(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号
WO2013/073538

発行日 平成27年4月2日 (2015.4.2)

(43) 国際公開日 **平成25年5月23日(2013.5.23)**

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)
G01D 5/38		***(2006.01)***	G01D	5/38	A	2F065
G03F 7/20		***(2006.01)***	G03F	7/20	521	2F103
H01L 21/027		***(2006.01)***	H01L	21/30	516B	5F146
G01B 11/00		***(2006.01)***	H01L	21/30	515G	
			G01B	11/00	G	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 29 頁)

出願番号	特願2013-544274 (P2013-544274)
(21) 国際出願番号	PCT/JP2012/079432
(22) 国際出願日	平成24年11月13日 (2012.11.13)
(31) 優先権主張番号	特願2011-251986 (P2011-251986)
(32) 優先日	平成23年11月17日 (2011.11.17)
(33) 優先権主張国	日本国(JP)

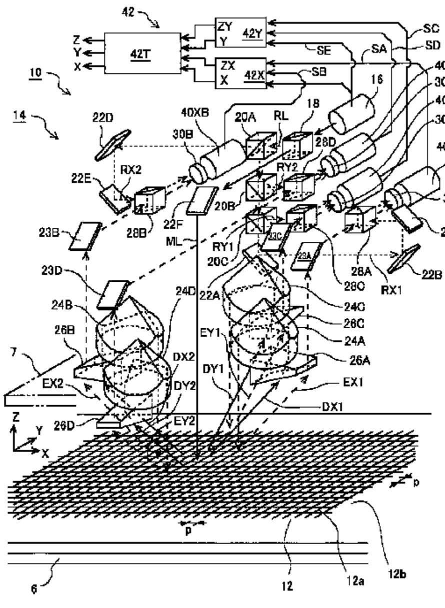
(71) 出願人 000004112
株式会社ニコン
東京都千代田区神田駿河台四丁目６番地
(74) 代理人 100098165
弁理士 大森 聡
(72) 発明者 劉 志強
東京都千代田区有楽町一丁目１２番１号
株式会社ニコン内

Fターム(参考) 2F065 AA04 AA07 BB02 CC20 DD03 DD04 FF48 FF51 GG05 GG06 LL17 LL42 LL46 LL59 PP04 PP12

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】エンコーダ装置、移動量計測方法、光学装置、並びに露光方法及び装置

(57)【要約】
第１部材に対する第２部材の相対移動量を計測するエンコーダであって、第１部材に設けられた回折格子と、計測光を回折格子の格子パターン面に概ね垂直に入射させる入射用光学部材と、第２部材に設けられて回折格子から発生する回折光を反射する第１反射部材と、回折光の方向を変更する第１方向変更部材と、回折格子から回折光によって発生する再回折光と他の回折光又は参照光との干渉光を検出する第１光電検出器と、第１光電検出器の検出信号を用いて前記第２部材の相対移動量を求める計測部とを備える。エンコーダは、回折格子を用いて計測する際に、格子パターン面の高さ変化に対する干渉光の信号強度の低下を抑制する。



【特許請求の範囲】
【請求項１】
　第１部材に対して少なくとも第１方向に相対移動する第２部材の相対移動量を計測するエンコーダ装置であって、
　前記第１部材及び前記第２部材の一方の部材に設けられ、少なくとも前記第１方向を周期方向とする格子パターンを有する反射型の回折格子と、
　計測光を発生する光源部と、
　前記計測光を前記回折格子の格子パターン面に概ね垂直に入射させる入射用光学部材と、
　前記第１部材及び前記第２部材の他方の部材に設けられるとともに、前記回折格子から前記計測光によって前記第１方向に関して発生する第１回折光を、３つの反射面を介して反射する第１反射部材と、
　前記回折格子と前記第１反射部材との間に配置されて、前記第１回折光が前記回折格子に入射するときの入射角が前記第１回折光の回折角よりも小さくなるように前記第１回折光の方向を変更する第１方向変更部材と、
　前記回折格子から前記第１回折光によって発生する再回折光と他の回折光又は参照光との干渉光を検出する第１光電検出器と、
　前記第１光電検出器の検出信号を用いて前記第２部材の相対移動量を求める計測部と、
を備えるエンコーダ装置。
【請求項２】
　前記第１反射部材は入射面を有し、
　前記入射面は、前記入射面に入射する前記第１回折光の光路に概ね垂直に設けられている請求項１に記載のエンコーダ装置。
【請求項３】
　前記第１方向変更部材は、前記第１回折光が前記回折格子に概ね垂直に入射されるように、前記第１回折光の方向を変更する請求項１に記載のエンコーダ装置。
【請求項４】
　前記第１方向変更部材は、入射面及び射出面を持つプリズムである請求項１に記載のエンコーダ装置。
【請求項５】
　前記プリズムの入射光に対する振れ角は前記第１回折光の回折角と実質的に同じであり、前記プリズムの入射光の振れ角の入射角に対する変化率は、前記回折格子による前記第１回折光の回折角の入射角に対する変化を低減するように定められている請求項４に記載のエンコーダ装置。
【請求項６】
　前記プリズムは、前記再回折光を前記光電検出器に導く請求項４に記載のエンコーダ装置。
【請求項７】
　前記第１方向変更部材は、前記第１方向に関して前記反射型の回折格子と同じ周期を持つ反射型でブレーズド型の１次元回折格子である請求項１に記載のエンコーダ装置。
【請求項８】
　前記第１方向変更部材は、前記第１回折光の光路上であって、前記第１反射部材の下流側に設けられている請求項１に記載のエンコーダ装置。
【請求項９】
　前記第１方向変更部材は、前記第１回折光の光路上であって、前記第１反射部材の上流側に設けられている請求項１に記載のエンコーダ装置。
【請求項１０】
　前記他方の部材に設けられるとともに、前記回折格子から前記計測光によって前記第１方向に関して前記第１回折光と対称に発生する第２回折光を、３つの反射面を介して反射する第２反射部材と、

前記回折格子と前記第２反射部材との間に配置されて、前記第２回折光が前記回折格子に入射するときの入射角が前記第２回折光の回折角よりも小さくなるように前記第２回折光の方向を変更する第２方向変更部材と、

前記回折格子から前記第２回折光によって発生する再回折光と他の回折光又は参照光との干渉光を検出する第２光電検出器と、を備え、

前記計測部は、前記第１及び第２光電検出器の検出信号を用いて前記第２部材の相対移動量を求める請求項１に記載のエンコーダ装置。

【請求項１１】

前記回折格子は、前記第１方向及びこの第１方向に直交する第２方向を周期方向とする２次元の反射型の回折格子であり、

前記他方の部材に設けられるとともに、前記回折格子から前記計測光によって前記第２方向に関して対称に発生する第３及び第４回折光を、それぞれ３つの反射面を介して反射する第３及び第４反射部材と、

前記回折格子と前記第３及び第４反射部材との間に配置されて、それぞれ前記第３及び第４回折光が前記回折格子に入射するときの入射角が前記第３及び第４回折光の回折角よりも小さくなるように前記第３及び第４回折光の方向を変更する第３及び第４方向変更部材と、

前記回折格子から前記第３及び第４回折光によって発生する再回折光と他の回折光又は参照光との干渉光を検出する第３及び第４光電検出器と、を備え、

前記計測部は、前記第１から第４光電検出器の検出信号を用いて前記第２部材の相対移動量を求める請求項１０に記載のエンコーダ装置。

【請求項１２】

前記第１から第４反射部材はそれぞれコーナーキューブであり、

前記４つのコーナーキューブの表面は前記回折格子の格子パターン面にほぼ平行である請求項１１に記載のエンコーダ装置。

【請求項１３】

前記光源部は、前記計測光とこの計測光と可干渉性な参照光とを出力する光源と、前記参照光を第１から第４参照光に分岐する分岐光学系とを有し、

前記第１から第４光電検出器はそれぞれ前記第１から第４回折光と前記第１から第４参照光との干渉光を検出する請求項１１に記載のエンコーダ装置。

【請求項１４】

前記他の回折光又は前記参照光は、前記計測光とは周波数の異なる光である請求項１に記載のエンコーダ装置。

【請求項１５】

第１部材に対して少なくとも第１方向に相対移動する第２部材の相対移動量を計測する移動量計測方法であって、

前記第１部材及び前記第２部材の一方の部材に設けられ、少なくとも前記第１方向を周期方向とする格子パターンを有する反射型の回折格子の格子パターン面に、計測光を、概ね垂直に入射することと、

前記回折格子から、前記第１方向に関して発生する第１回折光を、３つの反射面を介して反射することと、

前記発生した第１回折光が、前記回折格子に入射するときの入射角が、前記計測光により発生した前記第１回折光の回折角よりも小さくなるように、前記第１回折光の方向を変更することと、

前記回折格子から前記第１回折光によって発生する再回折光と他の回折光又は参照光との干渉光を検出することと、

前記干渉光の検出に基いて、前記第２部材の相対移動量を求めることとを含む移動量計測方法。

【請求項１６】

前記３つの反射面の入射側または射出側に配置した光学部材により、前記第１回折光が

前記回折格子に概ね垂直に入射されるように、前記第１回折光の方向を変更する請求項１５に記載の移動量計測方法。

【請求項１７】

請求項１に記載のエンコーダ装置と、

前記エンコーダ装置の計測結果に基づいて対象物を移動する移動装置と、

前記対象物用の光学系と、を備える光学装置。

【請求項１８】

パターンを被露光体に露光する露光装置であって、

フレームと、

前記被露光体を支持するとともに前記フレームに対して少なくとも第１方向に相対移動可能なステージと、

前記第１方向への前記ステージの相対移動量を計測するための請求項１に記載のエンコーダ装置と、を備える露光装置。

【請求項１９】

前記ステージは、前記被露光体の周囲にプレートを保持し、

前記回折格子は、前記プレートに形成されている請求項１８に記載の露光装置。

【請求項２０】

パターンを被露光体に露光する露光方法であって、

前記被露光体をステージにより支持することと、

前記ステージのフレームに対する相対移動量を請求項１５に記載の移動量計測方法を用いて計測することと、

前記被露光体を露光することと、を含む露光方法。

【請求項２１】

リソグラフィ工程を含むデバイス製造方法であって、

前記リソグラフィ工程で、請求項１８に記載の露光装置を用いて物体を露光するデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、相対移動する部材間の相対移動量を計測するエンコーダ装置及び移動量計測方法、このエンコーダ装置を備えた光学装置及び露光装置、その移動量計測方法を用いた露光方法、及びその露光装置又は露光方法を用いたデバイス製造方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

半導体素子等の電子デバイス（マイクロデバイス）を生産するためのフォトリソグラフィ工程で用いられる、いわゆるステッパー又はスキャニングステッパーなどの露光装置においては、従来より、露光対象の基板を移動するステージの位置計測はレーザ干渉計によって行われていた。ところが、レーザ干渉計では、計測用ビームの光路が長く、かつ変化するため、その光路上の雰囲気の温度揺らぎに起因する計測値の短期的な変動が無視できなくなりつつある。

【０００３】

そこで、例えばステージに固定された回折格子にレーザ光よりなる計測光を照射し、回折格子から発生する回折光と他の回折光又は参照光との干渉光を光電変換して得られる検出信号から、その回折格子が設けられた部材（ステージ等）の相対移動量を計測する、いわゆるエンコーダ装置（干渉型エンコーダ）も使用されつつある（例えば特許文献１参照）。このエンコーダ装置は、レーザ干渉計に比べて計測値の短期的安定性に優れるとともに、レーザ干渉計に近い分解能が得られるようになってきている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

【特許文献１】国際公開第２００８／０２９７５７号パンフレット
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
従来のエンコーダ装置は、回折格子から発生する回折光を平面ミラー等で反射しているため、回折格子の格子パターン面の高さが変化すると、その回折光が他の回折光又は参照光に対して相対的にシフトして、干渉光の信号強度が低下する恐れがあった。
本発明の態様は、このような課題に鑑み、回折格子を用いて相対移動量を計測する際に、格子パターン面の高さ変化が生じたときの干渉光の信号強度の低下を抑制することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
本発明の第１の態様によれば、第１部材に対して少なくとも第１方向に相対移動する第２部材の相対移動量を計測するエンコーダ装置が提供される。このエンコーダ装置は、その第１部材及びその第２部材の一方の部材に設けられ、少なくともその第１方向を周期方向とする格子パターンを有する反射型の回折格子と、計測光を発生する光源部と、その計測光をその回折格子の格子パターン面に概ね垂直に入射させる入射用光学部材と、その第１部材及びその第２部材の他方の部材に設けられるとともに、その回折格子からその計測光によってその第１方向に関して発生する第１回折光を、３つの反射面を介して反射する第１反射部材と、その回折格子とその第１反射部材との間に配置されて、その第１回折光がその回折格子に入射するときの入射角がその第１回折光の回折角よりも小さくなるようにその第１回折光の方向を変更する第１方向変更部材と、その回折格子からその第１回折光によって発生する再回折光と他の回折光又は参照光との干渉光を検出する第１光電検出器と、その第１光電検出器の検出信号を用いてその第２部材の相対移動量を求める計測部と、を備えるものである。
【０００７】
また、第２の態様によれば、第１部材に対して少なくとも第１方向に相対移動する第２部材の相対移動量を計測する移動量計測方法が提供される。この移動量計測方法は、その第１部材及びその第２部材の一方の部材に設けられ、少なくともその第１方向を周期方向とする格子パターンを有する反射型の回折格子の格子パターン面に、計測光を、概ね垂直に入射することと、その回折格子から、その第１方向に関して発生する第１回折光を、３つの反射面を介して反射することと、その発生した第１回折光が、その回折格子に入射するときの入射角が、その第１回折光の回折角よりも小さくなるように、その第１回折光の方向を変更することと、その回折格子からその第１回折光によって発生する再回折光と他の回折光又は参照光との干渉光を検出することと、その干渉光の検出に基いて、その第２部材の相対移動量を求めることと、を含むものである。
【０００８】
また、第３の態様によれば、その第１の態様のエンコーダ装置と、そのエンコーダ装置の計測結果に基づいて対象物を移動する移動装置と、その対象物用の光学系と、を備える光学装置が提供される。
また、第４の態様によれば、パターンを被露光体に露光する露光装置が提供される。この露光装置は、フレームと、その被露光体を支持するとともにそのフレームに対して少なくとも第１方向に相対移動可能なステージと、その第１方向へのステージの相対移動量を計測するためのその第１の態様のエンコーダ装置と、を備えるものである。
【０００９】
また、第５の態様によれば、パターンを被露光体に露光する露光方法が提供される。この露光方法は、被露光体をステージにより支持することと、そのステージのフレームに対する相対移動量を第２の態様の移動量計測方法を用いて計測することと、その被露光体を露光することと、を含むものである。
また、第６の様態によれば、リソグラフィ工程を含み、そのリソグラフィ工程でその第

４の態様の露光装置又はその第５の態様の露光方法を用いて物体を露光するデバイス製造方法が提供される。

【発明の効果】

【００１０】

本発明の態様によれば、その第１回折光がその回折格子に入射するときの入射角が回折角よりも小さくなるようにその第１回折光の方向を変更する第１方向変更部材を備えているため、その第１部材とその第２部材との相対位置が変化して、その第１反射部材に対するその回折格子の格子パターン面の相対的な高さが変化しても、その第１回折光によるその回折格子からの再回折光の光路の変動が低減されて、その再回折光と他の光束との相対的なシフト量が低減される。従って、回折格子の格子パターン面の高さの変化に対して干渉光の信号強度の低下を抑制でき、計測精度を高く維持できる。

【図面の簡単な説明】

【００１１】

【図１】第１の実施形態に係るエンコーダを示す斜視図である。

【図２】（Ａ）は図１のエンコーダにおけるＸ方向の±１次回折光の光路を示す図、（Ｂ）はＹ方向の±１次回折光の光路を示す図である。

【図３】（Ａ）は図１のエンコーダにおいて格子パターン面の相対的な高さが変化したときの回折光の光路の変化を示す図、（Ｂ）は格子パターン面が相対的に傾斜したときの回折光の光路の変化を示す図である。

【図４】第１変形例に係るエンコーダの一部を示す図である。

【図５】（Ａ）は第２変形例に係るエンコーダの一部を示す図、（Ｂ）は第２変形例において格子パターン面が相対的に傾斜したときの回折光の光路の変化を示す図である。

【図６】第２の実施形態に係る露光装置の概略構成を示す図である。

【図７】図６のウエハステージに設けられた回折格子及び複数の検出ヘッドの配置の一例を示す平面図である。

【図８】図６の露光装置の制御系を示すブロック図である。

【図９】計測方法及び露光方法の一例を示すフローチャートである。

【図１０】電子デバイスの製造方法の一例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【００１２】

［第１の実施形態］

本発明の第１の実施形態につき図１～図３（Ｂ）を参照して説明する。図１は本実施形態に係る３軸のエンコーダ１０の要部を示す斜視図である。図１において、一例として、第１部材６に対して第２部材７は３次元的に相対移動可能に配置され、第２部材７の互いに直交する相対移動可能な２つの方向に平行にＸ軸及びＹ軸を取り、Ｘ軸及びＹ軸によって規定される平面（ＸＹ面）に直交する相対移動方向に沿ってＺ軸を取って説明する。また、Ｘ軸、Ｙ軸、及びＺ軸に平行な軸の回りの角度をそれぞれθｘ方向、θｙ方向、及びθｚ方向の角度とも呼ぶこととする。

【００１３】

図１において、エンコーダ１０は、第１部材６の上面に固定された、ＸＹ面にほぼ平行な平板状の２次元の回折格子１２と、第２部材７に固定されて回折格子１２に計測光ＭＬを照射するＸ軸、Ｙ軸、及びＺ軸（３軸）の検出ヘッド１４と、検出ヘッド１４に計測用のレーザ光を供給するレーザ光源１６と、検出ヘッド１４から出力される検出信号を処理して第１部材６に対する第２部材７のＸ方向、Ｙ方向、及びＺ方向の相対移動量を求める計測演算部４２と、を有する。

【００１４】

回折格子１２のＸＹ面にほぼ平行な格子パターン面１２ｂには、Ｘ方向及びＹ方向に所定の周期（ピッチ）ｐを持ち、位相型でかつ反射型の２次元の格子パターン１２ａが形成されている。格子パターン１２ａのＸ方向、Ｙ方向の周期ｐは、一例として１００ｎｍ～４μｍ程度（例えば１μｍ周期）である。なお、格子パターン１２ａのＸ方向、Ｙ方向の

周期が互いに異なっていてもよい。格子パターン１２ａは、例えばホログラム（例えば感光性樹脂に干渉縞を焼き付けたもの）として、又はガラス板等に機械的に溝等を形成して反射膜を被着することで作製可能である。さらに、格子パターン面１２ｂは、保護用の平板ガラスで覆われていてもよい。

【００１５】

レーザ光源１６は、例えばＨｅ－Ｎｅレーザ又は半導体レーザ等よりなり、一例として偏光方向が互いに直交するとともに互いに周波数が異なる第１及び第２の直線偏光のレーザ光よりなる２周波ヘテロダイン光を射出する。それらのレーザ光は互いに可干渉（偏光方向を平行にした場合）であり、それらの平均波長をλとする。レーザ光源１６は、それらのレーザ光から分岐した２つの光束の干渉光を光電変換して得られる基準周波数の信号（基準信号ＳＥ）を計測演算部４２に供給する。なお、ホモダイン干渉方式も使用可能である。

【００１６】

検出ヘッド１４は、レーザ光源１６から供給されたヘテロダイン光を互いに周波数が異なるＰ偏光の計測光ＭＬ及びＳ偏光の参照光ＲＬに分割する偏光ビームスプリッター（以下、ＰＢＳという。）１８と、参照光ＲＬからＸ軸の第２参照光ＲＸ２を分岐するビームスプリッター２０Ａと、ビームスプリッター２０Ａで反射された参照光からＹ軸の第２及び第１参照光ＲＹ２，ＲＹ１を順次分岐するビームスプリッター２０Ｂ，２０Ｃと、ビームスプリッター２０Ｃを透過したＸ軸の第１参照光ＲＸ１を－Ｘ方向に向けるミラー２２Ａ，２２Ｂ，２２Ｃと、Ｘ軸の第２参照光ＲＸ２を＋Ｘ方向に向けるミラー２２Ｄ，２２Ｅとを有する。計測光ＭＬ及び参照光ＲＬは例えば直径が０．５～数ｍｍ程度の円形の断面を有する。また、検出ヘッド１４は、Ｘ軸の第１及び第２参照光ＲＸ１，ＲＸ２と後述のＸ軸の＋１次回折光ＥＸ１及び＋１次とは異なる次数である－１次の回折光ＥＸ２とをそれぞれ同軸に合成するＰＢＳ（偏光ビームスプリッター）２８Ａ，２８Ｂと、ＰＢＳ２８Ａ，２８Ｂで同軸に合成された干渉光が通過する偏光板３０Ａ，３０Ｂと、偏光板３０Ａ，３０Ｂを通過した干渉光を検出するフォトダイオード等のＸ軸の光電センサ４０ＸＡ，４０ＸＢとを有する。さらに、検出ヘッド１４は、Ｙ軸の第１及び第２参照光ＲＹ１，ＲＹ２と後述のＹ軸の＋１次回折光ＥＹ１及び－１次回折光ＥＹ２とを同軸に合成するＰＢＳ（偏光ビームスプリッター）２８Ｃ，２８Ｄと、ＰＢＳ２８Ｃ，２８Ｄで同軸に合成された干渉光が通過する偏光板３０Ｃ，３０Ｄと、偏光板３０Ｃ，３０Ｄを通過した干渉光を検出するＹ軸の光電センサ４０ＹＡ，４０ＹＢ（光電センサ４０ＸＡと同じ構成）とを有する。

【００１７】

また、検出ヘッド１４は、ＰＢＳ１８を透過したＰ偏光の計測光ＭＬを反射して回折格子１２の格子パターン面１２ｂ（格子パターン１２ａ）に概ね垂直に（概ねＺ軸に平行に）入射させるミラー２２Ｆを有する。概ね垂直に入射させるとは、計測光ＭＬを格子パターン面１２ｂに垂直に入射させる場合の外に、０次光（正反射光）の影響を軽減するために、計測光ＭＬをＺ軸に平行な軸に対してＸ方向（θｙ方向）及び／又はＹ方向（θｘ方向）に例えば０．５～１．５°程度傾斜させて格子パターン面１２ｂに入射させる場合も含まれることを意味している。ＰＢＳ１８，２８Ａ～２８Ｄ、ビームスプリッター２０Ａ～２０Ｃ、ミラー２２Ａ～２２Ｆ、及び光電センサ４０ＸＡ～４０ＹＢは、第２部材７に固定された支持部材（不図示）によって支持されている。

【００１８】

本実施形態において、概ね垂直に回折格子１２の格子パターン面１２ｂに入射する計測光ＭＬによって、Ｘ方向に対称に±１次回折光ＤＸ１，ＤＸ２が発生するとともに、Ｙ方向に対称に±１次回折光ＤＹ１，ＤＹ２が発生する。そして、検出ヘッド１４は、＋１次回折光ＤＸ１の光路をほぼ＋Ｚ平行に向けるＸ軸の第１の楔型プリズム２６Ａと、楔型プリズム２６Ａを通過した回折光ＤＸ１を回折格子１２の格子パターン面１２ｂに向けて概ね垂直に反射するＸ軸の第１のコーナーキューブ２４Ａと、－１次回折光ＤＸ２の光路をほぼ＋Ｚ平行に向けるＸ軸の第２の楔型プリズム２６Ｂと、楔型プリズム２６Ｂを通過し

た回折光ＤＸ２を回折格子１２の格子パターン面１２ｂに向けて概ね垂直に反射するＸ軸の第２のコーナーキューブ２４Ｂと、後述のミラー２３Ａ，２３Ｂとを有する。楔型プリズム２６Ａ，２６Ｂは、回折格子１２に入射する計測光ＭＬに関して対称に配置された互いに同じ形状で入射面及び射出面（２面）を持つプリズムである。コーナーキューブ２４Ａ，２４Ｂは、その計測光ＭＬに関して対称に配置された互いに同じ形状で、入射面及び互いに直交する３つの反射面を持つ光学部材であり、コーナーキューブ２４Ａ，２４Ｂは、その入射面がＸＹ面に平行になるように（入射する±１次回折光ＤＸ１，ＤＸ２の光路に概ね垂直になるように）互いに平行に配置されている。

【００１９】

この場合、図２（Ａ）に示すように、コーナーキューブ２４Ａ，２４Ｂで反射された回折光ＤＸ１，ＤＸ２によって回折格子１２からＸ方向に計測光ＭＬに関して対称に＋１次回折光ＥＸ１（再回折光）及び－１次回折光ＥＸ２（再回折光）が発生し、発生した回折光ＥＸ１，ＥＸ２はそれぞれ楔型プリズム２６Ａ，２６Ｂによって＋Ｚ方向に光路が変更された後、図１のミラー２３Ａ，２３Ｂを介してＰＢＳ２８Ａ，２８Ｂで参照光ＲＸ１，ＲＸ２と同軸に合成される。合成された干渉光はそれぞれ光電センサ４０ＸＡ，４０ＸＢで受光される。

【００２０】

図１において、検出ヘッド１４は、±１次回折光ＤＹ１，ＤＹ２の光路をほぼ＋Ｚ平行に向けるＹ軸の第１及び第２の楔型プリズム２６Ｃ，２６Ｄと、楔型プリズム２６Ｃ，２６Ｄを通過した回折光ＤＹ１，ＤＹ２を回折格子１２の格子パターン面１２ｂに向けて概ね垂直に反射するＹ軸の第１及び第２のコーナーキューブ２４Ｃ，２４Ｄと、後述のミラー２３Ｃ，２３Ｄとを有する。Ｙ軸の楔型プリズム２６Ｃ，２６Ｄは、Ｘ軸の楔型プリズム２６Ａ，２６Ｂを回折格子１２に入射する計測光ＭＬの回りに９０°回転した形状及び配置であり、Ｙ軸のコーナーキューブ２４Ｃ，２４Ｄは、Ｘ軸のコーナーキューブ２４Ａ，２４Ｂをその計測光ＭＬの回りに９０°回転した形状及び配置である。

【００２１】

この場合、図２（Ｂ）に示すように、コーナーキューブ２４Ｃ，２４Ｄで反射された回折光ＤＹ１，ＤＹ２によって回折格子１２からＹ方向に計測光ＭＬに関して対称に＋１次回折光ＥＹ１（再回折光）及び－１次回折光ＥＹ２（再回折光）が発生し、発生した回折光ＥＹ１，ＥＹ２はそれぞれ楔型プリズム２６Ｃ，２６Ｄによって＋Ｚ方向に光路が変更された後、図１のミラー２３Ｃ，２３Ｄを介してＰＢＳ２８Ｃ，２８Ｄで参照光ＲＹ１，ＲＹ２と同軸に合成される。合成された干渉光はそれぞれ光電センサ４０ＹＡ，４０ＹＢで受光される。本実施形態では、楔型プリズム２６Ａ～２６Ｄは回折光ＥＸ１，ＥＸ２，ＥＹ１，ＥＹ２の光路を変更するための光学部材としても兼用されているため、検出ヘッド１４の構成が簡素である。なお、回折光ＥＸ１～ＥＹ２の光路を変更するために、楔型プリズム２６Ａ～２６Ｄとは別の部材（例えば別の小型のプリズム又はミラー）を使用してもよい。

【００２２】

コーナーキューブ２４Ａ～２４Ｄ、楔型プリズム２６Ａ～２６Ｄ、及びミラー２３Ａ～２３Ｄも、第２部材７に固定された支持部材（不図示）によって支持されている。本実施形態では、コーナーキューブ２４Ａ～２４Ｄは、入射面がＸＹ面に平行になるように（格子パターン面１２ｂに平行になるように）、かつ回折格子１２に入射する計測光ＭＬの回りに９０°間隔で配置されているため、複雑な形状のコーナーキューブ２４Ａ～２４Ｄを容易に正確な位置関係で支持できる。なお、コーナーキューブ２４Ａ～２４Ｄの代わりに、３つの互いに直交する反射面を持つ反射部材を組み合わせた反射部材（レトロリフレクター）等を使用してもよい。

【００２３】

図１において、計測演算部４２は、第１演算部４２Ｘ、第２演算部４２Ｙ、及び第３演算部４２Ｔを有する。そして、Ｘ軸の光電センサ４０ＸＡは、Ｘ軸の回折光ＥＸ１及び参照光ＲＸ１よりなる干渉光の検出信号（光電変換信号）ＳＡを第１演算部４２Ｘに供給し

、Ｘ軸の光電センサ４０ＸＢは、Ｘ軸の回折光ＥＸ２及び参照光ＲＸ２よりなる干渉光の検出信号ＳＢを第１演算部４２Ｘに供給する。また、Ｙ軸の光電センサ４０ＹＡは、Ｙ軸の回折光ＥＹ１及び参照光ＲＹ１よりなる干渉光の検出信号ＳＣを第２演算部４２Ｙに供給し、Ｙ軸の光電センサ４０ＹＢは、Ｙ軸の回折光ＥＹ２及び参照光ＲＹ２よりなる干渉光の検出信号ＳＤを第２演算部４２Ｙに供給する。第１演算部４２Ｘ及び第２演算部４２Ｙには、レーザ光源１６から基準周波数の信号（基準信号ＳＥ）も供給されている。

【００２４】

ここで、第１部材６と第２部材７とのＸ方向、Ｙ方向、Ｚ方向の相対移動量をＸ，Ｙ，Ｚとして、第１演算部４２Ｘ及び第２演算部４２Ｙで求められるＺ方向の相対移動量をそれぞれＺＸ，ＺＹとする。このとき、一例として、第１演算部４２Ｘは、検出信号ＳＡ及び基準信号ＳＥから、既知の係数ａ，ｂを用いてＸ方向及びＺ方向の第１の相対移動量（ａ・Ｘ＋ｂ・ＺＸ）を求め、検出信号ＳＢ及び基準信号ＳＥから、Ｘ方向及びＺ方向の第２の相対移動量（－ａ・Ｘ＋ｂ・ＺＸ）を求め、その第１及び第２の相対移動量からＸ方向の相対移動量（Ｘ）及びＺ方向の相対移動量（ＺＸ）を求め、求めた結果を第３演算部４２Ｔに供給する。第２演算部４２Ｙは、検出信号ＳＣ及び基準信号ＳＥから、Ｙ方向及びＺ方向の第１の相対移動量（ａ・Ｙ＋ｂ・ＺＹ）を求め、検出信号ＳＤ及び基準信号ＳＥから、Ｙ方向及びＺ方向の第２の相対移動量（－ａ・Ｙ＋ｂ・ＺＹ）を求め、その第１及び第２の相対移動量からＹ方向の相対移動量（Ｙ）及びＺ方向の相対移動量（ＺＹ）を求め、求めた結果を第３演算部４２Ｔに供給する。

【００２５】

第３演算部４２Ｔは、演算部４２Ｘ，４２Ｙから供給される相対移動量（Ｘ）及び（Ｙ）を所定のオフセットで補正した値を第１部材６と第２部材７とのＸ方向、Ｙ方向の相対移動量として出力する。また、第３演算部４２Ｔは、一例として、演算部４２Ｘ，４２Ｙから供給されるＺ方向の相対移動量（ＺＸ）及び（ＺＹ）の平均値（＝（ＺＸ＋ＺＹ）／２）を所定のオフセットで補正した値を第１部材６と第２部材７とのＺ方向の相対移動量として出力する。Ｘ方向、Ｙ方向、Ｚ方向の相対移動量の検出分解能は例えば０．５～０．１ｎｍ程度である。エンコーダ１０では、計測光ＭＬ等の光路が短いため、その光路上の気体の温度揺らぎに起因する計測値の短期的な変動を低減できる。さらに、最終的に、再回折光である＋１次回折光ＥＸ１，ＥＹ１及び－１次回折光ＥＸ２，ＥＹ２と、それらに対応する参照光ＲＸ１～ＲＹ２との干渉光を検出しているため、相対移動量の検出分解能（検出精度）を１／２に向上（微細化）できる。また、±１次回折光を用いることによって、第１部材６と第２部材７とのθｚ方向の相対回転角による計測誤差を低減できる。

【００２６】

次に、本実施形態の検出ヘッド１４の回折光の光路につき詳細に説明する。

図２（Ａ）において、計測光ＭＬが回折格子１２の格子パターン１２ａに垂直に入射する（計測光ＭＬがＺ軸に平行に入射する）とき、計測光ＭＬによるＸ方向の＋１次回折光ＤＸ１の回折角φｘは、格子パターン１２ａの周期ｐ及び計測光ＭＬの波長λを用いて次の関係を満たす。このとき、計測光ＭＬによるＸ方向の－１次回折光ＤＸ２の回折角は－φｘとなる。

【００２７】

$$p \cdot \sin(\phi x) = \lambda \qquad \cdots (1)$$

一例として、周期ｐを１０００ｎｍ（１μｍ）、計測光ＭＬの波長λを６３３ｎｍとすると、回折角φｘはほぼ３９°となる。

また、回折光ＤＸ１は、楔型プリズム２６Ａによって光路が計測光ＭＬ（ここではＺ軸に平行）に平行になるように折り曲げられてコーナーキューブ２４Ａに入射する。従って、楔型プリズム２６Ａの入射光に対する振れ角をδとすると、次のように振れ角δはその回折角φｘと同じであることが好ましい。

【００２８】

$$\delta = \phi x = \arcsin(\lambda / p) \qquad \cdots (2)$$

言い替えると、楔型プリズム２６Ａの頂角α、屈折率ｎｇ、及び回折光ＤＸ１の楔型プ

リズム２６Ａに対する入射角ｉ（楔型プリズム２６Ａの回転角θｙ）は、振れ角δが回折角φｘとなるように定められることが好ましい。さらに、本実施形態では、振れ角δの入射角ｉに関する変化率（ｄδ／ｄｉ）は、次のようにcos(φｘ）に設定されることが好ましい。

【００２９】

ｄδ／ｄｉ＝cos(φｘ）＝cos｛arcsin（λ／ｐ）｝　…（３）

この式（３）の条件は、楔型プリズム２６Ａの振れ角δの変化率（ｄδ／ｄｉ）は、回折格子１２に対する計測光ＭＬの入射角が０から変化したときの回折光ＤＸ１の回折角の変化率を、楔型プリズム２６Ａで相殺することを意味している（詳細後述）。

計測光ＭＬが格子パターン１２ａに垂直に（Ｚ軸に平行に）入射する場合、楔型プリズム２６Ａからコーナーキューブ２４Ａに向かう回折光ＤＸ１はＺ軸に平行であり、コーナーキューブ２４Ａで反射される回折光ＤＸ１は計測光ＭＬが入射した位置から＋Ｘ方向にずれた位置で格子パターン１２ａに垂直に入射する。そして、回折光ＤＸ１によって回折格子１２から発生する＋１次回折光ＥＸ１の回折角は式（１）のφｘと同じであり、回折光ＥＸ１は楔型プリズム２６Ａによって光路をＺ軸に平行に折り曲げられて（ミラー２３Ａを介して）ＰＢＳ２８Ａに向かう。このとき、計測光ＭＬによる回折格子１２からの－１次回折光ＤＸ２は、回折光ＤＸ１と対称に楔型プリズム２６Ｂ及びコーナーキューブ２４Ｂを介して計測光ＭＬが入射した位置から－Ｘ方向にずれた位置で格子パターン１２ａに垂直に入射する。そして、回折光ＤＸ２によって回折格子１２から発生する－１次回折光ＥＸ２は、楔型プリズム２６Ｂによって光路をＺ軸に平行に折り曲げられて（ミラー２３Ｂを介して）ＰＢＳ２８Ｂに向かう。

【００３０】

また、図２（Ｂ）において、計測光ＭＬが回折格子１２の格子パターン１２ａに垂直に入射するとき、計測光ＭＬによるＹ方向の＋１次回折光ＤＹ１の回折角φｙは、式（１）のＸ方向の回折角φｘと同じである。そして、回折光ＤＹ１によって楔型プリズム２６Ｃ及びコーナーキューブ２４Ｃを介して回折格子１２から発生する＋１次回折光ＥＹ１、及び計測光ＭＬによるＹ方向の－１次回折光ＤＹ２によって回折格子１２から発生する－１次回折光ＥＹ２は、それぞれ楔型プリズム２６Ｃ，２６Ｄによって光路をＺ軸に平行に折り曲げられてＰＢＳ２８Ｃ，２８Ｄに向かう。

【００３１】

そして、図２（Ａ）の配置において、図３（Ａ）に示すように、検出ヘッド１４に対して回折格子１２の格子パターン面１２ｂのＺ方向の相対位置が位置Ｂ１までδＺだけ変化した場合を想定する。このとき、計測光ＭＬによる＋１次回折光ＤＸ１は、光路が位置Ｂ２に平行にシフトしてコーナーキューブ２４Ａに入射するが、コーナーキューブ２４Ａでは入射光に対して射出光の光路はコーナーキューブ２４ＡのＸ方向の中心に関して対称にシフトする。このため、コーナーキューブ２４Ａで反射された回折光ＤＸ１は、格子パターン面１２ｂのＺ方向の相対位置が変化していないときの＋１次回折光ＥＸ１の光路と位置Ｂ１まで変化した格子パターン面１２ｂとが交差する位置で回折格子１２に入射する。従って、格子パターン面１２ｂが位置Ｂ１まで変化していても、回折光ＤＸ１によって回折格子１２から発生する＋１次回折光ＥＸ１の光路Ｂ３は、格子パターン面１２ｂのＺ方向の相対位置が変化していないときの光路と同じである。このため、回折光ＥＸ１と参照光ＲＸ１とをＰＢＳ２８Ａで同軸に合成して干渉光を生成したとき、回折光ＥＸ１と参照光ＲＸ１との相対的な横ずれ量がないため、その干渉光を光電変換したときに得られる検出信号ＳＡのうちの交流信号（ビート信号又は信号成分）の割合が低下することがない。

【００３２】

これは、Ｘ軸の－１次回折光ＤＸ２及びＹ軸の±１次回折光ＤＹ１，ＤＹ２でも同様であり、格子パターン面１２ｂのＺ方向の相対位置が変化しても、図１の検出信号ＳＢ～ＳＤのうちのビート信号の割合は低下しない。従って、検出信号ＳＡ～ＳＤを用いて高いＳＮ比で高精度に第１部材６と第２部材７との相対移動量を計測できる。

次に、図２（Ａ）の配置において、図３（Ｂ）に示すように、検出ヘッド１４に対して

回折格子１２の格子パターン面１２ｂがＹ軸に平行な軸の回りに角度εだけ反時計回りに変化した場合を想定する。このとき、計測光ＭＬの格子パターン面１２ｂに対する入射角はεであり、＋１次回折光ＤＸ１の回折角を（φｘ＋δφｘ）とすると、以下の関係が成立する。

【００３３】

sin(φｘ＋δφｘ)－sinε＝λ／ｐ …（４）

ここで、ε及びδφｘが微少量であるとすると、sin(φｘ)の微分はcos(φｘ)であるため、式（４）は次のようになる。

sin(φｘ)＋cos(φｘ)・δφｘ－ε＝λ／ｐ …（５）

式（５）において、式（１）よりsin(φｘ)がλ／ｐであることを考慮すると、次式が得られる。

【００３４】

δφｘ＝ε／cos(φｘ) …（６）

また、格子パターン面１２ｂが角度εだけ傾斜したときの回折格子１２からの＋１次回折光ＤＸ１の光路Ｂ１２の角度の変化量δφは、次のようになる。

δφ＝｛１＋１／cos(φｘ)｝ε …（７）

また、楔型プリズム２６Ａにおける振れ角δの入射角ｉに関する変化率（ｄδ／ｄｉ）は、式（３）で示したようにcos(φｘ）であるため、楔型プリズム２６Ａを通過した回折光ＤＸ１の光路Ｂ１３の角度の変化量δε１は、次のようになる。

【００３５】

δε１＝δφ・cos(φｘ）＝｛cos(φｘ)＋１｝ε …（８）

そして、格子パターン面１２ｂは角度εだけ傾斜しているため、コーナーキューブ２４Ａから格子パターン面１２ｂに入射する回折光ＤＸ１の入射角δεは次のようになる。

δε＝ε・cos(φｘ） …（９）

回折光ＤＸ１が再び回折格子１２に入射角δεで入射すると、回折光ＤＸ１による回折格子１２からの＋１次回折光ＥＸ１（再回折光）の回折角の変化量δφ１は、式（６）から次のようになる。

【００３６】

δφ１＝ε …（１０）

これは、回折光ＥＸ１の回折角の変化量δφ１は格子パターン面１２ｂの傾斜角εに等しいこと、すなわち回折光ＥＸ１の光路Ｂ１４は、格子パターン面１２ｂが傾斜する前の光路に平行であることを意味する。また、回折光ＥＸ１の光路Ｂ１４の横シフトも生じていない。このため、回折光ＥＸ１と参照光ＲＸ１とをＰＢＳ２８Ａで同軸に合成して干渉光を生成したとき、回折光ＥＸ１と参照光ＲＸ１との相対的な傾きのずれ及び相対的な横ずれ量がないため、その干渉光を光電変換したときに得られる検出信号ＳＡのうちの交流信号（ビート信号又は信号成分）の割合が低下することがない。これは、Ｘ軸の－１次回折光ＥＸ２でも同様である。

【００３７】

また、回折格子１２の格子パターン１２ｂがＸ軸に平行な軸の回りに傾斜した場合にも、同様にＹ軸の±１次回折光ＥＹ１，ＥＹ２の光路の傾斜角のずれ及び横シフトは生じないため、図１の検出信号ＳＢ～ＳＤのうちのビート信号の割合は低下しない。従って、検出信号ＳＡ～ＳＤを用いて高いＳＮ比で高精度に第１部材６と第２部材７との相対移動量を計測できる。なお、回折格子１２の格子パターン１２ｂがＸ軸（又はＹ軸）に平行な軸の回りに傾斜した場合に、Ｘ軸の検出信号ＳＡ，ＳＢ（又はＹ軸の検出信号ＳＣ，ＳＤ）に対する影響は実質的にない。

【００３８】

なお、以上の説明では回折格子１２側が検出ヘッド１４に対して傾斜するものとしたが、計測光ＭＬの回折格子１２に対する入射角が０からＸ方向及び／又はＹ方向に微少量変化した場合にも、同様に回折光ＥＸ１～ＥＹ２の光路の傾斜及び横シフトが生じないため、高いＳＮ比で高精度に第１部材６と第２部材７との相対移動量を計測できる。

本実施形態の効果等は以下の通りである。

【００３９】

本実施形態のエンコーダ１０は、第１部材６に対してＸ方向、Ｙ方向、Ｚ方向に３次元的に相対移動する第２部材７の相対移動量を計測する３軸のエンコーダ装置である。そして、エンコーダ１０は、第１部材６に設けられ、Ｘ方向及びＹ方向を周期方向とする２次元の格子パターン１２ａを有する反射型の回折格子１２と、計測光ＭＬ及び参照光ＲＸ１を含むレーザ光を発生するレーザ光源１６と、計測光ＭＬを回折格子１２の格子パターン面１２ｂに概ね垂直に入射させるミラー２２Ｆ（入射用光学部材）と、を備えている。さらに、エンコーダ１０は、第２部材７に設けられるとともに、回折格子１２から計測光ＭＬによってＸ方向に関して回折角φｘで発生する＋１次回折光ＤＸ１（第１回折光）を反射するコーナーキューブ２４Ａ（第１反射部材）と、回折格子１２とコーナーキューブ２４Ａとの間に配置されて、回折光ＤＸ１が回折格子１２に入射するときの入射角が回折角φｘよりもかなり小さい角度であるほぼ０になるように（回折格子１２に概ね垂直に入射するように）回折光ＤＸ１の方向を変更する楔型プリズム２６Ａ（第１方向変更部材）と、回折格子１２から回折光ＤＸ１によって発生する＋１次回折光ＥＸ１（再回折光）と参照光ＲＸ１との干渉光を検出する光電センサ４０ＸＡと、光電センサ４０ＸＡの検出信号を用いて第２部材７の相対移動量を求める計測演算部４２（計測部）と、を備えている。

【００４０】

本実施形態によれば、楔型プリズム２６Ａによって、回折光ＤＸ１が回折格子１２に入射するときの入射角はほぼ０になるため、第１部材６と第２部材７との相対位置が変化して、コーナーキューブ２４Ａ（検出ヘッド１４）に対する回折格子１２の格子パターン面１２ｂの相対的な高さ（Ｚ方向の位置）が変化しても、回折光ＤＸ１による回折格子１２からの回折光ＥＸ１（再回折光）の光路の変動がほとんどなくなり、回折光ＥＸ１と参照光ＲＸ１との横方向の相対的なシフト量がほぼ０になる。従って、回折格子１２の格子パターン面１２ｂの高さの変化に対して干渉光のビート信号（位置情報を含む信号）の強度の低下がなくなり、第１部材６と第２部材７との相対移動量の計測精度を高く維持できる。また、仮に第１部材６と第２部材７とのＸ方向、Ｙ方向の相対位置が固定されている場合には、光電センサ４０ＸＡの検出信号から第１部材６と第２部材７とのＺ方向の相対移動量を計測できる。

【００４１】

さらに、エンコーダ１０は、回折格子１２から計測光ＭＬによってＸ方向に発生する＋１次とは異なる次数である－１次の回折光ＤＸ２（第２回折光）を反射するコーナーキューブ２４Ｂ（第２反射部材）と、回折光ＤＸ２が回折格子１２に入射するときの入射角がほぼ０になるように回折光ＤＸ２の方向を変更する楔型プリズム２６Ｂ（第２方向変更部材）と、回折格子１２から回折光ＤＸ２によって発生する－１次回折光ＥＸ２（再回折光）と参照光ＲＸ２との干渉光を検出する光電センサ４０ＸＢと、を備えている。このため、光電センサ４０ＸＡ，４０ＸＢの検出信号から、第１部材６と第２部材７とのＸ方向及びＺ方向の相対移動量を高精度に計測できる。

【００４２】

さらに、エンコーダ１０は、回折格子１２から計測光ＭＬによってＹ方向に発生する±１次回折光ＤＹ１，ＤＹ２を反射するコーナーキューブ２４Ｃ，２４Ｄと、回折光ＤＹ１，ＤＹ２が回折格子１２に入射するときの入射角がほぼ０になるように回折光ＤＹ１，ＤＹ２の方向を変更する楔型プリズム２６Ｃ，２６Ｄと、回折格子１２から回折光ＤＹ１，ＤＹ２によって発生する±１次回折光ＥＹ１，ＥＹ２と参照光ＲＹ１，ＲＹ２との干渉光を検出する光電センサ４０ＹＡ，４０ＹＢと、を備えている。このため、回折格子１２の格子パターン面１２ｂの相対的な高さが変化しても、光電センサ４０ＹＡ，４０ＹＢの検出信号から、第１部材６と第２部材７とのＹ方向の相対移動量を高精度に計測できる。

【００４３】

なお、楔型プリズム２６Ａ～２６Ｄは、対応する回折光ＤＸ１～ＤＹ２が回折格子１２に入射するときの入射角が回折角φｘ，φｙよりも小さくなるように回折光ＤＸ１～ＤＹ

２の方向を変更するようにしてもよい。上記の実施形態では、楔型プリズム２６Ａ～２６Ｄは、回折光ＤＸ１～ＤＹ２の進行方向を変更して、計測光ＭＬの進行方向（Ｚ軸方向）と平行もしくはほぼ平行としており、コーナーキューブ２４Ａ、２４Ｂ（２４Ｃ、２４Ｄ）は、入射した回折光ＤＸ１、ＤＸ２（ＤＹ１、ＤＹ２）の進行方向を１８０°変更し、入射位置からＸ方向（Ｙ方向）に所定距離だけずれた位置から出射している。したがって、コーナーキューブ２４Ａ～２４Ｄから出射された回折光ＤＸ１～ＤＹ２の進行方向は、計測光ＭＬの進行方向（Ｚ軸方向）と平行もしくはほぼ平行である。ここで、コーナーキューブ２４Ａ～２４Ｄから出射された回折光ＤＸ１～ＤＹ２の進行方向が、計測光ＭＬの進行方向（Ｚ軸方向）と完全に平行になると、回折格子１２のＺ方向変位やＸ軸、Ｙ軸回りの傾斜が生じた場合であっても、回折格子１２で回折された再回折光ＥＸ１～ＥＹ２の光路の、回折格子１２のＺ方向変位やＸ軸、Ｙ軸回りの傾斜が生じる前の光路からの横シフト量をゼロとできるが、コーナーキューブ２４Ａ～２４Ｄから出射された回折光ＤＸ１～ＤＹ２の進行方向が、計測光ＭＬの進行方向（Ｚ軸方向）と完全に平行ではなくても、回折格子１２に入射する回折光ＤＸ１～ＤＹ２の入射角が、計測光ＭＬの回折格子１２への入射により発生した回折光ＤＸ１～ＤＹ２の回折角φｘ、φｙよりも小さければ、上記の横シフト量を小さくすることが可能となる。よってこの場合でも、格子パターン面１２ｂの相対的な高さ（Ｚ方向の位置）の変化に対して回折光ＥＸ１～ＥＹ２と参照光ＲＸ１～ＲＹ２との横方向の相対的なシフト量が低減されるため、回折格子１２の格子パターン面１２ｂの高さの変化に対して干渉光のビート信号の強度の低下を抑制でき、第１部材６と第２部材７との相対移動量を高精度に計測できる。

【００４４】

　また、楔型プリズム２６Ａ～２６Ｄを使用する場合には、回折格子１２の格子パターン面が相対的に傾斜しても回折光の横ずれが低減されて相対移動量を高精度に計測できる。なお、回折格子１２の格子パターン面の傾斜がほぼ無い場合には、楔型プリズム２６Ａ～２６Ｄ（方向変更部材）の代わりに平面ミラーのような反射面を持つ光学部材を使用することもできる。

【００４５】

　また、本実施形態のエンコーダ１０を用いた移動量計測方法は、図９のフローチャートで示すように、第１部材６に対して少なくともＸ方向に相対移動する第２部材７の相対移動量を計測する移動量計測方法である。その計測方法は、第１部材６に設けられ少なくともＸ方向を周期方向とする格子パターンを有する反射型の回折格子１２の格子パターン面１２ｂに、計測光ＭＬを、概ね垂直に入射するステップ１０２と、回折格子１２からＸ方向に関して発生する±１次回折光ＤＸ１，ＤＸ２が、回折格子１２に入射するときの入射角が、回折光ＤＸ１，ＤＸ２が発生したときの回折角よりも小さくなるように、楔型プリズム２６Ａ，２６Ｂを用いて回折光ＤＸ１，ＤＸ２の方向を変更するステップ１０４と、回折光ＤＸ１，ＤＸ２を、それぞれ３つの反射面を持つコーナーキューブ２４Ａ，２４Ｂを介して反射するステップ１０６と、回折格子１２から回折光ＤＸ１，ＤＸ２によって発生する±１次回折光ＥＸ１，ＥＸ２（再回折光）と参照光ＲＸ１，ＲＸ２との干渉光を光電センサ４０ＸＡ，４０ＸＢを用いて検出するステップ１０８と、その干渉光の検出結果に基いて、第１部材６に対する第２部材７のＸ方向及びＺ方向の相対移動量を求めるステップ１１０とを有する。

【００４６】

　この計測方法によれば、回折光ＤＸ１，ＤＸ２が回折格子１２に入射するときの入射角が小さくなるため、コーナーキューブ２４Ａ，２４Ｂに対する回折格子１２の格子パターン面１２ｂの相対的な高さが変化しても、回折格子１２からの回折光ＥＸ１，ＥＸ２（再回折光）の光路の変動がほとんどなくなり、第１部材６と第２部材７との相対移動量の計測精度を高く維持できる。

【００４７】

　なお、この計測方法において、ステップ１０４とステップ１０６とは順序が逆でもよい。

なお、上記の実施形態では以下のような変形が可能である。
上記の実施形態では、Ｘ軸及びＹ軸で１対ずつのコーナーキューブ２４Ａ～２４Ｄ、楔型プリズム２６Ａ～２６Ｄ、及び光電センサ４０ＸＡ～４０ＹＢが設けられているが、第１部材６と第２部材７との３自由度の相対移動量を計測するときには、それらのうちの一つのコーナーキューブ（例えば２４Ｄ）、対応する一つの楔型プリズム（例えば２６Ｄ）及び対応する一つの光電センサ（例えば４０ＹＢ）は省略することが可能である。

【００４８】

また、上記の実施形態では２次元の回折格子１２が使用されているが、回折格子１２の代わりに例えばＸ方向にのみ周期性を持つ１次元の回折格子を使用してもよい。この場合、検出ヘッド１４からは、Ｙ方向に発生する回折光を検出するための光学部材（コーナーキューブ２４Ｃ，２４Ｄ及び楔型プリズム２６Ｃ，２６Ｄ等）及び光電センサ４０ＹＡ，４０ＹＢ等を省略し、光電センサ４０ＸＡ，４０ＸＢの検出信号を用いて第１部材６と第２部材７とのＸ方向及びＺ方向の相対移動量を計測できる。さらに、Ｘ方向の－１次回折光ＤＸ２を検出するための光学部材（コーナキューブ２４Ｂ、楔型プリズム２６Ｂ等）及び光電センサ４０ＸＢ等を省略し、光電センサ４０ＸＡの検出信号のみを用いて第１部材６と第２部材７とのＸ方向及びＺ方向の相対移動量を計測することもできる。

【００４９】

また、上記の実施形態では、回折光ＥＸ１～ＥＹ２と参照光ＲＸ１～ＲＹ２との干渉光を検出しているが、例えばＸ軸の第１の周波数の計測光の＋１次回折光ＥＸ１と第２の周波数の計測光（上記の実施形態では参照光として使用されていた光）の－１次回折光ＥＸ２との干渉光、及びＹ軸の第１の周波数の計測光の＋１次回折光ＥＹ１と第２の周波数の計測光の－１次回折光ＥＹ２との干渉光を検出してもよい。この場合には、第１部材６と第２部材７とのＸ方向、Ｙ方向の相対移動量を計測できるとともに、回折格子１２の格子パターン面１２ｂの相対的な高さが変動しても、２つの回折光の横ずれがないため、常に高いＳＮ比で高精度に計測を行うことができる。

【００５０】

次に、上記の実施形態では、回折格子１２から発生する回折光ＤＸ１等はそれぞれ楔型プリズム２６Ａ等を介してコーナーキューブ２４Ａ等に入射し、コーナーキューブ２４Ａ等で反射された回折光が回折格子１２に入射している。しかしながら、図４の第１変形例の検出ヘッド１４Ａで示すように、コーナーキューブ２４Ａ等で反射された回折光の光路に楔型プリズム２６Ａ１等を配置してもよい。なお、図４において図２（Ａ）に対応する部分には同一の符号を付してその詳細な説明を省略する。

【００５１】

図４の検出ヘッド１４Ａにおいて、計測光ＭＬは概ねＺ軸に平行に回折格子１２の格子パターン１２ａ（格子パターン面）に入射し、格子パターン１２ａから発生したＸ方向の＋１次回折光ＤＸ１は、コーナーキューブ２４Ａで反射された後、第１の楔型プリズム２６Ａ１によって光路がＺ軸にほぼ平行になるように曲げられて格子パターン１２ａに入射する。このとき、コーナーキューブ２４Ａの入射面が入射する回折光ＤＸ１の光路にほぼ（概ね）垂直になるように、コーナーキューブ２４Ａは支持されている。そして、回折光ＤＸ１によって回折格子１２から発生したＸ方向の＋１次回折光ＥＸ１（再回折光）は第２の楔型プリズム２６Ａ２で光路がＺ軸に平行になるように折り曲げられた後、ＰＢＳ２８Ａで参照光ＲＸ１と合成される。他の－１次回折光を検出する部分及びＹ軸の±１次回折光を検出する部分も同様に、コーナーキューブ２４Ｂ～２４Ｄで反射された回折光の光路に楔型プリズム２６Ａ１と同様の楔型プリズムが配置される。この変形例の検出ヘッド１４Ａを用いても、上記の実施形態と同様の効果が得られる。

【００５２】

次に、上記の実施形態では、回折光ＤＸ１等の光路を折り曲げる（変更する）ために楔型プリズム２６Ａ等を使用している。しかしながら、図５（Ａ）の第２変形例の検出ヘッド１４Ｂで示すように、Ｘ方向の回折光ＤＸ１の光路を折り曲げるために、Ｘ方向（第１方向）に関して反射型の回折格子１２と同じ周期ｐを持つ反射型でブレーズド型の１次元

の回折格子３２を使用してもよい。なお、図５（Ａ）及び（Ｂ）において図２（Ａ）に対応する部分には同一の符号を付してその詳細な説明を省略する。

【００５３】

図５（Ａ）の検出ヘッド１４Ｂにおいて、計測光ＭＬがＺ軸に平行に回折格子１２の格子パターン１２ａ（格子パターン面）に入射するものとする。このとき、格子パターン１２ａから発生したＸ方向の＋１次回折光ＤＸ１は、コーナーキューブ２４Ａで反射された後、格子パターン面に平行なミラー２２Ｇで反射されて１次元の回折格子３２に入射する。回折格子３２のＸ方向の周期ｐは回折格子１２のＸ方向の周期と同じであり、かつ回折格子３２はブレーズド型であるため、回折格子３２に入射する光（回折光ＤＸ１）のほとんど全部がＺ軸に平行な＋１次回折光ＦＸ１となる。すなわち、回折格子３２と回折格子１２とは、入射光と回折光との関係が入れ替わっており、回折格子１２に入射する計測光ＭＬの入射角と回折格子３２から発生する＋１次回折光ＦＸ１の回折角、及び回折格子１２から発生するＸ方向の＋１次回折光ＤＸの回折角と回折格子３２に入射する＋１次回折光ＤＸの入射角が、それぞれ等しくなっている。

【００５４】

このとき、コーナーキューブ２４Ａの入射面が入射する回折光ＤＸ１の光路にほぼ垂直になるように、コーナーキューブ２４Ａは支持されている。そして、回折光ＦＸ１によって回折格子１２から発生したＸ方向の＋１次回折光ＥＸ１（再回折光）は楔型プリズム２６Ａ２で光路がＺ軸に平行になるように折り曲げられた後、ＰＢＳ２８Ａで参照光ＲＸ１と合成される。他の－１次回折光を検出する部分及びＹ軸の±１次回折光を検出する部分も同様に、コーナーキューブ２４Ｂ～２４Ｄで反射された回折光の光路にミラー２２Ｇと同様のミラー及び回折格子３２と同様の１次元の回折格子が配置される。この変形例の検出ヘッド１４Ｂを用いても、上記の実施形態と同様の効果が得られる。

【００５５】

ここで、図５（Ａ）の第２変形例の配置において、図５（Ｂ）に示すように、検出ヘッド１４Ｂに対して回折格子１２の格子パターン１２ａ（格子パターン面）がＹ軸に平行な軸の回りに角度εだけ反時計回りに変化した場合を想定する。このとき、計測光ＭＬの格子パターン１２ａに対する入射角はεであり、＋１次回折光ＤＸ１の回折角を（φｘ＋δφｘ）とすると、回折角の変化量δφｘは上述の式（６）となる。

【００５６】

また、格子パターン１２ａが角度εだけ傾斜したときの回折格子１２からの＋１次回折光ＤＸ１の光路Ｂ１２の角度の変化量δφは、上述の式（７）になる。

また、回折格子３２では、上述の式（６）と逆の関係が成立するため、回折格子３２における＋１次回折光ＦＸ１の回折角の入射光（回折光ＤＸ１）の入射角に関する変化率は、cos(φｘ）となる。これは、上記の実施形態（図２（Ａ））の楔型プリズム２６Ａの変化率と同じである。この結果、回折格子３２から発生する回折光ＦＸ１の光路Ｂ１５の角度の変化量δε１は、上述の式（８）と同じく｛cos(φｘ)＋１｝εとなる。

【００５７】

そして、格子パターン１２ａ（格子パターン面）は角度εだけ傾斜しているため、回折格子３２から格子パターン１２ａに入射する回折光ＦＸ１の入射角δεは上述の式（９）と同じくε・cos(φｘ）となる。

また、回折光ＦＸ１が回折格子１２に入射角δεで入射すると、回折光ＦＸ１による回折格子１２からの＋１次回折光ＥＸ１（再回折光）の回折角の変化量δφ１は、式（６）から傾斜角ε（式（１０）参照）と同じになる。

【００５８】

これは、回折光ＥＸ１の回折角の変化量δφ１は格子パターン１２ａの傾斜角εに等しいこと、すなわち回折光ＥＸ１の光路Ｂ１４は、格子パターン１２ａが傾斜する前の光路に平行であることを意味する。また、回折光ＥＸ１の光路Ｂ１４の横シフトも生じていない。このため、ＰＢＳ２８Ａにおいて回折光ＥＸ１と参照光ＲＸ１との相対的な傾きのずれ及び相対的な横ずれ量がないため、その干渉光を光電変換したときに得られる検出信号

ＳＡのうちの交流信号（ビート信号又は信号成分）の割合が低下することがない。
【００５９】
なお、この図５（Ａ）の変形例において、回折格子３２及びミラー２２Ｇを回折格子１２からコーナーキューブ２４Ａに向かう回折光ＤＸ１の光路中に配置することも可能である。
上述の変形例において、第１方向変更部材と見なすことができる回折格子３２のＸ方向（第１方向）に関する周期は反射型の回折格子１２と同じ周期ｐであったが、この回折格子３２の周期を反射型の回折格子１２の周期ｐから若干ずらしても良い。また、１次元の回折格子３２の周期方向を、反射型の回折格子１２の周期方向であるＸ方向及びＹ方向（第１方向及び第２方向）に対してわずかに傾けても良い。また、第１反射部材と見なすことができるコーナーキューブ２４Ａの３つ反射面を互いに直交する角度から若干ずらしても良い。また、回折格子１２の格子パターン面１２ｂに入射する計測光ＭＬと、格子パターン面１２ｂで回折された後にコーナーキューブ２４Ａを経由して再び格子パターン面１２ｂに入射する回折光との進行方向が互いに平行から若干ずれるように、第１方向変更部材による偏向角を設定しても良い。
【００６０】
なお、図１の構成において、光源（例えば、レーザ光源１６）から干渉部（例えば、ＰＢＳ２８Ａ～２８Ｄ）までの参照光ＲＬ（ＲＸ１～ＲＹ２）の光路長と計測光ＭＬ（回折光ＥＸ１～ＥＹ２）の光路長とがほぼ等しくなるように設定してもよい。この場合、エンコーダ１０の検出ヘッド１４内の光学素子の配置によって参照光ＲＬの光路長と計測光ＭＬの光路長とがほぼ等しくなるように構成することができる。また、光源から検出ヘッド１４に至るまでの間（例えば、光ファイバー等の導光部を用いる場合には、この導光部の長さの調整等）で参照光ＲＬの光路長と計測光ＭＬの光路長とがほぼ等しくなるように構成することも可能である。
【００６１】
また、図１の構成において、楔型プリズム２６Ａ～２６Ｂの代わりに、それら楔型プリズム２６Ａ～２６Ｄの偏向作用と等価な偏向作用を持つ回折格子（典型的には１次元回折格子）を用いても良い。
このような回折格子を用いる場合、それらの回折格子の回折パターンの周期を反射型の回折格子１２の周期ｐから若干ずらしても良い。また、それらの回折格子の周期方向を、反射型の回折格子１２の周期方向であるＸ方向及びＹ方向（第１方向及び第２方向）に対してわずかに傾けても良い。また、この場合においても、第１反射部材と見なすことができるコーナーキューブ２４Ａの３つ反射面を互いに直交する角度から若干ずらしても良い。また、この場合においても、回折格子１２の格子パターン面１２ｂに入射する計測光ＭＬと、格子パターン面１２ｂで回折された後にコーナーキューブを経由して再び格子パターン面１２ｂに入射する回折光との進行方向が互いに平行から若干ずれるように、上記の１次元回折格子による偏向角（回折角）を設定しても良い。
【００６２】
また、図１及び図４の構成において、コーナーキューブ２４Ａ～２４Ｄ、楔型プリズム２６Ａ～２６Ｄはそれぞれ別体として形成されているが、これらは一体に形成されたものであってもよい。例えば、コーナーキューブ２４Ａと楔型プリズム２６Ａとを間隔をあけることなく一体に形成し、同様にコーナーキューブ２４Ｂ～２４Ｄと、対応する楔型プリズム２６Ｂ～２６Ｄとを、間隔をあけることなくそれぞれ一体に形成してもよい。この時、一体に形成されたコーナーキューブ２４Ａ～２４Ｄと、楔型プリズム２６Ａ～２６Ｄにより進行方向が変更される回折光ＤＸ１～ＤＹ２が、概ね垂直に回折格子１２に入射されるように、楔形プリズム２６Ａ～２６Ｄの形状を調整する。
【００６３】
［第２の実施形態］
本発明の第２の実施形態につき図６～図８を参照して説明する。図６は、この実施形態に係るエンコーダ装置を備えた露光装置ＥＸの概略構成を示す。露光装置ＥＸは、スキャ

ニングステッパーよりなる走査露光型の投影露光装置である。露光装置ＥＸは、投影光学系ＰＬ（投影ユニットＰＵ）を備えており、以下、投影光学系ＰＬの光軸ＡＸと平行にＺ軸を取り、これに直交する面（ほぼ水平面に平行な面）内でレチクルＲとウエハＷとが相対走査される方向にＹ軸を、Ｚ軸及びＹ軸に直交する方向にＸ軸を取って説明する。

【００６４】

露光装置ＥＸは、例えば米国特許出願公開第２００３／００２５８９０号明細書などに開示される照明系１１０、及び照明系１１０からの露光用の照明光（露光光）ＩＬ（例えば波長１９３ｎｍのＡｒＦエキシマレーザ光、固体レーザ（半導体レーザなど）の高調波など）により照明されるレチクルＲ（マスク）を保持するレチクルステージＲＳＴを備えている。米国特許出願公開第２００３／００２５８９０号のすべての内容を援用して、本文の記載の一部とする。さらに、露光装置ＥＸは、レチクルＲから射出された照明光ＩＬをウエハＷ（基板）に投射する投影光学系ＰＬを含む投影ユニットＰＵ、ウエハＷを保持するウエハステージＷＳＴを含むステージ装置１９５、及び制御系等（図８参照）を備えている。

【００６５】

レチクルＲはレチクルステージＲＳＴの上面に真空吸着等により保持され、レチクルＲのパターン面（下面）には、回路パターンなどが形成されている。レチクルステージＲＳＴは、例えばリニアモータ等を含む図８のレチクルステージ駆動系１１１によって、ＸＹ平面内で微少駆動可能であると共に、走査方向（Ｙ方向）に指定された走査速度で駆動可能である。

【００６６】

レチクルステージＲＳＴの移動面内の位置情報（Ｘ方向、Ｙ方向の位置、及びθｚ方向の回転角を含む）は、レーザ干渉計よりなるレチクル干渉計１１６によって、移動鏡１１５（又は鏡面加工されたステージ端面）を介して例えば０．５～０．１ｎｍ程度の分解能で常時検出される。レチクル干渉計１１６の計測値は、図８のコンピュータよりなる主制御装置１２０に送られる。主制御装置１２０は、その計測値に基づいてレチクルステージ駆動系１１１を制御することで、レチクルステージＲＳＴの位置及び速度を制御する。

【００６７】

図６において、レチクルステージＲＳＴの下方に配置された投影ユニットＰＵは、鏡筒１４０と、鏡筒１４０内に所定の位置関係で保持された複数の光学素子を有する投影光学系ＰＬとを含む。投影光学系ＰＬは、例えば両側テレセントリックで所定の投影倍率β（例えば１／４倍、１／５倍などの縮小倍率）を有する。照明系１１０からの照明光ＩＬによってレチクルＲの照明領域ＩＡＲが照明されると、レチクルＲを通過した照明光ＩＬにより、投影光学系ＰＬを介して照明領域ＩＡＲ内のレチクルＲの回路パターンの像が、ウエハ（半導体ウエハ）Ｗの一つのショット領域の露光領域ＩＡ（照明領域ＩＡＲと共役な領域）に形成される。

【００６８】

また、露光装置ＥＸは、液浸法を適用した露光を行うため、投影光学系ＰＬを構成する最も像面側（ウエハＷ側）の光学素子である先端レンズ１９１を保持する鏡筒１４０の下端部の周囲を取り囲むように、局所液浸装置１０８の一部を構成するノズルユニット１３２が設けられている。ノズルユニット１３２は、露光用の液体Ｌｑ（例えば純水）を供給するための供給管１３１Ａ及び回収管１３１Ｂを介して、液体供給装置１８６及び液体回収装置１８９（図８参照）に接続されている。なお、液浸タイプの露光装置としない場合には、上記の局所液浸装置１０８は設けなくともよい。

【００６９】

また、ウエハステージＷＳＴは、不図示の複数の例えば真空予圧型空気静圧軸受（エアパッド）を介して、ベース盤１１２のＸＹ面に平行な上面１１２ａに非接触で支持されている。ウエハステージＷＳＴは、例えば平面モータ、又は直交する２組のリニアモータを含むステージ駆動系１２４（図８参照）によってＸ方向及びＹ方向に駆動可能である。露光装置ＥＸは、レチクルＲのアライメントを行う空間像計測系（不図示）、ウエハＷのア

ライメントを行うアライメント系ＡＬ（図８参照）、照射系９０ａ及び受光系９０ｂよりなりウエハＷの表面の複数箇所のＺ位置を計測する斜入射方式の多点のオートフォーカスセンサ９０（図８参照）、及びウエハステージＷＳＴの位置情報を計測するためのエンコーダ装置８Ｂを備えている。

【００７０】

ウエハステージＷＳＴは、Ｘ方向、Ｙ方向に駆動されるステージ本体１９１と、ステージ本体１９１上に搭載されたウエハテーブルＷＴＢと、ステージ本体１９１内に設けられて、ステージ本体１９１に対するウエハテーブルＷＴＢ（ウエハＷ）のＺ方向の位置、及びθｘ方向、θｙ方向のチルト角を相対的に微小駆動するＺ・レベリング機構(不図示)とを備えている。ウエハテーブルＷＴＢの中央の上部には、ウエハＷを真空吸着等によってほぼＸＹ平面に平行な吸着面上に保持するウエハホルダ（不図示）が設けられている。

【００７１】

また、ウエハテーブルＷＴＢの上面には、ウエハホルダ上に載置されるウエハの表面とほぼ同一面となる、液体Ｌｑに対して撥液化処理された表面（又は保護部材）を有し、かつ外形（輪郭）が矩形でその中央部にウエハホルダ（ウエハの載置領域）よりも一回り大きな円形の開口が形成された高平面度の平板状のプレート体１２８が設けられている。

なお、上述の局所液浸装置１０８を設けたいわゆる液浸型の露光装置の構成にあっては、さらにプレート体１２８は、図７のウエハテーブルＷＴＢ（ウエハステージＷＳＴ）の平面図に示されるように、その円形の開口を囲む、外形（輪郭）が矩形の表面に撥液化処理が施されたプレート部（撥液板）１２８ａと、プレート部１２８ａを囲む周辺部１２８ｅとを有する。周辺部１２８ｅの上面に、プレート部１２８ａをＹ方向に挟むようにＸ方向に細長い１対の２次元の回折格子１２Ａ，１２Ｂが配置され、プレート部１２８ａをＸ方向に挟むようにＹ方向に細長い１対の２次元の回折格子１２Ｃ，１２Ｄが配置されている。回折格子１２Ａ～１２Ｄは、図１の回折格子１２と同様にＸ方向、Ｙ方向を周期方向とする２次元の格子パターンが形成された反射型の回折格子である。

【００７２】

また、図６において、投影ユニットＰＵを支持するフレーム（不図示）に連結部材（不図示）を介してＸＹ面にほぼ平行な平板状の計測フレーム１５０が支持されている。計測フレーム１５０の底面に、投影光学系ＰＬをＸ方向に挟むように、図１の３軸の検出ヘッド１４と同じ構成の複数の検出ヘッド１４が固定され、投影光学系ＰＬをＹ方向に挟むように、図１の検出ヘッド１４と同じ構成の複数の検出ヘッド１４が固定されている（図７参照）。また、複数の検出ヘッド１４にレーザ光（計測光及び参照光）を供給するための図１のレーザ光源１６と同様の一つ又は複数のレーザ光源（不図示）も備えられている。

【００７３】

図７において、投影光学系ＰＬからの照明光でウエハＷを露光している期間では、常にＹ方向の一列Ａ１内の複数の検出ヘッド１４のいずれか２つが回折格子１２Ａ，１２Ｂに対向し、Ｘ方向の一行Ａ２の複数の検出ヘッド１４のいずれか２つが回折格子１２Ｃ，１２Ｄに対向するように構成されている。一列Ａ１内の各検出ヘッド１４は、回折格子１２Ａ又は１２Ｂに計測光を照射し、回折格子１２Ａ，１２Ｂから発生する回折光と参照光との干渉光の検出信号を対応する計測演算部４２（図８参照）に供給する。これらの計測演算部４２では、図１の計測演算部４２と同様に、ウエハステージＷＳＴと計測フレーム１５０とのＸ方向、Ｙ方向、Ｚ方向の相対位置（相対移動量）を例えば０．５～０．１ｎｍの分解能で求めてそれぞれ計測値を切り替え部８０Ａに供給する。計測値切り替え部８０Ａでは、回折格子１２Ａ，１２Ｂに対向している検出ヘッド１４に対応する計測演算部４２から供給される相対位置の情報を主制御装置１２０に供給する。

【００７４】

また、一行Ａ２に対応する各検出ヘッド１４は、回折格子１２Ｃ又は１２Ｄに計測光を照射し、回折格子１２Ｃ，１２Ｄから発生する回折光と参照光との干渉光の検出信号を対応する計測演算部４２（図８参照）に供給する。これらの計測演算部４２では、図１の計測演算部４２と同様に、ウエハステージＷＳＴと計測フレーム１５０とのＸ方向、Ｙ方向

、Ｚ方向の相対位置（相対移動量）を例えば０．５～０．１ｎｍの分解能で求めて計測値切り替え部８０Ｂに供給する。計測値切り替え部８０Ｂでは、回折格子１２Ｃ，１２Ｄに対向している検出ヘッド１４に対応する計測演算部４２から供給される相対位置の情報を主制御装置１２０に供給する。

【００７５】

一列Ａ１内の複数の検出ヘッド１４、レーザ光源（不図示）、計測演算部４２、及び回折格子１２Ａ，１２Ｂから３軸のエンコーダ１０Ａが構成され、一行Ａ２内の複数の検出ヘッド１４、レーザ光源（不図示）、計測演算部４２、及び回折格子１２Ｃ，１２Ｄから３軸のエンコーダ１０Ｂが構成されている。そして、３軸のエンコーダ１０Ａ，１０Ｂ、及び計測値切り替え部８０Ａ，８０Ｂからエンコーダ装置８Ｂが構成されている。主制御装置１２０は、エンコーダ装置８Ｂから供給される相対位置の情報に基づいて、計測フレーム１５０（投影光学系ＰＬ）に対するウエハステージＷＳＴのＸ方向、Ｙ方向、Ｚ方向の位置、及びθｚ方向の回転角等の情報を求め、この情報に基づいてステージ駆動系１２４を介してウエハステージＷＳＴを駆動する。

【００７６】

そして、露光装置ＥＸの露光時には、先ずレチクルＲ及びウエハＷのアライメントが行われる。その後、レチクルＲへの照明光ＩＬの照射を開始して、投影光学系ＰＬを介してレチクルＲのパターンの一部の像をウエハＷの表面の一つのショット領域に投影しつつ、レチクルステージＲＳＴとウエハステージＷＳＴとを投影光学系ＰＬの投影倍率βを速度比としてＹ方向に同期して移動（同期走査）する走査露光動作によって、そのショット領域にレチクルＲのパターン像が転写される。その後、ウエハステージＷＳＴを介してウエハＷをＸ方向、Ｙ方向にステップ移動する動作と、上記の走査露光動作とを繰り返すことによって、液浸法でかつステップ・アンド・スキャン方式でウエハＷの全部のショット領域にレチクルＲのパターン像が転写される。

【００７７】

この際に、エンコーダ装置８Ｂの検出ヘッド１４においては、計測光及び回折光の光路長はレーザ干渉計に比べて短いため、検出ヘッド１４を用いた計測値に対する空気揺らぎの影響が非常に小さい。従って、本実施形態のエンコーダ装置８Ｂは、レーザ干渉計と比較して、空気が揺らぐ程度の短い期間における計測安定性（短期安定性）が格段に優れているため、レチクルＲのパターン像をウエハＷに高精度に転写できる。さらに、検出ヘッド１４は回折格子１２Ａ～１２ＤのＺ位置が変化しても常に高いＳＮ比で相対移動量の上方を含む信号を検出できるため、常に高精度にウエハステージＷＳＴを駆動できる。

【００７８】

なお、本実施形態では、計測フレーム１５０側に検出ヘッド１４を配置し、ウエハステージＷＳＴ側に回折格子１２Ａ～１２Ｄを配置している。この他の構成として、計測フレーム１５０側に回折格子１２Ａ～１２Ｄを配置し、ウエハステージＷＳＴ側に検出ヘッド１４を配置してもよい。このような構成は、例えば、米国特許第８，１１５，９０６号、第８，２２８，４８２号、第８，２３７，９１６号公報や、米国特許公開第２００９／２８４７１７号、第２００９／２８４７２３号、第２００９／２８４７２４号公報などに記載されている。ここでは、米国特許第８，１１５，９０６号、第８，２２８，４８２号、第８，２３７，９１６号公報、米国特許公開第２００９／２８４７１７号、第２００９／２８４７２３号および第２００９／２８４７２４号公報の教示を参照として援用する。

【００７９】

また、上記実施形態では、ウエハステージＷＳＴのＸＹ平面に平行な面、具体的には上面に、回折格子が配置された場合について説明したが、これに限らず、例えば米国特許公開第２０１０／０７３６５２号および第２０１０／０８２０９５号のようにウエハステージＷＳＴの下面に回折格子を設ける構成であっても良い。ここでは、米国特許公開第２０１０／０７３６５２号および第２０１０／０８２０９５号の教示を参照として援用する。なお、ウエハステージＷＳＴの側面にグレーティングを配置しても良い。

【００８０】

なお、上記実施形態において、例えば米国特許第２００７／１２７００６号公報などに開示されているように、ウエハステージＷＳＴとは別に計測ステージＭＳＴを備えていても良い。また、例えば米国特許第６，３４１，００７号明細書および米国特許第６，２６２，７９６号明細書などに開示されているように、２つのウエハステージを用いて露光動作と計測動作（例えば、アライメント系によるマーク検出など）とをほぼ並行して実行可能なツインウエハステージ方式に本実施形態のエンコーダを適用しても良い。ここでは、米国特許第２００７／１２７００６号公報の教示を参照として援用する。

【００８１】

また、上記の実施形態の露光装置ＥＸ又は露光方法を用いて半導体デバイス等の電子デバイス（又はマイクロデバイス）を製造する場合、電子デバイスは、図１０に示すように、電子デバイスの機能・性能設計を行うステップ２２１、この設計ステップに基づいたレチクル（マスク）を製作するステップ２２２、デバイスの基材である基板（ウエハ）を製造してレジストを塗布するステップ２２３、前述した実施形態の露光装置（露光方法）によりレチクルのパターンを基板（感光基板）に露光する工程、露光した基板を現像する工程、現像した基板の加熱（キュア）及びエッチング工程などを含む基板処理ステップ２２４、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程などの加工プロセスを含む）２２５、並びに検査ステップ２２６等を経て製造される。

【００８２】

言い換えると、このデバイスの製造方法は、上記の実施例の露光装置ＥＸ（露光方法）を用いてレチクルのパターンの像を基板（ウエハ）に転写し、その基板を現像するリソグラフィ工程と、そのパターンの像が転写されたその基板をそのパターンの像に基づいて加工する工程（ステップ２２４のエッチング等）とを含んでいる。この際に、上記の実施例によれば、露光装置のウエハステージＷＳＴの位置を高精度に制御できるため、電子デバイスを高精度に製造できる。

【００８３】

なお、本発明は、上述の走査露光型の投影露光装置（スキャナ）の他に、ステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置（ステッパ等）にも適用できる。さらに、本発明は、液浸型露光装置以外のドライ露光型の露光装置にも同様に適用することができる。

また、本発明は、半導体デバイス製造用の露光装置への適用に限定されることなく、例えば、角型のガラスプレートに形成される液晶表示素子、若しくはプラズマディスプレイ等のディスプレイ装置用の露光装置や、撮像素子（ＣＣＤ等）、マイクロマシーン、薄膜磁気ヘッド、及びＤＮＡチップ等の各種デバイスを製造するための露光装置にも広く適用できる。更に、本発明は、各種デバイスのマスクパターンが形成されたマスク（フォトマスク、レチクル等）をフォトリソグフィ工程を用いて製造する際の、露光装置にも適用することができる。

【００８４】

また、上記の実施形態のエンコーダ１０は、露光装置以外の検査装置又は計測装置等の検査又は加工対象の物体用の光学系（レーザ光を集光する光学系等）と、その物体を移動する移動装置（ステージ等）とを備えた光学装置において、その移動装置（物体）の例えばその光学系に対する相対移動量を計測するために適用することができる。さらに、エンコーダの計測結果に基いてその移動装置（物体）を移動するために適用することができる。

【００８５】

なお、本発明は上述の実施形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

また、本願に記載した上記公報、各国際公開パンフレット、米国特許、又は米国特許出願公開明細書における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。また、明細書、特許請求の範囲、図面、及び要約を含む２０１１年１１月１７日付け提出の日本国特許出願第２０１１－２５１９８６号の全ての開示内容は、そっくりそのまま引用して本願に組み込まれている。

【００８６】
　また、本発明は、以下の条項に従って記述することもできる。
１．　第１部材と該第１部材に対して少なくとも第１方向に相対移動可能に支持された第２部材との相対移動量を計測するエンコーダ装置であって、
　前記第１部材に設けられ、少なくとも前記第１方向を周期方向とする格子パターンを有する反射型の回折格子と、
　計測光を射出する光源部と、
　前記第２部材に設けられ、前記計測光を前記回折格子の格子パターン面に概ね垂直に入射させる入射用光学部材と、
　前記第２部材に設けられるとともに、前記計測光によって前記回折格子から前記第１方向に関して発生する第１回折光を前記回折格子に入射させる第１反射部材と、
　前記第２部材に設けられるとともに、前記計測光によって前記回折格子から前記第１方向に関して発生する前記第１回折光と異なる次数の第２回折光を前記回折格子に入射させる第２反射部材と、
　前記第１回折光によって前記回折格子から発生する第１の再回折光と他の光束との干渉光を検出する第１光電検出器と、
　前記第２回折光によって前記回折格子から発生する第２の再回折光と他の光束との干渉光を検出する第２光電検出器と、
　前記第１及び第２光電検出器の検出信号を用いて前記第１部材と前記第２部材との相対移動量を求める計測部と、
を備えることを特徴とするエンコーダ装置。
【００８７】
２．　前記第２反射部材は、前記入射用光学部材に関して前記第１反射部材に概ね対称に前記第２部材に設けられることを特徴とする条項１に記載のエンコーダ装置。
３．　前記回折格子と前記第１反射部材との間に配置されて、前記第１回折光の前記第１反射部材に対する入射角を小さくする第１方向変更部材と、
　前記回折格子と前記第２反射部との間に配置されて、前記第２回折光の前記第２反射部材に対する入射角を小さくする第２方向変更部材と、を備えることを特徴とする条項１～２のいずれか一項に記載のエンコーダ装置。
４．　前記回折格子は、前記第１方向及び該第１方向に直交する第２方向を周期方向とする２次元の反射型の回折格子であり、
　前記第２部材に設けられるとともに、前記計測光によって前記回折格子から前記第２方向に関して発生する第３回折光を前記回折格子に入射させる第３反射部材と、
　前記第２部材に設けられるとともに、前記計測光によって前記回折格子から前記第２方向に関して発生する前記第３回折光と異なる次数の第４回折光を前記回折格子に入射させる第４反射部と、
　前記第３回折光によって前記回折格子から発生する第３の再回折光と他の光束との干渉光を検出する第３光電検出器と、
　前記第４回折光によって前記回折格子から発生する第４の再回折光と他の光束との干渉光を検出する第４光電検出器と、を備え、
　前記計測部は、前記第１、第２、第３、及び第４光電検出器の検出信号を用いて前記第１部材と前記第２部材との相対移動量を求めることを特徴とする条項１～３のいずれか一項に記載のエンコーダ装置。
【００８８】
５．　前記計測部は、前記第１部材と前記第２部材との前記第１方向、前記第２方向、及び前記回折格子の格子パターン面に垂直な第３方向の相対移動量を求めることを特徴とする条項４に記載のエンコーダ装置。
６．　パターンを被露光体に露光する露光装置であって、
　フレームと、
　前記被露光体を支持するとともに前記フレームに対して少なくとも第１方向に相対移動

可能なステージと、

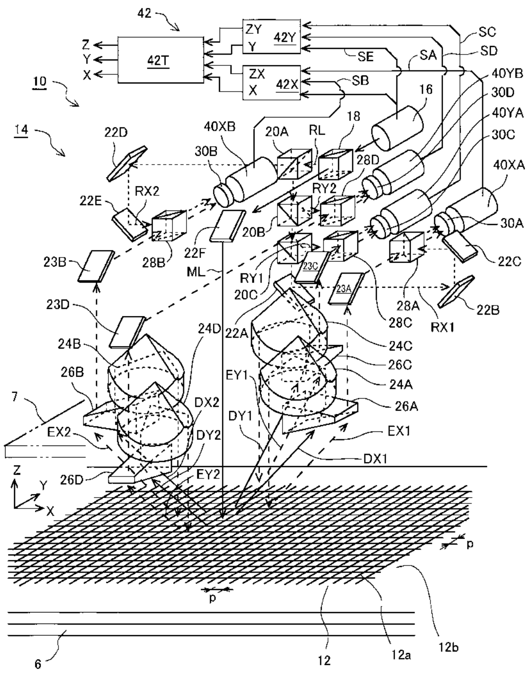
少なくとも前記第１方向への前記フレームと前記ステージとの相対移動量を計測するための条項１～５のいずれか一項に記載のエンコーダ装置と、を備えることを特徴とする露光装置。

【符号の説明】

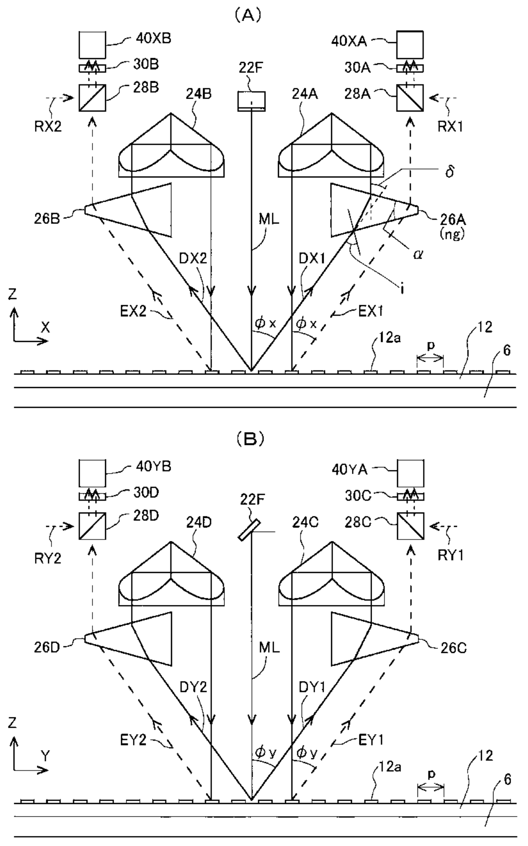
【００８９】

ＥＸ…露光装置、Ｒ…レチクル、Ｗ…ウエハ、ＭＬ…計測光、ＤＸ１，ＤＹ１，ＥＸ１，ＥＹ１…＋１次回折光、ＤＸ２，ＤＹ２，ＥＸ２，ＥＹ２…－１次回折光、１０…３軸のエンコーダ、１２…２次元の回折格子、１４…３軸の検出ヘッド、１６…レーザ光源、２４Ａ～２４Ｄ…コーナーキューブ、２６Ａ～２６Ｄ…楔型プリズム、４０ＸＡ，４０ＸＢ，４０ＹＡ，４０ＹＢ…光電センサ、３２…１次元の回折格子、４２…計測演算部

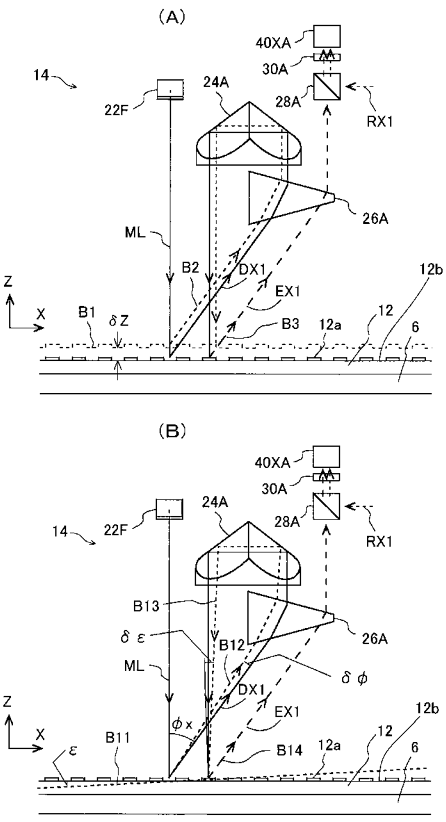
【図１】



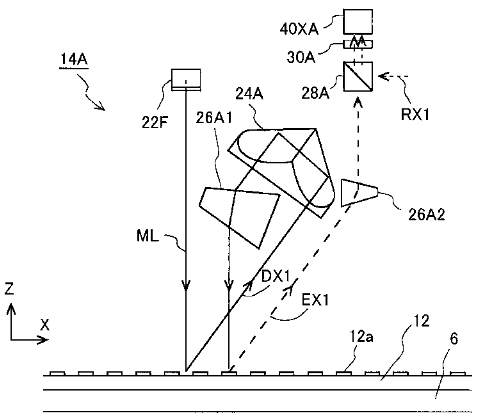
【図２】



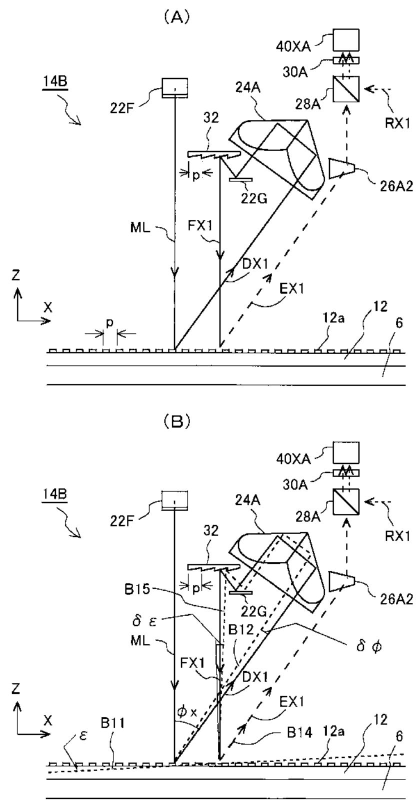
【図３】


(A)
14
22F
24A
40XA
30A
28A
RX1
26A
ML
B2
DX1
EX1
B3
12b
Z
X
B1
δZ
12a
12
6
(B)
40XA
30A
28A
RX1
24A
14
22F
B13
26A
δε
B12
δφ
ML
DX1
EX1
φx
12b
B11
ε
B14
12a
12
6

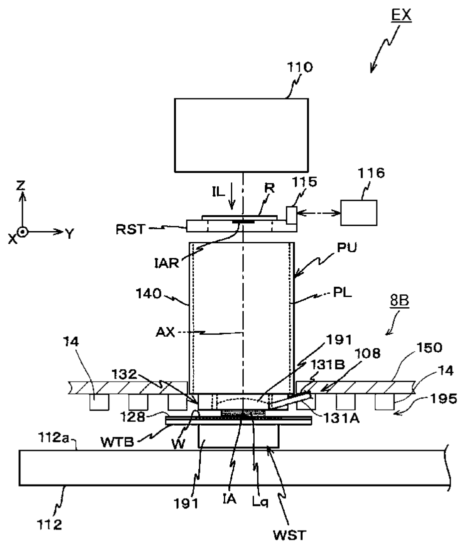
【図４】


40XA
30A
28A
RX1
14A
22F
24A
26A1
26A2
ML
DX1
EX1
Z
X
12a
12
6

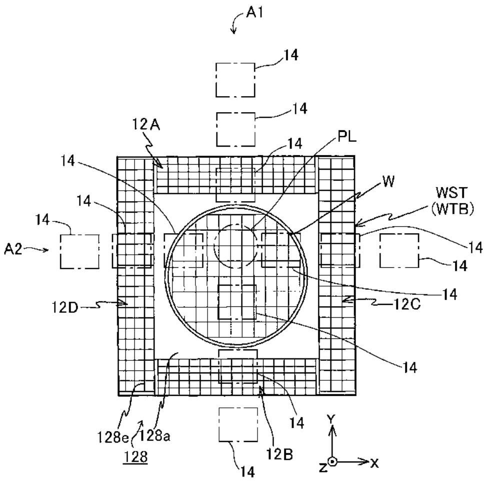
【図５】


(A)
40XA
30A
28A
RX1
14B
22F
24A
32
p
22G
26A2
ML
FX1
DX1
EX1
Z
X
p
12a
12
6
(B)
40XA
30A
28A
RX1
14B
22F
24A
32
p
22G
26A2
B15
δε
B12
δφ
ML
FX1
DX1
EX1
φx
B11
ε
B14
12a
12
6

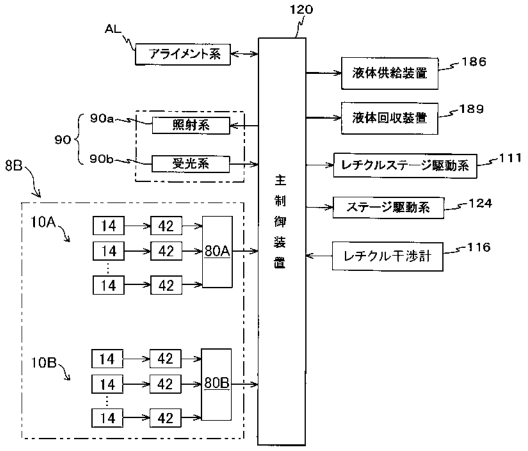
【図６】


EX
110
IL
R
115
116
RST
IAR
PU
140
PL
8B
AX
191
108
150
14
132
131B
14
195
128
131A
112a
WTB
W
112
191
IA
Lq
WST

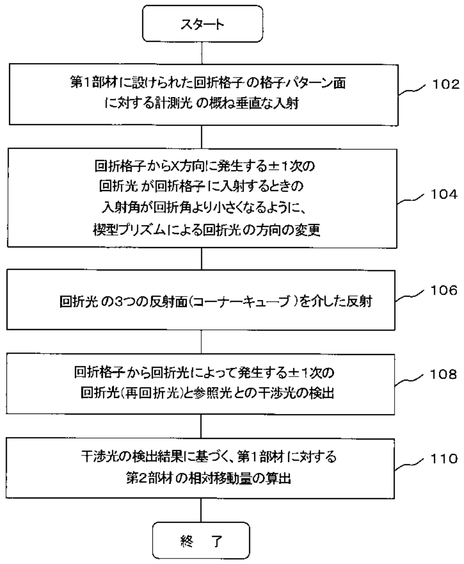
【図７】


A1
14
12A
PL
W
WST
(WTB)
A2
12D
12C
128e
128a
128
12B
Y
Z
X

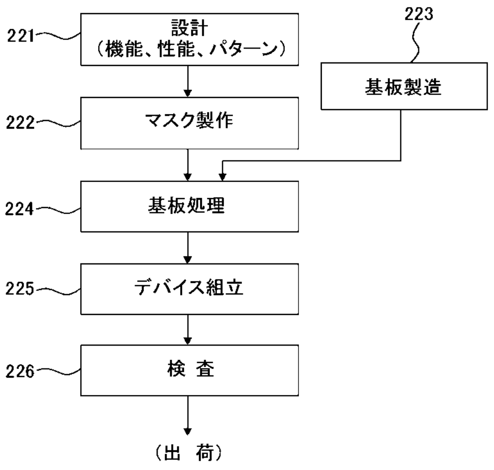
【図８】


AL
アライメント系
120
液体供給装置
186
液体回収装置
189
90a
照射系
90
90b
受光系
レチクルステージ駆動系
111
8B
主制御装置
ステージ駆動系
124
10A
14
42
80A
レチクル干渉計
116
10B
80B

【図９】


スタート
第1部材に設けられた回折格子の格子パターン面
に対する計測光の概ね垂直な入射
102
回折格子からX方向に発生する±1次の
回折光が回折格子に入射するときの
入射角が回折角より小さくなるように、
楔型プリズムによる回折光の方向の変更
104
回折光の3つの反射面(コーナーキューブ)を介した反射
106
回折格子から回折光によって発生する±1次の
回折光(再回折光)と参照光との干渉光の検出
108
干渉光の検出結果に基づく、第1部材に対する
第2部材の相対移動量の算出
110
終　了

【図１０】


221
設計
(機能、性能、パターン)
223
基板製造
222
マスク製作
224
基板処理
225
デバイス組立
226
検 査
(出 荷)

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/079432

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01D5/38(2006.01)i, *G03F7/20*(2006.01)i, *H01L21/027*(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01D5/26-5/38, G03F7/20, G03F9/00, H01L21/027

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2008/029757 A1 (Nikon Corp.), 13 March 2008 (13.03.2008), entire text; all drawings & CN 101405838 A & CN 102360169 A & EP 2071613 A1 & JP 2012-169655 A & KR 10-2009-0063179 A & SG 174102 A & SG 183736 A & TW 200830360 A & US 2008/0094593 A1	1-21
A	JP 2010-272863 A (ASML Netherlands B.V.), 02 December 2010 (02.12.2010), entire text; all drawings & US 2010/0297561 A1	1-21

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C. [ ] See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
04 February, 2013 (04.02.13)	12 February, 2013 (12.02.13)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japanese Patent Office	
Facsimile No.	Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/079432

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2010-38654 A (Sony Corp.), 18 February 2010 (18.02.2010), entire text; all drawings (Family: none)	1-21
A	JP 2006-322835 A (Nikon Corp.), 30 November 2006 (30.11.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-21
A	JP 2006-177876 A (Mitsutoyo Corp.), 06 July 2006 (06.07.2006), entire text; all drawings & CN 1793778 A & EP 1674834 A2 & US 2006/0139654 A1	1-21
A	JP 3-2520 A (Hitachi, Ltd.), 08 January 1991 (08.01.1991), entire text; all drawings (Family: none)	1-21

国際調査報告	国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１２／０７９４３２

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl. G01D5/38(2006.01)i, G03F7/20(2006.01)i, H01L21/027(2006.01)i

B.　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl. G01D5/26-5/38, G03F7/20, G03F9/00, H01L21/027

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１３年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	WO 2008/029757 A1 (株式会社ニコン) 2008.03.13, 全文,全図 & CN 101405838 A & CN 102360169 A & EP 2071613 A1 & JP 2012-169655 A & KR 10-2009-0063179 A & SG 174102 A & SG 183736 A & TW 200830360 A & US 2008/0094593 A1	1-21
A	JP 2010-272863 A (エーエスエムエル　ネザーランズ　ビー．ブイ．) 2010.12.02, 全文,全図 & US 2010/0297561 A1	1-21

☑ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　□ パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 ０４．０２．２０１３	国際調査報告の発送日 １２．０２．２０１３
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｆ　９２０６ 岡田　卓弥 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２１６

様式ＰＣＴ／ＩＳＡ／２１０（第２ページ）（２００９年７月）

国際調査報告	国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１２／０７９４３２

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2010-38654 A（ソニー株式会社）2010.02.18，全文，全図 （ファミリーなし）	1-21
A	JP 2006-322835 A（株式会社ニコン）2006.11.30，全文，全図 （ファミリーなし）	1-21
A	JP 2006-177876 A（株式会社ミツトヨ）2006.07.06，全文，全図 & CN 1793778 A & EP 1674834 A2 & US 2006/0139654 A1	1-21
A	JP 3-2520 A（株式会社日立製作所）1991.01.08，全文，全図 （ファミリーなし）	1-21

様式ＰＣＴ／ＩＳＡ／２１０（第２ページの続き）（２００９年７月）

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IS,JP,KE,KG,KM,KN,KP,KR,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LT,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC

Ｆターム(参考) 2F103 BA01 BA10 BA27 BA37 CA01 CA03 CA04 CA08 EA15 EB02
EB05 EB08 EB12 EB16 EC11 EC13 EC14 FA02
5F146 BA03 BA11 CB02 CB10 CC01 CC03 CC20 DA07 DB05 DC09

（注）この公表は、国際事務局（ＷＩＰＯ）により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願（日本語実用新案登録出願）の国際公開の効果は、特許法第１８４条の１０第１項(実用新案法第４８条の１３第２項）により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。