

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-10645
(P2006-10645A)

(43) 公開日 平成18年1月12日(2006.1.12)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 B 11/26 (2006.01)	GO 1 B 11/26 Z	2 F O 6 5
GO 1 B 11/00 (2006.01)	GO 1 B 11/00 C	

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 50 頁)

(21) 出願番号	特願2004-191828 (P2004-191828)	(71) 出願人	504157024 国立大学法人東北大学 宮城県仙台市青葉区片平2丁目1番1号
(22) 出願日	平成16年6月29日(2004.6.29)	(71) 出願人	000002107 住友重機械工業株式会社 東京都品川区北品川五丁目9番11号
		(74) 代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
		(72) 発明者	高 偉 宮城県仙台市青葉区片平2丁目1番1号 東北大学大学院工学研究科内
		(72) 発明者	清野 慧 宮城県仙台市青葉区片平2丁目1番1号 東北大学大学院工学研究科内

最終頁に続く

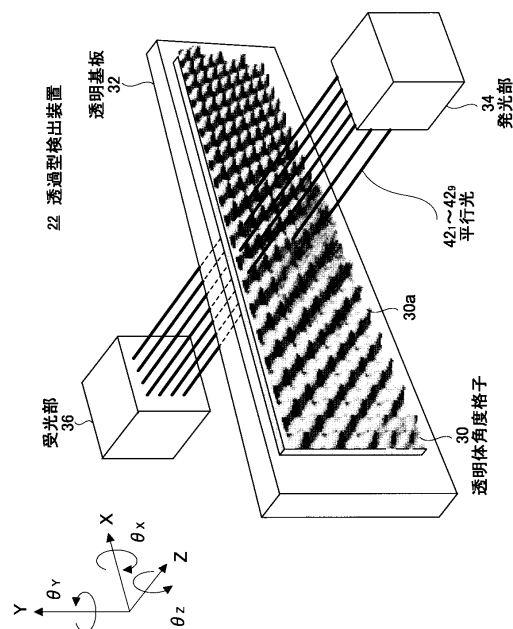
(54) 【発明の名称】 検出装置及びステージ装置

(57) 【要約】

【課題】 本発明は高精度に可動されるステージの位置及び傾きを正確に検出することを課題とする。

【解決手段】 透過型検出装置22は、第1ステージ14の移動方向に延在形成された透明体角度格子30と、透明体角度格子30を垂直状態に保持する透明基板32と、透明体角度格子30に向けて複数の平行光を発光する発光部34と、透明体角度格子30を透過した複数の平行光を受光する受光部36とを有する。受光部36には9個のフォトダイオードが配置され、透明体角度格子30を透過した複数の平行光の受光強度分布を検出する。そして、受光部36で検出された強度分布の変化から固定側の透明体角度格子30に対する発光部34の位置及び傾き角度を検出することが可能になる。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

表面に所定の曲率半径を有する凹曲面と凸曲面とが 2 次元方向に交互に形成された検出面を有する基準格子と、

前記基準格子に対して移動可能に設けられ、前記基準格子の鉛直方向から前記検出面に向けて複数の平行光を発光する発光部と、

前記発光部と一体的に移動するように設けられ、前記基準格子を透過した前記複数の平行光を受光する複数の受光素子を有する受光部と、

を備えたことを特徴とする検出装置。

【請求項 2】

表面に所定の曲率半径を有する凹曲面と凸曲面とが 2 次元方向に交互に形成された検出面を有する基準格子と、

前記基準格子の裏面に形成された反射面と、

前記基準格子に対して移動可能に設けられ、前記基準格子の鉛直方向から前記検出面に向けて複数の平行光を発光する発光部と、

前記発光部と一体的に移動するように設けられ、前記反射面から反射した複数の平行光を受光する複数の受光素子を有する受光部と、

を備えたことを特徴とする検出装置。

【請求項 3】

表面に所定の曲率半径を有する凹曲面と凸曲面とが 2 次元方向に交互に形成された検出面を有する基準格子と、

前記検出面に形成された反射面と、

前記基準格子に対して移動可能に設けられ、前記基準格子の鉛直方向から前記検出面に向けて複数の平行光を発光する発光部と、

前記発光部と一体的に移動するように設けられ、前記反射面から反射した複数の平行光を受光する複数の受光素子を有する受光部と、

を備えたことを特徴とする検出装置。

【請求項 4】

前記発光部は、

光源と、

該光源からの光を複数の平行光に分光する分光手段と、

を有することを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れかに記載の検出装置。

【請求項 5】

前記分光手段は、所定の曲率半径を有する凹曲面と凸曲面とが 2 次元方向に交互に形成された入射面を有することを特徴とする請求項 4 に記載の検出装置。

【請求項 6】

前記受光部は、前記複数の平行光よりも多い数の受光素子を有しており、一つの光に対して少なくとも 1 以上の受光素子を配したことを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れかに記載の検出装置。

【請求項 7】

前記受光素子で受光された前記複数の平行光の光強度に応じた検出信号が入力され、各光強度分布の変化から前記基準格子に対する前記発光部の相対的な移動量を演算する演算手段を有することを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れかに記載の検出装置。

【請求項 8】

前記演算手段は、前記複数の受光素子で受光された前記複数の平行光の光強度分布の変化に基づいて前記検出面に対する前記発光部及び受光部の相対的な傾き角度を演算することを特徴とする請求項 7 に記載の検出装置。

【請求項 9】

前記基準格子は、

透明基板と、

10

20

30

40

50

該透明基板の表側に設けられた第1の基準格子と、
前記第1の基準格子と180度の向きとなるように、前記透明基板の裏側に設けられた
第2の基準格子と、
を備えたことを特徴とする請求項1に記載の検出装置。

【請求項10】

ベースと、
該ベースに対して移動可能に設けられたステージと、
前記ステージに駆動力を付与する駆動手段と、
前記ステージの移動を検出する前記請求項1乃至9の何れかに記載の検出装置と、
前記検出装置の検出結果に応じて前記ステージが所定速度で移動するように前記駆動手
段を制御する制御手段と、
を備えたことを特徴とするステージ装置。 10

【請求項11】

前記駆動手段は、一对のリニアモータであり、
前記制御手段は、前記一对のリニアモータを並進駆動することを特徴とする請求項10
に記載のステージ装置。

【請求項12】

前記請求項1乃至9の何れかに記載の検出装置を前記リニアモータの近傍に設けたこと
を特徴とする請求項10に記載のステージ装置。

【発明の詳細な説明】 20

【技術分野】

【0001】

本発明は、検出装置及びステージ装置に係り、特に高精度に可動されるステージの状態
の検出を行う検出装置及びステージ装置に関する。

【背景技術】

【0002】

IT技術の根幹である半導体デバイスの高集積化、低価格化に対応し、半導体デバイ
スを製造する半導体露光装置に対する高生産性、高精度化、高速化等の要求が高まっている
。半導体露光装置のキーコンポーネントであるステージには10nm前後の精度と数百m
mの移動範囲を持った高速多自由度ステージ装置が要求される。そのため、ステージの多
自由度位置と姿勢を精密に計測し、その結果をフィードバックしてステージの位置決め制
御を行うことが必要となる。 30

【0003】

従来、位置決め装置の位置計測方式としては、光学式リニアエンコーダ、レーザ測長機
やオートコリメータ等が一般的に用いられてきた。これらは、基本的には1次元の長さあ
るいは姿勢測定を基本原理としており、その複数軸の組み合わせによって、位置あるいは
姿勢の計測を行っていた。

【0004】

また、高精度計測に用いられているレーザ干渉計では、レーザ光を用いてステージ（位
置決め対象物）の位置の計測を行うため、ステージの置かれている装置内の空気の揺らぎ
などによって、計測の値精度が低下するという問題があった。また、レーザ干渉計では、
光学部品をステージの外部（周囲）にしか置くことができず、且つ空気の揺らぎを防止す
るために各方向毎にレーザの光路となる金属パイプを装架する必要があるため、ステー
ジ装置全体が大型化し、構成が煩雑となるなどの問題点がある。 40

【0005】

さらに、ステージがZ軸回りに回転した場合には、ステージからの反射光が干渉計の受
光部から外れて、XY方向の位置検出ができなくなるという問題があった。このような問
題を解決する検出装置として、基準格子（角度格子）にレーザ光を照射し、基準格子によ
り反射される反射光をXY方向の2次元角度を2次元角度センサにより検出するものがあ
る（例えば、特許文献1参照）。 50

【0006】

図1は、基準格子と2次元角度センサとを有した検出装置の概略図である。図1に示すように、従来の検出装置300では、1本の2次元角度センサ290の出力変化によりXY方向の位置の検出を行っていた。

【0007】

ここでの2次元角度センサ290は、基準格子の面の傾斜を検出するものであり、これにより基準格子の面の法線方向の変化を見ることができ、2次元角度センサ290により、XY方向(2方向)の傾斜または法線変化を検出することができる。基準格子320は、平面上の直交する2方向(X方向及びY方向)に既知の関数で変化する山と谷とが集合してなるもののことであり、基準格子320の形状には、正弦波が用いられる。

10

【0008】

次に、図2を参照して、図1に示した2次元角度センサ290について説明する。図2は、2次元角度センサを示した図である。2次元角度センサ290は、オートコリメーション法に基づいた幾何光学的なセンサである。

【0009】

図2に示すように、レーザ光源301から照射された1本のレーザ光310は、偏光ビームスプリッタ302と1/4波長板303を通過し、基準格子320の表面に入射する。基準格子320の表面で反射されたレーザ光312は偏光ビームスプリッタ302で反射され、レーザ光312はオートコリメータ305に入射する。オートコリメータ305は、対物レンズ306とスポット位置を検出する検出器307とを含んだ構成とされている。

20

【特許文献1】特許2960013号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、上記オートコリメーション法では、対物レンズ306の焦点にある標板(一般には十字線)を無限遠に結像させて、対物レンズ306の先にある平面鏡によって反射された平行光を標板面に共役な位置に結像させ、結像した十字線の面内の変位から平面鏡の微小な角度の変位を読み取るため、オートコリメータ305等の高価でかつ複雑な部品を必要とし、検出装置300のコストが高くなってしまいうという問題があった。

30

【0011】

また、高分解能の位置検出を行うため、基準格子320とマルチスポットとの周期が短くなるにつれ、光の干渉と回折によって幾何光学的な原理が成立しない可能性があるため、精度良く検出することが困難であるという問題があった。また、2次元の変位(X方向及びY方向の変位)と3つの姿勢変化(X軸に対する回転方向、Y軸に対する回転方向、及びZ軸に対する回転方向)との5つの自由度の状態について検出するためには、3つの2次元角度センサ300が必要となり、センサ間の調整が難しいという問題があった。

【0012】

さらに、ステージ装置において、例えば、ステージを移動させる際に位置検出しながらステージの両側に設けられた一对のリニアモータを駆動制御しているが、その際の位置検出精度を高めるために上記検出装置300をよりコンパクトな構成としてリニアモータの移動量や傾きを正確に検出する必要がある。

40

【0013】

また、上記以外の検出装置としては、ステージの移動方向に延在形成されたスリット板に対して移動する光センサによってスリット数を光学的に検出してステージの位置を検出するリニアスケールがある。このリニアスケールでは、移動方向の変位量を検出することができるものの、その他の方向(例えば、上下方向やステージの各軸回りの傾き角度)を検出することができない。

【0014】

そのため、従来のステージ装置では、ステージの両側に一对のリニアスケールを配置し

50

、一対のリニアスケールによって検出された検出信号の差からステージのヨーイング角を演算していた。そして、ステージのその他の方向の傾き角度を検出せずにステージの移動を制御していた。

【0015】

従って、従来のステージ装置において、リニアスケールから得られる移動方向の位置（移動量）に基づいてリニアモータを駆動制御しているため、ステージを移動させる際の状態を正確に把握しておらず、ステージが傾いた場合にどの方向にどの位傾いたかを正確に検出できなかった。

【0016】

本発明は上記の点に鑑みてなされたものであり、製造しやすい形状の基準格子を用いて、ステージの変位及び傾き角度の検出を容易に行うことができ、かつ検出の精度を向上することのできる検出装置及びステージ装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0017】

本発明は上記課題を解決するため、以下のような特徴を有する。

【0018】

請求項1記載の発明は、表面に所定の曲率半径を有する凹曲面と凸曲面とが2次元方向に交互に形成された検出面を有する基準格子と、前記基準格子に対して移動可能に設けられ、前記基準格子の鉛直方向から前記検出面に向けて複数の平行光を発光する発光部と、前記発光部と一体的に移動するように設けられ、前記基準格子を透過した前記複数の平行光を受光する複数の受光素子を有する受光部と、を備えたことを特徴とする。

【0019】

請求項2記載の発明は、表面に所定の曲率半径を有する凹曲面と凸曲面とが2次元方向に交互に形成された検出面を有する基準格子と、前記基準格子の裏面に形成された反射面と、前記基準格子に対して移動可能に設けられ、前記基準格子の鉛直方向から前記検出面に向けて複数の平行光を発光する発光部と、前記発光部と一体的に移動するように設けられ、前記反射面から反射した複数の平行光を受光する複数の受光素子を有する受光部と、を備えたことを特徴とする。

【0020】

請求項3記載の発明は、表面に所定の曲率半径を有する凹曲面と凸曲面とが2次元方向に交互に形成された検出面を有する基準格子と、前記検出面に形成された反射面と、前記基準格子に対して移動可能に設けられ、前記基準格子の鉛直方向から前記検出面に向けて複数の平行光を発光する発光部と、前記発光部と一体的に移動するように設けられ、前記反射面から反射した複数の平行光を受光する複数の受光素子を有する受光部と、を備えたことを特徴とする。

【0021】

請求項4記載の発明は、前記発光部が、光源と、該光源からの光を複数の平行光に分光する分光手段と、を有することを特徴とする。

【0022】

請求項5記載の発明は、前記分光手段が、所定の曲率半径を有する凹曲面と凸曲面とが2次元方向に交互に形成された入射面を有することを特徴とする。

【0023】

請求項6記載の発明は、前記受光部が、前記複数の平行光よりも多い数の受光素子を有しており、一つの光に対して少なくとも1以上の受光素子を配したことを特徴とする。

【0024】

請求項7記載の発明は、前記受光素子で受光された前記複数の平行光の光強度に応じた検出信号が入力され、各光強度分布の変化から前記基準格子に対する前記発光部の相対的な移動量を演算する演算手段を有することを特徴とする。

【0025】

請求項8記載の発明は、前記演算手段が、前記複数の受光素子で受光された前記複数の

10

20

30

40

50

平行光の光強度分布の変化に基づいて前記検出面に対する前記発光部及び受光部の相対的な傾き角度を演算することを特徴とする。

【0026】

請求項9記載の発明は、前記基準格子が、透明基板と、該透明基板の表側に設けられた第1の基準格子と、前記第1の基準格子と180度の向きとなるように、前記透明基板の裏側に設けられた第2の基準格子と、を備えたことを特徴とする。

【0027】

請求項10記載の発明は、ベースと、該ベースに対して移動可能に設けられたステージと、前記ステージに駆動力を付与する駆動手段と、前記ステージの移動を検出する前記請求項1乃至9の何れかに記載の検出装置と、前記検出装置の検出結果に応じて前記ステージが所定速度で移動するように前記駆動手段を制御する制御手段と、を備えたことを特徴とする。

10

【0028】

請求項11記載の発明は、前記駆動手段が、一对のリニアモータであり、前記制御手段が、前記一对のリニアモータを並進駆動することを特徴とする。

【0029】

請求項12記載の発明は、前記請求項1乃至9の何れかに記載の検出装置を前記リニアモータの近傍に設けたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0030】

本発明によれば、一つの発光部と受光部との間に基準格子を配置するといった構成であるので、構成の簡素化及びコンパクト化を図ることが可能になり、且つ基準格子に対する発光部、受光部の相対位置を複数の平行光の受光強度分布の変化から基準格子の検出面に対応する2方向及び基準格子に対する各方向の傾き角度を正確に検出することができる。また、発光部及び受光部を基準格子の反射面に対向させ、反射面から反射した複数の平行光を受光する構成であるので、構成の簡素化及びコンパクト化を図ることが可能になり、且つ基準格子に対する発光部、受光部の相対位置を複数の平行光の受光強度分布の変化から基準格子の検出面に対応する2方向及び基準格子に対する各方向の傾き角度を正確に検出することができる。

20

【0031】

また、本発明の検出装置を用いたステージ装置では、ステージの移動を複数の平行光を発光する発光部と、基準格子を透過または反射した複数の平行光を受光する受光部とにより、基準格子の検出面に対応するステージの2方向の位置検出を正確に行えと共に、各方向のステージの傾き角度を同時に検出することができ、ステージの傾きを修正するようにステージを駆動制御することが可能になる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0032】

以下、図面と共に本発明の一実施例について説明する。

【実施例1】

【0033】

図3は本発明になる検出装置の実施例1が適用されたステージ装置の主要構成要素を示す概念図である。尚、本実施例では、後述する透過型検出装置22の構成及び作動原理を説明する際の便宜上、以下では透明体角度格子30に対して光を照射する方向をZ方向としており、図3においては左右方向をX方向として説明する。

40

図3に示されるように、ステージ装置10は、ベース12と、ベース12に対して移動可能に設けられた第1ステージ14と、第1ステージ14に搭載され左右方向に移動可能に設けられた第2ステージ16と、第1ステージ14の両端を並進駆動する一对のリニアモータ(駆動手段)18, 20と、リニアモータ18の近傍に配置された透過型検出装置22と、第2ステージ16を駆動するリニアモータ24と、リニアモータ24と平行に配置されたりニアスケール26とを有する。

50

【0034】

透過型検出装置22は、本発明の要部を構成しており、後述するように第1ステージ14の移動位置を主検出対象としており、移動方向(X方向)以外の方向に対する運動誤差要因となる上下方向(Y方向)、各軸回りの角度 x 、 y 、 z も同時に検出することができるように構成されている。

【0035】

透過型検出装置22及びXリニアスケール26により検出された検出信号は、座標変換器27により座標変換されて制御装置28に入力される。制御装置28は、予め設定されて演算式に基づいてリニアモータ18, 20, 24へ供給される制御量を演算する演算手段(制御プログラム)を有し、演算により得られた制御信号を各サーボアンプ29a~29cに出力する。そして、各サーボアンプ29a~29cで増幅された駆動信号は、リニアモータ18, 20, 24へ供給されてリニアモータ18, 20, 24が駆動される。

10

【0036】

また、透過型検出装置22では、後述するように第1ステージ14のX, Y方向の変位及び z 方向の傾き角度を検出することができる。そのため、制御装置28では、透過型検出装置22によって検出された各方向の検出データに基づいて第1ステージ14が傾かないようにリニアモータ18, 20を高精度に並進駆動することが可能になる。

【0037】

ここで、透過型サーフェスエンコーダとして用いられる透過型検出装置22の構成について図4を参照して説明する。

20

図4に示されるように、透過型検出装置22は、第1ステージ14の移動方向に延在形成された透明体角度格子(基準格子)30と、透明体角度格子30を垂直状態に保持する透明基板32と、透明体角度格子30に向けて複数の平行光を発光する発光部34と、透明体角度格子30を透過した複数の平行光を受光する受光部36とを有する。

【0038】

透明基板32は、透明なガラス板などからなり、固定側となるベース12に垂直状態に固定されている。そして、透明基板32の表面には、透明体角度格子30が固着されている。透明体角度格子30及び透明基板32は、透明材によって形成されているため、発光部34から照射された光が透過する性質を有している。

【0039】

また、透明体角度格子30は、図5に拡大して示すように表面に所定の曲率半径を有する正弦波形状の輪郭右で立体的な凹曲面と凸曲面とが2次元方向に交互に形成された検出面30aが形成されている。この検出面30aの凹凸形状は、例えば、金型を押し付けることにより微細な凹曲面、凸曲面を均一、且つ高精度に形成することが可能になる。

30

【0040】

発光部34は、透明体角度格子30の表面の鉛直方向に対向するように設けられている。また、受光部36は、透明体角度格子30の裏面の鉛直方向に対向するように設けられている。そして、発光部34及び受光部36は、可動側となる第1ステージ14に固定されたブラケット(図示せず)により一体的に支持されており、且つ透明体角度格子30及び透明基板32を介して正対するように保持されている。

40

【0041】

そのため、発光部34及び受光部36は、第1ステージ14と共にY方向に駆動されると、透明体角度格子30及び透明基板32に対して移動することになる。その際、発光部34から発光された複数の平行光が検出面30aの凹曲面と凸曲面によって屈折されて透過して受光部36に受光される。受光部36には、後述するように発光部34からの複数の平行光を受光する複数の受光素子が所定間隔で設けられている。そして、発光部34からの光が検出面30aの凹曲面と凸曲面とを透過する位置によって屈折率が変化して受光部36での各光の受光強度分布の変化から透明体角度格子30に対する発光部34及び受光部36の移動量を求めることが可能になる。

【0042】

50

図6は図4において透過型検出装置22の構成をX方向からみた構成図である。

図6に示されるように、発光部34は、例えば、レーザダイオードからなる光源34aからの光を複数本(例えば、 $n = 9$ 本)の平行光に分光しており、光源34aの出射面には、分光手段としてのグリッドパターンを有する正方形の分光板38が取り付けられている。

【0043】

図7は分光板38のグリッドパターンの一例を拡大して示す図である。図7に示されるように、分光板38は、X方向及びY方向の2次元平面に9つの微小開口38A~38Iが所定間隔 L_F で格子状に形成されている。分光板38は、光源34aから照射された光40を微小開口38A~38Iにより、9つの光 $42_1 \sim 42_9$ に分光するためのものである。 10

【0044】

尚、図7では、分光板38に9つの微小開口38A~38Iを設けた構成を例に挙げて説明したが、微小開口の配置数及び間隔については、任意に設定することができ、例えば、微小開口をX方向及びY方向に 10×10 個配置することも可能である。従って、分光板38によって分光される光の数(換言すると、受光部36に照射されるスポット数)は、微小開口の配置数を選択することにより任意の数に設定することができる。

【0045】

微小開口38A~38Iは、検出面30aに形成された凹曲面及び凸曲面の配設ピッチFと同一寸法となるように形成されている。また、分光板38の微小開口38A~38I 20
を通過した9本の光 $42_1 \sim 42_9$ は、平行光となって透明体角度格子30の検出面30aに照射されるため、透明体角度格子30の配設ピッチFと等間隔(または開口部38A~38Iを通過する際の回折により配設ピッチFの整数倍の間隔)でマルチスポットが生成される。

【0046】

また、透明体角度格子30を透過した9本の光 $42_1 \sim 42_9$ は、受光部36の直前に配置された対物レンズ44により受光部36の受光面36aに集光される。

【0047】

図8に示されるように、受光部36の受光面36aには、透明体角度格子30を透過した9本の光 $42_1 \sim 42_9$ を受光するフォトダイオード51~59が設けられている。 30

【0048】

次に、図8を参照して、受光部36について説明する。図8中に破線で示した丸印は、それぞれのフォトダイオード51~59に到達した光 $42_1 \sim 42_9$ のマルチスポットを示している。受光部36の受光面36aに設けられたフォトダイオード51~59は、光 $42_1 \sim 42_9$ の受光強度に応じた検出信号を出力する。フォトダイオード51~59のうち受光面36aの四隅に配置されたフォトダイオード51, 53, 57, 59は、一対の受光素子を組み合わせた2分割PDからなり、受光面36aの中央に配置されたフォトダイオード55は4個の受光素子を組み合わせた4分割PDからなる。

【0049】

受光面36aの左上に配置された2分割PD51は、三角形に形成された受光素子(51a, 51b)が一組となって光 42_1 の光強度を検出し、右上の角部に配置された2分割PD53は三角形に形成された受光素子(53a, 53b)が一組となって光 42_3 の光強度を検出し、左下の角部に配置された2分割PD57は三角形に形成された受光素子(57a, 57b)が一組となって光 42_7 の光強度を検出し、右下の角部に配置された2分割PD59は三角形に形成された受光素子(59a, 59b)が一組となって光 42_9 の光強度を検出する。 40

【0050】

また、受光面36aの中央に配置された4分割PD55は、4個の受光素子55a~55dがX方向及びY方向に2列ずつとなるように並設されており、4個の受光素子55a~55dにより中央に照射される光 42_5 の光強度を検出する。また、受光面36aの4辺 50

の中間に配置された、フォトダイオード 5 2 , 5 4 , 5 6 , 5 8 は、夫々光 4 2 2 , 4 2 4 , 4 2 6 , 4 2 8 の光強度を検出する。本実施例では、上記 9 個のフォトダイオード 5 1 ~ 5 9 を有する受光部 3 6 によって検出された光 4 2 1 ~ 4 2 9 の強度分布の変化により、第 1 ステージ 1 4 の位置及び傾き角度の検出を行う。

【 0 0 5 1 】

続いて、透過型検出装置 2 2 のシミュレーション結果について説明する。

透明体角度格子 3 0 を用いたモデルでは、透明体角度格子 3 0 の検出面 3 0 a の表面形状は式 (1) に示すように 2 次元に正弦波を重ね合わせた凹曲面と凸曲面となっている。

【 0 0 5 2 】

【 数 1 】

10

$$h(x, y) = -A_x \cos\left(2\pi \frac{x}{P_x}\right) - A_y \cos\left(2\pi \frac{y}{P_y}\right) \quad (1)$$

ここで、透明体角度格子形状のピッチ P_x , P_y は数 100 μm 以下のオーダーであり、振幅 A_x , A_y は数 100nm 以下のオーダーであり、これに光を入射すると回折格子のような役割を果たす。そこで、ここでは検出装置 2 2 のモデルを立てるに当たり光を波として扱い、振幅、位相を計算することで解析した。すなわち、ここで用いるのは幾何光学のモデルではなく波動光学のモデルである。

20

【 0 0 5 3 】

図 9 に示されるように、透明体角度格子 3 0 の鉛直方向からほぼ垂直に光が位置 (x, y) に入射するものとする。このとき、面 1 から面 2 まで進むと、光は距離 $2A - h(x, y)$ だけ進んだ後、透明体角度格子 3 0 内を距離 $h(x, y)$ だけ進み透明体角度格子 3 0 を透過する。透明体角度格子 3 0 の屈折率を n 、透明体角度格子 3 0 外の屈折率を 1 とすると、この光が面 1 から面 2 まで進んだときの光路長 L は式 (2) のように表される。

30

【 0 0 5 4 】

【 数 2 】

$$L = 2A - h(x, y) + n \cdot h(x, y) \quad (2)$$

面 1 から面 2 まで進んだとき L だけ光路長があるので、それに波数 $k (= 2\pi / \lambda$, λ : 光の波長) をかけた kL だけ位相が遅れることになる。よって、透明体角度格子 3 0 の持つ位相関数 $G(x, y)$ は以下の式 (3) のように表せる。

40

【 0 0 5 5 】

【数 3】

$$\begin{aligned}
 G(x,y) &= e^{-ikL} \\
 &= e^{-ik\{2A-h(x,y)+n\cdot h(x,y)\}} \\
 &= e^{-ik(n-1)h(x,y)} \cdot e^{-i2kA}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

定数項 e^{-i2kA} は無視できるので、 $G(x,y)$ は式(4)のように表せる。

$$G(x,y) = e^{-ik(n-1)h(x,y)} \tag{4}$$

10

透明体角度格子 30 に X 方向 , Y 方向の変位と Z 軸回りの回転が生じたときは、式(4)を以下の式(5)のようにして表現できる。

【0056】

【数 4】

20

$$\begin{aligned}
 G(x,y) &= e^{-ik(n-1)h(x'+\Delta x, y'+\Delta y)} \\
 \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos\theta_z & -\sin\theta_z \\ \sin\theta_z & \cos\theta_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

以上が透明体角度格子 30 のモデルのシミュレーション結果である。

30

【0057】

続いて、透明体角度格子 30 を用いた透過型検出装置 22 の光学系について説明する。

図 6 に示されるように、透過型検出装置 22 の光学系において、レーザ光源(LD) 34 a から出た平行光 42₁ ~ 42₉ は、微小開口 38 A ~ 38 I を有する格子状の分光板 38 に入射する。分光板 38 の各微小開口 38 A ~ 38 I で回折した光は、互いに干渉し、透明体角度格子 30 上ではグリッドパターンの開口間隔と同じ間隔でピークの立つ平行光 42₁ ~ 42₉ (マルチビーム) が生成される。平行光 42₁ ~ 42₉ は、透明体角度格子 30 を透過した後、対物レンズ 44 によって受光部 36 の受光面 36 a に集光される。

【0058】

この光学系の受光部 36 の受光面 36 a 上の強度分布を求めるために、ここでは、光学系を要素ごとに分け、それぞれの要素の持つ光波の振幅項と位相項に影響を与える関数を使い、それらを元にして u_a, u_a', \dots, u_d と順に計算していく手法を取った。この光学系は発光部 34、分光板 38、透明体角度格子 30、対物レンズ 44、そして要素間の光波伝播空間からなる。

40

【0059】

以下順にこれらの関数について述べる。発光部 34 は強度がガウシアン分布の平行光 u_a を出すものとする。すなわち、同一面内に位相のそろった波であるので、位相項を無視し、振幅項にガウシアンルートの取った値として以下の式(6)のように定義する。

【0060】

【数 5】

$$ua(x,y) = \sqrt{e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}} \quad (\text{ただし, } \sigma = 1200\mu\text{m}) \quad (6)$$

分光板 38 は、グリッドパターンの各微小開口 38 A ~ 38 I に入射した光は透過するが、それ以外の光は遮る。よって、その透過関数 $g(x,y)$ は以下の式 (7) で表せる。

【0061】

【数 6】

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & (\text{開口上}) \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad (7)$$

20

透明体角度格子 30 は先に述べたとおりである。

対物レンズ 44 は平面波を入射すると球面波にする作用があることから、その位相関数 $L(x,y)$ は式 (8) で表される。

【0062】

【数 7】

$$L(x,y) = e^{ik(\sqrt{f^2+x^2+y^2}-f)} \quad (8)$$

30

光の空間の伝播はフレネル回折の式で考えられる。面 1 から出た光は距離 z だけ離れた面 2 まで伝播する。このとき、フレネル回折の式は以下の式 (9) で表せる。

【0063】

【数 8】

$$u(x,y) = \iint u_0(x_0,y_0) \frac{ie^{-ik\sqrt{z^2+(x-x_0)^2+(y-y_0)^2}}}{\lambda\sqrt{z^2+(x-x_0)^2+(y-y_0)^2}} dx_0 dy_0 \quad (9)$$

40

ここで、 $u_0(x_0,y_0)$ は面 1 での波面、 $u(x,y)$ は面 2 での波面、 i は虚数単位、 λ は光の波長である。

50

【 0 0 6 4 】

式(9)は畳み込み積分であり、以下の式(10)のようにフーリエ変換を用いた形に変形できる。ここで、 $F[v(x,y)]$ は $v(x,y)$ のフーリエ変換、 $F^{-1}[\quad (x,y)]$ は (x,y) の逆フーリエ変換を表す。

【 0 0 6 5 】

【 数 9 】

$$\begin{aligned} u(x,y) &= u_0(x,y) * \frac{ie^{-ik\sqrt{z^2+x^2+y^2}}}{\lambda\sqrt{z^2+x^2+y^2}} \\ &= F^{-1} \left[F[u_0(x,y)] \cdot F \left[\frac{ie^{-ik\sqrt{z^2+x^2+y^2}}}{\lambda\sqrt{z^2+x^2+y^2}} \right] \right] \end{aligned} \quad (10)$$

以上を元に、このモデルをまとめ、受光部36の受光面36aの強度分布 $I(x,y)$ を求めると以下ようになる。

【 0 0 6 6 】

【 数 1 0 】

$$\begin{aligned} ua'(x,y) &= ua(x,y) \cdot g(x,y), \\ ub(x,y) &= F^{-1} \left[F[ua'(x,y)] \cdot F \left[\frac{ie^{-ik\sqrt{z_0^2+x^2+y^2}}}{\lambda\sqrt{z_0^2+x^2+y^2}} \right] \right], \quad ub'(x,y) = ub(x,y) \cdot G(x,y) \\ uc(x,y) &= F^{-1} \left[F[ub'(x,y)] \cdot F \left[\frac{ie^{-ik\sqrt{z_1^2+x^2+y^2}}}{\lambda\sqrt{z_1^2+x^2+y^2}} \right] \right], \quad uc'(x,y) = uc(x,y) \cdot L(x,y) \\ ud(x,y) &= F^{-1} \left[F[uc'(x,y)] \cdot F \left[\frac{ie^{-ik\sqrt{z_2^2+x^2+y^2}}}{\lambda\sqrt{z_2^2+x^2+y^2}} \right] \right], \quad I(x,y) = |ud(x,y)|^2 \end{aligned} \quad (11)$$

ここで、上記受光部36の受光面36aの強度分布 $I(x,y)$ のシミュレーションを行うと、以下のような結果が得られた。

【 0 0 6 7 】

式(11)に従って、強度分布 $I(x,y)$ を計算した結果を図10に示す。このときのシミュレーション条件は、表1に示す。また、計算領域は等間隔にメッシュを切るが、このときのメッシュのサイズは $3\mu\text{m} \times 3\mu\text{m}$ で、XY平面に 1024×1024 点を取って行った。

【 0 0 6 8 】

【表 1】

実施例1のシミュレーション条件

レーザー光源(LD)	波長685nm
グリッドパターン	矩形開口10×10個, 開口サイズ100μm, 開口間隔200μm
透明体角度格子	振幅0.1μm, 波長100μm, 屈折率1.56
レンズ	焦点距離80mm
各光学素子間距離	グリッドパターンから透明体角度格子58.4mm, 透明体角度格子からレンズ60mm

10

この結果からも分かるように、多数のピークが一定周期で並んでいることが分かる。これは、図6に示されるように、分光板38のグリッドパターン(図7を参照)と透明体角度格子30を光が通るときに、それらで光が回折し、対物レンズ44上で干渉し合い生成されているからである。

【0069】

まず、X方向への変位が生じたときの平行光 $42_1 \sim 42_9$ が照射される各スポットの強度変化について説明する。

20

固定側の透明体角度格子30に対して可動側に設けられた発光部34からの光 $42_1 \sim 42_9$ がX方向に変位したときに図10に示す強度分布がどのように変化するかシミュレーションで検討したところ、強度分布は図11(A)~(E)に示すように変化した。図11(A)~(E)からも分かるように、X方向のピークの高さ分布が変化している。また、Y方向の分布は変化していないことが分かる。

【0070】

次にY変位が生じたときの各スポットの強度変化について説明する。

透明体角度格子30に対して発光部34からの光 $42_1 \sim 42_9$ がY方向に変位したときに図10に示す強度分布がどのように変化するかシミュレーションで検討したところ、強度分布は図12(A)~(E)に示すように変化した。図12(A)~(E)に示されるように、X方向に変位したときと同様にY方向のピークの高さ分布が変化していることが分かる。また、X方向の分布は変化していないことが分かる。

30

【0071】

次に z 方向への回転が生じたときの各スポットの強度変化について説明する。

透明体角度格子30に対して発光部34からの光 $42_1 \sim 42_9$ が z 方向へ回転したときに図10に示す強度分布がどのように変化するかシミュレーションで検討したところ、図13(A)~(E)に示されるように変化した。しかしながら、この場合、スポットの変化がほとんど見られないため、図14(A)~(E)に図13(A)~(E)のスポットの一部の拡大して示す。図14(A)~(E)に示されるように、 z 方向への回転が生じると、スポット全体がスポット中心のピーク(ここでは最も強度の強いピーク)を軸として同じ z 方向への回転することが分かる。

40

【0072】

ここで、4分割PD55を用いた位置検出方法について説明する。

透明体角度格子30に対するX方向、Y方向の変位に対して、光 $42_1 \sim 42_9$ のスポット強度はそれぞれX方向、Y方向にのみピークの高さが変化することが分かった。この原理を利用して図15に示す4分割PD55を用いてこれらの変位を検出することができる。以下にその検出原理及びシミュレーション結果を示す。

【0073】

4分割PD55は、前述したように4つの受光素子55a~55dをX、Y方向に2列ずつ組み合わせたものであり、4個のフォトダイオードを設けた場合と実質的に同一である。

50

【 0 0 7 4 】

図 1 5 において、X方向、Y方向のセンサ出力を S_x 、 S_y とすると、受光素子 5 5 a ~ 5 5 d の出力を図 1 5 に示す $I_1 \sim I_4$ を用いてそれぞれ以下のように定義する。

【 0 0 7 5 】

【 数 1 1 】

$$S_x = 100 \cdot \frac{I_3 + I_4 - I_1 - I_2}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4} \quad (\%) \quad (12)$$

10

$$S_y = 100 \cdot \frac{I_2 + I_3 - I_1 - I_4}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4} \quad (\%) \quad (13)$$

図 1 6 に上記 4 分割 PD 5 5 を用いた場合の X 変位のシミュレーションによる検出結果を示し、図 1 7 に上記 4 分割 PD 5 5 を用いた場合の Y 変位のシミュレーションによる検出結果を示す。尚、図 1 6、図 1 7 において、X 変位を実線で示し、Y 変位を一点鎖線で示す。図 1 6、図 1 7 に示されるように、正弦波に近い形状で変位を検出できることが分かる。

20

【 0 0 7 6 】

更に、図 1 8 に示すように、このプローブを 2 本用いることで、X、Y 変位の相対的な位置関係から z 方向の回転も求めることができる。

【 0 0 7 7 】

ここで、多素子型 PD を用いた位置・姿勢検出方法について説明する。

上記 4 分割 PD 5 5 を用いる検出方法とは異なり、多素子型 PD を用いてスポットのピーク一つ一つの挙動を検出することでより多くの自由度を検出することが可能になる。受光部 3 6 の受光面 3 6 a (図 8 参照)では、XY 方向に一定の周期で多数のピークが並ぶことになる。その多数あるピークの中で中心の 9 つのピークに対して、図 1 9 に示すようなフォトダイオード 5 1 ~ 5 4、5 6 ~ 5 9 を配置する。この受光部 3 6 は、受光面 3 6 a の 4 辺に 1 素子のフォトダイオード 5 2、5 4、5 6、5 8 が配置され、受光面 3 6 a の 4 隅には正方形を斜めにカットした 2 分割 PD 5 1、5 3、5 7、5 9 が配置されている。この多素子型 PD からなる受光部 3 6 を用いて位置・姿勢の 3 自由度を検出する方法を、以下順に XY 位置の検出方法、z の検出方法について述べる。

30

【 0 0 7 8 】

まず、XY 位置の検出方法について述べる。

図 2 0 (A) ~ (E) は一例として実施例 1 の X 方向の変位を検出する方法を示している。X 方向に変位が生じると図 2 0 (A) ~ (E) に示すようにフォトダイオード 5 1 ~ 5 4、5 6 ~ 5 9 上でスポットのピークが X 方向に関してのみ高さ分布が変化する。そこで、受光部 3 6 の X 方向のセンサ出力を S_x として、受光面 3 6 a の X 方向 2 辺の中間位置に配置されたフォトダイオード 5 4、5 6 の強度検出値 I_{x1} 、 I_{x2} を使って以下の式(14)の計算より求める。Y 方向も同様にして受光部 3 6 のセンサ出力を S_y として、受光面 3 6 a の Y 方向 2 辺の中間位置に配置されたフォトダイオード 5 2、5 8 の強度検出値 I_{y1} 、 I_{y2} を使って式(15)の計算より求める。

40

【 0 0 7 9 】

【数 1 2】

$$S_X = 100 \cdot \frac{I_{X2} - I_{X1}}{I_{X1} + I_{X2}} \quad (\%) \quad (14)$$

$$S_Y = 100 \cdot \frac{I_{Y2} - I_{Y1}}{I_{Y1} + I_{Y2}} \quad (\%) \quad (15)$$

10

次に、Z軸回りの z 方向の検出方法について説明する。

z 回転が生じると、光 4 2₁ ~ 4 2₉ のスポット全体がスポット中心のピークを軸として同じ z だけ回転する。そこで受光面 3 6 a の 4 隅に配置された 2 分割 PD 5 1, 5 3, 5 7, 5 9 の 8 個の受光素子を使ってスポットの強度変化を検出することで z を検出できる。図 2 1 (A) ~ (C) に実施例 1 の XY 位置の検出方法の検出原理を示す。2 分割 PD 5 1, 5 3, 5 7, 5 9 の 8 個の受光素子 5 1 a, 5 1 b, 5 3 a, 5 3 b, 5 7 a, 5 7 b, 5 9 a, 5 9 b の出力を I_{z1}, I_{z2}, I_{z3}, I_{z4}, I_{z5}, I_{z6}, I_{z7}, I_{z8} とすると、受光部 3 6 の z 方向の出力 S_z は、以下の式 (1 6) より求められる。

20

【0 0 8 0】

【数 1 3】

$$S_{\theta z} = 100 \cdot \frac{(I_{\theta z2} + I_{\theta z4} + I_{\theta z6} + I_{\theta z8}) - (I_{\theta z1} + I_{\theta z3} + I_{\theta z5} + I_{\theta z7})}{(I_{\theta z1} + I_{\theta z3} + I_{\theta z5} + I_{\theta z7}) + (I_{\theta z2} + I_{\theta z4} + I_{\theta z6} + I_{\theta z8})} \quad (\%) \quad (16)$$

30

図 2 2 に実施例 1 の X 方向変位の検出結果を示し、図 2 3 に実施例 1 の Y 方向変位の検出結果を示し、図 2 4 に実施例 1 の z 方向の検出結果を示す。図 2 2 に示されるように、X 方向変位に対して S_x, S_y, S_z が正弦波に近い曲線で変化するため、X 方向変位を検出できることが分かる。このように、フォトダイオード 5 4, 5 6 により X 方向変位を検出することが可能になる。

【0 0 8 1】

また、図 2 3 に示されるように、Y 方向変位に対して S_y, S_x, S_z が正弦波に近い曲線で変位するため、Y 方向変位を検出できることが分かる。このように、フォトダイオード 5 2, 5 8 により Y 方向変位を検出することが可能になる。

40

【0 0 8 2】

また、図 2 4 に示されるように、Z 軸回りの回転に対して S_z が正弦波に近い曲線で変位するため、z 方向を検出できることが分かる。このように、2 分割 PD 5 1, 5 3, 5 7, 5 9 の出力から得られる出力 S_z により、z 方向の変位を検出することが可能になる。従って、受光部 3 6 のセンサ出力によって X, Y 方向及び z 方向を検出できるので、透明体角度格子 3 0 を垂直状態に取り付ける透過型検出装置 2 2 を用いて、第 1 ステージ 1 4 の X, Y 方向変位、ピッチング方向、ローリング方向の傾き角度を検出することが可能になる。そのため、透過型検出装置 2 2 からの検出信号が入力される制御装置 2 8 (図 3 参照) では、第 1 ステージ 1 4 を移動させる過程で受光部 3 6 から得られた

50

X, Y方向及び x , z 方向の検出信号に基づいて、第1ステージ14がピッチング動作及びローリング動作を抑制するようにリニアモータ18, 20を駆動制御することが可能になる。

【0083】

尚、図22乃至図24に示す S_x, S_y は、検出信号としては出力が小さいので、基板32の裏面にも透明体角度格子30を固着する構成とすることにより、出力が増大して検出信号として使用することが可能になる。図25に示されるように、透過型検出装置22では、基板32の表面及び裏面に一对の透明体角度格子30を背中合わせに固着する構成、すなわち、基板32の表側に設けられた第1の基準格子30と、第1の基準格子30と180度の向きとなるように、基板32の裏側に設けられた第2の基準格子30とにより、Z方向を除くX方向、Y方向の位置及び各軸回りの角度 x, y, z の検出信号を得ることが可能になる。

10

【実施例2】

【0084】

反射型サーフェスエンコーダとして用いられる反射型検出装置70の構成について図26を参照して説明する。

図26に示されるように、反射型検出装置70は、第1ステージ14の移動方向に延在形成された透明体角度格子(基準格子)30と、透明体角度格子30を垂直状態に保持する反射面(ミラー)74aが形成された基板74と、透明体角度格子30に向けて複数の平行光を発光し、反射面74aからの反射光を受光する光センサユニット76とを備える。光センサユニット76は、複数の平行光を発光する発光部(図示せず)と、透明体角度格子30を透過して反射面74aで反射した複数の反射光を受光する受光部(図示せず)とを有する。

20

【0085】

反射型検出装置70では、透明体角度格子30の検出面30aに対向する側に光センサユニット76を設ける構成であるので、前述した実施例1のものよりも透明体角度格子30をリニアモータ18に近接することが可能になり、その分リニアモータ18の近い位置でX方向、Y方向及び各軸回りの角度 x, y, z を検出することが可能になる。

【0086】

ここで、反射型検出装置70の状態検出の原理について説明する。

30

図27に反射面74aに貼り付けた透明体角度格子30のモデルを示す。透明体角度格子30の検出面30aの形状は、前述した実施例1と同様に式(17)に示すように2次元に正弦波を重ね合わせたものとなっている。

【0087】

【数14】

$$h(x, y) = -A_x \cos\left(2\pi \frac{x}{P_x}\right) - A_y \cos\left(2\pi \frac{y}{P_y}\right) \quad (17)$$

40

ここで、透明体角度格子30の表面形状のピッチ P_x, P_y は数100 μm 以下のオーダー、そして振幅 A_x, A_y は数100nm以下のオーダーであり、これに光を入射すると回折格子のような役割を果たす。そこで、ここでは、前述した実施例1と同様に反射型検出装置70のモデルを立てるに当たり光を波として扱い、振幅、位相を計算することで解析した。すなわち、ここで用いるのは幾何光学のモデルではなく波動光学のモデルである。

【0088】

50

また、以下の説明では、図 27 のように透明体角度格子 30 の鉛直方向から光が位置 (x, y) に入射するものとする。このとき、面 から基板 74 の反射面 74 a まで進むとき、光は距離 $2A-h(x,y)$ だけ進んだ後、透明体角度格子 30 内に入射し、距離 $h(x,y)$ だけ進む。そして、反射面 74 a によって反射された光は、再び同じ光路を辿り、面 まで進む。

【 0 0 8 9 】

また、光が反射面 74 a で反射されるところでそのまま透過するように仮想したモデルを図 28 に示す。このとき、透明体角度格子 30 の屈折率を n 、透明体角度格子 30 外の屈折率を 1 とすると、この光が面 から入射し、再び面 (図 28 では ') まで進むときの光路長 L は式 (18) のように表される。

【 0 0 9 0 】

【 数 1 5 】

10

$$L=2\{2A-h(x,y)\}+n\cdot 2h(x,y) \quad (18)$$

光が面 から再び面 まで進んだとき L だけ光路長があるので、それに波数 $k(=2/\lambda, \lambda$: 光の波長) をかけた kL だけ位相が遅れることになる。よって、透明体角度格子 30 の持つ位相関数 $Gr(x,y)$ は以下の式 (19) のように表せる。

【 0 0 9 1 】

【 数 1 6 】

20

$$\begin{aligned} Gr(x,y) &= e^{-ikL} \\ &= e^{-ik2\{2A-h(x,y)+nh(x,y)\}} \\ &= e^{-ik2(n-1)h(x,y)} \cdot e^{-i4kA} \end{aligned} \quad (19)$$

30

定数項 e^{-i4kA} は無視できるので、 $Gr(x,y)$ は式(20)のように表せる。

$$Gr(x,y) = e^{-i2k(n-1)h(x,y)} \quad (20)$$

透明体角度格子 30 に X 方向、Y 方向の変位と X, Y, Z 軸回りの回転が生じたときは式 (20) を以下の式 (21) のようにして表現できる。

【 0 0 9 2 】

【 数 1 7 】

40

$$\begin{aligned} Gr(x,y) &= e^{-i2k(n-1)\{h(x'+\Delta x, y'+\Delta y)+\theta_y \cdot x + \theta_x \cdot y\}} \\ \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \cos\theta_z & -\sin\theta_z \\ \sin\theta_z & \cos\theta_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (21)$$

50

以上が反射面 7 4 a に貼り付けた透明体角度格子 3 0 のモデルである。

【 0 0 9 3 】

図 2 9 に実施例 2 の反射型検出装置 7 0 の光学系を示す。尚、図 2 9 において、前述した実施例 1 と同一部分には同一符号を付す。

【 0 0 9 4 】

光センサユニット 7 6 は、発光部 3 4 と受光部 3 6 とを有する構成であるので、発光部 3 4 と受光部 3 6 とを別体に設けるものよりも装置全体を小型化することが可能になる。発光部 3 4 のレーザ光源 (LD) 3 4 a から出た平行光 4 0 は、微小開口が 2 次元に一定周期に並んだグリッドパターンを有する分光板 3 8 に入射する。

【 0 0 9 5 】

分光板 3 8 において、グリッドパターンの各微小開口 3 8 A ~ 3 8 I で回折された光は、互いに干渉し、偏向ビームスプリッタ (PBS) 7 8 と 1/4 波長板 8 0 を透過する。そして、透明体角度格子 3 0 上では、グリッドパターンの開口間隔と同じ間隔でピークの立つ 9 本の平行光 4 2₁ ~ 4 2₉ が生成される。

【 0 0 9 6 】

さらに、透明体角度格子 3 0 を透過して反射面 7 4 a で反射され再び透明体角度格子 3 0 を透過した後、偏向ビームスプリッタ 7 8 で 9 0 度の方向に反射され、対物レンズ 4 4 によって受光部 3 6 の受光面 3 6 a 上に集光される。

【 0 0 9 7 】

前述した実施例 1 で述べた方法と同様に、このモデルをまとめ受光部 3 6 の受光面 3 6 a 上の強度分布 $I(x, y)$ を求めると以下のようなになる。

【 0 0 9 8 】

【 数 1 8 】

$$ua'(x, y) = ua(x, y) \cdot g(x, y),$$

$$ub(x, y) = F^{-1} \left[F[ua'(x, y)] \cdot F \left[\frac{ie^{-ik\sqrt{z_0^2 + x^2 + y^2}}}{\lambda\sqrt{z_0^2 + x^2 + y^2}} \right] \right], \quad ub'(x, y) = ub(x, y) \cdot Gr(x, y)$$

$$uc(x, y) = F^{-1} \left[F[ub'(x, y)] \cdot F \left[\frac{ie^{-ik\sqrt{z_1^2 + x^2 + y^2}}}{\lambda\sqrt{z_1^2 + x^2 + y^2}} \right] \right], \quad uc'(x, y) = uc(x, y) \cdot L(x, y)$$

$$ud(x, y) = F^{-1} \left[F[uc'(x, y)] \cdot F \left[\frac{ie^{-ik\sqrt{z_2^2 + x^2 + y^2}}}{\lambda\sqrt{z_2^2 + x^2 + y^2}} \right] \right], \quad I(x, y) = |ud(x, y)|^2$$

式 (2 2) に従って、強度分布 $I(x, y)$ を計算した結果を図 3 0 に示す。このときのシミュレーション条件は、表 2 に示す通りである。

【 0 0 9 9 】

10

20

30

40

【表 2】

実施例2のシミュレーション条件

レーザ光源(LD)	波長685nm
グリッドパターン	矩形開口10×10個, 開口サイズ100μm, 開口間隔200μm
透明体角度格子	振幅0.1μm, 波長100μm, 屈折率1.56
レンズ	焦点距離80mm
各光学素子間距離	グリッドパターンから透明体角度格子58.4mm, 透明体角度格子からレンズ60mm

10

図30に示す結果からも分かるように、多数のピークが一定周期で並んでいることが分かる。これは、光がグリッドパターンと透明体角度格子30を通るときに、それらで光が回折され、対物レンズ44上で干渉し合い生成されているからである。

【0100】

ここで、X変位が生じたときの平行光42₁ ~ 42₉が照射される各スポットの強度変化について説明する。

20

固定側に取り付けられた透明体角度格子30に対して可動側に設けられた光センサユニット76がX方向に変位したときに図30に示す強度分布がどのように変化するかシミュレーションで検討した結果を図31(A) ~ (E)に示す。図31(A) ~ (E)からも分かるようにX方向のピークの高さ分布が変化している。また、図31によりY方向の分布は変化していないことが分かる。

【0101】

次に、Y変位が生じたときの平行光42₁ ~ 42₉が照射される各スポット変化について説明する。

透明体角度格子30に対して光センサユニット76がY方向に変位したときに、図30の強度分布がどのように変化するかシミュレーションで検討したところ図32(A) ~ (E)に示すような結果が得られた。図32(A) ~ (E)に示すように、X方向に変位したときと同様にY方向のピークの高さ分布が変化していることが分かる。また、X方向の分布は変化していないことが分かる。

30

【0102】

次に、X軸回りの α 方向の回転が生じたときの各スポットの強度変化について説明する。

透明体角度格子30に対して α 方向の回転が生じたときに図30の強度分布がどのように変化するかシミュレーションで検討したところ図33(A) ~ (E)に示すような結果が得られた。図33(A) ~ (E)に示されるように、スポットの変化が小さくてわかりにくいので、図34(A) ~ (E)に図33(A) ~ (E)のスポットの中心のピークの拡大図を示す。図34(A) ~ (E)によりスポットのピークがY方向に移動していることが分かる。

40

【0103】

次に、 γ 回転が生じたときの各スポットの強度変化について説明する。

透明体角度格子30に γ 回転が生じたときに図30に示す強度分布がどのように変化するかシミュレーションで検討した。図35(A) ~ (E)に γ 回転が生じたときの各スポットの強度変化を示す。ここで、図35(A) ~ (E)では、スポットの強度変化がほとんど見られないため、図36(A) ~ (E)に図35(A) ~ (E)のスポットの中心のピークの拡大図を示す。図36(A) ~ (E)からピークがX方向に移動していることが分かる。

50

【0104】

次に、Z軸回りのz方向の回転が生じたときの各スポットの強度変化について説明する。

透明体角度格子30に対してz方向に回転が生じたときに図30の強度分布がどのように変化するかシミュレーションで検討したところ図37(A)~(E)に示すような結果が得られた。図37(A)~(E)に示されるように、スポットの変化がほとんど見られないため、図38(A)~(E)に図37(A)~(E)のスポットの一部の拡大図を示す。z方向の回転が生じると、スポット全体がスポット中心のピーク(ここでは最も強度の強いピーク)を軸として同じ角度zだけ回転することが分かる。

【0105】

ここで、4分割PD55を用いた位置検出方法について説明する。

透明体角度格子30のX方向、Y方向の変位に対して、スポット強度はそれぞれX方向、Y方向にのみピークの高さが変化することが分かった。それを利用して、前述した実施例1と同じ図15に示す4分割PD55を用いてこれらの変位を検出することができる。尚、4分割PD55の検出原理は、前述した説明と同じなので、ここでは省略する。

【0106】

図39に実施例2のX変位のシミュレーションの検出結果を示し、図40に実施例2のY変位のシミュレーションの検出結果を示す。図39、図40に示すように、実施例1の場合と同様に正弦波に近い形状でX、Y変位を検出できることが分かる。

【0107】

更に、前述した図18に示した透過型スケールと同じ原理で、図39、図40に示すプロープを2本用いて、両者の相対的な位置関係からzの回転も求めることができる。

【0108】

また、透明体角度格子30に対するスポットの移動量を検出することで x 、 y を検出することが可能になる。

【0109】

次に、多素子型PDを用いた位置・姿勢検出方法について説明する。

上記4分割PD55を用いる検出方法とは異なり、フォトダイオード51~59により各光42₁~42₉のスポットのピーク一つ一つの挙動を検出することでより多くの自由度を検出することが可能になる。受光部36の受光面36aでは、XY方向に一定の周期で多数のピークが並ぶように検出される。その多数あるピークの中で中心の9つのピークに対して、前述した図8に示すような受光面36aにフォトダイオード51~59を配置する。これは、図19に示すフォトダイオード51~54、56~59に加えて中心部に4分割PD55を配置したものである。

【0110】

次に、この受光部36を用いて位置・姿勢の5自由度を検出する方法を述べるが、XY位置の検出方法及びzの検出方法は、前述した実施例1の場合と同じであるので、ここでは、その説明を省略し、 x 、 y 方向の回転の検出方法について述べる。

【0111】

透明体角度格子30に対して発光部34が x 、 y 方向に回転した場合、透明体角度格子30の検出面30aに照射された各光42₁~42₉の各スポットがそれぞれX、Y方向に移動する。

【0112】

そこで、通常のオートコリメーション法と同じようにして受光面36aの中央にある4分割PD55を使ってX方向とY方向のスポットの移動量を検出することにより、 x 、 y 方向の回転は検出できる。図41(A)~(C)は、例として実施例2の y 方向の回転の検出原理を示している。図41(A)~(C)において、4分割PD55の出力を I_{xy1} 、 I_{xy2} 、 I_{xy3} 、 I_{xy4} とすると、センサ y 出力 S_y 、 x 出力 S_x は以下の式(23)、(24)より求められる。

【0113】

10

20

30

40

50

【数 1 9】

$$S_{\theta Y} = 100 \cdot \frac{I_{\theta xy2} + I_{\theta xy3} - I_{\theta xy1} - I_{\theta xy4}}{I_{\theta xy1} + I_{\theta xy2} + I_{\theta xy3} + I_{\theta xy4}} \quad (\%) \quad (23)$$

$$S_{\theta X} = 100 \cdot \frac{I_{\theta xy3} + I_{\theta xy4} - I_{\theta xy1} - I_{\theta xy2}}{I_{\theta xy1} + I_{\theta xy2} + I_{\theta xy3} + I_{\theta xy4}} \quad (\%) \quad (24)$$

10

図 4 2 に実施例 2 の X 方向変位の検出結果を示す。図 4 3 に実施例 2 の Y 方向変位の検出結果を示す。図 4 2 , 図 4 3 に示されるように、正弦波に近い形状で X, Y 変位を検出できることがわかる。また、図 4 4 に実施例 2 の α の検出結果を示し、図 4 5 に実施例 2 の β の検出結果を示す。また、図 4 6 に実施例 2 の γ 方向の検出結果を示す。

【0 1 1 4】

このように、反射型検出装置 7 0 では、フォトダイオード 5 1 ~ 5 9 により検出された強度分布の変化から X, Y 方向及び α , β , γ 方向の回転動作も検出することが可能になる。

20

【実施例 3】

【0 1 1 5】

反射面角度格子を用いた反射型検出装置 9 0 の構成について図 4 7 を参照して説明する。

図 4 7 に示されるように、反射型検出装置 9 0 は、第 1 ステージ 1 4 の移動方向に延在形成された反射面角度格子（基準格子）9 2 と、反射面角度格子 9 2 を垂直状態に保持する基板 9 4 と、反射面角度格子 9 2 に向けて複数の平行光を発光し、反射光を受光する光センサユニット 7 6 とを備える。反射面角度格子 9 2 は、検出面 9 2 a の表面に光を反射する反射膜が形成されている。光センサユニット 7 6 は、複数の平行光を発光する発光部（図示せず）と、反射面角度格子 9 2 の検出面 9 2 a で反射した複数の反射光を受光する受光部（図示せず）とを有する。

30

【0 1 1 6】

反射型検出装置 9 0 では、反射面角度格子 9 2 の検出面 9 2 a に対向する側に光センサユニット 7 6 を設ける構成であるので、前述した実施例 1 のものよりも反射面角度格子 9 2 をリニアモータ 1 8 に近接することが可能になり、その分リニアモータ 1 8 の近い位置で X 方向、Y 方向及び各軸回りの角度 α 、 β 、 γ を検出することが可能になる。

【0 1 1 7】

ここで、反射型検出装置 9 0 の状態検出の原理について説明する。

【0 1 1 8】

図 4 8 に反射面角度格子 9 2 のモデルを示す。反射面角度格子 9 2 の形状は、前述した実施例 1, 2 と同様に式 (2 5) に示すように 2 次元に正弦波を重ね合わせたものとなっている。

40

【0 1 1 9】

【数 2 0】

$$h(x,y) = -A_x \cos\left(2\pi \frac{x}{P_x}\right) - A_y \cos\left(2\pi \frac{y}{P_y}\right) \quad (25)$$

ここで、反射面角度格子 9 2 の表面形状のピッチ P_x , P_y は数 100 μm 以下のオーダー、そして振幅 A_x , A_y は数 100nm 以下のオーダーであり、これに光を入射すると回折格子のような役割を果たす。そこで、ここではエンコーダのモデルを立てるに当たり光を波として扱い、振幅、位相を計算することで解析した。すなわち、ここで用いるのは幾何光学のモデルではなく波動光学のモデルである。

【0 1 2 0】

図のように反射面角度格子 9 2 の上からほぼ垂直に光が位置 (x,y) に入射するものとする。このとき、光は面 から距離 $2A-h(x,y)$ だけ進んだ後、反射面角度格子 9 2 の検出面 8 2 a に形成された反射膜によって反射される。また、光が面 から入射し、再び面 (図 2 では ') まで進むときの光路長 L は、式 (2 6) のように表される。

【0 1 2 1】

【数 2 1】

$$L = 2\{2A - h(x,y)\} \quad (26)$$

面 から再び面 まで進んだとき L だけ光路長があるので、それに波数 $k (= 2 / \lambda$, λ : 光の波長) をかけた kL だけ位相が遅れることになる。よって、反射面角度格子 9 2 の持つ位相関数 $Gr(x,y)$ は、以下の式 (2 7) のように表せる。

【0 1 2 2】

【数 2 2】

$$\begin{aligned} Gr(x,y) &= e^{-ikL} \\ &= e^{-ik2\{2A-h(x,y)\}} \\ &= e^{-ik2h(x,y)} \cdot e^{-i4kA} \end{aligned} \quad (27)$$

定数項 e^{-i4kA} は無視できるので、 $Gr(x,y)$ は式(28)のように表せる。

$$Gr(x,y) = e^{-i2kh(x,y)} \quad (28)$$

反射面角度格子 9 2 に X 方向 , Y 方向の変位と X , Y , Z 軸回りの回転が生じたときは式 (2 8) を以下の式 (2 9) のようにして表現できる。

【0 1 2 3】

10

20

30

40

50

【数 2 3】

$$Gr(x, y) = e^{-i2k\{h(x'+\Delta x, y'+\Delta y) + \theta_y \cdot x + \theta_x \cdot y\}}$$

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_z & -\sin\theta_z \\ \sin\theta_z & \cos\theta_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (29)$$

10

以上が反射面角度格子 9 2 のモデルである。

【0 1 2 4】

次に、上記反射面角度格子 9 2 を用いた反射型検出装置 9 0 について説明する。

図 4 9 は実施例 3 の反射型サーフェスエンコーダの光学系を示す。尚、図 4 9 において、前述した実施例 2 と同一部分には同一符号を付す。

【0 1 2 5】

図 4 9 に示されるように、光センサユニット 7 6 は、発光部 3 4 と受光部 3 6 とを有する構成であるので、発光部 3 4 と受光部 3 6 とを別体に設けるものよりも装置全体を小型化することが可能になる。発光部 3 4 のレーザ光源 (LD) 3 4 a から出た平行光 4 0 は、微小開口が 2 次元に一定周期に並んだグリッドパターンを有する分光板 3 8 に入射する。

20

【0 1 2 6】

分光板 3 8 において、グリッドパターンの各微小開口 3 8 A ~ 3 8 I で回折された光は、互いに干渉し、偏向ビームスプリッタ (PBS) 7 8 と 1/4 波長板 8 0 を透過する。そして、透明体角度格子 3 0 上では、グリッドパターンの開口間隔と同じ間隔でピークの立つ 9 本の平行光 4 2₁ ~ 4 2₉ が生成される。

【0 1 2 7】

さらに、反射面角度格子 9 2 の検出面 9 2 a の反射膜で反射され、偏向ビームスプリッタ 7 8 で 9 0 度の方向に反射され、対物レンズ 4 4 によって受光部 3 6 の受光面 3 6 a 上に集光される。

30

【0 1 2 8】

前述した実施例 1 で述べた方法と同様に、このモデルをまとめ受光部 3 6 の受光面 3 6 a 上の強度分布 $I(x, y)$ を求めると以下ようになる。

【0 1 2 9】

【数 2 4】

$$\begin{aligned}
 &ua'(x, y) = ua(x, y) \cdot g(x, y), \\
 &ub(x, y) = F^{-1} \left[F[ua'(x, y)] \cdot F \left[\frac{ie^{-ik\sqrt{z_0^2 + x^2 + y^2}}}{\lambda\sqrt{z_0^2 + x^2 + y^2}} \right] \right], \quad ub'(x, y) = ub(x, y) \cdot Gr(x, y) \\
 &uc(x, y) = F^{-1} \left[F[ub'(x, y)] \cdot F \left[\frac{ie^{-ik\sqrt{z_1^2 + x^2 + y^2}}}{\lambda\sqrt{z_1^2 + x^2 + y^2}} \right] \right], \quad uc'(x, y) = uc(x, y) \cdot L(x, y) \\
 &ud(x, y) = F^{-1} \left[F[uc'(x, y)] \cdot F \left[\frac{ie^{-ik\sqrt{z_2^2 + x^2 + y^2}}}{\lambda\sqrt{z_2^2 + x^2 + y^2}} \right] \right], \quad I(x, y) = |ud(x, y)|^2
 \end{aligned} \tag{30}$$

次に、実施例 3 のシミュレーションの結果について説明する。

上式 (30) に従って、強度分布 $I(x, y)$ を計算した結果を図 50 に示す。このときのシミュレーション条件は、表 3 に示す通りである。

【0 1 3 0】

【表 3】

実施例3のシミュレーション条件

レーザ光源(LD)	波長685nm
グリッドパターン	矩形開口10×10個, 開口サイズ100μm, 開口間隔200μm
反射面角度格子	振幅0.1μm, 波長100μm, 屈折率1.56
レンズ	焦点距離80mm
各光学素子間距離	グリッドパターンから反射面角度格子58.4mm, 反射面角度格子からレンズ60mm

図 50 に示すシミュレーションの結果からも分かるように、多数のピークが一定周期で並んでいることが分かる。これは、分光板 38 のグリッドパターンと反射面角度格子 92 を光が反射するとき、それらで光が回折し、対物レンズ 44 上で干渉し合い生成されているからである。

【0 1 3 1】

次に、X変位が生じたときの平行光 42₁ ~ 42₉ が照射される各スポットの強度変化について説明する。

固定側の反射面角度格子 92 に対して可動側に設けられた光センサユニット 76 が X 方向に変位したときに図 50 に示すの強度分布がどのように変化するかシミュレーションで検討した。図 51 (A) ~ (E) に X 変位が生じたときの各スポットの強度変化を示す。図 51 (A) ~ (E) から分かるように X 方向のピークの高さ分布が変化している。また、図 51 (A) ~ (E) により Y 方向の分布は変化していないことが分かる。

【0 1 3 2】

次に、Y変位が生じたときの各スポットの強度変化について説明する。

反射面角度格子 9 2 に対して光センサユニット 7 6 が Y 方向に変位したときに図 5 0 に示す強度分布がどのように変化するかシミュレーションで検討した。図 5 2 (A) ~ (E) に Y 変位が生じたときの各スポットの強度変化を示す。図 5 2 (A) ~ (E) から X 方向に変位したときと同様に Y 方向のピークの高さ分布が変化していることが分かる。また、図 5 2 (A) ~ (E) により X 方向の分布は変化していないことが分かる。

【 0 1 3 3 】

次に α 回転が生じたときの各スポットの強度変化について説明する。

反射面角度格子 9 2 に対して光センサユニット 7 6 が α 方向に回転した場合、図 5 0 に示す強度分布がどのように変化するかシミュレーションで検討した。図 5 3 (A) ~ (E) に α 回転が生じたときの各スポットの強度変化を示す。図 5 3 (A) ~ (E) では、スポットの変化がほとんど見られないため、図 5 4 (A) ~ (E) に図 5 3 (A) ~ (E) のスポットの中心のピークの拡大図を示す。図 5 4 (A) ~ (E) によりピークが Y 方向に移動していることが分かる。

10

【 0 1 3 4 】

次に β 回転が生じたときの各スポットの強度変化について説明する。

反射面角度格子 9 2 に対して光センサユニット 7 6 が β 方向に回転した場合、図 5 0 に示す強度分布がどのように変化するかシミュレーションで検討した。図 5 5 (A) ~ (E) に β 回転が生じたときの各スポットの強度変化を示す。図 5 5 (A) ~ (E) では、各スポットの変化がほとんど見られないため、図 5 6 (A) ~ (E) に図 5 5 (A) ~ (E) の各スポットの中心のピークの拡大図を示す。図 5 6 (A) ~ (E) によりピークが X 方向に移動していることが分かる。

20

【 0 1 3 5 】

次に γ 回転が生じたときの各スポットの強度変化について説明する。

反射面角度格子 9 2 に対して光センサユニット 7 6 が γ 方向に回転した場合、図 5 0 の強度分布がどのように変化するかシミュレーションで検討した。図 5 7 (A) ~ (E) に γ 回転が生じたときの強度変化を示す。ここで、図 5 7 (A) ~ (E) では、スポットの強度変化がほとんど見られないため、図 5 8 (A) ~ (E) に図 5 7 (A) ~ (E) のスポットの一部の拡大図を示す。図 5 7 (A) ~ (E) により、 γ 方向の回転が生じると、スポット全体がスポット中心のピークを軸として同じ γ だけ回転することがわかる。

30

【 0 1 3 6 】

次に、4 分割 PD 5 5 を用いた位置検出方法について説明する。

反射面角度格子 9 2 の X 方向、Y 方向の変位に対してスポット強度は、それぞれ X 方向、Y 方向にのみピークの高さが変化することが分かった。それを利用して前述した実施例 1 と同じ図 1 5 に示す 4 分割 PD 5 5 を用いてこれらの変位を検出することができる。4 分割 PD 5 5 による検出原理は、前述した実施例 1 と同じなので、ここではその説明を省略する。

【 0 1 3 7 】

続いて、実施例 3 のシミュレーション結果を以下で説明する。

図 5 9 に実施例 3 の X 変位の検出結果を示し、図 6 0 に実施例 3 の Y 変位の検出結果を示す。図 5 9、図 6 0 から正弦波に近い形状で X、Y 変位を検出できることが分かる。

40

【 0 1 3 8 】

更に、前述した図 1 8 に示した透過型スケールと同じ原理で図 5 9、図 6 0 に示すこのプローブを 2 本用いて反射面角度格子 8 2 と光センサユニット 7 6 との相対的な位置関係から γ の回転も求めることができる。また、スポットの移動量を検出することで α 、 β を検出できる。

【 0 1 3 9 】

次に多素子型 PD を有する受光部 3 6 を用いた位置・姿勢検出方法について説明する。

前述した実施例 2 で述べた方法と同じ方法で、図 8 に示す受光部 3 6 を用いてスポットのピーク一つ一つの挙動を検出することでより多くの自由度を検出することができる。検出原理は、前述した実施例 2 と同じなので省略する。

50

【0140】

次に、多素子型PDを有する受光部36のシミュレーション結果について説明する。

図61に実施例3のX変位の検出結果を示し、図62に実施例3のY変位の検出結果を示す。図61、図62に示されるように、正弦波に近い形状でX、Y変位を検出できることが分かる。また、図63に実施例3のxの検出結果を示し、図64に実施例3のyの検出結果を示す。また、図65に実施例3のzの検出結果を示す。

【0141】

このように、反射型検出装置90では、フォトダイオード51～59により検出された強度分布の変化からX、Y方向及びx、y、z方向の回転動作も検出することが可能になる。

【実施例4】

【0142】

図66は反射型検出装置に用いられる実施例4の光センサユニット100を示す図である。尚、図66において、前述した図29に示す実施例2の光センサユニット76と同一部分には同一符号を付してその説明を省略する。

【0143】

図66に示されるように、光センサユニット100は、発光部34と受光部36とを有しており、発光部34のレーザ光源(LD)34aから出た平行光40は、分光手段として機能する透明体角度格子102の入射面102aに入射する。

【0144】

透明体角度格子102の入射面102aは、前述した透明体角度格子30の検出面30aと同様な形状に構成されている。すなわち、入射面102aは、表面に所定の曲率半径を有する正弦波形状の輪郭で立体的な凹曲面と凸曲面とが2次元方向に交互に形成されている。この入射面102aの凹凸形状は、前述した透明体角度格子30と同様な方法で微細な凹曲面、凸曲面を均一、且つ高精度に形成される。

【0145】

発光部34は、透明体角度格子102の入射面102aに対して鉛直方向から対向するように設けられている。発光部34から出射された平行光40は、入射面102a全体に照射されるため、入射面102aの凹曲面及び凸曲面が微細なレンズとして機能することにより、凹曲面で拡散した光と凸曲面で収束した光とが重なり合った複数の光に分光される。このときの分光された光の数やピッチは、凹曲面及び凸曲面の曲率半径によって選択的に設定することが可能である。

【0146】

従って、前述した分光板38の代わりに透明体角度格子102を分光手段として用いることにより分光板38よりも精密な分光が可能になる。

【0147】

透明体角度格子102によって分光された光は、偏向ビームスプリッタ(PBS)78と1/4波長板80を透過する。そして、透明体角度格子30上では、所定間隔でピークの立つ平行光42₁～42_nが生成される。

【0148】

さらに、透明体角度格子30を透過して反射面74aで反射され再び透明体角度格子30を透過した後、偏向ビームスプリッタ78で90度の方向に反射され、対物レンズ44によって受光部36の受光面36a上に集光される。

【0149】

ここで、透明体角度格子102を分光手段として用いた場合のシミュレーション結果について説明する。

【0150】

微細正弦波を2次元に展開した形状の入射面102aを有する透明体角度格子102と2次元角度センサを組合わせたサーフェスエンコーダとしての検出装置では、正弦波角度格子30と同様の形状を持つ透明体角度格子102を用いることでビーム効率の高い光学系

10

20

30

40

50

を実現すると共に、透明体角度格子 30 と透明体角度格子 102 との相対変位として同様に多自由度位置検出が行える。

【0151】

透明体角度格子 30, 102 を用いた Dual 正弦波格子型サーフェスエンコーダの有効性を以下の条件 (表 4 参照) でシミュレーションしたところ図 67 乃至図 71 に示すような結果が得られた。

【0152】

【表 4】

実施例4のシミュレーション条件

レーザー光源	波長: 685 nm
透明体角度格子	波長: 100 μm , 振幅: 0.1 μm
角度格子	波長: 100 μm , 振幅: 0.1 μm
レンズ	焦点距離: 10 mm
物体間距離	透明体角度格子から角度格子: 22.5 mm, 角度格子からレンズ: 30 mm

図 67 (A) ~ (D) は透明体角度格子 102 により生成されたマルチスポットの実験データを示すグラフである。図 67 (A) は、X 方向に対するマルチスポットの強度を示すグラフ、図 67 (B) は、Y 方向に対するマルチスポットの強度を示すグラフ、図 67 (C) は、X 方向に対するマルチスポットの一部の強度を拡大して示すグラフ、図 67 (D) は、Y 方向に対するマルチスポットの一部の強度を拡大して示すグラフである。

【0153】

図 67 (A) ~ (D) に示されるように、透明体角度格子 102 により生成されたマルチスポットは、X 方向及び Y 方向に周期的なピークを有する複数のスポットが得られ、且つ X 方向及び Y 方向の中央の強度が最大となるように形成されることが分かる。

【0154】

ここでは、説明の便宜上、受光部 36 の受光素子に 4 分割 PD を用いた場合の検出シミュレーション結果について説明する。

【0155】

図 68 は 4 分割 PD 上で受光された受光スポットの強度分布を解析した結果を示すグラフである。図 68 に示されるように、4 分割 PD 上には、所定間隔で強度がピークとなる平行光 $42_1 \sim 42_n$ が検出されることが分かる。

【0156】

図 69 (A) ~ (D) は透明体角度格子 30 が X 方向に相対変位 ($Y = 0$) した場合のマルチスポットの変化を示すグラフである。図 69 (A) の停止状態から図 69 (B) に示す変位状態では、マルチスポットのピーク分布のうち左側 ($X = 0$ より - 側) が減少して右側 ($X = 0$ より + 側) のピーク値が突出することにより透明体角度格子 30 が右側 ($X = 0$ より + 側) に変位したことが分かる。また、図 69 (C) の停止状態から図 69 (D) に示す変位状態では、マルチスポットのピーク分布のうち右側 ($X = 0$ より - 側) が減少して左側 ($X = 0$ より + 側) のピーク値が突出することにより透明体角度格子 30 が左側 ($X = 0$ より - 側) に変位したことが分かる。

【0157】

図 70 (A) ~ (D) は透明体角度格子 102 が Y 方向に相対変位 ($X = 0$) した場合のマルチスポットの変化を示すグラフである。図 70 (A) の停止状態から図 70 (B) に示す変位状態では、マルチスポットのピーク分布のうち前側 ($Y = 0$ より - 側) が減少して後側 ($Y = 0$ より + 側) のピーク値が突出することにより透明体角度格子 30 が後側

($Y = 0$ より + 側) に変位したことが分かる。また、図 7 0 (C) の停止状態から図 7 0 (D) に示す変位状態では、マルチスポットのピーク分布のうち後側 ($Y = 0$ より + 側) が減少して前側 ($Y = 0$ より - 側) のピーク値が突出することにより透明体角度格子 3 0 が前側 ($Y = 0$ より - 側) に変位したことが分かる。

【0158】

図 7 1 は 4 分割 PD の X 方向変位に対する出力変化をシミュレートした実験結果である。図 7 2 は 4 分割 PD の Y 方向変位に対する出力変化をシミュレートした実験結果である。

【0159】

図 7 1 に示されるように、X 方向変位の相対変位が生じた場合には、Y 方向の出力は変化しないが X 方向の出力が正弦波状に変化することが分かる。また、図 7 2 に示されるように、Y 方向変位の相対変位が生じた場合には、X 方向の出力は変化しないが Y 方向の出力が正弦波状に変化することが分かる。

10

【0160】

このように、透明体角度格子 1 0 2 を分光手段として用いた構成とすることにより、X 方向変位の相対変位及び Y 方向変位の相対変位を受光部 3 6 の出力変化から検出することが可能であることが検証された。

【0161】

また、受光部 3 6 の受光素子に多素子型 PD (前述した図 8 を参照) や CCD 素子を用いることによって、XY 位置のほかにピッチング、ローリング、ヨーイングなどの各軸回りの回動による傾き姿勢も計測することが可能になる。

20

【産業上の利用可能性】

【0162】

上記実施例では、ステージの位置を検出する検出装置を一例として説明したが、これに限らず、他の可動体の移動位置及び移動に伴う状態 (傾き) を検出することができるのは勿論である。

【0163】

また、検出装置としては、例えば、リニアエンコーダ以外としてロータリエンコーダにも適用することも可能であり、さらには、ステージ装置以外のものとしてはハードディスク装置やデジタル・ビデオ・ディスク装置にも適用することができる。

【0164】

また、マウスなどのパーソナルコンピュータの入力装置やコンピュータゲーム装置の入力装置にも適用することが可能である。

30

【0165】

さらに、物流関係の対象物情報 (例えば、荷物の位置情報) や商品の 2 次元バーコードの検出装置にも応用することができるので、IC タグと同等な高密度光タグへの応用も可能である。

【図面の簡単な説明】

【0166】

【図 1】基準格子と 2 次元角度センサとを有した従来の検出装置の概略図である。

【図 2】2 次元角度センサの構成例を示した図である。

40

【図 3】本発明になる検出装置の実施例 1 が適用されたステージ装置の主要構成要素を示す概念図である。

【図 4】透過型検出装置 2 2 の構成を示す斜視図である。

【図 5】透明体角度格子 3 0 の検出面に複数の光を照射する様子を拡大して示す斜視図である。

【図 6】透過型検出装置 2 2 の構成を X 方向からみた構成図である。

【図 7】分光板 3 8 のグリッドパターンの一例を拡大して示す図である。

【図 8】フォトダイオード 5 1 ~ 5 9 が配置された受光面 3 6 a を拡大して示す図である。

【図 9】透明体角度格子 3 0 に光が位置 (x, y) に入射するモデルを示す図である。

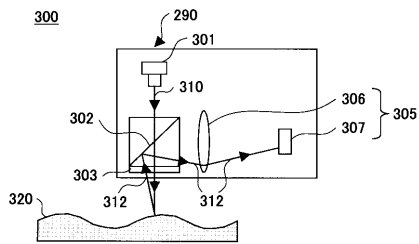
50

- 【図10】実施例1の強度分布 $I(x, y)$ のシミュレーション結果を示すグラフである。
- 【図11】透明体角度格子30に対して発光部34がX方向へ回転したときの強度分布の変化のシミュレーション結果を示すグラフである。
- 【図12】透明体角度格子30に対して発光部34がY方向へ回転したときの強度分布の変化のシミュレーション結果を示すグラフである。
- 【図13】透明体角度格子30に対して発光部34が z 方向へ回転したときの強度分布の変化のシミュレーション結果を示すグラフである。
- 【図14】図13(A)~(E)のスポットの一部を拡大して示すグラフである。
- 【図15】4分割PD55を拡大して示す図である。
- 【図16】4分割PD55を用いた場合のX変位のシミュレーションによる検出結果を示すグラフである。 10
- 【図17】4分割PD55を用いた場合のY変位のシミュレーションによる検出結果を示すグラフである。
- 【図18】X, Y変位の相対的な位置関係から z 方向の回転も求める方法を説明するための図である。
- 【図19】受光部36のフォトダイオード51~54, 56~59の配置を示す図である。
- 【図20】実施例1のX方向の変位を検出する方法を示す図である。
- 【図21】実施例1のXY位置の検出方法の検出原理を示す図である。
- 【図22】実施例1のX方向変位の検出結果を示すグラフである。 20
- 【図23】実施例1のY方向変位の検出結果を示すグラフである。
- 【図24】実施例1の z 方向の検出結果を示すグラフである。
- 【図25】実施例1の変形例を示す光学系の図である。
- 【図26】実施例2の反射型検出装置70の構成を示す斜視図である。
- 【図27】実施例2の反射面74aに貼り付けた透明体角度格子30のモデルを示す図である。
- 【図28】実施例2の光が反射面74aで反射されるところでそのまま透過するように仮想したモデルを示す図である。
- 【図29】実施例2の反射型検出装置70の光学系を示す図である。
- 【図30】実施例2の強度分布 $I(x, y)$ のシミュレーション結果を示すグラフである。 30
- 【図31】透明体角度格子30に対してX方向に変位したときの強度分布の変化のシミュレーション結果を示すグラフである。
- 【図32】透明体角度格子30に対してY方向に変位したときの強度分布の変化のシミュレーション結果を示すグラフである。
- 【図33】透明体角度格子30に対して x 方向の回転が生じたときの強度分布の変化のシミュレーション結果を示すグラフである。
- 【図34】図33(A)~(E)のスポットの中心のピークを拡大して示すグラフである。
- 【図35】実施例2の y 回転が生じたときの各スポットの強度変化を示すグラフである。 40
- 【図36】図35(A)~(E)のスポットの中心のピークを拡大して示すグラフである。
- 【図37】実施例2の z 方向に回転が生じたときの強度変化を示すグラフである。
- 【図38】図37(A)~(E)のスポットの一部を拡大して示すグラフである。
- 【図39】実施例2のX変位のシミュレーションの検出結果を示すグラフである。
- 【図40】実施例2のY変位のシミュレーションの検出結果を示すグラフである。
- 【図41】実施例2の y 方向の回転の検出原理を示す図である。
- 【図42】実施例2のX方向変位の検出結果を示すグラフである。
- 【図43】実施例2のY方向変位の検出結果を示すグラフである。
- 【図44】実施例2の x の検出結果を示すグラフである。 50

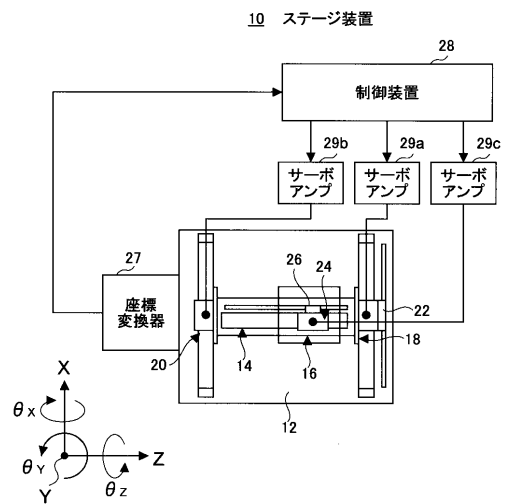
- 【図 4 5】実施例 2 の y の検出結果を示すグラフである。
- 【図 4 6】実施例 2 の z 方向の検出結果を示すグラフである。
- 【図 4 7】実施例 3 の反射面角度格子を用いた反射型検出装置 9 0 の構成を示す斜視図である。
- 【図 4 8】実施例 3 の反射面角度格子 9 2 のモデルを示す図である。
- 【図 4 9】実施例 3 の反射型サーフェスエンコーダの光学系を示す図である。
- 【図 5 0】実施例 3 の強度分布 $I(x, y)$ のシミュレーション結果を示すグラフである。
- 【図 5 1】実施例 3 の X 変位が生じたときの各スポットの強度変化を示すグラフである。
- 【図 5 2】実施例 3 の Y 変位が生じたときの各スポットの強度変化を示すグラフである。
- 【図 5 3】実施例 3 の x 回転が生じたときの各スポットの強度変化を示すグラフである 10
- 。
- 【図 5 4】図 5 3 (A) ~ (E) のスポットの中心のピークを拡大して示すグラフである。
- 。
- 【図 5 5】実施例 3 の y 回転が生じたときの各スポットの強度変化を示すグラフである。
- 。
- 【図 5 6】図 5 5 (A) ~ (E) の各スポットの中心のピークの拡大図を示すグラフである。
- 。
- 【図 5 7】実施例 3 の z 回転が生じたときの強度変化を示すグラフである。
- 【図 5 8】図 5 7 (A) ~ (E) のスポットの一部を拡大して示すグラフである。
- 【図 5 9】実施例 3 の X 変位の検出結果を示すグラフである。 20
- 【図 6 0】実施例 3 の Y 変位の検出結果を示すグラフである。
- 【図 6 1】実施例 3 の X 変位の検出結果を示すグラフである。
- 【図 6 2】実施例 3 の Y 変位の検出結果を示すグラフである。
- 【図 6 3】実施例 3 の x の検出結果を示すグラフである。
- 【図 6 4】実施例 3 の y の検出結果を示すグラフである。
- 【図 6 5】実施例 3 の z の検出結果を示すグラフである。
- 【図 6 6】反射型検出装置に用いられる実施例 4 の光センサユニット 1 0 0 を示す図である。
- 【図 6 7】実施例 4 の透明体角度格子 1 0 2 により生成されたマルチスポットの実験データを示すグラフである。 30
- 【図 6 8】実施例 4 の 4 分割 PD 上で受光された受光スポットの強度分布を解析した結果を示すグラフである。
- 【図 6 9】実施例 4 の透明体角度格子 3 0 が X 方向に相対変位 ($Y = 0$) した場合のマルチスポットの変化を示すグラフである。
- 【図 7 0】実施例 4 の透明体角度格子 3 0 が Y 方向に相対変位 ($X = 0$) した場合のマルチスポットの変化を示すグラフである。
- 【図 7 1】実施例 4 の 4 分割 PD の X 方向変位に対する出力変化をシミュレートした実験結果である。
- 【図 7 2】実施例 4 の 4 分割 PD の Y 方向変位に対する出力変化をシミュレートした実験結果である。 40
- 【符号の説明】
- 【 0 1 6 7 】
- 1 0 ステージ装置
- 1 2 ベース
- 1 4 第 1 ステージ
- 1 6 第 2 ステージ
- 1 8 , 2 0 , 2 4 リニアモータ
- 2 2 透過型検出装置
- 2 8 制御装置
- 3 0 , 1 0 2 透明体角度格子 50

- 3 2 透明基板
- 3 4 発光部
- 3 4 a レーザ光源 (LD)
- 3 6 受光部
- 3 8 分光板
- 5 1 ~ 5 9 フォトダイオード
- 7 0 反射型検出装置
- 7 4 基板
- 7 6 , 1 0 0 光センサユニット
- 7 8 偏向ビームスプリッタ (PBS)
- 9 0 反射型検出装置
- 9 2 反射面角度格子

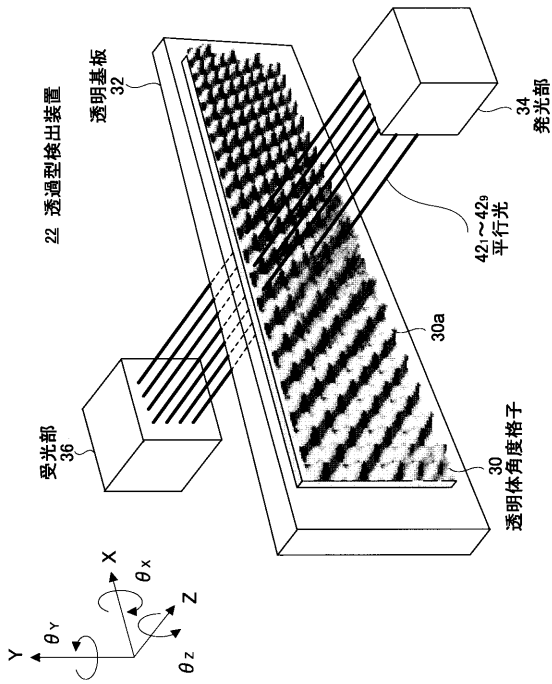
【 図 2 】



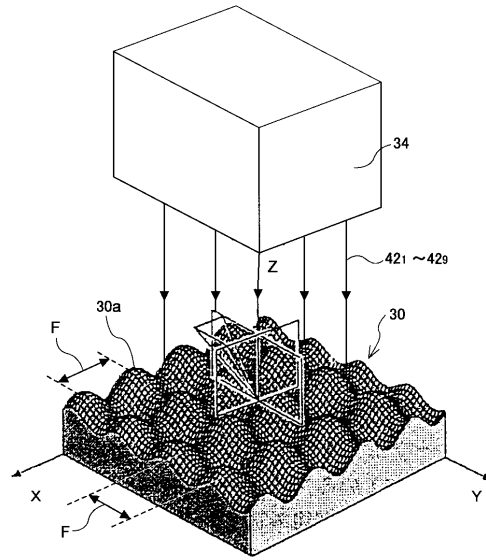
【 図 3 】



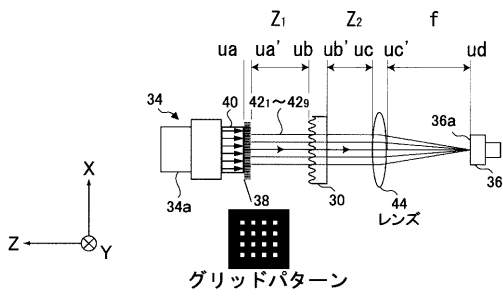
【 図 4 】



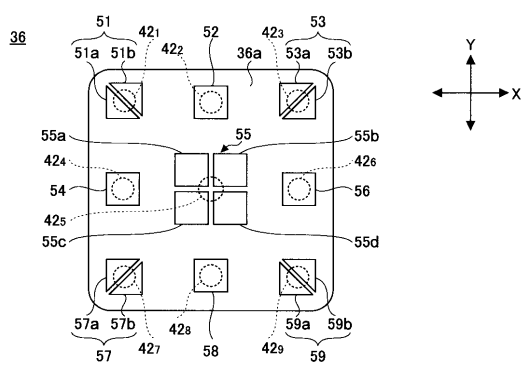
【 図 5 】



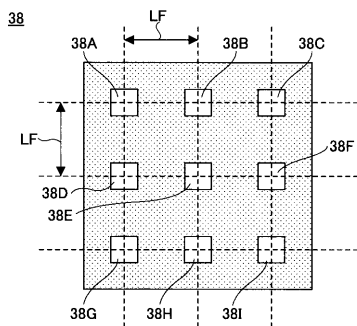
【 図 6 】



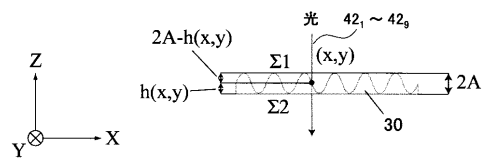
【 図 8 】



【 図 7 】

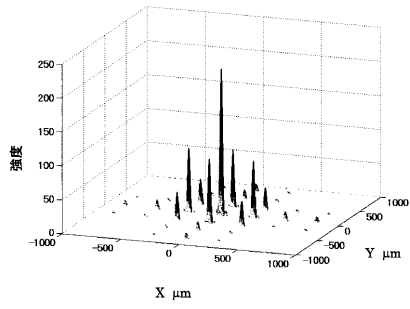


【 図 9 】



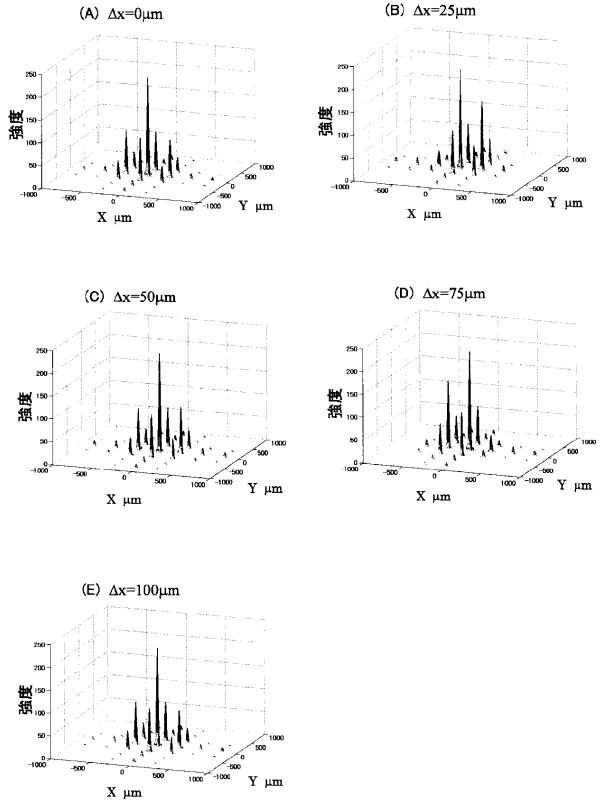
【 図 1 0 】

透過型サーフェスエンコーダにおける強度分布I(x,y)シミュレーション結果



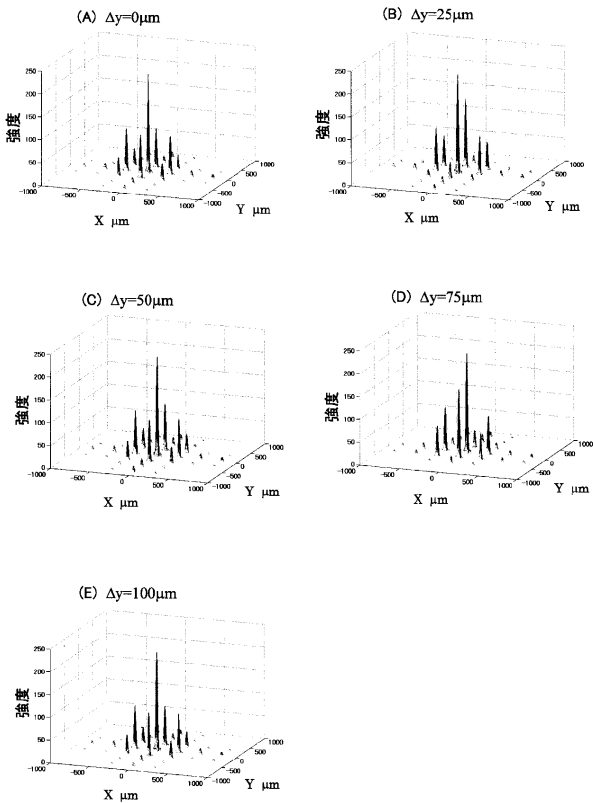
【 図 1 1 】

透明体角度格子にX方向の変位が生じたときのスポット変化



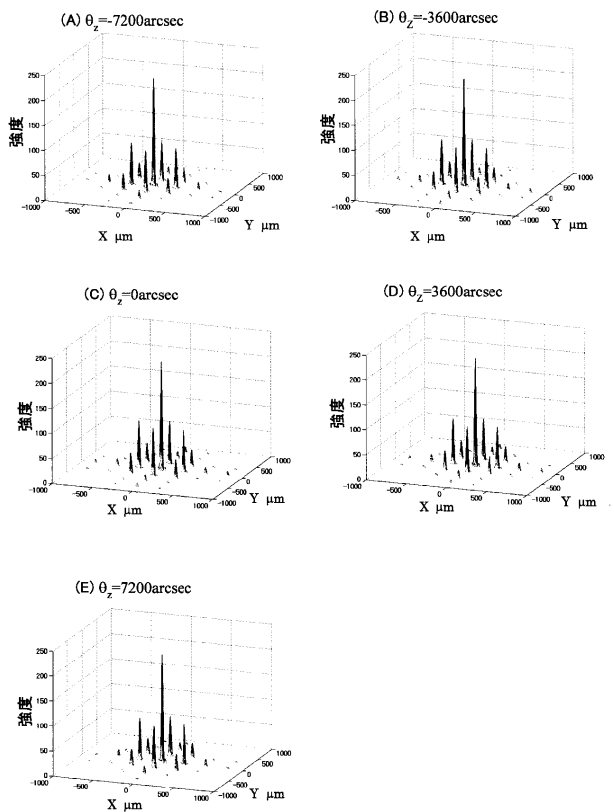
【 図 1 2 】

透明体角度格子にY方向の変位が生じたときのスポット変化



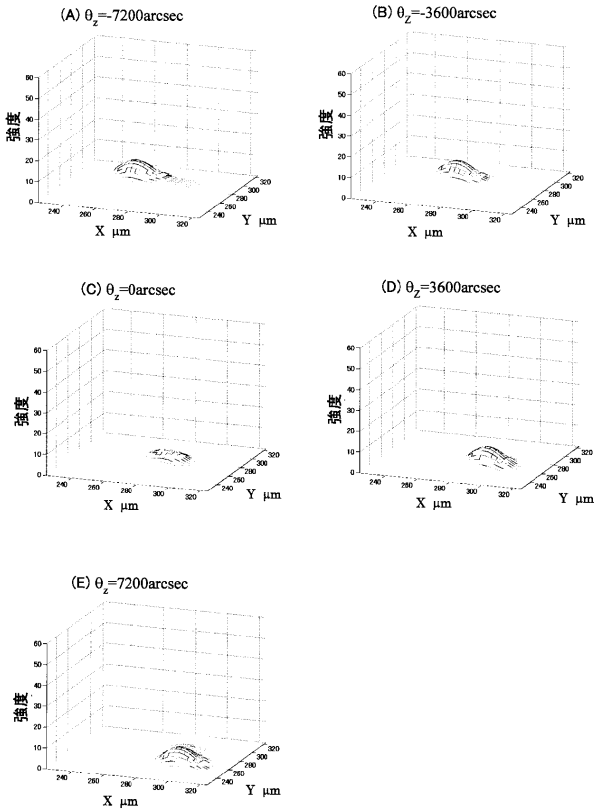
【 図 1 3 】

透明体角度格子にθ_z回転が生じたときのスポット変化

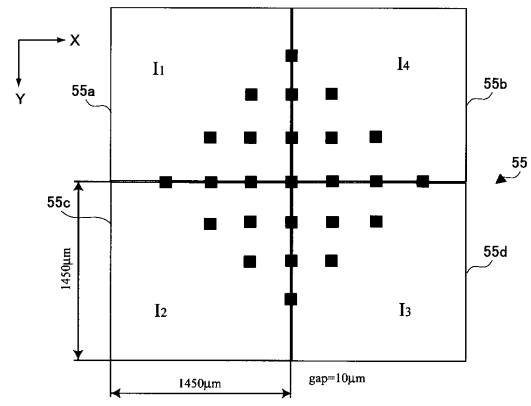


【 図 1 4 】

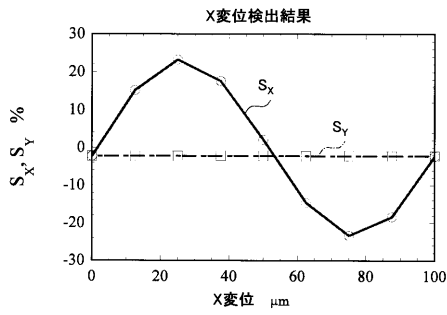
図12の一部のピークの拡大図



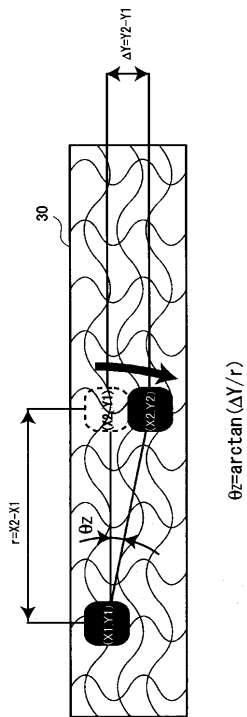
【 図 1 5 】



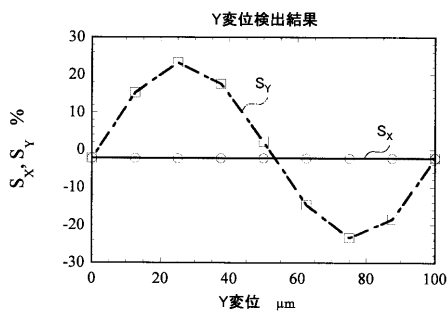
【 図 1 6 】



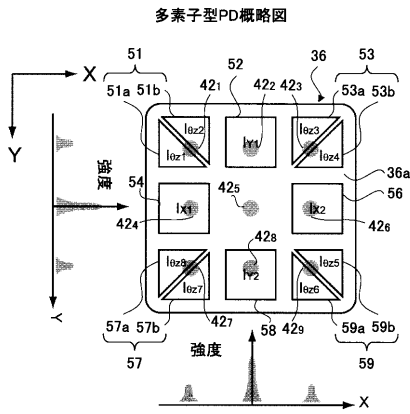
【 図 1 8 】



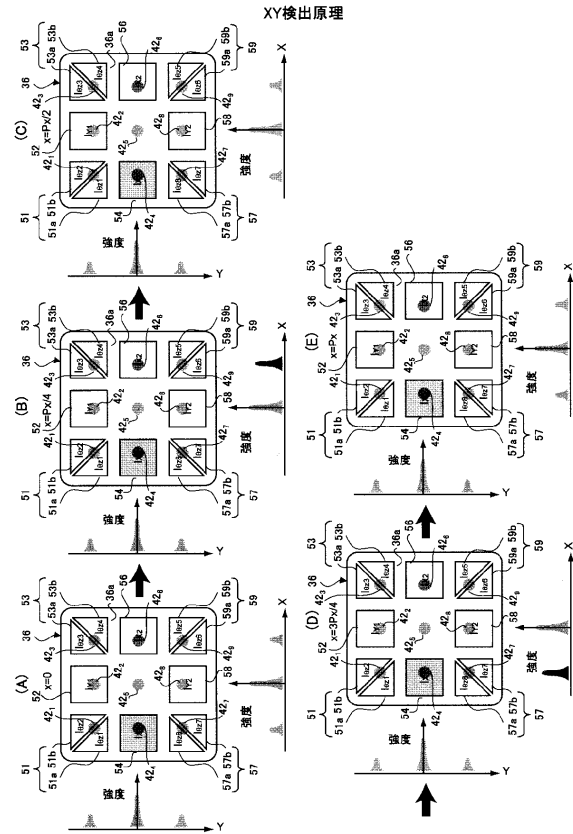
【 図 1 7 】



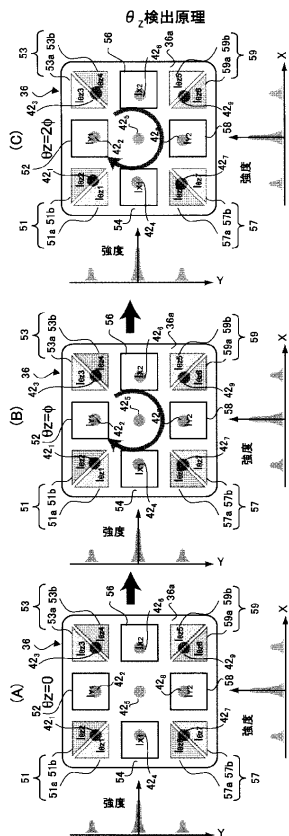
【 図 1 9 】



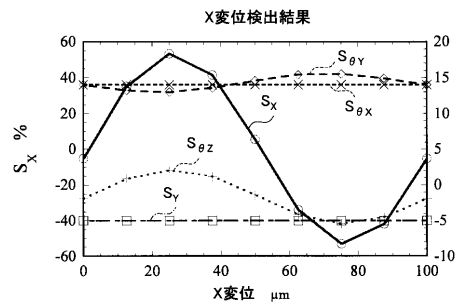
【 図 2 0 】



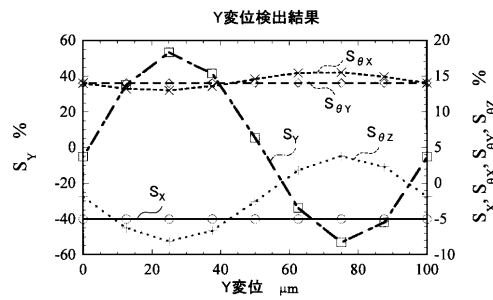
【 図 2 1 】



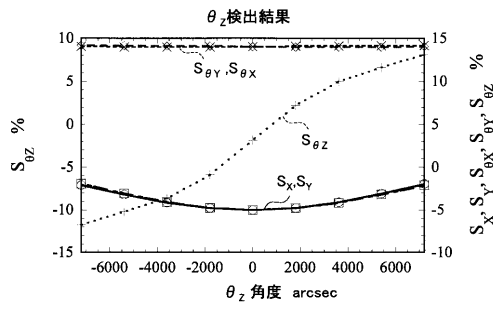
【 図 2 2 】



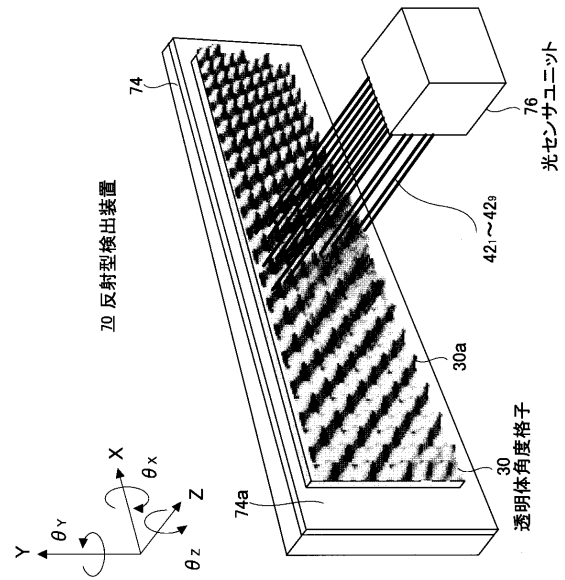
【 図 2 3 】



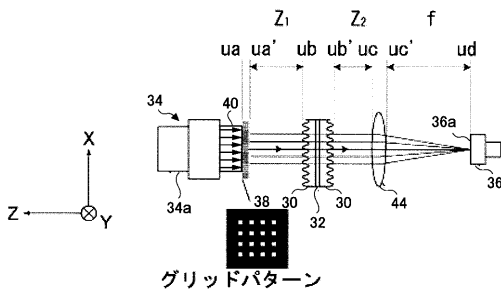
【 図 2 4 】



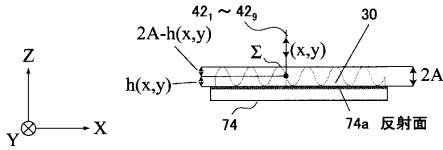
【 図 2 6 】



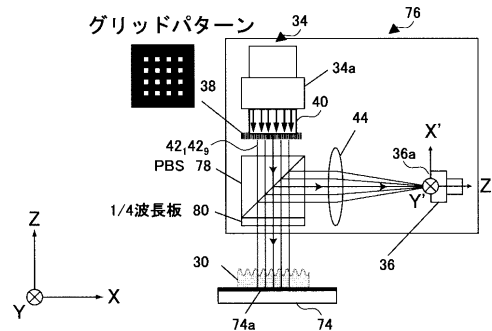
【 図 2 5 】



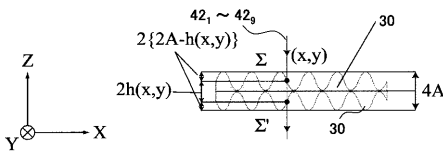
【 図 2 7 】



【 図 2 9 】

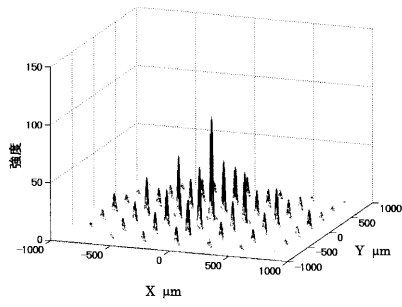


【 図 2 8 】



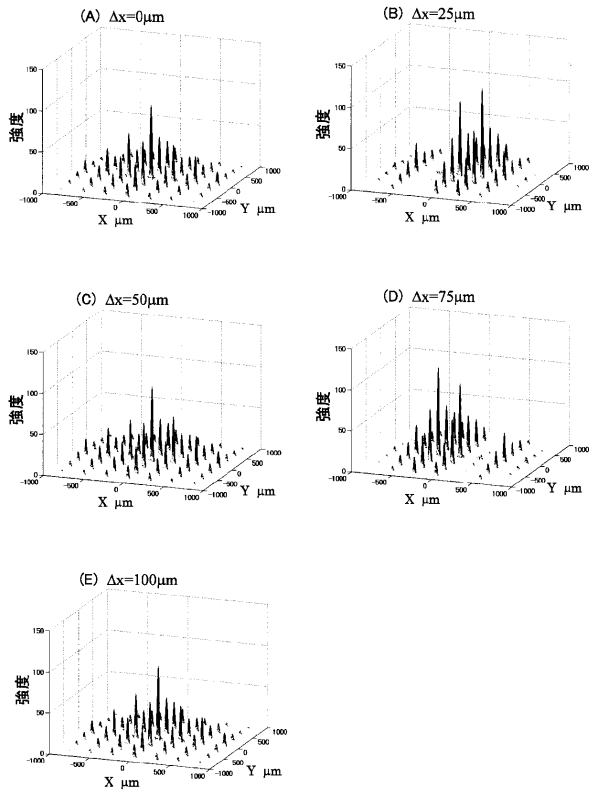
【 図 3 0 】

反射型サーフェスエンコーダにおける強度分布(x,y)シミュレーション結果



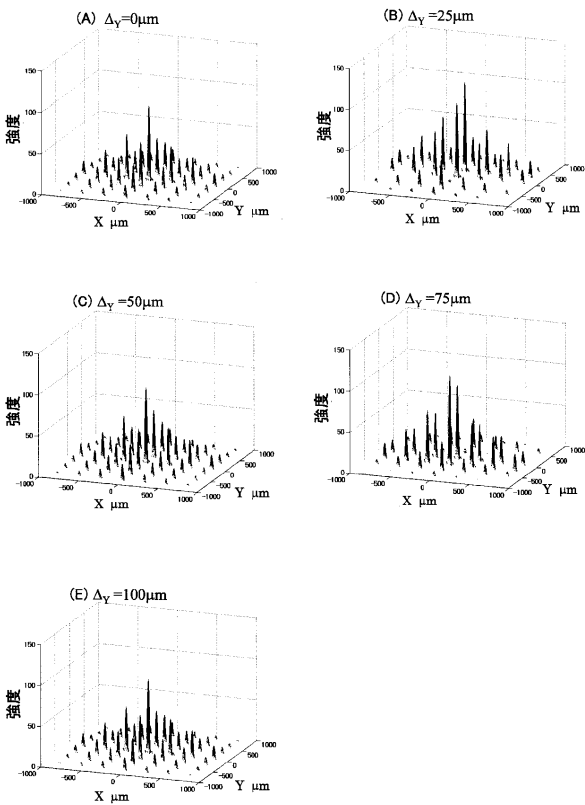
【 図 3 1 】

透明体角度格子にX方向の変位が生じたときのスポット変化



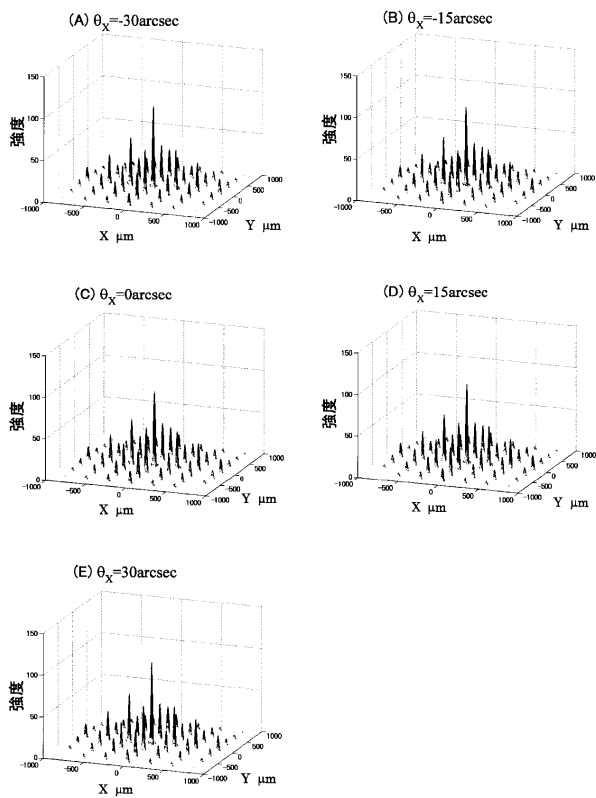
【 図 3 2 】

透明体角度格子にY方向の変位が生じたときのスポット変化



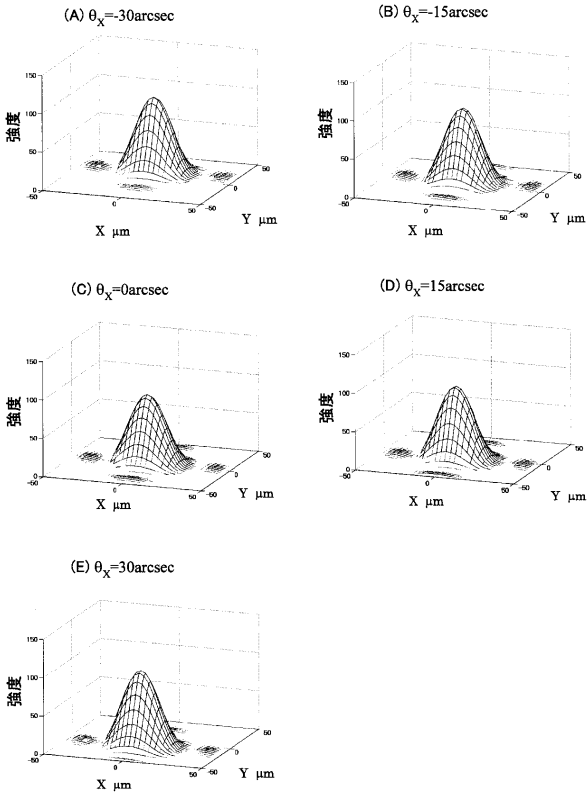
【 図 3 3 】

透明体角度格子にθ_x回転が生じたときのスポット変化



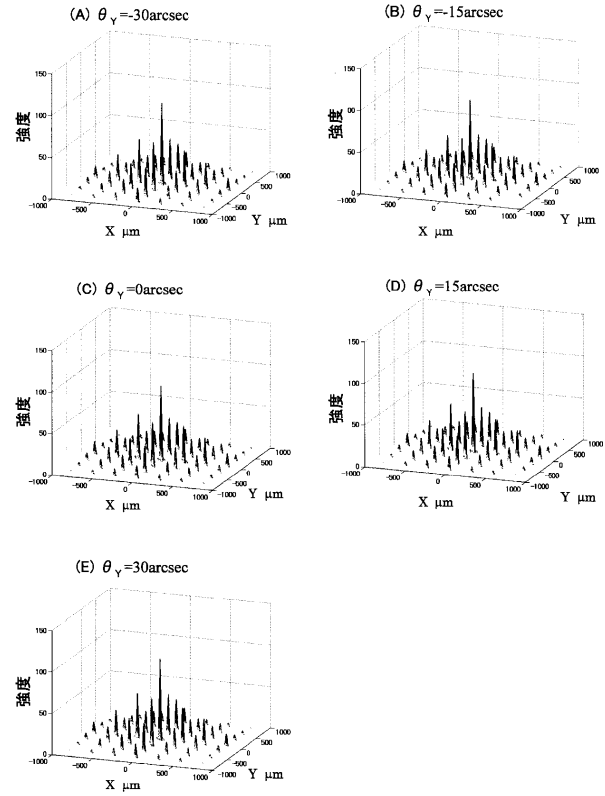
【 図 3 4 】

図33の中心のピークの拡大図



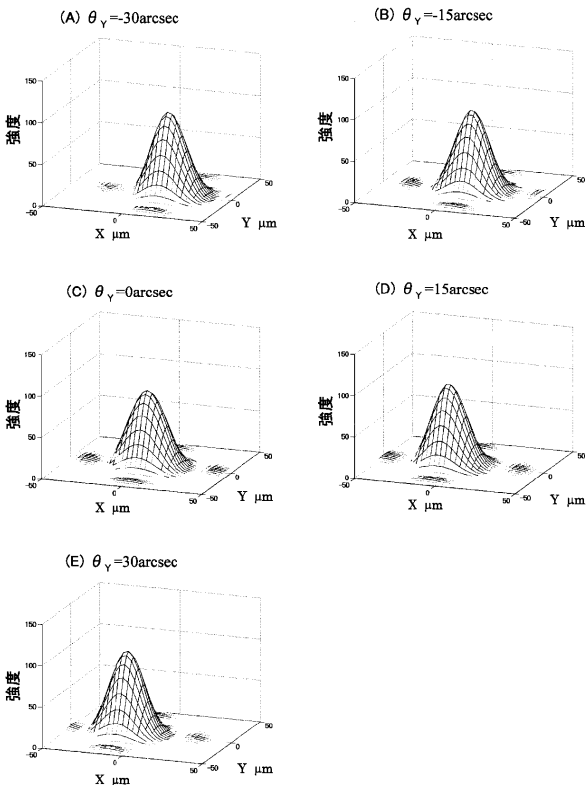
【 図 3 5 】

透明体角度格子に θ_y 回転が生じたときのスポット変化



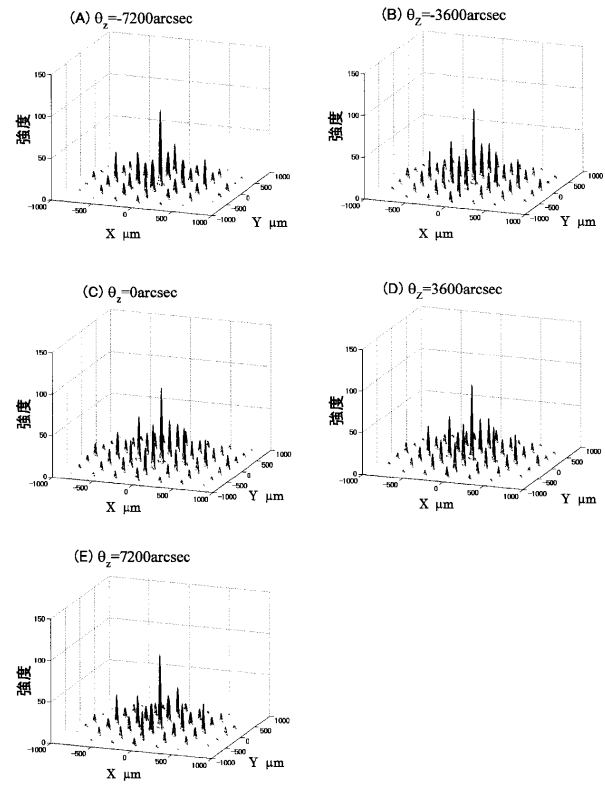
【 図 3 6 】

図35の中心のピークの拡大図



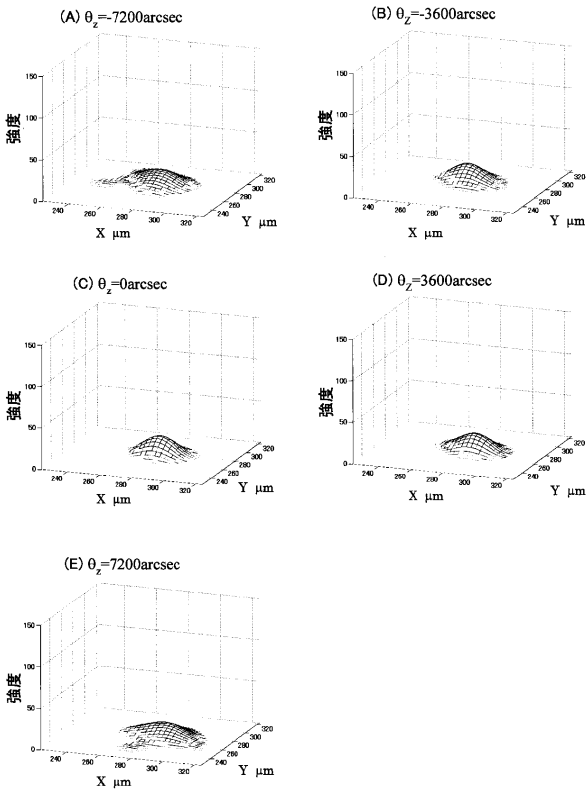
【 図 3 7 】

透明体角度格子に θ_z 回転が生じたときのスポット変化

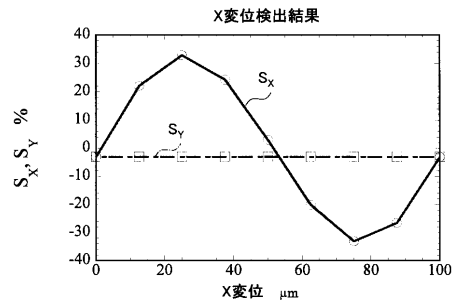


【 図 3 8 】

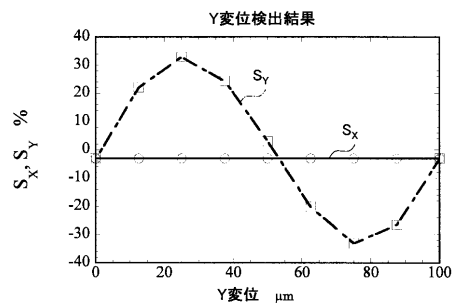
図37の一部のピークの拡大図



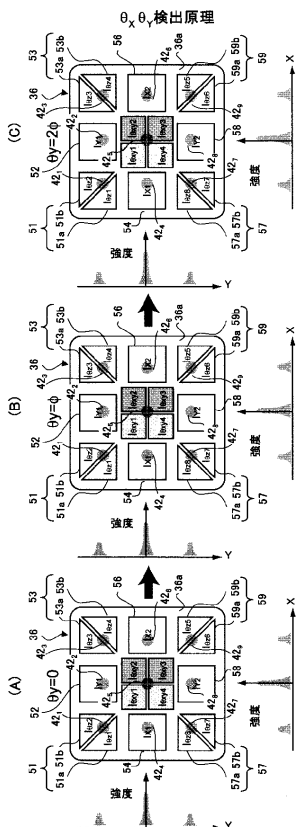
【 図 3 9 】



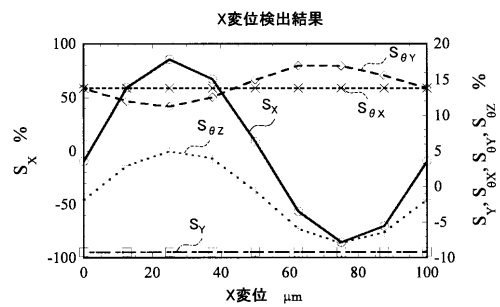
【 図 4 0 】



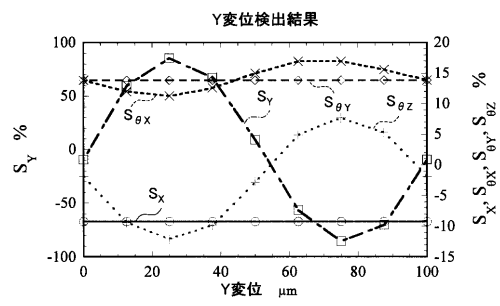
【 図 4 1 】



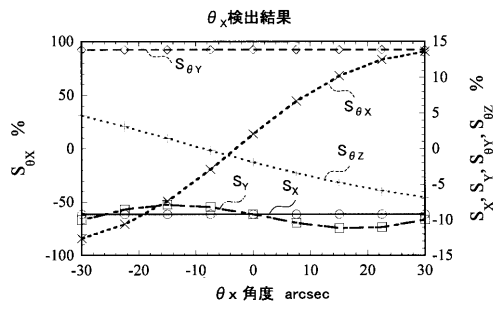
【 図 4 2 】



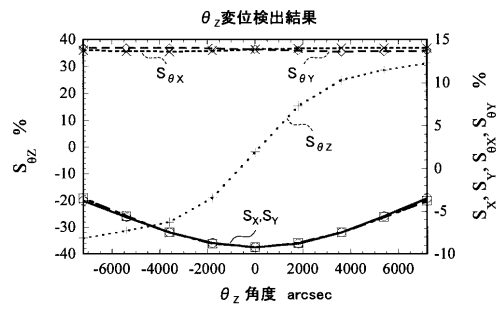
【 図 4 3 】



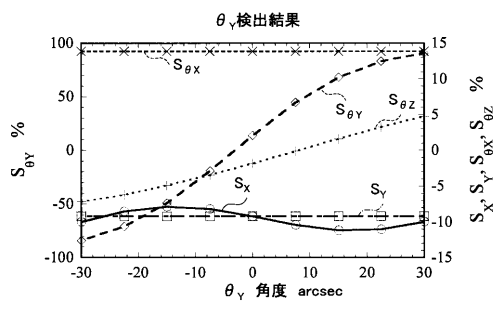
【 図 4 4 】



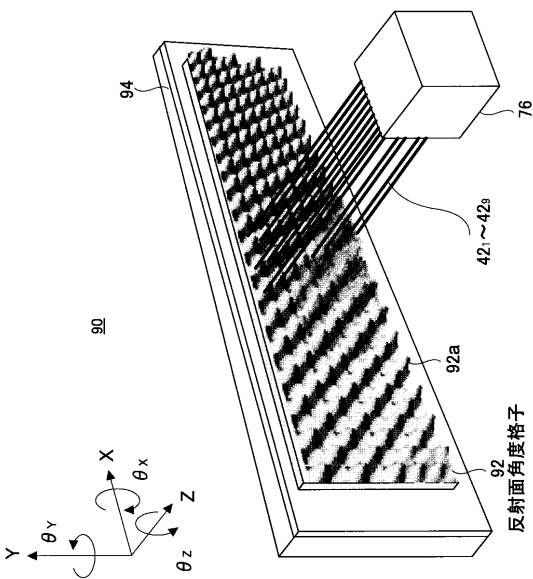
【 図 4 6 】



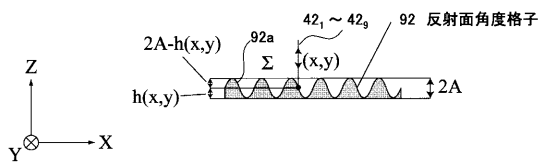
【 図 4 5 】



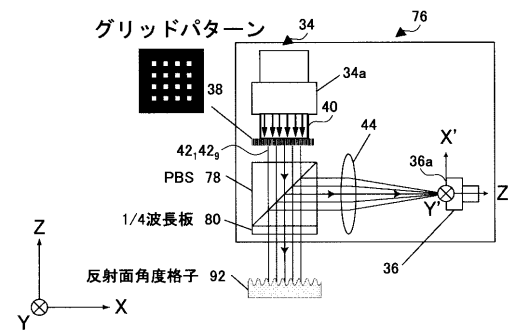
【 図 4 7 】



【 図 4 8 】

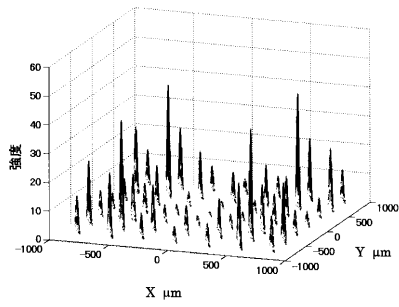


【 図 4 9 】



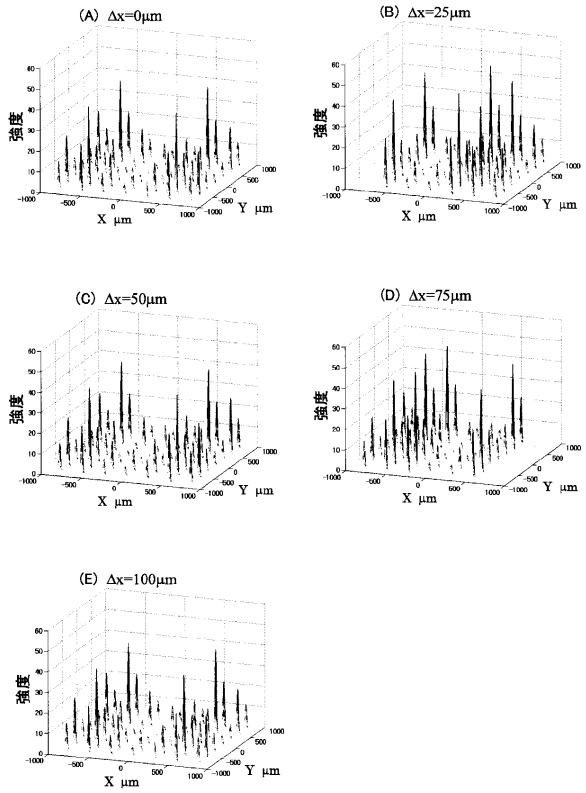
【 図 5 0 】

反射型サーフェスエンコーダにおける強度分布 $I(x,y)$ シミュレーション結果



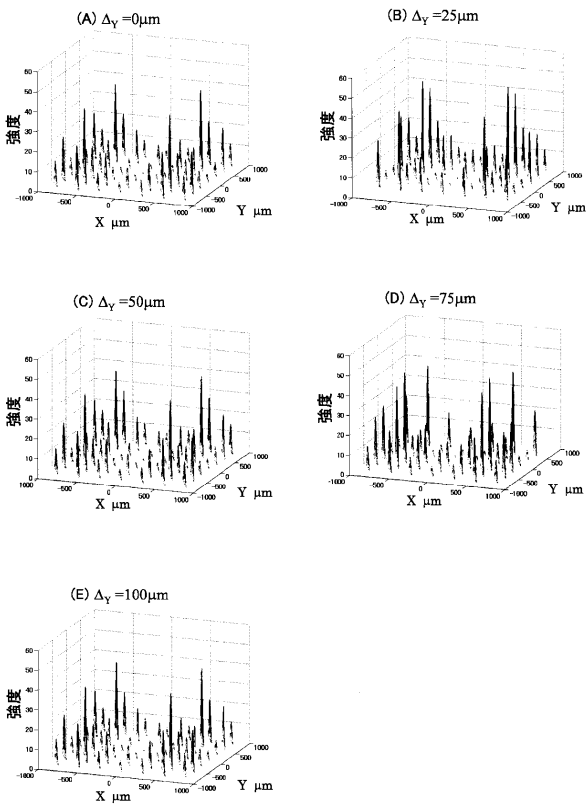
【 図 5 1 】

反射面角度格子にX方向の変位が生じたときのスポット変化



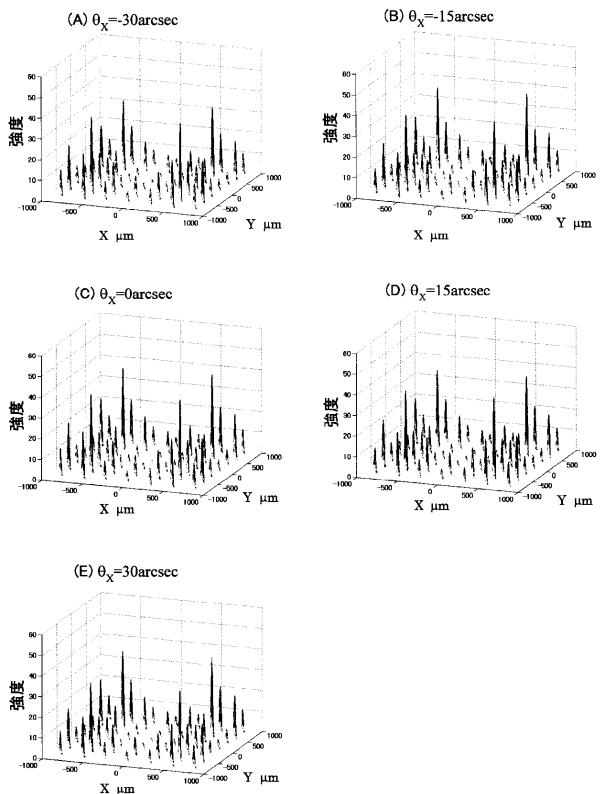
【 図 5 2 】

反射面角度格子にY方向の変位が生じたときのスポット変化



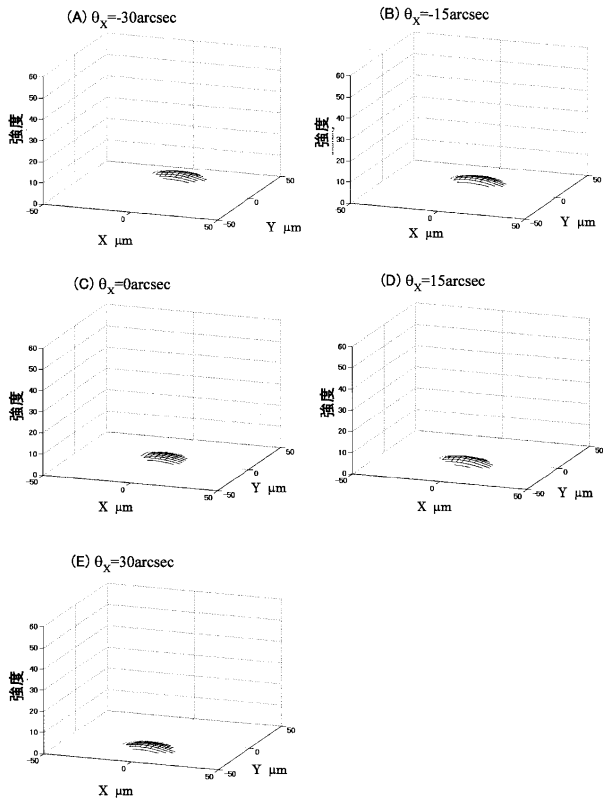
【 図 5 3 】

反射面角度格子に θ_x 回転が生じたときのスポット変化



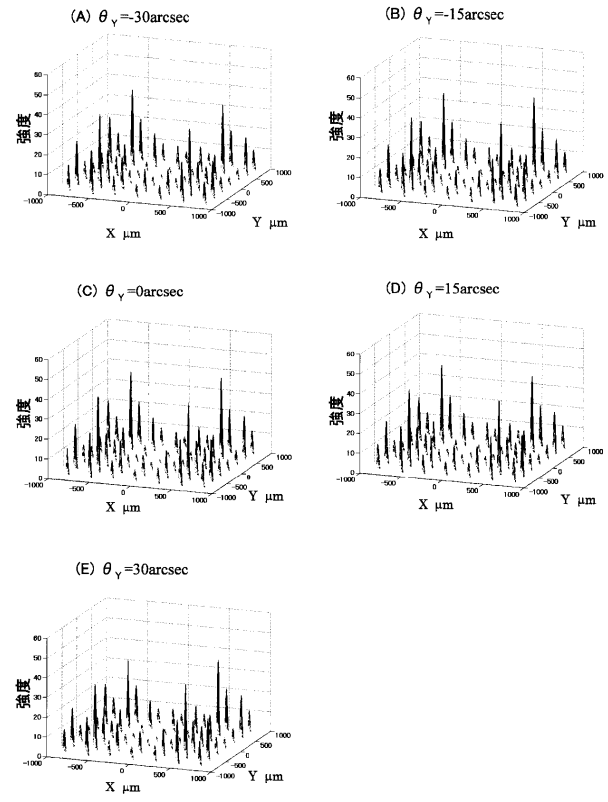
【 図 5 4 】

図53の中心のピークの拡大図



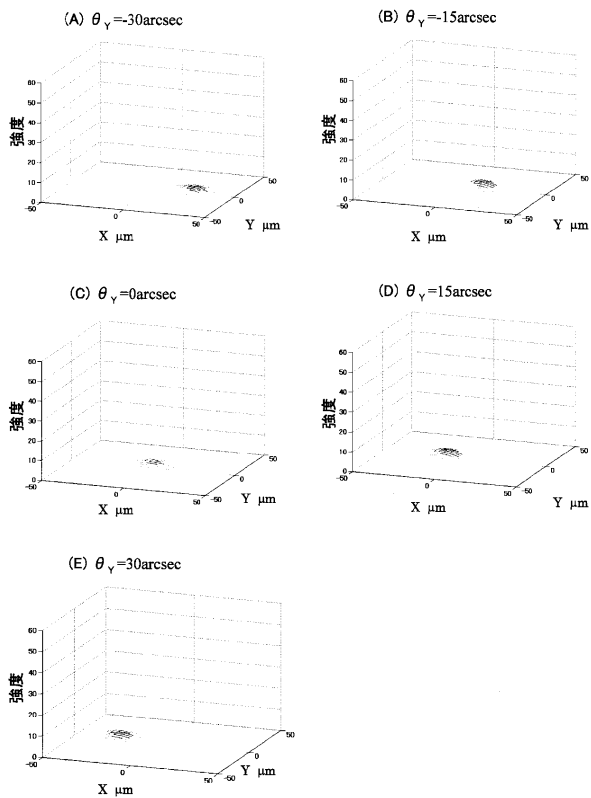
【 図 5 5 】

反射面角度格子に θ_y 回転が生じたときのスポット変化



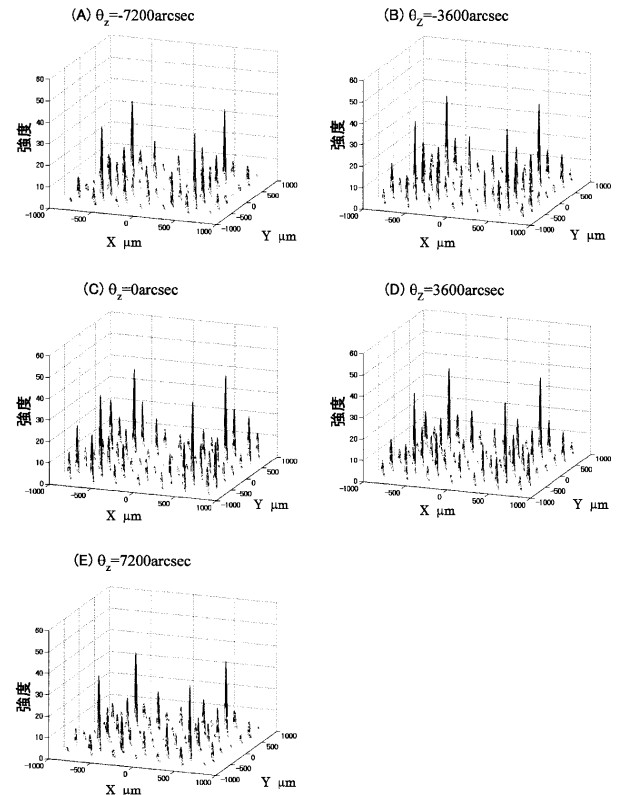
【 図 5 6 】

図55の中心のピークの拡大図



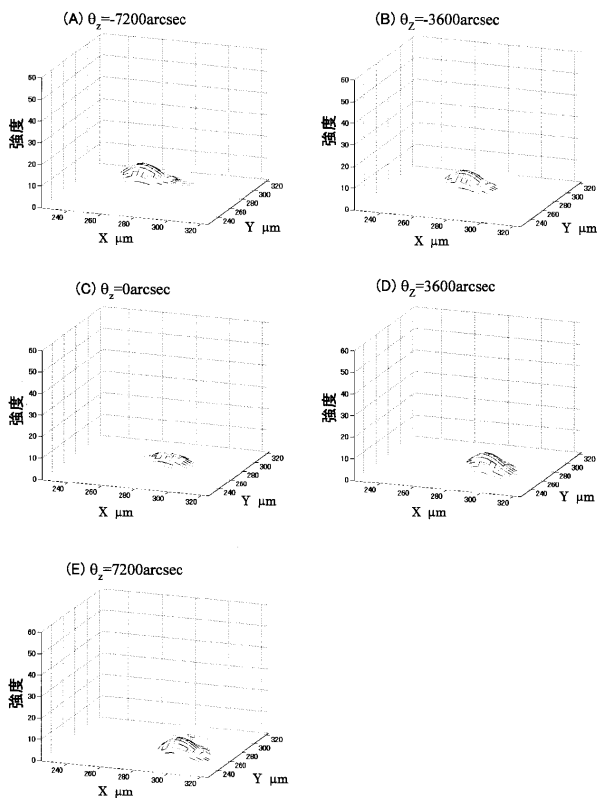
【 図 5 7 】

反射面角度格子に θ_z 回転が生じたときのスポット変化

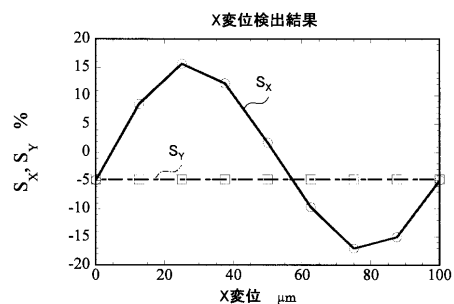


【 図 5 8 】

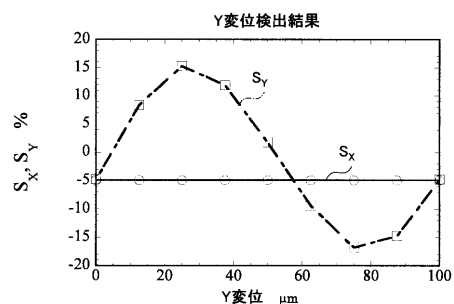
図57の一部のピークの拡大図



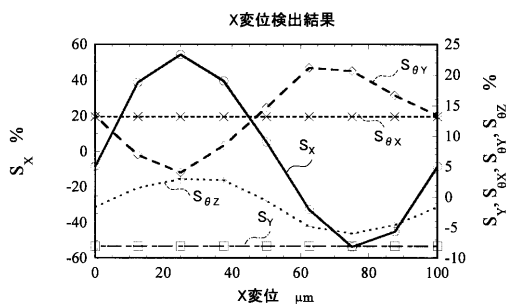
【 図 5 9 】



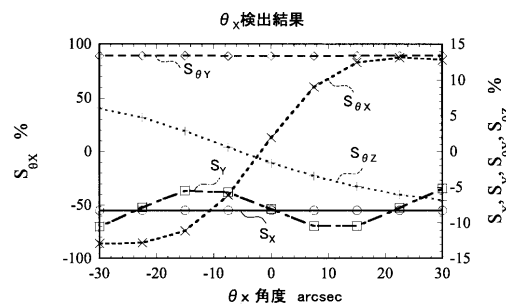
【 図 6 0 】



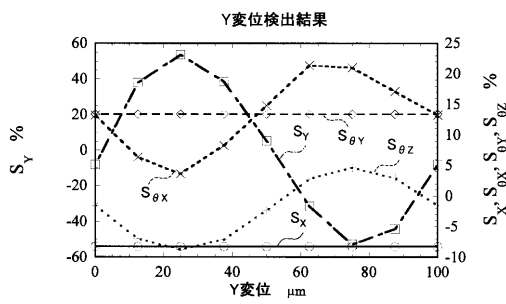
【 図 6 1 】



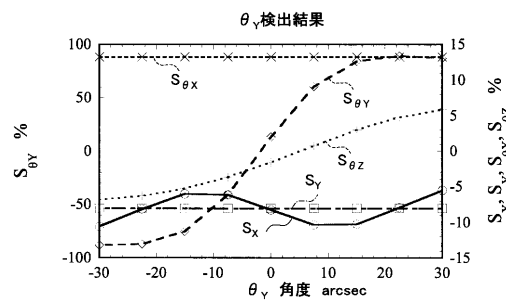
【 図 6 3 】



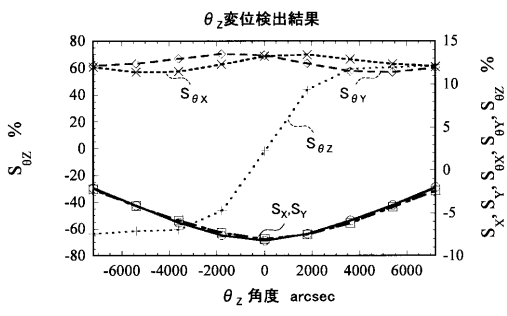
【 図 6 2 】



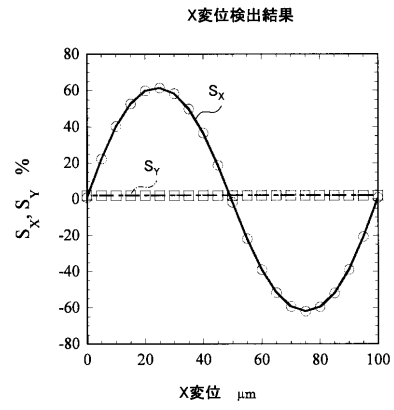
【 図 6 4 】



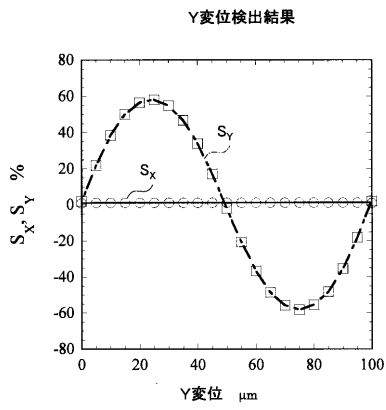
【 図 6 5 】



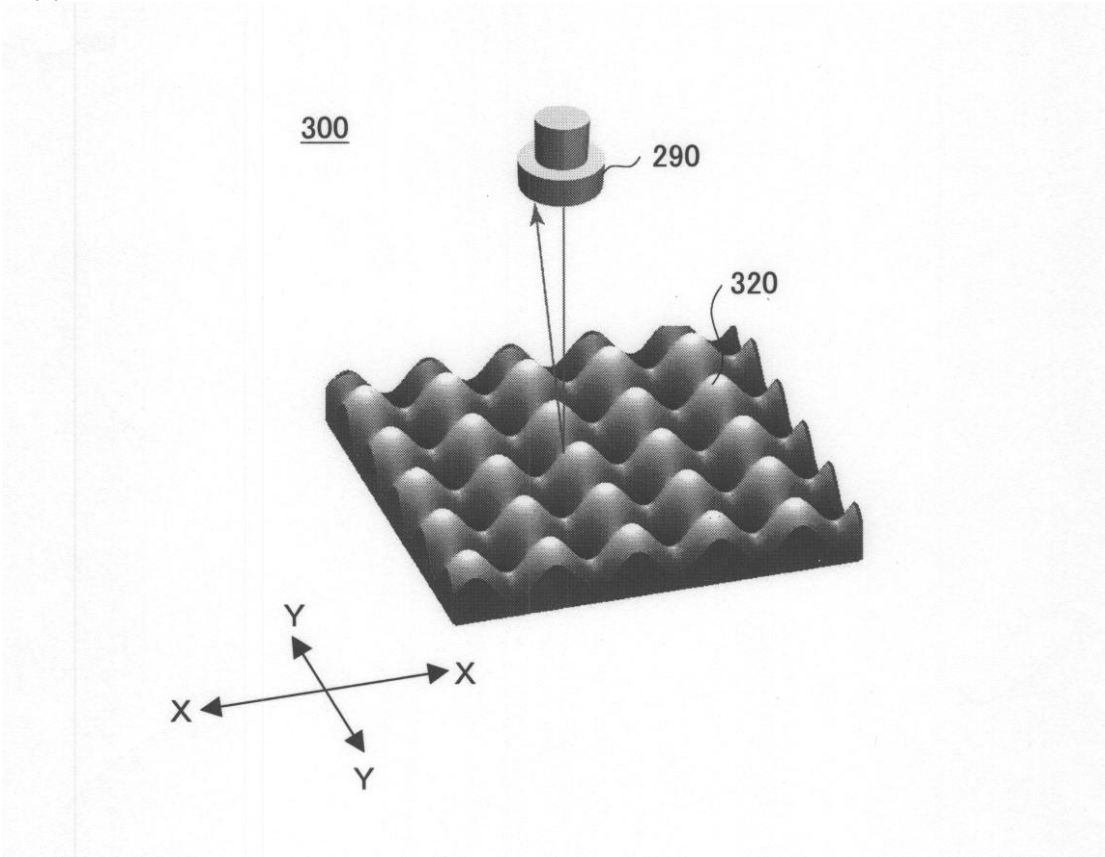
【 図 7 1 】



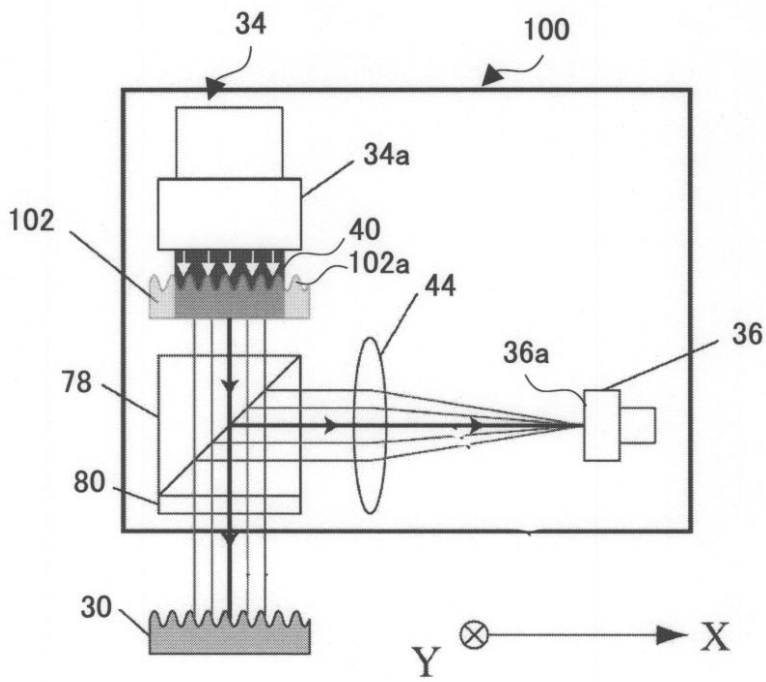
【 図 7 2 】



【 図 1 】



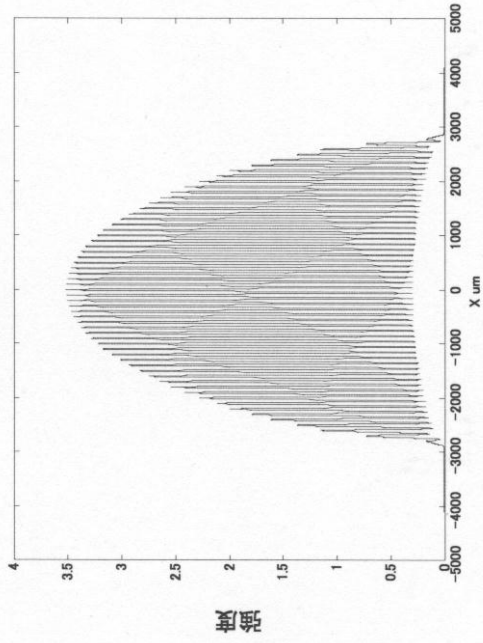
【 図 6 6 】



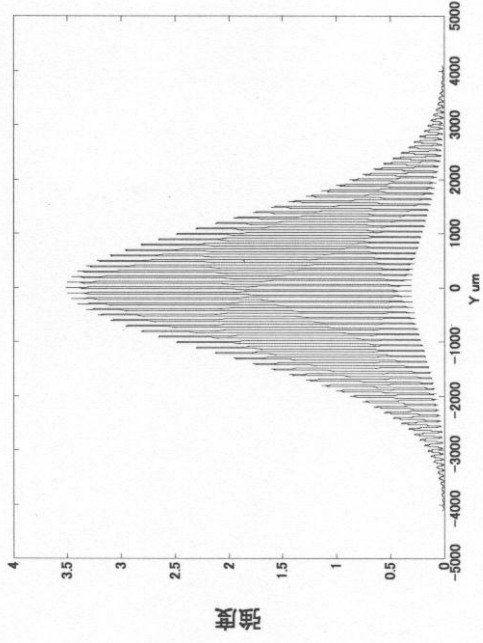
【 図 6 7 】

実施例4のマルチスポット

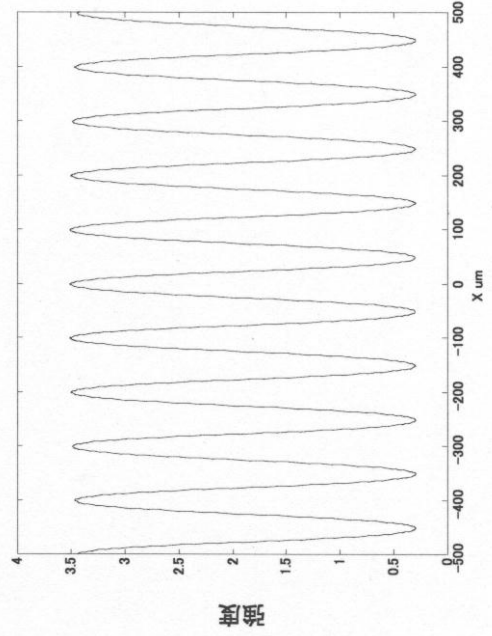
(A)



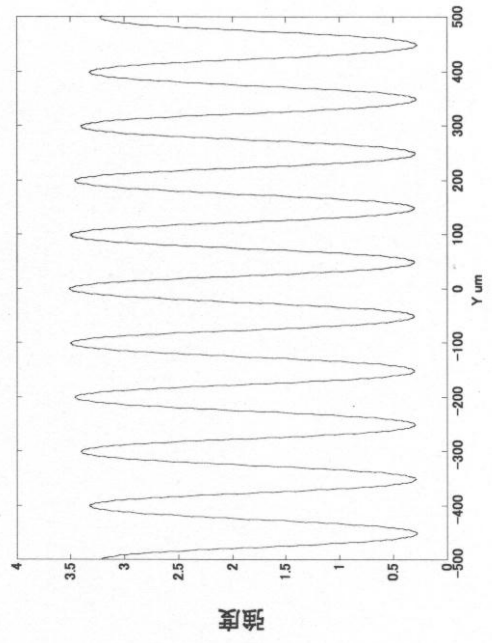
(B)



(C)

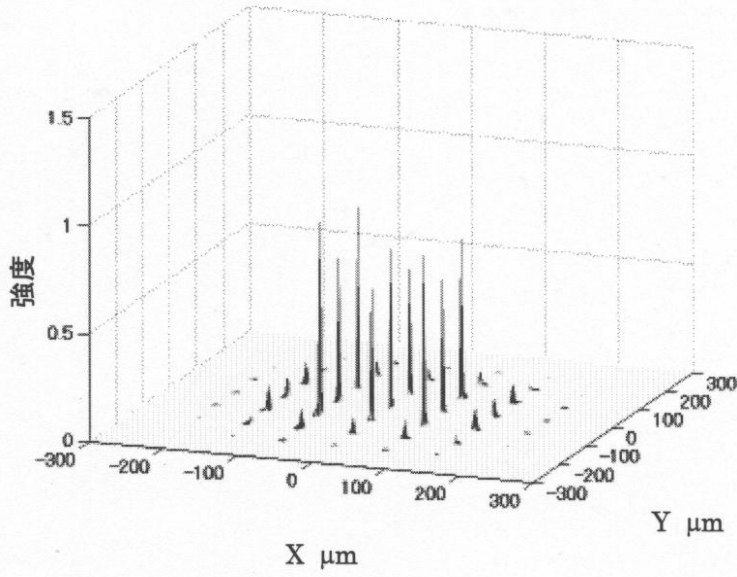


(D)



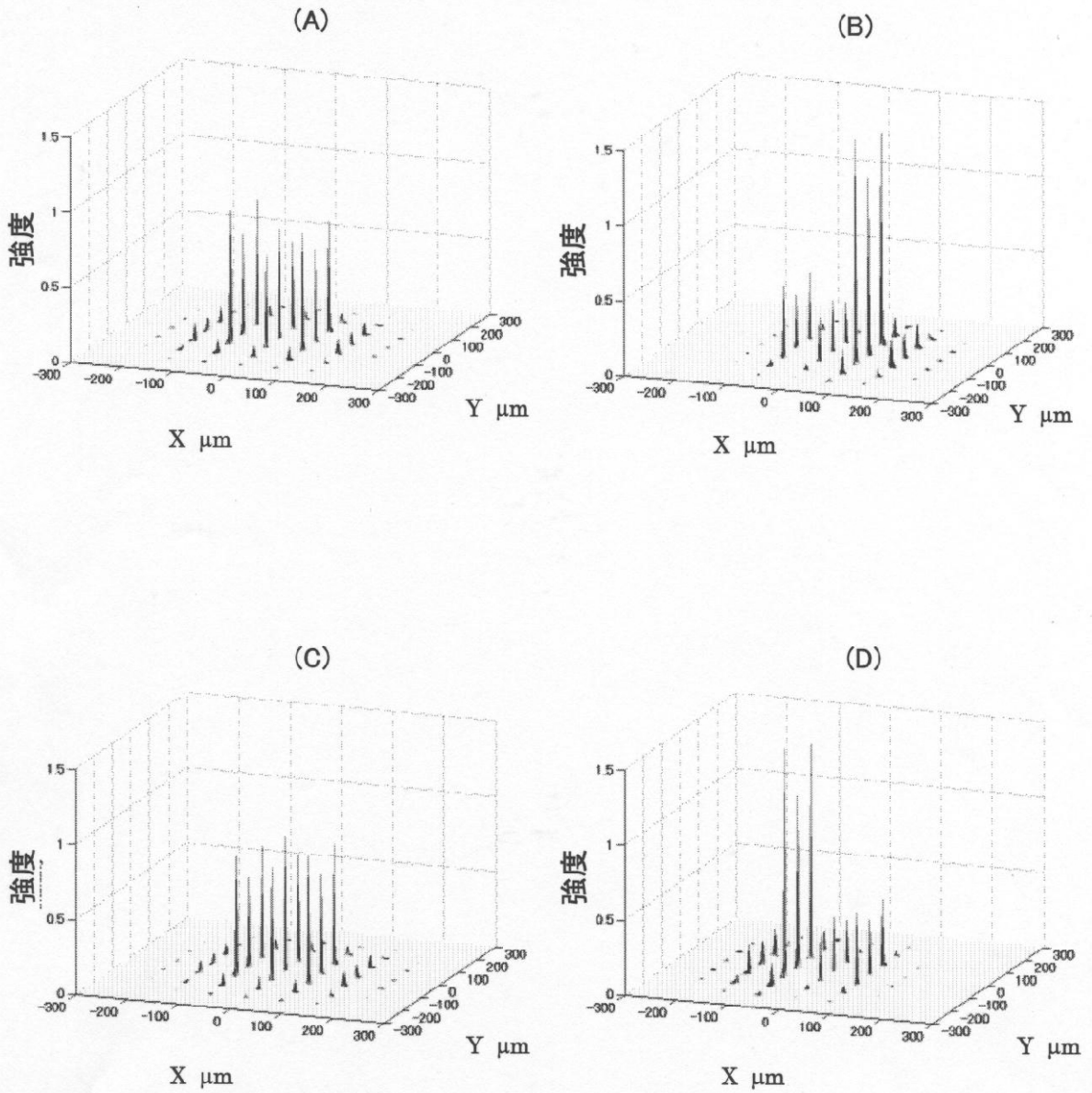
【 図 6 8 】

4分割PD上のスポット解析結果



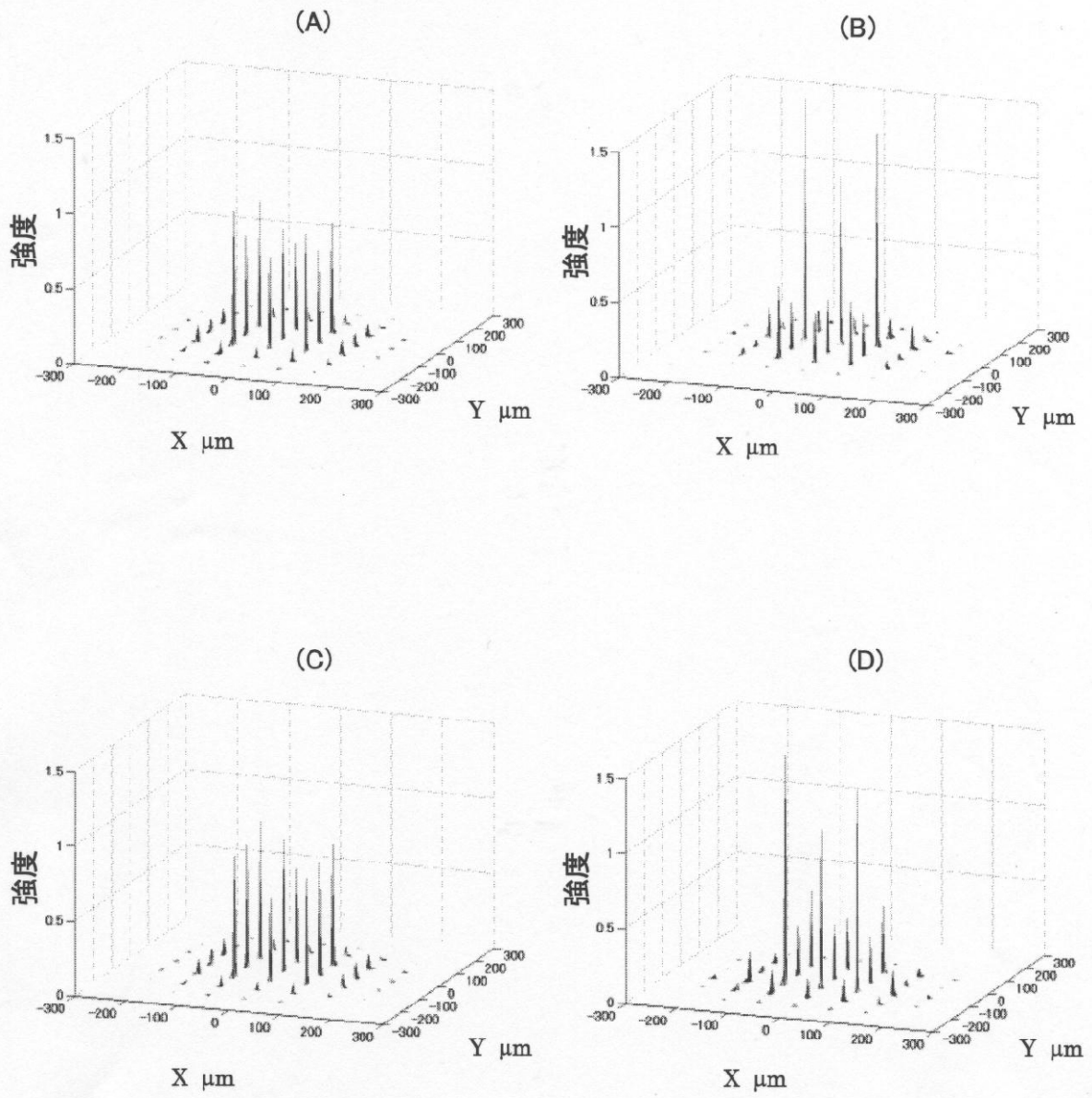
【 図 6 9 】

実施例4の角度格子がX方向に変位したときのスポット変化



【 図 7 0 】

実施例4の角度格子がY方向に変位したときのスポット変化



フロントページの続き

(72)発明者 渡邊 陽司

宮城県仙台市青葉区片平2丁目1番1号 東北大学大学院工学研究科内

(72)発明者 富田 良幸

東京都西東京市谷戸町二丁目1番1号 住友重機械工業株式会社田無製造所内

(72)発明者 牧野 健一

神奈川県横須賀市夏島町19番地 住友重機械工業株式会社横須賀製造所内

(72)発明者 平田 徹

神奈川県横須賀市夏島町19番地 住友重機械工業株式会社横須賀製造所内

Fターム(参考) 2F065 AA03 AA09 AA20 AA35 AA39 CC00 FF16 FF44 FF48 FF51

FF61 FF67 GG04 HH03 HH13 HH15 JJ01 JJ18 JJ22 JJ23

LL30 LL41 NN20 PP02 QQ16 QQ17 QQ25 QQ26 QQ27