

(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2014-98619

(P2014-98619A)

(43) 公開日 平成26年5月29日(2014.5.29)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)
GO 1 D 5/347 (2006.01) GO 1 D 5/347 1 1 0 C 2 F 1 0 3
 GO 1 D 5/347 1 1 0 U

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2012-250367 (P2012-250367)
 (22) 出願日 平成24年11月14日 (2012.11.14)

(71) 出願人 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100082337
 弁理士 近島 一夫
 (74) 代理人 100141508
 弁理士 大田 隆史
 (72) 発明者 平林 龍太郎
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内
 Fターム(参考) 2F103 BA37 BA41 CA03 CA08 DA12
 EA05 EB02 EB12 EB13 EB14
 EB32 EC12 EC13 EC14 EC15

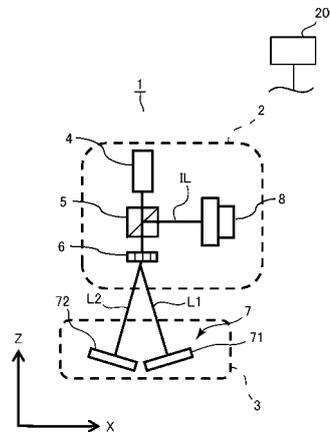
(54) 【発明の名称】 リニアエンコーダ及びワークの加工方法

(57) 【要約】

【課題】高分解能なリニアエンコーダ及びワークの加工方法を提供する。

【解決手段】リニアエンコーダ1は、反射面7を有する目盛部3を有すると共に、この目盛部3に対向して配置される光学ユニット2を備えている。この光学ユニット2は、光源4と、光路分岐素子6と、受光素子8とを備えており、光源4から出射された光は、光路分岐素子6にて少なくとも第1分割光L1と第2分割光L2に分割される。これら第1及び第2分割光L1、L2は、それぞれ目盛部3の反射面7に反射されて元の光路を戻り、重なり合うことによって干渉光ILを形成する。この干渉光ILの干渉強度は、光学ユニット2と目盛部3とが反射面7の形状の変化方向に相対変位すると変化するため、リニアエンコーダ1は、受光素子8によりこの干渉強度変化を計測する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

反射面を有する目盛部と、
前記目盛部に対向して配置されると共に、前記目盛部との相対位置を変更可能に構成された光学ユニットとを備え、

前記光学ユニットは、

光源と、

前記光源から出射された光を少なくとも第 1 分割光と第 2 分割光とに分割する光路分岐素子と、

前記目盛部の反射面により反射された前記第 1 及び第 2 分割光が合わさって形成された干渉光の光路上に配設され、前記光学ユニットと前記目盛部との前記反射面の形状の変化方向への相対移動により生じる前記干渉光の干渉強度変化を検出可能な受光素子と、を備えた、

10

ことを特徴とするリニアエンコーダ。

【請求項 2】

前記目盛部は、傾斜平面を用いて周期的に形状が変化するように前記反射面を形成した

、
請求項 1 記載のリニアエンコーダ。

【請求項 3】

前記傾斜平面の傾きのばらつきは、 50 arcsec 以下である、

20

請求項 2 記載のリニアエンコーダ。

【請求項 4】

前記光路分岐素子と前記目盛部との間の光路上に配設され、前記光路分岐素子によって分割された光を前記目盛部の反射面に向かって垂直に反射する角度調整面を有する反射部材を備えた、

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項記載のリニアエンコーダ。

【請求項 5】

前記光路分岐素子は、前記光源から出射された光を、前記第 1 及び第 2 分割光の他に、これら第 1 及び第 2 分割光が分割された第 1 方向と交差する第 2 方向に分割された第 3 及び第 4 分割光にも分割し、

30

前記目盛部の反射面は、前記第 1 分割光が垂直に入射する第 1 傾斜平面と前記第 2 分割光が垂直に入射する第 2 傾斜平面とを有して構成された第 1 方向反射面と、前記第 3 分割光が垂直に入射する第 3 傾斜平面と前記第 4 分割光が垂直に入射する第 4 傾斜平面を有する第 2 方向反射面と、を備え、

前記光学ユニットと前記目盛部との前記第 2 方向への相対移動によって生じる、前記第 2 方向反射面に反射された第 3 及び第 4 分割光が合わさって形成された干渉光の干渉強度変化を検出可能に構成された、

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項記載のリニアエンコーダ。

【請求項 6】

前記光路分岐素子は、直交方向に複数の格子を有する 2 次元回折格子である、

40

請求項 5 記載のリニアエンコーダ。

【請求項 7】

前記光源と前記光路分岐素子との間に配設され、前記光源からの光を光軸方向に透過する第 1 光束と、前記第 1 光束と直交する方向に反射される第 2 光束とに分割する第 1 光学素子と、

前記第 2 光束の光路上に配設され、この第 2 光束を反射する第 2 光学素子と、

前記第 2 光学素子によって反射された前記第 2 光束の光路上に配設された透過光学系受光素子と、を備え、

前記光路分岐素子は、前記第 1 光束を、前記第 1 及び第 2 分割光の他に、この光路分岐素子を透過する透過分割光に分割し、

50

前記目盛部は、前記透過分割光を反射する一様な基準平面を有し、

前記透過光学系受光素子は、前記光学ユニットと前記目盛部との前記光軸方向への相対移動によって生じる、前記基準平面に反射された前記透過分割光と前記第2光学素子に反射された前記第2光束とが合わさって形成された干渉光の干渉強度変化を検出可能である

請求項1乃至6のいずれか1項記載のリニアエンコーダ。

【請求項8】

請求項1乃至7のいずれか1項記載のリニアエンコーダと、
工具を保持する工具保持部と、

前記工具によって加工されるワークを保持するワーク保持部と、を備え、

前記工具保持部及びワーク保持部は、前記ワークと工具との位置関係を少なくとも1軸方向に相対移動可能に構成され、

前記リニアエンコーダの前記光学ユニットは、前記工具保持部及びワーク保持部のいずれか一方に配設され、

前記リニアエンコーダの目盛部は、前記工具保持部及びワーク保持部のいずれか他方に配設された、

ことを特徴とする加工装置。

【請求項9】

工具を保持する工具保持部とワークを保持するワーク保持部との位置関係を、少なくとも1軸方向に相対移動させて前記工具により前記ワークを加工するワークの加工方法において、

前記工具を保持する工具保持部及び前記ワークを保持するワーク保持部の一方側に設けられた光学ユニットから他方側に向かって複数の回折光を出射し、前記工具保持部及びワーク保持部の他方側に設けられた目盛部によって一方側に反射された前記回折光が合わさって生じる干渉光の干渉強度変化に基づいて、前記工具及びワークの相対位置変化を計測する計測工程と、

前記計測工程における計測結果に基づいて、前記工具保持部及びワーク保持部の相対位置を補正する補正工程と、を備えた、

ことを特徴とするワークの加工方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、物体間の相対変位を計測するリニアエンコーダ及びワークの加工方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、多軸加工装置等のステージ装置では移動体の位置計測を行うセンサが複数用いられている。センサの代表的なものとして、周期微細形状を持つスケールとセンサヘッドの相対変位を計測する光学式リニアエンコーダが知られている。しかし、スケールとセンサヘッドの位置関係が計測軸方向以外に変化すると計測誤差を生じることや、高分解能化のためにスケールを微細化するとこの計測誤差の影響を受けやすくなる等の問題があった。

【0003】

そこで、上記高分解能化が困難であるという問題に対して傾きが周期的に変化する目盛部の傾きを計測し、この傾きの変化によって移動体の位置を計測するリニアエンコーダが案出されている（特許文献1参照）。このリニアエンコーダは、目盛部を正弦波形状となるように波状に形成し、オートコリメーション法を用いてこの傾きの変化を計測している。そして、計測した傾きの周期変化に基づいて物体の位置情報を算出している。この方法によると、センサヘッドと目盛部の位置関係が、計測軸以外の他軸成分を生じた場合における計測精度への影響を低減することができる。

【先行技術文献】

10

20

30

40

50

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特許第2960013号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、近年の技術進歩によって、上記特許文献1記載のようなりニアエンコーダは、更なる高分解能化が求められている。特許文献1記載のりニアエンコーダは、目盛となる周期形状の間隔を小さくすると分解能を高めることができるが、目盛間隔を小さくしていくと、光源から目盛に照射されるレーザ光が回折するようになり、反射光が傾き変化を生じなくなるという問題がある。

10

【0006】

このため、上記特許文献1記載のような、オートコリメーション法によって、目盛を読み取るりニアエンコーダでは、分解能を向上させようとする目盛り間隔を細かくすると計測が困難になるという問題があった。また、オートコリメーション法を用いたりニアエンコーダは、レーザ光路上の屈折率分布やセンサヘッド内のコリメーションレンズと受光素子の位置誤差の影響で計測誤差を生じるといった問題もある。

【0007】

そこで本発明は、高分解能なりニアエンコーダ及びワークの加工方法を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明に係るりニアエンコーダは、反射面を有する目盛部と、前記目盛部に対向して配置されると共に、前記目盛部との相対位置を変更可能に構成された光学ユニットとを備え、前記光学ユニットは、光源と、前記光源から出射された光を少なくとも第1分割光と第2分割光とに分割する光路分岐素子と、前記目盛部の反射面により反射された前記第1及び第2分割光が合わさって形成された干渉光の光路上に配設され、前記光学ユニットと前記目盛部との前記反射面の形状の変化方向への相対移動により生じる前記干渉光の干渉強度変化を検出可能な受光素子と、を備えた、ことを特徴とする。

【0009】

30

また、本発明に係るワークの加工方法は、工具を保持する工具保持部とワークを保持するワーク保持部との位置関係を、少なくとも1軸方向に相対移動させて前記工具により前記ワークを加工するワークの加工方法において、前記工具を保持する工具保持部及び前記ワークを保持するワーク保持部の一方側に設けられた光学ユニットから他方側に向かって複数の回折光を出射し、前記工具保持部及びワーク保持部の他方側に設けられた目盛部によって一方側に反射された前記回折光が合わさって生じる干渉光の干渉強度変化に基づいて、前記工具及びワークの相対位置変化を計測する計測工程と、前記計測工程における計測結果に基づいて、前記工具保持部及びワーク保持部の相対位置を補正する補正工程と、を備えた、ことを特徴とする。

【発明の効果】

40

【0010】

本発明に係るりニアエンコーダによると、光路分岐素子によって光源からの光を第1分割光と、第2分割光とに分割し、目盛部の反射面に反射された第1及び第2分割光によって形成された干渉光の干渉強度の変化を検出可能に構成されている。このため、反射面の傾き角を変更することによってりニアエンコーダの分解能を向上することができる。また、第1及び第2分割光が同一空間を通過し干渉するため、環境の影響を打消し合い計測精度を向上させることができる。更に、第1及び第2分割光が合わさって形成された干渉光は、計測軸方向に走査した場合においてのみ光路差に変化を生じるので、他成分の影響を低減し、計測精度を向上することができる。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 1 1 】

【 図 1 】 本発明の第 1 の実施の形態に係るリニアエンコーダを示す模式図。

【 図 2 】 図 1 のリニアエンコーダが一次元方向に位置を計測する際の原理を説明する模式図。

【 図 3 】 図 1 のリニアエンコーダにおいて光学ユニットと目盛部とが光軸方向に位置変化を生じた場合を示す模式図。

【 図 4 】 本発明の第 2 の実施の形態に係るリニアエンコーダを示す模式図。

【 図 5 】 本発明の第 3 の実施の形態に係るリニアエンコーダを示す模式図。

【 図 6 】 本発明の第 4 の実施の形態に係るリニアエンコーダを示す模式図。

【 図 7 】 図 6 のリニアエンコーダの Y 軸計測光学系を示す模式図。

10

【 図 8 】 図 6 のリニアエンコーダが X 軸方向の変位を計測した際の結果を示すグラフ。

【 図 9 】 図 6 のリニアエンコーダが Y 軸方向の変位を計測した際の結果を示すグラフ。

【 図 1 0 】 図 6 のリニアエンコーダが Z 軸方向の変位を計測した際の結果を示すグラフ。

【 図 1 1 】 図 6 のリニアエンコーダが搭載された多軸加工装置を示す模式図。

【 図 1 2 】 図 1 1 の多軸加工装置の側部断面図。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 2 】

以下、図面に沿って、本発明の実施の形態に係るリニアエンコーダについて説明をする。

【 0 0 1 3 】

20

< 第 1 の実施の形態 >

< リニアエンコーダの構成 >

図 1 に示すように、リニアエンコーダ 1 は、目盛部 3 と、目盛部 3 に対向して配置されると共に、目盛部 3 との相対位置を変更可能に構成されたセンサヘッド（光学ユニット）2 と、を備えて構成されている。このセンサヘッド 2 は、レーザ光を出射すると共に、上記目盛部 3 によって反射されたレーザ光の光強度を検出可能に構成されており、光源 4、ビームスプリッタ 5、光路分岐素子 6 及び受光素子 8 を有している。

【 0 0 1 4 】

上記光源 4、ビームスプリッタ 5、光路分岐素子 6 は、光源 4 から出射されたレーザ光がこの順番で通過するように光路上に配設されており、ビームスプリッタ 5 を透過したレーザ光は、光路分岐素子 6 によって複数のレーザ光に分割されるようになっている。具体的には、本実施の形態においては、光路分岐素子 6 は、回折格子によって構成されており、光源から出射された光を第 1 分割光 L 1 と、第 2 分割光 L 2 とに分割している。なお、光路分岐素子 6 として回折格子を用いた場合、その格子ピッチにより回折角を変化させることができる。また、光路分岐素子 6 は、ビームスプリッタあるいは結晶光学素子を用いて構成しても良い。

30

【 0 0 1 5 】

目盛部 3 は、少なくとも 1 方向に形状が変化する反射面 7 を有しており、この反射面 7 は、垂直に入射される第 1 及び第 2 分割光 L 1、L 2 を反射するように構成されている。具体的には、反射面 7 は、第 1 分割光 L 1 を反射する第 1 傾斜平面 7 1 と、第 2 分割光 L 2 を反射する第 2 傾斜平面 7 2 とを備えて構成されている。

40

【 0 0 1 6 】

上記第 1 及び第 2 傾斜平面 7 1、7 2 は、光路分岐素子 6 による分割された際に第 1 及び第 2 分割光 L 1、L 2 が有する傾き角度に応じて、これら第 1 及び第 2 分割光 L 1、L 2 が垂直に入射するように勾配が設定されている。即ち、第 1 傾斜平面 7 1 は、第 1 分割光 L 1 が垂直に入射するように傾斜した傾斜平面であり、第 2 傾斜平面 7 2 は、第 2 分割光 L 2 が垂直に入射するように傾斜した傾斜平面である。このため、これら第 1 及び第 2 傾斜平面（目盛部の反射面）に反射された第 1 及び第 2 分割光（反射光）は、同じ光路を戻って光路分岐素子 6 にて重なりあって干渉光 I L を生じる。

【 0 0 1 7 】

50

この干渉光 I L は、ビームスプリッタ 5 によって反射されると共に、干渉光 I L の光路上に配設された上記受光素子 8 に入射する。受光素子 8 は、干渉光 I L の干渉強度（光強度）を計測する素子であり、例えば、フォトダイオード、PSD（Position Sensitive Detector）、CCD（Charge Coupled Device）などがある。また、受光素子 8 として CMOS（Complementary Metal Oxide Semiconductor）などを使用しても良く、これらの素子はいずれも光電変換により光強度を電流に変換する。なお、本実施の形態においては、この受光素子 8 からの電流を電流 - 電圧変換回路、増幅器を介して電圧として計測している。

【0018】

10

ついで、上記センサヘッド 2 と目盛部 3 とが反射面の形状の変化方向（図中 X 軸方向）に相対移動した場合について説明をする。図 2 に示すように、センサヘッド 2 が X 軸方向に所定の相対変位量 x だけ走査されると、反射面 7 の傾き角が θ であるため、第 1 及び第 2 分割光 L 1, L 2 はそれぞれ $\pm 2 x \sin(\theta)$ だけ光路長変化を生じる。この時、走査方向の光束（第 1 分割光）L 1 は光路長が短くなり、逆向きの光束（第 2 分割光）L 2 は光路長が長くなる。従って、干渉光 I L の干渉強度変化（光強度変化）は数 1 に示す様な変化を生じる。

【0019】

【数 1】

20

$$I' = I_0 + A \cos\left(\phi_0 - 2\pi \frac{4\delta \sin(\theta)}{\lambda}\right)$$

I' : 相対移動後の干渉強度、 I_0 : オフセット項、 ϕ_0 : 初期位相、 λ : 光の波長

【0020】

数 1 に示すように、センサヘッド 2 と目盛部 3 とが X 軸方向に相対変位を生じると干渉強度は、正弦波状の変化を生じる。この干渉強度変化を受光素子 8 で計測し、受光素子 8 と接続した制御部 200 がこの位相情報を電気分割演算すると、センサヘッド 2 と目盛部 3 との間の変位量を求めることができる。なお、上記受光素子 8 の検出信号に基づいて位置計測を行う制御部 200 は、センサヘッド 2 に内蔵されても良いし、センサが搭載される装置側に設けられても良い。

30

【0021】

数 1 に示すように、リニアエンコーダ 1 は、反射面 7 の傾き角と格子ピッチを変更すると、 $\sin(\theta)$ の値が増減し、これにより分解能が変化する。このため、リニアエンコーダ 1 は、反射面 7 の傾き角を大きくし、格子ピッチを微細化することにより、 $\sin(\theta)$ の値を大きくし、高分解化することができる。

【0022】

また、図 3 に示すように、センサヘッド 2 と目盛部 3 とが Z 軸方向に相対変位を生じた場合、Z 軸方向の相対変位量を z とすると、2 光束（第 1 及び第 2 分割光）は両方とも $2 z \cos(\theta)$ の光路長変化を生じる。このため、第 1 及び第 2 分割光 L 1, L 2 の光路長変化が等しく、Z 方向への相対移動によって第 1 及び第 2 分割光 L 1, L 2 の光路差に変化は生じず、干渉強度は一定となる。

40

【0023】

更に、センサヘッド 2 と目盛部 3 とが Y 軸方向に相対変位を生じた場合についても、反射面 7 は Y 軸方向には形状変化を生じないため 2 光束の光路長に変化が生じない。そのため、Y 軸方向についても Z 軸方向の場合と同様に干渉光 I L の干渉強度は一定となる。つまり、干渉光 I L は計測軸である X 軸方向以外の他成分の影響を受けずに、X 方向にセンサヘッド 2 と目盛部 3 とが相対変位を生じた場合のみ干渉強度変化が生じる。そのため、リニアエンコーダ 1 は、この干渉強度変化を計測することにより、センサヘッド 2 と目盛

50

部 3 間の X 軸方向の相対変位量を、他の軸方向への移動の影響を受けることなく計測することができる。

【 0 0 2 4 】

このようにリニアエンコーダ 1 は、干渉光 I L の干渉強度変化を計測することによって、センサヘッド 2 と目盛部 3 間の相対変位量を計測できると共に、反射面 7 の傾き角を変更することによってリニアエンコーダ 1 の分解能を向上することができる。実際に上述した数 1 に示す通り、リニアエンコーダ 1 は、従来の高分解能エンコーダと同等以上の干渉周期を有し、同等以上の分解能性能を備えている。

【 0 0 2 5 】

また、リニアエンコーダ 1 は、干渉する 2 光束が同一空間を通過するため、気圧や温度変化等の外乱誤差の影響を打消し合い高精度に計測でき、計測精度を向上させることができる。更に、第 1 及び第 2 分割光が合わさって形成された干渉光 I L は、計測軸方向に走査した場合においてのみ光路差に変化を生じるので、他成分の影響を低減し、計測精度を向上することができる。

10

【 0 0 2 6 】

また、リニアエンコーダ 1 は、光路分岐素子 6 に平面の回折格子を用いたことにより、分割光の分岐角を大きくすることができる。このため、反射面 7 の傾き角を 90 度に近づけることができ、高分解能化できる。

【 0 0 2 7 】

< 第 2 の実施の形態 >

20

ついで、本発明の第 2 の実施の形態に係るリニアエンコーダについて説明をする。なお、第 2 の実施の形態に係るリニアエンコーダは、目盛部の反射面の傾き角の設定可能な範囲を広くするために、反射部材を設けた点及び目盛部の形状において、第 1 の実施の形態と異なっている。そのため、第 1 の実施の形態と共通の部分については、その説明を省略する。

【 0 0 2 8 】

図 4 に示すように、リニアエンコーダ 1 のセンサヘッド 2 は、光路分岐素子 6 と目盛部 3 1 との間の光路上に配設された反射部材 9 を備えている。この反射部材 9 は、光路分岐素子 6 によって分割された光（本実施の形態においては第 1 及び第 2 分割光 L 1 , L 2 ）を、目盛部 3 1 の反射面に向かって垂直に反射する角度調整面 9 1 を分割光ごとに有している。

30

【 0 0 2 9 】

即ち、光路分岐素子 6 によって分割された分割光は反射面 7 に対して垂直に入射する必要があるため、第 1 の実施の形態においてはリニアエンコーダ 1 の分解能を決定する反射面 7 の傾きが、光路分岐素子 6 によって分割された光の持つ傾きにより決定されている。一方で、本実施の形態においては、上記反射部材の角度調整面 9 1 の反射角度を調整することによって、第 1 及び第 2 分割光 L 1 , L 2 の反射面 7 に対する入射角度を任意の角度に調整することができるよう構成されている。従って、目盛部 3 1 の反射面の角度についても任意の角度に設定することができ、反射面 7 の傾斜平面 7 1 , 7 2 の角度を 90 度に近づけることでリニアエンコーダ 1 を高分解能化することができる。また、容易に分割光を反射面 7 に対して垂直に入射させることができる。

40

【 0 0 3 0 】

また、本実施の形態において目盛部 3 1 は、反射面 7 の形状が周期的に変化するように構成されている。具体的には、反射面 7 は、数 2 に示すように、第 1 傾斜平面 7 1 と第 2 傾斜平面 7 2 とが交互に組み合わさって三角波状に傾斜角が周期的に変化する形状となっている。

【 0 0 3 1 】

【数 2】

$$f(x) = \begin{cases} A_1 \frac{x}{\lambda_x/2} & (0 \leq x \leq \lambda_x/2) \\ A_1 \left(1 - \frac{x}{\lambda_x/2}\right) & (\lambda_x/2 \leq x \leq \lambda_x) \end{cases}$$

10

A_1 : 三角波形状の振幅、 λ_x : 波長

【0032】

即ち、リニアエンコーダ 1 は、目盛部 3 1 の反射面 7 が高精度に連続した形状となるので、高精度かつ長ストローク計測ができる。つまり、リニアエンコーダは、微細形状を周期形状に用いる従来のスケールと異なり、目盛部 3 1 の反射面 7 の傾き角を大きくし、数 mm から数 10 mm の形状を周期的に配置することで、大面積計測を容易にできる。また、本実施の形態において、傾斜面の各傾斜平面（第 1 及び第 2 傾斜平面）の傾き角のばらつきは 50 arc sec 以下で構成されている。そのため、反射面 7 の形状を周期的に配置する際に、各傾斜平面の傾き角にバラつきによって干渉光 I L がヌル（干渉光が縞一色になる部分、即ち、反射光が傾斜平面に垂直に入射して正確に計測が可能な部分）から計測精度が低下することを防止することができる。

20

【0033】

なお、実際には分割光が山の頂点を通過する際に干渉光 I L にむらができ、正弦波出力の振幅が小さくなる。従って、センサヘッド 2 を複数用いて振幅 A_1 と光の波長 λ_x の関係を $n \lambda_x = A_1 / \sin(\theta)$ (n は任意整数) とするなどの受光素子 8 の出力補正処理することが望ましい。

【0034】

また、目盛部 3 1 の反射面 7 の形状は、傾斜平面に分割光が垂直に入射できれば良いため、三角波形状ではなく、例えば、傾斜平面と垂直面とが組み合わさった鋸波形状等に傾斜平面を組み合わせた形状にしても良い。

30

【0035】

< 第 3 の実施の形態 >

ついで、第 3 の実施の形態に係るリニアエンコーダについて説明をする。このリニアエンコーダは、X 軸方向に加えて、Z 軸方向にも位置計測可能なリニアエンコーダであり、Z 軸方向の計測装置を有している点において第 2 の実施の形態と相違している。従って、第 2 の実施の形態と共通する部分についてはその説明を省略し、相違する部分についてのみ説明をする。

【0036】

図 5 に示すように、本実施の形態に係るリニアエンコーダ 1 は、Z 軸方向の位置を計測する光学系 1 9 として、マイケルソン干渉計を構成している。具体的には、リニアエンコーダ 1 は、センサヘッド 2 において、光源 4 と X 軸方向の位置を計測する光学系 1 8 を構成する光学素子（例えばビームスプリッタ 5）との間に、上記マイケルソン干渉計を構成する光学素子を配置している。即ち、リニアエンコーダ 1 は、光源 4 とビームスプリッタ 5 との間に、偏光ビームスプリッタ 1 4、受光素子 1 2、固定反射面 1 3 1 を有する光学素子 1 3、 $1/4$ 波長板 1 5、1 6 の構成を追加している。

40

【0037】

上記偏光ビームスプリッタ 1 4 は、光源 4 と光路分岐素子 6 との間に配設され、光源 4 からの光を光軸方向に透過する第 1 光束 L P と、第 1 光束 L P と直交する方向反射される第 2 光束 L S とに分割する第 1 光学素子である。このため、光源 4 から出射したレーザ光は、上記偏光ビームスプリッタ 1 4 によって偏光毎に S 偏光成分と P 偏光成分との 2 光束

50

LS, LPに分けられる。

【0038】

また、第2光学素子としての上記固定反射面131を有する光学素子13は、第2光束(S偏光成分の光束)LSの光路上に配設されている。このため、偏光ビームスプリッタ14により分割された第2光束LSは、固定反射面131に反射され偏光ビームスプリッタ14へと戻る。また、この時、1/4波長板16が偏光ビームスプリッタ14と固定反射面131との間に配置されているため、偏光ビームスプリッタに再入射したS偏光成分の光束はP偏光へと偏光され、偏光ビームスプリッタ14を通過する。

【0039】

一方、第1光束(P偏光成分の光束)LPは、ビームスプリッタ5を通過し、光路分岐素子6としての回折格子によって、少なくとも0次光と±1次光の3光束L0~L2に分割される。±1次光は、第2の実施の形態の第1及び第2分割光L1, L2であり、目盛部32の傾斜平面71, 72に反射されて目盛部32とセンサヘッド2とのX軸方向変位を計測するためのX軸干渉光ILXを形成する。

【0040】

また、本実施の形態においては、目盛部32の反射面7は、上記±1次光を反射する周期的に形状が変化する部分の他に、形状の変化を生じない様な基準平面80を有している。0次光L0は、光路分岐素子6を透過する透過分割光であり、上記目盛部32の基準平面80に垂直に入射して反射されることにより、偏光ビームスプリッタ14へと戻る。

【0041】

偏光ビームスプリッタ14と光路分岐素子6との間には1/4波長板15が配設されている。このため、反射された0次光L0は、偏光ビームスプリッタ14に入射する際にはS偏光へと偏光されており、偏光ビームスプリッタ14によって受光素子12へと反射される。そして、この偏光ビームスプリッタ14において0次光L0と固定反射面131に反射されたS偏光成分の光束LSとが重ね合わされてZ軸干渉光ILZが形成される。

【0042】

上記受光素子12は、上記固定反射面131(第2光学素子)に反射されたS偏光成分の光束(第2光束)LSの光路上に配設されており、これにより、上記Z軸干渉光ILZの干渉強度を検出する透過光学系受光素子となっている。即ち、このZ軸方向の位置を計測する光学系19は、上述したように、固定反射面131が固定面、基準平面80が移動面となるマイケルソン干渉計となっている。そして、Z軸変位(光軸方向への変位)により干渉強度が変化するZ軸干渉光ILZの干渉強度を受光素子12によって検出することによって、Z軸方向の相対変位を検出することができる。

【0043】

上述したように、本実施の形態に係るリニアエンコーダ1は、X軸干渉光ILXとZ軸干渉光ILZが共に計測軸以外の他成分の影響は受けずに独立した干渉光強度変化を生じる。ただし、実機においてX軸干渉光ILXとZ軸干渉光ILZの光軸が受光素子8及び受光素子12上で重なってしまうと、受光素子は混在した出力を測定してしまう。そのため各受光素子上でスポット位置をずらしてアライメントし、測定方向以外の干渉光を遮断するようになっている。この場合、リニアリティにcos誤差が生じ、数%以下の精度で理論値とずれるので、高精度計測に用いる場合はリニアリティ校正をして使用することが望ましい。

【0044】

<第4の実施の形態>

ついで、第4の実施の形態に係るリニアエンコーダについて説明をする。この第4の実施の形態に係るリニアエンコーダは、XYZの直交3軸方向の位置計測が可能であり、第3の実施の形態に対してY軸方向についても位置計測可能である点において相違している。従って、以下の説明において第3の実施の形態と共通する部分については、その説明を省略し、異なる部分についてのみ説明をする。

【0045】

10

20

30

40

50

本実施の形態に係るリニアエンコーダ 1 は、図 6 に示すように、X 軸及び Z 軸以外にも Y 軸方向に位置計測可能に構成されており、X 軸計測光学系 18 を Z 軸回りに 90° 回転させた Y 軸計測光学系 20 を備えて構成されている。具体的には、Y 軸計測光学系のみを抜き出して示した図 7 に示すように、Y 軸計測光学系 20 は、センサヘッド 2 に光源 4、ビームスプリッタ 23、光路分岐素子 61、Y 軸計測光学系受光素子 21 及び反射部材 9 を備えている。本実施の形態において、上記光路分岐素子 61 は、センサヘッド 2 のコンパクト化のため、直交方向に複数の格子を有する 2 次元回折格子によって構成されている。このため、上記光路分岐素子 61 は、光源 4 からの光を X 軸方向の計測用の第 1 及び第 2 分割光 L1, L2 の他に、Z 軸方向計測用の透過分割光 L0、Y 軸方向計測用の第 3 及び第 4 分割光 L3, L4 に分割している。

10

【0046】

上記第 3 及び第 4 分割光 L3, L4 は、第 1 及び第 2 分割光が分割された第 1 方向 (X 軸方向) と交差する第 2 方向 (Y 軸方向) に分割されており、目盛部 33 もこれら第 3 及び第 4 に合せて反射面 7 を形成している。

【0047】

詳しくは、図 6 及び図 7 に示すように、目盛部 33 は、第 1 及び第 2 分割光 L1, L2 を反射する第 1 方向反射面 7X と、第 3 及び第 4 分割光 L3, L4 を反射する第 2 方向反射面 7Y と、透過分割光 L0 を反射する基準平面とを備えている。上記第 1 方向反射面 7X は、上述した第 1 傾斜平面 71 と第 2 傾斜平面とを有して構成されている。また、第 2 方向反射面 7Y も同様に、第 3 分割光 L3 が垂直に入射する第 3 傾斜平面 73 と第 4 分割光 L4 が垂直に入射する第 4 傾斜平面 74 を有して構成されている。

20

【0048】

即ち、上記第 1 方向反射面 7X は、第 1 及び第 2 傾斜平面 71, 72 を組み合わせて第 1 方向に、第 2 方向反射面は、第 3 及び第 4 傾斜平面 73, 74 を組み合わせて第 2 方向に形状が周期的に変化するように構成されている。なお、反射面 7 の面積は各軸の計測レンジだけでなく、Z ストロークによって定まるので、リニアエンコーダ 1 は、装置上最も短いストロークを計測上の Z 軸にすることが望ましい。

【0049】

このように目盛部 33 が構成されたため、第 2 方向反射面 7Y に反射された第 3 及び第 4 分割光 L3, L4 は、光路分岐素子 61 に重ね合わさって干渉光 ILY となり、この干渉光 ILY の干渉強度変化を受光素子 21 により検出することができる。即ち、リニアエンコーダ 1 は、X 軸及び Z 軸方向に加えて、光学ユニット 2 と目盛部 33 との Y 軸方向 (第 2 方向) への相対移動によって生じる干渉光 ILY の干渉強度変化を検出して、Y 軸方向の光学ユニット 2 と目盛部 33 との相対変位も計測できる。

30

【0050】

実際にステージを XY 軸方向に同時に走査した際の計測結果を図 8 (X 軸) 及び図 9 (Y 軸) に示す。図 8 及び図 9 では各軸の変位計測結果と参照用変位センサとの偏差を評価している。XY 各軸とも誤差は参照用変位計の仕様以内となり、他成分の影響をほぼ受けずに計測できていることが分かる。

【0051】

同様に Z 軸走査した際の X 軸用の受光素子 8 と Z 軸用の受光素子 12 の出力結果を図 10 に示す。図 10 では Z 軸がほぼ理論値の周期で干渉強度変化を生じている。さらに、ステージの X 軸方向他成分測定した参照用変位センサと、X 軸の計測結果がほぼ一致しており、他成分に関する計測誤差が十分に少ないことが分かる。Y 方向の出力も同様の結果が得られている。以上より、本実施形態では 1 つのセンサヘッドと目盛部 33 で XYZ の 3 軸を高精度に計測できることが分かった。

40

【0052】

< 第 5 の実施の形態 >

ついで、本発明の第 5 の実施の形態について説明をする。本実施の形態では、第 4 の実施の形態のリニアエンコーダを多軸加工装置に搭載しており、このリニアエンコーダの構

50

成については、その説明を省略する。なお、以下の説明において、X Y Z軸の方向は、リニアエンコーダの目盛部を基準として設定する。

【0053】

図11及び図12に示すように、多軸加工装置100は、工具111をX Y Z軸の3軸方向に移動可能に設けられていると共に、Y軸回りに回転できるように構成された4軸加工装置である。そしてこの多軸加工装置100は、工具111を保持する工具保持部110と、工具111によって加工するワークを保持するワーク保持部120と、から構成されている。

【0054】

上記ワーク保持部120は、ワークWがその先端に取り付けられる回転軸124と、この回転軸124及びワークフレーム121を支持する支持フレーム122, 123と、を備えている。支持フレーム122, 123は、ワークフレーム121の両端部を支持する一对の脚部122とこれら脚部の間をつなぐ壁部123とによって、平面視略コ字形状に形成されている。そして、これらワークフレーム121及び支持フレーム122, 123によって形成される凹部に、上記工具保持部110が嵌り込むように配設され、回転軸124の先端のワークWと、工具111と、が対向するようになっている。

10

【0055】

一方、工具111を保持する工具保持部110は、該工具111の位置をX Y Z_yの4軸方向に制御するように構成されている。具体的には、X Y Zの3軸方向に駆動する工具ステージ113, 114, 115と、_y軸周りに回転割り出しを行う回転ステージ112と、を有している。

20

【0056】

上記工具ステージ113, 114, 115は、Y軸方向に昇降するY軸ステージ115と、Y軸ステージ上でX軸方向に移動自在なX軸ステージ114と、X軸ステージ上でZ軸方向に移動自在なZ軸ステージ113から構成されている。また、回転ステージ112は、Z軸ステージ113上でY軸回りに回転自在に構成されており、工具111は、回転ステージ112上に設けられた工具ホルダ116に取付けられるようになっている。

【0057】

また、多軸加工装置100は、ワークWと工具111との相対位置関係を検出するために、リニアエンコーダ1を備えている。リニアエンコーダ1の目盛部33は地面に対して垂直な平面である壁部123に取付けられ、センサヘッド2は工具111に最も近い直動移動体であるZ軸ステージ113に取付けられており、工具111のX Y Z軸方向位置を検出している。また、多軸加工装置100は、リニアエンコーダ1の他に、工具111の回転角を検出する回転角度センサ(不図示)を有している。

30

【0058】

多軸加工装置100は高速回転するワークWを工具111で軸対称非球面切削加工を行う。加工時において、多軸加工装置100は、回転センサからの検出信号に基づいて工具111の回転位置を検知する。また、リニアエンコーダ1のセンサヘッド2によって、工具保持部側からワーク保持部側の目盛部33に向かって複数の回折光を出射し、ワーク保持部側から工具保持部側へと反射された回折光が合わさって生じる干渉光の干渉強度を計測している。そのため、多軸加工装置100は、工具保持部110とワーク保持部120との間の位置関係がX Y Z軸のいずれかの方向に相対移動すると、上記干渉光の干渉強度変化に基づいて、工具保持部110及びワーク保持部の相対位置変化を計測する(計測工程)。

40

【0059】

そして、上記リニアエンコーダ1及び回転角度センサを用いた計測工程における計測結果に基づいて、工具111とワークWとの相対位置関係をフィードバック制御する。即ち、工具保持部110の工具ステージ及びワーク保持部120のワークステージの相対位置を補正して、上記工具111とワークWとの相対位置関係を補正する(補正工程)。

【0060】

50

工具保持部 110 は、回転軸 124 が回転する際の振動が伝達されないように、ワーク保持部 120 とは非連結となっている。さらに工具保持部 110 とワーク保持部 120 はそれぞれ除振台などによって高周波振動が絶縁されている。多軸加工装置 100 は、高周波振動を絶縁することでリニアエンコーダ 1 を用いた制御帯域より高域の振動による位置誤差を低減している。また、逆に除振台で低減できない数 Hz 以下の低周波振動は、リニアエンコーダ 1 を用いたフィードバック制御により位置制御を行う。

【0061】

このように、本実施の形態では、上記リニアエンコーダ 1 を用いることにより、加工点の近傍で工具とワークの相対変位を計測することができ、位置決め誤差を低減させ、加工精度を向上できる。また、本実施の形態の多軸加工装置 100 は、計測点から工具及びワーク側の環境を制御すれば良い。このため、従来の装置全体の環境を制御することでフレーム全体の歪みによる加工点誤差を低減していた精密加工機とは異なり、外乱の影響が少なく、加工精度を向上させることができる。

10

【0062】

なお、本実施の形態においては、上記工具保持部 110 とワーク保持部 120 とは、ワークと工具との位置関係を 4 軸方向に相対移動可能に構成されているが、必ずしも 4 軸方向である必要はなく、少なくとも 1 軸方向に相対移動可能であれば良い。また、センサヘッド（光学ユニット）2 は、工具保持部 110 とワーク保持部 120 のいずれか一方に配設されていれば良く、目盛部 33 は、工具保持部 110 及びワーク保持部 120 のいずれか他方に配設されれば良い。即ち、工具保持部 110 及びワーク保持部 120 の一方側から他方側に向かって複数の回折光を出射し、これら工具保持部 110 及びワーク保持部 120 の他方側から一方側に反射された回折光が合わさって生じる干渉光の干渉強度変化を計測出来れば良い。

20

【0063】

また、リニアエンコーダ 1 は、多軸加工装置以外にも、2 つ以上の物体が相対移動するものであればどのような加工装置に対しても搭載することができる。更に、相対移動が生じるものであれば加工装置以外のどのようなものに対して取り付けられても良い。

【0064】

また、上記第 1 乃至 5 の実施の形態に係るリニアエンコーダは、センサヘッドに設けられた光路分岐素子によって複数の分割光を形成していたが、例えば、目盛部に一様な参照面及び周期的に形状の変化する反射面を形成しても良い。即ち、上記参照面によって反射された光と、反射面に反射された光によって干渉光を形成し、この干渉強度を計測することによって 2 物体の相対変位を計測しても良い。

30

【0065】

更に、上記第 1 乃至第 5 に記載の発明は、どのように組み合わせられても良く、X Y Z の軸方向は、リニアエンコーダの計測対象に応じて、どのように設定しても良い。

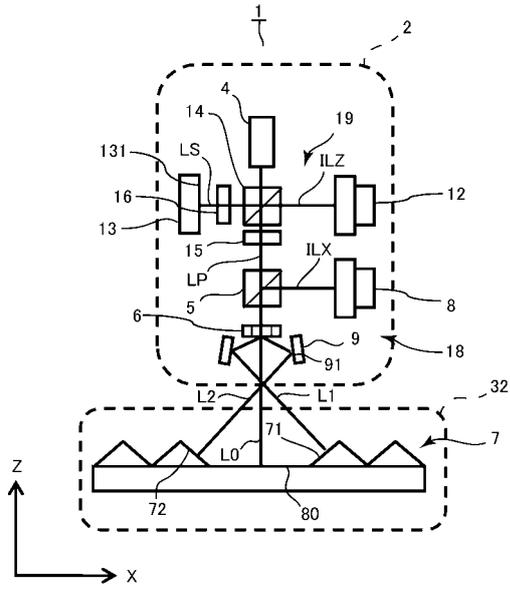
【符号の説明】

【0066】

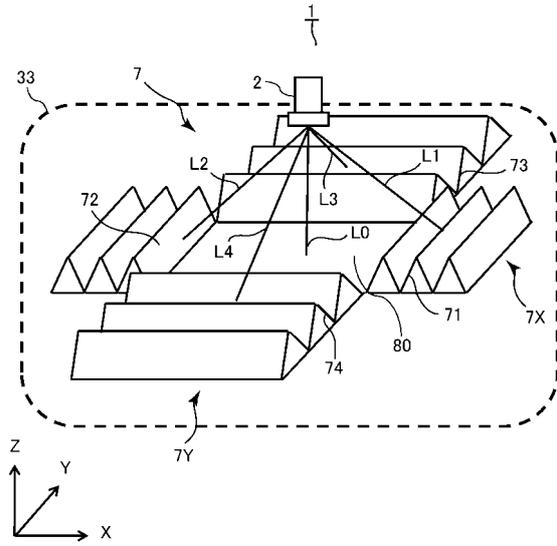
1 : リニアエンコーダ、2 : 光学ユニット、3, 31, 32, 33 : 目盛部、4 : 光源、6 : 光路分岐素子、7 : 反射面、L1 : 第 1 分割光、L2 : 第 2 分割光、IL : 干渉光、8 : 受光素子

40

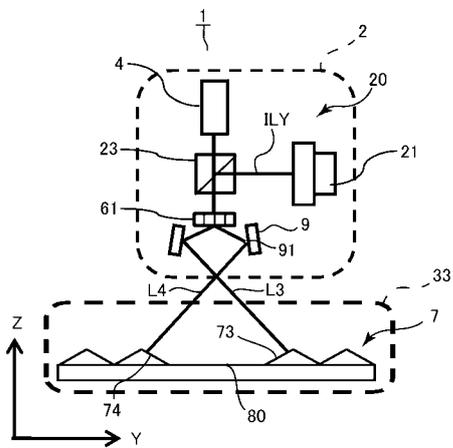
【 図 5 】



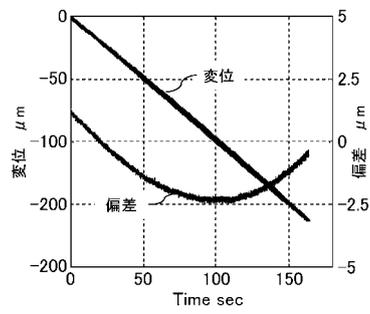
【 図 6 】



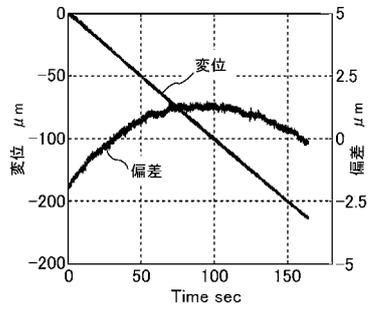
【 図 7 】



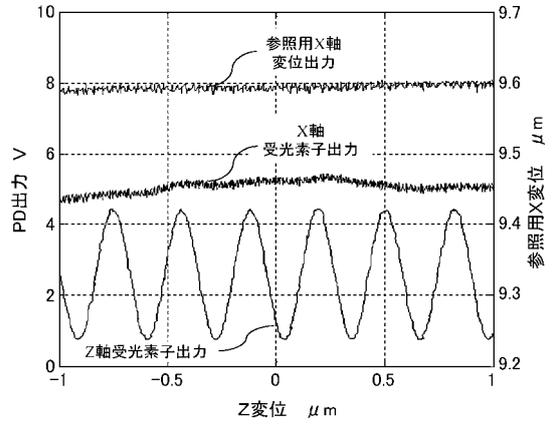
【 図 8 】



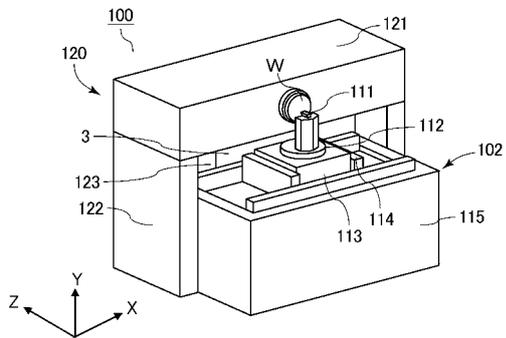
【 図 9 】



【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】

