

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4493984号
(P4493984)

(45) 発行日 平成22年6月30日 (2010. 6. 30)

(24) 登録日 平成22年4月16日 (2010. 4. 16)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 D 5/36 (2006. 01) GO 1 D 5/36 D
GO 1 D 5/38 (2006. 01) GO 1 D 5/38 A

請求項の数 24 (全 39 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2003-385883 (P2003-385883) (22) 出願日 平成15年11月14日 (2003. 11. 14) (65) 公開番号 特開2004-333470 (P2004-333470A) (43) 公開日 平成16年11月25日 (2004. 11. 25) 審査請求日 平成18年9月28日 (2006. 9. 28) (31) 優先権主張番号 10/434, 508 (32) 優先日 平成15年5月7日 (2003. 5. 7) (33) 優先権主張国 米国 (US)</p>	<p>(73) 特許権者 000137694 株式会社ミットヨ 神奈川県川崎市高津区坂戸一丁目20番1号 (74) 代理人 100092820 弁理士 伊丹 勝 (72) 発明者 ジョセフ デー トビアソン アメリカ合衆国 ワシントン州 ウッドイ ンビル 18914 エヌイー 186番 プレイス 審査官 岡田 卓弥</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ受信器チャネルを使用した2次元測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1および第2の測定軸方向に沿って延びた2次元スケール格子を有し、前記2次元スケール格子は、第1および第2のスケール格子方向に沿ってそれぞれの第1および第2の格子ピッチで周期的な2次元格子パターンを有する2次元スケールと、

この2次元スケールに対して相対移動可能に配置された読み取りヘッドとを備え、

前記2次元スケール格子に対する前記読み取りヘッドの位置測定値により2つの部材間の2次元位置を測定する2次元測定装置において、

前記読み取りヘッドは、それぞれが前記2次元スケール格子に自己像を与えると共に前記自己像を読み取る、少なくとも第1および第2の自己像読み取りヘッド部分を備え、それぞれの自己像読み取りヘッド部分は、前記第1および第2のスケール格子方向の一つに対応し、各自己像読み取りヘッド部分は、

前記2次元スケール格子上に照明スポットを形成するように前記2次元スケールに対して光を照射する光源と、

前記2次元スケール格子上の照明スポットからの光によって前記2次元スケールから所定ギャップ離れた位置に形成される自己像を先端部で受光すると共に、少なくともそれらの先端部が前記光源と共に前記2次元スケールに対して前記測定軸方向に相対移動可能に配置された複数の光ファイバ受信器チャネルとを備え、

前記光ファイバ受信器チャネルは、

光ファイバと、

この光ファイバの一端に形成されて前記自己像を前記光ファイバに導入する受信器チャンネル開口と、

この受信器チャンネル開口に形成された空間位相マスクとを有し、
前記空間位相マスクは、前記自己像に形成される明暗周期に対応する周期の格子を有し、

複数の光ファイバ受信器チャンネルの空間位相マスクの格子は互いに異なる空間位相関係を有する

ことを特徴とする光ファイバ受信器チャンネルを使用した２次元測定装置。

【請求項２】

各自己像読み取りヘッド部分の少なくとも各集光領域と受信チャンネル開口は、それぞれの円筒状体積内に完全に位置決めされていることを特徴とする請求項１に記載の２次元測定装置。

10

【請求項３】

それぞれの空間位相マスク平面は、読み取りヘッド全体に対し同じ名目空間位相マスク平面であり、

前記読み取りヘッドは、透明マスク基板を備え、

それぞれの自己像読み取りヘッド部分について、

それぞれの受信器チャンネル空間位相マスク部分は、前記透明マスク基板の表面上に組み立てられ、その遮光要素は対応するスケール格子方向に沿って位置決めされ、対応するスケール格子方向に沿った前記２次元スケール格子の前記自己像の名目自己像ピッチに関し、
且つその自己像読み取りヘッド部分の他の受信器チャンネル空間位相マスク部分の遮光要素に関して、それぞれの受信器チャンネル空間位相マスク部分のそれぞれのマスク部分の空間位相間に所望の関係が確立され、

20

それぞれの受信器チャンネル空間位相マスク部分は、前記自己像読み取りヘッド部分のそれぞれの円筒状体積内に完全に位置決めされている請求項２に記載の２次元測定装置。

【請求項４】

それぞれの受信器チャンネル光ファイバの前記受信器チャンネル開口は、前記透明マスク基板の表面上の対応するそれぞれの受信器チャンネル空間位相マスク部分に対して名目的に位置決めされている請求項３に記載の２次元測定装置。

【請求項５】

それぞれの自己像読み取りヘッド部分における受信器チャンネルの、前記測定軸に沿った前記集光領域の寸法は、それぞれの受信器チャンネル空間位相マスク部分の少なくとも３完全周期であり、

30

各光源要素は、シングルモードの光ファイバで構成されるソース光ファイバを備え、遠方の光源から生じた光は、前記ソース光ファイバの出力端におけるコア領域から出力されるものであり、

各ソース光ファイバの前記出力端は、前記自己像読み取りヘッド部分のそれぞれの円筒状体積内に完全に位置決めされている請求項２に記載の２次元測定装置。

【請求項６】

それぞれの自己像読み取りヘッド部分における前記少なくとも１つの光源は、シングルモードの光ファイバで構成され、

40

それぞれの受信器チャンネル光ファイバは、前記ソース光ファイバの回りに密集構造で配置されている請求項５に記載の２次元測定装置。

【請求項７】

それぞれの自己像読み取りヘッド部分について、前記複数の光ファイバ受信器チャンネルは、 N 対（ N は２以上の整数）の構成に配置された少なくとも $2N$ の光ファイバ受信器チャンネルをそれぞれ備え、

各対は、前記ソース光ファイバの互いに逆側に配置された２つのそれぞれの光ファイバ受信器チャンネルを備え、

これら２つのそれぞれの光ファイバ受信器チャンネルに対応する前記２つのそれぞれの空

50

間位相マスク部分は、(a) 同じ空間位相および(b) 名目的に180°異なる空間位相の一方を有する請求項6に記載の2次元測定装置。

【請求項8】

少なくとも2つの自己像読み取りヘッド部分のそれぞれの円筒状体積の軸は、前記第1の測定軸方向に沿って互いにオフセットされ、またそれらの軸は、前記第2の測定軸方向に沿って、それらの円筒半径の合計値より少ない分だけ互いにオフセットされている請求項2に記載の2次元測定装置。

【請求項9】

前記読み取りヘッドは、少なくとも3つの自己像読み取りヘッド部分を備え、少なくとも2つの自己像読み取りヘッド部分のそれぞれの円筒状体積の軸は、前記第1の測定軸方向に沿って互いに実質的にオフセットされてはならず、またそれらの軸は、前記第2の測定軸方向に沿って、少なくともそれらの円筒半径の合計値だけ互いにオフセットされている請求項8に記載の2次元測定装置。

10

【請求項10】

前記読み取りヘッドは、前記2次元スケール格子に対して位置決めされ、

それぞれの自己像読み取りヘッド部分について、それぞれの合計照明円は、それぞれの空間位相平面において規定され、それにより、それぞれの自己像読み取りヘッド部分の光源部分による光パワーの少なくとも95%が前記合計照明円に含まれ、その合計照明円は対応する合計照明半径を有し、

それぞれの自己像読み取りヘッド部分のそれぞれの円筒状体積の軸は、最も近い隣のそれぞれの自己像読み取りヘッド部分のそれぞれの円筒状体積の軸から、少なくともそれらの合計照明半径の合計値と同程度に大きい距離だけ離されている請求項2に記載の2次元測定装置。

20

【請求項11】

少なくとも2つのそれぞれの自己像読み取りヘッド部分について、各光源要素は、ソース光ファイバを備え、それぞれ制御可能な遠方の光源から生じた光は、前記ソース光ファイバの出力端から出力されるものであり、

前記それぞれ制御可能な遠方の光源から生じた光は、間欠的にオン/オフされるように制御され、それにより、前記2つのそれぞれの自己像読み取りヘッド部分の一方がそれぞれの光出力信号を出力するときの少なくとも一部の期間について、前記2つのそれぞれの自己像読み取りヘッド部分の他方は、光を出力しないものである請求項2に記載の2次元測定装置。

30

【請求項12】

少なくとも2つのそれぞれの自己像読み取りヘッド部分について、

前記それぞれの自己像読み取りヘッド部分の第1の部分の光源部分は、第1のそれぞれの波長の光を与え、

前記それぞれの自己像読み取りヘッド部分の第2の部分の光源部分は、前記第1のそれぞれの波長の光とは異なる第2のそれぞれの波長の光を与え、

前記それぞれの自己像読み取りヘッド部分の前記第1および第2の部分のそれぞれは、それぞれの波長の光に一致するそれぞれの光波長帯域通過フィルタを有し、

40

それぞれの帯域通過フィルタは、それぞれの読み取りヘッド部分のそれぞれの集光領域に対して位置決めされ、それぞれの波長の光とは異なる波長を有する光が前記それぞれの集光領域へ到達することを実質的に阻止するものである請求項2に記載の2次元測定装置。

【請求項13】

少なくとも2つのそれぞれの自己像読み取りヘッド部分について、

前記それぞれの自己像読み取りヘッド部分の第1の部分の光源部分は、第1のそれぞれの偏光を有する光を与え、

前記それぞれの自己像読み取りヘッド部分の第2の部分の光源部分は、前記第1のそれぞれの偏光とは異なる第2のそれぞれの偏光を有する光を与え、

50

前記それぞれの自己像読み取りヘッド部分の前記第 1 および第 2 の部分のそれぞれは、それぞれの偏光の光に一致するそれぞれの偏光フィルタを有し、

それぞれの偏光フィルタは、それぞれの読み取りヘッド部分のそれぞれの集光領域に対して位置決めされ、それぞれの偏光の光とは異なる偏光を有する光が前記それぞれの集光領域へ到達することを実質的に阻止するものである請求項 2 に記載の 2 次元測定装置。

【請求項 1 4】

少なくとも 2 つのそれぞれの自己像読み取りヘッド部分について、

前記それぞれの自己像読み取りヘッド部分の第 1 の部分の光源部分は、第 1 のそれぞれの波長の光を与え、

前記それぞれの自己像読み取りヘッド部分の第 2 の部分の光源部分は、前記第 1 のそれぞれの波長の光とは異なる第 2 のそれぞれの波長の光を与えるものである請求項 2 に記載の 2 次元測定装置。

10

【請求項 1 5】

前記 2 次元スケール格子は、反射性要素を有し、

それぞれの光源部分は、1 つの方向に沿って前記 2 次元スケール格子と交差するように指向されたソース光中心軸を有するそれぞれのソース光路に沿ってソース光を発生するものであり、前記 1 つの方向は、交差の点において前記 2 次元スケール格子の平面と名目的に直交するものであり、

それぞれのソース光から生じたそれぞれのスケール光は、前記読み取りヘッドが前記 2 次元スケール格子に対して名目的に整合されたときに、それぞれのソース光中心軸に対して名目的に整合されるスケール光中心軸を有したそれぞれのスケール光路に沿って反射されるものである請求項 1 に記載の 2 次元測定装置。

20

【請求項 1 6】

反射性表面を更に備え、

前記反射性表面は、それぞれのソース光中心軸およびそれぞれのスケール光中心軸を、前記読み取りヘッドと前記 2 次元スケール格子の間の軸に沿った位置で約 90° だけ偏向させるように配置され、

前記読み取りヘッドおよび前記反射性表面は、前記 2 次元スケールに対して配置され、それにより、前記それぞれの空間位相マスク平面および前記 2 次元スケール格子の前記自己像は、前記交差の点において前記 2 次元スケール格子の平面に対して名目的に直交する請求項 1 5 に記載の 2 次元測定装置。

30

【請求項 1 7】

前記スケールは、平面的な円形スケールであり、前記測定軸方向の一方は、前記スケールの平面に平行な円形路に追従し、そして前記測定軸方向の他方は、前記円形路の半径に沿って半径方向にどこへでも追従している請求項 1 に記載の 2 次元測定装置。

【請求項 1 8】

前記スケールは、円筒状のスケールであり、そして前記測定軸方向の一方は前記円筒状のスケールの円周に沿った円形路に追従し、そして前記測定軸方向の他方は、前記円筒状スケールの軸と平行な方向に追従している請求項 1 に記載の 2 次元測定装置。

【請求項 1 9】

前記読み取りヘッドは、第 3 の自己像読み取りヘッド部分を少なくとも備え、前記第 3 の自己像読み取りヘッド部分は、前記第 1 の自己像読み取りヘッド部分とほぼ同様であり、且つ前記第 1 の自己像読み取りヘッド部分と同様に指向され、そして前記第 1 および第 3 の自己像読み取りヘッド部分は、同様に指向された前記第 1 および第 3 の自己像読み取りヘッド部分の対応するスケール格子方向に平行に延び且つ前記第 2 の自己像読み取りヘッド部分の有効中心を通る線上の中心点を挟んでほぼ対称的に前記読み取りヘッド内に配置されており、

40

それにより、バランスされた第 1 および第 3 の自己像読み取りヘッド部分の対に対応するそれぞれの漸増位置測定値を平均化して、前記対応する第 1 の格子方向に沿った前記 2 次元スケールの中心点の位置に対応するバランスされた対の漸増位置測定値を与えるもの

50

であり、前記バランスされた対の漸増位置測定値は、前記中心点の回りの前記読み取りヘッドのヨー不整合に実質的に不感性である請求項 1 に記載の 2 次元測定装置。

【請求項 2 0】

前記バランスされた第 1 および第 3 の自己像読み取りヘッド部分の対に対応するそれぞれの漸増位置測定値は、前記中心点の回りの前記読み取りヘッドの前記ヨー不整合を決定することに使用可能であり、

前記中心点の回りの決定されたヨー不整合は、少なくとも前記第 2 の自己像読み取りヘッド部分の漸増位置測定値に対する前記ヨー不整合誤差の寄与を決定することに使用可能であり、前記決定されたヨー不整合誤差の寄与によって少なくとも前記第 2 の自己像読み取りヘッド部分の漸増位置測定値を決定することにより、前記対応する第 2 のスケール格子方向に沿った前記 2 次元スケールに対する前記中心点の位置に対応するヨー補償された漸増位置測定値を与えるものであり、そのヨー補償された漸増位置測定値は、前記中心点の回りの前記読み取りヘッドのヨー不整合に実質的に不感性である請求項 1 9 に記載の 2 次元測定装置。

10

【請求項 2 1】

少なくとも 2 つのそれぞれの自己像読み取りヘッド部分について、

前記それぞれの自己像読み取りヘッド部分の第 1 の部分の光源部分は、第 1 のそれぞれの波長の光を与え、

前記それぞれの自己像読み取りヘッド部分の第 2 の部分の光源部分は、前記第 1 のそれぞれの波長の光とは異なる第 2 のそれぞれの波長の光を与え、

20

前記それぞれの自己像読み取りヘッド部分の前記第 1 および第 2 の部分のそれぞれは、それぞれの光信号光を、(a) それぞれの波長の光に一致するそれぞれの光波長帯域通過フィルタおよび (b) 実効的にそれぞれの波長の光に一致する光波長応答を有するそれぞれの検出器デバイスの少なくとも一方に出力し、それにより、それぞれの光波長帯域通過フィルタおよびそれぞれの検出器デバイスの少なくとも一方は、それぞれの波長の光とは異なる波長を有する光が、それぞれの光出力信号から生ずるそれぞれの電子信号の一因になることを実質的に阻止するものである請求項 1 に記載の 2 次元測定装置。

【請求項 2 2】

前記第 1 のスケール格子方向は、前記第 1 の測定軸方向と同じであり、また前記第 2 のスケール格子方向は、前記第 2 の測定軸方向と同じである請求項 1 に記載の 2 次元測定装置。

30

【請求項 2 3】

前記第 1 および第 2 のスケール格子ピッチは、実質的に同じである請求項 2 2 に記載の 2 次元測定装置。

【請求項 2 4】

前記第 1 および第 2 のスケール格子方向は、直交している請求項 2 3 に記載の 2 次元測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

40

本発明は、一般に変位検出光エンコーダに関し、特に受信器要素として光ファイバを使用して超小型 2 次元位置システムを提供する光エンコーダに関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

1 次元 (1 D) の線形、回転または角度の移動を検知するための各種の移動または位置エンコーダが現在利用可能である。これらのエンコーダは、一般に光システム、磁気スケール、誘導変換器、あるいは容量変換器のいずれかに基づいている。これらのエンコーダのいくつかは、相対測定をなすために設計されている。そのような相対変位または位置エンコーダにおける測定は、典型的には基準位置に対するスケールの相対位置変化を検知することによってなされる。これは、パターンの繰り返しが計数できるように、スケールパ

50

ターンの変化を連続して検知することを必要とする。この種の位置測定は、漸増変位測定または漸増位置検出または測定と呼ばれることもある。

【 0 0 0 3 】

光エンコーダとして、多数の 1 D 漸増位置システムが開発されている。最前のシステムに比べて少ない部品を使用する近年の 1 つのシステムが、エスラン (Eselun) に与えられた米国特許第 5, 9 0 9, 2 8 3 号 (特許文献 1) に開示されている。この 2 8 3 特許に記載されたシステムは、回折格子スケールおよび読み取りヘッドと、ロンキー格子またはホログラフ要素と、光検出器アレイとを有する。読み取りヘッドは、点光源 (読み取りヘッド内のレーザダイオード) を含む。記載されているように、点光源は、スケールの間隔に等しい間隔を有した干渉縞を生じさせる。この干渉縞の光は、ロンキー格子またはホログラフ要素を通して光検出器アレイに伝達される。この光検出器アレイは、伝達された干渉縞光から 4 チャネルの矩象信号を求めるように配置されている。2 8 3 特許に記載されたシステムの 1 つの欠点は、結果として得られるエンコーダが、多数の応用にとって比較的大きいか禁制的なサイズであるという点である。もう 1 つの欠点は、このシステムが一般に 1 次元の測定値しか与えないという点である。更に、2 8 3 特許に開示されているように、電子式光検出器を使用した光学式読み取りヘッドを有するいくつかの近代的運動制御システムでは、検出されて比較的大きいワイヤ長を送信される高周波測定信号の減衰が制限要因になるという点である。

10

【 0 0 0 4 】

相対位置光システムのもう 1 つのタイプが、トクナガ (Tokunaga) に与えられた米国特許第 4, 7 3 3, 0 7 1 号 (特許文献 2) に開示されている。この 0 7 1 特許に記載されたシステムは、コード部材スケールと、光センサヘッドとを有している。この光センサヘッドは、1 つの光ファイバ先端光エミッタと、コード部材測定軸に沿って近接して配置された 2 つの光ファイバ先端レセプタとを備える。この光センサヘッドは、2 つの光ファイバ先端レセプタ間の位相差を調整するために回転 (揺動) させられる。しかしながら、結果として得られたエンコーダの精度は、比較的大きく粗いものであり、そしてこのシステムも、一般に 1 次元の測定値しか与えないものである。

20

【 0 0 0 5 】

これらの種類のエンコーダには、2 次元 (2 D) 漸増位置測定をなすように設計されたものもある。2 次元格子スケールを使用して、2 次元平面中の任意の位置において高分解能および高精度を与える 2 次元漸増位置エンコーダが、マスレリーツ (Masreliez) に与えられた米国特許第 5, 1 0 4, 2 2 5 号 (特許文献 3) に開示されている。しかしながら、この 2 2 5 特許に開示された読み取りヘッドは、比較的大きく、複雑で高価である。さらに、2 2 5 特許に開示された読み取りヘッドは、2 8 3 特許を参照して説明したと同じ一般的な電子信号の減衰制限を受ける。

30

【 0 0 0 6 】

2 次元絶対位置測定システムもまた知られている。例えば、2 次元バーコードシステムは、ある種の低分解能の絶対 2 次元位置測定応用に適用されている。しかしながら一般に、そのような 2 次元バーコードシステムの「情報記憶」構造は、高分解能の位置決定用 2 次元スケールとして作用することにさほど適していない。さらに、そのような 2 次元バーコードシステムに好適な読み取りヘッドもまた、比較的大きく、複雑で高価である。さらに、そのような装置で使用される電子信号処理は、その装置によって追跡される高速運動の許容されるレートを、多くの近代的運動制御システムで必要とされる速度と比べて、厳しく制限してしまう。

40

【 0 0 0 7 】

前述した問題点と制限を、個別にまたは組み合わせて、克服できる 2 次元位置検出装置が望ましい。

【特許文献 1】米国特許第 5, 9 0 9, 2 8 3 号

【特許文献 2】米国特許第 4, 7 3 3, 0 7 1 号

【特許文献 3】米国特許第 5, 1 0 4, 2 2 5 号

50

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は、前述した欠点および他の欠点を克服するエンコーダを提供するものである。より具体的には、本発明は、多くの他の望ましい特徴を有することに加えて、非常に高い分解能の2次元の測定値を与える、極めて小さいサイズの光エンコーダを提供するものである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明に係る2次元測定装置は、第1および第2の測定軸方向に沿って延びた2次元スケール格子を有し、前記2次元スケール格子は、第1および第2のスケール格子方向に沿ってそれぞれの第1および第2の格子ピッチで周期的な2次元格子パターンを有する2次元スケールと、この2次元スケールに対して相対移動可能に配置された読み取りヘッドとを備え、前記2次元スケール格子に対する前記読み取りヘッドの位置測定値により2つの部材間の2次元位置を測定する2次元測定装置において、前記読み取りヘッドは、それぞれが前記2次元スケール格子に自己像を与えると共に前記自己像を読み取る、少なくとも第1および第2の自己像読み取りヘッド部分を備え、それぞれの自己像読み取りヘッド部分は、前記第1および第2のスケール格子方向の一つに対応し、各自己像読み取りヘッド部分は、前記2次元スケール格子上に照明スポットを形成するように前記2次元スケールに対して光を照射する光源と、前記2次元スケール格子上の照明スポットからの光によって前記2次元スケールから所定ギャップ離れた位置に形成される自己像を先端部で受光すると共に、少なくともそれらの先端部が前記光源と共に前記2次元スケールに対して前記測定軸方向に相対移動可能に配置された複数の光ファイバ受信器チャンネルとを備え、前記光ファイバ受信器チャンネルは、光ファイバと、この光ファイバの一端に形成されて前記自己像を前記光ファイバに導入する受信器チャンネル開口と、この受信器チャンネル開口に形成された空間位相マスクとを有し、前記空間位相マスクは、前記自己像に形成される明暗周期に対応する周期の格子を有し、複数の光ファイバ受信器チャンネルの空間位相マスクの格子は互いに異なる空間位相関係を有することを特徴とする。

【0010】

前述したように、既に開示された283特許が単次元の位置システムだけに関するものであるという事実に加えて、283特許に開示されているような電子式読み取りヘッド受信器（光検出器）は、高速スケール運動に関連した高周波検出器信号を変換すること、並びにそれらの信号を長いケーブルを通して有意な信号損失または干渉なしに送信することに制限を受ける。加えて、電子式光検出器およびそれに関連した回路の接続は、多くの潜在的エンコーダ応用にとっては、特に複数の読み取りヘッド部分が単一の読み取りヘッドで使用される場合には、大きすぎる読み取りヘッドの一因となる。以下で理解されるように、本発明の光ファイバ検出器チャンネルは、これらの制限を克服する。

【0011】

発明のもう一つの形態によると、2次元光ファイバエンコーダ読み取りヘッドは、読み取りヘッド部分を使用して、2次元格子スケールの変位を2次元で検出する。各読み取りヘッド部分は、それぞれの位相格子マスクを有した複数の光ファイバ検出器チャンネルを有する。少なくとも2つの読み取りヘッド部分のそれぞれの位相格子マスクは、関連した読み取りヘッド部分が変位を検出するためのそれぞれの方向に従って、互いに且つ2次元スケール格子に関して異なる方位を有する。既に開示された071特許が1D測定システムだけに関するものであるという事実に加えて、071特許に開示されたような光ファイバ先端レセプタは、それらの直径が大きい場合には、微小な位相信号の弁別に不十分な空間的分解能となる。一方、それらの直径が小さい場合には、少ない光しか集められないので、良好な信号を与えることができない。このように、それらの精度は制限されてしまう。以下で理解されるように、本発明の光ファイバ検出器チャンネルは、これらの制限および他の制限を克服して高い精度を提供する。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 2 】

発明のもう1つの形態によると、読み取りヘッド部分の複数の光ファイバ検出器チャンネルによって検出された2次元格子スケール像は、タルボット像のような他の名称によっても知られている自己像であって、比較的確固とした整合公差と高分解能とを与える。

【 0 0 1 3 】

発明のもう1つの形態によると、2次元光ファイバエンコーダ読み取りヘッドは、光ファイバ検出器チャンネルの入力開口サイズに基づく設計関係によって構築されて、信頼性の高い信号と改良された精度とを与える。

【 0 0 1 4 】

発明の異なる形態によると、読み取りヘッド部分の光ファイバ検出器チャンネルは、バランスされた対として配設されて、改良された精度を与える。

10

【 0 0 1 5 】

発明の更に異なる形態によると、各読み取りヘッド部分内の光ファイバ検出器チャンネルのバランスされた3つの対は、改良された精度を与えるように信号処理される。

【 0 0 1 6 】

発明の異なる形態によると、各読み取りヘッド部分用の光源が光ファイバによって提供され、エンコーダ読み取りヘッド内の電子的アセンブリおよび電子信号に関連した全ての制限及びコストから自由な、全光学式の読み取りヘッドを与える。

【 0 0 1 7 】

発明の異なる形態によると、2次元光ファイバエンコーダの種々の光ファイバは、エンコーダの測定精度が光ファイバ読み取りヘッドケーブルの曲げによって比較的影響されないように、種々のタイプから選択される。

20

【 0 0 1 8 】

発明の異なる形態によると、2次元光ファイバエンコーダ読み取りヘッドの種々の実施形態は、特に経済的、高精度且つ小型な態様で構築される。

【 0 0 1 9 】

発明の異なる形態によると、2次元光ファイバエンコーダ読み取りヘッドは、標準的な市販の光ファイバコネクタ構成に挿入されうるように構築される。

【 0 0 2 0 】

発明の異なる形態によると、読み取りヘッド部分の基本的な読み取りヘッドの要素とスケールとの間の読み取りヘッドの光路を偏向するための光偏向要素が設けられ、スケールに対する読み取りヘッドの操作可能な取付方位が変化される。

30

【 0 0 2 1 】

発明の異なる形態によると、一実施形態では、適切な電子的光源と光検出器とを含んだ遠隔インターフェース箱が利用される。前記光検出器は、この発明による1以上の光ファイバ読み取りヘッドと光ファイバとの間のインターフェースとなり、また受信した光信号を更なる信号処理および読み取りヘッド位置判定に適した形態に変換する。

【 0 0 2 2 】

従って、この発明は、従来の2次元光学式変位検知装置の欠点を克服し、超高速で2次元の測定値を与えることができる、超小型で高精度且つ経済的なシステムを有する新規な応用可能性を提供する。

40

【 0 0 2 3 】

発明の異なる形態によると、各自己像読み取りヘッド部分の少なくとも各集光領域と各入力端は、それぞれの円筒状体積内に完全に位置決めされ、前記体積は、それぞれの空間位相マスク平面に直交した軸を有し、且つ最大でも3mmの円筒半径を有したものである。

また、他の形態では、少なくとも前記集光領域と入力端を含んだそれぞれの円筒状体積の前記円筒半径は、最大でも2.0mm、より好ましくは最大でも1.0mmである。

また、他の形態では、全ての前記自己像読み取りヘッド部分のそれぞれの円筒状体積は、それぞれの円筒状体積に対して平行な軸を有する総合円筒状体積内に適合し、前記総合

50

円筒状体積は、最大 9 mm である総合円筒半径、より好ましくは最大 5 mm、更に好ましくは最大 2.5 mm、更に好ましくは最大 1.25 mm である。

【0024】

更に他の形態では、前記少なくとも 2 つの自己像読み取りヘッド部分のそれぞれの円筒状体積の軸は、それらの円筒半径の合計値の 2.0 倍よりも少ない分だけ互いに離されている。

更に他の形態では、前記読み取りヘッドとスケール格子との間に前記第 1 のスケール格子方向に沿った相対変位があるときに、少なくとも前記第 1 の自己像読み取りヘッド部分のそれぞれの光出力信号は、前記相対変位の関数である正弦変化を有し、そしてそのような正弦変化は、そのような正弦変化のピーク間変化の $1/32$ だけ最大で理想正弦変化から変化する。また、そのような正弦変化は、そのような正弦変化のピーク間変化の $1/64$ だけ最大で理想正弦変化から変化する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

図 1 は、この発明による 2 次元光ファイバ読み取りヘッド構成 20 の第 1 の包括的实施形態を示す。図 1 に示すように、この 2 次元光ファイバ読み取りヘッド構成 20 は、フェルール 40 を備える。このフェルール 40 は、整列溝 45 と整列カラー 50 を有し、そして 2 つの読み取りヘッド部分 60 および 60' を収容する。読み取りヘッド部分 60 および 60' は、2002 年 11 月 15 日に出願された「光ファイバ受信器チャネルを使用した高精度微小回折格子エンコーダ読み取りヘッド」なる名称の米国特許出願シリアル番号 10/298,312 に開示の内容に従って形成することができる。以下で更に詳細に説明されるように、読み取りヘッド部分 60 および 60' のそれぞれは、測定軸 82 および 83 にそれぞれ対応している。これらの測定軸は、基板 95 上に形成されたパターン PAT を含むスケール 90 に参照符号が付されている。ここで理解されるべき点は、スケール 90 は測定軸 82 および 83 の方向に沿って所望の次元に延びることができるという点である。かくして、この発明による種々の実施形態では、ここで種々の図に示されるスケール 90 は、より大きなスケールの 1 セグメントとして解釈できる。

【0026】

以下で更に詳細に説明するように、読み取りヘッド部分 60 および 60' のそれぞれは、3 本の受信器光ファイバ 130 と 1 本の照明ファイバ 170 を含む光ファイバチャンネルセット 290 に結合されている。かくして、読み取りヘッド部分 60 用の光ファイバチャンネルセット 290 は、3 本の受信器光ファイバ 130A, 130B, 130C と 1 本の照明ファイバ 170 を含んでいる。読み取りヘッド部分 60 および 60' のそれぞれは同じ部品を含んでいるので、この出願の残りの部分については、読み取りヘッド部分 60' および追加の読み取りヘッド部分用の部品は、一般的には詳細に説明されない。以下で理解されるように、ここで説明される位相マスクの寸法の変化を除いて、読み取りヘッド部分 60 用の部品は、シングルプライム指定 (') を付けて読み取りヘッド部分 60' 用に、また追加のプライム指定を付けて追加の読み取りヘッド部分用に反復される。この命名法の簡単な例として、以下の点が理解される。即ち、受信器光ファイバ 130A, 130B, 130C を含む上記のような読み取りヘッド部分 60 用の光ファイバチャンネルセット 290 という記述はまた、読み取りヘッド部分 60' 用の光ファイバチャンネルセット 290' が、受信器光ファイバ 130A', 130B', 130C' を含むことを示している。

【0027】

以下で更に詳細に説明するように、読み取りヘッド部分 60 はまた、受信器光ファイバ 130A, 130B, 130C の端部によって与えられる光受信器チャネル開口に配置された位相マスク 120A, 120B, 120C を備えている。種々の例示的实施形態では、読み取りヘッド部分 60 および 60' の位相マスク 120 および 120' は、名目受信平面 160 を規定するか、および/または、それと一致する共平面構成に便利に配置されている。図 2 を参照して以下で更に詳細に説明されるように、位相マスク 120 および 120' は、異なるそれぞれの方向で空間フィルタ処理を達成するために、異なる方位にあ

10

20

30

40

50

る。

【0028】

図1に戻ると、読み取りヘッド部分60の中心において、光源280は、ソース光250を概ねソース光軸251に沿って放射する。このソース光250は、概ね単色か疑似単色であって、名目波長を有する。この波長は、この発明の原理による操作可能な自己像を生成することに使用可能な波長である。ソース光250は、発散半角252で発散する。このソース光250は、ある距離を進行して、スケール90の2次元格子パターンPATを照明スポット253で照射し、そこで反射されてスケール光軸255に沿ったスケール光254となる。図1に示された実施形態では、ソース光軸251とスケール光軸255は、Z軸に平行であって、相互に一致している。スケール光254は、ある距離を進行し、名目受信平面160と一致した自己像平面265に至る。自己像平面265において、スケール光254は、スケール90上のパターンPATの自己像を含んだ照明範囲256を与える。この自己像は、それぞれの位相マスク120によって空間フィルタ処理され、読み取りヘッド部分60の基礎的なそれぞれの位置測定信号を与える。照明スポット253や照明範囲256は、読み取りヘッド構成のハウジングとして使用される典型的なフェルール40よりは遙かに小さなものであることが理解されることであろう。この特徴が、複数の読み取りヘッド部分を単一のフェルール内で使用できるようにする。例えば、標準的な通信用サイズのフェルールは、1つの実施形態では、約2.5mmの直径を有する。照明範囲256は、この寸法より遙かに小さくできるので、複数の読み取りヘッド部分をフェルール40内で使用することが可能になる。

【0029】

1つの実施形態では、スケール90用の2次元格子パターンPATは、それぞれの空間波長(ここではピッチまたは格子ピッチとも呼ばれる)を2つの方向82および83に有する。1つの実施形態では、方向82および83における格子ピッチは同じであり、また2つの方向82および83は直交している。しかしながら、そのような実施形態は例示のみであって、異なるそれぞれの格子ピッチや、非直交系の測定軸方向の格子軸もまた、この発明の範囲内である。

【0030】

以下で更に詳細に説明されるように、種々の例示的实施形態では、2つの読み取りヘッド部分60および60'の位相マスク120および120'は、2つの方向82および83にそれぞれ対応する異なる方位を有する。この位相マスク120および120'は、単一マスクに含まれる。換言すれば、その単一マスクが、読み取りヘッド部分60および60'の適切な位相マスク要素に内接されるのである。このことにより、種々の読み取りヘッド部分のマスク要素の互いの位置は、この発明の原理に従って正確に固定される。出力信号は、精密な測定値を得るように信号処理において、互いに補償、および/または組み合わせられる。このことがまた、種々の読み取りヘッド部分の方位を、スケール90の2次元格子パターンPATの構造に対応した正確に知られた手法で、互いに固定する。

【0031】

フェルール40の溝45とカラー50は、フェルール40を好適な搭載取付具に搭載する間に、スケール90に対する読み取りヘッド整列の偏揺れ(ヨー)成分およびZ成分を便利に固定するために準備されている。このフェールの代替実施形態もまた可能であることが認められるべきである。例えば、種々の例示的实施形態では、単一マスク要素の周囲を囲むフェールの部分は、省略されるか、後に追加される保護リングチューブと置換される。この場合、受信器光ファイバ130A, 130B, 130C等は、単一マスク要素をフェルール40に組み付ける前に、容易にフェルール40の端部と面一に研磨される。種々の例示的实施形態では、フェールは、正方形または矩形の外観を有する。フェールの側面は、搭載中にスケール90に対する読み取りヘッド整列の偏揺れ成分を固定するために便利な表面を与える。読み取りヘッド整列のZ成分は、カラー50ではなく、むしろ読み取りヘッドの前面から設定される。1つの例示的な搭載取付具構成は、312号出願に記載されている。図9に関して以下で更に詳細に説明するように、フェール40

の前端に偏向器が固定されることがある。以下で理解されるように、フェルールがより大きければ、より多くの読み取りヘッド部分を含むことできる。これは、読み取りヘッドのエラー強さまたは精度を強化するためである。例えば、3つの読み取りヘッド部分を示した代替の潜在的構成が、図3を参照して以下でより詳細に説明される。

【0032】

2次元光ファイバ読み取りヘッド構成20について他の考慮すべき点に関して、勿論重要な点は、2つの読み取りヘッド部分60および60'の方位を、スケール90の2次元格子パターンPATの対応する方向に整列させるということである。種々の実施形態では、フェルール40は、一般に通信の分野で、中心間のサブミクロン整合用および/または光ファイバの精密な回転整合用に使用される市販タイプの光ファイバコネクタ/フェルールの1つに組み付けられるか、あるいはその一部として一体的に形成される。

10

【0033】

小型の読み取りヘッドを製造するために考慮される事項に関して認められるべき点は、読み取りヘッド部分60および60'のそれぞれが、単一の対応する照明範囲256または256'から一次的に、好ましくはそこだけから、それぞれ光を受けるように寸法および位置決めされるべきであるという点である。種々の例示的实施形態では、光源ファイバ170は、照明スポット253用のサイズを与える発散半角252を与えるように構成されるか、選択される。この照明スポット253は、スケール90の2次元格子パターンPATと操作可能な照明範囲256との間の距離、即ち、名目操作ギャップが1.0mmのオーダーであるときに、ガウス照明ビームの半最大強度直径(ここではまた半最大直径とも呼ばれる)に対しておよそ200~350ミクロンの範囲にある。そのような実施形態では、照明範囲256のサイズは、ガウス照明範囲の半最大直径に対しておよそ400~700ミクロンの範囲にある。照明範囲256のそのようなサイズにとって、1つの例示的实施形態では、受信器光ファイバ130A, 130B, 130Cは、約250 μ mの直径を有し、そしてそれらの中心が照明範囲256の中心から約250 μ m離れるように位置決めされる。より一般的には、種々の例示的实施形態では、受信器光ファイバ130A, 130B, 130Cは、組み入れられた312号出願の教示に従って、および/または、図8を参照して以下で概略説明されるように、寸法および位置決めされる。いずれの場合でも、位相マスク120A, 120B, 120Cは、受信器光ファイバ130A, 130B, 130Cの端部によって与えられる光受信器開口上に配置される。

20

30

【0034】

種々の例示的实施形態では、照明範囲256および256'の隣接する対の中心間隔は、操作可能な照明範囲の直径よりも少なくとも幾分か大きい。かくして、例えば、ガウス照明範囲の半最大直径がおよそ400~700ミクロンの範囲にある種々の例示的实施形態では、照明範囲256および256'の中心間隔は、少なくとも約450~750 μ mである。そのような実施形態では、読み取りヘッド20の直径は、簡単に2.5mm以下になるように小さく作ることができる。しかしながら、ここで認められるべき点は、この設計範囲には注意が必要であるということである。何故ならば、読み取りヘッド部分間の中心間隔が減少されると、読み取りヘッド部分間を「干渉」としてクロスオーバーする潜在的な自己像光の量が増加するからである。そのようなクロスオーバー干渉をほぼなくして最大読み取りヘッド信号精度を維持しながら、同時に可能な最小の読み取りヘッドサイズを達成することが望まれる場合、種々の例示的实施形態では、そのような干渉は、以下で概略説明される時間多重法によって消去される。

40

【0035】

種々の他の実施形態では、種々の操作条件における種々の読み取りヘッド部分60および60'に対する増強された信号分離に望ましいことは、中心間隔を、照明範囲256および256'におけるガウス照明分布の半最大直径の約2倍から4倍に寸法決めすることである。例えば、ガウス照明範囲256に対して上述した400~700ミクロンサイズについて、種々の例示的实施形態では、照明範囲256および256'の隣接する対の中心間隔は、比較的大きな照明範囲に対しては約1.4~2.8mmのオーダーであり、ま

50

た比較的小さな照明範囲に対しては約0.8～1.6mmのオーダーである。名目操作ギャップが2.0mmのオーダーである種々の例示的实施形態では、ガウス照明範囲256に対するサイズ範囲は、約800～1400ミクロンである。この場合、照明範囲256および256'の隣接する対の中心間隔は、比較的大きな照明範囲に対しては約2.5～5.6mmのオーダーであり、また比較的小さな照明範囲に対しては約1.6～3.2mmのオーダーである。よって、種々の例示的实施形態では、多数の設計要因に依存して、上述したように、読み取りヘッド20の総合直径は、約7mm, 5mm, 3mmあるいはそれ以下に容易に作ることができる。

【0036】

ここで認められるべき点は、小型な読み取りヘッドサイズの前述の論議は、各読み取りヘッド部分の光源が連続して動作することを仮定しているということである。しかしながら、さらに認められるべき点は、全光学式の光源および受信器チャネルの超高速光変調の潜在性によって、先に概略説明したものよりも小型な読み取りヘッド構成を設計可能であるという点である。この場合、種々の照明範囲は、複数の読み取りヘッド部分の受信器と重なるが、それぞれの読み取りヘッド部分のソース(光源)と受信器は、隣接する読み取りヘッド部分間の信号干渉が防止されるように、個別に且つ時間順に操作される。

10

【0037】

ここでまた認められるべき点は、種々の例示的实施形態では、その代わりに、個別の読み取りヘッド部分が、有意に異なる波長の光を使用するという点である。この場合、それらの対応する光ファイバ受信器チャネルからの他の波長のクロスオーバー干渉光を阻止するように配置された適合する光波長帯域通過フィルタを用いる。

20

【0038】

他の例示的实施形態では、そのような適合する狭帯域通過光波長フィルタは、例えば図5に示されたように、読み取りヘッド外の好適な光ファイバ読み取りヘッド信号処理遠隔電子装置内に配置されて、対応する個別の読み取りヘッド部分からの光出力信号をフィルタ処理する。更に他の例示的实施形態において認められるべき点は、好適な光ファイバ読み取りヘッド信号処理遠隔電子装置内の、好適に選択された一致する光波長応答を有したそれぞれの光検出器は、種々の実施形態におけるそれぞれの一致する狭帯域通過光波長フィルタを効果的に増加および/または置換することができるという点である。いずれの場合も、それぞれの狭帯域通過光波長フィルタおよび/または好適に選択された一致する光波長応答を有したそれぞれの光検出器は、それぞれの一致する波長の光とは異なる波長を有する光が、それぞれの対応する読み取りヘッド部分の光出力信号から生ずるそれぞれの電子信号の一因になることを実質的に阻止するように作用する。

30

【0039】

ここで更に認められるべき点は、異なる波長の光が異なる読み取りヘッド部分で使用されない場合でも、この発明による読み取りヘッドにこれらの同じ技術を使用して、周囲光による信号劣化効果を阻止または低減できるということである。

【0040】

更に異なる例示的实施形態では、当業者に既知の他の方法が、類似の手法で使用される。例えば、異なる読み取りヘッド部分に対して異なって偏光される偏光ソースを使用する。その偏光結果は、偏光維持ファイバを通して送信される。そして、各読み取りヘッド部分は、受信した偏光をそれに一致した偏光器でフィルタ処理して、隣接する読み取りヘッド部分のソースから生じる異なって(即ち、直交して)偏光された光を分離する。

40

【0041】

ここで認められるべき点は、以下で数式(1)を参照して説明されるように、照明の波長が、この発明による読み取りヘッド部分に対する名目自己像平面に影響を与えるということである。かくして、種々の実施形態では、異なる読み取りヘッド部分に対する異なる波長の光が、約50nmの総範囲内で選択され、そして一般に、全ての読み取りヘッド部分に対する操作可能な自己像平面が、ここで説明される種々の2次元読み取りヘッドの実施形態に対する同じ操作可能な自己像平面に生ずる。大きな精度、分解能、および/また

50

は広い搭載および整合公差が望まれる種々の例示的实施形態では、異なる読み取りヘッド部分に対する異なる波長の光は、約 25 nm の総範囲内で選択される。

【0042】

より一般的に認められるべき点は、種々の例示的实施形態では、有意に異なる波長の光が異なる読み取りヘッド部分に使用される場合、そのような波長は、互いに、そして2次元スケール90のスケール格子ピッチの選択に対し、相互依存的に選択される。これは、全ての読み取りヘッド部分で共用される操作可能な自己像形成ギャップを、以下に数式(1)に関連した論議で説明される設計要因と考慮すべき事項に従って、達成するためである。ここで認められるべき点は、そのような共用される自己像形成ギャップにとって、種々の読み取りヘッド部分に対して使用される自己像平面の「番号」(数式(1)で記号によって示される)は、異なる。例えば、1つの読み取りヘッド部分の9番目の自己像平面は、もう1つの読み取りヘッド部分の10番目の自己像平面と一致するように設計される。1つの有用な指針として、それぞれの読み取りヘッド部分に対する自己像平面の範囲の操作可能な深さは、その読み取りヘッド部分に対する関連した自己像平面間の距離の1/6以下のオーダーであると仮定できる。その代わりに、範囲の操作可能な深さ、および/または読み取りヘッド部分に対して十分な自己像の可視性を与えるように操作可能な平面は、実験的に決定できる。

10

【0043】

更に異なる例示的实施形態では、各読み取りヘッド部分に対する操作可能な自己像ギャップは異なる。しかしながら、そのような実施形態では、各読み取りヘッド部分は、他の読み取りヘッド部分に対して、読み取りヘッド部分のz軸方向に沿って個別に配置されなければならない。この結果、読み取りヘッド全体が、対応するように選択された名目操作距離のスケールから離されるときに、各読み取りヘッド部分は、それぞれの自己像平面に配置される。例えば、そのような実施形態では、読み取りヘッド部分60, 60', 60"のそれぞれは、分離されたマスク基板を使用して、サブフェルール内に組み立てられ、続いて名目操作距離に対応した適切なそれぞれのzオフセットを有して、総読み取りヘッド40フェルール内に組み立てられる。

20

【0044】

上述した時間多重および/または光学フィルタ処理型の実施形態のいずれかでは、他の現在既知のまたは将来開発される方法を使用してクロスオーバー光干渉を消去する他の実施形態に対すると同様に、総合的な読み取りヘッドの設計が、種々の読み取りヘッド部品の物理的サイズによって許容されるように小型化される点が理解されるべきである。よって、好適に選択されたファイバサイズによれば、種々の例示的实施形態において、総合的な読み取りヘッドの直径を2.5 mm, 1.8 mm, 1.25 mmあるいはそれ以下に小さくできる。

30

【0045】

図2は、本発明によって形成された1つの例示的2次元スケールパターンPATから生じた自己像を、その自己像に対する1つの例示的操作位置における2つのそれぞれの読み取りヘッド部分の直交指向された位相マスクセグメントと共に示す。図2は、その右下に部分的に再生された等角図によって示されるように、概ね図1に示された2次元光ファイバ読み取りヘッド構成20に対応する。図2は、照明範囲256内で名目自己像平面から生じた自己像を、より詳細に示している。図2に示された実施形態では、2つのそれぞれの読み取りヘッド部分60および60'の2つのそれぞれの位相マスク部分120Bおよび120B'は、それぞれ異なる直交した方位に設けられている。換言すれば、位相マスク部分120Bは、垂直に指向された格子バー要素(即ち、空間フィルタ処理バー)を含むのに対し、位相マスク部分120B'は、水平に指向された空間フィルタ処理バーを含む。上述したように、また以下で更に詳細に説明するように、位相マスク部分120Bは、読み取りヘッド部分60で使用されて、測定軸82に沿った移動に対する測定値を与える。これに対し、位相マスク部分120B'は、読み取りヘッド部分60'で使用されて、測定軸83に沿った移動に対する測定値を与える。

40

50

【 0 0 4 6 】

自己像 S I を生じるスケール 9 0 上の 2 次元スケールパターン P A T は、1 つの実施形態では、透明または非反射性の背景または基板 9 5 上に反射性の四角形として形成される。代替実施形態では、2 次元スケールパターン P A T は、反射性の背景または基板 9 5 上に透明または非反射性の四角形として形成される。そのようなスケールは、既知の薄膜プロセス技術等によって組み立てられる。そのような技術は、種々の市販の 1 D 格子スケールを組み立てることに使用されている。この発明の原理に従って使用可能な方法を使用して組み立てられた同様の 2 次元スケールもまた、従来のエンコーダ読み取りヘッドを使用する 2 次元エンコーダ製品の一部として従来から既知であり、また市販されている。

【 0 0 4 7 】

種々の例示的实施形態において、2 次元スケールパターン P A T は、正確に配列された行および列の規則性パターンに配置された四角いパターン要素を備える。種々の例示的实施形態において、この行および列は、それぞれの方向に沿って同じ格子ピッチで配置されている。そのような実施形態では、2 次元スケールパターン P A T は、図 2 に模式的に示された自己像 S I と本質的に同じに見える。しかしながら、ここで認められるべき点は、種々の例示的实施形態では、パターン要素が他の便利な形状、例えば矩形、円形等を有することができ、また行および列はそれぞれの方向に沿って同じ格子ピッチで配置される必要がないという点である。

【 0 0 4 8 】

異なる他の実施形態では、種々の位相マスク部分の格子バー要素の方位と、2 次元スケールパターン P A T の行および列の方位が、相互に操作可能な組み合わせで選択される場合、例えば、格子バー要素の方位がそれらの対応する行または列の方位と平行な場合、2 次元スケールパターン P A T の行および列は、相互に直交している必要はない。しかしながら、ここで認められるべき点は、そのような構成では、直交した軸に沿った運動から生じる信号が独立したものとはならない、という点である。従って、そのような実施形態は、この発明の原理に従って 2 次元位置測定値を決定するために、より多くの複雑な信号処理を必要とする。そうでなければ、限られた数の特別な応用に対してだけ好適なものとなる。例えば、そのような特別な応用は、エンコーダの非直交軸に一致する 2 つの非直交軸に沿った運動が優勢である応用を含む。

【 0 0 4 9 】

上述し更に以下で詳細に説明するように、2 次元スケールパターン P A T が操作可能に照明されたときに、自己像 S I は名目自己平面に生じる。ここで認められるべき点は、図 2 に示したものは理想であって、実際には、自己像 S I は一般的にこのように高度に分解されてはいないが、それでもこの発明の目的に対しては依然として操作可能であるという点である。具体的に認められるべき点は、種々の例示的实施形態では、操作可能な自己像は、自己像 S I がある程度意図的に脱焦された自己像を含むように、解析または実験によって選択されるということである。そのような実施形態では、自己像 S I の種々の行および列に沿った光の分布強度は、三角形、台形、その他の非正弦変化ではなく、この発明による種々の例示的实施形態において測定精度を強化するに望ましいほぼ正弦変化を呈する。ここでまた認められるべき点は、いくつかの使用可能な自己像平面では、自己像 S I は 2 次元スケールパターン P A T の「ネガ」となる、という点である。即ち、自己像 S I の使用可能な平面において、明るい領域は暗くなり、暗い領域は明るくなる。それ故、自己像パターン S I、および 2 次元スケールパターン P A T 自体も、この発明が依然として動作可能な種々の実施形態において、逆「極性」になる。上述し図 2 に示された種々のパターンと自己像は、それ故、異なる種々の実施形態を表す。そして、このパターンと自己像の極性および関係は、説明することを意図したもので、制限するものではない。

【 0 0 5 0 】

上述したように、異なる方位に設けられた位相マスク 1 2 0 および 1 2 0 ' は、図 2 の位相マスク部分 1 2 0 B および 1 2 0 B ' によって表されるように、それぞれの方向に沿って自己像 S I を空間フィルタ処理する。位相マスク部分 1 2 0 B および 1 2 0 B ' は、

10

20

30

40

50

マスクピッチ P_m および P_m' でそれぞれ配置された空間フィルタ処理バーを有する。種々の例示的实施形態では、それぞれの空間フィルタ処理方向に沿って、マスクピッチ P_m は自己像ピッチ P_{s_i} と名目的に同じであり、マスクピッチ P_m' は自己像ピッチ P'_{s_i} と名目的に同じであり、そして空間フィルタ処理バーは、対応するマスクピッチの $1/2$ の幅を有する。図 2 に示す実施形態では、自己像ピッチは、両方向に同じ、即ち $P'_{s_i} = P_{s_i}$ である。種々の例示的实施形態では、空間フィルタ処理バーは、他の選択された幅または幅の組み合わせを有することがある。これは、それぞれの位相マスクがそれぞれの測定軸に沿って自己像 SI に対し移動するときを生じる信号中の空間フィルタ処理の高調波を低減するためである。

【 0 0 5 1 】

図 1 の完全な位相マスク 120 に関して、以下で更に詳細に説明するように、種々の例示的实施形態では、それぞれの位相マスク部分 120A, 120B, 120C は、自己像 SI のピッチ P_{s_i} に対し測定軸 82 に沿ってそれぞれの空間位相位置 0° , 120° および 240° に配置され、3 相の光信号のセットを生成する。それぞれの位相マスク部分 120A', 120B', 120C' は、測定軸 83 に沿って同様に配置される。

【 0 0 5 2 】

図 2 に示されるように、位相マスク部分 120B が自己像 SI に対して水平に（測定軸 82 に沿って）移動されるときに、位相マスク部分 120B の空間フィルタ処理バーは、自己像パターン SI の明暗要素の種々の列を横切って移動する。ここで認められるべき点は、測定軸 82 に沿った種々の異なる位置で、空間フィルタ処理バーは、自己像パターン SI の明るい要素によって与えられる異なる量の光を遮るといふ点である。かくして、位相マスク部分 120B が自己像 SI に対して水平に（測定軸 82 に沿って）移動されるときに、位相マスク部分 120B によって伝達される光に対応した正味の光信号は、自己像ピッチ P_{s_i} に対応した周期的な変化を受ける。同様に、位相マスク部分 120B' が自己像 SI に対して垂直に（測定軸 83 に沿って）移動されるときに、位相マスク部分 120B' の空間フィルタ処理バーは、自己像パターン SI の種々の行を横切って移動して、自己像ピッチ P'_{s_i} に対応した周期的な変化を受ける同様な正味の光信号を与える。種々の例示的实施形態では、これらの周期的変化がそれぞれ測定軸 82 および 83 に沿う変位のほぼ理想的な正弦関数となるように、この発明の原理による読み取りヘッドは構成される。この構成は、従来既知であり且つ組み入れられた 312 号出願で教示されているよ

【 0 0 5 3 】

ここで認められるべき点は、読み取りヘッド部分 60 の種々の位相マスク部分、例えば位相マスク部分 120B は、測定軸 82 に沿って与えられた位置におけるそれらの正味の光信号が、測定軸 83 に沿った直交運動によってはほぼ不変であるように構成されている、という点である。例えば、種々の例示的实施形態では、空間フィルタ処理バー間の開口の、測定軸 83 の方向に沿った有効長は、独立にまたは組み合わせられて、自己像ピッチ P'_{s_i} の整数倍と名目的に等しくされる。同様に、読み取りヘッド部分 60' の種々の位相マスク部分、例えば位相マスク部分 120B' は、測定軸 83 に沿って与えられた位置におけるそれらの正味の光信号が、測定軸 82 に沿った直交運動によってはほぼ不変であるように構成される。

【 0 0 5 4 】

ここで認められるべき点は、組み入れられた 312 号出願で開示された 1D 読み取りヘッドおよびスケールの実施形態と比較して、ここで開示される 2次元読み取りヘッドおよびスケールの実施形態の種々の検出器チャネルについて、測定軸 82 および 83 のそれぞれに沿った測定値に対する相対信号対雑音比は、典型的な 1D スケールに沿ってなされる同様の測定値に対するものより低いものとなるという点である。この違いは、次の理由によって生じる。即ち、2次元スケールパターン PAT が結果の自己像 SI を生じさせるときに、図 2 に示された「四角形」のパターン要素が空間フィルタ処理バー間の開口面積の

10

20

30

40

50

最大50%を名目的に満たすことができないようにするからである。これに対し、典型的な1Dスケールに対応した「バー」パターン要素は、その開口の100%を名目的に満たすことができる。かくして、図2に示された実施形態の2次元スケールパターンPATによって与えられる正弦信号変化は、典型的な1Dスケールによって与えられる正弦信号変化の名目的に1/2となる。考慮すべき関連した設計事項は、2次元パターンの比較的小さい要素、例えばここで開示された2次元パターンPATの小さいパターン要素が反射性である反射型2次元スケールを使用する実施形態では、出力信号のDC成分は、典型的な1Dスケールから求められる出力信号のDC成分よりも実質的に大きくなる。しかしながら、2次元パターンの比較的大きな比率が反射性である反射型2次元スケールを使用する実施形態では、出力信号のDC成分は、実質的に大きくなる。

10

【0055】

図3は、この発明による2次元光ファイバ読み取りヘッド構成20Aの第2の包括的実施形態を示す。図3の読み取りヘッド構成は、図1のそれと同じであるが、図3に示されるように3つの読み取りヘッド部分60、60'、60"が小型な構成に配置されている点で異なる。図3に示された実施形態では、読み取りヘッド部分60、60'は、図1および2を参照して既に説明されており、また読み取りヘッド部分60"は、読み取りヘッド部分60と構成および方位が同じである。読み取りヘッド部分60"は、概ね測定軸方向83に沿って読み取りヘッド部分60と整列されている。他の点では、読み取りヘッド構成20および20Aの同様に番号付けされた要素は、同様に構築され、同様に機能する。

20

【0056】

不整合、特にヨー不整合に対して強化されたエラー強さのために、読み取りヘッド部分60および60"は、以下のように、「バランスされた対」の構成に配置されている。ここで認められるべき点は、読み取りヘッド20Aがスケール90に対するヨー不整合を有しているときに、読み取りヘッド部分60および60"の対称構成は、大きさが等しく逆向きのオフセット量によって、それぞれの読み取りヘッド部分からの位置測定値を、読み取りヘッド部分60および60"の有効中心の間にある線82A上の点CENTERの名目的位置に対して、名目的に異なるものにするという点である。ここで認められるように、種々の実施形態では、線82Aは、測定軸82に平行であって、読み取りヘッド部分60および60"の有効中心と一致する。かくして、読み取りヘッド部分60および60"のそれぞれからの適切な信号が平均化される場合、大きさが等しく逆向きのオフセット量は、理想的には互いに補償しあって、ヨー不整合の影響をなくし、点CENTERの位置に対応する測定軸82に沿った信頼性の高いヨー不感性の位置測定値を与える。

30

【0057】

さらには、読み取りヘッド部分60および60"の有効中心間の既知の間隔がそれらの位置測定値の一方を他方から引くことによって与えられると、ヨー不整合の量が決定できる。決定されたヨー不整合は、点CENTERから線82Aまでの既知の間隔と組み合わせられる。線82Aは、読み取りヘッド部分60'の有効中心と一致する。これにより、ヨー不整合による読み取りヘッド部分60'の有効中心のオフセット量が、線83A、即ち測定軸83に沿って決定される。線83Aに沿ったオフセットが、読み取りヘッド部分60'の対応する位置測定値から引かれると、その結果は、ヨー不整合の影響をなくして、点CENTERの位置に対応する測定軸83に沿った信頼性の高いヨー不感性の位置測定値を与える。

40

【0058】

図3に示された実施形態は、このようにして、3つの読み取りヘッド部分を有した超小型のヨー不感性的2次元光ファイバ読み取りヘッド構成を示している。実際の読み取りヘッドの製造および組立に関して、図3に示された3つの読み取りヘッド部分の構成は、図1に示されたように構成された2つの読み取りヘッド部分に使用される読み取りヘッド径とほぼ同じか、それよりも極めて僅かに大きな読み取りヘッド径内に含まれる。従って、種

50

々の例示的实施形態では、図1を参照して上述されたものと同様の多数の設計要因に依存して、読み取りヘッド20Aの総径は、およそ7mm、5mm、3mmまたはそれ以下の小さなものとされる。

【0059】

ここで認められるべき点は、種々の例示的实施形態では、図3に示された実施形態に対するヨー補償の先の説明によって達成される正味の効果は、種々の異なる信号の組み合わせおよび/または信号処理動作のシーケンスによっても達成されるという点である。かくして、先の説明は例示のためであって、制限するものではない。

【0060】

ここで認められるべき点は、種々の例示的实施形態では、読み取りヘッド20Aが、追加の読み取りヘッド部分60'を含むことができるという点である。この部分60'は、読み取りヘッド部分60'と構造および方位が等しく、概ね測定軸82に沿って読み取りヘッド部分60'と整列され、且つ点CENTERを挟んで対称的に配置されている。そのような実施形態では、読み取りヘッド部分60'および60'からの位置測定値は、点CENTERの位置にも対応した測定軸83に沿った信頼性の高いヨー不感性の位置測定値を与える代替法として、読み取りヘッド部分60'および60'について前述したものと類似の手法で処理される。かくして、この発明によるヨー不感性読み取りヘッドの種々の例示的实施形態について、図3に示された読み取りヘッド構成20Aは例示的なものであって、制限するものではない。

【0061】

図4は、図3の読み取りヘッド構成の部分的な分解等角図である。図4に示すように、読み取りヘッド構成20Aにおいて、読み取りヘッド部分60は、3つの光ファイバ受信器チャンネル190A、190B、190Cに対応している。光ファイバ受信器チャンネル190Aは、受信器チャンネル開口110Aと、位相マスク120Aと、受信器光ファイバ130Aとを含む。受信器チャンネル開口110Aは、位相マスク120Aの後に配置されている。同様に、光ファイバ受信器チャンネル190Bは、受信器チャンネル開口110Bと、位相マスク120Bと、受信器光ファイバ130Bとを含む。同様に、光ファイバ受信器チャンネル190Cは、受信器チャンネル開口110Cと、位相マスク120Cと、受信器光ファイバ130Cとを含む。

【0062】

各光ファイバ受信器チャンネル190について、位相マスク120は、回折格子を有する。この格子は、受信器チャンネル開口110を完全にカバーして、到来する照明に対する空間フィルタとして作用する。以下で更に詳細に説明されるように、位相マスク120および120'は、位相マスク120'とは異なる方位を有する。受信器光ファイバ130は、受信器チャンネル開口110と整列されている。これは、受信器チャンネル開口110によって受信された全ての照明が名目的に受信器光ファイバ130に指向され、光信号191を出力するようにするためである。種々の例示的实施形態では、受信器チャンネル開口110は、単に受信器光ファイバ130の平坦な端面である。種々の他の例示的实施形態では、受信器チャンネル開口110は、受信器光ファイバ130の形付けられた端面である。種々の他の例示的实施形態では、受信器チャンネル開口110は、小型な屈折性または回折性のレンズである。このレンズは、受信器チャンネル開口110を通して到来する照明を集め、その光を集中し、その光を受光するために効果的に整列されている受信器光ファイバ130の端部に指向させる。組み入れられた312号特許に記載されている理由によって、種々の例示的实施形態では、各受信器チャンネル開口110は、関連した位相マスク120の少なくとも1完全周期またはピッチを跨ぐ。これは、位相マスク120の遮光要素に対する受信器チャンネル開口110の集光領域の位置決めに関して、受信器チャンネル開口110に入射する光信号の位相を、少なくとも幾分かは非反応的にするためである。種々の例示的实施形態では、各受信器チャンネル開口110は、関連した位相マスク120の少なくとも3完全周期またはピッチを跨ぐ。これは、受信器チャンネル開口110の位置決めに関して、受信器チャンネル開口110に入射する光信号の位相を、より反応的ではなくするため

10

20

30

40

50

ある。より一般的には、受信器チャネル開口 110 によって跨がれる位相マスク 120 の周期が多いほど、受信器チャネル開口 110 に入射する光信号の位相は、その位置決めに関して、より反動的ではなくなる。各光ファイバ受信器チャネル 190 の受信器チャネル開口 110 と、位相マスク 120 と、受信器光ファイバ 130 の端部は、接着剤や他の好適な方法によって、互いに固定された関係に締結される。

【0063】

受信器チャネル開口 110 の位置は、光ファイバ受信器チャネル構成のチャネル構成中心 157 を参照して便利に説明される。この発明の高精度光ファイバ読み取りヘッドの種々の実施形態では、チャネル構成中心 157 は、この光ファイバ受信器チャネル構成に対して示された照明範囲の名目中心と一致するように位置決めされている。各受信器チャネル開口 110 A ~ 110 C の有効中心は、チャネル構成中心 157 からのそれぞれの位置半径に配置されている。受信器開口位置半径は、ここでは一般的に R_{AL} として示される。この発明の目的のために、受信器チャネル開口 110 が明瞭な幾何学的中心を有しない種々の実施形態では、有効中心は開口面積の重心としてとられる。

10

【0064】

有用な受信器開口位置半径と、開口面積は、以下に図 6 ~ 8 を参照して詳細に論ぜられるこの発明の原理に従って決定される。種々の例示的实施形態では、各読み取りヘッド部分 60 について、受信器チャネル開口 110 は同じであり、またそれらの位置半径は同じである。一般的に、同じ光ファイバ受信器チャネル 190 をこの発明による 2 次元光ファイバ読み取りヘッドに使用することで、単純な構成、単純な信号処理、および比較的高い測定精度が可能になる。しかしながら、より一般的には、受信器チャネル開口 110 および/またはそれらの位置半径は、この発明による種々の例示的实施形態では、同じである必要はない。

20

【0065】

光ファイバ受信器チャネル 190 は、一般に互いに固定された関係に配置される。特に、各読み取りヘッド部分 60 について、各光ファイバ受信器チャネル 190 の位相マスク 120 の格子は、名目的には共平面にあり、そして受信平面 160 (図 1 参照) に関して互いに特別な空間位相関係に固定されている。以下で更に詳細に説明されるように、位相マスク 120 および 120' は、位相マスク 120'' とは異なる空間フィルタ処理方位を有する。種々の例示的实施形態では、位相マスク 120 は、それらを単一マスク基板上に組み立てることによって、互いに特別な空間位相関係に固定されている。

30

【0066】

図 1, 3, 4 は、単一マスク基板を使用した単一フェルール 40 に読み取りヘッド部分 60, 60', 60'' をそれぞれ示しているが、ここで認められるべき点は、この発明による種々の例示的实施形態では、読み取りヘッド部分 60, 60', 60'' のそれぞれは、312 号出願に開示されているように、分離された要素として組み立てることができるということである。例えば、読み取りヘッド部分 60, 60', 60'' のそれぞれは、分離されたマスク基板を使用したサブフェルールに組み込まれ、さらにこの発明の原理に従ってフェルール 40 と同様の総合フェルール内に組み立てることができる。そのような実施形態で認められるべき点は、読み取りヘッド部分 60, 60', 60'' のそれぞれについて、受信器平面 160 は、図 1 を参照して上述したように、自己像平面 256 と一致するように配置されるという点である。しかしながら、以下で更に概略説明されるように、各平面が最終的な名目操作ギャップと矛盾しないように個別に設計され、組み立てられ、そしてその操作ギャップが実際の搭載および操作期間に十分良好に制御されるならば、個別の読み取りヘッド部分の全てについて、これらの平面が同じ平面として設計され、組み立てられることは、厳密には必要とされない。

40

【0067】

どの場合も、既に概略説明したように、読み取りヘッド部分 60 のそれぞれは、2 次元スケールパターン PAT の格子構造の自己像を与えるように配置される。タルボット像としても知られる自己像の基本原理は周知であるので、ここでは詳細に説明されない。1つ

50

の古典的分析は、カウレイ(Cowley, J.M.)とムーディー(Moody)の論文(A.F., 1957, Proc. Phys. Soc. B, 70, 486)に示されている。この論文は、参照によりここに組み入れられる。図4に示すように、自己像形成構成は、光源280と、そこから光源(ソース)ギャップだけ離れたスケール90とを有する。光源ギャップの寸法は、一般的に z_s で示されるか、あるいは光源ギャップと像(イメージ)ギャップが等しい場合には z で示される。スケール90は、測定軸82および83に沿って整列され、且つ、種々の実施形態では、それぞれ測定軸82および83に沿って精密に行および列に配置されたスケールパターン格子要素を有している。この格子要素は、ここでは一般的にスケール波長、格子周期、ピッチまたは格子ピッチとして示されるスケール格子周期 P_g および P_g' に従って測定軸82および83に沿って周期的に配設されている。2次元スケールパターンPATの種々の特徴は、図2に関連して先に論議されている。

10

【0068】

図4に示されるX, YおよびZ軸は、スケール90の平面を基準にして規定される。X軸はスケール90の平面と測定軸82に平行であるのに対して、Y軸はスケール90の平面と測定軸83に平行である。X-Y平面はスケール90の平面に平行であるが、Z軸はこの平面に直交している。

【0069】

この照明範囲256は、照明範囲中心257と、名目照明範囲半径258とを有する。図2を参照して上述したように、自己像は、それぞれが測定軸82および83に沿って整列された明暗領域パターンからなる像である。この明暗領域は、図4に示されたように、スケール格子周期 P_g および P_g' に対応した自己像周期または自己像ピッチ P_{si} および P'_{si} として一般的に示されるそれぞれの自己像周期に従って、測定軸82および83と平行な方向に周期的である。

20

【0070】

自己像形成構成では、自己像平面は、スケール90の平面に平行である。ここで認められるべき点は、自己像が、特別な組の自己像平面の空間内に局在化されるものであるということである。事実上光源280が点光源であり、且つその構成がほぼ図4に示されたものであるとき、「位相内」像および「反転」像の双方を含んだ、使用可能な自己像平面に対する自己像条件は、

【0071】

【数1】

$$\frac{z_s z}{z_s + z} = 2v \frac{P_g^2}{\lambda} \quad (\text{Eq. 1})$$

30

【0072】

であり、また格子ピッチ P_g に対する像ピッチ P_{si} の大きさに対する自己像条件は、

【0073】

【数2】

$$P_{si} = \frac{z_s + z}{z_s} P_g \quad (\text{Eq. 2})$$

40

【0074】

である。ここで、

$$= 0, 1, 2, \dots,$$

z_s は光源ギャップ、

z は像ギャップ、

λ はソース光の波長である。

【0075】

50

かくして、図4に示した構成について、 $z = z_s$ により、使用可能な自己像平面は、 $2P_g^2 / \lambda$ の整数倍に配置され、また像ピッチ P_{s_i} は、格子ピッチ P_g の2倍になり、更に像ピッチ P'_{s_i} は、格子ピッチ P'_g の2倍になる。

【0076】

一般に、種々の例示的实施形態では、スケール格子周期 P_g および P'_g は、等しくされるか、ほぼ等しくされる。しかしながら、このことは厳密に必要ではない。種々の例示的实施形態において、有意に異なるスケール格子周期 P_g および P'_g が使用される場合に認められるべき点は、その異なるスケール格子周期は、相互依存的に選択されなければならないということである。しかも、読み取りヘッド20Aは、ほぼ自己像形成ギャップに配置されなければならない。この自己像形成ギャップは、全て数式(1)に関係した上述の論議で説明された設計要因と考慮すべき事項に従って、スケール格子周期 P_g および P'_g の双方に対して十分な自己像可視性を与えるように操作可能なものである。前述したように、1つの有用な指針として、自己像平面の範囲の操作可能な深さは、関連する自己像平面間の距離のおよそ1/6のオーダーであると仮定される。その代わりに、範囲の操作可能な深さ、および/またはスケール格子周期 P_g および P'_g に対して十分な自己像可視性を与えるように操作可能な平面は、実験的に決定される。ここで認められるべき点は、種々の例示的实施形態において、個別の読み取りヘッド部分もまた有意に異なる波長の光を使用して、有意に異なるスケール格子周期に対して実質的に同様または同一である自己像平面を達成するために、追加的度合いの設計自由度を与えるということである。

【0077】

ここで認められるべき点は、自己像平面間の平面に位置して、一般にフレネル像として知られる像も存在することである。位相マスク120のピッチが選択されたフレネル像のピッチと一致するように調整されている限り、この発明の原理に従って、フレネル像は、自己像として使用でき、またここで使用される自己像という用語の範囲内に包含される。フレネル像の特徴は、パトロスキーの論文(Krzysztof Patorski, The Self-Imaging Phenomenon and Its Applications, Progress in Optics, ed. E. Wolf, 27, 3-108, North Holland, Amsterdam 1989)を参照することによって、理解し、適用することができる。

【0078】

この発明による種々の他の実施形態では、2次元スケール90は、スケールからの0次反射が抑制されるように特別に構築された反射位相格子型スケールである。位相格子の自己像がエンコーダに使用できなくとも、他の使用可能な像が利用可能である。それは、上記分析における振幅格子のような振幅格子と共に利用可能である場合よりも強い信号を与えるものである。ここで認められるべき点は、そのような実施形態にとって、使用可能な像の位置は、上記分析によれば、自己像の位置から変位しているということである。最も使用可能な像平面間の距離は、上記分析と同様である。ただし、所定の追加的なオフセットが、スケールと第1の使用可能な像平面との間のギャップに存在する。このオフセットは、使用可能な像平面間の距離の半分である。例えば、 $z = z_s$ の反射型構成でソース波長780nmの20ミクロン周期の位相格子は、名目ギャップ $z = 0.513 + n \cdot 1.026$ mm、 $n = 1, 2, 3, \dots$ で使用可能な(順次逆になる位相を有した)像平面を有する。この場合、マスク厚さおよびスケール基板厚さの可能なオフセットは、無視されている。ギャップを最良な動作に調整するために必要なオフセットは、種々の動作中のギャップにおける光ファイバ受信器チャネルの信号を観察することによって、実験的に簡単に決定される。その代わりに、適切な分析やシミュレーションを追加的オフセットの決定に使用することもできる。

【0079】

この発明による種々の例示的实施形態において、光源280の特に単純で効果的な実施形態は、照明ファイバ170によって例示されるように、離れた位置のレーザダイオードや他の好適な光源から与えられるコヒーレントな光を送信する単一光ファイバの端部である。種々の他の例示的实施形態において、光源280は、精密な間隔で配置された2以上の光源である。更に他の種々の例示的实施形態において、光源280は、離れた位置のL

10

20

30

40

50

DやLEDあるいは他の好適な光源からの光を送信する1以上の光ファイバの端部に配設されたソース格子開口の周期的アレイである。ソース格子の開口は、指定された幅と、指定された周期とを有する。更に他の例示的实施形態では、光源280は、2次元光ファイバ読み取りヘッド内に含まれた微小固体レーザ要素や、そのような要素のアレイ、またはソース格子と微小LED要素とによって提供される。このような場合に認められるべき点は、読み取りヘッド構成がより複雑且つコスト高になり、全光学式読み取りヘッドの利益の少なくとも一部が損なわれるということである。しかしながら、そのような場合でさえも、この発明による全光学式受信器チャンネル構成を組み入れた読み取りヘッドの利益の少なくとも一部は残り、また他の利益も得られる。

【0080】

図4に示すように、光源280は、ソース光250を概ねソース光軸251に沿って放射する。このソース光250は、ソースギャップに等しい距離 z を進行して、スケール90上の2次元スケールパターンPATを照明スポット253で照射する。照明スポット253は、スケール光軸255に沿ったスケール光254として、光を反射する。図4に示された実施形態では、ソース光軸251とスケール光軸255は、Z軸に平行であって、相互に一致している。スケール光254は、イメージギャップに等しい距離 z を進行し、自己像平面265に至る(図1参照)。自己像平面265において、スケール光254は、前述したように、それぞれの自己像ピッチ P_{s_i} および P'_{s_i} の明暗領域からなる自己像266を含んだ照明範囲256を与える。

【0081】

図1を参照して前述した受信器平面160は、自己像平面265と名目的に一致するように配設される。ここで認められるべき点は、実際には自己像が、前述した「完全な」自己像平面に隣接した「あまり集束されていない」平面に存在するという点である。いくつかの例示的实施形態では、受信器は、そのような「あまり集束されていない」自己像平面と名目的に一致するように、意図的に配設され、そして十分なまたは所望の像が依然としてこの発明の原理に従って検出される。例えば、自己像266内の不必要な高次空間高調波要素を抑制するために、そのような「あまり集束されていない」自己像平面は、意図的に選択される。チャンネル配置中心157もまた、名目的に照明範囲中心257と整合される。ここで認められるべき点は、この実施形態の2次元光ファイバ読み取りヘッド構成では、光源280もまた名目的に照明範囲中心257と整合されていることである。全ての部品の整合は、整合穴セット304と整合部分305を使用することによって、種々の実施形態において容易に達成される。これらは、位相マスク120A~120Cに最も近接して配置されて整合し、そして必要数の受信器ファイバ穴を有し、また適用可能であれば、光源ファイバ穴を有する。整合穴セット304は、フェルール40A内に挿入される板に設けられるか、あるいはフェルール40Aに直接設けられた穴によって与えられる。いずれの場合も、種々のファイバ端は、適切な穴に挿入、固定されて必要な整合を与える。種々の例示的实施形態において、受信器光ファイバ130A, 130B, 130Cは、位相マスク120を担持する要素を組み立てる前に、整合穴セット304を含む要素の端部と面一に研磨される。そのような実施形態では、整合穴セット304が直接フェルール40A内に設けられる場合、位相マスク120を担持する要素を囲むフェルールの部分は、省略されるか、後に追加される保護リングチューブと交換される。図4は、整合穴セット304と整合部分305を示している。整合穴セット304は、位相マスク120の近くに位置決めされるべきもので、図示の「分解」位置にはない。整合部分305は、種々の実施形態で適用可能であるならば、受信器ファイバ穴306とソースファイバ穴307とを有する。

【0082】

名目的に整列された受信器平面160と自己像平面265において、各光ファイバ受信器チャンネル190に対し、それぞれの位相マスク120は、到来する自己像照明を空間フィルタ処理する。図4に示された例示的实施形態では、位相マスク120A, 120B, 120Cはそれぞれ、自己像ピッチ P_{s_i} と等しいマスクピッチ P_m を有して、自己像2

10

20

30

40

50

66を基準に0度、120度、240度の空間位相位置に配置されている。かくして、光ファイバ受信器チャンネル190A、190B、190Cは、異なる空間位相差で同様に空間フィルタ処理された照明を受光する。スケール90がそれぞれの測定軸に沿ってインクリメント P_g または P'_g だけ移動すると、自己像が位相マスク120に対してインクリメント P_{s_i} または P'_{s_i} だけ移動することが理解されるであろう。かくして、光ファイバ受信器チャンネル190A、190B、190Cに対応する光信号191A、191B、191Cは、スケール90がそれぞれの測定軸82に沿って移動するとき、120度の相対位相変移を伴ったほぼ同じ正弦強度変化を示す。図4に示すように、読み取りヘッド部分60の位相マスク120は、読み取りヘッド部分60'の位相マスク120'と同様に指向されている。これに対し、読み取りヘッド部分60'の位相マスク120'は、読み取りヘッド部分60および60"の位相マスク120および120"に直交するように指向されている。かくして、読み取りヘッドが測定軸82に沿って移動されるとき、読み取りヘッド部分60および60"は、位相マスク120および120"との組み合わせで、対応する変位測定信号を与える。一方、読み取りヘッドが測定軸83に沿って移動されるとき、読み取りヘッド部分60'は、位相マスク120'との組み合わせで、対応する変位測定信号を与える。上述したように、位相マスク120A、120B、120Cのそれぞれに対応する光ファイバ受信器チャンネル190A、190B、190Cは、2次元スケール90が測定軸82に沿って移動するとき、ほぼ同一の正弦強度変化を示す。位相マスク120A、120B、120Cに対するスケール90の変位を、そのような「3相」変位信号に基づいて決定するために、周知の方法が利用可能である。1つの例示的方法は、312号出願に記載されている。特に、本発明の1つの例示的实施形態では、読み取りヘッド部分60の3つの光信号191A、191B、191Cは、312号出願に記載されている例示的方法によって処理され、2つの求められた矩象信号値 Q_1 および Q_2 を決定することができる。より一般的には、読み取りヘッド部分60、60'、60"のそれぞれからの3つの光信号のそれぞれを同様に処理して、それぞれの求められた矩象信号値 Q_{1_i} および Q_{2_i} を生ずることができる。ここで、 i は、解析される特別なスケールトラックに対応した下付き文字である。以下の論議では、例えば、読み取りヘッド部分60'に対しては $i=1$ 、読み取りヘッド部分60に対しては $i=2$ 、読み取りヘッド部分60"に対しては $i=3$ である。それぞれの場合に、 2 を法とする2独立変数アークタングェント関数を使用して、2つの求められた矩象信号値 Q_{1_i} および Q_{2_i} を処理し、2次元スケールパターンPATの波長または周期内の現在の位相位置 ϕ_1 を決定することができる。

【0083】

【数3】

$$\phi_i = \text{atan2}(Q_{1i}, Q_{2i}) \quad (\text{Eq. 3})$$

【0084】

数式(3)に示された2独立変数「atan2」関数は、利用可能であって、しかも公に利用可能な多数の数学プログラムに記載されている。この関数の結果は、ラジアンで表した Q_1/Q_2 のアークタングェントとなる。しかしながら、2独立変数の使用は、結果として生ずる角度の象限の決定を可能にする。則ち、その結果は、 $-\pi/2$ および $+\pi/2$ ではなく、 $-\pi$ および $+\pi$ の間となる。それぞれの測定軸に沿って、2次元スケール90およびそれぞれの読み取りヘッド部分は、2次元スケール90の1波長または周期 \times それぞれの波長 \times 現在のそれぞれの位相位置 ϕ_1 内の位置測定値を与えるように使用できる。変位中に、累積された波長の数が既知の方法によって計数され、長い範囲にわたる変位および/または位置測定値を与える。1つの例示的实施形態では、2次元スケール90のそれぞれの波長は、8.00ミクロンに等しい。種々の他の例示的实施形態では、2次元スケール90のそれぞれの波長は、約4~約40ミクロンの範囲から選択される。種

々の例示的实施形態では、それぞれの波長は、等しくない。

【 0 0 8 5 】

かくして、図 4 に示された例示的な 2 次元光ファイバ読み取りヘッド構成 2 0 A は、この発明による種々の 2 次元光ファイバ読み取りヘッドで使用可能な 2 次元変位測定システムを提供する。当業者によって認められるように、図 4 に示された反射型 2 次元光ファイバ読み取りヘッド構成は、その対として透過型 2 次元光ファイバ読み取りヘッド構成を有する。その場合、光源 2 8 0 は、Z 軸に沿って透過型スケールの反対側に同じ距離だけ離れて配置され、光源 2 8 0 とスケールのスケールトラックとの間に同じソースギャップを作る。

【 0 0 8 6 】

例示的な絶対位置光ファイバ読み取りヘッド構成 2 0 A は、3 相測定システムを提供する。しかしながら、位相マスク 1 2 0 の代替実施形態は、3 1 2 号出願で説明されているように、光受信器チャネル 1 9 0 の対応する代替構成と共に、包括的な光ファイバ読み取りヘッド構成で使用可能であるという点が理解されるであろう。

【 0 0 8 7 】

図 5 は、2 次元光ファイバ読み取りヘッド 4 0 0 によって包括的に代表される、この発明による 2 次元光ファイバ読み取りヘッドに関連して使用可能な包括的な遠隔電子インターフェースユニット 4 0 5 を含むブロック図である。この遠隔電子インターフェースユニット 4 0 5 は、信号処理および制御部 4 9 3 と、光学レンズを含むことがある光源 4 7 7 と、実施形態固有の複数の光検出器 / アンプ 4 9 2 A ~ 4 9 2 n , 4 9 2 A ' ~ 4 9 2 n ' および 4 9 2 A " ~ 4 9 2 n " とを備える。光源 / レンズ 4 7 7 は、光アイソレータ等の他の光学系を含むこともある。光源 / レンズ 4 7 7 と光検出器 / アンプ 4 9 2 A ~ 4 9 2 n は、それぞれ光源光ファイバ 4 7 0 および受信器光ファイバ 4 3 0 A ~ 4 3 0 n を通して、2 次元ファイバ読み取りヘッド 4 0 0 の読み取りヘッド部分 6 0 に結合されている。同様に、光源 / レンズ 4 7 7 と光検出器 / アンプ 4 9 2 A ' ~ 4 9 2 n ' は、それぞれ光源光ファイバ 4 7 0 ' および受信器光ファイバ 4 3 0 A ' ~ 4 3 0 n ' を通して、2 次元ファイバ読み取りヘッド 4 0 0 の読み取りヘッド部分 6 0 ' に結合されている。また、光源 / レンズ 4 7 7 と光検出器 / アンプ 4 9 2 A " ~ 4 9 2 n " は、それぞれ光源光ファイバ 4 7 0 " および受信器光ファイバ 4 3 0 A " ~ 4 3 0 n " を通して、2 次元ファイバ読み取りヘッド 4 0 0 の読み取りヘッド部分 6 0 " に結合されている。光源 / レンズ 4 7 7 は、単一ユニットとして描かれているが、種々の実施形態では、複数の分離された光源 / レンズが設けられる。特に、異なる読み取りヘッド部分が異なる照明波長を使用する種々の実施形態では、それぞれの異なる波長に対して、1 つの分離された光源 / レンズが設けられる。種々の他の例示的实施形態では、光源 / レンズ 4 7 7 は、1 以上の個別光源部品や、光源ファイバ毎に 1 つの光源アレイ、あるいは単一の光源を含む。この単一の光源は、複数のファイバに直接分配されるか、あるいは始めはシングルファイバに入力され、そこから「分割」ファイバへ分配される。種々の例示的实施形態では、「自己像」読み取りヘッド部分に光を与える光源光ファイバ 4 7 0 は少なくとも、シングルモードの光ファイバである。このシングルモードの光ファイバは、読み取りヘッドのケーブルの潜在的曲げや移動にかかわらず、改良された照明分布安定性を与えるものである。

【 0 0 8 8 】

光ファイバは、読み取りヘッドケーブル（図示せず）内でルート付けされている。このケーブルは、2 次元光ファイバ読み取りヘッド 4 0 0 と遠隔電子インターフェース部 4 0 5 との間の光ファイバを集め、保護するものである。単一の読み取りヘッドケーブルまたは複数の読み取りヘッドケーブルが使用される。この発明による種々の包括的な実施形態では、この読み取りヘッドケーブルは、数メートル以上の長さである。受信器光ファイバ 4 3 0 A ~ 4 3 0 n は、光信号 4 9 1 A ~ 4 9 1 n をそれぞれ搬送する。光信号 4 9 1 A ~ 4 9 1 n は、上述し更に以下で説明されるように与えられる位相信号である。同様に、受信器光ファイバ 4 3 0 A ' ~ 4 3 0 n ' は、光信号 4 9 1 A ' ~ 4 9 1 n ' をそれぞれ搬送する。また、受信器光ファイバ 4 3 0 A " ~ 4 3 0 n " は、光信号 4 9 1 A " ~ 4 9 1

10

20

30

40

50

n”をそれぞれ搬送する。

【0089】

光源/レンズ477は、信号処理および制御部493から電力を受け、また利得制御信号を受信する。上述したように、光源/レンズ477は、光源光ファイバ470、470'、470”を通して、2次元光ファイバ読み取りヘッド400へ、またスケール90のスケール格子パターン上に光を送信する。2次元光ファイバ読み取りヘッド400の光ファイバ検出器チャンネル、例えば上述した光ファイバ受信器チャンネル190A~190C等は、スケール90のスケール格子パターンからの光を受信して、信号491A~491nを出力する。これらの信号は、それぞれ光検出器/アンプ492A~492nに入力される。光検出器/アンプ492A~492nは、増幅された電子出力信号491Ax~491nxを信号処理および制御部493に与える。同様に、光検出器/アンプ492A'~492n'は、増幅された電子出力信号491Ax'~491nx'を信号処理および制御部493に与える。また、光検出器/アンプ492A”~492n”は、増幅された電子出力信号491Ax”~491nx”を信号処理および制御部493に与える。種々の例示的实施形態では、信号処理および制御部493は、上記に概略説明した数式および教示に従って、位置を決定する。

10

【0090】

やがて認められるように、以下で更に説明される種々の例示的实施形態では、この発明の光ファイバ読み取りヘッドは、合計される光信号を搬送する複数の光ファイバ受信器チャンネルを与える。そのような実施形態において、合計される光信号を搬送するファイバは、所望の信号合計処理を与えるために同じ光検出器/アンプ492へのインターフェースとなるか、あるいは追加的な信号処理の間に電子的に合計される信号を有した異なる光検出器/アンプ492へのインターフェースとなることができる。以下で更に説明される種々の例示的实施形態では、この発明による光ファイバ読み取りヘッドが、追加的な複数の光ファイバ受信器チャンネルを有した追加的な1以上の読み取りヘッド部分を与えることが認められるであろう。そのような実施形態において、対応する光信号を搬送する追加的なファイバは、信号処理用に所望の信号を与えるために、光源/レンズ477および同様の光検出器/アンプ492への同様の追加的な接続によって、インターフェースとなることができる。このように、図5に示す構成は、説明するためのものであって、限定するためのものではない。

20

30

【0091】

図6および7は、この発明による2次元光ファイバ読み取りヘッド構成20Bの第3の例示的实施形態を示す。この2次元光ファイバ読み取りヘッド構成20Bは、図4を参照して説明された包括的な2次元光ファイバ読み取りヘッド構成20Aと実質的に同様の動作をするものであり、また同様の部品を含んでいる。これらの構成および動作の同一性故に、2次元光ファイバ読み取りヘッド構成20Bの追加説明を必要とする形態だけが以下で記述される。

【0092】

図6および7に示すように、2次元光ファイバ読み取りヘッド構成20Bは、読み取りヘッド部分560、560'、560”を含んでいる。図7に最もよく示されているように、読み取りヘッド部分560は、前述した光ファイバ受信器チャンネル190と同様に動作する3つの光ファイバ受信器チャンネル590A~590Cの第1セットを含んでいる。ここで認められるべき点は、2次元光ファイバ読み取りヘッド構成20Bが、この発明による「バランスされた対」の2次元光ファイバ読み取りヘッド部分の第1例を提供するという点である。この発明によるバランスされた対の2次元光ファイバ読み取りヘッド部分を提供するために、各読み取りヘッド部分560~560”は、3つのバランスされた光ファイバ受信器チャンネル590Ax~590Cxの第2セットを含んでいる。これらは、図示されるように、照明範囲中心257を挟んで、それぞれの光ファイバ受信器チャンネル590A~590Cとは逆側に「バランスされた対」として配置されている。図7の光ファイバ受信器開口510上に示された番号の対1-1、2-2、3-3は、バランスされ

40

50

た対を示している。

【0093】

図6に示すように、読み取りヘッドハウジング500は、整合溝545を有した円筒形のフェルール540を含んでいる。このフェールの内径は、3つの穴541を含む。これらの穴は、3つの読み取りヘッド部分560のそれぞれにおいて、中心の光源ファイバ570と周辺の密集した受信器ファイバ530の回りに、僅かな締め込みで嵌合する。1つの例示的組立法では、平坦にされた端部を有するファイバは、後端からフェルール540に整合されて挿入され、そして搭載表面542を越えて僅かに突出するまで挿入される。それから、位相マスク要素561上に担持されているそれぞれの位相マスクセット520, 520', 520"は、顕微鏡下でファイバ端と整合され、搭載表面542と共平面に密接して結合されるように、ファイバ端に押し付けられる。これらのファイバはそれから、フェルールに、そして互いに結合される。その代わりに、搭載表面542は、フェルール540の端部と面一になされる。そして、平坦にされた端部を有するファイバは、後端からフェルール540に整合されて挿入され、そして搭載表面542を越えて僅かに突出するまで挿入される。その後、支持を与えるために、またファイバをフェルール540に固定するために、接着剤がファイバの端部の回りに塗布される。それから、ファイバと接着剤は、搭載表面542と面一またはほぼ面一となるように、細かく研磨される。しかる後、位相マスク要素561上に担持されているそれぞれの位相マスクセット520, 520', 520"は、顕微鏡下でファイバ端と整合され、ファイバ端に押し付けられ、搭載表面542と密接に結合される。

10

20

【0094】

1つの例示的实施形態では、位相マスクセット520は、位相マスク要素561の「内部」に、ファイバ端に最も近接して組み立てられる。光源ファイバ570の端部によって、光源580が提供される。1つの例示的实施形態では、光源ファイバ570は、635nmの光源波長で発光するための点光源として使用されるシングルモードファイバであり、3M社によって部品番号FS-SN-3224として製造される $D_{SF} = 250$ ミクロンの外径を有する光ファイバである。受信器ファイバ530は、全て同じ市販のマルチモードファイバであって、コア/クラッド/バッファの径 $D_{RA} / D_{RC} / D_{RF}$ が200/220/250ミクロンのシリカファイバである。かくして、2次元光ファイバ読み取りヘッド構成20Bにおける光源ファイバおよび受信器ファイバは全て、同じ250ミクロンの外径を有し、それ故、この発明による有利な緊密パッキング構成に配置されうる。この構成は、高精度で経済的な精密な整合およびアセンブリの双方を可能にする。この例示的实施形態では、有利な緊密パッキング構成は、六角形の緊密パッキング構成である。

30

【0095】

受信器ファイバ530と光源ファイバ570はそれぞれ、クラッドおよびコアを有する。クラッドは、外側の円によって表され、コアは、内側の円によって表される。図7に示された実施形態において、光源ファイバ570は、そのクラッドの外径を参照すると、比較的小さいコアを有していることが判る。これに対し、ファイバ530Aによって表される受信器ファイバは、そのクラッドの外径に対して比較的大きいコアを有している。

40

【0096】

以下で理解されるように、図4に示された2次元光ファイバ読み取りヘッド構成20Aの読み取りヘッドで使用されている3-ファイバ受信器構成と比較した場合、この実施形態の読み取りヘッドのバランスされた6-ファイバ受信器構成20Bは、2倍の受信光を出力し、従って2倍の潜在的信号強度を与える。さらに、組み入れられた312号出願で説明されているように、受信器開口510のバランスされた対構成は、読み取りヘッドの不整合に起因した誤差を排除して、測定精度を更に増加する。

【0097】

ここで認められるべき点は、2次元光ファイバ読み取りヘッド構成20Bのようなアセンブリは、読み取りヘッド部分560のそれぞれが1.0mm以下の直径を有する全光学

50

式エンコーダ読み取りヘッドに対して高分解能を与えるということである。さらに認められるべき点は、その構成が低コストの精密な「自己アセンブリ」を与えるということである。また、認められるべき点は、光源ファイバ570がこれらのアセンブリ目的だけのために意図的に「過大サイズ」にされているということである。2次元光ファイバ読み取りヘッド構成20Bはまた、図8を参照して以下で論議される設計原理に従って、高レベルのS/N比を与える。

【0098】

例えば、1つの具体的な例示的实施形態では、前述した3M社によって製造される部品番号FS-SN-3224の例示的光ファイバの平坦な端部については、「半最大」ビーム径に対する発散半角が約4.5度であるものと決定されている。かくして、2次元光ファイバ読み取りヘッド構成20Bの1つの例示的实施形態では、反射型スケールを有するスケール90および約1.6mmの自己像形成ギャップについて、照明範囲256の半径 R_w は約 $\tan(4.5) \times 2 \times 1.6 \text{ mm} = 253$ ミクロンに等しい。上述した例示的な光ファイバの特徴および寸法、並びに2次元光ファイバ読み取りヘッド構成20Bの緊密パッキング型実施形態については、受信器開口510の位置半径 R_{AL} は約250ミクロンに等しい。かくして、 R_w は R_{AL} にほぼ等しく、且つ図8を参照して詳細に論議される $0.83 \times R_{AL}$ の値から遠いものではない。さらに、受信器開口510の受信器開口半径 D_{RA} は、 $D_{RA} = 200$ ミクロンであり、これは約 $4/5 \times R_{AL}$ である。図8を参照して概略説明される情報によると、そのような設計関係によって、各光ファイバ受信器チャンネルは、得ることが可能な最大値に接近するS/N比を与えるべきである。実験的に、発明者は、8ミクロンの格子ピッチを有する1Dスケールを使用して、このタイプの類似の読み取りヘッド構成による1ナノメートルの分解能での安定した位置測定値を実証している。

【0099】

ここで認められるべき点は、この例示的实施形態が説明のためだけであって、制限的なものではないということである。より一般的には、光源ファイバは、約2~10度以上の範囲から「半最大」ビーム径に対する発散半角を与えるように準備されるか、選択される。また、対応する読み取りヘッドのデザインは、この発明の原理に従って、また組み入れられた312号出願に開示されているように、選択される。

【0100】

ここで認められるべき点は、先の例示的实施形態について述べられた寸法によって、各照明範囲256における照明エネルギーのほぼ全てが少なくとも1つの操作可能な自己像形成ギャップの寸法よりも有意に小さい(約 $2.55 \times R_w$ の)半径の円内に収まる、そのような光ファイバ読み取りヘッド構成を提供できるということである。ここでまた認められるべき点は、先の例示的实施形態について述べられた寸法によって、各受信器ファイバ開口510がそれと対応する照明範囲256の中心(スケール光軸256と一致する中心)から少なくとも1つの操作可能な自己像形成ギャップの寸法よりも有意に小さい位置半径 R_{AL} だけ離れて配置されている、そのような光ファイバ読み取りヘッド構成を提供できるということである。そのような設計関係は、本発明による高分解能の自己像形成読み取りヘッド部分について達成可能な小型サイズを強調する。この小型サイズは、この発明による高分解能の絶対光ファイバ読み取りヘッド構成に対する幅および高さまたは直径を、操作ギャップ寸法の2~3倍以下に接近させる。そのような小型寸法は、この発明による読み取りヘッド構成が、同等な性能特徴およびエラー強さを有した既知の読み取りヘッドに必要な動作および移動体積の一部分である動作体積内で動作および移動することを可能にする。そのような既知の読み取りヘッドは典型的に、操作ギャップ寸法の何倍にも及ぶ幅および高さ寸法を有し、多くの応用におけるそれらの潜在的有用性、経済性、および利便性を制限してしまう。

【0101】

図7に示すように、各読み取りヘッド部分560について、位相マスク要素561は、位相マスク520A~520Cおよび520Ax~520Cxを含んだ位相マスクセット

520を備える。位相マスク520A～520Cおよび520Ax～520Cxのそれぞれは、読み取りヘッドのソース光に対して不透明な格子バー521を有する。格子バー521は、ここではまた空間フィルタ処理バーとも呼ばれるもので、読み取りヘッドのソース光に対して透明な基板565の表面562上に配列されている。クロム、銅、およびそれらの酸化物は、格子バー521をパターン化するために使用される通常材料である。ガラスや水晶は、基板565に使用される通常材料である。位相マスク520A～520Cおよび520Ax～520Cxのそれぞれの活性マスク領域は、格子バー521を含む領域である。この活性マスク領域は、組立位置決めの変化に対する余分な公差をもって、対応する受信器開口510の開かれた開口領域をカバーするに十分なサイズとされるべきである。マスク要素561の中心に示されているのは、上述した光ファイバ570からのソース光に対する開かれた開口564を有した整合リング563である。この開かれた開口のサイズは、例えば、 $D_{SA} = 4$ ミクロンのオーダーであるシングルモードのコア径と比べて数倍大きい。1つの例示的実施形態では、位相マスク要素561は、0.25mmの厚さと、フェルール540の対応する内径に一致する直径とを有したソーダ石灰ガラスで作られている(図4参照)。

【0102】

マスク格子バー521は、前述したように、操作可能な自己像平面における格子像の周期と一致する周期でX軸方向(読み取りヘッド部分560および560"に対して)に沿って、あるいはY軸方向(読み取りヘッド部分560'に対して)に沿って周期的に配列されている。図示の例示的位相マスク要素561は、バランスされた構成において、6つの光ファイバ受信器チャンネルと共に使用するための6つの位相マスクを各位相マスクセット520内に有する。上記バランスされた構成では、反対側で対向する光ファイバ受信器開口が、スケールに対する読み取りヘッドのx方向の移動により変調された同じ位相の光信号を受信する。位相マスクは、0度(520Aおよび520Ax)、120度(520Bおよび520Bx)、および240度(520Cおよび520Cx)の空間位相を有する。種々の位相マスク520間の境界は、自己像エンコーダで使用可能な格子バー521によって構築された位相マスクについて、顕微鏡下で簡単に見分けることができる。これらは、位相マスク要素561を受信器ファイバに対して整列させることに使用できる。発明者は、20ミクロン以下の、場合によっては10ミクロン以下の公差内の整列が、顕微鏡およびXYZマイクロメータステージを使用して、位相マスク要素561を受信器ファイバに対し位置決めすることによって、簡単に達成可能であることを見出している。

【0103】

以下の論議は、図8を参照して以下で更に説明される結果に関連している。ここで認められるべき点は、本発明による光ファイバ読み取りヘッドが、超微細な読み取りヘッドになりうる点である。ここで認められるべき点は、自己像形成を使用しないか、および/または、高分解能且つ高精度の位置測定信号を与えるように設計されていない比較的粗い光ファイバエンコーダ読み取りヘッドとは対照的に、そのような光ファイバエンコーダ読み取りヘッドのサイズおよび固有の信号対雑音比は、重要なものである。所望のまたは経済的なファイバのサイズや、特定の自己像形成ギャップにおいて光ファイバ光源から直接得られる実際の照明範囲のサイズのような、設計上の制約と、実際のアセンブリ位置決め上の制約は、全て設計上考慮すべき重要な問題である。特に、ここで認められるべき点は、この発明によって使用可能な多くの光ファイバによって提供される小さな受信開口径は、従来の読み取りヘッドで使用される殆どまたは全て電子式の検出器よりも小さいこと、並びにそのような小さな受信開口径は、利用可能な信号エネルギーとその結果の信号対雑音比を厳しく制約するという点である。

【0104】

これらの理由の全てについて、これらの厳しい設計上の制約に照らして、十分な信号対雑音比を提供することに関連した設計関係を観察することが重要である。そのような設計関係は、最適性能に関連した設計条件を示すだけでなく、アセンブリ技術、部品コストまたは他の理由のために、ミクロンレベルまたはサブミクロンレベルの分解能および精度を

10

20

30

40

50

依然として維持しながら、設計の犠牲がなされる範囲を示す。以下で更に詳細に説明するように、この発明による種々の例示的光ファイバエンコーダ読み取りヘッドの実施形態で望ましい信号対雑音比を提供するために、光ファイバエンコーダ読み取りヘッド用のある種の設計要因が使用できる。

【0105】

種々の例示的实施形態では、この発明によって使用可能な光源は、独立したレンズやコリメータのない光ファイバ光源である。種々の例示的实施形態では、そのような光ファイバ光源は、発散性ソース光ビームをその端部から出力する。この発散性光ビームは、典型的に4.5 ~ 10度の範囲の発散半角を有する。そのようなソース光ビームにおけるガウス強度分布を仮定することは妥当である。ガウスビーム分布の特徴については、光ファイバの応用に関するテキストに良く記載されている。ガウス強度プロファイルは、この発明による2次元光ファイバ読み取りヘッド構成において、多数の理由について、考慮すべき重要な事項である。ここで理解されるべき点は、そのようなビームの照度、則ち、単位断面積当たりの有用な光束は、ビーム軸に沿って不釣り合いに集中されるということである。かくして、ビーム軸から離れて位置決めされた受信器開口は、「均一なビームの仮定」と比較して）ガウス分布に起因した「余分の」信号損失を受ける。加えて、ここで理解されるべき点は、均一なビームでのように、「発散損失」に起因してスポットサイズの半径またはビームの照明範囲が増加されるときはいつでも、平均ビーム照度は、純粋に幾何学的要因に起因して減少するという点である。また、ここで理解されるべき点は、図4に示されたもののように、ガウスビームを伴う「整合された」反射型構成では、照明範囲265内の最高照度が、照明範囲中心257上およびその周囲にあるということである。しかしながら、光源280との機械的なインターフェースおよび種々の他のアセンブリ上の考慮すべき事項は、受信器開口110をそのような最高照度の領域に配置することを禁止する。

【0106】

次の数式(4)は、上述したファクタを変数D中で考慮している。加えて、この数式は、この発明による2次元光ファイバ読み取りヘッド構成における種々の設計ファクタに対する信号対雑音比の依存性の有用な分析を提供するために、他の重要なファクタを含んでいる。

【0107】

【数4】

$$S \approx PCg_1g_2DR_dG_d \quad (\text{Eq. 4})$$

【0108】

次の表は、数式(4)で使用されているシンボルを定義すると共に、図8に示された結果を決定することに使用された適用可能な典型的な値を含んでいる。

【0109】

10

20

30

【表 1】

シンボル	説明	値
S	信号電力	従属、結果
P	レーザ電力 (図 4 参照)	20 mW
C	ファイバ結合界面損失	0.9
g_1	スケール効率 (反射損失)	0.25
g_2	位相マスク損失 (フィルタ処理)	0.8
D	発散損失: ガウスビーム効果を含む幾何学的効果	従属: 上述したように
$R_d \times G_d$	光検出器およびプリアンプ: 応答性 \times 利得 (図 4 参照)	16V/mW

10

20

【0110】

好ましい 2 次元光ファイバ読み取りヘッドの信号処理用遠隔電子回路、例えば図 5 に示された回路における典型的な電子的システム雑音として、1 つの値 0.05 mV が仮定される。

【0111】

図 8 は、図 3 を参照して上述された包括的 2 次元光ファイバ読み取りヘッド構成にほぼ対応して、光ファイバ検出器チャネルの受信器開口が照明範囲の中心から種々の受信器開口位置半径 R_{AL} に位置決めされたときに、種々の受信器開口径 D_{RA} について生じた代表的な信号対雑音比を示す図である。図 8 の水平軸上に示された照明範囲半径 R_W は、上述した照明範囲 256 のような照明範囲の半径に匹敵する。ガウスビームプロファイルについて、ビームのエッジまたはそれに由来する照明範囲はよく定義されていない。この場合、 R_W は、局部ビーム強度が照明範囲中心の局部強度の $1/2$ となる照明範囲半径として定義される。この定義によると、半径 R_W を超えても有意な照度が存在するが、総ビームエネルギーの 99% は半径約 $2.55 R_W$ 内に入る。図 8 の垂直軸上に示された受信器開口位置半径 R_{AL} と、図 8 の種々の位置に示された受信器開口径 D_{RA} は、図 6 および 7 を参照して定義されているものである。

30

【0112】

ここで認められるべき点は、図 8 の結果が、特別な寸法自体にではなく、種々の寸法間の比に依存しているということである。それ故、図 8 の軸に対して使用されている長さの単位は任意である。これらの比は、その比の 1 つの要素が、種々の理由にとって特別な寸法に選択されるか制約されるときに、設計上意味をもつようになる。そこで、相補的なファクタの特別な寸法は、それに応じて選択されうる。線 888 は、種々の受信器開口径の値 D_{RA} に対する参照マークと、それに対応するラベルとを含んでいる。図 8 の一般性を保つために、受信器開口径の値 D_{RA} は、それらの対応する受信器開口位置半径 R_{AL} の割合として与えられる。

40

【0113】

ここで認められるべき点は、図 8 に示された S/N 比が相対 S/N 比であるために、単一の「理想」検出器チャネルに対して、または光学的に組み合わせられた「バランスされた対」の検出器チャネル等に対して、図 8 は、相対 S/N 比の挙動を反映するようにとられるという点である。即ち、異なるセットの評価された設計値および/または仮定値、例え

50

ば低いレーザ電力、高い雑音値、または光学的に組み合わせる2以上の受信器チャネル信号は、評価されたS/N比の量的な値に影響を与えるが、各セットの仮定値は、仮定された各信号にほぼ同様に影響を与える。かくして、図8を通して種々の位置に示されている質的または相対的S/N比は、上述した設計値が変更されるときでさえも、合理的な相対的設計の選択およびトレードオフをするために有効な設計ガイドを残している。ここで認められるべき点は、この発明による読み取りヘッドからの実際の位置決定結果は、種々の位相信号間のバランス、位相信号内の空間高調波、汚染、不整合等の多数の他の要因によっても劣化させられる。更に、この発明の原理に従った複数の読み取りヘッド部分を有する読み取りヘッドでは、実際の経済的な設計選択によって、上述したように、単一の光源/レンズ477が2以上の読み取りヘッド部分に対して使用される。このことにより、利用可能なレーザ電力(例えば、表1に示すような)は、種々の読み取りヘッド部分間で分割され、信号対雑音比を低下させる。にもかかわらず、図8に示された相対S/N比は、特に種々の合理的な同様の設計において、種々の設計トレードオフの相対的性能の潜在性を決定するために非常に有用な設計指針を与える。ここで認められるべき点は、当業者は好適な読み取りヘッド実験を行って、図8の特別な位置に対応した量的S/N比を証明し、それから図8の相対S/N比を使用してその結果を描いて、図8の他の「設計領域」と関連した量的結果をおよそ評価することができるという点である。例えば、発明者は、受信器開口径 D_{RA} が受信器開口半径位置 R_{AL} とほぼ等しい受信器開口のバランスされた対構成を有する8ミクロン格子ピッチのスケールを使用して、1ナノメートルの分解能で安定した位置の読み取り値を実験的に実証している。このことは、この発明の原理に従って設計された読み取りヘッドが、図8の「設計領域」では量的に非常に高い信号対雑音比を生じること示している。更に重要なことに、そのような実験結果および図8に基づいて、この発明による種々の他の同様な読み取りヘッド設計の概略相対量的性能を評価することができる。この場合、設計ファクタは、図8の他の設計領域に対応している。

【0114】

図8における種々の相対S/N比の結果は、 R_w および R_{AL} の値の種々の組み合わせに対する種々の相対S/N比「同種曲線」に沿って示されている。各相対S/N同種曲線上には、その相対S/N同種曲線の相対S/N比を得ることに使用できる R_{AL} の最大値に対応する「ピーク」がある。受信器開口位置半径 R_{AL} の「最大値」に対応して図8に示された各相対S/N同種曲線のピークは、その R_{AL} の特別な値に対して最適な照明範囲半径 R_w に生じる。線888は、全てのそのような相対S/N同種曲線のピークを通過している。ここで認められるべき点は、どのような特別な受信器開口位置半径 R_{AL} (図8の水平線)でも、線888上の対応する点と交差するという点である。線888上の同じ点に対応する照明範囲半径 R_w (図8の垂直線)のどのような偏差でも、特別な受信器開口位置半径 R_{AL} に対して、より低い相対S/N比とより悪い性能を生じる。

【0115】

ここで認められるべき点は、この発明による2次元光ファイバ読み取りヘッドから出力される正弦信号に基づく高い分解能及び精度を提供するためには、累積された波長またはスケール格子ピッチユニットの数をカウントすることが望ましいが、それだけでなく、「最初」と「最近」の波長内で、可能な限り高い度合いまで、補間することも望ましい。一般的に、組み入れられた312号出願およびここで開示されている光ファイバ自己像形成読み取りヘッドに対しては、高品質の正弦信号が与えられ、そして補間レベルは概ねS/N比に対応している。則ち、S/N比1000では、ピーク間正弦信号の約1/1000が潜在的に弁別されうる。発明者が、8ミクロン格子ピッチの1Dスケールを使用して、1ナノメートルの分解能で安定した位置の読み取り値を実験的に実証したことを考慮すると、さらに2次元スケールから予測される追加的な信号強度の減少と、実際に適用された自己像形成読み取りヘッドの正弦信号に生じる誤差の既知のソースを考慮すると、上述した実験的な性能は、正弦信号変化に対応する。この正弦信号変化は、それら正弦信号のピーク間変化の最大1/64の比率で理想正弦変化から変化する。ここで認められるべき点は、ここに開示された読み取りヘッドに対して、そのような性能は、部品選択、コスト低減

10

20

30

40

50

、または製造可能性等に関係した設計トレードオフを可能にするという点である。これは、図8によれば、 S/N 比を低減するが、それでも依然として望ましい絶対測定読み取りヘッドを生じさせる。そのような実施形態では、正弦信号変化は、それら正弦信号のピーク間変化の最大 $1/32$ あるいは $1/16$ の比率で、理想正弦変化から変化するが、それでも、この発明の原理による有用な小型の2次元光ファイバ読み取りヘッドを依然として生じさせる。

【0116】

図8に示された相対 S/N 比の結果は、前述した仮定と設計値に基づいて、受信器開口径 D_{RA} にかかわらず、与えられた受信器開口位置半径 R_{AL} に対して、最良の「半最大」照明範囲半径 R_W が約 $0.83 * R_{AL}$ に等しいことを示している。図8は更に、「半最大」照明範囲半径 R_W を約 $0.5 * R_{AL}$ に減少させるか、「半最大」照明範囲半径 R_W を約 $1.7 * R_{AL}$ に増加させることが、約 $0.83 * R_{AL}$ で与えられる S/N 比の約 $1/2$ の S/N 比を生ずるものであることを示している。これは、この発明による種々の例示的实施形態における S/N 比の有意で不必要な減少である。かくして、この発明による種々の例示的实施形態における「半最大」照明範囲半径 R_W は、少なくとも $0.5 * R_{AL}$ に等しく、そして最大でも $1.7 * R_{AL}$ に等しいものである。その代わりに、総ビームエネルギーの99%は、前述したように約 $2.55 R_W$ の半径内に入る。この同じ設計関係はまた、次のようにも表現できる。この発明による種々の例示的实施形態では、総ビームエネルギーの99%は、操作可能な自己像平面および/または位相マスク平面において総照明範囲半径内に入る。この場合、総照明範囲半径は、少なくとも $0.5 * R_{AL} * 2.55$ 、即ち約 $1.28 * R_{AL}$ に等しく、また最大で $1.7 * R_{AL} * 2.55$ 、即ち約 $4.34 * R_{AL}$ に等しい。しかしながら、ここで認められるべき点は、種々の他の例示的实施形態において、この発明による自己像形成型2次元光ファイバ読み取りヘッドは、受信器照明範囲半径 R_W が $0.5 * R_{AL}$ 未満であるか、 $1.7 * R_{AL}$ より大きいときでさえ、種々の利点を保持しているということである。例えば、特に有利なアセンブリ法と小さなサイズは、以下で更に説明されるように、この発明による自己像形成型光ファイバ読み取りヘッドによって可能である。

【0117】

図8に示された結果はまた、受信器開口位置半径 R_{AL} に関連した受信器開口径 D_{RA} の相対 S/N 比効果を示している。ここで認められるべき点は、ここで使用される仮定と定義によって、受信器開口位置半径 R_{AL} は、一般的に D_{RA} の $1/2$ より小さくないという点である。さらに、受信器ファイバと同じ直径の光源ファイバを使用した、図6および7に示されるような、緊密パッキング組立構成に対しては、受信器開口位置半径 R_{AL} は、ほぼ D_{RA} と等しい。線888に沿って示されているように、320以上の相対 S/N 比が示されている。ここでは、受信器開口径 D_{RA} が受信器開口位置半径 R_{AL} とほぼ等しい値に接近する。前述したように、実験的に、発明者は、受信器開口径 D_{RA} が受信器開口位置半径 R_{AL} とほぼ等しい読み取りヘッド構成で、8ミクロン格子ピッチの1Dスケールを使用して、1ナノメートルの分解能で安定した位置の読み取り値を実証している。かくして、1Dスケールと比較して2次元スケールにより予測される信号強度の減少が与えられると、そのような読み取りヘッド構成を2次元スケールと組み合わせて使用したときに、2ナノメートルのオーダーの分解能を達成可能であるということは合理的である。

【0118】

線888に沿って示されているように、受信器開口位置半径 R_{AL} に対する受信器開口径 D_{RA} の比が約 $1/3$ にまで低下すると、図8に示された結果を決定するために使用された仮定に従って、50より少し大きい相対 S/N 比が与えられる。即ち、この相対 S/N 比は、受信器開口径 D_{RA} が受信器開口位置半径 R_{AL} とほぼ等しい値に接近するときよりも、少なくとも6倍悪い。ここで認められるべき点は、比較的低い信号対雑音比を有する構成にとって、正確な補間レベルは減少されるという点である。この発明による種々の例示的实施形態において、潜在的な性能の不十分なレベルに甘んずることは望ましいことではない。それ故、この発明による種々の例示的实施形態では、受信器開口径 D_{RA} は

10

20

30

40

50

、受信器開口の位置半径 R_{AL} の $1/3$ 以上であるべきである。

【0119】

線 888 に沿って示されているように、受信器開口位置半径 R_{AL} に対する受信器開口径 D_{RA} の比が更に約 $1/5$ にまで低下すると、相対 S/N 比は約 2 の追加的ファクタによって低下する。則ち、 D_{RA}/R_{AL} 比が $1/3$ から $1/5$ に低下すると、この発明による 2 次元光ファイバ読み取りヘッドの潜在的な性能は、約 2 の追加的ファクタによって低下する。しかしながら、 D_{RA}/R_{AL} 比をこのレベルまで緩和することは、有用な設計の自由度、および/または、より経済的な部品またはアセンブリを許容する。この場合でも、微小サイズでありながらサブミクロンレベルの性能と、この発明による自己像形成型 2 次元光ファイバ読み取りヘッドで利用可能な種々の他の利点は、依然として許容される。それ故、この発明による種々の他の例示的实施形態では、受信器開口径 D_{RA} は、受信器開口の位置半径 R_{AL} の $1/5$ 以上であるべきである。

10

【0120】

D_{RA}/R_{AL} 比が $1/5$ から $1/8$ に低下すると、 S/N 比は約 2 から 3 の異なるファクタによって低下する。しかしながら、 D_{RA}/R_{AL} 比をこのレベルまで緩和することは、より有用で経済的な設計およびアセンブリの自由度を許容する。この場合でも、微小サイズでありながらミクロンレベルの性能と、この発明による自己像形成型 2 次元光ファイバ読み取りヘッドで利用可能な種々の他の利点は、依然として許容される。それ故、この発明による種々の他の例示的实施形態では、受信器開口径 D_{RA} は、受信器開口の位置半径 R_{AL} の $1/8$ 以上であるべきである。

20

【0121】

受信器開口径 D_{RA} が受信器開口の位置半径 R_{AL} の約 $1/8$ 未満に低下すると、この発明による自己像形成型 2 次元光ファイバ読み取りヘッドの潜在的な性能は、他の大型の市販エンコーダ読み取りヘッドと比べて、いくつかの例では、注目すべきものではなくなるが、そのサイズは、そのようなエンコーダ読み取りヘッドと比べて依然として注目すべきものである。さらに、そのサイズ、および/または、分解能および精度、および/または、動作のエラー強さは、他の物理的または光学的原理を用いる従来のファイバ式エンコーダと比べて依然として注目すべきものである。さらに、以下で更に説明されるように、特別に有利なアセンブリ法が、この発明による自己像形成型 2 次元光ファイバ読み取りヘッドによって可能である。かくして、種々の例示的实施形態では、この発明による自己像形成型 2 次元光ファイバ読み取りヘッドは、受信器開口径 D_{RA} が受信器開口の位置半径 R_{AL} の約 $1/8$ 未満に低下しても有利である。

30

【0122】

発明者はまた、比較的理想的な自己像は、光源から生ずる照明範囲の比較的中心近くだけに存在しているものと判断している。この光源は、この発明による種々の例示的实施形態では点光源である。そのような場合に、受信器開口の位置半径 R_{AL} が増加されるにつれて、この発明により利用可能な自己像は、照明範囲の中心からの半径が増加するに従い、可視性と空間位相に非理想的な変化を益々示すようになる。事実、自己像形成について最も広く知られた参考文献は、自己像照明範囲の中心に対するそれらの有効性を制限する仮定をする。かくして、この発明による自己像形成型 2 次元光ファイバ読み取りヘッドにおける S/N 比についての前述した論議の有効性を否定することなく、種々の例示的实施形態において、受信器開口の位置半径 R_{AL} はまた、他のデザイン、アセンブリおよびコストのトレードオフが許す限り小さく作られる。

40

【0123】

図 9 は、この発明による種々の 2 次元光ファイバ読み取りヘッドに関連して、種々の例示的实施形態では前述したスケール 90 と同じである 2 次元スケール 1190 に対し例示的方位で使用可能な光偏向器 1100 を示す。図 9 に示すように、種々の例示的实施形態では前述した例示的光ファイバ読み取りヘッド構成 20A と同じである包括的な例示的光ファイバ読み取りヘッド構成 1120 は、図 4 を参照して前述した光ファイバ読み取りヘッド部分 60 と同様な読み取りヘッド部分 1160 を備える。この読み取りヘッド部分 1

50

160は、発散するソース光を、概ねビーム経路1101に沿って、光偏向器1100へ送る。この光は、そこで偏向され、ビーム経路1102に沿って操作ギャップ1103を通して、スケール1190へ送られる。同様に、スケール1190で反射され、発散され、回折された光は、概ねビーム経路1102に沿って光偏向器1100へ戻され、さらに読み取りヘッド部分1160に向けて偏向され、概ねビーム経路1101に沿って集中される。スケール1190は、光ファイバ読み取りヘッド構成1120および偏向器1100に対し、測定軸82および83の方向に沿って移動する。戻されたスケール光は、スケール格子1190の自己像を自己像平面の照明範囲に与える。この照明範囲は、この発明の種々の例示的实施形態を参照して説明したように、例示的光ファイバ読み取りヘッド構成1120の光ファイバ受信器チャンネル構成に関して概ね集中されている。ここで認められるべき点は、例示的光ファイバ読み取りヘッド構成1120の位相マスクの格子バーは、測定軸82と平行な線82Aと平行になるか(読み取りヘッド部分1160'に対して)、測定軸83と平行な線83Aと平行になるように(読み取りヘッド部分1160および1160"に対して)、指向されているということである。ここでまた認められるべき点は、偏向器1100が、ビーム経路1101を名目偏向90度となるように偏向してビーム経路1102にする精度が良いほど、またビーム経路1102をスケール1190の表面に直交させる精度が良いほど、結果として得られる位置測定システムは、より高精度でエラー強いものとなるという点である。

【0124】

種々の例示的实施形態では、偏向器1100は、この発明による2次元光ファイバ読み取りヘッドに対して固定された関係で独立した部材上に信頼性よく搭載された反射型直角プリズム、ミラー、あるいは他の好適な光学部品である。自己像形成用に操作可能な短い経路長を維持するために、そしてスケール格子1190に対する実際の操作ギャップを維持するために、偏向器1100は、読み取りヘッド部分1160にできるだけ近く搭載されることが好ましい。ここで認められるべき点は、種々の例示的实施形態では、光源およびスケールからの光の総発散を比較的増加することになる、偏向器を有しない読み取りヘッド構成に対し、偏向器1100は、増加された総自己像形成距離を必要することがあるという点である。かくして、そのような場合に、種々の読み取りヘッドの設計パラメータを調整して、この発明による原理に従い、且つ312号出願に開示された設計関係を維持することに注意が必要となる。種々の例示的实施形態では、偏向器1100は、フェルール1140に対し適切に整合され、直接取り付けられる。種々の他の例示的实施形態では、偏向器1100はまた、この発明による位相マスクを有したこの発明による位相マスク要素を与える基板としても作用する。この位相マスクは、フェルール1140に向かって位置決めされた偏向器1100の表面上に直接形成されている。

【0125】

図9に示された実施形態では、2次元光ファイバ読み取りヘッド構成1120の長軸は、スケール1190の測定軸82の方向を横切るように指向されている。フェルール1140またはスケール1190のいずれかは、その位置が固定され、他方の要素は可動状態におかれる。ここで理解されるように、多数の応用の中で、例示的偏向器1100のような偏向器をこのような手法で使用することは、この発明による2次元光ファイバ読み取りヘッドおよびエンコーダが超小型サイズであるので、実際的である。ここでまた理解されるように、多数の応用の中で、例示的偏向器1100のような偏向器は、スケール1190および測定軸82および83の方向に対して、2次元光ファイバ読み取りヘッドを柔軟に指向させ、読み取りヘッドの最大および最狭寸法が所望の方向に指向されるようにすることによって、この発明による2次元光ファイバ読み取りヘッドおよびエンコーダの有用性を更に強化する。ここでさらに理解されるように、例示的偏向器1100のような偏向器の使用は、読み取りヘッド構成1120の光ファイバおよび/またはケーブルのルートをも所望の方向に指向させることに利益がある。

【0126】

ここでまた認められるべき点は、ここに図示され、記述され、教示された実施形態のい

10

20

30

40

50

ずれもが、組み入れられた 3 1 2 号出願で教示されている円形または円筒形の回転式位置読み取りヘッド構成のいずれかに類似した 2 次元測定システムを提供することに適用されうるといふことである。

【 0 1 2 7 】

例示的な円形回転式の実施形態は、図 10 に示されたスケール 1 1 9 0 が、Y 軸に平行な軸を中心にその平面を回転させる比較的平面的な回転式格子スケールのセグメントである、と考えることによって理解することができる。種々の例示的な円形回転式の実施形態において、図 9 に示されたスケール 1 1 9 0 のセグメントは、かくして、2 次元スケールトラックの一部である。この 2 次元スケールトラックは、2 次元光ファイバ読み取りヘッド構成 1 1 2 0 の位相マスク部分を包囲する円の直径よりも測定軸 8 2 の方向（半径方向）に沿って少なくとも僅かに広く、しかも測定軸 8 3 の方向（接線方向）に沿って延びる環状のトラックの回りを、少なくとも回転軸からトラック幅の数倍離れた半径で概ね延びている。このような場合、測定軸 8 3 は、X - Z 平面内の比較的平面的な円形経路に沿う。種々の例示的な実施形態では、その半径は、回転軸から少なくともトラック幅の数倍離されている。これは、スケールトラックの中間における名目寸法および読み取りヘッドの位相マスク部分の名目寸法に対して、スケールパターンが半径方向に沿って過剰に角度発散することを回避するためである。

【 0 1 2 8 】

例えば、1 つの例示的な実施形態では、測定軸 8 2 の方向（半径方向）に沿うトラック幅は、2 mm オーダーであって、図 9 に示された 2 次元光ファイバ読み取りヘッド構成 1 1 2 0 に対して 1 mm オーダーの半径測定範囲を与える。環状のトラックの名目半径は、約 1 2 . 0 mm であり、半径および接線方向の双方（測定軸 8 2 および 8 3）に沿った名目格子ピッチは、8 . 0 0 ミクロンである。従って、1 mm 半径の測定範囲にわたって、接線方向に沿った名目スケール格子ピッチは、種々の半径位置において、8 % よりも少し大きい程度に変化する。この値は、角度測定読み取りヘッド部分である読み取りヘッド部分 1 1 6 0 ' から少なくとも生じる正弦信号の精度を低下させるものである。ここで認められる点は、半径測定読み取りヘッド部分である読み取りヘッド部分 1 1 6 0 および 1 1 6 0 " に関して、半径方向に沿った名目スケール格子ピッチは、一定であるという点である。このような円形回転式の実施形態は、角度変位および半径振れを同時に測定するための種々の測定および/または位置決め応用において有用である。このような実施形態は、純粹に線形且つ直交した測定軸を有する 2 次元スケールを使用する実施形態より相対的に精度は低い、種々の実施形態では、そのような円形回転式の実施形態の精度は、種々の有用な応用に対して十分である。ここで認められるべき点は、トラック幅に対するトラック半径の比が増加されると、そのような円形回転式の実施形態の精度が、前述した線形平面的な実施形態の精度に接近できるといふ点である。逆に言えば、種々の例示的な実施形態では、トラック半径が増加されると、トラック幅、即ち、半径測定範囲は、それに対応して増加されるのである。

【 0 1 2 9 】

円筒形回転式の実施形態は、図 9 に示されたスケール 1 1 9 0 が、z 軸に平行な軸を中心に回転する比較的円筒形の格子スケールのセグメントである、と考えることによって理解することができる。このような場合、測定軸 8 2 は、X - Y 平面内で円形である比較的円筒形の円形経路に沿う。種々の例示的な円筒形回転式の実施形態において、図 9 に示されたスケール 1 1 9 0 のセグメントは、かくして、2 次元スケールトラックの一部である。この 2 次元スケールトラックは、測定軸 8 3 の方向（軸方向）に沿って所望の寸法を有し、しかも測定軸 8 3 の方向（接線方向）に沿って延びる円周トラックの回りを概ね延びている。このような場合、測定軸 8 3 は、X - Z 平面内の比較的平面的な円形経路に沿う。ここで認められるべき点は、自己像平面の範囲の深さが、上述したように、そのような円筒形の実施形態において考慮されなければならない、という点である。即ち、2 次元光ファイバ読み取りヘッド構成 1 1 2 0 の種々の受信器チャネルによって空間フィルタ処理および受信される、円筒形スケールの曲面から生じた自己像の全ての部分が、操作可能に

10

20

30

40

50

「焦点内」になければならない。かくして、2次元円筒形スケールの半径は、読み取りヘッドのマスク部分とそれらの総間隔の種々の寸法に対して十分に大きくなければならない。種々の例示的实施形態において、照明波長は、635 nmのオーダーにあり、スケール格子ピッチは、8.0ミクロンである。また、各読み取りヘッド部分は、約1.0 mmの直径で、隣の読み取りヘッド部分から約1.0 mm離されている。これらのおよその読み取りヘッドのパラメータに対して、良好なレベルの精度を与えるように操作可能な自己像は、種々の例示的实施形態では、20 mm以上のオーダーの円筒半径によって達成できる。しかしながら、種々の他の例示的实施形態では、円筒半径は20 mm以下であり、またそのような円筒形回転式の実施形態が、種々の有用な応用に対して、依然として十分である点が認められるべきである。

10

【0130】

この発明は、上記に概略を示した例示的实施形態に関連して説明されたが、当業者には明らかとなるように、上述された実施形態および設計要因が、追加的な代替の実施形態、修正例および変形例を示すものであることは、明白である。従って、上述された発明の実施形態は、説明することを意図したものであって、限定するものではない。発明の精神と範囲を逸脱することなく、種々の変化がなされるものである。

【図面の簡単な説明】

【0131】

【図1】この発明による2次元光ファイバ読み取りヘッド構成の第1の包括的实施形態の斜視図である。

20

【図2】図1の2次元光ファイバ読み取りヘッド構成において、自己像に対する1つの例示的位置における2次元スケールパターンおよび2つの直交指向された位相マスクから生じた例示的自己像の詳細な図である。

【図3】この発明による2次元光ファイバ読み取りヘッド構成の第2の包括的实施形態の斜視図である。

【図4】図3の2次元光ファイバ読み取りヘッド構成の第2の包括的实施形態の部分的な分解斜視図である。

【図5】この発明による2次元光ファイバ読み取りヘッド構成に関連して使用可能な遠隔電子インターフェースユニットを含むブロック図である。

【図6】この発明による2次元光ファイバ読み取りヘッド構成の第3の包括的实施形態の斜視図である。

30

【図7】図6の2次元光ファイバ読み取りヘッド構成の1つの読み取りヘッド部分のファイバおよびマスク構成の部分的な分解斜視図である。

【図8】図1, 2, 3, 4, 6および7にほぼ対応する2次元光ファイバ読み取りヘッド部分の構成に対して、光ファイバ検出器チャネルの受信器開口が照明範囲の中心から種々の半径に位置決めされるときに、種々の受信器開口の直径について生じた代表的な相対信号対雑音比を示す図である。

【図9】この発明による種々の2次元光ファイバ読み取りヘッド構成に関連して使用可能な光偏向器を示す斜視図である。

40

【符号の説明】

【0132】

- 20, 20A, 20B ... 読み取りヘッド構造、
- 40 ... フェルール、
- 60, 60', 60'' ... 読み取りヘッド部分、
- 90 ... スケール、
- PAT ... 2次元格子パターン。

フロントページの続き

(56)参考文献 米国特許第5909283(US,A)
米国特許第5104225(US,A)
特開平6-213683(JP,A)
特開昭60-85317(JP,A)

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