

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5918592号
(P5918592)

(45) 発行日 平成28年5月18日 (2016.5.18)

(24) 登録日 平成28年4月15日 (2016.4.15)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 B 11/00 (2006.01) GO 1 B 11/00 G
GO 1 B 9/02 (2006.01) GO 1 B 9/02

請求項の数 4 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2012-79516 (P2012-79516)	(73) 特許権者	000146847
(22) 出願日	平成24年3月30日 (2012.3.30)		DMG森精機株式会社
(65) 公開番号	特開2013-210228 (P2013-210228A)		奈良県大和郡山市北郡山町106番地
(43) 公開日	平成25年10月10日 (2013.10.10)	(74) 代理人	100067736
審査請求日	平成26年11月28日 (2014.11.28)		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に入射させる回折格子と、

上記回折格子に入射される上記被測定部材の被測定面によっ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に再度入射させる第1の反射部と、

上記光束分割部によって分割された上記第2の光束を反射する第2の反射部と、

上記回折格子によって回折され、かつ上記被測定面によって再び反射された上記第1の光束と、上記第2の反射部によって反射された上記第2の光束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、

上記回折格子の格子ベクトルは、上記被測定部材の被測定面に対して略直角に配置され、上記第1の光束の光路長が、上記被測定部材が高さ方向に変位しても、常に一定の距離

10

20

に保たれることを特徴とする変位検出装置。

【請求項 2】

上記回折格子は、上記被測定部材の被測定面により反射されて入射される上記第 1 の光束を反射して上記被測定部材の被測定面に戻す反射型の回折格子からなり、上記第 1 の反射部により反射されて上記被測定部材の被測定面に再び入射された上記第 1 の光束が上記被測定部材の被測定面により反射されて入射されることを特徴とする請求項 1 記載の変位検出装置。

【請求項 3】

上記回折格子は、上記被測定部材の被測定面により反射されて入射される上記第 1 の光束を透過させる透過型の回折格子からなり、

上記透過型の回折格子を透過し上記被測定部材の被測定面により反射されて入射される上記第 1 の光束を反射して上記被測定部材の被測定面に戻す第 3 の反射部を備え、

上記第 1 の反射部は、上記回折格子を透過させる上記第 1 の光束の光路中の上記回折格子の前後に設けられ、上記光束分割部によって分割されて上記被測定部材の被測定面に入射されて反射された上記第 1 の光束と、上記第 3 の反射部により反射されて上記被測定部材の被測定面に戻され該被測定部材の被測定面により反射された上記第 1 の光束を反射して上記被測定部材の被測定面に再度入射させることを特徴とする請求項 1 記載の変位検出装置。

【請求項 4】

上記第 1 の反射部は、上記被測定部材の被測定面との間で上記第 1 の光束を複数回反射する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。

【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】

【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 (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う問題があった。

【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光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】

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

10

20

30

40

50

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 μm 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】

【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なる。

【課題を解決するための手段】

【0010】

すなわち、本発明は、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に入射させる回折格子と、上記回折格子に入射される上記被測定部材の被測定面によっ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に再度入射させる第1の反射部と、上記光束分割部によって分割された上記第2の光束を反射する第2の反射部と、上記回折格子によって回折され、かつ上記被測定面によって再び反射された上記第1の光束と、上記第2の反射部によって反射された上記第2の光束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、上記回折格子の格子ベクトルは、上記被測定部材の被測定面に対して略直角に配置され、上記第1の光束の光路長が、上記被測定部材が高さ方向に変位しても、常に一定の距離に保たれることを特徴とする。

【0011】

本発明に係る変位検出装置において、上記回折格子は、例えば、上記被測定部材の被測定面により反射されて入射される上記第1の光束を反射して上記被測定部材の被測定面に戻す反射型の回折格子からなり、上記第1の反射部により反射されて上記被測定部材の被測定面に再び入射された上記第1の光束が上記被測定部材の被測定面により反射されて入射され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において、上記回折格子は、例えば、上記被測定部材の被測定面により反射されて入射される上記第1の光束を透過させる透過型の回折格子からなり、上記透過型の回折格子を透過し上記被測定部材の被測定面により反射されて入射

10

20

30

40

50

される上記第 1 の光束を反射して上記被測定部材の被測定面に戻す第 3 の反射部を備え、上記第 1 の反射部は、上記回折格子を透過させる上記第 1 の光束の光路中の上記回折格子の前後に設けられ、上記光束分割部によって分割されて上記被測定部材の被測定面に入射されて反射された上記第 1 の光束と、上記第 3 の反射部により反射されて上記被測定部材の被測定面に戻され該被測定部材の被測定面により反射された上記第 1 の光束を反射して上記被測定部材の被測定面に再度入射させるものとする事ができる。

【 0 0 1 3 】

また、本発明に係る変位検出装置において、上記第 1 の反射部は、例えば、上記被測定部材の被測定面との間で上記第 1 の光束を複数回反射するものとする事ができる。

【発明の効果】

10

【 0 0 1 4 】

本発明に係る変位検出装置では、回折格子に入射される被測定部材の被測定面によって反射された第 1 の光束を反射して上記被測定部材の被測定面に再度入射させる第 1 の反射部を備えることにより、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を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 5 】

【図 1】本発明を適用した変位検出装置の構成例を示すブロック図である。

【図 2】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。

20

【図 3】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 4】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 5】変位検出装置により測定される多層の被測定面を有する被測定部材の構造を模式的に示すに示す側面図である。

【図 6】本発明を適用した変位検出装置の他の構成例を示すブロック図である。

【図 7】上記変位検出装置に備えられた光路長調整手段の構造例を模式的に示す側面図である。

30

【図 8】上記変位検出装置における光路長調整手段による光路長調整された第 1 の光束の回折格子への入射状態を模式的に示すに示す図である。

【図 9】本発明を適用した変位検出装置の他の構成例を示すブロック図である。

【図 10】本発明を適用した変位検出装置の他の構成例を示すブロック図である。

【図 11】第 1 の反射部として機能する第 1 の反射ミラーにより第 1 の光束を 2 回反射させた場合の第 1 の光束の回折格子への入射状態を模式的に示すに示す図である。

【図 12】本発明を適用した変位検出装置の他の構成例を示すブロック図である。

【図 13】上記変位検出装置において、被測定部材の被測定面に照射された第 1 の光束の上記被測定面による反射と透過型の回折格子による回折の状態を模式的に示す側面図である。

40

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 6 】

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。

【 0 0 1 7 】

本発明は、例えば図 1 のブロック図に示すような構成の変位検出装置 100 に適用される。

【 0 0 1 8 】

この変位検出装置 100 は、回折格子 14 を用いて被測定部材 1 の被測定面 1 a における垂直な方向（測定方向 Z）の変位を該被測定面 1 a により反射される測定光 L1 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

50

れる測定光 L0 を 2 つの光束 L1, 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第 1 の反射鏡 14 と、この第 1 の反射鏡 14 により反射されて再入射された第 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 15 と、上記偏光ビームスプリッタ 12 により分割された第 2 の光束 L2 が入射される第 2 の反射鏡 17 と、上記被測定部材 1 の被測定面 1a により反射される測定光 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。

【0019】

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。

10

【0020】

光源 10 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 10 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。

【0021】

さらに、光源 10 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 10 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 10 の温度をコントロールすること、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。

20

【0022】

この光源 10 から出射された測定光 L0 は、コリメートレンズ等からなるレンズ 11 を介して偏光ビームスプリッタ 12 に入射されている。レンズ 11 は、光源 10 から出射された測定光 L0 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 12 には、レンズ 11 により平行光にコリメートされた測定光 L0 が入射される。

【0023】

偏光ビームスプリッタ 12 は、例えば、光源 10 から入射される測定光 L0 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 L0 を物体光である第 1 の光束 L1 と、参照光である第 2 の光束 L2 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 12 は、被測定部材 1 及び第 2 の反射鏡 17 から反射されて戻ってきた第 1 の光束 L1 及び第 2 の光束 L2 を重ね合わせて、相対位置検出部 20 の受光部 20A 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 100 における偏光ビームスプリッタ 12 は、測定光 L0 を第 1 の光束 L1 と第 2 の光束 L2 に分割する光束分割部としての役割と、第 1 の光束 L1 と第 2 の光束 L2 を重ね合わせる光束結合部としての役割を有している。

30

【0024】

偏光ビームスプリッタ 12 では、測定光 L0 が第 1 の光束 L1 と第 2 の光束 L2 に分割されるが、その光量比率は、相対位置検出部 20 の受光部 20A に入射する際に被測定部材 1 側と第 2 の反射鏡 17 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。

40

【0025】

また、光源 10 と偏光ビームスプリッタ 12 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。

【0026】

また、第 1 の位相板 13 及び第 2 の位相板 16 は、それぞれ 1/4 波長板等から構成されている。

【0027】

そして、この変位検出装置 100 において、第 1 の反射鏡 14 は、被測定部材 1 の被測

50

定面 1 a により反射され第 1 の光束 L 1 を再び被測定部材 1 の被測定面 1 a に入射するように上記被測定部材の被測定面 1 a に略平行に配置されている。この第 1 の反射鏡 1 4 は、回折格子 1 5 に入射される上記被測定部材 1 の被測定面 1 a によって反射された第 1 の光束 L 1 を反射して上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に再度入射させる第 1 の反射部として機能する。

【 0 0 2 8 】

この変位検出装置 1 0 0 において、回折格子 1 5 は、上記被測定部材 1 の被測定面 1 a により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 に戻す反射型の回折格子からなる。

【 0 0 2 9 】

そして、回折格子 1 5 によって回折された第 1 の光束 L 1 は、被測定部材 1 の被測定面 1 a で反射して第 1 の反射鏡 1 4 に入射され、この第 1 の反射鏡 1 4 により反射されて上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に入射され、この被測定部材 1 の被測定面 1 a で反射されて再び偏光ビームスプリッタ 1 2 へ戻される。回折格子 1 5 は、被測定部材 1 の被測定面 1 a に対して略直角、すなわち回折格子 1 5 の回折面と被測定部材 1 の被測定面 1 a 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。

【 0 0 3 0 】

なお、回折格子 1 5 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 1 0 0 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 1 0 0 に高い精度を要求する場合、回折格子 1 5 を被測定部材 1 の被測定面 1 a に対して 9 0 ° ± 0 . 5 ° の範囲に配置することが好ましい。これに対し、回折格子 1 5 を被測定部材 1 の被測定面 1 a に対して 9 0 ° から ± 2 ° の範囲で配置しても、変位検出装置 1 0 0 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。

【 0 0 3 1 】

また、回折格子 1 5 に入射した第 1 の光束 L 1 は、回折格子 1 5 によって反射し、かつ回折される。この回折格子 1 5 の格子ピッチ は、回折角が回折格子 1 5 への入射角とほぼ等しくなるように設定される。すなわち、回折格子 1 5 の格子ピッチ は、被測定面 1 a への入射角を θ 、光の波長を λ とすると、次の式 1 を満たす値に設定することが好ましい。なお、上述したように、回折格子 1 5 が被測定部材 1 の被測定面 1 a に対して直角に配置されているため、回折格子 1 5 への入射角は、 $\theta = \lambda / 2 \cdot \sin(\alpha)$ となる。

【 0 0 3 2 】

$$\theta = \lambda / (2 \sin(\alpha / 2 - \beta)) \quad \dots \text{式 1}$$

【 0 0 3 3 】

そのため、回折格子 1 5 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 1 a に入射するときの光路が、偏光ビームスプリッタ 1 2 によって分割された第 1 の光束 L 1 が被測定部材 1 の被測定面 1 a によって反射されて回折格子 1 5 に入射するときの光路に重なり合う。その結果、回折格子 1 5 によって回折された第 1 の光束 L 1 は、偏光ビームスプリッタ 1 2 から被測定部材 1 の被測定面 1 a に照射された照射スポット P 1 と同じ点に戻る。そして、第 1 の光束 L 1 は、被測定部材 1 の被測定面 1 a で再び反射され、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 3 4 】

なお、回折格子 1 5 としては、例えば図 2 の側面図に一例を示すような構造の回折格子が用いられる。

【 0 0 3 5 】

この回折格子 1 5 は、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 5 A , 1 5 B からなる。この回折格子 1 5 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 7 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 3 6 】

10

20

30

40

50

また、この変位検出装置 100 において、第 2 の反射鏡 17 は、図 1 に示すように、偏光ビームスプリッタ 12 によって分割された第 2 の光束 L2 を回折格子 15 に反射するものである。この第 2 の反射鏡 17 は、回折格子 15 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、第 2 の反射鏡 17 の反射面は、被測定部材 1 の被測定面 1a と略平行に配置される。そのため、第 2 の反射鏡 17 及び回折格子 15 は、第 2 の反射鏡 17 の反射面と回折格子 15 の回折面で形成される角度がほぼ 90° となるように配置される。

【0037】

また、第 2 の反射鏡 17 は、回折格子 15 によって回折された第 2 の光束 L2 を再び反射して偏光ビームスプリッタ 12 に戻す。なお、第 2 の反射鏡 17 によって反射され、かつ回折格子 15 によって回折された第 2 の光束 L2 も、第 1 の光束 L1 と同様に、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。

【0038】

この第 2 の反射鏡 17 は、第 1 の光束 L1 における偏光ビームスプリッタ 12 から回折格子 15 までの光路長と、第 2 の光束 L2 における偏光ビームスプリッタ 12 から回折格子 15 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 17 を設けたことで、この変位検出装置 100 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。その結果、気圧や湿度や温度の変化による光源 10 の波長変動の影響を受けにくくすることができる。

【0039】

上述したように、第 2 の反射鏡 17 の反射面と回折格子 15 の回折面は、被測定部材 1 の被測定面 1a と回折格子 15 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 15 によって回折されて再び第 2 の反射鏡 17 の反射面に入射するときの光路が、第 2 の反射鏡 17 によって反射されて回折格子 15 に入射するときの光路に重なり合う。

【0040】

また、偏光ビームスプリッタ 12 は、被測定部材 1 及び第 2 の反射鏡 17 から反射されて戻ってきた第 1 の光束 L1 及び第 2 の光束 L2 を重ね合わせて、相対位置検出部 20 の受光部 20A に照射する。すなわち、この変位検出装置 100 における偏光ビームスプリッタ 12 は、測定光 L0 を第 1 の光束 L1 と第 2 の光束 L2 に分割する光束分割部としての役割と、第 1 の光束 L1 と第 2 の光束 L2 を重ね合わせる光束結合部としての役割を有している。

【0041】

ここで、偏光ビームスプリッタ 12 から被測定部材 1 及び回折格子 15 を介して偏光ビームスプリッタ 12 に戻るまでの長さ、偏光ビームスプリッタ 12 から第 2 の反射鏡 17 及び回折格子 15 を介して偏光ビームスプリッタ 12 に戻るまでの長さは、略等しく設定されている。すなわち、第 1 の光束 L1 と第 2 の光束 L2 の光路長を等しく設定したため、気圧や湿度、温度の変化による光源 10 の波長変動があったとしても、第 1 の光束 L1 及び第 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。

【0042】

相対位置検出部 20 は、受光部 20A と相対位置情報出力部 20B からなる。

【0043】

相対位置検出部 20 の受光部 20A は、偏光ビームスプリッタ 12 により重ね合わされた第 1 の光束 L1 と第 2 の光束 L2 が入射される集光レンズ 21 と、この集光レンズ 21 により集光された第 1 の光束 L1 と第 2 の光束 L2 すなわち入射光を分割するハーフミラー 22 と、このハーフミラー 22 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 23 と、上記ハーフミラー 22 により分割された入射光が例えば 1/4 波長板

10

20

30

40

50

等からなる受光側位相板 24 を介して入射される第 2 の偏光ビームスプリッタ 25 を備える。

【0044】

これら第 1 の偏光ビームスプリッタ 23 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、第 1 の光束 L1 と第 2 の光束 L2 との干渉光を分割するものである。

【0045】

第 1 の偏光ビームスプリッタ 23 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 23 における光の出射口側には、第 1 の受光素子 26 と、第 2 の受光素子 27 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 28 と、第 4 の受光素子 29 が設けられている。

【0046】

また、相対位置検出部 20 の相対位置情報出力部 20B は、図 3 に示すように、第 1 の差動増幅器 61a と、第 2 の差動増幅器 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。

【0047】

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。

【0048】

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。

【0049】

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。

【0050】

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。

【0051】

したがって、第 1 の受光素子 26 と第 2 の受光素子 27 によって、 $A \cos(Kz + \phi)$ の干渉信号が得られる。A は、干渉の振幅であり、K は $2\pi/\lambda$ で示される波数である。また、z は、回折格子 15 上における第 1 の光束 L1 の移動量を示しており、 ϕ は、初期位相を示している。 λ は、回折格子 15 における格子のピッチである。

【0052】

ここで、図 4 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

10

20

30

40

50

部材 1 の被測定面 1 a に照射される第 1 の光束 L 1 は、照射スポット P 1 から照射スポット P 2 に移動する。また、被測定部材 1 の被測定面 1 a で反射された第 1 の光束 L 1 は、回折格子 1 5 の回折位置 T 1 から回折位置 T 2 に移動する。ここで、回折格子 1 5 は、被測定部材 1 の被測定面 1 a に対して略直角に配置されているため、回折位置 T 1 と回折位置 T 2 の間隔は、照射スポット P 1 と照射スポット P 2 の間隔の 4 倍の $2z$ となる。すなわち、回折格子 1 5 上を移動する第 1 の光束 L 1 の移動量は、被測定部材 1 を移動した際の 4 倍の $2z$ となる。

【 0 0 5 3 】

また、回折格子 1 5 が被測定部材 1 の被測定面 1 a に対して略直角に配置されているため、被測定部材 1 が高さ方向に変位しても、P 2 - T 2 間の距離と、P 2 - P 1 - T 1 間の距離が一定であることから、第 1 の光束 L 1 の光路長は常に一定となることが分かる。すなわち、第 1 の光束 L 1 の波長は、変化しない。そして、被測定部材 1 が高さ方向に変位すると、回折格子 1 5 に入射する位置だけが変化する。

10

【 0 0 5 4 】

よって、回折された第 1 の光束 L 1 には、 Kz の位相が加わる。つまり、被測定部材 1 が高さ方向に対して $z/2$ だけ移動すると、第 1 の光束 L 1 は回折格子 1 4 上では 4 倍の $2z$ だけ移動する。そのため、第 1 の光束 L 1 には、 Kz 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 2 6、第 2 の受光素子 2 7 によって受光される。

【 0 0 5 5 】

このように上記回折格子 1 5 に入射される被測定部材 1 の被測定面 1 a によって反射された第 1 の光束 L 1 を反射して上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に再度入射させる第 1 の反射部として機能する第 1 の反射ミラー 1 4 を備えることにより、上記被測定部材 1 の被測定面 1 a の高さ方向の変位を高分解能で検出できる。

20

【 0 0 5 6 】

ここで、第 1 の受光素子 2 6 及び第 2 の受光素子 2 7 によって得られる干渉信号には、光源 1 0 の波長に関する成分が含まれていない。よって、気圧や湿度、温度の変化による光源の波長に変動が起きても干渉強度には、影響を受けない。

【 0 0 5 7 】

一方、ハーフミラー 2 2 を透過した光束 L a は、受光側位相板 2 4 を介して第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 5 に入射される。互いに偏光方向が 90 度異なる直線偏光である第 1 の光束 L 1 及び第 2 の光束 L 2 からなる光束 L a は、受光側位相板 2 4 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って、第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 5 に入射される。

30

【 0 0 5 8 】

この直線偏光の s 偏光成分は第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 5 によって反射され、第 3 の受光素子 2 8 に受光される。また、p 偏光成分は、第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 5 を透過し、第 4 の受光素子 2 9 によって受光される。

【 0 0 5 9 】

上述したように、第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 5 に入射する直線偏光は、互いに逆回りの円偏光の重ね合わせによって生じている。そして、第 2 の偏光ビームスプリッタ 2 5 に入射される直線偏光の偏光方向は、被測定部材 1 が高さ方向に $z/4$ だけ移動すると $1/2$ 回転する。したがって、第 3 の受光素子 2 8 と第 4 の受光素子 2 9 でも同様に、 $A \cos(Kz + \phi)$ の干渉信号が得られる。 ϕ は初期位相である。

40

【 0 0 6 0 】

また、第 3 の受光素子 2 8 と第 4 の受光素子 2 9 とで光電変換される信号は、 180 度位相が異なる。

【 0 0 6 1 】

なお、この変位検出装置 1 0 0 では、第 1 の偏光ビームスプリッタ 2 3 に対して、第 3 の受光素子 2 8 と第 4 の受光素子 2 9 に受光される光束を分割する第 2 の偏光ビームスプ

50

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。

【0062】

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。

【0063】

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 20 B によって演算され、被測定面 1 a の変位量がカウントされる。

10

【0064】

相対位置情報出力部 20 B では、まず、受光部 20 A 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 61 a 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。

【0065】

そして、この信号は、第 1 の A/D 変換器 62 a 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。

【0066】

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 61 b によって差動増幅され、第 2 の A/D 変換器 62 b 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。

20

【0067】

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 1 a 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。

【0068】

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 1 a の変位量が検出される。

30

【0069】

なお、この変位検出装置 100 における相対位置情報出力部 20 B 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。

【0070】

このような構成の変位検出装置 100 では、回折格子 15 に入射される被測定部材 1 の被測定面 1 a によって反射された第 1 の光束 L1 を反射して上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に再度入射させる第 1 の反射部として機能する第 1 の反射ミラー 14 を備えることにより、上記被測定部材 1 の被測定面 1 a 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。

40

【0071】

ここで、一般に被測定部材 1 としては、ミラー等が用いられるが、透明ガラスなどの保護膜で表面が覆われた被測定部材 1 の被測定面 1 a や図 5 に示すように多層膜で形成された被測定部材 1 の各層の境界面 1 A, 1 B...1 N を被測定面 1 a とする場合には、保護膜のない被測定部材 1 の表面を被測定面 1 a とする場合と光路長が異なるため、可干渉距離が短い光源では、表面 1 s の反射光で干渉信号が得られても、媒体内の層の境界面 1 A, 1 B...1 N による反射光との干渉信号は得られない。各層の境界面 1 A, 1 B...1 N を被測定面 1 a とする多層膜で形成された被測定部材 1 の例としては、多層膜や

50

半導体のウエハなどがあげられる。

【0072】

このような被測定部材1の被測定面1aを検出するには、上記変位検出装置100において、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と第2の光束L2の少なくとも一方の光路長を調整する光路長調整手段を設け、上記第1の光束L1と第2の光束L2の光路長を一致させる調整を行うようにすればよい。

【0073】

例えば図6のブロック図に示すような構成の変位検出装置100Aを用いることにより、透明ガラスなどの保護膜で表面が覆われた被測定部材や多層膜や半導体のウエハなどの被測定部材の被測定面の高さ方向の位置を検出することができる。

10

【0074】

この変位検出装置100Aは、上記変位検出装置100における偏光ビームスプリッタ12により分割された第2の光束L2の光路に光路長調整手段として光路長調整プリズム18aを設けたものである。

【0075】

すなわち、この変位検出装置100Aは、第1の光束L1は、物体光として、第1の位相板13を介して被測定部材1に照射され、第2の光束L2は、参照光として、第2の位相板15と光路長調整プリズム18aを介して第2の反射鏡17に照射される。

【0076】

なお、上記変位検出装置100Aにおいて、上記変位検出装置100と共通する構成要素については、図中に同一の符号を付して重複した説明を省略する。

20

【0077】

ここで、光路長調整プリズム18aは、図7に示すように、参照光として入射される第2の光束L2の光軸と直交する方向に可動部18bにより移動されることにより、第2の光束L2の光路長を可変する光路長調整手段として機能する。上記可動部18bには、ステージやピエゾ素子が用いられる。

【0078】

光路長調整プリズム18aと可動部18bによる光路長調整手段は、偏光ビームスプリッタ12から回折格子15までの第2の光束L2の光路中に設けられることにより、第2の光束L2の光路長を任意に調整できる。

30

【0079】

これにより、透明ガラスなどの保護膜で表面が覆われた被測定部材1の被測定面1aや図5に示すように多層膜で形成された被測定部材1の各層の境界面1A, 1B...1Nを被測定面1aとする場合にも、 $L2 = L1$ の条件が成立する被測定面1aを検出することができる。さらに光源10の可干渉距離が短いので、 $L2 = L1$ の条件が成立する層の境界面のみを被測定面1aとして選択して検出することができる。

【0080】

すなわち、表面反射の場合、被測定部材1の変動によって光路長 $A = A'$, $B = B'$ より $A + B$ と $A' + B'$ が、常に等しいことため、一度第1の光束L1と第2の光束L2の長さを等しく調整してしまえば、第1の光束L1の光路内の媒体の屈折率が変化しない限り、安定して検出が可能になる。一方、表面反射と、積層した媒体内の屈折率 n とする場合、 $A = A'$ であっても媒体内は、 $B < B'$ になるため、光路長に差が生じる。よって各層の面を検出するためには、図8の(A), (B)に示すように、それぞれの第1の光束L1の光路長に一致させるように第2の光束L2を調整する必要がある。

40

【0081】

光路長調整プリズム18aと可動部18bによる光路長調整手段は、この光路長の差を解消し、各層の面を選択して検出する働きをする。

【0082】

上記光路長調整手段は、物体光である第1の光束L1における偏光ビームスプリッタ12から回折格子15を介して上記偏光ビームスプリッタ12に戻るまでの光路長と、参照

50

光である第2の光束L2における偏光ビームスプリッタ12から回折格子15を介して上記偏光ビームスプリッタ12に戻るまでの光路長との一致点を含む光路長調整範囲を有している。

【0083】

なお、この変位検出装置100では、上記光路長調整手段により第2の光束L2を調整に連動して第2の反射鏡17を回転させて、回折格子15への第2の光束L2の入射角が変化しないようにしている。

【0084】

ここで、上記変位検出装置100Aでは、偏光ビームスプリッタ12から回折格子15までの第2の光束L2の光路中に光路長調整プリズム18aと可動部18bによる光路長調整手段を設けることにより、第2の光束L2の光路長を任意に調整できるようにしたが、偏光ビームスプリッタ12から回折格子15までの第1の光束L1の光路中に光路長調整プリズム18aと可動部18bによる光路長調整手段を設けることにより、第1の光束L1の光路長を調整するようによい。

【0085】

また、図9に示す変位検出装置100Bのように、参照光である第2の光束L2を反射する第2の反射鏡17を第2の光束L2の光軸と直交する配置して、可動部18Aにより上記第2の反射鏡17を第2の光束L2の光軸方向に移動させて第2の光束L2の光路長を調整する光路長調整手段を備えるものとすることもできる。この場合、光路長調整手段は、物体光である第1の光束L1における偏光ビームスプリッタ12から回折格子15を介して上記偏光ビームスプリッタ12に戻るまでの光路長と、参照光である第2の光束L2における偏光ビームスプリッタ12から第2の反射鏡17を介して上記偏光ビームスプリッタ12に戻るまでの光路長との一致点を含む光路長調整範囲を有するものとされる。上記可動部18Aには、ステージやピエゾ素子が用いられる。

【0086】

さらに、図10に示す変位検出装置100Cのように、物体光である第1の光束L1を回折させる反射型の回折格子15Aと参照光である第2の光束L2を回折させる反射型の回折格子15Bを分離して配し、上記回折格子15Aと回折格子15Bの一方又は両方を可動部18A, 18Bにより被測定面1aの測定方向Zと直交する方向Xに移動させて第1の光束L1と第2の光束L2の一方又は両方の光路長を調整する光路長調整手段を備えるものとすることもできる。この変位検出装置100Bにおいて、上記回折格子15Aと回折格子15Bは、光路長調整手段による調整範囲で第1の光束L1と第2の光束L2の光路長を一致させることができるように予め測定方向Zと直交する方向Xにずらして配置される。

【0087】

上記可動部18A, 18Bには、ステージや板バネやピエゾ素子が用いられる。また、上記可動部18A, 18Bを温度調節し、物体の温度膨張を利用して移動させても良い。

【0088】

なお、上記変位検出装置100B, 100Cにおいて、上記変位検出装置100と共通する構成要素については、図中に同一の符号を付して重複した説明を省略する。

【0089】

このような構成の変位検出装置100A, 100B, 100Cでは、偏光ビームスプリッタ12によって分割された被測定部材1の被測定面1aに入射させる物体光となる第1の光束L1、又は、参照光となる第2の光束L2の少なくとも一方の光路長を調整する光路長調整手段を備えることにより、透明ガラスなどの保護膜で表面が覆われた被測定部材1の被測定面1aや図5に示すように多層膜で形成された被測定部材1の各層の境界面1A, 1B・・・1Nを被測定面1aとする場合にも、 $L2 = L1$ の条件が成立する被測定面1aを検出することができる。さらに光源10の可干渉距離が短いので、 $L2 = L1$ の条件が成立する層の境界面のみを被測定面1aとして選択して検出することができ、しかも、回折格子15に入射される被測定部材1の被測定面1aによって反射された第1の光

束 L 1 を反射して上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に再度入射させる第 1 の反射部として機能する第 1 の反射ミラー 1 4 を備えることにより、上記被測定部材 1 の被測定面 1 a 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。

【 0 0 9 0 】

ここで、上記変位検出装置 1 0 0 , 1 0 0 A , 1 0 0 B , 1 0 0 C では、第 1 の反射部として機能する第 1 の反射ミラー 1 4 により、第 1 の光束 L 1 を 1 回だけ反射して被測定部材 1 の被測定面 1 a に再入射させるようにしたが、上記被測定部材 1 の被測定面 1 a との間で上記第 1 の光束 L 1 を 2 回以上反射させて上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に複数回再入射させるようにしてもよい。

【 0 0 9 1 】

例えば、図 1 1 に示すように、第 1 の反射部として機能する第 1 の反射ミラー 1 4 により第 1 の光束 L 1 を 2 回反射させた場合、被測定部材 1 の被測定面 1 a には第 1 の光束 L 1 が 3 回入射されることになるが、光路長は、 $A = A'$ 、 $B = B'$ 、 $C = C'$ 、 $D = D'$ 、 $E = E'$ となり、被測定部材 1 の被測定面 1 a の測定方向 Z の変化に対し、常に一定である。

【 0 0 9 2 】

また、被測定部材 1 の被測定面 1 a が、測定方向 Z に $z / 2$ だけ変化すると、回折格子 1 7 上の第 1 の光束 L 1 の位置は、6 倍の $3 z$ だけ変化する。つまり回折格子 1 7 上の第 1 の光束 L 1 の位置の変化は、被測定部材 1 の被測定面 1 a に入射させる回数に比例する。

【 0 0 9 3 】

この手法で、得られる干渉信号をさらに細かくすることができる高分解能化することができる。

【 0 0 9 4 】

また、上記変位検出装置 1 0 0 , 1 0 0 A , 1 0 0 B , 1 0 0 C において、相対位置情報検出部 2 0 は、上記被測定部材 1 の被測定面 1 a により反射される測定光 L 1 を反射型回折格子 1 5 を介して受光する受光部 2 0 A を備え、上記受光部 2 0 A により得られる光検出出力に基づいて上記被測定面 1 a の上記測定方向 Z の相対位置情報を相対位置情報出力部 2 0 B から出力するものとしたが、本発明は、例えば図 1 2 に示すように、被測定部材 1 の被測定面 1 a により反射される測定光 L 1 を透過型回折格子 1 5 C を介して受光する受光部 2 0 A を備え、上記受光部 2 0 A により得られる光検出出力に基づいて上記被測定面 1 a の上記測定方向 Z の相対位置情報を相対位置情報出力部 2 0 B から出力する変位検出装置 1 0 0 D に適用することもできる。

【 0 0 9 5 】

すなわち、図 1 2 に示す変位検出装置 1 0 0 D は、上記変位検出装置 1 0 0 と同様に、被測定部材 1 の被測定面 1 a における垂直な方向（測定方向 Z）の変位を該被測定面 1 a により反射される測定光 L 1 に基づいて検出するものであって、光源 1 0 と、この光源 1 0 から出射される測定光 L 0 を 2 つの光束 L 1 , L 2 に分割する偏光ビームスプリッタ 1 2 と、被測定部材 1 の被測定面 1 a によって第 1 の光束 L 1 が反射されて入射される第 1 の反射部として機能する 2 つの第 1 の反射鏡 1 4 A、1 4 B と、第 1 の光束 L 1 が上記被測定部材 1 の被測定面 1 a によって反射されて入射される透過型の回折格子 1 5 C と、上記偏光ビームスプリッタ 1 2 により分割された第 2 の光束 L 2 が入射される第 2 の反射鏡 1 7 と、戻り用反射鏡ブロック 1 9 と、上記被測定部材 1 の被測定面 1 a により反射される測定光 L 1 に基づいて、上記被測定部材 1 の被測定面 1 a 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 2 0 を備える。

【 0 0 9 6 】

上記第 1 の反射鏡 1 4 A , 1 4 B は、被測定部材 1 の被測定面 1 a により反射され第 1 の光束 L 1 を再び被測定部材 1 の被測定面 1 a に入射するように上記被測定部材の被測定面 1 a に略平行に配置されている。

【 0 0 9 7 】

すなわち、この変位検出装置 1 0 0 D は、透過型の回折格子 1 5 C を透過させる第 1 の

10

20

30

40

50

光束 L 1 の光路中の上記回折格子 1 5 C の前後に第 1 の反射部として機能する 2 つの第 1 の反射鏡 1 4 A、1 4 B が設けられており、上記偏光ビームスプリッタ 1 2 によって分割されて上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に入射されて反射された上記第 1 の光束 L 1 と、上記第 3 の反射部として機能する戻り用反射鏡ブロック 1 9 の第 1 の反射面 1 9 A により反射されて戻されて上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に戻され該被測定部材 1 の被測定面 1 a により反射された上記第 1 の光束 L 1 を 2 つの第 1 の反射鏡 1 4 A、1 4 B により反射して上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に再度入射させるようになっている。

【 0 0 9 8 】

なお、この変位検出装置 1 0 0 D において、上記変位検出装置 1 0 0 と共通する構成要素については、図中に同一の符号を付して重複した説明を省略する。

10

【 0 0 9 9 】

この変位検出装置 1 0 0 D では、光源 1 0 から出射された測定光 L 0 がレンズ 1 1 A によりコリメートされ平行光として偏光ビームスプリッタ 1 2 に入射され、偏光ビームスプリッタ 1 2 により物体光である第 1 の光束 L 1 と、参照光である第 2 の光束 L 2 に分割される。

【 0 1 0 0 】

偏光ビームスプリッタ 1 2 で分割された第 1 の光束 L 1 は、第 1 の位相板 1 3 を介して被測定部材 1 の被測定面 1 a における第 1 の照射スポット P c 1 に入射される。

【 0 1 0 1 】

上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に入射された第 1 の光束 L 1 は、該被測定部材 1 の被測定面 1 a で反射されて第 1 の反射部として機能する第 1 の反射鏡 1 4 A に入射される。

20

【 0 1 0 2 】

この第 1 の反射鏡 1 4 A は、上記偏光ビームスプリッタ 1 2 によって分割されて上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に入射されて反射された上記第 1 の光束 L 1 を反射して上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に再度入射させる第 1 の反射部として機能する。

【 0 1 0 3 】

そして、上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に再入射された上記第 1 の光束 L 1 が上記被測定部材 1 の被測定面 1 a で反射されて透過型の回折格子 1 5 C に入射される。

回折格子 1 5 C は、入射された光を透過させ、かつ回折する透過型の回折格子である。

【 0 1 0 4 】

すなわち、この変位検出装置 1 0 0 D では、上記変位検出装置 1 0 0 における反射型の回折格子 1 5 に替えて上記透過型の回折格子 1 5 C が設けられている。

30

【 0 1 0 5 】

そして、この透過型の回折格子 1 5 C に入射された第 1 の光束 L 1 は、当該透過型の回折格子 1 5 C を透過し、かつ 1 回回折されて、被測定部材 1 の被測定面 1 a に入射される。

【 0 1 0 6 】

上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に入射された第 1 の光束 L 1 は、該被測定部材 1 の被測定面 1 a で反射されて第 1 の反射部として機能する第 2 の反射鏡 1 4 B に入射される。

【 0 1 0 7 】

この第 1 の反射鏡 1 4 B は、上記被測定部材 1 の被測定面 1 a により反射されて入射された上記第 1 の光束 L 1 を反射して上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に再度入射させる第 1 の反射部として機能する。

40

【 0 1 0 8 】

すなわち、この変位検出装置 1 0 0 D は、透過型の回折格子 1 5 C を透過させる第 1 の光束 L 1 の光路中の上記回折格子 1 5 C の前後に第 1 の反射部として機能する 2 つの第 1 の反射鏡 1 4 A、1 4 B が設けられており、上記偏光ビームスプリッタ 1 2 によって分割されて上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に入射されて反射された上記第 1 の光束 L 1 と、上記第 3 の反射部として機能する戻り用反射鏡ブロック 1 9 の第 1 の反射面 1 9 A により反射されて戻されて上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に戻され該被測定部材 1 の被測定面

50

1 a により反射された上記第 1 の光束 L 1 を 2 つの第 1 の反射鏡 1 4 A、1 4 B により反射して上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に再度入射させるようになっている。

【0109】

上記第 1 の反射鏡 1 4 B により反射された第 1 の光束 L 1 は、上記被測定部材 1 の被測定面 1 a における上記第 1 の照射スポット P c 1 と異なる第 2 の照射スポット P d 1 に入射され、この被測定面 1 a で反射されて戻り用反射鏡ブロック 1 9 の第 1 の反射面 1 9 A に入射される。

【0110】

また、偏光ビームスプリッタ 1 2 で分割された第 2 の光束 L 2 は、第 2 の位相板 1 6 と光路長調整プリズム 1 8 a を介して第 2 の反射鏡 1 7 に入射され、この第 2 の反射鏡 1 7 を介して被測定部材 1 の被測定面 1 a における第 1 の照射スポット S c 1 に入射され、この被測定面 1 a で反射されて透過型の回折格子 1 5 C に入射される。

【0111】

そして、この透過型の回折格子 1 5 C に入射された第 2 の光束 L 2 は、当該透過型の回折格子 1 5 C を透過し、かつ 1 回回折されて、第 2 の反射鏡 1 7 の反射面における上記第 1 の照射スポット S c 1 と異なる第 2 の照射スポット S d 1 に入射され、この反射面で反射されて戻り用反射鏡ブロック 1 9 の第 2 の反射面 1 9 B に入射される。

【0112】

戻り用反射鏡ブロック 1 9 は、第 1 の反射面 1 9 A と第 2 の反射面 1 9 B とを有する略三角形のミラーである。第 1 の反射面 1 9 A は、被測定部材 1 の被測定面 1 a で反射されて入射された第 1 の光束 L 1 を反射して入射したときと同じ光路で被測定部材 1 の被測定面 1 a と透過型の回折格子 1 5 C を介して偏光ビームスプリッタ 1 2 に戻す。また、第 2 の反射面 1 9 B は、第 2 の反射鏡 1 7 の反射面で反射されて入射された第 2 の光束 L 2 を反射して入射したときと同じ光路で第 2 の反射鏡 1 7 の反射面と透過型の回折格子 1 5 C を介して偏光ビームスプリッタ 1 2 に戻す。すなわち、上記戻り用反射鏡ブロック 1 9 は、第 1 の反射面 1 9 A と第 2 の反射面 1 9 B に入射された第 1 の光束 L 1 と第 2 の光束 L 2 を反射して元の光路に戻す第 3 の反射部として機能する。

【0113】

この変位検出装置 1 0 0 D において、戻り用反射鏡ブロック 1 9 は、第 1 の光束 L 1 の光路長と、第 2 の光束 L 2 の光路長が等しくなるように配置される。また、この戻り用反射鏡ブロック 1 9 は、被測定部材 1 の被測定面 1 a の測定方向 Z に可動部 1 8 C により移動させることができるようになっている。上記可動部 1 8 C には、ステージや板バネやピエゾ素子が用いられる。また、上記可動部 1 8 C を温度調節し、物体の温度膨張を利用して移動させても良い。

【0114】

すなわち、この変位検出装置 1 0 0 D は、上記可動部 1 8 C により戻り用反射鏡ブロック 1 9 を被測定部材 1 の被測定面 1 a の測定方向 Z に移動させることによって、第 1 の光束 L 1 と第 2 の光束 L 2 の光路長を調整する光路長調整手段を備えている。この変位検出装置 1 0 0 D では、上記光路長調整手段によって、第 1 の光束 L 1 の光路長と第 2 の光束 L 2 の光路長を調整することで、被測定部材 1 が積層された反射面であっても、各層の境界面からの第 1 の光束 L 1 に光路長を調整して、測定対象の境界面を選択して検出することができる。

【0115】

そして、この変位検出装置 1 0 0 D では、被測定部材 1 の被測定面 1 a 及び反射鏡 1 8 により反射されて透過型の回折格子 1 5 C を介して偏光ビームスプリッタ 1 2 に戻ってきた重ね合わせされた第 1 の光束 L 1 及び第 2 の光束 L 2 を相対位置検出部 2 0 の受光部 2 0 A で受光することにより、上記変位検出装置 1 0 0 と同様に、上記受光部 2 0 A により得られる光検出力に基づいて上記被測定面 1 a の上記測定方向 Z の相対位置情報を相対位置情報出力部 2 0 B から出力する。

【0116】

10

20

30

40

50

ここで、この変位検出装置 100D において、透過型の回折格子 15C は、被測定部材 1 の被測定面 1a に対して略垂直に配置されており、図 13 に示すように、被測定面 1a における第 1 の照射スポット Pc1 に入射角 θ_1 で入射した第 1 の光束 L1 が入射角 $\theta_1 / 2 - \alpha$ で入射される。また、第 1 の光束 L1 は、戻り用反射鏡ブロック 19 の第 1 の反射面 19A により反射されて被測定部材 1 の被測定面 1a における第 2 の照射スポット Pd1 に入射角 θ_2 で入射される。

【0117】

また、回折格子 15C の格子ピッチ d は、回折角が回折格子 15C への入射角とほぼ等しくなるように設定されることが好ましい。すなわち、回折格子 15C の格子ピッチ d は、上述したように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 が入射される被測定部材 1 の被測定面 1a 上の第 1 の照射スポット Pc1 における入射角を θ_1 、第 2 の照射スポット Pc2 における入射角を θ_2 、波長 λ とすると、次の式 2 を満たす。

【0118】

$$d \sin \theta_1 = n \lambda (\sin(\theta_1 / 2 - \alpha) + \sin(\theta_1 / 2 - \beta)) \quad \dots \text{式 2}$$

【0119】

なお、 n は、正の次数である。

【0120】

回折格子 15C への入射角と回折角が等しくなる場合、第 1 の照射スポット Pc1 と第 2 の照射スポット Pd1 は、回折格子 15C に対して対称に構成することができる。そして、式 2 は、次の式 3 にて示すことができる。

【0121】

$$d \sin \theta_1 = n \lambda \sin \theta_1 \quad \dots \text{式 3}$$

【0122】

なお、 θ_1 は、回折格子 15C の入射角及び回折角である。

【0123】

すなわち、ブラッグ条件を満たすことができ、回折格子 15C によって回折される回折光を強めることが可能となる。

【0124】

また、角度 θ_2 で被測定部材 1 の被測定面 1a に入射した第 1 の光束 L1 は、被測定部材 1 の被測定面 1a により反射され、戻り用反射鏡ブロック 19 の第 1 の反射面 19A に入射し、この第 1 の反射面 19A で反射されて、行きと同じ光路をたどり、再び被測定部材 1 の被測定面 1a の第 2 の照射スポット Pd1 に入射角 θ_2 で入射される。

【0125】

さらに、被測定部材 1 の被測定面 1a によって反射した第 1 の光束 L1 は、回折格子 15C に角度 $\theta_1 / 2 - \beta$ で再び入射される。なお、第 1 の光束 L1 における 2 回目の回折は、式 1 の条件により回折角 $\theta_1 / 2 - \alpha$ で回折される。そして、回折格子 15C によって回折された第 1 の光束 L1 は、再び被測定部材 1 の被測定面 1a の第 1 の照射スポット Pc1 に入射角 θ_1 で入射される。そのため、被測定部材 1 の被測定面 1a によって反射された戻りの第 1 の光束 L1 の光路が、偏光ビームスプリッタ 12 によって分割された行きの第 1 の光束 L1 の光路と重なり合う。

【0126】

また、被測定部材 1 の被測定面 1a 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、第 1 の照射スポット Pc1 から第 1 の照射スポット Pc2 に移動する。また、被測定部材 1 の被測定面 1a における第 1 の照射スポット Pc1、Pc2 で反射された第 1 の光束 L1 は、回折格子 15C の回折位置 T1 から回折位置 T2 に移動する。さらに、回折格子 15C によって 1 回目の回折が行われた第 1 の光束 L1 は、被測定部材 1 の被測定面 1a における第 2 の照射スポット Pd1 から第 2 の照射スポット Pd2 に移動する。

【0127】

ここで、回折格子 15C は、被測定部材 1 の被測定面 1a に対して略直角に配置されて

10

20

30

40

50

おり、回折位置 T 1 と回折位置 T 2 の間隔は、第 1 の照射スポット P c 1 と第 1 の照射スポット P c 2 の間隔の 2 倍の z となる。すなわち、回折格子 1 5 C 上を移動する第 1 の光束 L 1 の移動量は、被測定部材 1 を移動した際の 4 倍の $4z$ となる。

【 0 1 2 8 】

また、回折格子 1 5 C が被測定部材 1 の被測定面 1 a に対して略直角に配置されており、第 1 の光束 L 1 の光路長は、被測定部材 1 が高さ方向に変位しても、常に一定となる。すなわち、第 1 の光束 L 1 の波長は、変化しない。そして、被測定部材 1 が高さ方向に変位すると、回折格子 1 5 C に入射する位置だけが変化する。

【 0 1 2 9 】

なお、第 2 の反射鏡 1 7 に照射された第 2 の光束 L 2 においても、第 1 の光束 L 1 と同様であるため、その説明は省略する。

10

【 0 1 3 0 】

この変位検出装置 1 0 0 D では、第 1 の光束 L 1 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 L 1 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 1 5 C 上における第 1 の光束 L 1 の移動量を示している。つまり、被測定部材 1 が高さ方向に対して $z/2$ だけ移動すると、第 1 の光束 L 1 は回折格子 1 5 C 上では 4 倍の $2z$ だけ移動する。さらに、2 回回折することで、第 1 の光束 L 1 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相対位置検出部 2 0 の受光部 2 0 A によって受光される。

【 0 1 3 1 】

20

すなわち、上記受光部 2 0 A の第 1 の受光素子 2 6 と第 2 の受光素子 2 7 では、 $\cos(2Kz + \phi)$ の干渉信号を得ることができる。また、第 3 の受光素子 2 8 と第 4 の受光素子 2 9 では、 $\cos(2Kz + \phi')$ の干渉信号を得ることができる。

【 0 1 3 2 】

よって、この変位検出装置 1 0 0 D では、回折格子 1 5 C の格子ピッチと上述の変位検出装置 1 0 0 における回折格子 1 5 の格子ピッチが同じ場合、上記変位検出装置 1 0 0 よりも 4 倍の分解能とすることができる。

【 0 1 3 3 】

例えば、回折格子 1 5 C の格子ピッチ λ を $0.5515 \mu\text{m}$ 、波長 λ を 780 nm 、回折格子 1 4 C の入射角及び回折角を 45° に設定したとき、被測定部材 1 の被測定面 1 a を高さ方向に $0.5515 \mu\text{m}$ だけ移動した場合、第 1 の光束 L 1 は、回折格子 1 4 C 上を $0.5515 \mu\text{m}$ の 4 倍、すなわち 4 ピッチ分移動する。さらに、第 1 の光束 L 1 は、2 回回折されるため、4 回の光の明暗を相対位置検出部 2 0 の受光部 2 0 A によって得ることができる。すなわち、得られる信号の 1 周期は、 $0.5515 \mu\text{m} / 8 = 0.068938 \mu\text{m}$ となる。

30

【 0 1 3 4 】

また、この変位検出装置 1 0 0 D では、一台の光学系で第 1 の光束 L 1 を被測定部材 1 の被測定面 1 a における第 1 の照射スポット P c 1 と第 2 の照射スポット P d 1 の 2 箇所

に照射しているので、1 台の光学系で、測定ポイントをキャンセルすることができる。

さらに、上述したような構成にすることで、被測定部材 1 の被測定面 1 a がチルトしても、第 1 の照射スポット P c 1 に照射するときと第 2 の照射スポット P d 1 に照射するときによってチルトを打ち消すことができる。そのため、第 1 の光束 L 1 の光路長に変化が生じ難くなり、第 1 の光束 L 1 の光路長と、第 2 の光束 L 2 の光路長との差を小さくすることができる。

40

【 0 1 3 6 】

このような構成の変位検出装置 1 0 0 D では、可動部 1 8 C により戻り用反射鏡ブロック 1 9 を被測定部材 1 の被測定面 1 a の測定方向 Z に移動させる光路長調整手段によって、第 1 の光束 L 1 の光路長と第 2 の光束 L 2 の光路長を調整することで、被測定部材 1 が積層された反射面であっても、各層の境界面からの第 1 の光束 L 1 に光路長を調整して、

50

測定対象の境界面を選択して $L2 = L1$ の条件が成立する被測定面 1 a を検出することができ、しかも、透過型の回折格子 15 に入射される被測定部材 1 の被測定面 1 a によって反射された第 1 の光束 $L1$ を反射して上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に再度入射させる第 1 の反射部として機能する第 1 の反射ミラー 14 A, 14 B を備えることにより、上記被測定部材 1 の被測定面 1 a 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。

【0137】

ここで、上記変位検出装置 100 D においても、第 1 の反射部として機能する第 1 の反射ミラー 14 A, 14 B により、第 1 の光束 $L1$ を 1 回だけ反射して被測定部材 1 の被測定面 1 a に再入射させるようにしたが、上記被測定部材 1 の被測定面 1 a との間で上記第 1 の光束 $L1$ を 2 回以上反射させて上記被測定部材 1 の被測定面 1 a に複数回再入射させることにより、さらに高い分解能で上記被測定部材 1 の被測定面 1 a 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。

10

【符号の説明】

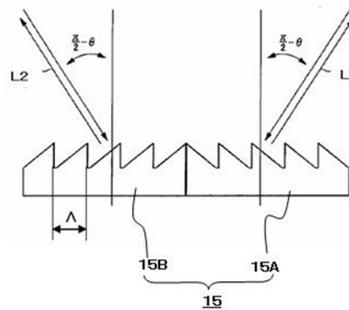
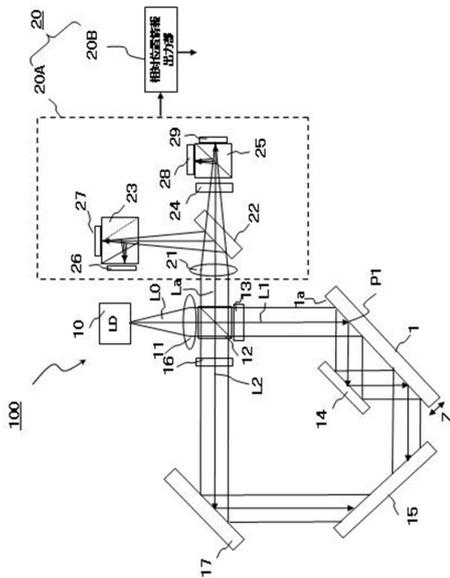
【0138】

1, 1 A, 1 B, 1 C, 1 D, 1 E 被測定部材、1 a 被測定面、2 基板、3 反射膜、10 光源、11 レンズ、12 偏光ビームスプリッタ、13, 16 位相板、14, 14 A, 14 B 第 1 の反射鏡、15, 15 A, 15 B, 15 C 回折格子、17 第 2 の反射鏡、18 a 光路長調整プリズム、18 b, 18 A, 18 B, 18 C 可動部、19 戻り用反射鏡ブロック、19 A, 19 B 反射面、20 相対位置検出部、20 A 受光部、20 B 相対位置情報出力部、21 集光レンズ、22 ハーフミラー、23, 25 偏光ビームスプリッタ、24, 223 位相板、26 ~ 29 受光素子、61 a, 61 b 差動増幅器、62 a, 62 b 第 1 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, 100 A, 100 B, 100 C, 100 D, 変位検出装置

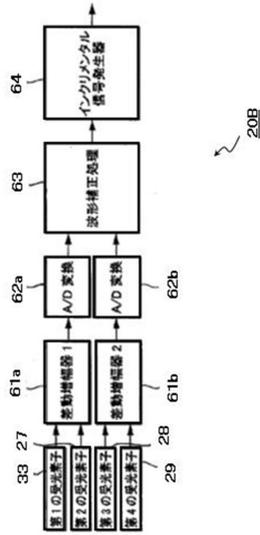
20

【図 1】

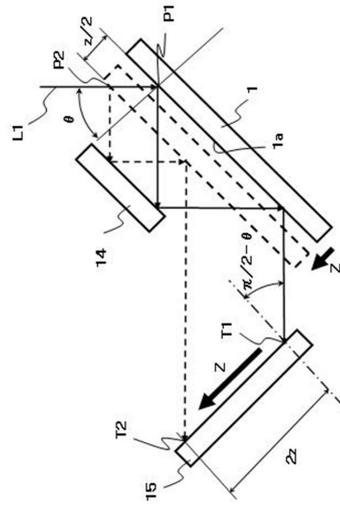
【図 2】



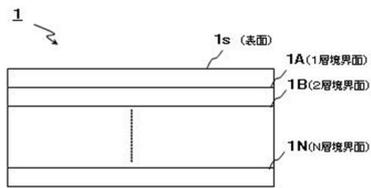
【 図 3 】



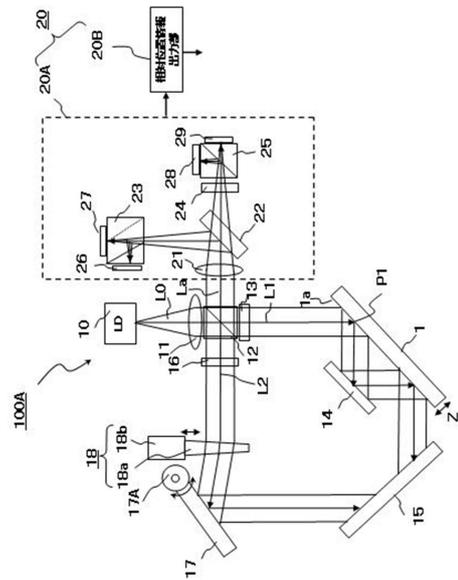
【 図 4 】



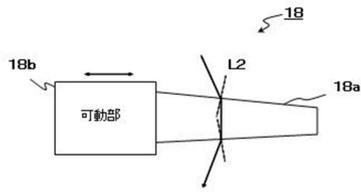
【 図 5 】



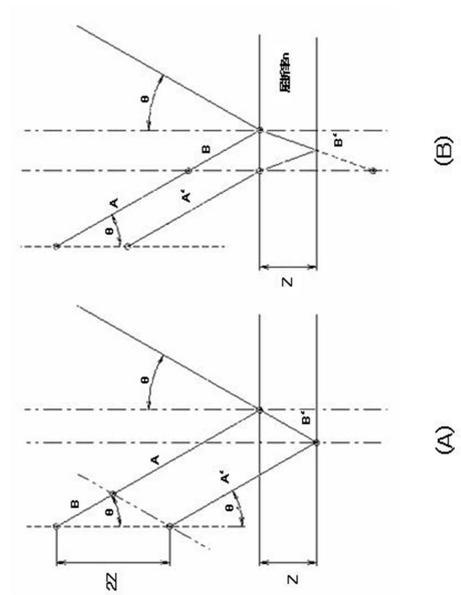
【 図 6 】



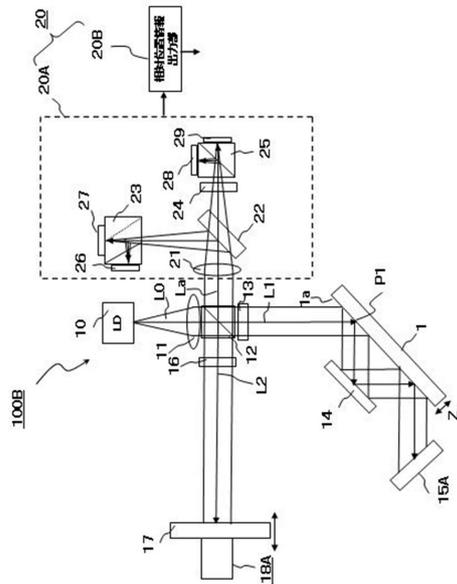
【図7】



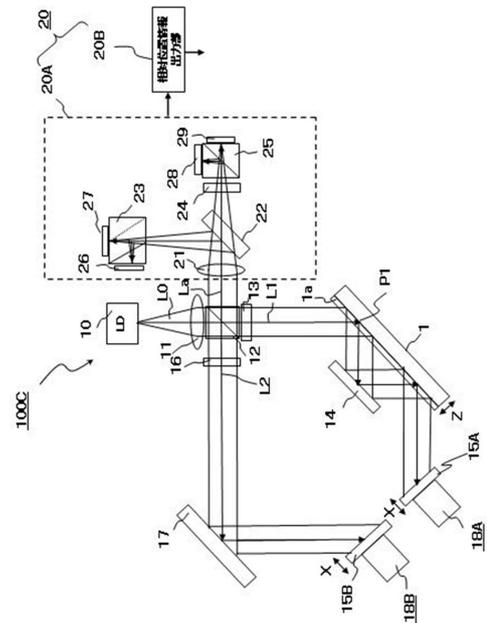
【図8】



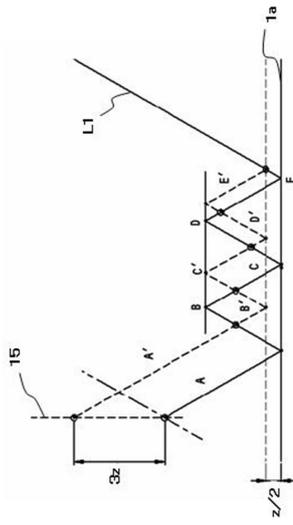
【図9】



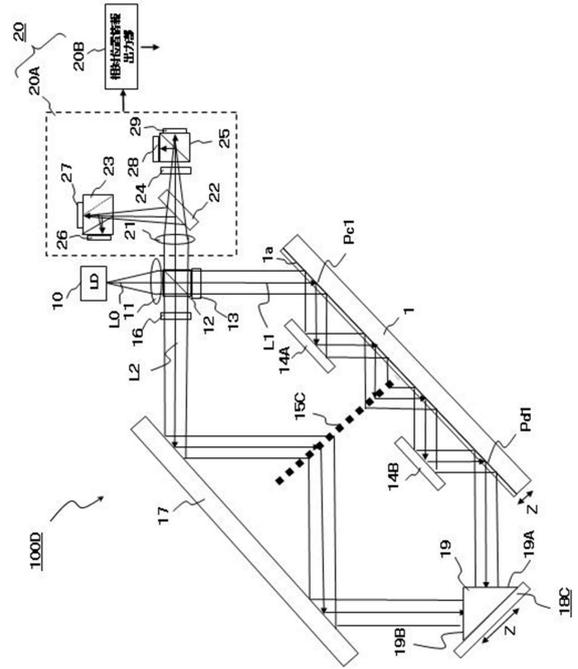
【図10】



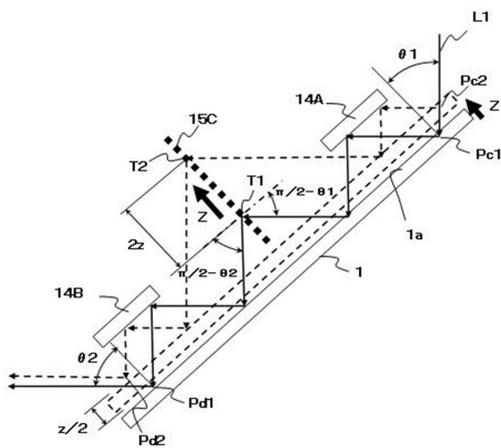
【図 1 1】



【図 1 2】



【図 1 3】



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 神谷 健一

(56)参考文献 米国特許第03809481(US,A)
特開平04-142405(JP,A)
特開2006-106000(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01B 9/00-11/30