

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6571393号
(P6571393)

(45) 発行日 令和1年9月4日(2019.9.4)

(24) 登録日 令和1年8月16日(2019.8.16)

(51) Int.Cl. F I
G O 1 D 5/38 (2006.01) G O 1 D 5/38 G

請求項の数 6 (全 44 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2015-110185 (P2015-110185) (22) 出願日 平成27年5月29日 (2015.5.29) (65) 公開番号 特開2015-225084 (P2015-225084A) (43) 公開日 平成27年12月14日 (2015.12.14) 審査請求日 平成30年4月4日 (2018.4.4) (31) 優先権主張番号 14/290,846 (32) 優先日 平成26年5月29日 (2014.5.29) (33) 優先権主張国・地域又は機関 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 100103894 弁理士 冢入 健 (72) 発明者 ジョセフ ダニエル トバイアソン アメリカ合衆国 ワシントン州 ボゼル 37番 アベニュー エスイー 20924 審査官 岡田 卓弥</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学エンコーダ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

測定軸方向に沿って広がり、スケールピッチ P_{SF} を有するスケール格子と、
 波長 λ を有する光を出力する光源と、
 前記光が入力されると共に、前記測定軸方向に対して横方向に配向され、且つ前記スケール格子と一致する平面において前記測定軸方向に沿って照明フリンジパターンを含む構造化照明を、前記スケール格子へ出力する構造化照明格子と、
 前記スケール格子から出力された使用可能な空間変調されたイメージ光が入力されると共に、前記スケール格子が前記構造化照明により照らされている場合に、前記空間変調されたイメージ光の使用可能な周期結像を出力するよう設置された結像部と、
 前記使用可能な周期結像の異なる位相をそれぞれ受信するよう設置された一連の光ディテクタを含むディテクタ部と、を備え、
 前記空間変調されたイメージ光が、2つの回折次数の干渉から形成されるモアレフリンジを含むように構成された光学エンコーダにおいて、
 前記スケール格子は、前記測定軸方向に沿って平行に配置した第1のスケール格子部及び第2のスケール格子部を含み、前記第2のスケール格子部は、前記測定軸方向に沿って前記第1のスケール格子部に対し $0.5 * P_{SF}$ の空間位相オフセットを有し、前記第1のスケール格子部及び第2のスケール格子部の両者は、前記スケール格子から出力される前記使用可能な空間変調されたイメージ光と、前記使用可能な周期結像とに寄与する、
 光学エンコーダ。

10

20

【請求項 2】

測定軸方向に沿って広がり、スケールピッチ P_{SF} を有するスケール格子と、
波長 λ を有する光を出力する光源と、

前記光が入力されると共に、前記測定軸方向に対して横方向に配向され、且つ前記スケール格子と一致する平面において前記測定軸方向に沿って照明フリンジパターンを含む構造化照明を、前記スケール格子へ出力する構造化照明格子と、

前記スケール格子から出力された使用可能な空間変調されたイメージ光が入力されると共に、前記スケール格子が前記構造化照明により照らされている場合に、前記空間変調されたイメージ光の使用可能な周期結像を出力するよう設置された結像部と、

前記使用可能な周期結像の異なる位相をそれぞれ受信するよう設置された一連の光ディテクタを含むディテクタ部と、を備え、

前記空間変調されたイメージ光が、2つの回折次数の干渉から形成されるモアレフリンジを含むように構成された光学エンコーダにおいて、

前記結像部は、

前記スケール格子から伝送される前記空間変調されたイメージ光が入力するよう設置され、且つ自レンズと前記ディテクタ部との間に位置する焦点を定義する焦点距離 F を有する第1のレンズと、

前記第1のレンズと前記ディテクタ部との間において、前記焦点距離 F に設置された開口部と、を含み、

前記スケール格子は、前記結像部から、前記焦点距離 F 未満の距離に設置される、
光学エンコーダ。

【請求項 3】

測定軸方向に沿って広がり、スケールピッチ P_{SF} を有するスケール格子と、
波長 λ を有する光を出力する光源と、

前記光が入力されると共に、前記測定軸方向に対して横方向に配向され、且つ前記スケール格子と一致する平面において前記測定軸方向に沿って照明フリンジパターンを含む構造化照明を、前記スケール格子へ出力する構造化照明格子と、

前記スケール格子から出力された使用可能な空間変調されたイメージ光が入力されると共に、前記スケール格子が前記構造化照明により照らされている場合に、前記空間変調されたイメージ光の使用可能な周期結像を出力するよう設置された結像部と、

前記使用可能な周期結像の異なる位相をそれぞれ受信するよう設置された一連の光ディテクタを含むディテクタ部と、を備え、

前記空間変調されたイメージ光が、2つの回折次数の干渉から形成されるモアレフリンジを含むように構成された光学エンコーダにおいて、

前記スケール格子は、前記スケール格子に垂直で且つ前記測定軸に平行な平面において少なくとも 0.1 度になるような、前記測定軸についてのロール角で結像部の光路が回転するように、結像部に対して配置される、

光学エンコーダ。

【請求項 4】

測定軸方向に沿って広がり、スケールピッチ P_{SF} を有するスケール格子と、
波長 λ を有する光を出力する光源と、

前記光が入力されると共に、前記測定軸方向に対して横方向に配向され、且つ前記スケール格子と一致する平面において前記測定軸方向に沿って照明フリンジパターンを含む構造化照明を、前記スケール格子へ出力する構造化照明格子と、

前記スケール格子から出力された使用可能な空間変調されたイメージ光が入力されると共に、前記スケール格子が前記構造化照明により照らされている場合に、前記空間変調されたイメージ光の使用可能な周期結像を出力するよう設置された結像部と、

前記使用可能な周期結像の異なる位相をそれぞれ受信するよう設置された一連の光ディテクタを含むディテクタ部と、を備え、

前記空間変調されたイメージ光が、2つの回折次数の干渉から形成されるモアレフリン

10

20

30

40

50

ジを含むように構成された光学エンコーダにおいて、

前記スケール格子は、前記スケール格子に垂直で且つ前記測定軸に平行な平面において少なくとも0.1度になるような、前記測定軸についてのピッチ角で結像部の光路が回転するように、結像部に対して配置される、

光学エンコーダ。

【請求項5】

測定軸方向に沿って広がり、スケールピッチ P_{SF} を有するスケール格子と、
波長 λ を有する光を出力する光源と、

前記光が入力されると共に、前記測定軸方向に対して横方向に配向され、且つ前記スケール格子と一致する平面において前記測定軸方向に沿って照明フリンジパターンを含む構造化照明を、前記スケール格子へ出力する構造化照明格子と、

前記スケール格子から出力された使用可能な空間変調されたイメージ光が入力されると共に、前記スケール格子が前記構造化照明により照らされている場合に、前記空間変調されたイメージ光の使用可能な周期結像を出力するよう設置された結像部と、

前記使用可能な周期結像の異なる位相をそれぞれ受信するよう設置された一連の光ディテクタを含むディテクタ部と、を備え、

前記空間変調されたイメージ光が、2つの回折次数の干渉から形成されるモアレフリンジを含むように構成された光学エンコーダにおいて、

前記構造化照明格子は、前記スケール格子に垂直で且つ前記測定軸に平行な平面において、前記構造化照明格子の平面と前記スケール格子の平面との間のロール角が $(2 * B * M * P_{PG}^2) / (H * \lambda)$ と等しくなるように設置され、Bは、0.75 ~ 1.25の間の数であり、Mは、前記結像部の倍率値であり、 P_{PG} は、前記構造化照明格子のピッチであり、Hは、前記測定軸方向に垂直である前記ディテクタ部の視野の高さである、

光学エンコーダ。

【請求項6】

測定軸方向に沿って広がり、スケールピッチ P_{SF} を有するスケール格子と、
波長 λ を有する光を出力する光源と、

前記光が入力されると共に、前記測定軸方向に対して横方向に配向され、且つ前記スケール格子と一致する平面において前記測定軸方向に沿って照明フリンジパターンを含む構造化照明を、前記スケール格子へ出力する構造化照明格子と、

前記スケール格子から出力された使用可能な空間変調されたイメージ光が入力されると共に、前記スケール格子が前記構造化照明により照らされている場合に、前記空間変調されたイメージ光の使用可能な周期結像を出力するよう設置された結像部と、

前記使用可能な周期結像の異なる位相をそれぞれ受信するよう設置された一連の光ディテクタを含むディテクタ部と、を備え、

前記空間変調されたイメージ光が、2つの回折次数の干渉から形成されるモアレフリンジを含むように構成された光学エンコーダにおいて、

前記構造化照明格子は、前記スケール格子に垂直で且つ前記測定軸に平行な平面において、前記構造化照明格子の平面と前記スケール格子の平面との間のピッチ角が $(2 * B * M * P_{PG}^2) / (V * \lambda)$ と等しくなるように設置され、Bは、0.75 ~ 1.25の間の数であり、Mは、前記結像部の倍率値であり、 P_{PG} は、前記構造化照明格子のピッチであり、Vは、前記測定軸方向に沿った前記ディテクタ部の視野の長さである、

光学エンコーダ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、大略、精密測定器に関し、特に、光学式変位エンコーダに関する。

【背景技術】

【0002】

読取ヘッドを用いた種々の光学式変位エンコーダが知られており、この読取ヘッドは、

10

20

30

40

50

スケールパターンを自読取ヘッドのフォトディテクタアレイへ撮像する光学配置を有する。スケールパターンのイメージはスケールメンバと共に変位し、変位したスケールパターンイメージの移動又は位置はフォトディテクタアレイで検出される。従来の画像処理である自己結像(タルボ・イメージング(Talbot imaging)とも呼称される)及び/又はシャドウ・イメージング(shadow imaging)が、種々の構成においてスケールパターンイメージを提供するために使用され得る。

【0003】

光学エンコーダは、インクリメンタル位置又はアブソリュート位置スケール構造を利用し得る。インクリメンタル位置スケール構造は、スケールに対する相対的な読取ヘッドの変位が、変位の増分単位を累積することによって決定され、スケールに沿った初期ポイントから開始できるようにする。このようなエンコーダは、特定の用途、特にライン電力が利用可能である用途に適している。しかしながら、低消費電力の用途(例えば、バッテリー駆動の計測器等)においては、アブソリュート位置スケール構造を用いることがより望ましい。アブソリュート位置スケール構造は、スケールに沿った各位置で、一意な出力信号又は信号の組合せを供給する。アブソリュート位置スケール構造は、位置を特定するために、増分変位を継続的に累積することを必要としない。よって、アブソリュート位置スケール構造は、種々の電力節約スキームを可能にする。種々の光学的、容量的又は誘導的なセンシング技術を用いる様々なアブソリュート位置エンコーダが知られている。特許文献1~11は、アブソリュート位置エンコーダに関する種々のエンコーダ構成及び/又は信号処理技術を開示しており、参照によって本明細書に取り込まれる。

【0004】

幾つかの光学エンコーダで利用される構成の一種が、テレセントリック配置である。参照によって本明細書に取り込まれる特許文献12~14の各々は、光源の周期パターンを撮像し、且つ周期的なパターン構造の変位をセンシングするための片側又は両側テレセントリック結像系を開示している。テレセントリック結像系は、このような光学エンコーダにおいて必要な幾つかの機能を提供する。

【0005】

このような光学エンコーダの設計に関する一つの問題は、ユーザが、一般に読取ヘッド及びエンコーダのスケールが出来るだけコンパクトなことを好む点である。コンパクトなエンコーダは、様々な用途へ導入するのにより都合が良い。特定の精密測定の使用に対しては、高い分解能も要求される。しかしながら、従来技術は、高分解能、レンジ・分解能比、ロバスト性、コンパクトサイズの組合せや、多くのエンコーダ分解能が共有の製造技術及び部品を用いて提供されるのを可能にする設計特性を提供し、且つユーザが所望するようなエンコーダの低コスト化を促進する構成を教示していない。このような組合せを提供するようエンコーダの構成が改良されることが望ましい。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】アメリカ合衆国特許第3,882,482号

【特許文献2】アメリカ合衆国特許第5,965,879号

【特許文献3】アメリカ合衆国特許第5,279,044号

【特許文献4】アメリカ合衆国特許第5,886,519号

【特許文献5】アメリカ合衆国特許第5,237,391号

【特許文献6】アメリカ合衆国特許第5,442,166号

【特許文献7】アメリカ合衆国特許第4,964,727号

【特許文献8】アメリカ合衆国特許第4,414,754号

【特許文献9】アメリカ合衆国特許第4,109,389号

【特許文献10】アメリカ合衆国特許第5,773,820号

【特許文献11】アメリカ合衆国特許第5,010,655号

【特許文献12】アメリカ合衆国特許第7,186,969号

10

20

30

40

50

【特許文献13】アメリカ合衆国特許第7,307,789号

【特許文献14】アメリカ合衆国特許第7,435,945号

【発明の概要】

【0007】

本概要は、詳細な説明にて後述する概念の一部を簡素化して導入するものである。本概要は、発明主題の重要な特徴を特定することを意図するものでも、発明主題の範囲を決定するための補助として用いられることを意図するものでも無い。

【0008】

ここで開示する原理は、高分解能、レンジ・分解能比、コンパクトサイズ、ロバスト性の改良された組合せを提供するよう光学式変位エンコーダ構成を改良することを対象とし、且つ多くのエンコーダ分解能が共有の製造技術及び部品を用いて提供されることを可能にする。

10

【0009】

ここで開示する種々の実施形態において、2つのメンバ間で相対的な変位を測定する装置(すなわち、光学エンコーダは)、測定軸方向に沿って広がり、スケールピッチ P_{SF} を有するスケール格子と、波長 λ を有する光を出力する光源と、前記光が入力されると共に、前記測定軸方向に対して横方向に配向され、且つ前記スケール格子と一致する平面において前記測定軸方向に沿って照明フリンジパターンを含む構造化照明を、前記スケール格子へ出力する構造化照明格子と、前記スケール格子から出力された使用可能な空間変調されたイメージ光が入力されると共に、前記スケール格子が前記照明源からの前記構造化照明により照らされている場合に、前記空間変調されたイメージ光の使用可能な周期結像を出力するよう設置された結像部と、前記使用可能な周期結像の異なる位相をそれぞれ受信するよう設置された一連の光ディテクタを含むディテクタ部とを備え、前記空間変調されたイメージ光が、2つの回折次数の干渉から形成されるフリンジを含む。

20

【0010】

このような装置は、例えば、以下のように構成することができる。前記結像部は、その光路に沿って前記結像部から距離 Z に設置されたディテクタ部と、前記スケール格子から伝送される前記空間変調されたイメージ光を受信するよう設置され、且つ自レンズと前記ディテクタ部との間に位置する焦点を定義する焦点距離 F を有する第1のレンズと、前記第1のレンズと前記ディテクタ部との間において、略、前記焦点距離 F に設置された開口部と、を含む。前記空間変調されたイメージ光は、値 n だけ異なる2つの回折次数の干渉から形成されるフリンジを含む。前記開口部は、前記測定軸方向に沿って、 $AW = Z * a * (n + 1) / (P_{MI} P_{SF} / ((P_{MI} - P_{SF}) * M))$ を満たす幅 W を有して構成され、 M は、前記結像部の倍率値であり、 a の値は、0.5より大きく且つ4.0未満であり、 P_{MI} は、前記照明フリンジパターンのピッチである。前記スケール格子は、前記構造化照明が入力されると共に、前記スケールピッチ P_{SF} 及び前記照明フリンジパターン P_{MI} に依存した空間波長 P_{IMESF} を有する強度変調エンベロープによって変調された構造化照明を含む前記空間変調されたイメージ光を出力し、 P_{SF} 及び P_{MI} は、前記光源が非コヒーレント光を出力する場合に、 $n P_{MI} P_{SF} / (n P_{MI} - P_{SF}) = P_{IMESF} = m * P_d / k$ が成立し、前記光源がコヒーレント光を出力する場合には、 $n P_{MI} P_{SF} / (2 n P_{MI} - P_{SF}) = P_{IMESF} = m * P_d / k$ が成立するように、ディテクタピッチ P_d と共に選択される。 m は、前記ディテクタ部から出力される位相信号の数であり、 k は、奇数の整数であり、前記空間波長 P_{IMESF} は、前記スケールピッチ P_{SF} より大きい。ディテクタピッチ P_d は、前記ディテクタ部において、前記使用可能な周期結像の異なる位相をそれぞれ受信するよう設置され、且つ前記測定軸方向に沿って、特定のディテクタ信号位相に対応したディテクタエレメント間のピッチである。

30

40

【0011】

第1の態様において、前記スケール格子は、前記測定軸方向に沿って平行に配置した第1のスケール格子部及び第2のスケール格子部を含む。前記第2のスケール格子部は、前

50

記測定軸方向に沿って前記第1のスケール格子部に対し $0.5 * P_{SF}$ の空間位相オフセットを有する。前記第1のスケール格子部及び第2のスケール格子部の両者は、前記スケール格子から出力される前記使用可能な空間変調されたイメージ光と、前記使用可能な周期結像とに寄与する。

【0012】

第2の態様において、前記スケール格子は、前記結像部から、前記焦点距離F未満の距離に設置される。

【0013】

第3の態様において、前記スケール格子は、前記スケール格子に垂直で且つ前記測定軸に平行な平面において少なくとも 0.1 度になるような、前記測定軸についてのロール角で結像部の光路が回転するように、結像部に対して配置される。

10

【0014】

第4の態様において、前記スケール格子は、前記スケール格子に垂直で且つ前記測定軸に平行な平面において少なくとも 0.1 度になるような、前記測定軸についてのピッチ角で結像部の光路が回転するように、結像部に対して配置される。

【0015】

第5の態様において、照明部の位相格子は、前記スケール格子に垂直で且つ前記測定軸に平行な平面において、前記位相格子の平面と前記スケール格子の平面との間のロール角が $(2 * B * M * P_{PG}^2) / (H *)$ と等しくなるように設置される。ここで、Bは、 $0.75 \sim 1.25$ の間の数であり、Mは、前記結像部の倍率値であり、 P_{PG} は、前記照明部の前記位相格子のピッチであり、Hは、前記測定軸方向に垂直である前記ディテクタ部の視野の高さである。

20

【0016】

第6の態様において、照明部の位相格子は、前記スケール格子に垂直で且つ前記測定軸に平行な平面において、前記位相格子の平面と前記スケール格子の平面との間のピッチ角が $(2 * B * M * P_{PG}^2) / (V *)$ と等しくなるように設置される。ここで、Bは、 $0.75 \sim 1.25$ の間の数であり、Mは、前記結像部の倍率値であり、 P_{PG} は、前記照明部の前記位相格子のピッチであり、Vは、前記測定軸方向に沿った前記ディテクタ部の視野の長さである。

【図面の簡単な説明】

30

【0017】

【図1】両側テレセントリック配置と、アブソリュート、原点及びインクリメンタルトラックパターンを有するスケールとを備え、従来の画像処理技術を利用するエンコーダ構成の部分的な概略分解図である。

【図2A】図1のエンコーダ構成の、インクリメンタルスケールトラックパターン、イメージ強度及びディテクタ配置の図である。

【図2B】図1のエンコーダ構成の、インクリメンタルスケールトラックパターン、イメージ強度及びディテクタ配置の図である。

【図2C】図1のエンコーダ構成の、インクリメンタルスケールトラックパターン、イメージ強度及びディテクタ配置の図である。

40

【図3】両側テレセントリック配置と、アブソリュート、原点及びインクリメンタルトラックパターンを有するスケールとを備え、ここに開示する原理に従った空間フィルタリング及び結像原理を利用するエンコーダ構成の部分的な概略分解図である。

【図4A】図3のエンコーダ構成の、照明フリッジパターン、インクリメンタルスケールトラックパターン、結果としてのモアレイメージ強度及びディテクタ配置の図である。

【図4B】図3のエンコーダ構成の、照明フリッジパターン、インクリメンタルスケールトラックパターン、結果としてのモアレイメージ強度及びディテクタ配置の図である。

【図4C】図3のエンコーダ構成の、照明フリッジパターン、インクリメンタルスケールトラックパターン、結果としてのモアレイメージ強度及びディテクタ配置の図である。

【図4D】図3のエンコーダ構成の、照明フリッジパターン、インクリメンタルスケール

50

トラックパターン、結果としてのモアレイメージ強度及びディテクタ配置の図である。

【図5】種々の設計パラメータセットに対応する変調伝達関数を示すチャート図である。

【図6】測定軸方向に沿った開口部の幅上における、%DOF (dependence of depth of field)、空間調和性及び光信号パワーを示すチャート図である。

【図7】図1のエンコーダ構成の一実施形態の部分的な概略分解図である。

【図8】図3のエンコーダ構成の一実施形態の部分的な概略分解図である。

【図9】図8の実施形態の位相格子部の代替構成の図である。

【図10A】図1のエンコーダ構成のスケルトントラックパターン配置の図である。

【図10B】図3のエンコーダ構成のスケルトントラックパターン配置の図である。

【図11】図3のエンコーダ構成用の種々のスケール及びディテクタトラックの組合せのためのパラメータを示すテーブルである。

【図12】両側テレセントリック配置を介した異なる光路を示す概略断面図である。

【図13A】ここに開示する原理に係るエンコーダ構成の実用的な実装の他の実施形態である構成を示す。

【図13B】ここに開示する原理に係るエンコーダ構成の実用的な実装の他の実施形態である構成を示す。

【図14】図13に示す構成の分析を示し、位相格子がどのようにして、ディテクタ上に光強度信号を与える使用可能な回折次数を提供するのかを示す。

【図15】照明部の第1の代替実施形態を含むエンコーダ構成の部分的な概略分解図である。

【図16】図15の構成要素に加えて構成要素を含み且つ反射的なエンコーダ構成で使用され得る、照明部の第2の代替実施形態を含むエンコーダ構成の部分的な概略分解図である。

【図17】ここに開示する原理に係るエンコーダ構成において用いられ得る照明部の図である。

【図18】ここに開示する原理に係るエンコーダ構成において用いられ得る照明部の図である。

【図19】ここに開示する原理に係るエンコーダ構成において用いられ得る照明部の図である。

【図20】ここに開示する原理に係るエンコーダ構成において用いられ得る照明部の図である。

【図21】ここに開示する原理に係るエンコーダ構成において用いられ得る照明部の図である。

【図22】ここに開示する原理に係るエンコーダ構成において用いられ得る照明部の図である。

【図23A】エンコーダ構成において用いられ得るオフセット格子部を含むスケール格子パターンの実施形態を示した図である。

【図23B】スケールイメージにおける図23Aの各スケール格子部の複合強度寄与のラインメント(alignment)を概略的に示した図である。

【図23C】図23Bのスケールイメージ部各々の複合強度寄与を含むスケールイメージを示した図である。

【図24A】ここに開示する原理に係る、拡大されたスケール格子の領域を用いるよう構成された第1のエンコーダ構成の概略図である。

【図24B】ここに開示する原理に係る、拡大されたスケール格子の領域を用いるよう構成された第2のエンコーダの概略図である。

【図25A】潜在的な自己像の影響を軽減するためのロール角で配置されるスケールエレメントを含むエンコーダ構成を示した概略図である。

【図25B】潜在的な自己像の影響を軽減するためのロール角で配置されるスケールエレメント及び照明部の位相格子を含むエンコーダ構成を示した概略図である。

10

20

30

40

50

【図25C】潜在的な自己像の影響を軽減するためのロール角で配置される照明部の位相格子を含むエンコーダ構成を示した概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

前述した態様、及びこれらに付随する効果の多くは、以下の詳細な説明を図面と共に参照することにより良く理解されるものと同等のものとして、より容易に理解されるであろう。

【0019】

図1は、両側テレセントリック配置と、アブソリュート、原点及びインクリメンタルトラックパターンを有するスケールとを備え、従来の画像処理技術を利用する光学式変位エンコーダ構成100の部分的な概略分解図である。エンコーダ構成100の幾つかの態様は、同時係属中の同一出願人による、今やアメリカ合衆国特許第8,492,703号である2009年8月4日付けで提出したアメリカ合衆国特許出願12/535,561、及び今やアメリカ合衆国特許第7,608,813号である2008年11月18日付けで提出したアメリカ合衆国特許出願12/273,400(以下、'400出願)に記載のエンコーダ構成と同様である。これらは、参照によって本明細書に取り込まれる。エンコーダ構成100は、比較的粗いピッチ(例えば、20 μ m)を有するインクリメンタルスケールトラックで正確且つ効果的に動作できる。一方、図3を参照してより詳細に説明するように、ここで開示する方法は、非常に細かいピッチ(例えば、4 μ m)を有するインクリメンタルスケールトラックが同様の構成において利用可能なように用いても良い。

【0020】

図1に示すように、エンコーダ構成100は、スケールエレメント110と、光源(図示せず)からの光の可視又は不可視波長を導くためのレンズ140と、両側テレセントリック結像構成180とを含む。両側テレセントリック結像構成180は、第1レンズ平面FLPにおける第1レンズ181と、開口平面APにおける開口部品182'中の開口部182と、第2レンズ平面SLPにおける第2レンズ183と、検出平面DPにおけるディテクタエレクトロニクス120とを備える。少なくとも一の実施形態において、スケールエレメント110は、第1レンズ平面FLPから距離 d_0 だけ離隔される。第1レンズ平面FLPは、開口平面APから焦点距離 f だけ離隔される。開口平面APは、第2レンズ平面SLPから焦点距離 f' だけ離隔される。第2レンズ平面SLPは、検出平面DPから距離 d_0' だけ離隔される。ディテクタエレクトロニクス120は、信号生成・処理回路190へ接続しても良い。光源も、電力及び信号接続(図示せず)により信号生成・処理回路190へ接続しても良い。

【0021】

図1に示す実施形態において、スケールエレメント110は、3つのスケールトラックパターン、アブソリュートスケールトラックパターンTABS1、原点スケールトラックパターンTREF1、及びインクリメンタルスケールトラックパターンTINC1から成るスケールパターン115を含む。トラックパターンTABS1は、絶対的な測定範囲に亘るアブソリュートスケールを決定するのに利用可能な信号を供給するため、アブソリュートスケールトラックパターンと呼称する。少なくとも一の実施形態においては、任意の従来のアブソリュートスケールパターンを、アブソリュートスケールトラックパターンTABS1として利用しても良い。少なくとも一の実施形態において、アブソリュートスケールトラックパターンTABS1は、ほぼX軸に沿った検出幅上で、非常に“粗い”ABS分解能を有し得る。

【0022】

インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1のためには、少なくとも一の実施形態において、そのインクリメンタルピッチが比較的粗い(例えば、20 μ m)であろう。図3を参照してより詳細に後述する如く、ここで開示する方法を利用する同様のサイズのエンコーダ構成において、細かいピッチ(例えば、4 μ m)を使用可能にしても良い。原点スケールトラックパターンTREF1は、特定のインクリメンタル波長を示すことが可

10

20

30

40

50

能なレベルへ分解できるように形成され、以て(例えば、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1からの)インクリメンタル波長を、(例えば、アブソリュートスケールトラックパターンTABS1からの)アブソリュートマークに対して明確にする。図10Aを参照してより詳細に後述する如く、少なくとも一の実施形態においては、原点スケールトラックパターンTREF1が一連の原点マークから成り得る。少なくとも一の実施形態において、原点マークは、一連のベーカー(backer)パターンとして形成しても、バーニア(Vernier)原点マークとして機能しても、様々な周知技術に従って形成しても良い。

【0023】

図1は、慣例に従って、直行するX、Y及びZ方向を示している。X及びY方向は、スケールパターン115の平面と平行であり、X方向は、意図する測定軸方向MA82と平行(例えば、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1に含まれ得る長細いパターンエレメントと垂直)である。Z方向は、スケールパターン115の平面と垂直である。

【0024】

ディテクタエレクトロニクス120は、3つのスケールトラックパターンTABS1、TREF1及びTINC1それぞれから光を受信するよう配置された、3つのディテクタトラックDETTABS1、DETTREF1及びDETTINC1から成るディテクタ構成124を含む。ディテクタエレクトロニクス120は、信号処理回路136(例えば、信号オフセット及び/又はゲイン調整、信号増幅、並びに結合回路等)を含んでも良い。少なくとも一の実施形態において、ディテクタエレクトロニクス120は、単一のCMOSICとして製造しても良い。

【0025】

動作において、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1用のイメージチャンネルで例示すると、照明光源からの光は、レンズ140によって、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1を光源光131で照らすように導かれる。幾つかの実施形態において、光源光131はコヒーレント光である。そして、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1は、スケール光132を出力する。当然のことながら、X方向に沿って開口幅AWを有する限界開口182は、(図2を参照してより詳細に後述する如く)インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1用のイメージチャンネルを通過する光線を選択又は制限する空間フィルタとして機能する。図1は、3つのこのような光線、2つの端光線及び1つの中心光線を示している。図1に示すように、レンズ181は、光線を限界開口182へ伝送する。限界開口182は、光線を、空間的にフィルタされたイメージ光133として第2レンズ183へ伝送する。第2レンズ183は、空間的にフィルタされたイメージ光を伝送及び集光して、スケールトラックパターンTINC1のイメージをディテクタトラックDETTINC1にて形成する。

【0026】

このように、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1は、照らされた場合に、トラック固有に空間変調された光パターンをディテクタエレクトロニクス120のディテクタトラックDETTINC1へ出力する。空間変調された光パターンのイメージは、ディテクタトラックDETTINC1と同一平面上であり得るイメージ平面IMG Pにて形成される(図1では、イメージ平面IMG Pは説明のために独立して示されている)。イメージ平面IMG Pに示すように、スケールイメージSIのパターンは、変調されたスケールイメージピッチ P_{SI} を有している。一の実施形態において、ピッチ P_{SI} は比較的粗くても良い(例えば、 $20\mu\text{m}$)。

【0027】

インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1からの空間変調された光パターンのディテクタトラックDETTINC1上での結像と同様、スケールトラックパターンTREF1及びTABS1がレンズ140からの光によって照らされると、これらのパターンTREF1及びTABS1は、トラック固有に空間変調された光パターン(例えば、こ

10

20

30

40

50

これらのパターンに対応するパターン光)を、ディテクタエレクトロニクス120のトラック固有のディテクタトラックDETREF1及びDETAB S1へそれぞれ出力する。上述した通り、(例えば、ベーカーパターンを有する)原点スケールトラックパターンTR E F1は特定のインクリメンタル波長を示し、以てインクリメンタルスケールトラックパターンTINC1からの波長を、アブソリュートトラックパターンTABS1からのアブソリュートマークに対して明確にする。当然のことながら、空間変調された光パターンの全てが、スケール110と共に移動する。

【0028】

図11を参照してより詳細に後述する通り、ディテクタトラックDTEINC1、DETAB S1及びDETREF1の各々においては、個別のフォトディテクタ領域が、受信した空間変調された光パターンを空間的にフィルタして、信号(例えば、直交信号を生成するインクリメンタルディテクタトラックDETEINC1、又は信号補間をもたらす空間的な位相関係を有する他の周期信号)を示す所望の位置を提供するために配置される。幾つかの実施形態においては、個別のフォトディテクタ領域よりはむしろ、個別の開口を有する空間フィルタマスクが、比較的大きなフォトディテクタをマスクして、個別のフォトディテクタ領域に類似する光受信エリアを提供し、周知技術に従った類似の全体的なシグナル効果を提供しても良い。

【0029】

種々の用途において、ディテクタエレクトロニクス及び光源は、互いに固定された関係で、例えば読取ヘッド又はゲージ筐体(図示せず)中に実装され、周知技術に従い、ベアリングシステムによりスケール110に関連する測定軸に沿って導かれる。種々の用途において、スケールは、ムービングステージ又はゲージスピンドル等に取り付けられても良い。当然のことながら、図1に示す構成は透過型の構成である。すなわち、スケールパターン115は、空間変調された光パターンを透過によってディテクタトラックへ出力する遮光部及び光伝達部(例えば、周知の薄膜パターンング技術を用いて透明基板上に組み上げられる)を備えている。当然のことながら、同様の構成要素が反射的な実施形態において配置され得て、周知技術に従い必要に応じて、光源及びディテクタエレクトロニクスは、スケール110と同側に配置され、角度のある照明及び反射のために設置される。

【0030】

透過的なスケールパターン又は反射的なスケールパターンのいずれにおいても、ディテクタトラック(例えば、DETAB S1、DETREF1又はDETEINC1)で検出された光を提供するスケールパターンの部分は、当該スケールパターンの部分を生成する信号として参照され得て、当然のことながら、スケールパターンの他の部分は、一般に出来るだけ僅かな光を提供し、種々の用途において、ここでの教示に従ってパターンングされる。換言すると、互いに“ネガティブ”なスケールパターンは、共に使用可能な信号を生成し、その信号変化も、一定の反射的又は透過的な配置のためにおおよそ互いに“ネガティブ”である。よって、スケールパターンは、“信号変動部”の観点から説明しても良く、当然のことながら種々の用途において、信号変動部は、信号生成部或いはスケールパターンの信号逓減部を備える。

【0031】

図2A~2Cは、図1のインクリメンタルスケールトラックパターンTINC1に対応する光信号チャネルに関する種々の態様を示している。より具体的には、図2Aは、スケールピッチ P_{SL} を有するインクリメンタルスケールトラックパターンTINC1を示している。図2Bは、検出平面DPにおいてインクリメンタルスケールトラックパターンTINC1からの光によってもたらされるイメージ強度信号IMG1のグラフ図である。図2Bに示すように、結果としてのイメージ強度は、(例えば、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1からのフィルタされていない信号から生成され得るような方形波とは反対の)ほぼ正弦波の信号を生成するように(例えば、開口部182によって)空間的にフィルタされており、信号周期 P_{ISC} を有している。図2Cは、インクリメンタルディテクタトラックDETEINC1の図であり、説明のために、図2Bのイメージ強度

10

20

30

40

50

信号 $IMG1$ のイメージがディテクタトラック $DETINC1$ に重ね合せられている。図 2C に示すように、ディテクタトラック $DETINC1$ は、直交信号を出力するよう、ディテクタトラック波長 d_d の 1 周期内に在る 4 つのディテクタエレメントに接続されている。ディテクタトラック波長 d_d の 1 周期は、イメージ強度信号 $IMG1$ の 1 周期 P_{IS_c} にも対応する。

【 0 0 3 2 】

図 3 は、両側テレセントリック配置と、アブソリュート、原点及びインクリメンタルトラックパターンを有するスケールとを備え、ここで開示する原理に従った空間フィルタリング及び結像技術を利用するエンコーダ構成 300 の部分的な概略分解図である。エンコーダ構成 300 の幾つかの構成要素及び動作原理は、図 1 のエンコーダ構成 100 と略同様であり、類推によって一般に理解され得る。例えば、図 3 において、図 1 中の一連の番号 1XX と同一サフィックス “XX” を有する一連の番号 3XX は、同様又は同一の構成要素を指定し得て、当該構成要素は、以下で特段の説明又は暗示が無ければ、同様に機能し得る。

【 0 0 3 3 】

図 3 に示すように、エンコーダ構成 300 は、スケールエレメント 310 と、照明システム / 部 360 と、両側テレセントリック結像構成 380 とを含む。照明システム / 部 360 は、光の可視又は不可視波長を発する光源 330 (例えば、LED) と、レンズ 340 と、位相格子 350 とを含む。より詳細に後述する如く、少なくとも一の実施形態において、位相格子 350 は、構造化された光パターンを生成するために利用され得て、インクリメンタルスケールトラックパターン $TINC2$ 及び原点スケールトラックパターン $TREF2$ 用であるが、アブソリュートスケールトラックパターン $TABS2$ 用では無い光信号パスチャンネル内に位置し得る。両側テレセントリック結像構成 380 は、第 1 レンズ平面 FLP における第 1 レンズ 381 と、開口平面 AP における開口部品 382' 中の開口部 382 と、第 2 レンズ平面 SLP における第 2 レンズ 383 と、検出平面 DP におけるディテクタエレクトロニクス 320 とを備える。ディテクタエレクトロニクス 320 は、信号生成・処理回路 390 へ接続しても良い。光源 330 も、電力及び信号接続 (図示せず) により信号生成・処理回路 390 へ接続しても良い。

【 0 0 3 4 】

図 3 に示す実施形態において、スケールエレメント 310 は、3 つのスケールトラックパターン、アブソリュートスケールトラックパターン $TABS2$ 、原点スケールトラックパターン $TREF2$ 、及びインクリメンタルスケールトラックパターン $TINC2$ から成るスケールパターン 315 を含む。少なくとも一の実施形態においては、従来のアブソリュートスケールトラックパターンを、アブソリュートスケールトラックパターン $TABS2$ として利用しても良い。少なくとも一の実施形態において、アブソリュートスケールトラックパターン $TABS2$ は、ほぼ X 軸に沿った検出幅上で、比較的 “粗い” ABS 分解能を有し得る。

【 0 0 3 5 】

より詳細に後述する通り、エンコーダ構成 300 は、微細なピッチスケールがスケール変位をセンシングする安価なディテクタの検出ピッチ又はエレメントピッチに対応するより大きなピッチフリンジを提供可能にする幾つかの空間フィルタリング及び結像原理を利用するよう設計される。所望のフリンジを生成するため、位相格子 350 は、インクリメンタルスケールトラックパターン $TINC2$ 及び原点スケールトラックパターン $TREF2$ のピッチに近いピッチ (例えば、 $4\ \mu\text{m}$ のインクリメンタルスケールトラックピッチ及び $4.1\ \mu\text{m}$ の原点スケールトラックピッチと比して、 $5\ \mu\text{m}$ の位相格子ピッチ) を有するよう設計された照明格子である。結果としての位相格子 350 及びインクリメンタルスケールトラックパターン $TINC2$ からのフリンジ周期は、比較的粗く (例えば、 $20\ \mu\text{m}$)、位相格子 350 及びインクリメンタルスケールトラックパターン $TINC2$ により生成されるフリンジ周期 (例えば、 $22.77\ \mu\text{m}$) と僅かに異なり得る。

【 0 0 3 6 】

10

20

30

40

50

より詳細に後述する通り、検出パターンは、インクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 2 及び原点スケールトラックパターン T R E F 2 に対応する高い空間周波数をぼやけさせる又は除去する開口部 3 8 2 を含む両側テレセントリック結像構成 3 8 0 によって、空間的にフィルタされた状態で結像される。幾つかの実施形態においては、パラメータが選択され、以て空間的にフィルタリングされたパターンの変調イメージピッチが、所定のディテクタ(例えば、20 μ m のインクリメンタルスケールトラックピッチ用に設計されたディテクタ)のピッチに一致する。適切な開口幅が、高い空間周波数を除去し且つ所望のパターンフリンジ周期をもたらすといった所望の空間フィルタリングの効果を奏するように選択され得る。所望の空間波長フィルタリングを達成するための開口幅等に関する幾つかの教示は、同一出願人による特許文献 1 2 により詳細に記載されており、参照

10

【 0 0 3 7 】

図 1 0 B を参照してより詳細に後述する通り、少なくとも一の実施形態において、原点スケールトラックパターン T R E F 2 は、ベーカーパターンとして形成され得る一連の原点マークを含んでも良い。原点マークは、バーニア原点マークとして機能しても良い。原点スケールトラックパターン T R E F 2 は、インクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 2 用の特定のインクリメンタル波長を示すことが可能なレベルへ分解できるように形成され、以てインクリメンタル波長を、アブソリュートスケールトラックパターン T A B S 2 からのアブソリュートマークに対して明確にする。少なくとも一の実施形態において、原点トラックパターン T R E F 2 (例えば、ベーカーパターン)及びインクリメンタル

20

【 0 0 3 8 】

具体例として、原点スケールトラックパターン T R E F 2 は、インクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 2 のピッチ(例えば、20 μ m の周期で、変調され且つ空間的にフィルタされたフリンジパターンを生成する 4 . 0 μ m)と比して、僅かに異なるピッチ(例えば、22 . 77 μ m の周期で、変調され且つ空間的にフィルタされたフリンジパターンを生成する 4 . 1 μ m)を有し得て、この結果、原点スケールトラックパターンの位相が、特定の長さに沿った一つの特定点のみでインクリメンタルスケールトラックパターンの位相と一致する(例えば、原点スケールトラックパターン内のベーカーパターン長に沿った一つのポイントで一致するのみである)。位相が一致する位置は、インクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 2 用の特定のインクリメンタル波長を規定する。

30

【 0 0 3 9 】

一の実施形態において、原点スケールトラックパターン T R E F 2 においては、ベーカーパターンが選択された間隔(例えば、0 . 6 ミリメートル)で提供されても良い。(例えば、パターン中心での)各ベーカーパターンの位相は、特定の距離(例えば、0 . 6 ミリメートル)だけ離れた位置でのインクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 1 の位相と一致する(又は、当該位相から一定の位相オフセットを有する)。インクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 2 及び原点スケールトラックパターン T R E F 2 の合成波長は、ベーカーパターン長より大きい。少なくとも一の実施形態において、この関係は、インクリメンタルスケールトラックパターン及び原点(例えば、ベーカー)スケールトラックパターンの合成波長がベーカーパターン長 L より大きいことを、 $L < p p' / (p' - p)$ と記述することによって表現され得る。ここで、 p は、インクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 2 のピッチであり、 p' は、原点スケールトラックパターン T R E F 2 におけるベーカーパターンのピッチである。

40

【 0 0 4 0 】

図 3 に示すように、ディテクタエレクトロニクス 3 2 0 は、3 つのスケールトラックパ

50

ターンT A B S 2、T R E F 2及びT I N C 2それぞれから光を受信するよう配置された、3つのディテクタトラックD E T A B S 2、D E T R E F 2及びD E T I N C 2から成るディテクタ構成3 2 5を含む。ディテクタエレクトロニクス3 2 0は、信号処理回路3 2 6(例えば、信号オフセット及びノイズ又はゲイン調整、信号増幅、並びに結合回路等)を含んでも良い。少なくとも一の実施形態において、ディテクタエレクトロニクス3 2 0は、単一のC M O S I Cとして製造しても良い。

【0041】

動作において、光源3 3 0から発せられた光3 3 1(一次光)は、レンズ3 4 0により、3つのスケールトラックパターンT A B S 2、T R E F 2及びT I N C 2を照らすのに十分なビーム領域で部分的又は全体的に平行化される。位相格子3 5 0は、上述した変調され且つ空間的にフィルタされた結像効果を達成するため、ソース光を回折して、回折された構造化光3 3 1'を(アブソリュートスケールトラックパターンT A B S 2では無く)原点スケールトラックパターンT R E F 2及びインクリメンタルスケールトラックパターンT I N C 2へ与えるように形成される。そして、インクリメンタルスケールトラックパターンT I N C 2用のイメージチャンネルで例示すると、インクリメンタルスケールトラックパターンT I N C 2は、スケール光3 3 2をレンズ3 8 1へ与える。当然のことながら、X軸方向に沿って開口幅A Wを有する限界開口3 8 2は、(図4~12を参照してより詳細に後述する如く)イメージチャンネルを通過する光線を選択又は制限する空間フィルタとして機能する。図3は、3つのこのような光線、2つの端光線及び1つの中心光線を示している。図3に示すように、レンズ3 8 1は、光線を限界開口3 8 2へ伝送する。限界開口3 8 2は、光線を、空間的にフィルタされたイメージ光3 3 3として第2レンズ3 8 3へ伝送する。第2レンズ3 8 3は、空間的にフィルタされたイメージ光を伝送及び集光して、空間変調された光パターンをディテクタトラックD E T I N C 2にて形成する。上述した通り、及び図4を参照して詳細に後述する通り、ここで開示する原理に従って、ディテクタトラックD E T I N C 2における空間変調された光パターンは、変調且つ空間的にフィルタされたフリンジパターンを備えている。

【0042】

同様に、スケールトラックパターンT R E F 2及びT A B S 2は、照らされると、トラック固有に空間変調された光パターン(例えば、各パターンに対応するパターン化された光)を、ディテクタエレクトロニクス3 2 0のトラック固有のディテクタトラックD E T R E F 2及びD E T A B S 2へそれぞれ出力する。上述した通り、ディテクタトラックD E T R E F 2における空間変調された光パターンは、変調且つ空間的にフィルタされたフリンジパターンを備えている。当然のことながら、空間変調された光パターンの全てがスケール3 1 0と共に移動する。ディテクタトラックD E T I N C 2、D E T A B S 2及びD E T R E F 2各々に対応する光信号チャンネルにおいて、個別のフォトディテクタ領域が、受信した空間変調された光パターンを空間的にフィルタして、信号(例えば、直交信号を生成するインクリメンタルディテクタトラックD E T I N C 2、又は信号補間をもたらす空間的な位相関係を有する他の周期信号)を示す所望の位置を提供するために配置される。幾つかの実施形態においては、個別のフォトディテクタ領域よりはむしろ、個別の開口を有する空間フィルタマスクが、比較的大きなフォトディテクタをマスクして、周知技術に従った類似の全体的なシグナル効果を提供するために説明した個別のフォトディテクタ領域に類似する光受信エリアを提供しても良い。

【0043】

種々の用途において、ディテクタエレクトロニクス3 2 0及び光源3 3 0は、互いに固定された関係で、例えば読取ヘッド又はゲージ筐体(図示せず)中に実装され、周知技術に従い、ベアリングシステムによりスケール3 1 0に関連する測定軸に沿って導かれる。種々の用途において、スケールは、ムービングステージ又はゲージスピンドル等に取り付けられても良い。

【0044】

図4 A ~ 4 Dは、図3のインクリメンタルスケールトラックパターンT I N C 2に対応

10

20

30

40

50

する光信号チャネルに関する種々の態様を示している。より具体的には、図 4 A は、位相格子 350 によって生成される照明フリンジパターン I F P を示している。照明フリンジパターン I F P は、ピッチ P_{MI} (例えば、 $5 \mu m$) を有するように示されている。図 4 B は、スケールピッチ P_{SF} (例えば、 $4 \mu m$) を有するインクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 2 を示している。図 4 C は、検出平面 D P において位相格子 350 及びインクリメンタルスケールトラック T I N C 2 の組合せからの光によってもたらされるイメージ強度信号 I M G 2 のグラフ図である。図 4 C に示すように、結果としてのイメージ強度は、変調されたイメージピッチ P_{IMESF} (例えば、 $20 \mu m$) を有する全体的な正弦波のエンベロープパターンと共にならり周波数を伴うモアレフリンジを含む。上述した通り、イメージ強度は、変調されたイメージピッチ P_{IMESF} を伴うモアレ結像フリンジ用にほぼ正弦波のエンベロープ信号を生成するために、インクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 2 からの高周波信号 H F S を除去するよう(例えば、開口部 182 によって)空間的にフィルタされている。

10

【0045】

種々の実施形態において、開口部 350 は、開口幅 $AW = F * (a / (P_{MI} P_{SF} / ((P_{MI} - P_{SF})))$ であるように構成される。ここで、 a は、 2.0 より大きく且つ 6.0 未満である。空間変調されたイメージ光は、値 n だけ異なる 2 つの回折次数の干渉から形成されるフリンジ(図 4 C に詳細に示す)を備えている。幾つかの実施形態において、例えば、モアレイメージ強度信号 I M G 2 が、スケール光 332 の $a + 1$ 及び $a - 1$ 回折次数要素の重複に由来しているならば、 $n = 2$ である。他の例示的な実施形態において、 n は 1 又は 4 であり得る。

20

【0046】

当然のことながら、コヒーレント光を出力する光源を含むエンコーダ構成において、変数 a は、 0.5 より大きい値を有するべきである。コヒーレント光を利用する実施形態において、 a の値は、 0.5 より大きく且つ 1.5 より小さくても良い。コヒーレント光を利用する一の実施形態において、 a の値は 1 である。非コヒーレント光を利用する実施形態において、 a の値は、 1 より大きく且つ 4 より小さくても良い。非コヒーレント光を利用する一の実施形態において、 a の値は 2 である。

【0047】

イメージ強度信号 I M G 2 は、スケールピッチ P_{SF} 及び照明フリンジピッチ P_{MI} に依存する空間波長 P_{IMESF} を有する強度変調エンベロープによって変調される。 P_{SF} 及び P_{MI} は、ディテクタトラック D E T I N C 2 のディテクタピッチ P_d と協調して選択され、以て光源が非コヒーレント光を出力する場合に、 $n P_{MI} P_{SF} / (n P_{MI} - P_{SF}) = P_{IMESF} = m * P_d / k$ が成立し、光源がコヒーレント光を出力する場合には、 $n P_{MI} P_{SF} / (2 n P_{MI} - P_{SF}) = P_{IMESF} = m * P_d / k$ が成立する。ここで、 m は、ディテクタ部から出力される位相信号の数であり、 k は、奇数の整数である。空間波長 P_{IMESF} は、スケールピッチ P_{SF} より大きい。

30

【0048】

図 4 A、図 4 B 及び図 4 C の間に描画される一連の垂直参照ライン V R L は、図 4 B のインクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 2 を通過する図 4 A の照明フリンジパターンからの信号レベルの指標を提供し、結果としての図 4 C のモアレイメージ強度中の信号強度に対応しているように見える。図 4 D は、インクリメンタルディテクタトラック D E T I N C 2 の図であり、説明のために、図 4 C のモアレイメージ強度信号 I M G 2 のうなり周波数エンベロープのイメージがディテクタトラック D E T I N C 2 に重ね合せられている。図 4 D に示すように、ディテクタトラック D E T I N C 2 は、直交信号を出力するよう、検出又はピッチ P_d の 1 周期内に在る 4 つのディテクタエレメントに接続されている。検出又はピッチ P_d の 1 周期は、モアレイメージ強度信号 I M G 2 の 1 周期 P_{IMESF} にも対応する。

40

【0049】

図 5 及び図 6 は、以前特許文献 12 に組み込まれた図 26 及び図 27 に含まれる基本的

50

な設計参照情報を示している。種々の実施形態における開口サイズの選択に関して図5及び図6を使用することは、'969特許の開示に基づき理解され得るから、ここでは詳細には説明しない。但し、関連する教示が、この開示に照らして使用され得る。'969特許の開示の大部分は、非コヒーレント照明の観点からのものである。当業者は、結像系における非コヒーレント照明とコヒーレント照明の間の差異に関する周知の検討に基づいて、その教示に対して適切に適応するであろう。

【0050】

図7は、図1のエンコーダ構成100の実用的な実装の一実施形態であるエンコーダ構成700の部分的な概略分解図である。エンコーダ構成700の幾つかの構成要素及び動作原理は、図1のエンコーダ構成100と略同様であり、類推によって一般に理解され得る。例えば、図7において、図1中の一連の番号1XXと同一サフィックス“XX”を有する一連の番号7XXは、同様又は同一の構成要素を指定し得て、当該構成要素は、以下で特段の説明又は暗示が無ければ、同様に機能し得る。

10

【0051】

図7に示すように、エンコーダ構成700は、スケールエレメント710と、照明システム/部760と、両側テレセントリック結像構成780とを含む。照明システム/部760は、光の可視又は不可視波長を発する光源730(例えば、LED)と、レンズ740と、ビームスプリッタ755を含む。両側テレセントリック結像構成780は、第1レンズ平面FLPにおける第1レンズアレイ781と、開口平面APにおける開口部品782'中の開口アレイ782と、第2レンズ平面SLPにおける第2レンズアレイ783と、検出平面DPにおけるディテクタエレクトロニクス720とを備える。ディテクタエレクトロニクス720は、信号生成・処理回路(図示せず)へ接続しても良い。光源730も、電力及び信号接続(図示せず)により信号生成・処理回路へ接続しても良い。

20

【0052】

レンズアレイ781及び783並びに開口アレイ782に関し、当然のことながら、これらは、図1のエンコーダ構成100の第1レンズ181、開口部182及び第2レンズ183と同様の個別要素を含む。図7中、各アレイにおいて、各個別要素は、同様に協調動作して、イメージチャンネル又はイメージチャンネル構成と呼称され得る個別のイメージパス又はチャンネルを提供する。各イメージチャンネルは、図1に関し上述したエンコーダ構成100の単独のレンズ及び開口部に対して同様に機能する。図7の実施形態において、多重イメージチャンネルは、単独のイメージチャンネルの品質が劣化する或いは阻害される場合に、残りのイメージチャンネルが依然として正確なスケールパターンの結像を提供し得るという点において、汚染、欠陥、スケール波形等に関するシステムのロバスト性のための付加的レベルを提供するのに利用される。

30

【0053】

図7の実施形態において、スケールエレメント710は、図1に関し上述した、アブソリュートスケールトラックパターンTABS1、原点スケールトラックパターンTREF1及びインクリメンタルスケールトラックパターンTINC1を含む3つのスケールトラックパターンから成るスケールパターン715を含む。少なくとも一の実施形態において、アブソリュートスケールトラックパターンTABS1は、ほぼX軸に沿った検出幅上で、非常に“粗い”ABS分解能を有し得る。

40

【0054】

インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1のためには、少なくとも一の実施形態において、そのインクリメンタルピッチが比較的粗く(例えば、20 μ m)ても良い。図8を参照してより詳細に後述する如く、細かいピッチ(例えば、4 μ m)が、ここで開示する方法に従った同様のサイズのエンコーダ構成において実現され得る。図10Aを参照してより詳細に後述する如く、少なくとも一の実施形態において、原点スケールトラックパターンTREF1は、一連のベーカーパターンとして形成されバーニア原点マークとしても機能するか、様々な周知技術に従って形成される一連の原点マークを備え得る。

【0055】

50

ディテクタエレクトロニクス720は、3つのスケールトラックパターンTABS1、TREF1及びTINC1それぞれから光を受信するよう配置された、3つのディテクタトラックDETABS1、DETTREF1及びDETTINC1から成るディテクタ構成725を含む。ディテクタエレクトロニクス720は、信号処理回路(例えば、信号オフセット及び/又はゲイン調整、信号増幅、並びに結合回路等)を含んでも良い。少なくとも一の実施形態において、ディテクタエレクトロニクス720は、単一のCMOS ICとして製造しても良い。

【0056】

動作において、光源730から発せられた光731(一次光)は、レンズ740によって部分的又は全体的に平行化され得て、ビームスプリッタ755を介し、3つのスケールトラックパターンTABS1、TREF1及びTINC1を照らすのに十分なビーム領域上に導かれる。そして、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1用のイメージチャンネルで例示すると、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1は、ビームスプリッタ755によりレンズアレイ781へ方向を変えられるスケール光732を提供する。当然のことながら、開口アレイ782の各限界開口は、X方向に沿って開口幅AWを有し、(図2に関し上述したように)インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1用の所定のイメージチャンネルを通過する光線を選択又は制限する空間フィルタとして機能する。図7に示す如く、各イメージチャンネルのために、レンズアレイ781の対応するレンズが、光線を限界開口アレイ782の対応する開口部へ伝送する。そして、限界開口アレイ782の対応する開口部は、光線を、空間的にフィルタされたイメージ光733として第2レンズアレイ783の各レンズへ伝送する。第2レンズアレイ783の各レンズは、空間的にフィルタされたイメージ光を伝送及び集光して、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1の各位置に対応する空間変調された各光パターンを、ディテクタトラックDETTINC1の各位置にて形成する。

【0057】

このように、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1は、照らされると、トラック固有に空間変調された一連の光パターンを、各イメージチャンネルに対応する、ディテクタエレクトロニクス720のディテクタトラックDETTINC1の各位置へ出力する。空間変調された光パターンのイメージは、ディテクタトラックDETTINC1と同一平面上であり得るイメージ平面IMG Pにて形成される。

【0058】

インクリメンタルスケールトラックパターンTINC1からの空間変調された光パターンのディテクタトラックDETTINC1上での結像と同様に、スケールトラックパターンTREF1及びTABS1は、レンズ740からの光で照らされると、トラック固有に空間変調された光パターン(例えば、各パターンに対応するパターン化された光)を、ディテクタエレクトロニクス720のトラック固有のディテクタトラックDETTREF1及びDETTABS1へそれぞれ出力する。上述した通り、(例えば、ペーカーパターンを有する)原点スケールトラックパターンTREF1は、特定のインクリメンタル波長を示すよう分解でき、以てインクリメンタルスケールトラックパターンTINC1からの波長を、アブソリュートスケールトラックパターンTABS1からのアブソリュートマークに対して明確にする。ディテクタトラックDETTINC1、DETTABS1及びDETTREF1の各々においては、個別のフォトディテクタ領域が、受信した空間変調された各光パターンを空間的にフィルタして、信号(例えば、直交信号を生成するインクリメンタルディテクタトラックDETTINC1、又は信号補間をもたらす空間的な位相関係を有する他の周期信号)を示す所望の位置を提供するために配置される。

【0059】

種々の用途において、ディテクタエレクトロニクス及び光源は、互いに固定された関係で、例えば読取ヘッド又はゲージ筐体(図示せず)中に実装され、周知技術に従い、ベアリングシステムによりスケール710に関連する測定軸に沿って導かれる。種々の用途において、スケールは、ムービングステージ又はゲージスピンドル等に取り付けられても良い

10

20

30

40

50

。図7に示す構成は、反射的な構成である。すなわち、光源及びディテクタエレクトロニクスは、スケール710と同側に配置され、周知技術に従って、角度のある照明及び反射のために設置される。よって、スケールパターン715は、空間変調された光パターンを反射によってディテクタトラックへ出力する光吸収部及び光反射部(例えば、周知の反射技術を用いて基板上に組み上げられる)を備えている。当然のことながら、同様の構成要素が透過的な実施形態(例えば、図1参照)において配置され得る。

【0060】

図8は、図3のエンコーダ構成300の実用的な実装の一実施形態であるエンコーダ構成800の部分的な概略分解図である。エンコーダ構成800の幾つかの構成要素及び動作原理は、図3のエンコーダ構成300と略同様であり、類推によって一般に理解され得る。例えば、図8において、図3中の一連の番号3XXと同一サフィックス“XX”を有する一連の番号8XXは、同様又は同一の構成要素を指定し得て、当該構成要素は、以下で特段の説明又は暗示が無ければ、同様に機能し得る。

10

【0061】

図8に示すように、エンコーダ構成800は、スケールエレメント810と、照明システム/部860と、両側テレセントリック結像構成880とを含む。照明システム/部860は、光の可視又は不可視波長を発する光源830(例えば、LED)と、レンズ840と、位相格子850と、ビームスプリッタ855を含む。より詳細に後述する如く、少なくとも一の実施形態において、位相格子850は、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC2及び原点スケールトラックパターンTREF2用であるが、アブソリュートスケールトラックパターンTABS2用では無い光チャンネル内に位置及び配置しても良い。両側テレセントリック結像構成880は、第1レンズ平面FLPにおける第1レンズアレイ881と、開口平面APにおける開口アレイ882と、第2レンズ平面SLPにおける第2レンズアレイ883と、検出平面DPにおけるディテクタエレクトロニクス820とを備える。当然のことながら、レンズアレイ881及び883並びに開口アレイ882は、図7に関し上述したレンズアレイ781及び783並びに開口アレイ782と同様に配置されて機能する。ディテクタエレクトロニクス820は、信号生成・処理回路(図示せず)へ接続しても良い。光源830も、電力及び信号接続(図示せず)により信号生成・処理回路へ接続しても良い。

20

【0062】

図8の実施形態において、スケールエレメント810は、図3に関し上述した、アブソリュートスケールトラックパターンTABS2、原点スケールトラックパターンTREF2及びインクリメンタルスケールトラックパターンTINC2を含む3つのスケールトラックパターンから成るスケールパターン815を含む。少なくとも一の実施形態において、アブソリュートスケールトラックパターンTABS2は、ほぼX軸に沿った検出幅上で、比較的“粗い”ABS分解能を有し得る。図3に関し上述した通り、原点スケールトラックパターンTREF2及びインクリメンタルスケールトラックパターンTINC2は、ここに開示する空間フィルタリング及び結像原理に従って、利用され結像される。

30

【0063】

図8に示すように、ディテクタエレクトロニクス820は、3つのスケールトラックパターンTABS2、TREF2及びTINC2それぞれから光を受信するよう配置された、3つのディテクタトラックDETTABS2、DETTREF2及びDETTINC2から成るディテクタ構成825を含む。ディテクタエレクトロニクス820は、信号処理回路(例えば、信号オフセット及び/又はゲイン調整、信号増幅、並びに結合回路等)を含んでも良い。一の実施形態において、ディテクタエレクトロニクス820は、単一のCMOSICとして製造しても良い。

40

【0064】

動作において、光源830から発せられた光831(一次光)は、レンズ840によって部分的又は全体的に平行化され得て、ビームスプリッタ855を介し、3つのスケールトラックパターンTABS2、TREF2及びTINC2を照らすのに十分なビーム領域上

50

に導かれ得る。位相格子 850 は、ソース光を回折して、回折された構造化光 831' を (アブソリュートスケールトラックパターン T A B S 2 では無く) 原点スケールトラックパターン T R E F 2 及びインクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 2 へ与えるように形成される。そして、インクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 2 用のイメージチャンネルで例示すると、インクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 2 は、ビームスプリッタ 855 によりレンズアレイ 881 へ方向を変えられるスケール光 832 を出力する。当然のことながら、開口アレイ 882 の各限界開口は、X 方向に沿って開口幅 A W を有し、(図 4 に関し上述したように) 所定のイメージチャンネルを通過する光線を選択又は制限する空間フィルタとして機能する。換言すると、上述した通り、空間フィルタリングは、位相格子及びインクリメンタルスケールトラックパターンによって生成されたイメージの高周波部分を効果的にぼやけさせ、この結果、残りの信号が、主として、構造化された照明のフリンジピッチとスケール格子のピッチとの間のうなり周波数と考えられ得る変調から成る。結果としての変調されたイメージピッチは、うなり周波数エンベロープの周期の測定である。

10

【0065】

図 8 に示す如く、各イメージチャンネルのために、レンズアレイ 881 の対応するレンズが、光線を限界開口アレイ 882 の対応する開口部へ伝送する。限界開口アレイ 882 の対応する開口部は、光線を、空間的にフィルタされたイメージ光 833 として第 2 レンズアレイ 883 の各レンズへ伝送する。第 2 レンズアレイ 883 の各レンズは、空間的にフィルタされたイメージ光を伝送及び集光して、インクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 2 の各位置に対応する空間変調された各光パターンを、ディテクタトラック D E T I N C 2 の各位置にて形成する。図 4 に関し上述した通り、ここに開示する原理に従って、ディテクタトラック D E T I N C 2 における空間変調された光パターンは、変調且つ空間的にフィルタされた結像フリンジパターンを備えている。

20

【0066】

同様に、スケールトラックパターン T R E F 2 及び T A B S 2 は、照らされると、トラック固有に空間変調された光パターンを、ディテクタエレクトロニクス 820 のトラック固有のディテクタトラック D E T R E F 2 及び D E T A B S 2 へそれぞれ出力する。上述した通り、ディテクタトラック D E T R E F 2 における空間変調された光パターンも、変調且つ空間的にフィルタされた結像フリンジパターンを備えている。当然のことながら、空間変調された光パターンの全てがスケール 810 と共に移動する。ディテクタトラック D E T I N C 2、D E T A B S 2 及び D E T R E F 2 の各々に対応する光信号チャンネルにおいて、個別のフォトディテクタ領域が、受信した空間変調された各光パターンを空間的にフィルタして、信号(例えば、直交信号を生成するインクリメンタルディテクタトラック D E T I N C 2、又は信号補間をもたらす空間的な位相関係を有する他の周期信号)を示す所望の位置を提供するために配置される。

30

【0067】

種々の用途において、ディテクタエレクトロニクス 820 及び光源 830 は、互いに固定された関係で、例えば読取ヘッド又はゲージ筐体(図示せず)中に実装され、周知技術に従い、ベアリングシステムによりスケール 810 に関連する測定軸に沿って導かれる。種々の用途において、スケールは、ムービングステージ又はゲージスピンドル等に取り付けられても良い。図 8 に示す構成は、反射的な構成である。すなわち、光源 830 及びディテクタエレクトロニクス 820 は、スケール 810 と同側に配置され、周知技術に従って、角度のある照明及び反射のために設置される。よって、スケールパターン 815 は、空間変調された光パターンを反射によってディテクタトラックへ出力する光吸収部及び光反射部(例えば、周知技術を用いて基板上に組み上げられる)を備えている。当然のことながら、同様の構成要素が透過的な実施形態(例えば、図 3 参照)において配置され得る。

40

【0068】

図 9 は、図 8 のエンコーダ構成 800 の位相格子部の代替の実施形態を示すエンコーダ構成 900 の図である。図 9 に示すように、エンコーダ構成 900 は、スケールエレメン

50

ト 9 1 0 と、光源 9 3 0 と、レンズ 9 4 0 と、2つの位相格子 9 5 0 A 及び 9 5 0 B と、ビームスプリッタ 9 5 5 とを含む。図 8 のエンコーダ構成 8 0 0 からの主たる差異は、エンコーダ構成 9 0 0 が、単独の位相格子 8 5 0 を利用するよりむしろ、2つの位相格子 9 5 0 A 及び 9 5 0 B を利用することである。一の実施形態において、位相格子 9 5 0 A が、 $0.92\ \mu\text{m}$ の位相格子であり得る一方、位相格子 9 5 0 B は、空隙を伴う(カップリングされていない) $0.84\ \mu\text{m}$ の位相格子であり得る。この構成は、位相格子 9 5 0 B が位相格子 9 5 0 A により出力されるビームを完全には分割する必要が無いという点において、コンパクトな設計を可能にする。一の具体的な実施形態においては、位相格子 9 5 0 A 及び 9 5 0 B を介した光伝送の後、光フリンジが、特定の周期(例えば、 $5\ \mu\text{m}$)で生成され、インクリメンタルスケールトラックパターン T I N C のピッチ(例えば、 $4\ \mu\text{m}$)と相まって、特定の周期(例えば、 $20\ \mu\text{m}$)で変調且つ空間的にフィルタされたフリンジを生成する。

10

【 0 0 6 9 】

図 1 0 A 及び図 1 0 B は、それぞれ、図 1 及び図 3 のエンコーダ構成のスケールトラックパターン配置の図である。図 1 0 A に示すように、スケールトラックパターン配置 1 0 0 0 A は、アブソリュートスケールトラックパターン T A B S 1 と、原点スケールトラックパターン T R E F 1 と、インクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 1 とを含む。上述した通り、アブソリュートスケールトラックパターン T A B S 1 は、絶対的な測定範囲に亘る絶対位置を決定するのに利用可能な信号を提供するものであり、図 1 0 A の実施形態においては、スケールトラックパターンに沿った絶対位置を示すコード化された信号部分を含むように示されている。

20

【 0 0 7 0 】

インクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 1 のため、そのインクリメンタルピッチが比較的粗く(例えば、 $20\ \mu\text{m}$)示されている。図 1 0 A に示す原点スケールトラックパターン T R E F 1 の部分においては、4つの原点マークパターン R M 1 A ~ R M 1 D が、特定の間隔で発生するように示されている。一の実施形態において、原点マークは、ベーカーパターンとして形成され、様々な周知技術に従って形成され得る。原点マークは、バーニア原点マークとしても機能し得る。上述した通り、原点スケールトラックパターン T R E F 1 は、特定のインクリメンタル波長を示すことが可能なレベルへ分解でき、以て(例えば、インクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 1 からの)インクリメンタル波長を、(例えば、アブソリュートスケールトラックパターン T A B S 1 からの)アブソリュートマークに対して明確にする。図 1 0 A に示すように、スケールが、全体的な幅寸法 X 1 を有する一方、スケールトラックパターン T A B S 1、T R E F 1 及び T I N C 1 によりカバーされる領域は、幅寸法 X 2 を有する。具体的な実施形態においては、寸法 X 1 が 13 ミリメートルに等しい一方、寸法 X 2 は 3.9 ミリメートルに等しい。

30

【 0 0 7 1 】

図 1 0 B に示すように、スケールトラックパターン配置 1 0 0 0 B は、アブソリュートスケールトラックパターン T A B S 2 と、原点スケールトラックパターン T R E F 2 と、インクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 2 とを含む。スケールトラックパターンのための種々の可能な寸法及び構成は、図 1 1 に関してより詳細に後述される。大略、同然のことながら、スケールトラックパターン配置 1 0 0 0 B は、スケールトラックパターン配置 1 0 0 0 A 用に設計されたエンコーダ構成へ代用することが可能なように、図 1 0 A のスケールトラックパターン配置 1 0 0 0 A と略同一サイズで設計される。図 1 0 B に示すように、アブソリュートスケールトラックパターン T A B S 2 は、絶対的な測定範囲に亘る絶対位置を決定するのに利用可能な信号を提供し、図 1 0 A のアブソリュートスケールトラックパターン T A B S 1 と同様のコード化された部分を備え得る。少なくとも一の実施形態において、アブソリュートスケールトラックパターン T A B S 2 は、ほぼ X 軸に沿った検出幅上で、非常に粗い A B S 分解能を有し得る。

40

【 0 0 7 2 】

図 1 0 B に示すように、インクリメンタルスケールトラックパターン T I N C 2 は、図

50

10 AのインクリメンタルスケールトラックパターンTINC1のピッチ(例えば、20 μm)と比して、非常に細かいピッチ(例えば、4 μm)を有するように示されている。図10 Bに示す原点スケールトラックパターンTREF2の部分は、一連の4つの原点マークパターンRM2A~RM2Dを含むように示されている。原点マークパターンRM2A~RM2Dは、様々な周知技術に従って、ベーカーパターンとして形成され得る。原点マークパターンは、バーニア原点マークとしても機能し得る。原点スケールトラックパターンTREF2は、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC2用の特定のインクリメンタル波長を示すことが可能なレベルへ分解できるよう設計され、以てインクリメンタル波長を、アブソリュートスケールトラックパターンTABS2からのアブソリュートマークに対して明確にする。一の実施形態において、原点トラックパターンTREF2及びインクリメンタルトラックパターンTINC2の変調且つ空間的にフィルタされたイメージの組合せは、測定された合成位相が正しいインクリメンタルスケールトラックパターン・サイクルを指し示す(例えば、測定された零の合成位相は、当該位相に対応する正しいインクリメンタルサイクルを示し得る)合成波長を作成する。

10

【0073】

一例として、図10 Bの実施形態においては、原点マークパターンRM2A~RM2Dの各々が、対応する位相マーカーPHS2A~PHS2Dを有するように示されている。位相マーカーPHS2A~PHS2Dの各々は、位置毎に完全に位置合せされた位相が発生するポイントを示している。換言すると、原点トラックパターンTREF2においては、原点マークパターン(例えば、RM2A~RM2D)が選択された間隔(例えば、6ミリメートル)で設けられる。(位相マーカーPHS2A~PHS2Dが発生する各パターンの中心における)各原点マークパターンの位相は、特定の距離(例えば、6ミリメートル)だけ離れた位置におけるインクリメンタルスケールトラックパターンTINC2の位相と一致する(又は、当該位相から一定の位相オフセットを有する)。インクリメンタルスケールトラックパターンTINC2及び原点スケールトラックパターンTREF2の合成位相は、原点マークパターン長より大きい(すなわち、個別のベーカーパターン各々の長さより大きい)。

20

【0074】

上述した通り、(原点マークパターンを有する)原点スケールトラックパターンTREF2は、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC2と同種の変調且つ空間的にフィルタされたイメージを生成するよう設計されている。変調且つ空間的にフィルタされたイメージを生成するために、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC2及び原点スケールトラックパターンTREF2のピッチに近いピッチ(例えば、4 μm のインクリメンタルスケールトラックピッチ及び4.1 μm の原点スケールトラックピッチと比して、5 μm の位相格子ピッチ)を有する位相格子を用いる。結果としての位相格子及びインクリメンタルスケールトラックパターンTINC2からの変調且つ空間的にフィルタされたイメージのフリッジ周期は、比較的粗く(例えば、20 μm)、位相格子及びインクリメンタルスケールトラックパターンTINC2により生成される変調且つ空間的にフィルタされたイメージのフリッジ周期(例えば、22.77 μm)と僅かに異なり得る。

30

【0075】

原点スケールトラックパターンTREF2に、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC2のピッチ(例えば、4.0 μm)と比して僅かに異なるピッチ(例えば、4.1 μm)を持たせることにより、原点スケールトラックパターンの位相は、特定の長さに沿った一つの特定ポイントのみでインクリメンタルスケールトラックパターンの位相と一致するであろう(例えば、位相マーカーPHS2A~PHS2Dで示す如く、原点スケールトラックパターンTREF2内のベーカーパターン長に沿った一つのポイントで一致するのみである)。位相が一致する位置は、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC2用の特定のインクリメンタル波長を規定する。

40

【0076】

上述した通り、比較的細かいピッチ(例えば、4 μm)を有し、選択されたピッチ(例え

50

ば、 $5\ \mu\text{m}$)を有する位相格子で生成された構造化光によって結像されるインクリメントスケールトラックパターンを利用することにより、比較的粗く変調されたイメージピッチ(例えば、 $20\ \mu\text{m}$)を有する変調且つ空間的にフィルタされたパターンを生成できる。当然のことながら、このような実施形態においては、選択比(例えば、5対1)が、変調されたイメージピッチ(例えば、 $20\ \mu\text{m}$)とインクリメンタルスケールトラックパターンのピッチ(例えば、 $4\ \mu\text{m}$)の間に存在する。選択された実施形態においては、インクリメンタルスケールトラックパターンに関する高分解能を、以前により粗いインクリメンタルスケールトラックピッチ用に設計されたエンコーダ構成で利用可能にするために、略5対1の比、或いはより高い比(例えば、10対1、20対1等)が望まれ得る。

【0077】

図11は、図3のエンコーダ構成用の種々のスケール及びディテクタトラックの組合せのためのパラメータを示すテーブル1100である。図11に示す如く、第1の実装のために、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC2は、 $p = 4\ \mu\text{m}$ のピッチを有するように示されており、対応する位相格子は、フリンジ周期 $S = 5\ \mu\text{m}$ の構造化光を作成する。変調且つ空間的にフィルタされたイメージがもたらす結像フリンジ周期は、 $f = 20\ \mu\text{m}$ である。(補間の必要レベルを示す)補間係数は、 $K = 40$ である。ディテクタエレメントは、ピッチ $d = 15\ \mu\text{m}$ を有するよう設計される。当然のことながら、幾つかの実施形態においては、ディテクタエレメントのピッチが、フリンジ周期 f の $1/4$ 、 $1/3$ 、 $2/3$ 又は $3/4$ となるように設計しても良い。一の実施形態において、ディテクタエレメントのピッチは、 $20\ \mu\text{m}$ のフリンジの $3/4$ になり得る(この例では、ディテクタエレメントピッチ $d = 15\ \mu\text{m}$)。

【0078】

第1の実装における原点スケールトラックパターンTREF2のために、各ベーカーパターン内のエレメントのピッチが、 $p' = 4.1\ \mu\text{m}$ である一方、対応する位相格子は、(インクリメンタルスケールトラックパターンと同様の)フリンジ周期 $S = 5\ \mu\text{m}$ で構造化光を作成する。原点スケールトラックパターンを介した位相格子からの構造化光の組合せによって生成される結像フリンジ周期は、変調且つ空間的にフィルタされた結像フリンジ周期 $f' = 22.77\ \mu\text{m}$ を生成する。補間係数は、 $K = 40$ である。ディテクタエレメントのピッチは、 $d' = 17\ \mu\text{m}$ である。インクリメンタルスケールトラックパターン及び原点スケールトラックパターンの併用のため、バーニア合成波長($f f' / (f - f')$)は、 $164\ \mu\text{m}$ に等しい。原点スケールトラックパターンの各ベーカーパターンの長さは、 $L = 136\ \mu\text{m}$ である(ピッチ $p' = 4.1\ \mu\text{m}$ で33ラインを有する)。当然のことながら、幾つかの実施形態において、ベーカーパターン中のライン数は、十分な可視フリンジ(すなわち、非常に十分な量のうねり周波数エンベロープ部分)を形成する必要があるため、ディテクタトラックで生成される変調且つ空間的にフィルタされたイメージの一部として適切に検出することができる。トラック及び領域毎のイメージレイ中のディテクタエレメントの数、及びそのトータル長に関しては、インクリメンタルディテクタトラックDETINC1のために、セット毎に8つのエレメント($120\ \mu\text{m}$ のトータル長)が存在する。また、原点ディテクタトラックDREF1のために、セット毎に8つのエレメント($136\ \mu\text{m}$ のトータル長)が存在する。ベーカーパターン間のインクリメンタルサイクルの数は、150である。

【0079】

図11に示す如く、第2の実装のために、インクリメンタルスケールトラックパターンTINC2は、 $p = 8\ \mu\text{m}$ のピッチを有するように示されており、対応する位相格子は、フリンジ周期 $S = 10\ \mu\text{m}$ の構造化光を作成する。変調且つ空間的にフィルタされたイメージがもたらす結像フリンジ周期は、 $f = 40\ \mu\text{m}$ である。補間係数は、 $K = 27.6$ である。ディテクタエレメントは、ピッチ $d = 10\ \mu\text{m}$ を有するよう設計される。少なくとも一の実施形態において、ディテクタエレメントのピッチは、 $40\ \mu\text{m}$ のフリンジの $1/4$ になり得る(この例では、ディテクタエレメントピッチ $d = 10\ \mu\text{m}$)。

【0080】

10

20

30

40

50

第2の実装における原点スケールトラックパターンT R E F 2のために、各ペーカパターン内のエレメントのピッチが、 $p' = 8.3 \mu\text{m}$ である一方、対応する位相格子は、(インクリメンタルスケールトラックパターンと同様の)フリンジ周期 $S = 10 \mu\text{m}$ で構造化光を作成する。原点スケールトラックパターンを介した位相格子からの構造化光の組合せによって生成される結像フリンジ周期は、変調且つ空間的にフィルタされた結像フリンジ周期 $f' = 48.8 \mu\text{m}$ を生成する。補間係数は、 $K = 27.6$ である。ディテクタエレメントのピッチは、 $d' = 12.2 \mu\text{m}$ である。インクリメンタルスケールトラックパターン及び原点スケールトラックパターンの併用のため、バーニア合成波長($f f' / (f - f')$)は、 $221.3 \mu\text{m}$ に等しい。原点スケールトラックパターンの各ペーカパターンの長さは、 $L = \text{略} 195 \mu\text{m}$ である(ピッチ $p' = 4.1 \mu\text{m}$ で23ラインを有する)。トラック及び領域毎のイメージレイ中のディテクタエレメントの数、及びそのトータル長に関しては、インクリメンタルディテクタトラックD E T I N C 2のために、セット毎に16個のエレメント($160 \mu\text{m}$ のトータル長)が存在する。また、原点ディテクタトラックD E T R E F 2のために、セット毎に16個のエレメント($195 \mu\text{m}$ のトータル長)が存在する。ペーカパターン間のインクリメンタルサイクルの数は、75である。

【0081】

図12は、アメリカ合衆国付与前特許公報2011/0031383号('383公開)として公開されたアメリカ合衆国特許出願12/535,561('561出願)に含まれる図面の実質的なコピーであり、参照によって本明細書に取り込まれる。図12は、'561出願の開示に基づいて理解され得るため、ここでは詳細には説明しない。但し、関連する教示が、ここで開示する原理に照らして使用され得る。

【0082】

簡潔に述べると、図12は、両側テレセントリックエンコーダ結像配置1270-1のイメージチャンネル1280-1を介した異なる光路を示す概略断面図700である。配置770-1は、ここに示した両側テレセントリック結像構成380、880及び1380に類似している。参照によって本明細書に取り込まれる特許文献13('789出願)は、第1レンズ(又はレンズアレイ)と同様の形式であり、光軸に沿って第1レンズ対して反転された第2レンズ(又はレンズアレイ)を利用し、以て2つの類似するレンズのレンズ収差を互いにほぼ補正して、結果としてのイメージにおける収差を低減する両側テレセントリックエンコーダ構成の種々の実施形態を開示している。当然のことながら、'789特許の教示は、スケールパターンのイメージにおける空間歪み、すなわち、イメージにおけるパターン特性の位置の歪みを引き起こすレンズ収差の補正のみに対処するものである。図12に示す実施形態は、第1レンズ1210-1及び第2レンズ1210-1'が同様の収差を有する場合に、イメージにおける空間歪みの同種の補正を提供する。しかしながら、レンズ収差に因りイメージ中に出現し得る干渉効果に関連して、より扱いの難しい問題が生じ得る。'789特許は、この問題に対処していない。'561出願は、この問題に対処しておらず、その教示は種々の実施形態に適用可能である。特に、遮光及び開口寸法に関するこれらの教示は、適切な適応で、ここに開示する原理に係る幾つかの実施形態において適用され得る。

【0083】

図13A及び13Bは、ここに開示する原理に係るエンコーダ構成の実用的な実装の他の実施形態である構成1300を示している。エンコーダ構成1300の幾つかの構成要素及び動作原理は、図3のエンコーダ構成300及び/又は図8のエンコーダ構成800と略同様であり、類推によって一般に理解され得る。例えば、図13において、図3中の一連の番号3XXと同一サフィックス“XX”を有する一連の番号13XXは、同様又は同一の構成要素を指定し得て、当該構成要素は、以下又は図13A及び13Bで特段の説明又は暗示が無ければ、同様に機能し得る。少なくとも一の実施形態において、図13A及び図13Bに示すレイアウトの寸法関係は互いの実際の例示的な比率で示されているが、このような関係は、種々の他の実施形態において変更され得る。少なくとも一の実施形態において、参考までに、寸法D I M Zは略26.4mmであり得て、寸法D I M Yは略

48 mmであり得る。寸法GAPは略1 mmであり得る。一の実施形態において、他のおおよその寸法は、これらの寸法に基づいて計測され得る。当然のことながら、本実施形態は、単なる例示であり、限定では無い。

【0084】

図13に示すように、エンコーダ構成1300は、スケールエレメント1300と、照明システム/部1360と、両側テレセントリック結像構成1380とを含む。照明システム/部1360は、光1331の可視又は不可視波長(例えば、一の実施形態においては、レーザ用の655 μmの波長)を発する光源1330(例えば、半導体レーザやLED等)と、開口部1335と、コリメートレンズ1340(又は、少なくともXY平面において略コリメートするもの)と、偏光ビームスプリッタ1390と、ビームダンプ1392
10
と、反射板1342と、開口エレメント1345と、反射板1344と、位相格子1350と、ビームスプリッタ1355を含む。両側テレセントリック結像構成1380は、第1レンズ平面における第1レンズ1381と、開口平面における開口部品1382'での開口部1382と、第2レンズ平面における第2レンズ1383と、検出平面におけるディテクタエレクトロニクス1320とを備える。ディテクタエレクトロニクス1320は、信号生成・処理回路(図示せず)へ接続しても良い。光源1330も、電力及び信号接続(図示せず)により信号生成・処理回路へ接続しても良い。

【0085】

動作において、光源1330から発せられた光1331(例えば、一次光)は、光1331のストレイ部分を遮断し得る開口部1335を介して伝送される。少なくとも一の実施
20
形態において、開口部1335は、4 mmの直径を有し得る。伝送された光は、レンズ1340によって略又は完全にコリメートされ得て、ビームスプリッタ1390によって導かれる。Z偏光は、光1331Zとして、偏光ビームスプリッタ1390を通過する。偏光ビームスプリッタ1390は、ストレイ光が光源1330へ反射するのを防止するよう構成されている。このようなストレイ光は、偏光ビームスプリッタ1390により、ビームダンプ1392へ向かうビーム1391として反射される。

【0086】

光1331Zは、Z偏光された入射光をR円偏光1331Cへ変換する4分の1波長板1393を通過する。光路に沿って後段のエレメントにより反射され得る光は、L円偏光として返され、4分の1波長板1393を介して戻るX偏光となる。このようなX偏光
30
された反射光は、偏光ビームスプリッタ1390により遮断されてビームダンプ1392へ導かれ、以て光源1330を妨害するためには戻らず、他の無関係な光線を作成することも無い。

【0087】

光1331Cは、反射板1342によって反射され、開口エレメント1345を介して導かれる。開口エレメント1345は、光ビーム1331Cを成形し、以て光ビーム1331Cが、反射板1344によって反射され且つ位相格子1350を通過して回折された構造化光1331'となった後に、スケール1310の所望の位置(例えば、所望のトラック位置)を照らすようにする。一の実施形態において、開口部1345は、6 mmのX
40
幅と、1.5 mmのY幅を有し得る。

【0088】

光源1330が655 μm波長の光を発する半導体レーザである少なくとも一の実施形態において、スケールエレメントは、4.00 μmの格子ピッチを有し得て、位相格子1350は、4.44 μmの格子ピッチを有し、零次光を遮断するよう構成され得る。結果としての振幅変調は、略20 μmの周期を有し得る。

【0089】

そして、スケールエレメント1310は、そのスケール格子エレメントからの回折された構造化光を反射して、スケール光1332を提供する。スケール光1332は、前述した変調を含み、ビームスプリッタ1355を介し、両側テレセントリック結像構成1380によってディテクタ1320上で結像されるように導かれる。両側テレセントリック結
50

像構成 1380 は、前述した原理に従って、スケール光 1332 を空間的にフィルタするように機能する。この結果、ディテクタ 1320 のディテクタエレメントの空間フィルタ周期と略一致する振幅変調の周期は、最終的にはディテクタ 1320 の信号に信号変動を引き起こす、スケール光 1332 の一次強度変調である。少なくとも一の実施形態において、両側テレセントリック結像構成 1380 の開口部 1382 は、略 1mm の直径を有し、スケール光 1332 の零次要素を遮断するために、振幅変調要素よりも高い空間周波数を有するスケール光 1332 の空間周波数要素の所望のフィルタリングを提供し得る。これを説明する他の方法は、開口部 1382 が、位相格子及び/又はスケール格子の結像を防止するよう構成されることである。

【0090】

図 14 は、コヒーレント光源を含むエンコーダ構成 1400 の実施形態における種々のビームパスの参照図を示している。エンコーダ構成 1400 の幾つかの構成要素及び動作原理は、図 3 のエンコーダ構成 300 及び/又は図 8 のエンコーダ構成 800 と略同様であり、類推によって一般に理解され得る。例えば、図 14 において、図 3 中の一連の番号 3XX と同一サフィックス“XX”を有する一連の番号 14XX は、同様又は同一の構成要素を指定し得て、当該構成要素は、以下又は図 14 で特段の説明又は暗示が無ければ、同様に機能し得る。図 14 に示すように、光源は、ソース光 1431 を発する。位相格子 1450 は、ソース光を、種々の回折次数の光線束から成る構造化された照明 1431' へ分割する。図 14 は、干渉して照明フリンジピッチ P_i を提供する、+1 次の光線束 1431p 及び -1 次の光線束 1431p を示している。当然のことながら、付加的な次数の光線束が構造化された照明 1431' に存在する。しかしながら、簡略化のため、図 14 には +1 次及び -1 次のみが示されている。スケール 1410 は、構造化された照明 1431' を受信し、周期 P_e から成るエンベロープを有するフリンジを備えたスケール光 1432 を出力する。周期 P_e は、スケールフリンジピッチ P_i 及びスケールピッチ P_g の観点から、 $P_e = P_g P_i / (2 P_i - P_g)$ として導出され得る。当然のことながら、幅は、非コヒーレント光の場合には P_i である $2 P_i$ との文言を含む。

【0091】

図 15 は、照明部 1560 の代替実施形態を含むエンコーダ構成 1500 の部分的な概略分解図である。照明部 1560 を除いて、エンコーダ構成 1500 の構成要素及び動作原理は、図 3 のエンコーダ構成 300 と略同様であり、類推によって一般に理解され得る。例えば、図 15 において、図 3 中の一連の番号 3XX と同一サフィックス“XX”を有する一連の番号 15XX は、同様又は同一の構成要素を指定し得て、当該構成要素は、以下で特段の説明又は暗示が無ければ、同様に機能し得る。図 15 に示す実施形態において、エンコーダ構成 1500 は、照明部 1560 (より詳細には、開口構成 1572) が、不要な次数の光をスケール格子 1510 へ伝送することを抑制又は除去し、且つ所望の次数のみ(例えば、±1 次のみ)を許容するように構成される。これにより、エンコーダ構成 1500 の信号品質が、前述した構成と比して改善される。本願発明者らは、ここに開示するエンコーダ構成にとって、残留次光がディテクタで結果として生じる信号に周期的な揺らぎを引き起こすことを見出した。このような揺らぎは、ディテクタにおける信号の毎期間に現れるというよりむしろ、信号の代替期間に現れ得て、結果として生じる信号を補償及び/又は補間する能力を低減させることを見出した。このため、以下に開示する照明構成は、その有用性がそのような構成に限定されないものの、ここに教示するエンコーダ構成との組合せで特に有効である。

【0092】

その動作が前述の類似する構成要素に基づき理解され得る構成要素 1530、1540 及び 1550 に加えて、照明部 1560 は、第 1 フィルタレンズ 1571 と、空間フィルタ開口構成 1572 と、第 2 フィルタレンズ 1573 とを更に含む。空間フィルタ開口構成 1572 は、略、第 1 フィルタレンズ 1571 の焦点面に設置される。第 2 フィルタレンズ 1573 は、空間フィルタ開口構成 1572 から、略、その焦点距離相当の距離に位置する平面に設置される。動作において、照明格子 1550 は、図 3 と同様にして、回折

10

20

30

40

50

された構造化光 1 5 3 1 ' を出力する。回折された構造化光 1 5 3 1 ' は、その焦点が、第 1 照明レンズ 1 5 7 1 により空間フィルタ開口構成 1 5 7 2 の平面に合わせられる。空間フィルタ開口構成 1 5 7 2 は、回折された構造化光 1 5 3 1 ' から零次の回折光を遮断すると共に、空間フィルタ開口構成 1 5 7 2 の両端における高次の回折光を遮断するように構成され、開口部 1 5 7 2 o p を用いて、+ 1 次及び - 1 次の回折光要素のみを含む空間的にフィルタされた構造化照明 1 5 3 1 ' ' を伝送する。図 1 5 に示す実施形態において、空間フィルタ開口構成 1 5 7 2 は、対称的に位置付けられたスリットを含む開口部 1 5 7 2 o p で囲まれる中央部 1 5 7 2 c を有して構成される。幾つかの代替実施形態において、空間フィルタ開口構成は、環状開口で囲まれる中央の円形絞りを含んでも良い。第 2 照明レンズ 1 5 7 3 は、空間的にフィルタされた構造化光 1 5 3 1 を受光し、+ 1 次及び - 1 次の回折光要素から成る空間的にフィルタされた構造化照明 1 5 3 1 ' ' を、スケール格子 1 5 1 0 に一致する平面におけるスケールパターン 1 5 1 5 に対して出力する。測定軸方向に沿った中央部 1 5 7 2 c 及び開口部 1 5 7 2 o p の幅は、解析若しくは実験により決定され得るものであり、大略、上記の通りに本特定例においては零次光を遮断し且つ + / - 1 次の回折光を伝送するように選択される。

【 0 0 9 3 】

当然のことながら、スケール格子 1 5 1 0 から出力される零次光は、結像部 1 5 8 0 によって抑制又は除去され得る。或いは、より詳細には、開口構成、限界開口 1 5 8 0 が、零次光を空間的にフィルタするように構成され得る。但し、幾つかの実施形態においては、第 1 フィルタレンズ 1 5 7 1 が、限界開口 1 5 8 2 における角度(例えば、 0.1°)の約 1 0 倍の大きさの角度(例えば、 1°)で、光の焦点を空間フィルタ開口構成 1 5 7 2 に合せても良い。このような実施形態において、限界開口 1 5 8 2 は、空間フィルタ開口構成 1 5 7 2 よりもミスアライメントに対して遥かに感度が高い。このため、照明部 1 5 6 0 内で零次光を遮断した方が、結像部 1 5 8 0 において遮断するよりも更に有益である。さらに、図 1 5 に示す実施形態において、照明格子 1 5 5 0 は、(位相格子 3 5 0 とは対照的に)振幅格子であっても良い。これにより、エンコーダ構成 1 5 0 0 の製造コストが低減される。図 3 に示した実施形態において、エンコーダ構成 3 0 0 は、スケールパターン 3 1 5 をどの程度まで位相格子 3 5 0 から離隔して設置し得るかという点に関して実際的な制限を有する。スケールパターン 3 1 5 を位相格子 3 5 0 からあまりにも離隔して設置したならば、2 つの回折次数(例えば、+ 1 次及び - 1 次)は、オーバーラップせず、回折された構造化光 3 3 1 ' を提供するためには干渉しないであろう。しかしながら、照明部 1 5 6 0 は、回折された構造化光 1 5 3 1 ' を、照明格子 1 5 5 0 と略一致する平面から結像するように構成される。これにより、エンコーダ構成 3 0 0 よりも大きな開口ギャップを可能にする。また、照明部 1 5 6 0 が、ソース光をより効率良く提供することも可能にする。これは、干渉する次数が、照明格子 1 5 5 0 の平面にて最もオーバーラップするためである。必要に応じて、変調されたイメージピッチ $P_{I M E S F}$ は、照明フリッジピッチパターン $I F P$ の所望のピッチ $P_{M I}$ を与えるべく選択された焦点距離を有する第 1 フィルタレンズ 1 5 7 1 及び第 2 フィルタレンズ 1 5 7 3 の適切な組合せを選択することによって調整しても良い。先のアメリカ合衆国特許出願 1 3 / 7 1 7 , 5 8 6 に開示される構成と比較して、本願は、エンコーダ 1 5 0 0 を構成するための追加的な設計自由度を提供し、結果として、空間フィルタされたパターンの変調イメージピッチを所定ディテクタのピッチにマッチさせる。変調イメージピッチ $P_{M I}$ は、例えば、図 4 A ~ 図 4 D において概説した原理に従って、スケールピッチ $P_{S F}$ と変調イメージピッチ $P_{I M E S F}$ との間で所望の関係を供するように選択すれば良い。

【 0 0 9 4 】

図 1 6 は、ここに開示する原理に係る反射的なエンコーダ構成 1 6 0 0 において用いられ得る照明部 1 6 6 0 の部分的な概略分解図である。エンコーダ構成 1 6 0 0 の構成要素及び動作原理は、図 1 5 のエンコーダ構成 1 5 0 0 と略同様であり、類推によって一般に理解され得る。例えば、図 1 6 において、図 1 5 中の一連の番号 1 5 X X と同一サフィックス " X X " を有する一連の番号 1 6 X X は、同様又は同一の構成要素を指定し得て、当

10

20

30

40

50

該構成要素は、以下で特段の説明又は暗示が無ければ、同様に機能し得る。図16に示す実施形態において、照明部1660は、偏光子1676と、偏光ビームスプリッタ1677と、4分の1波長板1678とを更に含む。透過的な構成であるエンコーダ構成1500とは対照的に、エンコーダ構成1600は反射的な構成である。透過的な構成1500は、図16を参照して説明するものに類似する反射的な構成に、或いはここに開示する他の反射的な構成との類推によって容易に採用され得る。但し、図16を参照して教示する原理に係る偏光子の追加は、以下により詳細に説明する通り、光のより効率的な利用を提供する。このような偏光子の利用は、ここに説明する互換性のある実施形態との併用に適し得る。

【0095】

動作において、偏光子1676は、レンズ1640からコヒーレントなコリメート光1631を入力し、直線偏光されたコリメート光を出力する。偏光ビームスプリッタ1677は、第2フィルタレンズ1673からの空間的にフィルタされた構造化照明1631'を、4分の1波長板1678へ反射する。4分の1波長板1678は、第2フィルタレンズ1673からの空間的にフィルタされた構造化照明1631''を円偏光して、スケールパターン1615へ出力する。スケールパターン1615は、円偏光を伴う空間的に変調されたイメージ光1632を、4分の1波長板1678へ反射する。4分の1波長板1678は、円偏光を伴う空間的に変調されたイメージ光1632を入力すると共に、空間的に変調されたイメージ光1632を、第2フィルタレンズ1673から入力された構造化照明1631''に対し90°回転される直線偏光を伴う偏光ビームスプリッタ1677へ出力する。偏光ビームスプリッタ1677は、直線偏光を伴う空間的に変調されたイメージ光1632を、結像部1680へ伝送する。4分の1波長板1678が空間的に変調されたイメージ光1632を90°回転される偏光を伴う偏光ビームスプリッタ1677へ戻すため(よって、ビームスプリッタ1677を介して伝送する偏光方向にマッチするため)、4分の1波長板1678を欠く構成と比した4つの要因により結像部1680へ出力される光量が増加する。

【0096】

図17は、ここに開示する原理に係るエンコーダ構成1700において用いられ得る照明部1760の図である。エンコーダ構成1700の構成要素及び動作原理は、図3のエンコーダ構成300と略同様であり、類推によって一般に理解され得る。例えば、図17において、図3中の一連の番号3XXと同一サフィックス“XX”を有する一連の番号17XXは、同様又は同一の構成要素を指定し得て、当該構成要素は、以下で特段の説明又は暗示が無ければ、同様に機能し得る。

【0097】

図17に示す実施形態において、エンコーダ構成1700は、照明部1760が、所望の次数のみ(例えば、±1次のみ)を、結像構成1780によりディテクタ構成1725に結像されるスケールトラック1715の一部へ伝送するように構成される。図17に示すように、光源1730は、波長を有するソース光1731を出力するよう構成される。幾つかの実施形態において、光源1730は、半導体レーザ、空間的にコヒーレントなLED、及び測定軸方向82と垂直に配置される独立した一連の線源の一つ(例えば、スリット又は等間隔若しくは周期的な格子でマスクされ、干渉フリッジパターンIFPに累積的に寄与する空間的なコヒーレントソース光1731線光源を提供するLED点光源)を含み得る。コリメーション部1740(例えば、コリメートレンズ)は、ソース光1731をコリメートするように配置される。構造化照明生成部1770は、ソース光1731を入力し、構造化照明1731'を提供するように構成される。ここで、構造化照明1731'は、測定軸方向82に対して横方向に配向されて、スケールトラック1715へ入力される照明フリッジパターンIFPを含む。スケールトラック1715は、入力された照明フリッジパターンIFPを空間的に変調し、空間的に変調されたイメージ光を含むスケール光を出力するよう構成される。ディテクタ構成1725及び結像構成1780は、スケールトラック1715の結像領域IRから生じるスケール光のみがディテクタ構成1

10

20

30

40

50

780へ結像されるように構成される。結像構成1780及びディテクタ構成1725の動作は、結像構成380及びディテクタ構成325の動作に類似しており、その説明への類推によって理解され得る。構造化照明生成部1770は、ビーム分離部1771と、照明格子1750とを含む。ビーム分離部は、ビームスプリッタ1777と、反射板1778とを含む。図17に示す特定の実施形態において、コリメーション部1740が光源1730とビーム分離部1771との間に設置されているが、他の実施形態においては、コリメーション部が光源と照明格子との間の他の位置に設置され得る。例えば、代替の実施形態において、コリメーション部1740は、ビーム分離部1771と照明格子1750との間に設置しても良い。幾つかの実施形態において、コリメーション部は、照明格子へ出力される第1ソース光部分及び第2ソース光部分をコリメートするように配置され得る。ビーム分離部1771は、ソース光1731を入力するよう配置されると共に、照明格子1750に対して、第1ソース光部分1731A及び第2ソース光部分1731Bを出力するように構成され、以て第1ソース光部分1731A及び第2ソース光部分1731Bが、測定軸方向82に沿って互いに離隔して間隔が空けられたビームを形成するようにする。より詳細には、ビームスプリッタ1777のビーム分割サーフェス1775が、ソース光1731を受光し、第1ソース光部分1731Aを第1ビームパスに沿って反射し、第2ソース光部分1731Bを反射板1778へ向けて伝送するように構成される。反射板1778は、第2ソース光部分1731Bを、第1ビームパスとは離隔して間隔が空けられた第2ビームパスに沿って反射するように構成される。図17に示す実施形態において、ビーム分割サーフェス1775及び反射板1778は、平行であり、且つ独立した要素のサーフェスである。ビーム分割サーフェス1775及び反射板1778が平行であるため、第1ソース光部分1731A及び第2ソース光部分1731Bは、照明格子1750の直近の平面にて平行である。幾つかの実施形態(例えば、図19に示す実施形態)においては、ビーム分割サーフェス1775及び反射板1778が同一のビーム分割要素のサーフェスであっても良い。図17に示す実施形態において、第1及び第2ビームパスは、照明格子に略垂直である。照明格子1750は、動作ギャップに亘って、第1及び第2ソース光部分1731A及び1731Bをスケールトラック1715へ回折するように構成され、以て2つの次数の回折光のみ(すなわち、図17に示す実施形態においては、第1ソース光部分1731Aからの+1次の回折光部分1731A'、及び第2ソース光部分1731Bからの-1次の回折光部分1731B')が、スケールトラック1715に一致する平面にて結像領域IR内でオーバーラップし、且つ結像領域IRにおいて照明FRINGEパターンIFPを提供するようにする。図15及び図16に示した実施形態とは対照的に、照明部1760は、スケールトラック1715へ到達する零次光部分1731ZA'及び1731ZB'を出力する。しかしながら、零次光部分1731ZA'及び1731ZB'は、完全に、ディテクタ構成1725へ結像される結像領域IRの範囲外である。このため、零次光部分1731ZA'及び1731ZB'は、遮断されないにも関わらず、結像構成1780によりディテクタ構成1725へ結像されるスケールトラック1715の結像領域における照明FRINGEパターンIFPに関連する動作信号に対する不要な零次光の一因にはならない。

【0098】

図17に示す実施形態において、ビーム分離部1771は、オプション的なデュアルビーム開口エレメント1772を更に含んでも良い。デュアルビーム開口エレメント1772は、不要なストレイ光を低減しつつ、第1ソース光部分1731A及び第2ソース光部分1731Bを伝送するよう構成された2つの開口を含む。また、デュアルビーム開口エレメント1772は、スケールトラック1715へ到達する第1ソース光部分1731A及び第2ソース光部分1731Bの位置及び間隔を精密化し得る。

【0099】

図17に示すように、結像領域IRは、測定軸方向に沿って幅Dを有する。第1ソース光部分1731A及び第2ソース光部分1731Bは、照明格子1750の直近の平面にて、測定軸方向82に沿って互いに離隔して分離距離Bだけ間隔が空けられる。分離距離

10

20

30

40

50

Bは、結像領域の幅D以上である。照明格子1750の直近の平面にて、第1ソース光部分1731Aは幅W1を有し、第2ソース光部分1731Bは幅W2を有する。W1及びW2の両者とも、結像領域の幅Dより大きい。これにより、零次光部分1731ZA'及び1731ZB'が照明格子1750の直近の平面にて十分な距離だけ分離される一方で、結像領域を、前述した原理に係る空間的に変調された照明フリンジパターンで満たすことができる。よって、零次光部分1731ZA'及び1731ZB'は、+1次部分1731A'及び-1次部分1731B'にはオーバーラップしないであろうし、さらに重要なことに、結像領域の範囲外である。

【0100】

図17に示す実施形態において、第1ソース光部分1731A及び第2ソース光部分1731Bは、照明格子の直近の平面にて平行である。当然のことながら、幾つかの実施形態においては、これら2つのソース光部分が平行では無く、照明格子1750とスケールトラック1715との間の間隙距離、及び/又は照明格子1750の周期若しくはスケールトラック1715の格子を調整しても良く、その結果、ディテクタ構成1725へ結像される干渉フリンジパターンIFPの所望のフリンジ周期が得られる。

10

【0101】

図18は、ここに開示する原理に係るエンコーダ構成1800において用いられ得る照明部1860の図である。エンコーダ構成1800の構成要素及び動作原理は、図17のエンコーダ構成1700と略同様であり、類推によって一般に理解され得る。例えば、図18において、図17中の一連の番号17XXと同一サフィックス“XX”を有する一連の番号18XXは、同様又は同一の構成要素を指定し得て、当該構成要素は、以下で特段の説明又は暗示が無ければ、同様に機能し得る。

20

【0102】

図18に示す実施形態において、光源1830は、ソース光1831を、これをコリメートするよう構成されたコリメートレンズ1840へ出力するように構成される。照明部1860は、デュアル開口部1872opを含む開口エレメント1872から成るビーム分離部1871を含む。開口エレメント1872は、ソース光1831の第1ソース光部分1831A及び第2ソース光部分1831Bを分離して、照明格子1850へ出力するように構成され、以てこれらのソース光部分が、前述した原理に従い、測定軸方向82に沿って互いに離隔して間隔が空けられたビームを形成するようにする。特に、これらは、2つの次数の回折光のみ(すなわち、+1次部分1831A'及び-1次部分1831B')が、スケールトラック1815に一致する平面にて結像領域IR内でオーバーラップするように構成される。零次光部分1831ZA'及び1831ZB'は、スケールトラック1815の結像領域における照明フリンジパターンIFPに関連する動作信号に対する不要な零次光の一因にはならない。

30

【0103】

図19は、ここに開示する原理に係るエンコーダ構成1900において用いられ得る照明部1960の図である。エンコーダ構成1900の構成要素及び動作原理は、図17のエンコーダ構成1700と略同様であり、類推によって一般に理解され得る。例えば、図19において、図17中の一連の番号17XXと同一サフィックス“XX”を有する一連の番号19XXは、同様又は同一の構成要素を指定し得て、当該構成要素は、以下で特段の説明又は暗示が無ければ、同様に機能し得る。

40

【0104】

図19に示す実施形態において、構造化照明生成部1970は、シアリングプレート(shearing/shear plate)1977を有するビーム分離部1971を含む。シアリングプレート1977は、第1サーフェス1977Aの第1領域にて第1ソース光部分1931Aを反射すると共に、第2サーフェス1977Bから反射される第2ソース光部分1931Bを、伝送して第1サーフェス1977Aの第2領域にて出力するように構成される。照明格子1950は、第1ソース光部分1931A及び第2ソース光部分1931Bを入力するように構成され、以て第1ソース光部分1931A及び第2ソ-

50

ス光部分 1931B が、前述した原理に従い、測定軸方向 82 に沿って互いに離隔して間隔が空けられたビームを形成するようにする。第 1 サーフエス 1977A 及び第 2 サーフエス 1977B の反射率値は、第 1 ソース光部分 1931A 及び第 2 ソース光部分 1931B に略同等の強度を与えるように調整され得る。例えば、第 1 サーフエス 1977A は、約 25% の反射率を有し得て、第 2 サーフエス 1977B は、約 100% の反射率を有し得る。他の実施形態においては、第 1 サーフエス 1977A が、約 50% の反射率を有し得て、第 2 サーフエス 1977B が、約 100% の反射率を有し得る。また、フロントサーフェス 1977C が 0% の反射率を有し得て、第 2 ソース光部分 1931B がシアリングプレート 1977 を抜け出る。ビーム分離部 1971 は、2 つの次数の回折光のみ(すなわち、+1 次部分 1931A' 及び -1 次部分 1931B') が、スケールトラック 1915 に一致する平面にて結像領域 IR 内でオーバーラップするように構成される。零次光部分 1931ZA' 及び 1931ZB' は、スケールトラック 1915 の結像領域における照明フリンジパターン IFP に関連する動作信号に対する不要な零次光の一因にはならない。

【0105】

図 20 は、ここに開示する原理に係るエンコーダ構成 2000 において用いられ得る照明部 2060 の図である。エンコーダ構成 2000 の構成要素及び動作原理は、図 19 のエンコーダ構成 1900 と略同様であり、類推によって一般に理解され得る。例えば、図 20 において、図 19 中の一連の番号 19XX と同一サフィックス “XX” を有する一連の番号 20XX は、同様又は同一の構成要素を指定し得て、当該構成要素は、以下で特段の説明又は暗示が無ければ、同様に機能し得る。

【0106】

図 20 に示す実施形態において、照明部 2060 は、ビーム分離部 2071 を含む。ビーム分離部 2071 は、第 1 ビーム伝導エレメント 2077 と、第 2 ビーム伝導エレメント 2078 とを含む。第 1 ビーム伝導エレメント 2077 は、第 1 ソース光部分 2031A を第 1 サーフエス 2077A から反射すると共に、第 2 サーフエス 2077B から反射される第 2 ソース光部分 2031B を伝送して、第 2 ビーム伝導エレメント 2078 へ出力するように構成される。第 2 ビーム伝導エレメント 2078 は、第 2 ソース光部分 2031B をサーフェス 2078A から照明格子 2050 へ反射し、第 1 ソース光部分 2031A をサーフェス 2078C から照明格子 2050 へ反射するように構成される。幾つかの実施形態において、第 1 ビーム伝導エレメント 2077 はシアリングプレートである。幾つかの実施形態において、第 2 ビーム伝導エレメント 2078 はシアリングプレートである。幾つかの実施形態において、サーフェス 2078A は、第 1 ビーム伝導エレメント 2077 がシアリングプレートである実施形態において有用な反射コーティングを含む。これは、付加的なソース光部分がサーフェス 2078A を介して伝送されることを回避し、以て第 2 ソース光部分 2031B が 2 つのソース光部分へ分割されてしまうのを防止するためである。幾つかの実施形態において、第 2 ビーム伝導エレメント 2078 は、第 1 ソース光部分 2031A を、反射防止サーフェス 2078B を介して伝送するように構成される。幾つかの実施形態において、サーフェス 2078A 及び反射防止サーフェス 2078B は、図 19 において第 1 サーフエス 1977A 及び第 2 サーフエス 1977B に関し説明したものと同様の反射率値の組合せに従って構成しても良い。反射防止サーフェス 2078B は、ビーム伝導エレメント 2078 がシアリングプレートである場合に有用である。これは、付加的なソース光部分がビーム伝導エレメント 2078 から反射されることを回避し、以て第 1 ソース光部分 2031A が 2 つのソース光部分へ分割されてしまうのを防止するためである。反射防止サーフェス 2078B への 100% の反射コーティングの代わりに、図 17 のデュアルビーム開口エレメント 1772 と同様の開口を用いて、分割光部分から不要な光を遮断しても良い。照明部 2060 は、第 1 ソース光部分 2031A 及び第 2 ソース光部分 2031B が同等の光路長及び波長依存性を有するという点において有利である。

【0107】

10

20

30

40

50

幾つかの実施形態において、第2ビーム伝導エレメント2078は、反射サーフェス2078Aと、(点線で示す)補償プリズム2078Dとを含む。このような実施形態においては、反射サーフェス2078Aがミラーであっても良く、補償プリズム2078Dは、第1ソース光部分2031A及び第2ソース光部分2031Bが同等の光路長及び波長依存性を有するように構成されても良い。

【0108】

図21は、ここに開示する原理に係るエンコーダ構成2100において用いられ得る照明部2160の図である。エンコーダ構成2100の構成要素及び動作原理は、図17のエンコーダ構成1700と略同様であり、類推によって一般に理解され得る。例えば、図21において、図17中の一連の番号17XXと同一サフィックス“XX”を有する一連の番号21XXは、同様又は同一の構成要素を指定し得て、当該構成要素は、以下で特段の説明又は暗示が無ければ、同様に機能し得る。

10

【0109】

図21に示す実施形態において、照明部2160は、ビーム分離部2171を含む。ビーム分離部2171は、第1格子2190と、第2格子2191と、遮断エレメント2192と、開口エレメント2193とを含む。第1格子2190は、ソース光2131を、第1格子2190から回折される+1次及び-1次(或いは、対称的にマッチする高次)の光である第1ソース光部分2131A及び第2ソース光部分2131Bへ分割するように構成される。(幾つかの実施形態において、第1格子2190と同一の周期を有する)第2格子2191は、第1ソース光部分2131A及び第2ソース光部分2131Bを受光し、互いに平行な第1平行コリメート光部分2131AP及び第2平行コリメート光部分2131BPを出力するように構成される。開口エレメント2193は、第1平行コリメート光部分2131AP及び第2平行コリメート光部分2131BPを受光すると共に、第2格子2191から回折された他の付加的な次数の光を除去しつつ、第1平行コリメート光部分2131A'及び第2平行コリメート光部分2131B'を照明格子2150へ伝送するように構成される。幾つかの実施形態において、最も高い効率性のために、第1格子2190及び第2格子2191が位相格子であっても良い。

20

【0110】

図22は、ここに開示する原理に係るエンコーダ構成2200において用いられ得る照明部2260の図である。エンコーダ構成2200の構成要素及び動作原理は、図21のエンコーダ構成2100と略同様であり、類推によって一般に理解され得る。例えば、図22において、図21中の一連の番号21XXと同一サフィックス“XX”を有する一連の番号22XXは、同様又は同一の構成要素を指定し得て、当該構成要素は、以下で特段の説明又は暗示が無ければ、同様に機能し得る。

30

【0111】

照明部2260は、図21に示した照明部2160の同一構成要素の多くを、透過的な格子エレメントよりはむしろ反射的な格子エレメントを利用するコンパクトな光学配置へ組み込んでいる。

【0112】

図22に示す実施形態において、照明部2260は、光源2230と、コリメートレンズ2240と、構造化照明生成部2270とを含む。構造化照明生成部2270は、ビーム分離部2271を含む。ビーム分離部2271は、第1格子2290と、第2格子2291と、遮断エレメント2292と、開口エレメント2293と、反射板2241とを含む。光源2230は、ソース光2231をコリメートレンズ2240へ出力するように構成される。コリメートレンズ2240は、ソース光2231をコリメートして、反射板2241へ出力するように構成される。反射板2241は、ソース光2231を第1格子2290へ反射するように構成される。第1格子2290は、ソース光2231を、第1格子2290から回折される+1次及び-1次(或いは、対称的にマッチする高次)の光である第1ソース光部分2231A及び第2ソース光部分2231Bへ分割するように構成される。遮断エレメント2292は、第1格子2290からの零次要素を遮断するように構

40

50

成される。第2格子2291は、第1ソース光部分2231A及び第2ソース光部分2231Bを受光し、互いに平行な第1平行コリメート光部分2231AP及び第2平行コリメート光部分2231BPを出力するように構成される。開口エレメント2293は、第1平行コリメート光部分2231AP及び第2平行コリメート光部分2231BPを受光すると共に、第2格子2291から回折された他の付加的な次数の光を除去しつつ、第1平行コリメート光部分2231AP及び第2平行コリメート光部分2231BPを照明格子2250へ伝送するように構成される。

【0113】

結像構成2280は、第1レンズ2281と、開口2282と、第2レンズ2283と、反射板2284とを含む。反射板2284は、スケール光2232を、結像構成2280へ反射するように構成される。

10

【0114】

図23Aは、ここに開示する原理に係るエンコーダ構成において用いられ得るオフセット格子部を含むスケールパターン2315の実施形態を示している。ここに開示する各種の実施形態における光学部品の非理想的な製造及び/又はアラインメントは、ディテクタ上で交流フリンジの不均一な振幅をもたらす虞があることを見出した。スケールパターン2315は、図23B及び図23Cを参照して以下に概説する通りに、この問題を軽減する。スケールパターン2315は、スケール格子2310を含む。スケール格子2310は、測定軸方向MAに沿って互いに平行に配置される第1のスケール格子部2310A及び第2のスケール格子部2310Bを含む。第1のスケール格子部2310A及び第2のスケール格子部2310Bは、それぞれスケールピッチ P_{SF} を有する。第2のスケール格子部2310Bは、第1のスケール格子部に対して、 $0.5 * P_{SF}$ の空間位相オフセットを有する。また、スケール格子2310は、第3のスケール格子部2310C及び第4のスケール格子部2310Dも含む。第3のスケール格子部2310C及び第4のスケール格子部2310Dは、それぞれスケールピッチ P_{SF} を有し、また $0.5 * P_{SF}$ の空間位相オフセットで配置される。第3のスケール格子部2310Cは、測定軸方向MAに沿って、第1のスケール格子部2310Aと同一の位相を有する。スケール格子部2310A~2310Dの各々は、例えば図3に示したインクリメンタルトラックパターンTINC2と類似する方法で、単独の位置測定のために同時に照らされ且つ結像されるようにしても良い。

20

30

【0115】

図23Bは、スケールイメージSIへの図23Aの各スケール格子部の複合強度寄与のアラインメントを概略的に示している。スケール格子部2310A~2310D(又は任意の単相格子)は、上記の通り、不規則なスケールイメージ強度寄与部SI-A~SI-Dへ個別に寄与し得て、単独で変位測定に用いた場合、変位測定誤差につながり得る。図23Cは、スケールイメージ部SI-A~SI-D各々の複合強度寄与を含む、スケールイメージSIにおける強度を示している。図23Cに示すように、スケールイメージ部SI-A~SI-Dの寄与のアラインメントは、多様な寄与の不規則性にもかかわらず、スケールイメージSI内で一貫した強度振幅を生み出す。

【0116】

40

当然のことながら、図23Aに関して説明する原理に係る最も基本的な実施形態において、オフセット部を有する同様のスケール格子は、互いに $0.5 * P_{SF}$ の位相オフセットを有する第1及び第2のスケール格子部のみ(或いは加えて、第3のスケール格子部)を含んでも良い。或いは、同様のスケール格子は、各対が互いに $0.5 * P_{SF}$ の位相オフセットを有する(例えば、Y方向に沿ってより狭い)3対以上のスケール格子部を含んでも良い。各ケースにおいて、スケール格子部のY方向の幅は、オフセット格子部の結像領域からのオフセット強度寄与が略同量に寄与して、図23Cに示した略一定振幅の信号を生成するように調整されるべきである。

【0117】

図24A及び図24Bは、潜在的な誤差原因を軽減すべく拡大されたスケール格子の領

50

域を用いるよう構成された、第1及び第2のエンコーダ構成2400A及び2400Bの概略図を示している。以下に説明する事項を除き、図24A及び図24Bに示す実施形態は、先の図面に示した実施形態と同様のエレメント及び側面を含んでも良い。

【0118】

スケールピッチ P_{SF} の微細なバラツキは、製造工程誤差に起因し得る。このバラツキは、スケールエレメント2410A(又は2410B)等のスケールエレメントに沿った変位測定の中距離誤差を引き起こし得る。このモードの誤差を軽減する一つのソリューションは、第1及び第2のエンコーダ構成2400A及び2400Bと同様、このような誤差を平均的に取り除くべく結像構成の信号生成イメージへ寄与するスケール格子の領域を拡大することである。ちなみに、図3に示した実施形態においては、スケールエレメント110を第1レンズ平面FLPから第1レンズ181の焦点距離 f と名目上等しい距離 d_0 だけ離隔して、幅FRに対応するスケール光線が、図3のエンコーダ構成の信号生成イメージに含まれるようにした。これに対し、結像構成2480A(又は2480B)は、スケールエレメント2410A(又は2410B)が、第1レンズ平面FLPから距離 d_0 だけ離隔されて、第1レンズ2481A(又は2481B)の焦点距離 f から外れるように構成されている。より具体的には、スケールエレメント2410A(又は2410B)は、結像構成2480A(又は2480B)の光軸に沿った、結像構成2480A(2480B)の焦点距離 f 未満の位置に設置される。図3に示した構成と比較して、幅ERに対応する追加的なスケール光線を、エンコーダ構成2400A(2400B)の信号生成イメージに含ませ得る。

【0119】

図3に示したような実施形態が、4mmのスケール上で有効視野の像を取得し得る一方、図24A(図24B)に示すような実施形態は、5mmのスケール上で有効視野の像を取得し得る。加えて、結像構成2480A(2480B)とスケールエレメント2410A(2410B)との間の距離を減少させることは、よりコンパクトなエンコーダ構成を可能にする。

【0120】

図24Aは、透過的なスケール構成を示している。透過的なスケール構成を採用する種々の実施形態において、スケールエレメント2410Aは、位相格子2450Aから高々2mmの距離 d_1 だけ離隔するように配置される。反射的なスケールを用いる代替構成においては、スケールエレメントを、結像構成の光路に沿って照明部の位相格子から高々6mmの距離 d_1 だけ離隔するように配置しても良い。図24Aに示す構成の幾つかの実施形態において、スケールエレメント2410Aが4 μ mのスケールピッチを有し、位相格子2450Aが4.444 μ mのピッチを有するようにしても良い。図24Bに示す構成の幾つかの実施形態において、スケールエレメント2410Bが4 μ mのスケールピッチを有し、照明部2460Bの位相格子2450Bが3.635 μ mのピッチを有するようにしても良い。位相格子2450Aよりも位相格子2450Bのピッチを小さくすることで、イメージピッチ P_{IMESF} の与えられた値に対して、位相格子2450Bとスケール格子2410Bとの間のより短い距離 d_1 を可能にする。

【0121】

図25A～図25Cは、エンコーダ構成2500A、2500B及び2500Cの実施形態の概略図を示している。概念的に、エンコーダ構成2500A、2500B及び2500Cの各々においては、測定軸と平行且つ結像部の光軸と垂直な平面に対して、スケールエレメントが測定軸についてロール角 θ で配置され、照明部の位相格子が測定軸についてロール角 θ で配置される。種々の実施形態においては、先の図面に関して議論した通り、結像部により受信される不要な残留零次光は、所望の位置信号を妨げる影響を引き起こし得て、短距離誤差を生じさせる。これが現れ得る一つの状態は、ディテクタ部へ入射するスケール格子のイメージを搬送するぼやけた自己像平面を介したものである。これを軽減する一つの手段は、測定軸に対して小さなロール又はピッチを有する、スケールエレメント又は照明部の位相格子を配置することである。この手段は、複数の自己像平面を互い

10

20

30

40

50

に位相オフセットを有するようにディテクタ部へ入射させて、短距離誤差を平均化し得る。このような目的で、幾つかの実施形態においては、非零のロール又はピッチ角を導入し、以て後述する如く、少なくとも自己像平面及び逆像平面がディテクタ部へ入射されるようにすることが望ましい。実施形態において、スケール格子は、スケール格子に垂直で且つ測定軸に平行な平面において少なくとも0.1度になるような、測定軸についてのロール角又はピッチ角で結像部の光路が回転されるように、結像部に対して配置してもよい。幾つかの実施形態において、照明部の位相格子は、スケール格子に垂直で且つ測定軸に平行な平面において、位相格子平面とスケール格子平面との間のロール角が $(2 * B * M * P_{PG}^2) / (H * \lambda)$ と等しくなるように、スケール格子に対して設置してもよい。ここで、Bは、0.75 ~ 1.25の間の数であり、Mは、結像部の倍率であり、 P_{PG} は、照明部の位相格子のピッチであり、Hは、測定軸に垂直であるディテクタ部の視野の高さであり、 λ は、照明の波長である。一の実施形態において、エンコーダ構成は、4.444 μm である位相格子ピッチ P_{PG} 、1Xである倍率M、1000 μm である高さHを有して得て、以てロール角は3.5度であり得る。幾つかの実施形態において、照明部の位相格子は、スケール格子に垂直で且つ測定軸に平行な平面において、位相格子平面とスケール格子平面との間のピッチ角が $(2 * B * M * P_{PG}^2) / (V * \lambda)$ と等しくなるように、スケール格子に対して設置してもよい。ここで、Vは、測定軸に沿ったディテクタ部の視野の長さであり、Bは、0.75 ~ 1.25の間の数である。

【0122】

例えば、図25A ~ 図25Cは、位相格子とスケールエレメントとの間に3.5度のロール角を有する3つの実施形態を示している。エンコーダ構成2500A、2500B及び2500Cは、測定軸MA(すなわちX方向)に平行且つ結像部2580A、2580B及び2580C各々の光軸に垂直な平面に対し、測定軸についてロール角 θ で配置されるスケールエレメント2510A、2510B及び2510Cをそれぞれ含む。照明部2560A、2560B及び2560Cは、測定軸MA(すなわちX方向)に平行且つ結像部2580A、2580B及び2580C各々の光軸に垂直な平面に対し、測定軸についてロール角 θ で配置される位相格子2550A、2550B及び2550Cを含む。エンコーダ構成2500Aにおいて、 θ は3.5度であり、 ϕ は0度である。エンコーダ構成2500Bにおいて、 θ は1.75度であり、 ϕ は-1.75度である。エンコーダ構成2500Cにおいて、 θ は0度であり、 ϕ は3.5度である。各ケースにおいて、エレメント同士間の正味のロール角は3.5度であり、以て自己像平面SIMG及び逆(逆位相)像平面IIMGが検出平面DPにより示されるディテクタ部へ入射して、不要な残留零次光に起因する自己像の影響を略打ち消す。エンコーダ構成2500A、2500B及び2500Cの各々は、上述した通りに最適なロール角又はピッチ角を決定する、測定軸方向に垂直である高さH及び測定軸方向に沿った長さVを有する視野を備えている。長さVは、その方向がY、すなわちX軸方向であるため、図示していない。

【0123】

図25A ~ 図25Cに示す実施形態はスケールエレメントと照明部の位相格子との間のロール角を示しているが、当然のことながら、(測定軸に垂直且つスケール格子に平行である軸、例えばY軸についての)ピッチ角も所望の効果をもたらす。種々の実施形態において、スケール格子又は照明部の位相格子、或いはその両者が、測定軸に平行且つ結像部の光軸に垂直な平面に関してピッチ角で配置されて、エレメント同士間に略0.1度以上の相対ピッチを提供する。各ケースにおいて、相対ピッチ角は、少なくとも一つの自己像平面SIMG及び逆(逆位相)像平面IIMGが検出平面DPでディテクタ部へ入射して、不要な残留零次光に起因する自己像の影響を略打ち消すように選択される。

【0124】

本発明の種々の実施形態を示して説明したが、示し且つ説明した特徴の構成及び動作のシーケンスにおける非常に多くのバリエーションは、本開示に基づき当業者にとって明らかであろう。よって、当然のことながら、本発明の精神と範囲から逸脱すること無く種々の変更が成され得る。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 5 】

この出願は、2014年5月29日に出願されたアメリカ合衆国特許出願14/290,846を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

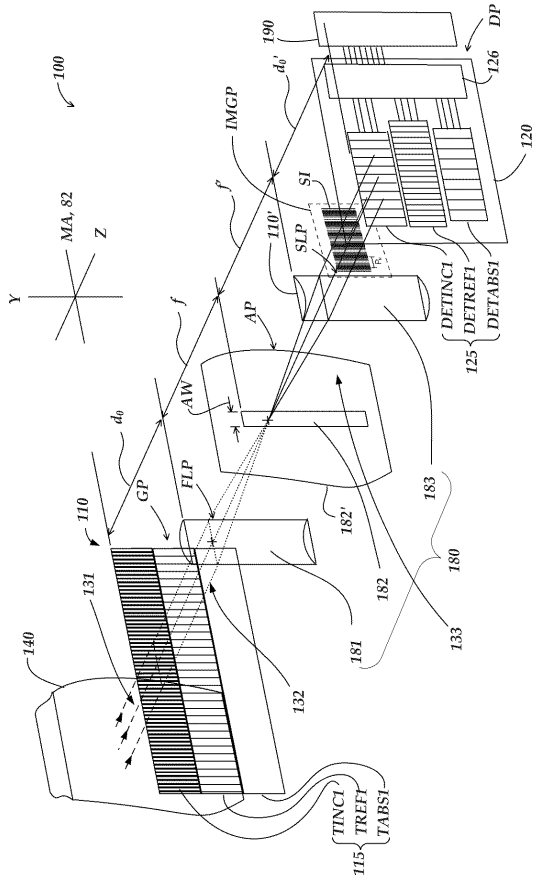
【 符号の説明 】

【 0 1 2 6 】

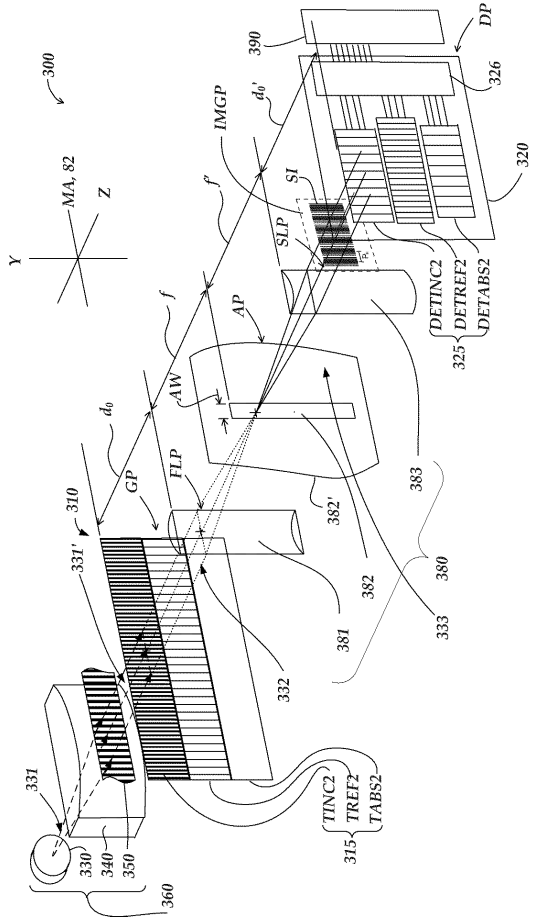
- 100, 300, 700, 800, 900, 1300, 1500, 1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100, 2200, 2400A, 2400B, 2500A, 2500B, 2500C エンコーダ構成
- 110, 310, 710, 810, 910, 1310, 2410A, 2410B, 2510A, 2510B, 2510C スケールエレメント 10
- 115, 315, 1515, 1615, 2315 スケールパターン
- 120, 320, 720, 820, 1320, 1520, 2220 ディテクタエレクトロニクス
- 125, 325, 725, 825, 1525, 1725, 1825, 1925, 2025, 2125 ディテクタ構成
- 126, 326, 1526 信号処理回路
- 131, 331, 731, 831, 1331, 1431 光
- 132, 332, 732, 832, 1432, 1532, 2232 スケール光
- 133, 333, 733, 833, 1533 空間的にフィルタされたイメージ光
- 140, 340, 740, 840, 940, 1540, 1640 レンズ 20
- 180, 380, 780, 880, 1380 両側テレセントリック結像構成
- 181, 381, 1581, 2481A, 2481B 第1レンズ
- 182, 382, 1335, 1572op, 1672op 開口部
- 183, 383, 1583 第2レンズ
- 190, 390, 1590 信号生成・処理回路
- 330, 730, 830, 930, 1330, 1530, 1630, 1730, 1830, 1930, 2030, 2130, 2230 光源
- 350, 850, 950A, 950B, 1350, 1450, 2450A, 2450B, 2550A, 2550B, 2550C 位相格子
- 360, 760, 860, 1360, 1560, 1660, 1760, 1860, 1960, 2060, 2160, 2260 照明システム/部 30
- 755, 855, 955, 1355, 1390, 1777 ビームスプリッタ
- 770 両側テレセントリックエンコーダ結像配置
- 781, 881, 1381 第1レンズアレイ
- 782, 882, 1382 開口アレイ
- 783, 883, 1383 第2レンズアレイ
- 1100 テーブル
- 1340 コリメートレンズ
- 1342, 1344, 1778, 2241, 2240, 2284 反射板
- 1391 ビーム 40
- 1392 ビームダンプ
- 1393, 1678 4分の1波長板
- 1410 スケール
- 1510, 1610, 2310 スケール格子
- 1531 構造化光
- 1550, 1650, 1750, 1850, 1950, 2050, 2150, 2250 照明格子
- 1571, 1671 第1フィルタレンズ
- 1572, 1672 空間フィルタ開口構成
- 1572c, 1672c 中央部 50

1 5 7 3, 1 6 7 3	第 2 フィルタレンズ	
1 5 8 0, 1 6 8 0, 2 5 8 0 A, 2 5 8 0 B, 2 5 8 0 C	結像部	
1 5 8 2	限界開口	
1 6 3 1	コリメート光	
1 6 3 2	空間的に変調されたイメージ光	
1 6 7 6	偏光子	
1 6 7 7	偏光ビームスプリッタ	
1 7 1 5, 1 8 1 5, 1 9 1 5, 2 0 1 5, 2 1 1 5, 2 2 1 5	スケールトラック	
1 7 3 1, 1 8 3 1, 1 9 3 1, 2 0 3 1, 2 1 3 1, 2 2 3 1	ソース光	
1 7 3 1 A, 1 8 3 1 A, 1 9 3 1 A, 2 0 3 1 A, 2 1 3 1 A, 2 2 3 1 A	第 1 ソース光部分	10
1 7 3 1 B, 1 8 3 1 B, 1 9 3 1 B, 2 0 3 1 B, 2 1 3 1 B, 2 2 3 1 B	第 2 ソース光部分	
1 7 4 0	コリメーション部	
1 7 7 0, 1 8 7 0, 1 9 7 0, 2 0 7 0, 2 1 7 0, 2 2 7 0	構造化照明生成部	
1 7 7 1, 1 8 7 1, 1 9 7 1, 2 0 7 1, 2 1 7 1, 2 2 7 1	ビーム分離部	
1 7 7 2	デュアルビーム開口エレメント	
1 7 7 5	ビーム分割サーフェス	
1 7 8 0, 1 8 8 0, 1 9 8 0, 2 0 8 0, 2 1 8 0, 2 2 8 0, 2 4 8 0 A, 2 4 8 0 B	結像構成	20
1 8 4 0, 1 9 4 0, 2 0 4 0, 2 1 4 0, 2 2 4 0	コリメートレンズ	
1 8 7 2, 2 1 9 3, 2 2 9 3	開口エレメント	
1 8 7 2 o p	デュアル開口部	
1 9 7 7	シアリングプレート	
1 9 7 7 A, 2 0 7 7 A	第 1 サーフェス	
1 9 7 7 B, 2 0 7 7 B	第 2 サーフェス	
1 9 7 7 C	フロントサーフェス	
2 0 7 7	第 1 ビーム伝導エレメント	
2 0 7 8	第 2 ビーム伝導エレメント	
2 0 7 8 A, 2 0 7 8 C	サーフェス	30
2 0 7 8 B	反射防止サーフェス	
2 0 7 8 D	補償プリズム	
2 1 9 0, 2 2 9 0	第 1 格子	
2 1 9 1, 2 2 9 1	第 2 格子	
2 1 9 2, 2 2 9 2	遮断エレメント	
2 2 8 1	第 1 レンズ	
2 2 8 2	開口	
2 2 8 3	第 2 レンズ	
2 3 1 0 A, 2 3 1 0 B, 2 3 1 0 D	スケール格子部	
2 4 6 0 A, 2 4 6 0 B, 2 5 6 0 A, 2 5 6 0 B, 2 5 6 0 C	照明部	40

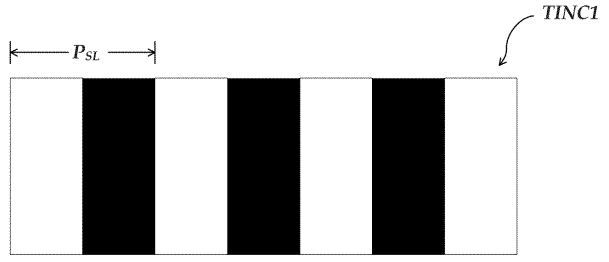
【 図 1 】



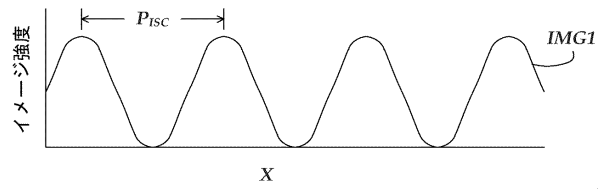
【 図 3 】



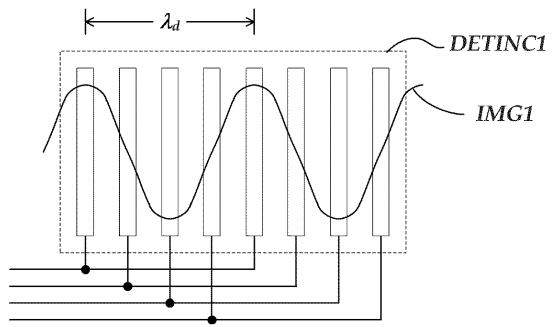
【 図 2 A 】



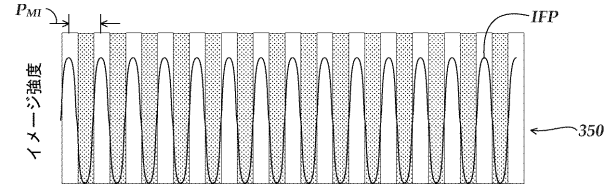
【 図 2 B 】



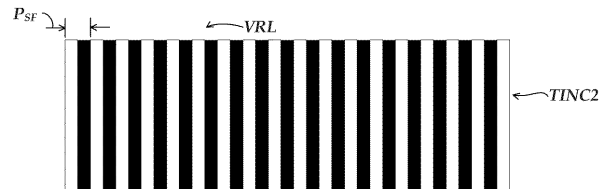
【 図 2 C 】



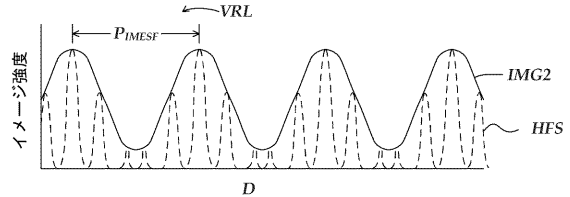
【 図 4 A 】



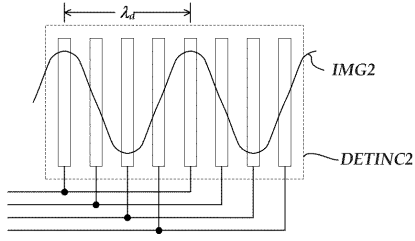
【 図 4 B 】



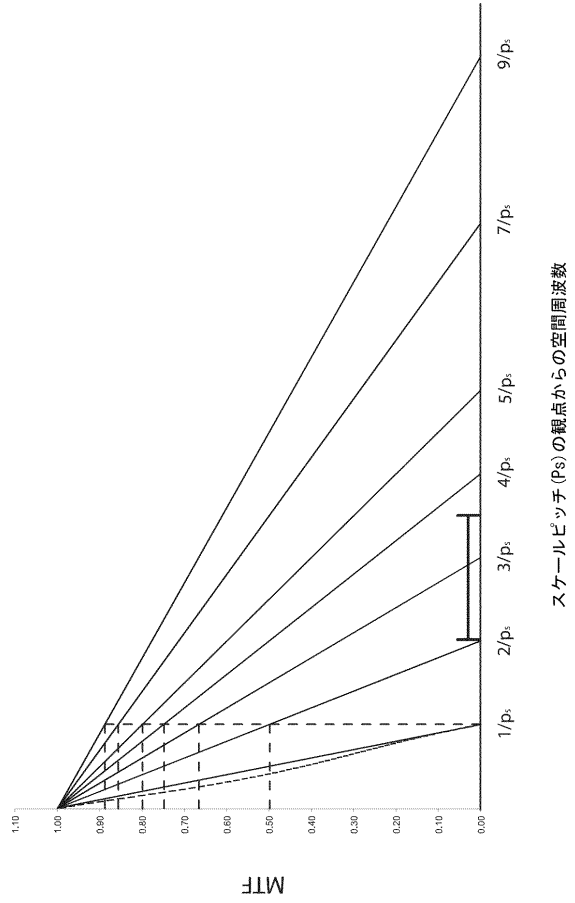
【 図 4 C 】



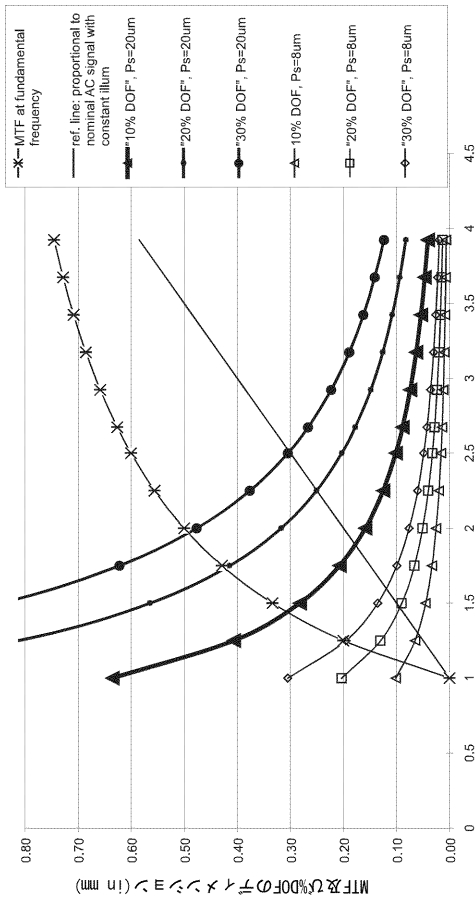
【図4D】



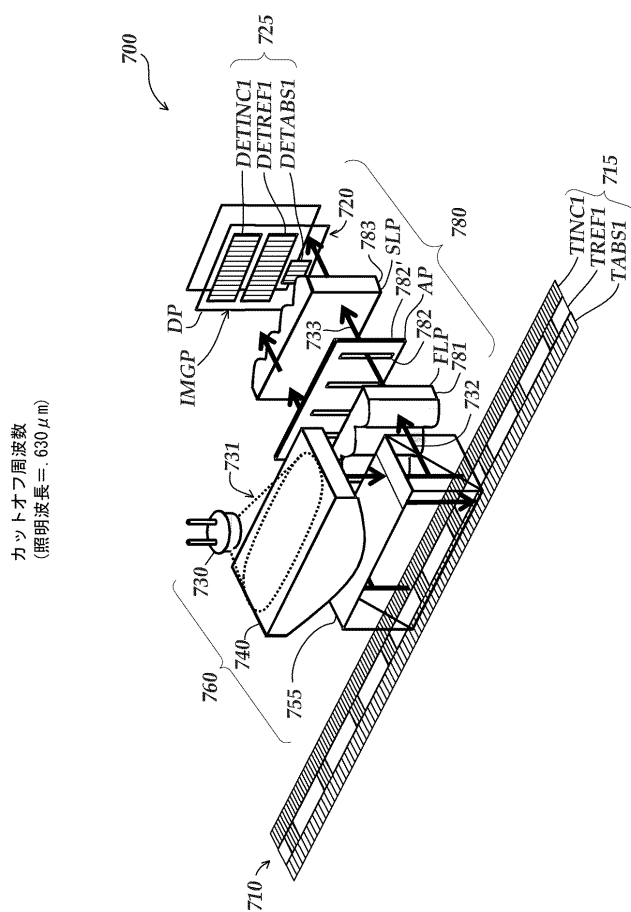
【図5】



【図6】

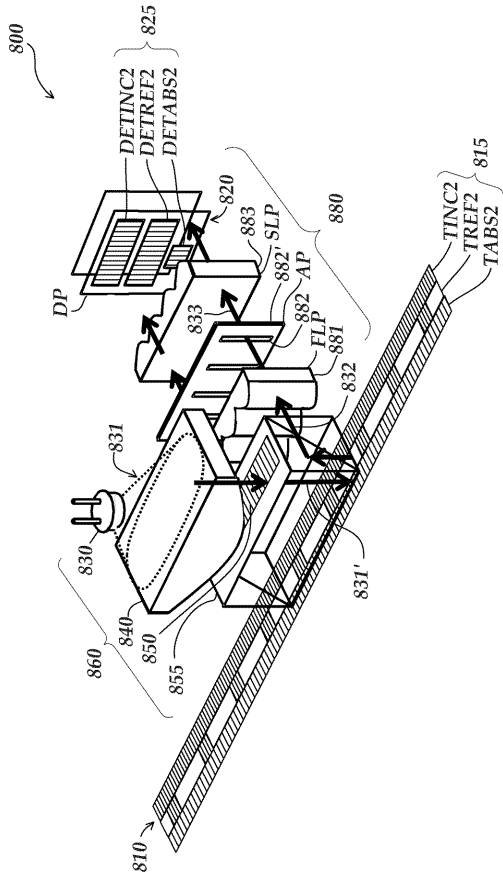


【図7】

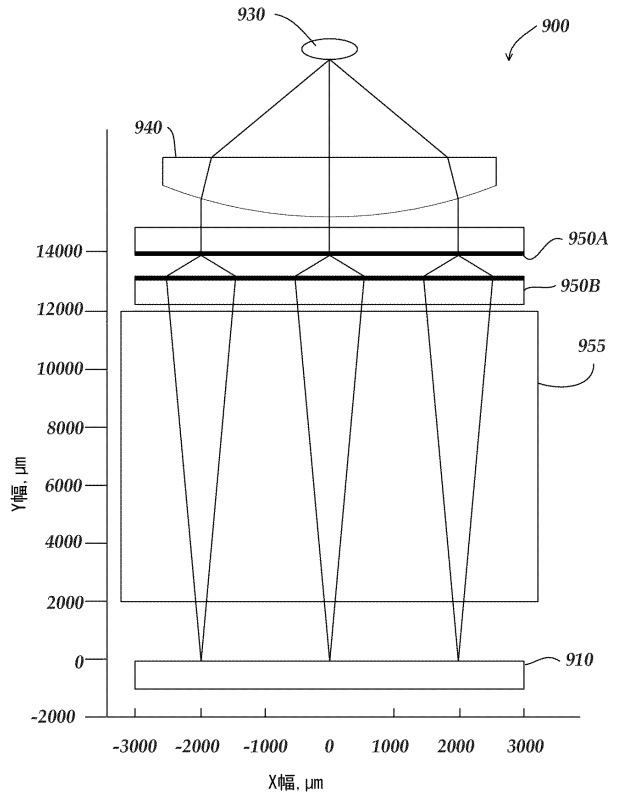


カットオフ周波数
(照明波長=630μm)

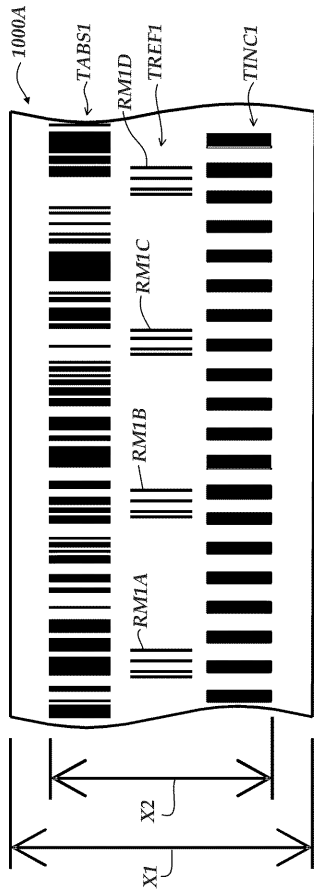
【 図 8 】



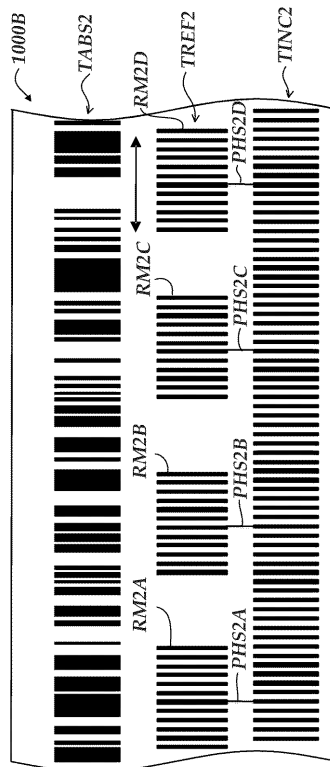
【 図 9 】



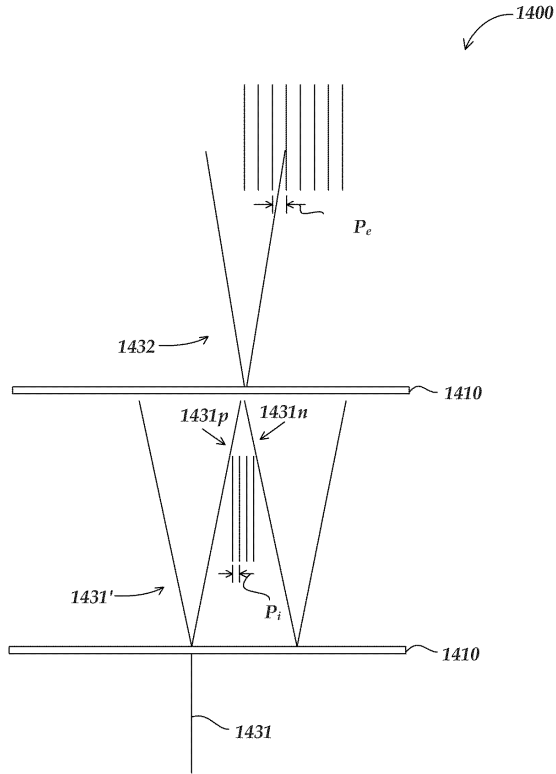
【 図 10 A 】



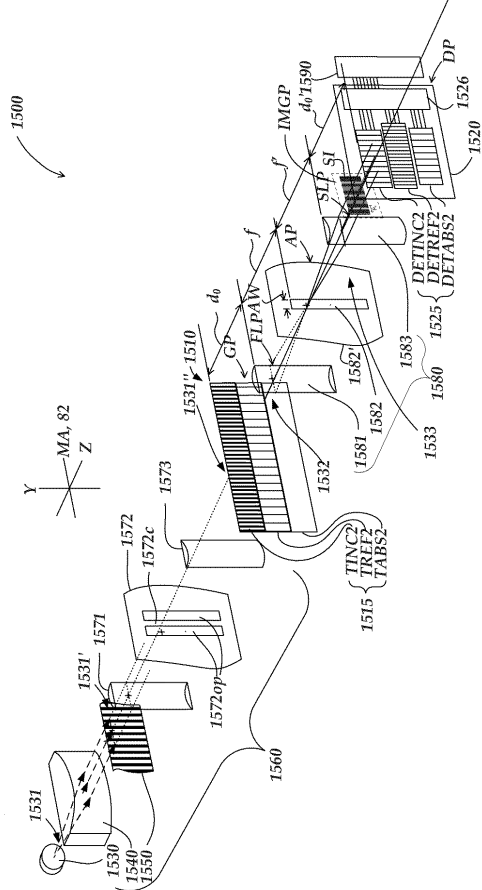
【 図 10 B 】



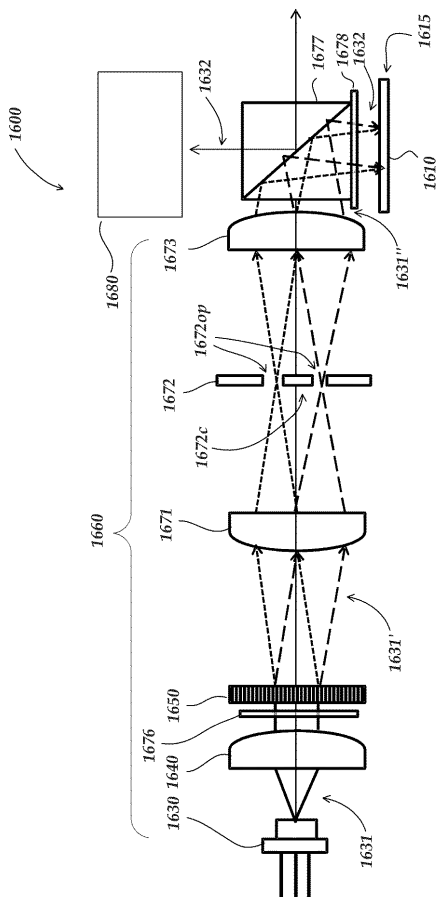
【 図 14 】



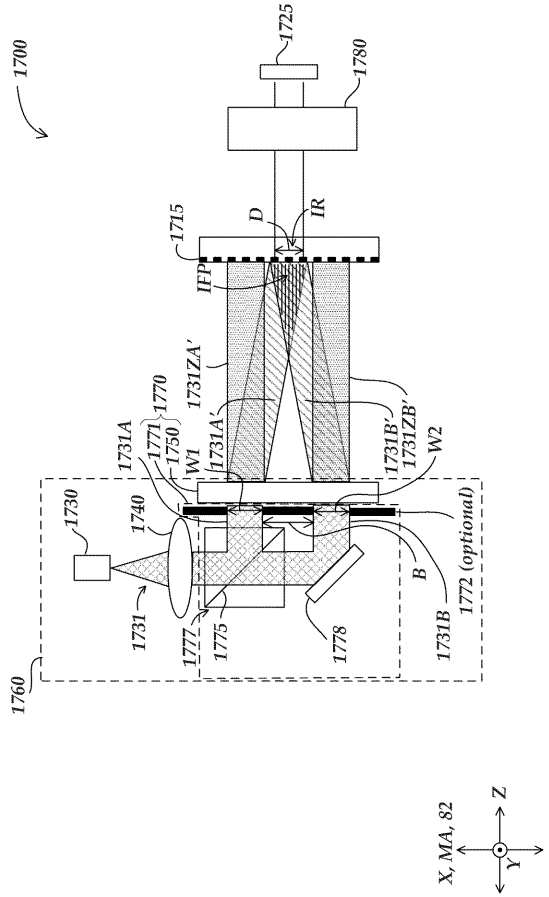
【 図 15 】



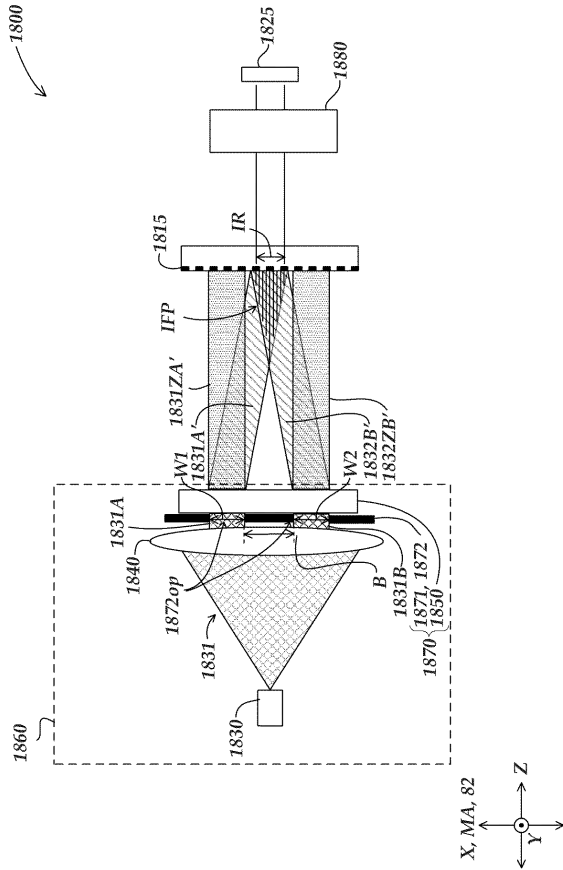
【 図 16 】



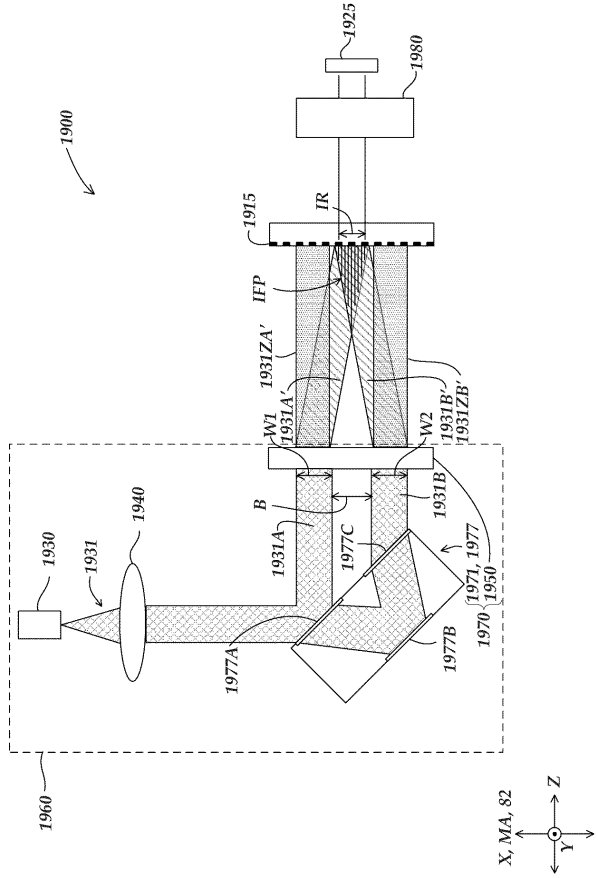
【 図 17 】



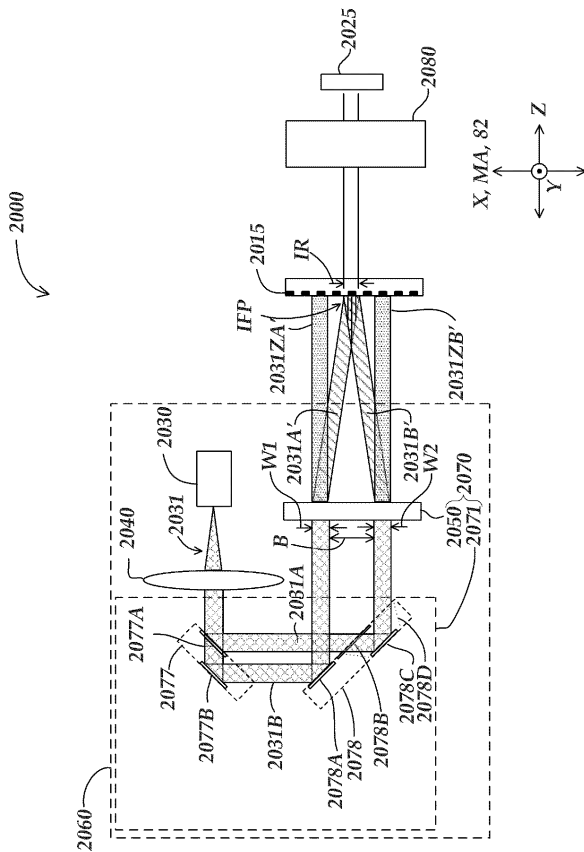
【 図 18 】



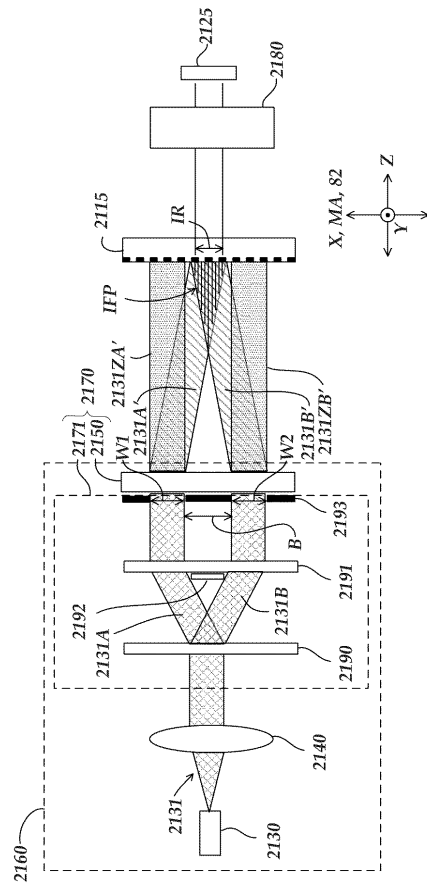
【 図 19 】



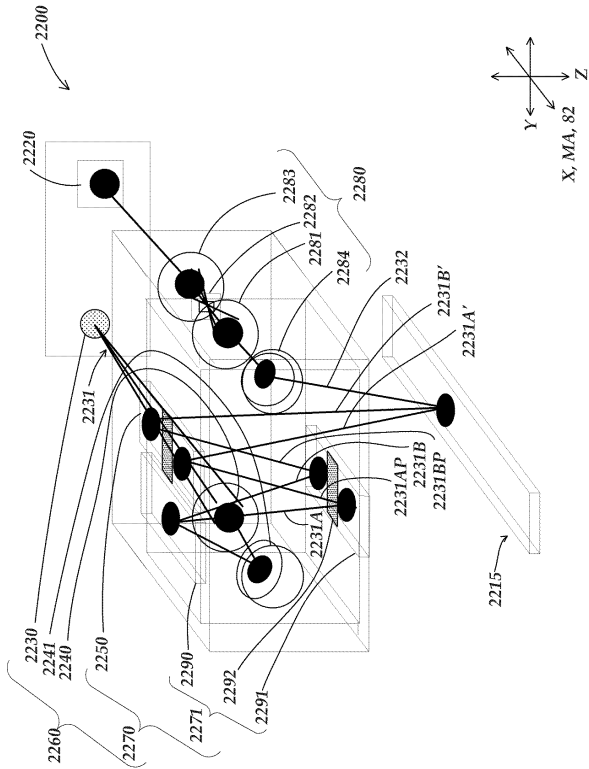
【 図 20 】



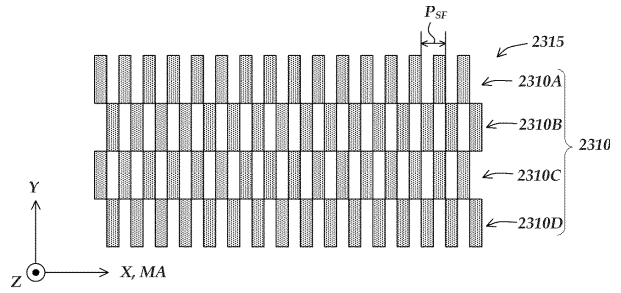
【 図 21 】



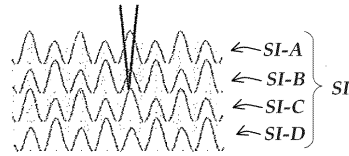
【図22】



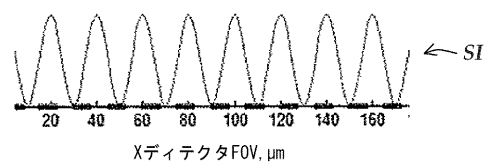
【図23A】



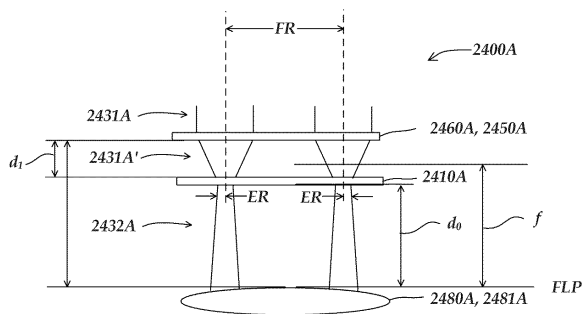
【図23B】



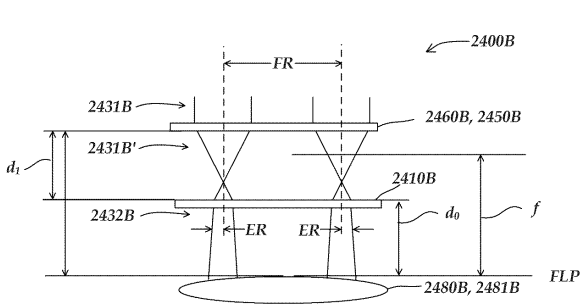
【図23C】



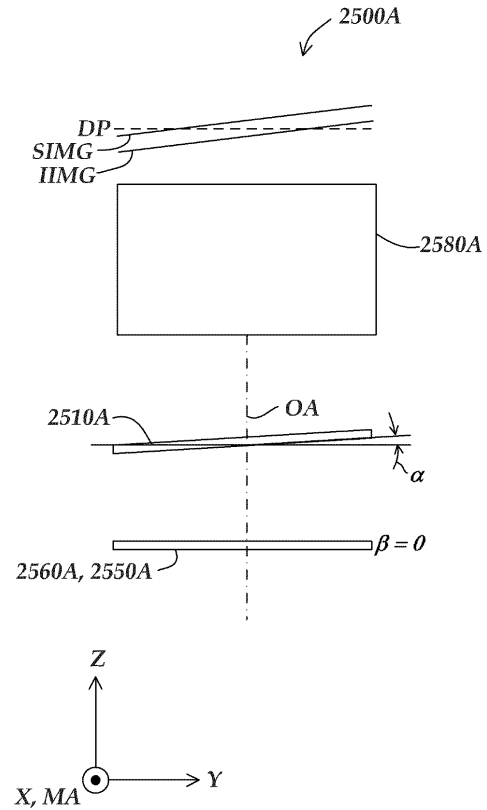
【図24A】



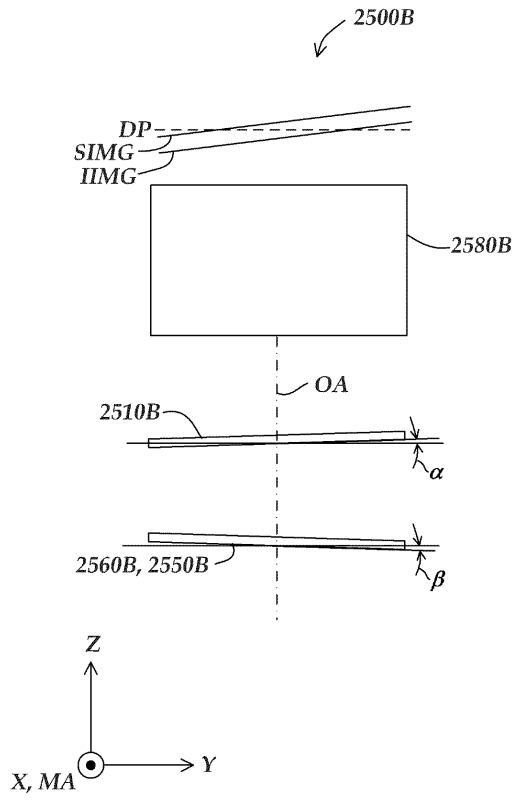
【図24B】



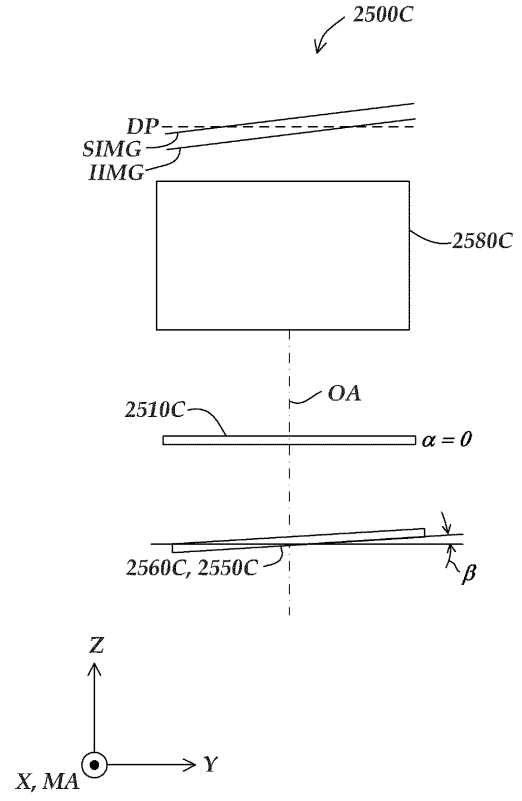
【図25A】



【 2 5 B 】



【 2 5 C 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2013-140146(JP,A)
特開2007-183251(JP,A)
特開2005-70053(JP,A)
米国特許第5861953(US,A)
特開平8-304117(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01D 5/26 - 5/38

G01B11/00 - 11/30