

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-3146  
(P2013-3146A)

(43) 公開日 平成25年1月7日(2013.1.7)

(51) Int. Cl. F I テーマコード (参考)  
**GO 1 D 5/347 (2006.01)** GO 1 D 5/347 I 1 O D 2 F 1 O 3  
**GO 1 D 5/38 (2006.01)** GO 1 D 5/38 A

審査請求 未請求 請求項の数 23 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2012-134091 (P2012-134091)  
 (22) 出願日 平成24年6月13日 (2012.6.13)  
 (31) 優先権主張番号 13/159, 348  
 (32) 優先日 平成23年6月13日 (2011.6.13)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 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 100079049  
 弁理士 中島 淳  
 (74) 代理人 100084995  
 弁理士 加藤 和詳  
 (74) 代理人 100099025  
 弁理士 福田 浩志  
 (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 ウッディ  
 ンヴィル 186番プレイス ノースイ  
 スト 18914

最終頁に続く

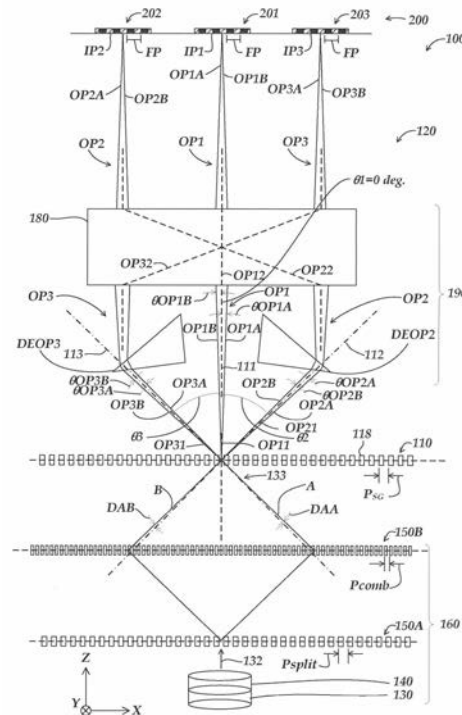
(54) 【発明の名称】 変位センサ

(57) 【要約】

【課題】一次元のスケール格子に対するスケール光結像系の二次元の変位を検出でき、構造が簡単な変位センサを提供する。

【解決手段】X方向に配置されたスケール格子110から結像系190にZ軸にほぼ平行なスケール光成分OP1A、OP1Bを射出し、Z方向に平行な光路OP1に沿って伝播した当該スケール光成分を受光した検出部201は、X方向の変位を示す変位信号を出力し、スケール格子110から結像系190にZ軸から傾いた方向にほぼ平行にスケール光成分OP2A、OP2Bを射出し、Z方向から傾いた光路OP2に沿って伝播した当該スケール光成分を受光した検出部202は、X方向の変位とZ方向の変位とを含む変位信号を出力する。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

第 1 の方向に配置され、前記第 1 の方向に実質的に垂直な第 2 の方向に延在する格子バーを有するスケール格子であって、前記第 1 の方向および前記第 2 の方向に垂直な第 3 の方向に沿って該スケール格子に入射する平面波の回折次数角度に相当する回折面を定める前記スケール格子と、

スケール光結像系と、  
を備える変位センサであって、  
前記スケール光結像系は、

前記平面波と同じ波長の照明光を前記スケール格子に供給するように構成された照明部と、

第 1 および第 2 の光路を有する結像系と、

第 1 および第 2 の検出部を有する検出器と、を備え、

前記スケール格子から前記結像系に第 1 のスケール光成分を射出し、前記第 1 のスケール光成分が前記第 1 の光路に沿って前記第 1 の検出器部に向い、

前記スケール格子から前記結像系に第 2 のスケール光成分を射出し、前記第 2 のスケール光成分が前記第 2 の光路に沿って前記第 2 の検出器部に向かい、前記第 2 の光路は、前記スケール格子近傍では、前記第 3 の方向に対して所定の角度傾いており、前記所定の角度は、前記第 3 の方向と前記第 1 の方向を含む面内で定められるように構成され、

前記第 1 の検出部は、前記第 1 の光路に沿って伝播した前記第 1 のスケール光成分を受光し、前記スケール格子に対する前記スケール光結像系の前記第 1 の方向に沿った変位を示す第 1 の信号成分を少なくとも含む第 1 の変位信号を出力するように構成され、

前記第 2 の検出部は、前記第 2 の光路に沿って伝播した前記第 2 のスケール光成分を受光し、前記第 1 の信号成分および前記第 1 の方向および前記第 3 の方向に沿った前記スケール格子に対する前記スケール光結像系の変位を示す第 2 の信号成分を含む第 2 の変位信号を出力するように構成されている変位センサ。

## 【請求項 2】

前記照明光は、第 1 の照明光成分と第 2 の照明光成分を有し、

前記第 1 の照明光成分は、前記スケール格子によって定まる回折面のうちの第 1 の回折面に対して第 1 の偏角だけ逸れて配置され、

前記第 2 の照明光成分は、前記スケール格子によって定まる回折面のうちの第 2 の回折面に対して第 2 の偏角だけ逸れて配置され、

前記第 1 のスケール光成分は、第 1 および第 2 の副スケール光成分を有し、前記第 1 の副スケール光成分は前記第 1 の照明光成分から生成され、前記第 1 の副スケール光成分は前記第 1 の回折面から前記第 1 の偏角に相当する量だけ逸れるように、前記スケール格子から出射され、前記第 2 の副スケール光成分は前記第 2 の照明光成分から生成され、前記第 2 の副スケール光成分は前記第 1 の回折面から前記第 2 の偏角に相当する量だけ逸れるように、前記スケール格子から出射され、

前記第 2 のスケール光成分は、第 3 および第 4 の副スケール光成分を有し、前記第 3 の副スケール光成分は前記第 1 の照明光成分から生成され、前記第 3 の副スケール光成分は前記第 2 の回折面から前記第 1 の偏角に相当する量だけ逸れるように、前記スケール格子から出射され、前記第 4 の副スケール光成分は前記第 2 の照明光成分から生成され、前記第 4 の副スケール光成分は前記第 2 の回折面から前記第 2 の偏角に相当する量だけ逸れるように、前記スケール格子から出射され、

前記第 1 の検出部は、前記第 1 および第 2 の副スケール光成分の干渉によって生成される第 1 の強度パターンを受光し、前記第 2 の検出部は、前記第 3 および第 4 の副スケール光成分の干渉によって生成される第 2 の強度パターンを受光する請求項 1 記載の変位センサ。

## 【請求項 3】

前記第 1 の回折面は、前記第 1 の方向に実質的に垂直であり、前記第 1 の変位信号は、

前記第 1 の信号成分のみを含む請求項 1 または 2 記載の変位センサ。

【請求項 4】

前記第 1 の回折面と前記第 2 の回折面の回折次数の差は 1 である請求項 3 記載の変位センサ。

【請求項 5】

前記第 1 の変位信号と前記第 2 の変位信号の差は、前記第 3 の方向に沿った前記スケール格子に対する前記スケール光結像系の変位を示す請求項 3 記載の変位センサ。

【請求項 6】

前記照明部は、前記第 1 の方向に垂直な面に平行な照明光成分を生成しないように構成されている請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の変位センサ。

10

【請求項 7】

前記照明部は、前記第 1 の方向に垂直な面に平行な照明光成分を抑制して前記照明光を供給するように構成されている位相格子を備えている請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の変位センサ。

【請求項 8】

前記スケール格子は、前記照明光から生成される 0 次光の出射を抑制するように構成されている位相格子を備えている請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の変位センサ。

【請求項 9】

前記第 1 の回折面と前記第 2 の回折面の回折次数は、整数  $N$  ( $N$  は少なくとも 1) 異なる請求項 2 記載の変位センサ。

20

【請求項 10】

$N$  は 2 である請求項 9 記載の変位センサ。

【請求項 11】

前記結像系は、テレセントリック結像部を備え、前記第 1 の光路は前記第 1 の回折面に実質的に平行な最初の光路部と、前記テレセントリック結像部を通る次の光路部と備え、前記第 2 の光路は前記第 2 の回折面に実質的に平行な最初の光路部と、前記テレセントリック結像部を通る次の光路部と備える請求項 2 記載の変位センサ。

【請求項 12】

前記結像系は、前記第 3 の方向に実質的に沿った光軸を有するテレセントリック結像部を備え、

30

前記第 1 の光路は前記第 1 の回折面に実質的に平行な最初の光路部と、前記テレセントリック結像部を通る次の光路部と備え、

前記第 2 の光路は前記第 2 の回折面に実質的に平行な最初の光路部と、前記テレセントリック結像部を通る次の光路部と、前記最初の光路部と前記テレセントリック結像部との間に位置する光路偏向素子とを備え、前記第 2 の光路の前記光路偏向素子は、前記第 2 の光路の前記最初の光路部に沿った第 2 の回折面に実質的に沿って伝播する前記第 2 のスケール光成分を受光し、前記第 2 の光路の前記次の光路部に沿った光軸に実質的に沿って伝播するように前記第 2 のスケール光成分を偏向するように構成されている請求項 3 記載の変位センサ。

【請求項 13】

40

前記結像系は、前記第 3 の方向に実質的に沿った光軸を有するテレセントリック結像部を備え、

前記第 1 の光路は前記第 1 の回折面に実質的に平行な最初の光路部と、前記テレセントリック結像部を通る次の光路部と備え、

前記第 2 の回折面は前記テレセントリック結像部の前記光軸と非平行であり、

前記第 2 の光路は前記第 2 の回折面に実質的に平行な最初の光路部と、前記テレセントリック結像部を通る次の光路部と、前記最初の光路部と前記テレセントリック結像部との間に位置する光路偏向素子とを備え、前記第 2 の光路の前記光路偏向素子は、前記第 2 の光路の前記最初の光路部に沿って伝播する前記第 2 のスケール光成分を受光し、前記第 3 および第 4 の副スケール光成分が前記テレセントリック結像部に入射されるときに、前記

50

第 3 および第 4 の副スケール光成分が、前記テレセントリック結像部の光軸に平行なアライメントから前記第 1 および第 2 の偏角にそれぞれ相当する量だけ逸れるように前記第 2 のスケール光成分を偏向するように構成されている請求項 2 記載の変位センサ。

【請求項 1 4】

前記第 1 の回折面は、前記テレセントリック結像部の光軸に平行であり、前記第 1 および第 2 の副スケール光成分が前記スケール格子から射出し前記テレセントリック結像部に入射されるときに、前記第 1 の光路の最初の光路部に沿って伝播する前記第 1 および第 2 の副スケール光成分が、前記テレセントリック結像部の光軸に平行なアライメントから前記第 1 および第 2 の偏角にそれぞれ相当する量だけ逸れる請求項 1 3 記載の変位センサ。

【請求項 1 5】

前記第 1 の光路の最初の光路部および次の光路部は、前記テレセントリック結像部の光軸に実質的に一致する請求項 1 4 記載の変位センサ。

【請求項 1 6】

前記光路偏向素子は、格子またはプリズムを含む請求項 1 2 ~ 1 5 のいずれか一項に記載の変位センサ。

【請求項 1 7】

前記テレセントリック結像部は、レンズとアパーチャを含むシングルテレセントリック結像系または第 1 のレンズ、アパーチャおよび第 2 のレンズをこの順に含むダブルテレセントリック結像系を含む請求項 1 2 ~ 1 6 のいずれか一項に記載の変位センサ。

【請求項 1 8】

前記スケール格子は、反射型のスケール格子または透過型のスケール格子である請求項 1 ~ 1 7 のいずれか一項に記載の変位センサ。

【請求項 1 9】

前記第 1 の検出部は、前記第 2 の方向に配置された第 1 および第 2 の副検出部を備え、前記第 2 の検出部は、前記第 2 の方向に配置された第 3 および第 4 の副検出部を備える請求項 1 ~ 1 8 のいずれか一項に記載の変位センサ。

【請求項 2 0】

前記結像系は第 3 の光路をさらに備え、  
前記検出器は第 3 の検出部をさらに備え、

前記変位センサは、前記スケール格子から前記スケール光結像系に第 3 のスケール光成分を射出し、前記第 3 のスケール光成分が前記第 3 の光路に沿って前記第 3 の検出器部に向うように構成され、

前記第 3 の検出部は、前記第 3 の光路に沿って伝播した前記第 3 のスケール光成分を受光し、前記第 1 の信号成分および前記第 3 の方向に沿った前記スケール格子に対する前記スケール光結像系の第 2 の変位を示す第 3 の信号成分を含む第 3 の変位信号を出力するように構成されている請求項 1 ~ 1 9 のいずれか一項に記載の変位センサ。

【請求項 2 1】

前記第 1 の検出部は、前記第 2 の方向に配置された第 1 および第 2 の副検出部を備え、  
前記第 2 の検出部は、前記第 2 の方向に配置された第 3 および第 4 の副検出部を備え、

前記第 3 の検出部は、前記第 2 の方向に配置された第 5 および第 6 の副検出部を備える請求項 2 0 記載の変位センサ。

【請求項 2 2】

前記第 3 のスケール光成分は、第 5 および第 6 の副スケール光成分を有し、前記第 5 の副スケール光成分は前記第 1 の照明光成分から生成され、前記第 5 の副スケール光成分は第 3 の回折面から前記第 1 の偏角に相当する量だけ逸れるように、前記スケール格子から出射され、前記第 6 の副スケール光成分は前記第 2 の照明光成分から生成され、前記第 6 の副スケール光成分は前記第 3 の回折面から前記第 2 の偏角に相当する量だけ逸れるように、前記スケール格子から出射され、

前記第 1 の回折面は実質的に前記第 1 の方向に垂直であり、前記第 2 および第 3 の回折面は、前記第 1 の回折面に対して対称である請求項 2 0 または 2 1 記載の変位センサ。

10

20

30

40

50

## 【請求項 2 3】

前記第 3 のスケール光成分は、第 5 および第 6 の副スケール光成分を有し、前記第 5 の副スケール光成分は前記第 1 の照明光成分から生成され、前記第 5 の副スケール光成分は第 3 の回折面から前記第 1 の偏角に相当する量だけ逸れるように、前記スケール格子から出射され、前記第 6 の副スケール光成分は前記第 2 の照明光成分から生成され、前記第 6 の副スケール光成分は前記第 3 の回折面から前記第 2 の偏角に相当する量だけ逸れるように、前記スケール格子から出射され、

前記第 1 の回折面は実質的に前記第 1 の方向に垂直であり、前記第 2 および第 3 の回折面は、互いに平行である請求項 2 0 または 2 1 記載の変位センサ。

## 【発明の詳細な説明】

10

## 【技術分野】

## 【0 0 0 1】

本発明は、変位センサに関し、特に、スケール格子に対するスケール光結像系の変位を光学的に検出する変位センサに関する

## 【背景技術】

## 【0 0 0 2】

一次元のスケール格子に対するスケール光結像系の二次元の変位を光学的に検出するエンコーダが開示されている（特許文献 1 参照）。しかしながら、その構造は複雑である。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

20

## 【0 0 0 3】

【特許文献 1】米国特許第 7, 6 0 1, 9 4 7 号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0 0 0 4】

従って、本発明の目的は、一次元のスケール格子に対するスケール光結像系の二次元の変位を検出でき、構造が簡単な変位センサを提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0 0 0 5】

本発明の一態様によれば、

30

第 1 の方向に配置され、前記第 1 の方向に実質的に垂直な第 2 の方向に延在する格子バーを有するスケール格子であって、前記第 1 の方向および前記第 2 の方向に垂直な第 3 の方向に沿って該スケール格子に入射する平面波の回折次数角度に相当する回折面を定める前記スケール格子と、

スケール光結像系と、

を備える変位センサであって、

前記スケール光結像系は、

前記平面波と同じ波長の照明光を前記スケール格子に供給するように構成された照明部と、

第 1 および第 2 の光路を有する結像系と、

40

第 1 および第 2 の検出部を有する検出器と、を備え、

前記スケール格子から前記結像系に第 1 のスケール光成分を射出し、前記第 1 のスケール光成分が前記第 1 の光路に沿って前記第 1 の検出器部に向い、

前記スケール格子から前記結像系に第 2 のスケール光成分を射出し、前記第 2 のスケール光成分が前記第 2 の光路に沿って前記第 2 の検出器部に向かい、前記第 2 の光路は、前記スケール格子近傍では、前記第 3 の方向に対して所定の角度傾いており、前記所定の角度は、前記第 3 の方向と前記第 1 の方向を含む面内で定められるように構成され、

前記第 1 の検出部は、前記第 1 の光路に沿って伝播した前記第 1 のスケール光成分を受光し、前記スケール格子に対する前記スケール光結像系の前記第 1 の方向に沿った変位を示す第 1 の信号成分を少なくとも含む第 1 の変位信号を出力するように構成され、

50

前記第2の検出部は、前記第2の光路に沿って伝播した前記第2のスケール光成分を受光し、前記第1の信号成分および前記第1の方向および前記第3の方向に沿った前記スケール格子に対する前記スケール光結像系の変位を示す第2の信号成分を含む第2の変位信号を出力するように構成されている変位センサが提供される。

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、一次元のスケール格子に対するスケール光結像系の二次元の変位を検出でき、構造が簡単な変位センサが提供される。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】図1は、本発明の第1の実施の形態の変位センサを説明するための概略斜視図である。

【図2】図2は、本発明の第1の実施の形態の変位センサを説明するための概略縦断面図である。

【図3】図3は、本発明の第1の実施の形態の変位センサを説明するための概略図である。

【図4】図4は、本発明の第2の実施の形態の変位センサを説明するための概略斜視図である。

【図5】図5は、本発明の第3の実施の形態の変位センサを説明するための概略縦断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、本発明の好ましい実施の形態について図面を参照しながら説明する。

【0009】

(第1の実施の形態)

図1、2を参照すれば、第1の実施の形態の変位センサ100は、スケール格子110と、スケール光結像系120とを備えている。

【0010】

スケール格子110は、X方向に間隔 $P_{SG}$ で配置された格子バー118を備えている。間隔 $P_{SG}$ はいくつかの実施の形態では、 $1\mu\text{m}$ である。各格子バー118は、X方向に直交するY方向に延在している。スケール格子110は、1セットの回折面111、112、113を定める。回折面111、112、113は、スケール格子110に垂直に入射する平面波の回折次数角度 $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ にそれぞれ相当する。本実施の形態では、 $\theta_1 = 0$ 、 $\theta_2 = -\theta_3$ である。回折面111はX方向に垂直である。回折面112、113は回折面111に対して対称である。本実施の形態においては、スケール格子110は透過型のスケール格子である。しかしながら、反射型のスケール格子を使用することもできる。

【0011】

スケール光結像系120は、照明部160、結像系190および検出器200を備えている。照明部160は、スケール格子110に照明光ビーム133を供給する。照明部160は、光源130、レンズ140、格子150Aおよび格子150Bを備えている。光源130は、光ビーム131を発生する。光ビーム131の波長は、いくつかの実施の形態では、 $0.650\mu\text{m}$ である。レンズ140は、光ビーム131を、格子150Aに入射する平行光ビーム132にする。

【0012】

格子150Aは、互いの間隔が $P_{split}$ の格子バーを備え、格子150Bは、互いの間隔が $P_{comb}$ の格子バーを備えている。いくつかの実施の形態では、 $P_{split}$ は $0.976\mu\text{m}$ であり、 $P_{comb}$ は $0.500\mu\text{m}$ である。他の実施の形態では、 $P_{split}$ は $1.026\mu\text{m}$ である。なお、これらの値は例示であって、限定的なものではない。格子150Aと格子150Bは、平行光ビーム132から照明光ビーム133を

10

20

30

40

50

生成する。照明光ビーム 133 は、照明光成分 A と照明光成分 B とを備えている。照明光成分 A は回折面 113 に対して偏角  $D_{AA}$  傾いている。照明光成分 B は回折面 112 に対して偏角  $D_{AB}$  傾いている。

【0013】

また、格子 150A と格子 150B は、照明光成分 A' と照明光成分 B' とを生成する。照明光成分 A' と照明光成分 B' は、それぞれ回折面 113 および回折面 112 に対して偏角  $D_{AA}$  および偏角  $D_{AB}$  傾いている。照明光成分 A' と照明光成分 B' は格子 150A と格子 150B の、照明光成分 A と照明光成分 B を生成する箇所から Y 方向に離れた箇所から生成される。

【0014】

格子 150A と格子 150B は、照明光 132 から生成される 0 次光の出射を抑制し、X 方向に垂直な面に平行な照明光成分を抑制し、その結果、当該面に平行な照明光成分をなくすように構成されている位相格子を備えている。

【0015】

回折面 111、112 および 113 に対する照明光成分 A、照明光成分 A'、照明光成分 B および照明光成分 B' の配置は照明部 160 の重要な特徴である。照明部 160 の他の実施の形態として、照明光ビーム 133 内で照明光成分 A、A'、B および B' の同様な配置をもたらし、検出器 200 の光検出器をいっぱい照明するために結像系 190 によって像が形成される領域よりも大きいスケール格子 110 上の領域に、照明光成分 A、A'、B および B' が重なるようなピッチを単一の格子が有している限り、当該単一の格子を使用してもよい。

【0016】

なお、照明部 160 は、例示であって、限定的なものではない。上記のように配置され、相互にコヒーレントな照明光成分 A および照明光成分 B を有する照明光 133 をもたらず照明部であれば、使用できる。

【0017】

照明光成分 A は、スケール格子 110 によって回折され、スケール光成分 OP1A、スケール光成分 OP2A およびスケール光成分 OP3A を生成する。スケール光成分 OP1A は、照明光成分 A から生成され、スケール光成分 OP1A が回折面 111 から偏角  $D_{AA}$  に相当する角度 OP1A だけ逸れるように回折面 111 に実質的に沿ってスケール格子 110 から出射される。スケール光成分 OP2A は、照明光成分 A から生成され、スケール光成分 OP1A が回折面 112 から偏角  $D_{AA}$  に相当する角度 OP2A だけ逸れるように回折面 112 に実質的に沿ってスケール格子 110 から出射される。スケール光成分 OP3A は、照明光成分 A から生成され、スケール光成分 OP1A が回折面 113 から偏角  $D_{AA}$  に相当する角度 OP3A だけ逸れるように回折面 113 に実質的に沿ってスケール格子 110 から出射される。

【0018】

照明光成分 B は、スケール格子 110 によって回折され、スケール光成分 OP1B、スケール光成分 OP2B およびスケール光成分 OP3B を生成する。スケール光成分 OP1B は、照明光成分 B から生成され、スケール光成分 OP1B が回折面 111 から偏角  $D_{AB}$  に相当する角度 OP1B だけ逸れるように回折面 111 に実質的に沿ってスケール格子 110 から出射される。スケール光成分 OP2B は、照明光成分 B から生成され、スケール光成分 OP1B が回折面 112 から偏角  $D_{AB}$  に相当する角度 OP2B だけ逸れるように回折面 112 に実質的に沿ってスケール格子 110 から出射される。スケール光成分 OP3B は、照明光成分 B から生成され、スケール光成分 OP1B が回折面 113 から偏角  $D_{AB}$  に相当する角度 OP3B だけ逸れるように回折面 113 に実質的に沿ってスケール格子 110 から出射される。

【0019】

照明光成分 A に対する回折面 113、111、112 の回折次数は、それぞれ、0、1、2 である。照明光成分 B に対する回折面 113、111、112 の回折次数は、それぞ

10

20

30

40

50

れ、 $-2$ 、 $-1$ 、 $0$ である。回折面 $111$ および $112$ の回折次数は互いに $1$ 異なる。回折面 $111$ および $113$ の回折次数は互いに $1$ 異なる。回折面 $112$ および $113$ の回折次数は互いに $2$ 異なる。しかしながら、回折面 $112$ および $113$ の回折次数は、互いに整数 $N$  ( $N$ は少なくとも $1$ である)異なってもよい(中央の回折面は任意であってよく、 $N=1$ の場合は、信号周期は、スケール間隔である)。

【0020】

照明光成分 $A'$ および $B'$ は、スケール格子 $110$ によって回折され、スケール光成分 $OP1A'$ 、 $OP1B'$ 、 $OP2A'$ 、 $OP2B'$ 、 $OP3A'$ 、 $OP3B'$ (図示せず)を生成する。スケール光成分 $OP1A'$ 、 $OP1B'$ 、 $OP2A'$ 、 $OP2B'$ 、 $OP3A'$ 、 $OP3B'$ (図示せず)は、それぞれ、スケール光成分 $OP1A$ 、 $OP1B$ 、 $OP2A$ 、 $OP2B$ 、 $OP3A$ 、 $OP3B$ と略平行である。

10

【0021】

スケール光結像系 $120$ の結像系 $190$ は、偏向素子 $DEOP2$ および $DEOP3$ と、テレセントリック結像部 $180$ とを備えている。いくつかの実施の形態では、図1、2に示されているように、偏向素子 $DEOP2$ および $DEOP3$ はプリズムを備えている。他の実施の形態では、偏向素子 $DEOP2$ および $DEOP3$ は格子または鏡を備えていてもよい。テレセントリック結像部 $180$ は、レンズ $181$ 、アパーチャスリット $182$ およびレンズ $183$ を備えるダブルテレセントリック結像系である。アパーチャスリット $182$ は、レンズ $181$ の焦平面とレンズ $183$ の焦平面に配置されている。テレセントリック結像部 $180$ は、 $X$ 方向および $Y$ 方向に垂直な $Z$ 方向の光軸 $OA$ を備えている。検出器 $200$ は、 $X$ 方向に配置された3つの検出部 $201$ 、 $202$ 、 $203$ を備えている(図3参照)。検出部 $201$ は、 $Y$ 方向に配置された検出器 $DET1$ および $DET1'$ を備えている。検出部 $202$ は、 $Y$ 方向に配置された検出器 $DET2$ および $DET2'$ を備えている。検出部 $203$ は、 $Y$ 方向に配置された検出器 $DET3$ および $DET3'$ を備えている。

20

【0022】

スケール光結像系 $120$ は、3つの光路 $OP1$ 、 $OP2$ および $OP3$ を備えている。光路 $OP1$ は、 $X$ 方向に垂直であり、回折面 $111$ に平行な最初の光路部 $OP11$ と、テレセントリック結像部 $180$ を通る次の光路部 $OP12$ を備えている。光路 $OP1$ の最初の光路部 $OP11$ と光路 $OP1$ の次の光路部 $OP12$ は、テレセントリック結像部 $180$ の光軸 $OA$ に一致している。

30

【0023】

スケール格子 $110$ は、最初の光路部 $OP11$ に沿ってスケール光成分 $OP1A$ およびスケール光成分 $OP1B$ を出射するように構成されている。スケール光成分 $OP1A$ およびスケール光成分 $OP1B$ は、スケール格子 $110$ から出射し、テレセントリック結像部 $180$ に入射するので、光路 $OP1$ の最初の光路部 $OP11$ に沿うスケール光成分 $OP1A$ は、テレセントリック結像部 $180$ の光軸 $OA$ に平行なアライメントから偏角 $DA A$ に相当する角度 $OP1A$ だけ逸れ、光路 $OP1$ の最初の光路部 $OP11$ に沿うスケール光成分 $OP1B$ は、テレセントリック結像部 $180$ の光軸 $OA$ に平行なアライメントから偏角 $DA B$ に相当する角度 $OP1B$ だけ逸れている。

40

【0024】

テレセントリック結像部 $180$ は、検出部 $201$ に対して、スケール光成分 $OP1A$ およびスケール光成分 $OP1B$ を出射するように構成されている。検出部 $201$ は、光軸 $OP1$ に沿って送られてきたスケール光成分 $OP1A$ およびスケール光成分 $OP1B$ を受光し、スケール格子 $110$ に対するスケール光結像系 $120$ の $X$ 方向に沿う変位を示す信号成分のみを含む変位信号を出力するように構成されている。

【0025】

光路 $OP2$ は、テレセントリック結像部 $180$ の光軸 $OA$ に平行でない回折面 $112$ に平行な最初の光路部 $OP21$ と、テレセントリック結像部 $180$ を通る次の光路部 $OP22$ と、光路偏向素子として機能し、最初の光路部 $OP21$ と次の光路部 $OP22$ との

50

間に位置する偏向素子DEOP2とを備えている。

【0026】

スケール光成分OP2Aおよびスケール光成分OP2Bは、スケール格子110によって、最初の光路部OP21に沿って出射される。スケール光成分OP2Aおよびスケール光成分OP2Bは、スケール格子110から出射するとき、光路OP2の最初の光路部OP21に沿って、スケール光成分OP2Aは、回折面112から偏角DAAに相当する角度OP2Aだけ逸れ、スケール光成分OP2Bは、回折面112から偏角DABに相当する角度OP2Bだけ逸れる。

【0027】

スケール光成分OP2Aおよびスケール光成分OP2Bがテレセントリック結像部180に入射するとき、偏向素子DEOP2は、光路OP2の最初の光路部OP21に沿うスケール光成分OP2Aおよびスケール光成分OP2Bを受け、スケール光成分OP2Aおよびスケール光成分OP2Bがテレセントリック結像部180の光軸OAに平行なアライメントから偏角DAAおよび偏角DABにそれぞれ相当する量だけ逸れるように、スケール光成分OP2Aおよびスケール光成分OP2Bを偏向するように構成されている。

10

【0028】

テレセントリック結像部180は、検出部202に対して、スケール光成分OP2Aおよびスケール光成分OP2Bを出射するように構成されている。検出部202は、光軸OP2に沿って送られてきたスケール光成分OP2Aおよびスケール光成分OP2Bを受光し、スケール格子110に対するスケール光結像系120のX方向に沿う変位を示す信号成分とスケール格子110に対するスケール光結像系120のZ方向に沿う変位を示す信号成分とを含む変位信号を出力するように構成されている。

20

【0029】

光路OP3は、任意の構成であるが、テレセントリック結像部180の光軸OAに平行でない回折面113に平行な最初の光路部OP31と、テレセントリック結像部180を通る次の光路部OP32と、光路偏向素子として機能し、最初の光路部OP31と次の光路部OP32との間に位置する偏向素子DEOP3とを備えている。

【0030】

スケール光成分OP3Aおよびスケール光成分OP3Bは、スケール格子110によって、最初の光路部OP31に沿って出射される。スケール光成分OP3Aおよびスケール光成分OP3Bは、スケール格子110から出射するとき、光路OP3の最初の光路部OP31に沿って、スケール光成分OP3Aは、回折面113から偏角DAAに相当する角度OP3Aだけ逸れ、光路OP3の最初の光路部OP31に実質的に沿うスケール光成分OP3Bは、回折面113から偏角DABに相当する角度OP3Bだけ逸れる。

30

【0031】

スケール光成分OP3Aおよびスケール光成分OP3Bがテレセントリック結像部180に入射するとき、偏向素子DEOP3は、光路OP3の最初の光路部OP31に実質的に沿うスケール光成分OP3Aおよびスケール光成分OP3Bを受け、スケール光成分OP3Aおよびスケール光成分OP3Bがテレセントリック結像部180の光軸OAに平行なアライメントから偏角DAAおよび偏角DABにそれぞれ相当する量だけ逸れるように、スケール光成分OP3Aおよびスケール光成分OP3Bを偏向するように構成されている。

40

【0032】

テレセントリック結像部180は、検出部203に対して、スケール光成分OP3Aおよびスケール光成分OP3Bを出射するように構成されている。検出部203は、光軸OP3に沿って送られてきたスケール光成分OP3Aおよびスケール光成分OP3Bを受光し、スケール格子110に対するスケール光結像系120のX方向に沿う変位を示す信号成分とスケール格子110に対するスケール光結像系120のZ方向に沿う変位を示す信号成分とを含む変位信号を出力するように構成されている。

【0033】

50

スケール光成分  $OP1A'$ 、 $OP1B'$ 、 $OP2A'$ 、 $OP2B'$ 、 $OP3A'$ 、 $OP3B'$  は、光路  $OP1$ 、 $OP2$ 、 $OP3$  にそれぞれ平行な光路  $OP1'$ 、 $OP2'$ 、 $OP3'$  に沿う。スケール光成分  $OP1A'$ 、 $OP1B'$ 、 $OP2A'$ 、 $OP2B'$ 、 $OP3A'$ 、 $OP3B'$  は、それぞれ、テレセントリック結像部 180 によって、同様の対で、検出部 201、202、203、より具体的には、検出器  $DET1'$ 、 $DET2'$ 、 $DET3'$  に対して出射される。検出器  $DET1'$ 、 $DET2'$ 、 $DET3'$  は、任意の構成要素であって、以下により詳細に議論されるように、更なる自由度を検出するのに使用される。

【0034】

図3を参照すれば、検出器  $DET1$  は、スケール光成分  $OP1A$  およびスケール光成分  $OP1B$  の干渉によって作成された強度パターン  $IP1$  を受光するように構成されている。検出器  $DET1'$  は、スケール光成分  $OP1A'$  およびスケール光成分  $OP1B'$  の干渉によって作成された強度パターン  $IP1'$  を受光するように構成されている。検出器  $DET2$  は、スケール光成分  $OP2A$  およびスケール光成分  $OP2B$  の干渉によって作成された強度パターン  $IP2$  を受光するように構成されている。検出器  $DET2'$  は、スケール光成分  $OP2A'$  およびスケール光成分  $OP2B'$  の干渉によって作成された強度パターン  $IP2'$  を受光するように構成されている。検出器  $DET3$  は、スケール光成分  $OP3A$  およびスケール光成分  $OP3B$  の干渉によって作成された強度パターン  $IP3$  を受光するように構成されている。検出器  $DET3'$  は、スケール光成分  $OP3A'$  およびスケール光成分  $OP3B'$  の干渉によって作成された強度パターン  $IP3'$  を受光するように

10

20

【0035】

強度パターン  $IP1$ 、 $IP1'$ 、 $IP2$ 、 $IP2'$ 、 $IP3$  および  $IP3'$  の各々は、干渉縞ピッチ  $FP$  を有する干渉縞の周期的パターンを備えている。  $N$  が 1 の場合の実施の形態では、干渉縞ピッチ  $FP$  は、スケール格子 110 の格子バー 118 の間隔  $P_{SG}$  と等しい。種々の実施の形態では、格子 150A の格子バーの間隔  $P_{split}$  が、正確に格子 150B の格子バーの間隔  $P_{comb}$  の 2 倍ではなく、間隔  $P_{comb}$  の 2 倍よりも少し小さい。ここでの実施の形態において、もし、間隔  $P_{split}$  が、正確に間隔  $P_{comb}$  の 2 倍であったら、すなわち、 $1\mu m$  であったら、偏角  $DA A$  および偏角  $DA B$  は共に 0 になり、検出器に入射するスケール光の各対は、同じ光路を進み、干渉せず、各強度パターンを生成しないであろう。従って、間隔  $P_{comb}$  の 2 倍よりも少し小さい間隔  $P_{split}$  が、本実施の形態に従って、位置を測定するのに使用される強度パターンを作成するには、重要である。

30

【0036】

検出器  $DET1$ 、 $DET1'$ 、 $DET2$ 、 $DET2'$ 、 $DET3$  および  $DET3'$  は互いに同じ構造である。従って、検出器  $DET1$  を例にとってこれらの検出器を説明する。検出器  $DET1$  は、 $X$  方向に周期的に配置された光検出器  $DET11 \sim DET18$  を備えている。4つの光検出器  $DET11 \sim DET14$  と、4つの光検出器  $DET15 \sim DET18$  は、それぞれ強度パターン  $IP1$  の 1 サイクルに相当する。4つの光検出器  $DET11 \sim DET14$  と、4つの光検出器  $DET15 \sim DET18$  とは並列に接続されている。

40

【0037】

検出器  $DET1$  にとって、 $X$  方向の変位  $X$  による強度パターン  $IP1$  の直角信号位相変化 (quadrature signal phase change)  $Phase1$  は、

【数 1】

$$\Delta Phase1 = N \frac{2\pi \Delta X}{P_{SG}}$$

(1)

で表される。ここで、 $N$  は、光路  $OP1$  に沿って一緒に伝播するスケール光成分  $OP1A$  および  $OP1B$  の回折次数の差に相当する整数であり、この場合、この差は、 $1 - (-1$

50

) = 2 である。P<sub>SG</sub> は、格子 1 1 0 の格子バー 1 1 8 の間隔である。

【 0 0 3 8 】

検出器 DET 1' にとって、X 方向の変位 X' による強度パターン IP 1' の直角信号位相変化 (quadrature signal phase change) Phase1' は、

【 数 2 】

$$\Delta Phase1' = N \frac{2\pi \Delta X'}{P_{SG}}$$

( 2 )

で表される。ここで、N は、光路 OP 1' に沿って一緒に伝播するスケール光成分 OP 1 A' および OP 1 B' の回折次数の差に相当する整数であり、この場合、この差は、1 - (-1) = 2 である。P<sub>SG</sub> は、格子 1 1 0 の格子バー 1 1 8 の間隔である。

【 0 0 3 9 】

検出器 DET 2 にとって、X 方向の変位 X と Z 方向の変位 Z<sub>2</sub> による強度パターン IP 2 の直角信号位相変化 (quadrature signal phase change) Phase2 は、

【 数 3 】

$$\Delta Phase2 = N \left[ \frac{2\pi \Delta X}{P_{SG}} - 2\pi \frac{\tan(\theta_2) \cdot \Delta Z_2}{P_{SG}} \right]$$

( 3 )

で表される。ここで、N は、光路 OP 2 に沿って一緒に伝播するスケール光成分 OP 2 A および OP 2 B の回折次数の差に相当する整数であり、この場合、この差は、2 - 0 = 2 である。P<sub>SG</sub> は、格子 1 1 0 の格子バー 1 1 8 の間隔である。Z<sub>2</sub> は、検出器 DET 2 上に結像するスケール 1 1 0 上の位置における Z 変位である。θ<sub>2</sub> は、スケール格子 1 1 0 上への光路 OP 2 の入射角であり、回折面 1 1 2 の回折角である。

【 0 0 4 0 】

検出器 DET 2' にとって、X 方向の変位 X' と Z 方向の変位 Z<sub>2</sub>' による強度パターン IP 2' の直角信号位相変化 (quadrature signal phase change) Phase2' は、

【 数 4 】

$$\Delta Phase2' = N \left[ \frac{2\pi \Delta X'}{P_{SG}} - 2\pi \frac{\tan(\theta_2) \cdot \Delta Z_2'}{P_{SG}} \right]$$

( 4 )

で表される。ここで、N は、光路 OP 2 に沿って一緒に伝播するスケール光成分 OP 2 A および OP 2 B の回折次数の差に相当する整数であり、この場合、この差は、2 - 0 = 2 である。P<sub>SG</sub> は、格子 1 1 0 の格子バー 1 1 8 の間隔である。Z<sub>2</sub>' は、検出器 DET 2' 上に結像するスケール 1 1 0 上の位置における Z 変位である。θ<sub>2</sub> は、スケール格子 1 1 0 上への光路 OP 2 の入射角であり、回折面 1 1 2 の回折角である。

【 0 0 4 1 】

検出器 DET 3 にとって、X 方向の変位 X と Z 方向の変位 Z<sub>3</sub> による強度パターン IP 3 の直角信号位相変化 (quadrature signal phase change) Phase3 は、

【 数 5 】

$$\Delta Phase3 = N \left[ \frac{2\pi \Delta x}{P_{SG}} + 2\pi \frac{\tan(\theta_3) \cdot \Delta Z_3}{P_{SG}} \right]$$

( 5 )

で表される。ここで、N は、光路 OP 3 に沿って一緒に伝播するスケール光成分 OP 3 A および OP 3 B の回折次数の差に相当する整数であり、この場合、この差は、0 - (-2) = 2 である。P<sub>SG</sub> は、格子 1 1 0 の格子バー 1 1 8 の間隔である。Z<sub>3</sub> は、検出器 DET 3 上に結像するスケール 1 1 0 上の位置における Z 変位である。θ<sub>3</sub> は、スケール

10

20

30

40

50

格子 1 1 0 上への光路 O P 3 の入射角であり、回折面 1 1 3 の回折角である。

【 0 0 4 2 】

検出器 D E T 3 ' にとって、X 方向の変位  $X'$  と Z 方向の変位  $Z_3'$  による強度パターン I P 3 ' の直角信号位相変化 (quadrature signal phase change) Phase3 ' は、

$$\Delta Phase3' = N \left[ \frac{2\pi \Delta x'}{P_{SG}} + 2\pi \frac{\tan(\theta_3) \cdot \Delta Z_3'}{P_{SG}} \right]$$

( 6 )

で表される。ここで、N は、光路 O P 3 に沿って一緒に伝播するスケール光成分 O P 3 A および O P 3 B の回折次数の差に相当する整数であり、この場合、この差は、 $0 - (-2) = 2$  である。P<sub>SG</sub> は、格子 1 1 0 の格子バー 1 1 8 の間隔である。Z<sub>3</sub> は、検出器 D E T 3 上に結像するスケール 1 1 0 上の位置における Z 変位である。θ<sub>3</sub> は、スケール格子 1 1 0 上への光路 O P 3 の入射角であり、回折面 1 1 3 の回折角である。

10

【 0 0 4 3 】

式 ( 1 ) は、位相変化 phase1 に関して解けて X が求まる。従って、スケール格子 1 1 0 とスケール光結像系 1 2 0 との間の X 方向の変位が得られる。式 ( 3 ) から式 ( 1 ) を引くと、位相変化 phase2 と phase1 に関する Z<sub>2</sub> が得られる。式 ( 5 ) から式 ( 1 ) を引くと、位相変化 phase3 と phase1 に関する Z<sub>3</sub> が得られる。従って、スケール格子 1 1 0 とスケール光結像系 1 2 0 との間の Z 方向の変位が得られる。

20

【 0 0 4 4 】

平均 Z は、Z<sub>2</sub> と Z<sub>3</sub> から計算できる。

【 0 0 4 5 】

式 ( 2 ) は、位相変化 phase1 ' に関して解けて X ' が求まる。式 ( 4 ) から式 ( 2 ) を引くと、位相変化 phase2 ' と phase1 ' に関する Z<sub>2</sub> ' が得られる。式 ( 6 ) から式 ( 2 ) を引くと、位相変化 phase3 ' と phase1 ' に関する Z<sub>3</sub> ' が得られる。X 方向と Y 方向における検出器のオフセットが既知であれば、X '、Z<sub>2</sub> ' および Z<sub>3</sub> ' の値は X、Z<sub>2</sub> および Z<sub>3</sub> と比較して、スケール格子 1 1 0 のピッチ、ヨーおよびロールが求まる。

【 0 0 4 6 】

干渉縞ピッチ F P は、各強度パターンの干渉縞の少なくとも 1 周期分が各検出器に入射するように小さいことが望まれる。しかしながら、各検出器の大きさには、設計上から上限および下限がある。種々の実施の形態では、干渉縞ピッチ F P は、少なくとも 1 μm であり、200 μm 以下である。いくつかの実施の形態では、干渉縞ピッチ F P は、少なくとも 15 μm であり、50 μm 以下である。

30

【 0 0 4 7 】

偏角 D A A、偏角 D A B、回折次数角 θ<sub>1</sub>、θ<sub>2</sub> および θ<sub>3</sub>、およびテレセントリック結像部 1 8 0 の倍率は、検出器 2 0 0 の光検出器の間隔に整合する所望の干渉縞ピッチ F P を与える値に選ばれる。本実施の形態では、テレセントリック結像部 1 8 0 の倍率は、- 1 である。しかしながら、これは例示であって、限定的ではない。他の倍率は、照明光成分 A、A '、B および B ' が、結像系 1 9 0 によって結像される領域よりも大きいスケール格子 1 1 0 上の領域に重なるということを前提として、偏角 D A A、偏角 D A B、回折次数角 θ<sub>1</sub>、θ<sub>2</sub> および θ<sub>3</sub> の整合する値と共に用いられる。

40

【 0 0 4 8 】

他の実施の形態では、偏角 D A A と偏角 D A B が 0 に近づくように、間隔 P<sub>split</sub> が間隔 P<sub>comb</sub> に近づく。これには、検出器 2 0 0 とは異なる検出器または格子 1 1 0 とは異なる格子構成が必要となる。

【 0 0 4 9 】

1 0 0 から 5 0 0 μm あるいはより大きい値の干渉縞ピッチ F P と整合する大きい検出素子間隔を備えた検出器アレイが使用できる。もし、干渉縞ピッチ F P が大きければ (例

50

えば、数ミリメートルまでの)、検出器200に代えて、個別検出器が使用できる。さらに大きい値の干渉縞ピッチFP(例えば、1ミリメートルよりもずっと大きい)には、個別検出器を備えた偏光ビームスプリッタ(例えば、同様のものが、米国特許第4、776、701号に開示され、また、"Five-Degrees-of-Freedom Diffractive Laser Encoder" by Liu et al., Applied Optics Vol. 48, No. 14, 10 May 2009に開示されている)が使用できる。

#### 【0050】

光検出器DET11~DET14およびDET15~DET18の幅に相当する周期の領域を備える格子を、大きい値の干渉縞ピッチFP用の光検出器用に望ましい位相の出力を与える位相シフトと共に使用してもよい。しかしながら、このような構成では、小さくはなく、より高価な検出器または、より複雑で製造するのにより高価な格子が必要となる。

10

#### 【0051】

(第2の実施の形態)

図4を参照すれば、第2の実施の形態の変位センサは、第1の実施の形態の変位センサ100と次の点で異なる。変位センサ100のテレセントリック結像部180が、ダブルテレセントリック結像系であったのに対して、変位センサ300のテレセントリック結像部180'は、レンズ181'とアパーチャスリット182'を備えるシングルテレセントリック結像系である。残りの構成は、変位センサ100と300とで同じである。

20

#### 【0052】

(第3の実施の形態)

図5を参照すれば、第3の実施の形態の変位センサは、第1の実施の形態の変位センサ100と次の点で異なる。第1の実施の形態では、回折面111は、X方向に垂直であり、回折面112および113は回折面111に対して対称であったが、第3の実施の形態では、回折面111'はX方向に垂直であり、回折面112'および113'は互いに平行である。さらに、変位センサ400は、照明光成分Aから生じる+1次の回折成分を遮蔽し、照明光成分Bから生じる-1次の回折成分を遮蔽する遮蔽素子175を備えている。これらの成分は、光路OP2'に沿ったスケール光成分と干渉する可能性がある。他の構成は両実施の形態で同じである。

30

#### 【0053】

以上、本発明の種々の典型的な実施の形態を説明してきたが、本発明はそれらの実施の形態に限定されない。従って、本発明の範囲は、次の特許請求の範囲によってのみ限定されるものである。

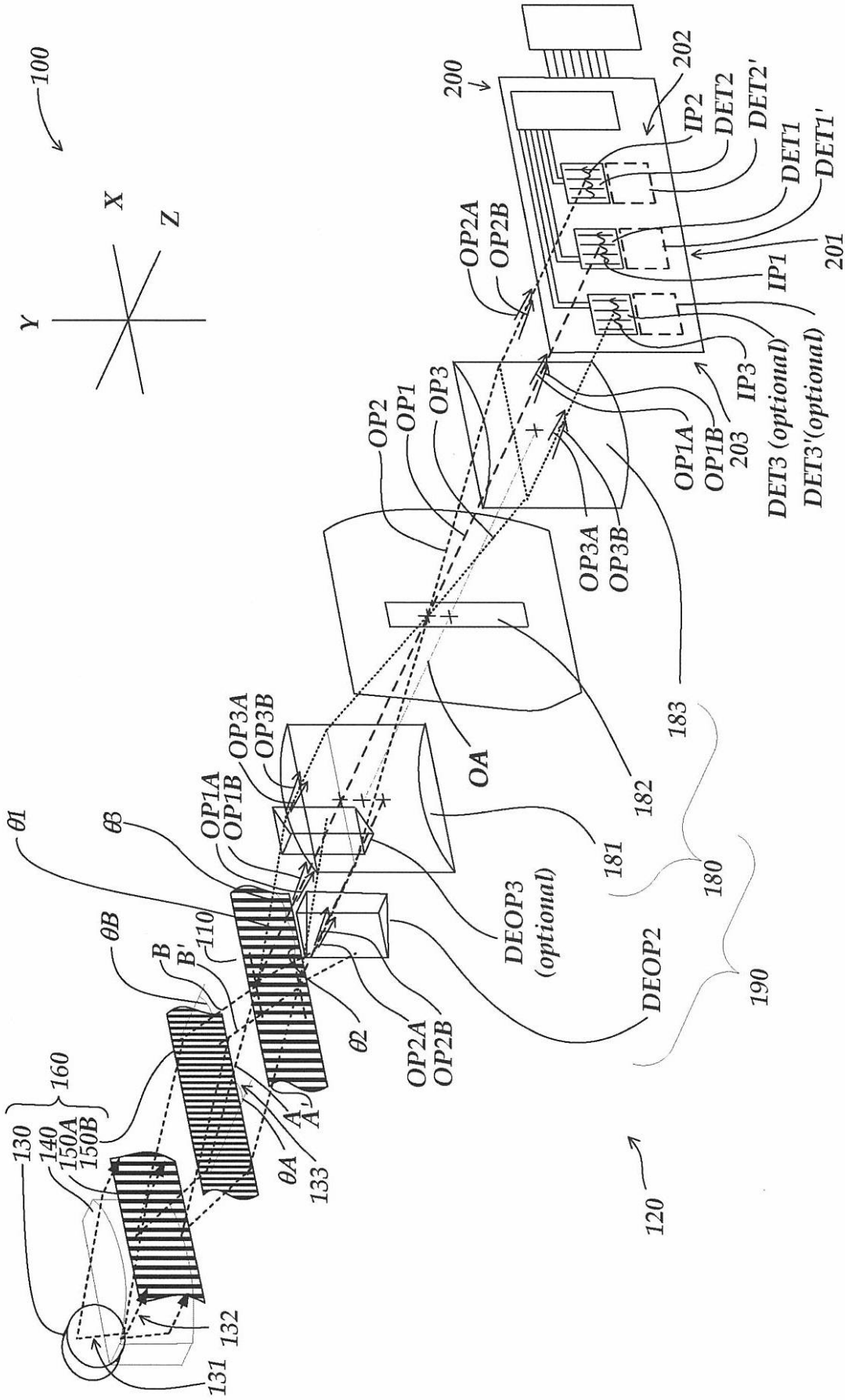
#### 【符号の説明】

#### 【0054】

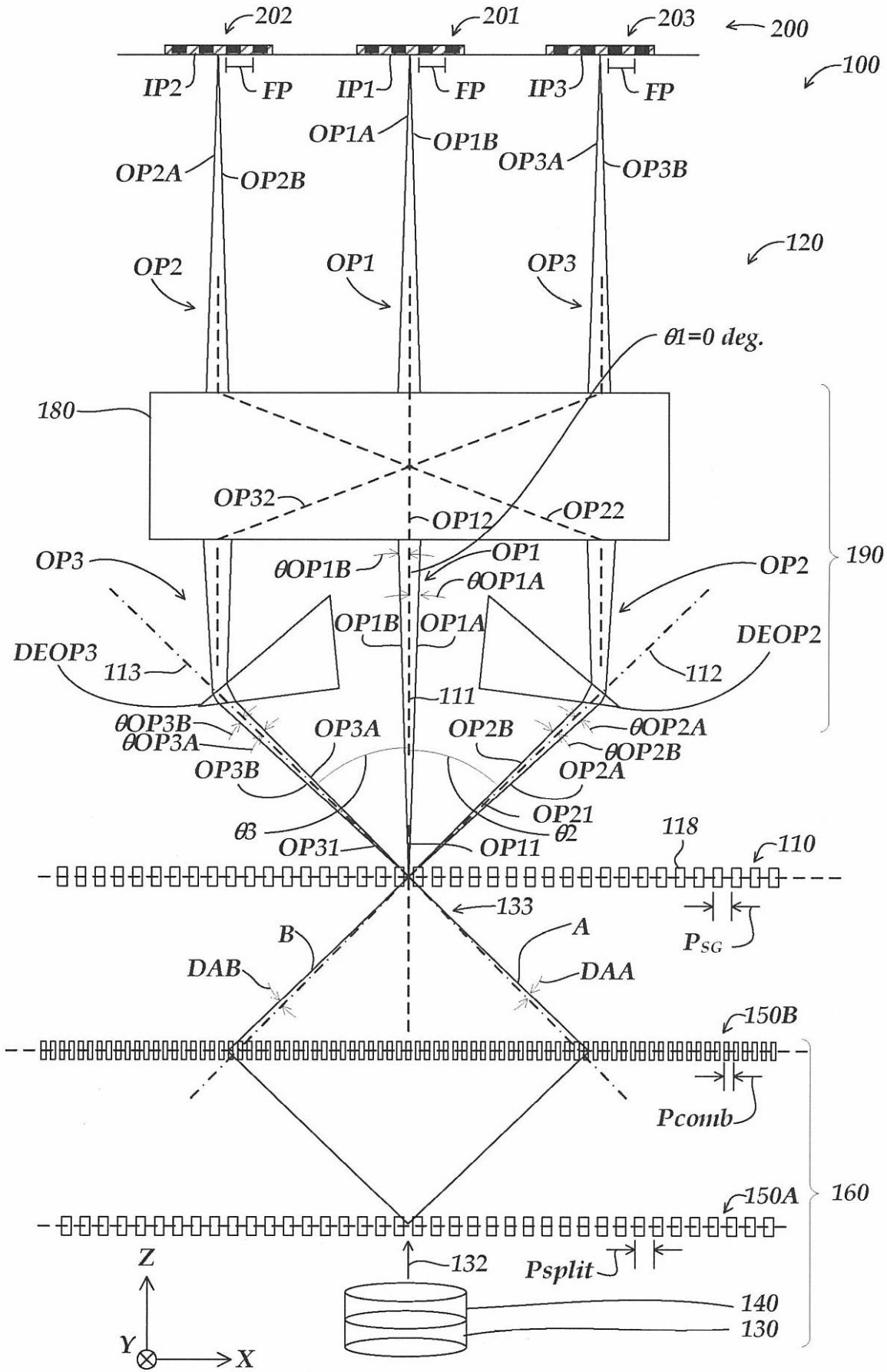
110 スケール格子  
 190 結像系  
 201、202 検出部  
 OP1、OP2 光路  
 OP1A、OP1B、OP2A、OP2B スケール光成分

40

【 図 1 】

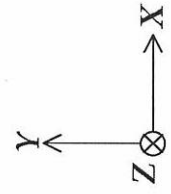
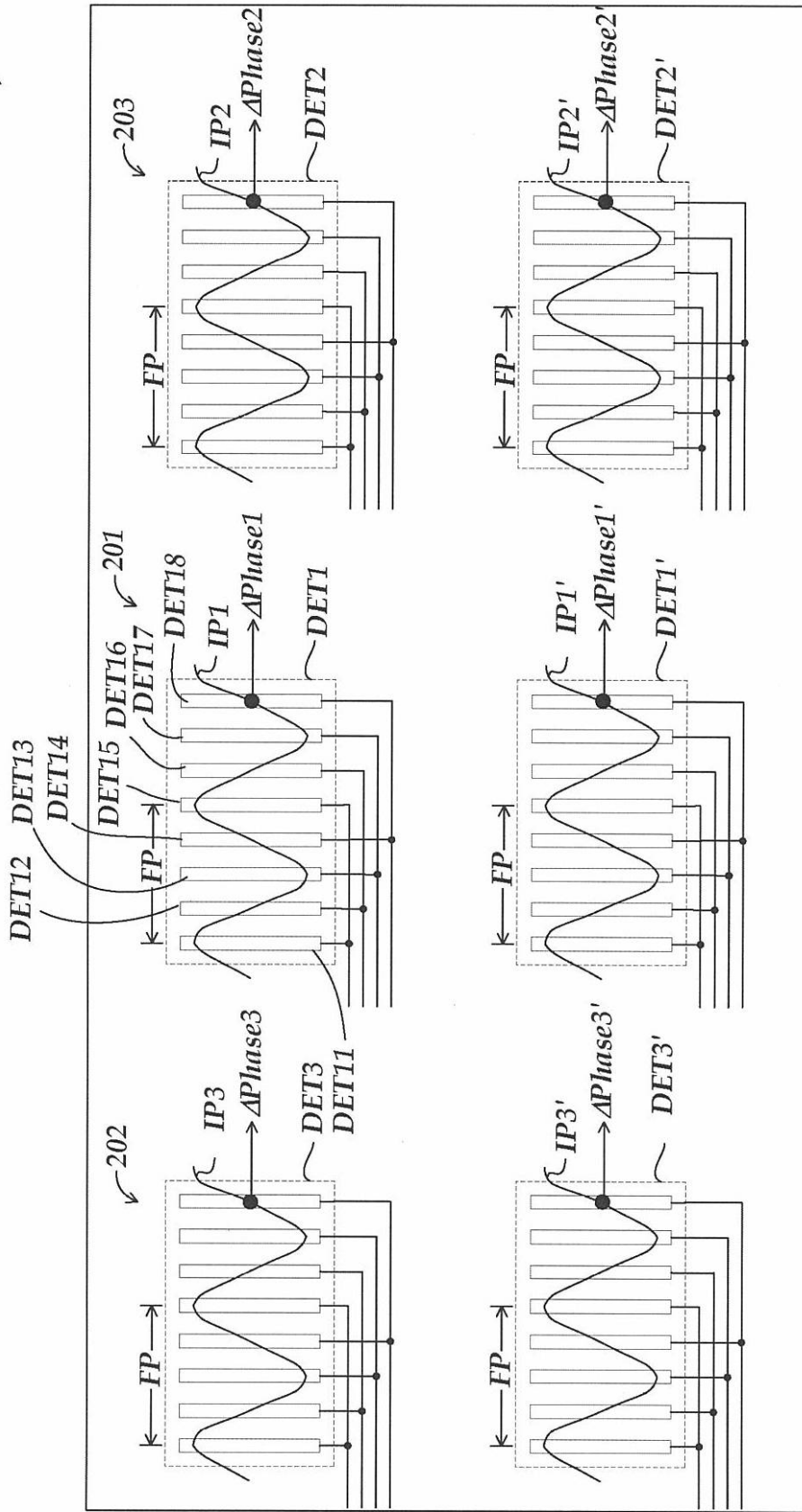


【 図 2 】

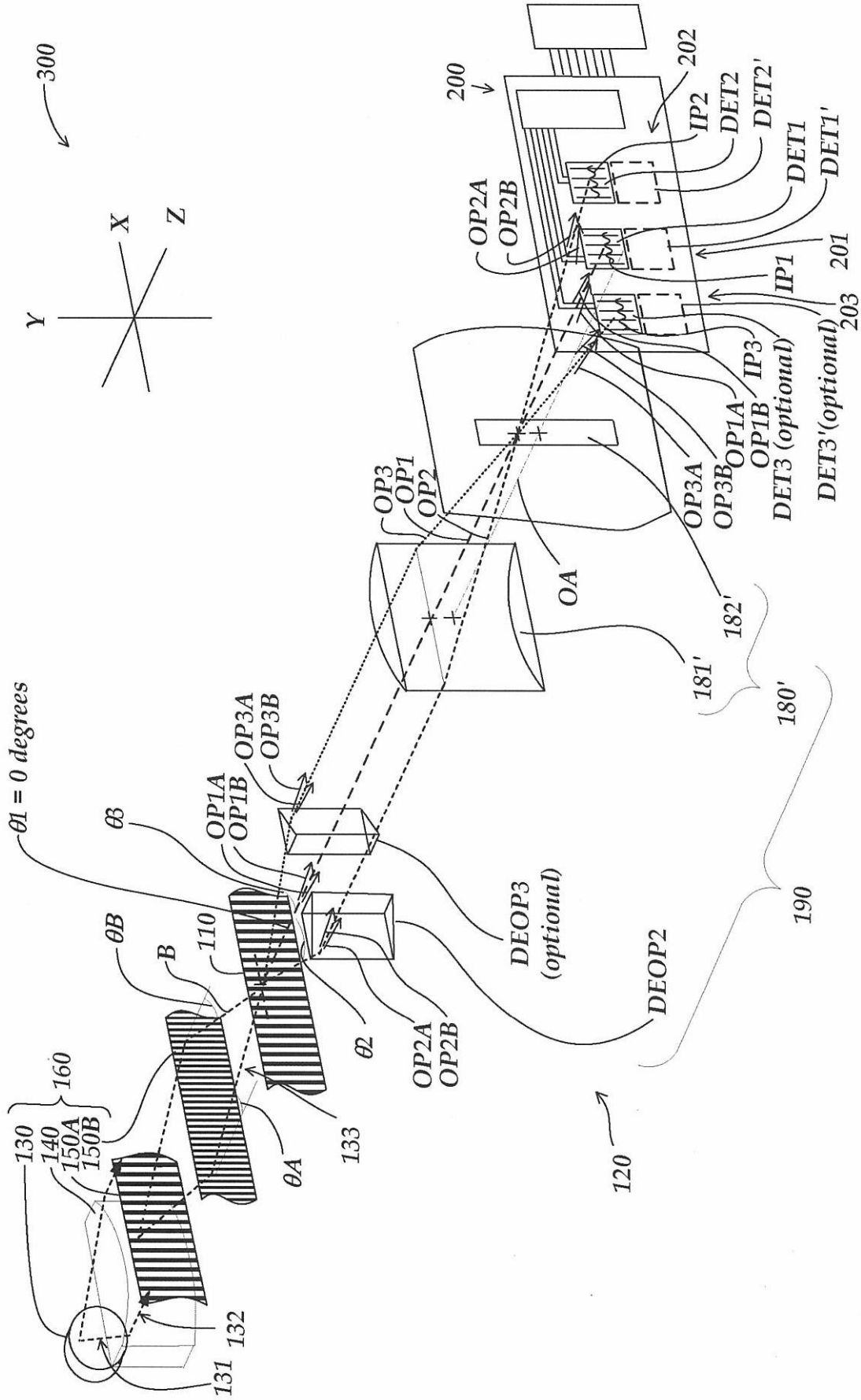


【 図 3 】

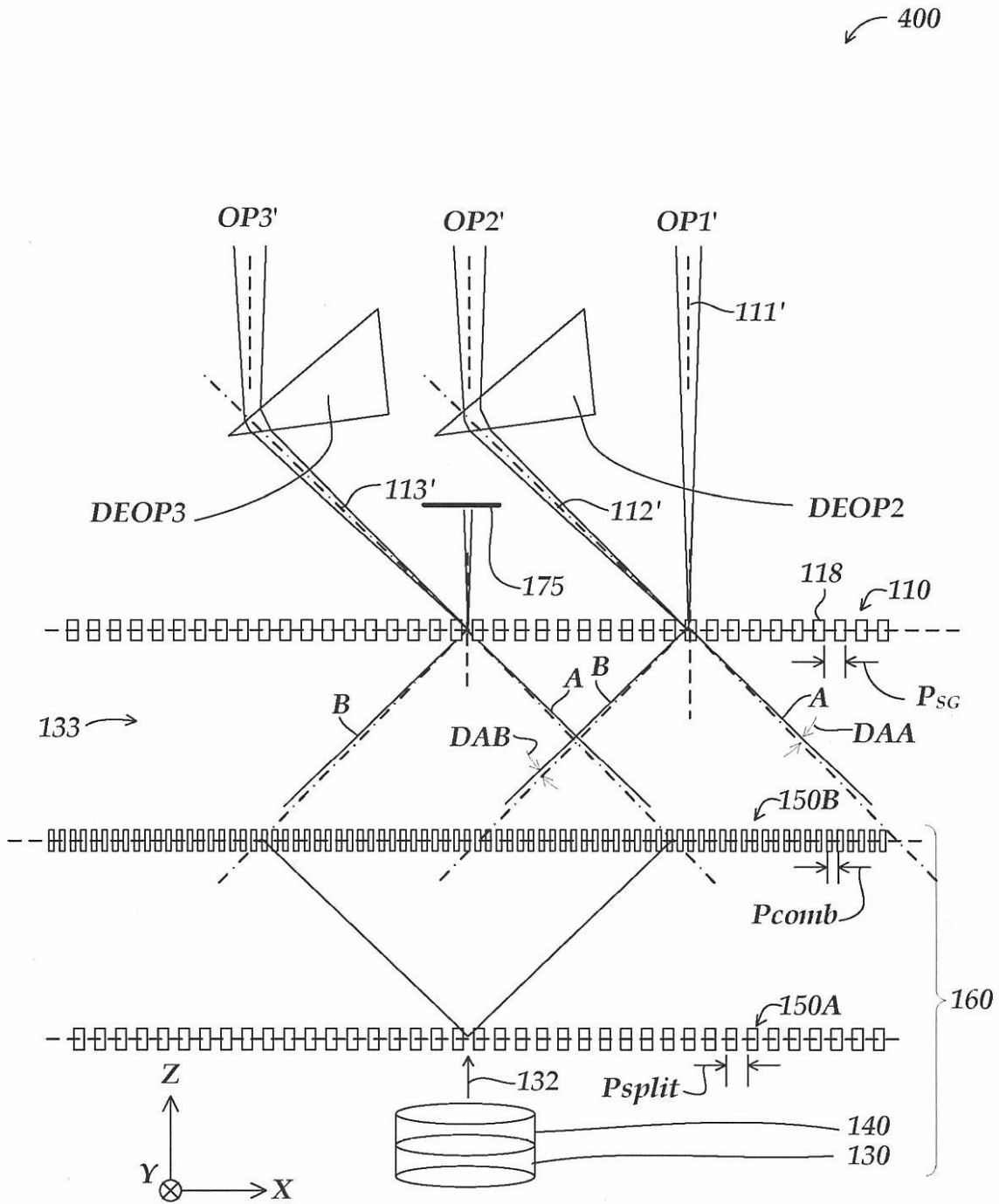
200



【 図 4 】



【 図 5 】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 2F103 CA01 CA02 CA03 CA04 CA08 EA15 EB02 EB03 EB04 EB16  
EC01 EC12 EC13 EC14 FA01