光の波長を示し、 n は、回折次数を示している。

10

【0078】

R点で回折された光は、第3の1/4波長板74を通過し、第2の反射プリズム76で垂直に反射され、再びR点に戻り回折格子により回折される。このとき、第3の1/4波長板74の光学軸は、入射された光の偏光方向に対して45度傾けてあるので、R点に戻った光はP偏光成分の光となっている。

【0079】

また、S点で回折された光も同様に、第4の1/4波長板75を通過し、第2の反射プリズム76で垂直に反射され、再びS点に戻り回折格子により回折される。このとき、第4の1/4波長板75の光学軸は、入射された光の偏光方向に対して45度傾けてあるので、S点に戻った光はS偏光成分の光となっている。

20

【0080】

このようにR点及びS点で再び回折された光は、PBS64に戻る。R点から戻ってきた光は、P偏光成分を有しているので、PBS64を通過し、また、S点から戻ってきた光は、S偏光成分を有しているので、PBS64で反射される。したがって、R点及びS点から戻ってきた光は、PBS64で重ね合わされて、第2の光学系69に入射する。

【0081】

第2の光学系69は、変位検出装置1に備えられている第2の光学系11から可干渉光源部40と、第1のレンズ41と、第1のPBS42とを除いた構成となっており、その他の構成及び動作は第2の光学系12と同様である。

30

【0082】

また、インクリメンタル信号発生器13、第1の位相検出器14、第2の位相検出器15、位相比較器16及びパルス信号発生器17の構成及び動作は、変位検出装置1と同様であるため、パルス信号発生器17は、例えば、 $(1+n)/4$ ごとにパルス信号を発生し、このパルス信号を原点信号として利用することが可能である。

【0083】

また、この原点信号の発生間隔は、第1の領域70aに記録されている回折格子の格子ピッチと、第2の領域70bに記録されている格子ピッチとの差分 λ/n に応じて任意に設定することが可能である。

40

【0084】

このように構成された変位検出装置2は、可干渉光源部60から出射した光をPBS64で分割し、分割した光を中心対称になるように、垂直方向にピッチ間隔が λ で回折格子が記録されている第1の領域70aと、ピッチ間隔が $\lambda + \lambda/n$ (n は0以外の実数)で回折格子が記録されている第2の領域70bとが形成されているスケール70に照射し、インラインに並んだ回折点で回折された光を第1の光学系68及び第2の光学系69で干渉し、第1の位相検出器14及び第2の位相検出器15で上記干渉光からそれぞれ位相差を検出し、位相比較器16で上記位相差の差分を検出し、パルス発生器17で上記差分が所定の値となったときにパルスを発生するので、アップ誤差の影響を受けることなく、インクリメンタル信号発生器13によりインクリメンタル信号を検出すると同時にパルス信号発

50

生器 17 により正確な原点信号を発生することができる。

【0085】

また、変位検出装置 2 は、スケール 70 の第 1 の領域 70 a の P 点を通る光路と、Q 点を通る光路とが垂線 A に対して対称となっており、かつ、第 2 の領域 70 b の R 点を通る光路と、S 点を通る光路とが垂線 A に対して対称となっているので、スケール 70 が Y 方向に移動しても走行誤差を生じないため、安定した原点信号を得ることができる。また、変位検出装置 2 は、スケール 70 の第 1 の領域 70 a の P 点に入射する光路長と、Q 点に入射する光路長とが等しくなるように調整し、かつ、第 2 の領域 70 b の R 点に入射する光路長と、S 点に入射する光路長とが等しくなるように調整するので、外部の気温により光源の波長が変動しても走行誤差を生じないため、安定した原点信号を得ることが可能である。

10

【0086】

また、変位検出装置 2 は、格子干渉計である第 1 の光学系 68 及び第 2 の光学系 69 を用いているので、スケール 70 を形成している第 1 の領域 70 a と第 2 領域 70 b に記録されている回折格子の格子ピッチを小さくすることができ、例えば、格子ピッチを $0.55 \mu\text{m}$ とすると、位相を検出するための信号は $0.1379 \dots \mu\text{m}$ (138 nm) の周期の信号となり、高い精度での位相差検出ができ、ナノメートルオーダーで原点信号を得ることができる。

【0087】

また、変位検出装置 2 は、第 1 の光学系 68 及び第 2 の光学系 69 で、可干渉光源部 60 及び P B S 64 を共用しているため、経時変化や外部の気温の変化により可干渉光源部 60 から出射される光が変動しても、光路の対称性に影響がないため、安定した原点信号を得ることが可能である。さらに、変位検出装置 2 は、スケール 70 がアジマス方向に回転した場合も C O S エラーに起因する原点位置のドリフトが生じない利点がある。

20

【0088】

また、可干渉光源部 60 とレンズ 61 との間と、第 2 のレンズ 26 と B S 27 との間と、第 2 のレンズ 46 と B S 47 との間を光ファイバーで結線しても良い。

【0089】

また、第 2 のレンズ 26 と B S 27 との間と、第 2 のレンズ 46 と B S 47 との間を光ファイバーで結線する代わりに、第 2 の P B S 28 と第 1 の光電変換器 29 との間と、第 2 の P B S 28 と第 2 の光電変換器 30 との間と、第 3 の P B S 32 と第 3 の光電変換器 33 との間と、第 3 の P B S 32 と第 4 の光電変換器 34 との間と、第 2 の P B S 48 と第 1 の光電変換器 49 との間と、第 2 の P B S 48 と第 2 の光電変換器 50 との間と、第 3 の P B S 52 と第 3 の光電変換器 53 との間と、第 3 の P B S 52 と第 4 の光電変換器 54 との間とを光ファイバーで結線しても良い。

30

【0090】

なお、第 2 の P B S 28 から出力された光を集光して光ファイバーに入力するために、集光レンズを第 1 の光電変換器 29 との間及び第 2 の光電変換器 30 との間に配設し、第 3 の P B S 32 から出力された光を集光して光ファイバーに入力するために、集光レンズを第 3 の光電変換器 33 との間及び第 4 の光電変換器 34 との間に配設し、第 2 の P B S 48 から出力された光を集光して光ファイバーに入力するために、集光レンズを第 1 の光電変換器 49 との間及び第 2 の光電変換器 50 との間に配設し、第 3 の P B S 52 から出力された光を集光して光ファイバーに入力するために、集光レンズを第 3 の光電変換器 53 との間及び第 4 の光電変換器 54 との間に配設しても良い。

40

【0091】

このような構成にすることにより、変位検出装置 2 は、熱源をスケール 70 から遠ざけることができるので、より安定した位相検出を行なうことができ、また、可干渉光源部 60 が出射する光の波長を温度制御することにより、一定波長に固定することができ、さらに、可干渉光源部 60 を当該変位検出装置 2 の外部に配設しておけば、可干渉光源部 60 が故障した場合にも容易に交換作業を行なうことができる。なお、光ファイバーとしては、

50

偏波保持ファイバーを用いることにより、温度変化やファイバーの屈曲に対してより安定した検出が可能となる。

【0092】

なお、変位検出装置2では、第1の光学系68及び第2の光学系69で干渉光どうしを干渉したときの変調度を検出し、上記検出結果に基づいて光路長の差を監視するようにしても良い。監視の結果、光路長に差が生じているときには、光路長を等しくするように調整する。

【0093】

また、本発明は、例えば、図4に示すような変位検出装置3に適用される。なお、変位検出装置3では、上述した変位検出装置1及び変位検出装置2の形態と同一の部分は同一符号を付することによりその詳細な説明を省略する。

10

【0094】

変位検出装置3は、変位検出装置2と同様に検出光学系で光源と光の分岐部を共用したものである。変位検出装置3は、可干渉光源部60と、レンズ61と、ビームスプリッタ(BS)62と、第1の全反射ミラー63と、偏光ビームスプリッタ(PBS)64と、反射部65と、第2の全反射ミラー66と、第3の全反射ミラー67と、第1の光学系68と、第2の光学系69と、スケール80と、インクリメンタル信号発生器13と、第1の位相検出器14と、第2の位相検出器15と、位相比較器16と、パルス信号発生器17とを備える。

【0095】

20

スケール80は、測定方向に対して垂直方向にピッチ間隔が d で回折格子が記録されている第1の領域80aと、ピッチ間隔が $d + \lambda/n$ (n は0以外の実数)で回折格子が記録されている第2の領域80bとが層状に重なって形成されている。例えば、 d は、 $0.55\mu\text{m}$ である。また、スケール80では、第1の領域80aへの光の入射点(P点、Q点)と、第2の領域80bへの光の入射点(R点、S点)は、計測方向にインラインに並んでいる。なお、変位検出装置3では、インラインの幅 w を、数十~数百 μm 以内とする。

【0096】

また、変位検出装置3では、P点への入射角を θ_{1p} とし、その回折角を θ_{2p} とし、Q点への入射角を θ_{1q} とし、その回折角を θ_{2q} とすると、 $\theta_{1p} = \theta_{1q}$ 、 $\theta_{2p} = \theta_{2q}$ になるように調整している。また、R点への入射角を θ_{1r} とし、その回折角を θ_{2r} とし、S点への入射角を θ_{1s} とし、その回折角を θ_{2s} とすると、 $\theta_{1r} = \theta_{1s}$ 、 $\theta_{2r} = \theta_{2s}$ になるように調整している。さらに、回折次数は、P点、Q点、R点及びS点で同次数とし、変位検出装置3で使用する回折次数は1次とする。

30

【0097】

また、第2の領域80bのR点で回折する光は、第1の領域80aのR'点でも回折するため、このR'点の回折光が光路に混入しノイズの原因となる可能性がある。そこで、変位検出装置3では、PBS64とP点の光路上にピンホール81を設置し、PBS64とQ点の光路上にピンホール82を設置し、PBS64とR点の光路上にピンホール83を設置し、PBS64とS点の光路上にピンホール84を設置することで、ノイズの原因となる回折光がPBS64に入射しないようにする。

40

【0098】

また、可干渉光源部60、レンズ61、BS62、第1の全反射ミラー63、PBS64、反射部65、第2の全反射ミラー66、第3の全反射ミラー67、第1の光学系68、第2の光学系69、インクリメンタル信号発生器13、第1の位相検出器14、第2の位相検出器15、位相比較器16及びパルス信号発生器17の構成及び動作は、変位検出装置1及び変位検出装置2と同様であるため、パルス信号発生器17は、例えば、 $(1+n)/4$ ごとにパルス信号を発生し、このパルス信号を原点信号として利用することが可能である。

【0099】

また、この原点信号の発生間隔は、第1の領域80aに記録されている回折格子の格子ピ

50

ッチと、第2の領域80bに記録されている格子ピッチとの差分 λ/n に応じて任意に設定することが可能である。

【0100】

このように構成された変位検出装置3は、可干渉光源部60から出射した光をPBS64で分割し、分割した光を中心対称になるように、垂直方向にピッチ間隔が λ で回折格子が記録されている第1の領域80aと、ピッチ間隔が $\lambda + \lambda/n$ (n は0以外の実数)で回折格子が記録されている第2の領域80bとが層状に重なって形成されているスケール80に照射し、インラインに並んだ回折点で回折された光を第1の光学系68及び第2の光学系69で干渉し、第1の位相検出器14及び第2の位相検出器15で上記干渉光からそれぞれ位相差を検出し、位相比較器16で上記位相差の差分を検出し、パルス発生器17で上記差分が所定の値となったときにパルスを発生するので、測定方向の範囲(長さ)に制限がないため、スケール80を長尺とすることができ、また、アッペ誤差の影響を受けることなく、インクリメタル信号発生器13によりインクリメタル信号を検出すると同時にパルス信号発生器17により正確な原点信号を発生することができる。

10

【0101】

また、変位検出装置3は、スケール80の第1の領域80aのP点を通る光路と、Q点を通る光路とが垂線Aに対して対称となっており、かつ、第2の領域80bのR点を通る光路と、S点を通る光路とが垂線Aに対して対称となっているので、スケール80がY方向に移動しても走行誤差を生じないため、安定した原点信号を得ることができる。また、変位検出装置3は、スケール80の第1の領域80aのP点に入射する光路長と、Q点に入射する光路長とが等しくなるように調整し、かつ、第2の領域80bのR点に入射する光路長と、S点に入射する光路長とが等しくなるように調整するので、外部の気温により光源の波長が変動しても走行誤差を生じないため、安定した原点信号を得ることが可能である。

20

【0102】

また、変位検出装置3は、格子干渉計である第1の光学系68及び第2の光学系69を用いているので、スケール80を形成している第1の領域80aと第2領域80bに記録されている回折格子の格子ピッチを小さくすることができ、例えば、格子ピッチを $0.55\mu\text{m}$ とすると、位相を検出するための信号は $0.1379\cdots\mu\text{m}$ (138nm)の周期の信号となり、高い精度での位相差検出ができ、ナノメートルオーダーで原点信号を得ることができる。

30

【0103】

また、変位検出装置3は、第1の光学系68及び第2の光学系69で可干渉光源部60及びPBS64を共用しているため、経時変化や外部の気温の変化により可干渉光源部60から出射される光が変動しても、光路の対称性に影響がないため、安定した原点信号を得ることが可能である。さらに、変位検出装置3は、スケール80がアジマス方向に回転した場合もCOSエラーに起因する原点位置のドリフトが生じない利点がある。

【0104】

また、可干渉光源部60とレンズ61との間と、第2のレンズ26とBS27との間と、第2のレンズ46とBS47との間を光ファイバーで結線しても良い。

40

【0105】

また、第2のレンズ26とBS27との間と、第2のレンズ46とBS47との間を光ファイバーで結線する代わりに、第2のPBS28と第1の光電変換器29との間と、第2のPBS28と第2の光電変換器30との間と、第3のPBS32と第3の光電変換器33との間と、第3のPBS32と第4の光電変換器34との間と、第2のPBS48と第1の光電変換器49との間と、第2のPBS48と第2の光電変換器50との間と、第3のPBS52と第3の光電変換器53との間と、第3のPBS52と第4の光電変換器54との間とを光ファイバーで結線しても良い。

【0106】

なお、第2のPBS28から出力された光を集光して光ファイバーに入力するために、集

50

光レンズを第1の光電変換器29との間及び第2の光電変換器30との間に配設し、第3のPBS32から出力された光を集光して光ファイバーに入力するために、集光レンズを第3の光電変換器33との間及び第4の光電変換器34との間に配設し、第2のPBS48から出力された光を集光して光ファイバーに入力するために、集光レンズを第1の光電変換器49との間及び第2の光電変換器50との間に配設し、第3のPBS52から出力された光を集光して光ファイバーに入力するために、集光レンズを第3の光電変換器53との間及び第4の光電変換器54との間に配設しても良い。

【0107】

このような構成にすることにより、変位検出装置3は、熱源をスケール80から遠ざけることができるので、より安定した位相検出を行なうことができ、また、可干渉光源部60
10
が出力する光の波長を温度制御することにより、一定波長に固定することができ、さらに、可干渉光源部60を当該変位検出装置3の外部に配設しておけば、可干渉光源部60が故障した場合にも容易に交換作業を行なうことができる。なお、光ファイバーとしては、偏波保持ファイバーを用いることにより、温度変化やファイバーの屈曲に対してより安定した検出が可能となる。

【0108】

なお、変位検出装置3では、第1の光学系68及び第2の光学系69で干渉光どうしを干渉したときの変調度を検出し、上記検出結果に基づいて光路長の差を監視するようにしても良い。監視の結果、光路長に差が生じているときには、光路長を等しくするように調整する。
20

【0109】

また、変位検出装置1、変位検出装置2及び変位検出装置3では、リニアな透過型の回折格子が記録されたスケールを用いていたが、ロータリーエンコーダに使用されるような放射状の回折格子を用いても良いし、反射型の回折格子を用いても良い。

【0110】

また、変位検出装置1、変位検出装置2及び変位検出装置3は、スケール12が移動するのではなく、光学系が移動するような構成にしても良い。

【0111】

【発明の効果】

以上詳細に説明したように、本発明に係る変位検出装置は、所定の間隔で位置情報が記録されている第1の領域と、上記第1の領域とは異なる間隔で位置情報が記録されている第2の領域とが同一の測定方向に等量分変位するように形成されている移動可能なスケールに基づき、上記第1の領域から位置情報を読み取る位置と、上記第2の領域から位置情報を読み取る位置とがインライン上に並んでいるので、アッペ誤差の影響を受けることなく、正確な原点信号を発生することができる。
30

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明を適用した変位検出装置の第1の構成例を示すブロック図である。

【図2】本発明を適用した変位検出装置により生成されるリサージュ信号の角度を示す図である。

【図3】本発明を適用した変位検出装置の第2の構成例を示すブロック図である。
40

【図4】本発明を適用した変位検出装置の第3の構成例を示すブロック図である。

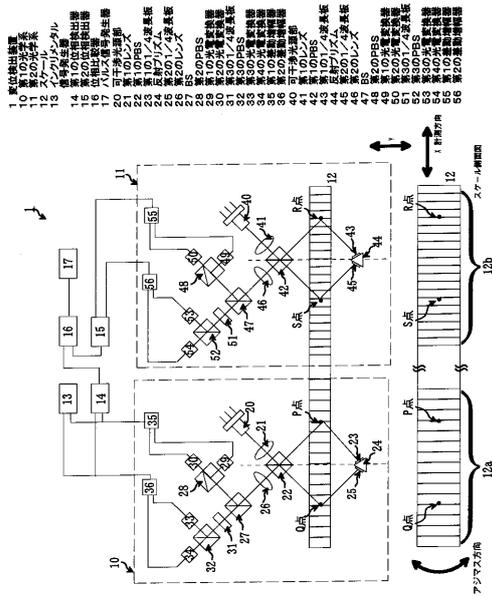
【図5】従来の変位検出装置の構成例を示すブロック図である。

【符号の説明】

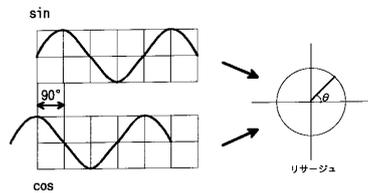
1, 2, 3 変位検出装置、10, 68 第1の光学系、11, 69 第2の光学系、12, 70, 80 スケール、13 インクリメンタル信号発生器、14 第1の位相検出器、15 第2の位相検出器、16 位相比較器、17 パルス信号発生器、20, 40, 60 可干渉光源部、21, 41 第1のレンズ、22, 42 第1のPBS、23, 43, 71 第1の1/4波長板、24, 44 反射プリズム、25, 45, 72 第2の1/4波長板、26, 46 第2のレンズ、27, 47, 62 BS、28, 48 第2のPBS、29, 49 第1の光電変換器、30, 50 第2の光電変換器、31, 51
50

第3の1/4波長板、32、52 第3のPBS、33、53 第3の光電変換器、34、54 第4の光電変換器、35、55 第1の差動増幅器、36、56 第2の差動増幅器、61 レンズ、63 第1の全反射ミラー、64 PBS、65 反射部、66 第2の全反射ミラー、67 第3の全反射ミラー、73 第1の反射プリズム、74 第3の1/4波長板、75 第4の1/4波長板、76 第2の反射プリズム

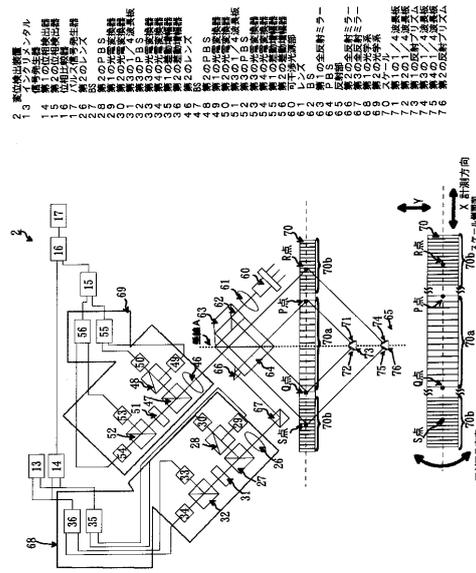
【図1】



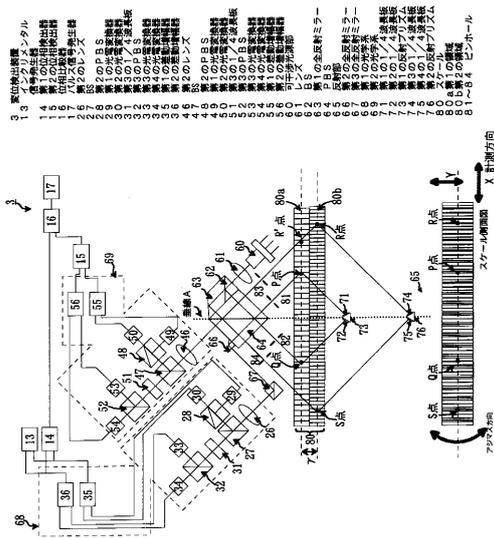
【図2】



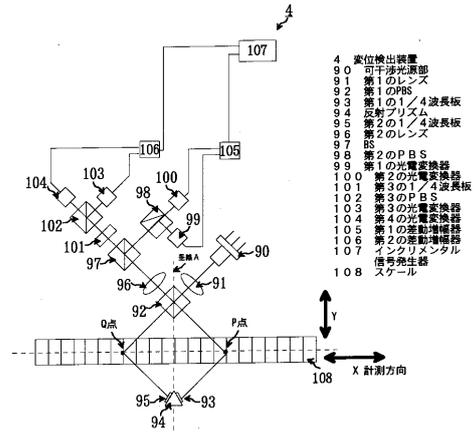
【図3】



【 図 4 】



【 図 5 】



- 4 変位検出装置
- 90 可干渉光源部
- 91 第1のレンズ
- 92 第1のPBS
- 93 第1の1/4波長板
- 94 反射プリズム
- 95 第2の1/4波長板
- 96 第2のレンズ
- 97 BS
- 98 第2のPBS
- 99 第1の光電変換器
- 100 第2の光電変換器
- 101 第3の1/4波長板
- 102 第3のPBS
- 103 第4の光電変換器
- 104 第4の光電変換器
- 105 第1の差動増幅器
- 106 第2の差動増幅器
- 107 インタリメンタル
- 108 信号発生器

フロントページの続き

- (72)発明者 谷口 佳代子
東京都品川区西五反田3丁目9番17号 ソニー・プレジジョン・テクノロジー株式会社内
- (72)発明者 黒田 明博
東京都品川区西五反田3丁目9番17号 ソニー・プレジジョン・テクノロジー株式会社内

審査官 岡田 卓弥

- (56)参考文献 特開昭55-12403(JP,A)
特開昭63-212817(JP,A)
特開昭63-98302(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01D 5/26- 5/38
G01B11/00-11/30