

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6400035号  
(P6400035)

(45) 発行日 平成30年10月3日(2018.10.3)

(24) 登録日 平成30年9月14日(2018.9.14)

(51) Int.Cl.			F I		
<b>GO 1 D</b>	<b>5/347</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 D	5/347	1 1 0 D
<b>GO 1 B</b>	<b>11/00</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 B	11/00	G
<b>GO 1 D</b>	<b>5/38</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 B	11/00	B
<b>GO 1 L</b>	<b>5/16</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 D	5/38	A
<b>GO 1 L</b>	<b>1/06</b>	<b>(2006.01)</b>	GO 1 L	5/16	

請求項の数 13 (全 17 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-49748 (P2016-49748)  
 (22) 出願日 平成28年3月14日(2016.3.14)  
 (65) 公開番号 特開2017-166850 (P2017-166850A)  
 (43) 公開日 平成29年9月21日(2017.9.21)  
 審査請求日 平成30年7月24日(2018.7.24)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000001007  
 キヤノン株式会社  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
 (74) 代理人 100110412  
 弁理士 藤元 亮輔  
 (74) 代理人 100104628  
 弁理士 水本 敦也  
 (74) 代理人 100121614  
 弁理士 平山 倫也  
 (72) 発明者 名倉 千裕  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ  
 ヤノン株式会社内

審査官 深田 高義

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 位置検出装置、力覚センサ、および、装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光源部からの光を対象物に照射し、該対象物からの反射光を受光部で受光することにより、該対象物の位置情報を検出する位置検出装置であって、

前記光源部と前記受光部とを有する検出部と、  
 前記受光部からの信号を処理する信号処理部と、を有し、  
 前記検出部は、

前記光源部と対象物との間の光路に設けられた第1格子と、  
 前記対象物と前記受光部との間の光路に設けられた第2格子と、

前記第2格子と前記受光部との間の光路に設けられた第3格子と、を有し、

前記光源部からの前記光が前記第1格子を透過することにより、前記第1格子と前記第2格子との間の光路に第1周期像が形成され、

前記第1周期像に対応する光が前記第2格子を透過することにより、前記第3格子において第2周期像が形成され、

前記信号処理部は、前記受光部により検出された前記第2周期像の位相変化に基づいて、前記対象物の前記位置情報を取得することを特徴とする位置検出装置。

【請求項2】

前記対象物の前記位置情報は、前記検出部から前記対象物までの距離の変位に関する情報であることを特徴とする請求項1に記載の位置検出装置。

【請求項3】

前記光源部は、  
発光素子と、

前記発光素子と前記第 1 格子との間の光路に設けられた光源格子と、を有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の位置検出装置。

【請求項 4】

前記光源格子は、周期的な透過率を有し、前記発光素子からの光を線状アレイ光源化するように構成されていることを特徴とする請求項 3 に記載の位置検出装置。

【請求項 5】

前記光源部は、電流狭窄型 LED または半導体レーザを有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の位置検出装置。

10

【請求項 6】

前記第 1 格子と前記第 2 格子とは、同一平面上に一体的に形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の位置検出装置。

【請求項 7】

第 1 格子および第 2 格子の少なくとも一方は、透過光の光路長が周期的に異なる位相変調型の光学格子であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の位置検出装置。

【請求項 8】

前記受光部は、複数の受光素子を有する受光素子アレイであることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の位置検出装置。

20

【請求項 9】

前記検出部は、

前記光源部と前記対象物との間の光路に設けられた第 4 格子と、

前記対象物と前記受光部との間の光路に設けられた第 5 格子と、

前記第 5 格子と前記受光部との間の光路に設けられた第 6 格子と、を更に有し、

前記光源部からの前記光が前記第 4 格子を透過することにより、前記第 4 格子と前記第 5 格子との間の光路に第 3 周期像が形成され、

前記第 3 周期像に対応する光が前記第 5 格子を透過することにより、前記第 6 格子において第 4 周期像が形成され、

前記信号処理部は、前記受光部により検出された前記第 4 周期像の位相変化に基づいて、前記対象物の前記位置情報を取得することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の位置検出装置。

30

【請求項 10】

前記検出部は、前記対象物の所定の領域に設けられた位相格子からの反射光を透過する第 7 格子を更に有し、

前記光源部からの前記光は、前記位相格子で反射し、前記第 7 格子を透過して前記受光部により受光され、

前記信号処理部は、前記受光部の検出信号に基づいて、前記検出部から前記対象物までの距離の方向と垂直な方向の位置情報を取得することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の位置検出装置。

40

【請求項 11】

前記光源部からの前記第 1 格子を透過した光は、前記対象物の前記位相格子で反射して、前記第 2 格子に入射し、

前記第 1 格子、前記第 2 格子、および、前記第 3 格子のそれぞれの周期方向と、前記位相格子の周期方向とは、互いに直交していることを特徴とする請求項 10 に記載の位置検出装置。

【請求項 12】

ベース部材と、

変位部材と、

前記ベース部材と前記変位部材とを支持するように該ベース部材と該変位部材との間に

50

設けられた弾性支持部材と、

前記変位部材の前記ベース部材に対する変位に応じて該変位部材に作用する外力を検出するように構成された、請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の位置検出装置と、を有することを特徴とする力覚センサ。

【請求項 13】

可動部と、

請求項 12 に記載の力覚センサと、

前記力覚センサを用いて前記可動部を制御する制御部と、を有することを特徴とする装置。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、測定対象物からの距離を検出する位置検出装置に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、LED からの光束を回折格子を通して反射面に照射し、その反射光を受光素子で受光することにより、測定対象物からの距離を測定するギャップセンサが開示されている。特許文献 1 のギャップセンサは、インコヒーレント光を 2 枚の回折格子に透過させて形成される光強度分布の縞を利用する。光強度分布の縞の位相変化に基づいてギャップ量を検出することにより、光源の発光量に依存しない安定したギャップ検出が可能である。

20

【0003】

特許文献 2 には、移動格子の移動により散乱される光のドップラーシフトを利用して、移動格子の変位を演算する光電式エンコーダが開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2006 - 349606 号公報

【特許文献 2】特開 2005 - 326232 号公報

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献 1、2 によるギャップ検出方法では、反射面が傾くことにより検出値に誤差が生じる可能性があり、高精度なギャップ検出（位置検出）を行うことが困難である。

【0006】

そこで本発明は、高精度な位置検出が可能な位置検出装置、力覚センサ、および、装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

40

本発明の一側面としての位置検出装置は、光源部からの光を対象物に照射し、該対象物からの反射光を受光部で受光することにより、該対象物の位置情報を検出する位置検出装置であって、前記光源部と前記受光部とを有する検出部と、前記受光部からの信号を処理する信号処理部とを有し、前記検出部は、前記光源部と対象物との間の光路に設けられた第 1 格子と、前記対象物と前記受光部との間の光路に設けられた第 2 格子と、前記第 2 格子と前記受光部との間の光路に設けられた第 3 格子とを有し、前記光源部からの前記光が前記第 1 格子を透過することにより、前記第 1 格子と前記第 2 格子との間の光路に第 1 周期像が形成され、前記第 1 周期像に対応する光が前記第 2 格子を透過することにより、前記第 3 格子において第 2 周期像が形成され、前記信号処理部は、前記受光部により検出された前記第 2 周期像の位相変化に基づいて、前記対象物の前記位置情報を取得する。

50

## 【 0 0 0 8 】

本発明の他の側面としての力覚センサは、ベース部材と、変位部材と、前記ベース部材と前記変位部材とを支持するように該ベース部材と該変位部材との間に設けられた弾性支持部材と、前記変位部材の前記ベース部材に対する変位に応じて該変位部材に作用する外力を検出するように構成された前記位置検出装置とを有する。

## 【 0 0 0 9 】

本発明の他の側面としての装置は、可動部と、前記力覚センサと、前記力覚センサを用いて前記可動部を制御する制御部とを有する。

## 【 0 0 1 0 】

本発明の他の目的及び特徴は、以下の実施例において説明される。

10

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 1 1 】

本発明によれば、高精度な位置検出が可能な位置検出装置、力覚センサ、および、装置を提供することができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 1 2 】

【 図 1 】 実施例 1 における光学式ギャップセンサの断面図である。

【 図 2 】 実施例 1 における光学式ギャップセンサの斜視図である。

【 図 3 】 実施例 1 における変形例としての光学式ギャップセンサの断面図である。

【 図 4 】 実施例 1 における光学式ギャップセンサの光学配置を示す模式図である。

20

【 図 5 】 各実施例における受光素子アレイの受光素子の配列図である。

【 図 6 】 実施例 1 において、光学式ギャップセンサのギャップ量に対する位相信号 の 変化を示すグラフである。

【 図 7 】 実施例 2 における光学式ギャップセンサの斜視図である。

【 図 8 】 実施例 3 における光学式ギャップセンサの斜視図である。

【 図 9 】 実施例 4 における光学式ギャップセンサの斜視図である。

【 図 1 0 】 実施例 5 における光学式力覚センサの構成図である。

【 図 1 1 】 実施例 5 における光学式力覚センサの力センサ部の平面断面図である。

【 図 1 2 】 実施例 6 におけるロボットアーム搬送装置の構成図である。

## 【 発明を実施するための形態 】

30

## 【 0 0 1 3 】

以下、本発明の実施例について、図面を参照しながら詳細に説明する。

## 【 実施例 1 】

## 【 0 0 1 4 】

まず、図 1 および図 2 を参照して、本発明の実施例 1 における光学式ギャップセンサ（位置検出装置）の構成について説明する。図 1 は、本実施例における光学式ギャップセンサ 1 0 0 の断面図である。図 2 は、光学式ギャップセンサ 1 0 0 の斜視図である。

## 【 0 0 1 5 】

光学式ギャップセンサ 1 0 0 は、固定部に取り付けられるセンサユニット 1 0（検出器）、および、不図示の可動部（被測定物）に取り付けられる反射体 2 0 を有する。なお本実施例において、固定部と可動部の関係は逆でもよく、センサユニット 1 0 を可動部に取り付け、反射体 2 0 を固定部に取り付けることができる。すなわち、センサユニット 1 0 と反射体 2 0 とが相対的に移動可能であればよい（図 1 中の Z 方向においてセンサユニット 1 0 と反射体 2 0 との距離が変化するように構成されていればよい）。

40

## 【 0 0 1 6 】

センサユニット 1 0 は、電流狭窄型 L E D からなる発光素子 1 1 と、受光素子アレイ 1 2 を有する受光 I C 1 3 とが同一パッケージ内に実装された受発光一体型のセンサユニットである。受光素子アレイ 1 2 は、反射体 2 0 からの反射光を検出する複数の受光素子を配列して構成されている。反射体 2 0 は、センサユニット 1 0 に対向する面が平面となっており、光学的な反射面として作用する。反射体 2 0 の表面にアルミ、金、またはクロム

50

などをコーティングすることにより、光の利用効率を高めることができる。なお本実施例において、反射体20のガラス面や金属面などを直接反射面として用いることも可能である。

#### 【0017】

発光素子11から反射体20に向かう光路中(発光素子11と第1格子15との間の光路)には、透過部と遮光部(非透過部)とが交互に配列された光源パターン(周期的な透過率)を有する光源格子14が設けられている。光源格子14は、反射体20の反射面および主光線の入射面に対して直交する方向(図1中のY方向)に伸びた開口列から構成されている。このような構成により、光源格子14は、発光素子11からの光を線状アレイ光源化する。本実施例において、光源格子14の格子ピッチ(格子周期P1)は8 $\mu$ mである。本実施例では、発光素子11と光源格子14とにより光源部が構成される。

10

#### 【0018】

光源格子14から反射体20に向かう光路中には、交互に配列された凹部と凸部とにより、透過型の位相格子として形成された第1格子15が設けられている。第1格子15は、Y方向に伸びた凹凸溝列を備えて構成されており、第1格子15の格子ピッチ(格子周期P2)は8 $\mu$ mである。凹部と凸部との光路長差は、光源波長の半波長程度であり、 $\pm 1$ 次回折光が最大となるように設計されている。

#### 【0019】

反射体20により反射して受光素子アレイ12に向かう光路中(反射体20と受光素子アレイ12との間)には、交互に配列された凹部と凸部により、透過型の位相格子として形成された第2格子16が設けられている。第2格子16は、第1格子15と同様に、Y方向に伸びた凹凸溝列を備えて構成されており、第2格子16の格子ピッチ(格子周期P3)は8 $\mu$ mである。凹部と凸部との光路長差は、光源波長の半波長程度であり、 $\pm 1$ 次回折光が最大となるように設計されている。なお、第1格子15および第2格子16の少なくとも一方は、透過光の光路長が周期的に異なる位相変調型の光学格子である。

20

#### 【0020】

第2格子16から受光素子アレイ12に向かう光路中には、インデックス格子17(第3格子)が設けられている。インデックス格子17は、交互に配列された透過部と遮光部とにより、透過型格子として形成されている。インデックス格子17は、Y方向に略平行であるが、Z軸周りに微小な角度で回転して配置された開口列から構成されている。インデックス格子17の格子ピッチ(格子周期P4)は8 $\mu$ mである。

30

#### 【0021】

光源格子14、第1格子15、第2格子16、および、インデックス格子17は、カバーガラス18上に設けられている。各格子を備えたカバーガラス18は、発光素子11および受光IC13を封止する透光性樹脂19に貼り合わされ、発光素子11および受光IC13と光学的に一体化される。光源格子14とインデックス格子17はそれぞれ、カバーガラス18の一方の面(図1中のカバーガラス18の上面)に遮光部となるクロム膜を形成することで設けられる。第1格子15と第2格子16はそれぞれ、カバーガラス18の他方の面(図1中のカバーガラス18の下面)に、エッチング処理により凹凸パターンを加工することで設けられる。第1格子15と第2格子16はそれぞれ、透過部と遮光部とが交互に配列されて構成された格子であってもよい。なおカバーガラス18は、光源格子14とインデックス格子17とが形成されたカバーガラス(第1カバーガラス)と、第1格子15と第2格子16と形成されたカバーガラス(第2カバーガラス)とを別々に製作して、これらを貼り合わせるようにして形成してもよい。

40

#### 【0022】

光源格子14とインデックス格子17、および、第1格子15と第2格子16は、必ずしも同一面上に配置していなくてもよい。ただし、各格子をそれぞれ同一面内に配置することにより、平面性の高いガラス面上に一度にパターンニングすることが可能であるため、製造や組み立てコストを低減することができる。また、第1格子15と第2格子16は同一の設計とし、少なくとも一部を共用するように設計することもできる。この場合、第1

50

格子 15 と第 2 格子 16 とは、同一平面上に一体的に形成される。同様に、光源格子 14 とインデックス格子 17 の少なくとも一部を共用するように設計することも可能である。この場合、光線パスと、各格子領域の位置合わせを簡略化することができる。

【0023】

図 3 (a)、(b) は、それぞれ、本実施例における変形例としての光学式ギャップセンサ 100 a、100 b の断面図である。図 3 (a) に示されるように、センサユニット 10 における発光素子 11 と受光 IC 13 との間に遮光部材 30 を設けた光学式ギャップセンサ 100 a を用いてもよい。遮光部材 30 により、反射体 20 を介さずにセンサユニット 10 の内部で反射した光（例えば光源格子 14 とインデックス格子 17 からの光源側の面で内面反射した光）が受光素子アレイ 12 に入射するのを抑制することができる。これにより、受光素子アレイ 12 からの出力信号のコントラストを向上させることが可能である。また、図 3 (b) に示されるように、カバーガラス 18 のスケール側の外面に反射防止膜 31 を設けた光学式ギャップセンサ 100 b を用いてもよい。これにより、不要な反射光を低減し、受光素子アレイ 12 からの出力信号の精度の劣化を低減することができる。

10

【0024】

次に、図 4 を参照して、光学式ギャップセンサ 100 の作用について説明する。図 4 は、光学式ギャップセンサ 100 の光学配置を示す模式図である。光源格子 14 から第 1 格子 15 までの実効的な光学距離を  $Z_1$ 、第 1 格子 15 から反射面までの光学距離を  $Z_2$ 、反射面から第 2 格子 16 までの光学距離を  $Z_3$ 、第 2 格子 16 からインデックス格子 17 までの実効的な光学距離を  $Z_4$  とする。光学距離（実効的な光学距離）とは、物理長を屈折率で除した値を意味する。光学距離  $Z_2$ 、 $Z_3$  は、第 1 格子 15 または第 2 格子 16 と反射体 20（反射面）とのギャップに応じて変動する値であるが、ギャップ検出範囲の中心付近において、 $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4$  となるように設計されている。

20

【0025】

発光素子 11 としての LED から出射した発散光束は、光源格子 14 を通過することにより、互いにインコヒーレントな複数の 2 次点光源を含む光源アレイを形成する。光源格子 14 から出射した発散光束は、第 1 格子 15 に入射する。なお本実施例では、発光素子 11（LED）と光源格子 14 との組み合わせ（発光素子 11 と光源格子 14 とを含む光源部）により 2 次点光源を形成しているが、これに限定されるものではない。光源部として、光源格子 14 を用いることなく、発光素子 11 に代えて電流狭窄型 LED や半導体レーザーなどを実効的な点光源として用いてもよい。

30

【0026】

第 1 格子 15 により回折された +1 次回折光と -1 次回折光は、反射体 20 の近傍で互いに干渉する。その結果、一定周期の光強度分布を有する第 1 周期像が形成される。光源格子 14 の格子周期を  $P_1$ 、第 1 格子 15 の格子周期を  $P_2$ 、第 2 格子 16 の格子周期を  $P_3$  とするとき、 $P_1 = P_2 = P_3 = 8 \mu\text{m}$  である。第 1 格子 15 から第 1 周期像の第 1 結像面までの距離  $Z_{im1}$ 、第 1 結像面における第 1 周期像の周期  $P_{im1}$  は、以下の式 (1)、(2) のようにそれぞれ表される。

【0027】

【数 1】

$$Z_{im1} = \frac{Z_1}{N \frac{P_1}{P_2} - 1} \dots (1)$$

40

【0028】

【数2】

$$P_{im1} = P_1 \cdot \frac{Z_{im1}}{Z_1} \dots \quad (2)$$

【0029】

式(1)において、Nは干渉の次数を表し、本実施例では±1次回折光を利用するため、N=2を有効信号成分とする。

【0030】

第1周期像は、3次的な光源アレイとして作用する。第1周期像からの発散光束は、反射体20からの復路において、第2格子16に入射する。第2格子16により回折された+1次回折光と-1次回折光は、インデックス格子17の近傍で互いに干渉する。その結果、一定周期の光強度分布を有する第2周期像が形成される。第2格子16から第2周期像の第2結像面までの距離 $Z_{im2}$ 、第2結像面における第2周期像の周期 $P_{im2}$ は、以下の式(3)、(4)のようにそれぞれ表される。

【0031】

【数3】

$$Z_{im2} = \frac{Z_2 + Z_3 - Z_{img1}}{N \frac{P_{im1}}{P_3} - 1} \dots \quad (3)$$

【0032】

【数4】

$$P_{im2} = P_{im1} \cdot \frac{Z_{im2}}{Z_2 + Z_3 - Z_{im1}} \dots \quad (4)$$

【0033】

式(1)より、 $Z_{im1} = Z_1 = Z_2$ となり、第1結像面は反射面と一致する。式(2)より、 $P_{im1} = P_1 = 8 \mu\text{m}$ である。式(3)より、 $Z_{im2} = Z_3 = Z_4$ となり、インデックス格子17面上に第2周期像が形成される。式(4)より、 $P_{im2} = 8 \mu\text{m}$ である。これらは、ギャップ検出範囲の中心付近( $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4$ )の条件下であり、ギャップ変化( $Z_2$ 、 $Z_3$ の変化)とともに、インデックス格子17面上に形成される光強度分布の周期および中心位相は変化する。本実施例では、インデックス格子17を用いて、以下のように中心位相を検出することにより、ギャップ量を検出する。

【0034】

インデックス格子17は、第2周期像と略等しい周期を有する。しかし、インデックス格子17は、Z軸周りの回転により、わずかに傾いて配置されている。この傾き量に応じて、インデックス格子17の格子周期方向に略直交するモアレ縞を発生させる。そして、モアレ縞の強度分布を受光素子アレイ12で受光し、受光素子アレイ12からの出力信号に基づいて位相を算出する。

【0035】

次に、図5を参照して、受光素子アレイ12の受光素子の配列について説明する。図5は、受光素子アレイ12の受光素子の配列図である。受光素子アレイ12は、Y方向に互いに等しい幅を有する16個の受光素子が、Y方向に等間隔に配置され、A+、B+、A

10

20

30

40

50

-、B-の4相に対応する受光素子が、順番に4組分一列に配列されて構成されている。A+、B+、A-、B-の受光素子4相分の長さは、モアレ縞の1周期分に近くなるように設計されている。各相に対応する受光素子の出力信号は、それぞれ合計され、4相のアナログ電気信号S(A+)、S(B+)、S(A-)、S(B-)として信号処理回路102(信号処理部)に出力される。

【0036】

信号処理回路102は、以下の式(5)、(6)のように表される差動演算を行い、同相ノイズおよび直流成分を除去する。

【0037】

$$S(A) = S(A+) - S(A-) \quad \dots \quad (5)$$

$$S(B) = S(B+) - S(B-) \quad \dots \quad (6)$$

また信号処理回路102は、信号S(A)、S(B)を用いて、以下の式(7)で表される演算により位相信号を取得する。

【0038】

$$= \text{ATAN2}[S(A), S(B)] \quad \dots \quad (7)$$

式(7)において、 $\text{ATAN2}[Y, X]$ は、象限を判別して0~2位相に変換する逆正接演算関数である。検出タイミングごとの位相信号の差分を積算して所定の係数を掛けることにより、ギャップ変位量Zに変換する。このとき、リニアリティや感度を補正する処理を行うことにより、精度を向上させることができる。補正方法としては、校正用の原器との比較により補正值を記憶する方法や、検出中心のギャップ設計値をZ0とし、 $Z' = Z0 / Z$ として変換を行ってもよい。

【0039】

次に、図6を参照して、式(7)により得られる位相信号の波形について説明する。図6は、光学式ギャップセンサ100のギャップ量に対する位相信号の変化を示すグラフである。図6(a)~(c)のそれぞれにおいて、横軸はギャップ量、縦軸は位相信号をそれぞれ示している。

【0040】

図6(a)は、発光素子11の発光波長650nmの場合の、ギャップ量に対する位相信号の変化を示す。ギャップ量の変化に伴い位相信号は変化し、ギャップ量が検出可能であることが分かる。図6(b)は、発光素子11の発光波長650nmの場合の、反射体20(対象物)がY軸周りに0.1度傾いた場合の、ギャップ量に対する位相信号の変化を示す。傾きの回転中心は、反射面(対象面)上の主光線位置としている。図6(a)と比較して、ギャップ量に対する位相信号の関係は、ほぼ変化しておらず、反射面の傾きの影響は極めて小さいことが分かる。このように本実施例によれば、光源像を光路中に再結像することで、第1結像面が反射面の近傍に形成されることにより、反射面の傾きの影響を低減することができる。これは、反射面の傾きにより検出値が変動する従来技術(例えば、特開2006-349606号公報)とは対照的である。

【0041】

図6(c)は、発光素子11の発光波長850nmの場合の、反射体20の傾きが0度の場合の、ギャップ量に対する位相信号の変化を示す。図6(a)と比較して、ギャップ量に対する位相信号の関係は、ほぼ変化しておらず、波長変動の影響も極めて小さいことが分かる。このように本実施例は、波長依存性がほとんど無く、温度変化に対しても安定なギャップ検出が可能である。従来技術(例えば、特開2005-326232号公報)では、空間的にコヒーレントな光(例えば、コリメートされたレーザー光)を用い、2光束干渉を利用する。しかし、この場合、ギャップ変動に伴う格子像の位相変化量は波長に依存(反比例)する。これは、環境温度変動などにより波長が変動する場合、計測値のばらつき要因となる。

【0042】

このように、本実施例の位置検出装置(光学式ギャップセンサ100)は、光源部からの光を対象物(反射体20)に照射し、対象物からの反射光を受光部(受光素子アレイ1

10

20

30

40

50



2) で受光することにより、対象物の位置情報を検出する。位置検出装置は、光源部と受光部とを有する検出部（センサユニット10）、および、受光部からの信号を処理する信号処理部（信号処理回路102）を有する。検出部は、光源部と対象物との間の光路に設けられた第1格子15、対象物と受光部との間の光路に設けられた第2格子16、および、第2格子と受光部との間の光路に設けられた第3格子（インデックス格子17）を有する。光源部からの光が第1格子を透過することにより、第1格子と第2格子との間の光路に第1周期像が形成される。第1周期像に対応する光が第2格子を透過することにより、第3格子において第2周期像が形成される。そして信号処理部は、受光部により検出された第2周期像の位相変化に基づいて、対象物の位置情報を取得する。好ましくは、対象物の位置情報は、検出部から対象物までの距離の変位に関する情報である。

10

## 【0043】

本実施例によれば、対象物の反りや傾きの影響を受けにくい高精度な位置検出装置（ギャップセンサ）を実現することができる。

## 【実施例2】

## 【0044】

次に、図7を参照して、本発明の実施例2における光学式ギャップセンサ（位置検出装置）について説明する。図7は、本実施例における光学式ギャップセンサ100cの斜視図であり、2軸の検出を行う構成の例を示している。本実施例のセンサユニット10は、実施例1に対して、発光素子11を挟んで対向する位置に（X方向に沿って）同じ光学構成を更に有する。

20

## 【0045】

図7において、発光素子11の左側の第1光学構成に関しては、第1光線パスにより、反射体20上の第1光線パス照射位置X1における第1ギャップ量Z1を検出する。第1光線パスは、発光素子11から、光源格子14A、第1格子15A、反射体20、第2格子16A、インデックス格子17A（第3格子）、および、受光素子アレイ12Aに至る光線パスである。また、発光素子11の右側の第2光学構成に関しては、第2光線パスにより、反射体20上の第2光線パス照射位置X2における第2ギャップ量Z2を検出する。第2光線パスは、発光素子11から、光源格子14B、第4格子15B、反射体20、第5格子16B、インデックス格子17B（第6格子）、および、受光素子アレイ12Bに至る光線パスである。なお、ギャップ量の検出方法は、実施例1と同様であるため、その説明を省略する。

30

## 【0046】

このように、本実施例のセンサユニット（検出部）は、実施例1のセンサユニット10の各要素に加えて、第4格子15B、第5格子16B、および、インデックス格子17B（第6格子）を有する。第4格子15Bは、光源部（発光素子11と光源格子14B）と対象物（反射体20）との間の光路に設けられている。第5格子16Bは、反射体20と受光素子アレイ12B（受光部）との間の光路に設けられている。インデックス格子17Bは、第5格子16Bと受光素子アレイ12Bとの間の光路に設けられている。光源部からの光が第4格子15Bを透過することにより、第4格子15Bと第5格子16Bとの間の光路に第3周期像が形成される。また、第3周期像に対応する光が第5格子16Bを透過することにより、インデックス格子17Bにおいて第4周期像が形成される。そして、信号処理部（信号処理回路102）は、受光素子アレイ12Bにより検出された第4周期像の位相変化に基づいて、反射体20の位置情報を取得する。

40

## 【0047】

本実施例においては、第1光線パス照射位置X1、第2光線パス照射位置X2、第1ギャップ量Z1、および、第2ギャップ量Z2を用いて、以下の式（7）で表されるように、Y軸周りの回転量  $y$  を検出することができる。

## 【0048】

$$y = A \tan \left\{ (Z2 - Z1) / (X2 - X1) \right\} \dots (7)$$

また、 $y \ll 1$  の条件下で近似を行うことにより、Y軸周りの回転量  $y$  は、以下の

50

式(8)のように表される。

【0049】

$$y = (Z2 - Z1) / (X2 - X1) \quad \dots \quad (8)$$

以上のようにして、ギャップ量とともに、回転量を検出する一体型のセンサユニットを実現することができる。

【実施例3】

【0050】

次に、図8を参照して、本発明の実施例3における光学式ギャップセンサ(位置検出装置)について説明する。図8は、本実施例における光学式ギャップセンサ100dの斜視図であり、2軸の検出を行う構成の例を示している。本実施例のセンサユニット10は、  
10  
実施例1に対して、発光素子11を挟んで対向する位置に(X方向に沿って)、X方向の位置検出用の光学構成を更に有する。

【0051】

図8において、発光素子11の左側の光学構成に関しては、第1光線パスにより、反射体20上の第1光線パス照射位置X1におけるギャップ量D1を検出する。第1光線パスは、発光素子11から光源格子14A、第1格子15A、反射体20、第2格子16A、インデックス格子17A(第3格子)、および、受光素子アレイ12A(受光部)に至る光線パスである。なお、ギャップ量の検出方法については、実施例1と同様であるため、その説明を省略する。

【0052】

発光素子11の右側の光学構成に関しては、X方向の位置検出を行う。図8において、発光素子の右側の光学構成において、発光素子11から反射体20に向かう光路中には、透過部と遮光部とが交互に配列された、光源格子14Bが設けられている。光源格子14Bは、反射体20の反射面および主光線の入射面に対し、直交する方向(図8中のY方向)に伸びた開口列を備えて構成されている。光源格子14Bの格子ピッチは、8μmである。反射体20には、光源格子14Bからの光束が照射される領域に、交互に配列された凹部と凸部により、反射型の位相格子21が設けられている。位相格子21は、Y方向に伸びた凹凸溝列を備えて構成されており、位相格子21の格子ピッチは8μmである。凹部と凸部の光路長差は、ダブルパスで光源波長の半波長程度であり、±1次回折光が最大となるように設計されている。  
20  
30

【0053】

また、位相格子21から受光素子アレイ12B(受光部)に向かう光路中には、インデックス格子17B(第7格子)が設けられている。インデックス格子17Bは、交互に配列された透過部と遮光部とにより透過型格子として形成されている。インデックス格子17Bは、Y方向において略平行であるが、Z軸周りに微小な角度で回転して配置された開口列を備えて構成されている。インデックス格子17Bの格子ピッチは、8μmである。

【0054】

発光素子11(LED)から出射した発散光束は、光源格子14Bを通過することにより、互いにインコヒーレントな複数の2次点光源を含む光源アレイを形成する。光源格子14Bから出射した発散光束は、反射体20上の第6格子21に入射する。  
40

【0055】

このように本実施例のセンサユニット(検出部)は、実施例1のセンサユニット10の各要素に加えて、対象物(反射体20)の所定の領域に設けられた位相格子21からの反射光を透過するインデックス格子17B(第7格子)を更に有する。光源部(発光素子11と光源格子14B)からの光は、位相格子21で反射し、インデックス格子17Bを透過して受光素子アレイ12B(受光部)により受光される。そして信号処理部(信号処理回路102)は、受光素子アレイ12の検出信号に基づいて、検出部から反射体20までの距離の方向(Z方向)と垂直な方向(X方向)の位置情報(変位情報)を取得する。

【0056】

位相格子21により回折および反射された+1次回折光と-1次回折光は、インデック  
50

ス格子 17B 上で互いに干渉する。その結果、8  $\mu\text{m}$  周期の光強度分布を有する干渉縞が形成される。インデックス格子 17B は、干渉縞に対してわずかに傾いて配置されており、この傾き量により、インデックス格子 17B の格子周期方向に略直交するモアレ縞を発生させる。モアレ縞の強度分布を受光素子アレイ 12B で受光し、受光素子アレイ 12B の検出信号（出力信号）に基づいて位相を算出することができる。受光素子アレイ 12B の構成および位相演算は、実施例 1 のギャップ検出の場合と同様であるため、それらの説明を省略する。位相信号は、反射体 20 の X 方向の移動とともに、変化する周期信号となる。+1 次回折光と -1 次回折光の干渉を用いているため、第 6 格子 21 の格子ピッチ 8  $\mu\text{m}$  の半分の移動量で、2 の位相が変化する。以上の構成により、本実施例によれば、Z 方向および X 方向の 2 軸の検出が可能である。

10

#### 【実施例 4】

#### 【0057】

次に、図 9 を参照して、本発明の実施例 4 における光学式ギャップセンサ（位置検出装置）について説明する。図 9 は、本実施例における光学式ギャップセンサ 100e の斜視図であり、2 軸の検出を行う構成の例を示している。本実施例のセンサユニット 10 は、実施例 1 に対して、発光素子 11 を挟んで対向する位置に（X 方向に沿って）、Y 方向の位置検出用の光学構成を更に有する。

#### 【0058】

図 9 において、発光素子 11 の左側の光学構成に関しては、第 1 光線パスにより、反射体 20 上の第 1 光線パス照射位置 X1 におけるギャップ量 D1 を検出する。第 1 光線パスは、発光素子 11 から光源格子 14A、第 1 格子 15A、反射体 20、第 2 格子 16A、インデックス格子 17A（第 3 格子）、および、受光素子アレイ 12A（受光部）に至る光線パスである。なお、ギャップ量の検出方法については、実施例 1 と同様であるため、その説明を省略する。

20

#### 【0059】

発光素子 11 の右側の光学構成に関しては、Y 方向の位置検出を行う。図 9 において、発光素子 11 の右側の光学構成において、発光素子 11 から反射体 20 に向かう光路中には、透過部と遮光部とが交互に配列された光源格子 23 が設けられている。光源格子 23 は、主光線の入射面に対し、平行な方向（図 9 中の X 方向）に伸びた開口列を備えて構成されている。光源格子 23 の格子ピッチは、8  $\mu\text{m}$  である。

30

#### 【0060】

反射体 20 には、光源格子 23 および光源格子 14A からの光束の照射領域に、交互に配列された凹部と凸部とにより、反射型の位相格子 22 が設けられている。位相格子 22 は、X 方向に伸びた凹凸溝列を備えて構成されており、位相格子 22 の格子ピッチは 8  $\mu\text{m}$  である。凹部と凸部の光路長差は、ダブルパスで光源波長の半波長程度であり、 $\pm 1$  次回折光が最大となるように設計されている。図 9 において、発光素子 11 の左側におけるギャップ検出の光束も、位相格子 22 により反射する。すなわち、光源部（発光素子 11 と光源格子 14A）からの第 1 格子 15A を透過した光は、対象物（反射体 20）の位相格子 22 で反射して、第 2 格子 16A に入射する。しかし、センサ側の各格子（光源格子 14A、第 1 格子 15A、第 2 格子 16A、および、インデックス格子 17A）と、位相格子 22 とは、格子の周期方向が互いに直交しているため、ギャップ検出信号に影響することはない。

40

#### 【0061】

また、位相格子 22 から受光素子アレイ 12B（受光部）に向かう光路中には、第 8 格子 24 が設けられている。第 8 格子 24 は、交互に配列された透過部と遮光部とにより透過型格子として形成されている。第 8 格子 24 は、X 方向に平行に配置された開口列を備えて構成されている。第 8 格子 24 の格子ピッチは、8  $\mu\text{m}$  に対してわずかに大きな周期となっている。

#### 【0062】

発光素子 11 としての LED から出射した発散光束は、光源格子 23 を通過することに

50

より、互いにインコヒーレントな複数の光束となる。このように発光素子 1 1 と光源格子 2 3 とにより、2 次点光源を含む光源アレイが形成される。光源格子 2 3 から出射した発散光束は、反射体 2 0 上の第 8 格子 2 2 に入射する。

【 0 0 6 3 】

位相格子 2 2 により回折および反射された + 1 次回折光と - 1 次回折光は、第 8 格子 2 4 上で互いに干渉する。その結果、8  $\mu\text{m}$  周期の光強度分布を有する干渉縞が形成される。第 8 格子 2 4 は、干渉縞の周期 8  $\mu\text{m}$  よりもわずかに大きな周期を有し、第 8 格子 2 4 の格子周期方向にモアレ縞を発生させる。モアレ縞の強度分布を受光素子アレイ 1 2 B で受光し、受光素子アレイ 1 2 B の出力信号に基づいて位相を算出する。受光素子アレイ 1 2 B の構成および位相演算は、実施例 1 のギャップ検出の場合と同様であるため、それら

10

【 実施例 5 】

【 0 0 6 4 】

次に、図 1 0 および図 1 1 を参照して、本発明の実施例 5 における光学式力覚センサ (6 軸力覚センサ) について説明する。本実施例の光学式力覚センサは、実施例 4 の光学式ギャップセンサ 1 0 0 e を有する。

【 0 0 6 5 】

20

図 1 0 は、本実施例における光学式力覚センサ 3 0 0 の構成図 (側面断面図) である。図 1 1 は、光学式力覚センサ 3 0 0 の力センサ部 1 0 1 の平面断面図である。図 1 0 は、図 1 1 中の A - A 線の断面図である。

光学式力覚センサ 3 0 0 は、力センサ部 1 0 1 と信号処理回路 1 0 2 (信号処理部) とを備えて構成されている。力センサ部 1 0 1 は、外力により力センサ部 1 0 1 内の後述する変位部材に生じた変位を示す変位信号を信号処理回路 1 0 2 に出力する。信号処理回路 1 0 2 は、入力された変位信号から外力のベクトル量を演算し、その演算結果を力覚信号として出力する。

【 0 0 6 6 】

力センサ部 1 0 1 は、ベース部材 1、変位部材 2、弾性支持部材 3 (弾性部材)、および、変位検出器 (センサユニット 1 0 A ~ 1 0 D および反射体 2 0 を含む光学式ギャップセンサ 1 0 0 e) を備えて構成されている。なお図 1 1 には、力センサ部 1 0 1 のうち、変位部材 2 と反射体 2 0 とを除いて、ベース部材 1、弾性支持部材 3、および、変位検出器 5 のセンサユニット 1 0 A ~ 1 0 D を平面視した構成を示している。

30

【 0 0 6 7 】

ベース部材 1 および変位部材 2 は、それぞれ円板形状を有する。ベース部材 1 および変位部材 2 は、それらの円中心軸である Z 軸が延びる Z 方向に互いに離間して配置され、それらの間に配置された 4 つの円筒形状の弾性支持部材 3 により互いに連結されている。変位部材 2 は、変位部材 2 に作用する外力に応じて、弾性支持部材 3 を弾性変形させながらベース部材 1 に対して Z 方向に垂直変位が可能である。また、変位部材 2 は、ベース部材 1 に対して、Z 軸に直交する X 軸または Y 軸に沿った方向 (第 2 の方向) への平行変位、X 軸周り方向および Y 軸周り方向への回転変位、および、Z 軸周りでの回転変位が可能である。

40

【 0 0 6 8 】

弾性支持部材 3 は、円周上に 9 0 度ごとに (円中心軸に対して 9 0 度の間隔で) 配置されている。センサユニット 1 0 A ~ 1 0 D は、弾性支持部材 3 に対し、4 5 度ずれた円周上に 9 0 度ごとに配置されている。センサユニット 1 0 A ~ 1 0 D は、それぞれ、実施例 4 のセンサユニット 1 0 と同様に、ギャップ検出用の受光素子アレイ 1 2 A と並進検出用の受光素子アレイ 1 2 B とをそれぞれ備えている。

【 0 0 6 9 】

50

センサユニット10Aによるギャップ位置検出値を $D_a$ 、並進位置検出値を $X_a$ とする。同様に、センサユニット10Bによるギャップ位置検出値を $D_b$ 、並進位置検出値を $X_b$ 、センサユニット10Cによるギャップ位置検出値を $D_c$ 、並進位置検出値を $X_c$ 、センサユニット10Dによるギャップ位置検出値を $D_d$ 、並進位置検出値を $X_d$ とする。このとき、信号処理回路102は、変位部材2のX軸方向の変位量 $X$ 、Y軸方向の変位量 $Y$ 、Z軸方向の変位量 $Z$ 、X軸周りの回転量 $x$ 、Y軸周りの回転量 $y$ 、および、Z軸周りの回転量 $z$ を、以下の式(9)で表される行列演算により取得する。

【0070】

【数5】

$$\begin{bmatrix} \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \\ X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1/2 & 0 & 1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & -1/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1/4 \\ 0 & 1/2\alpha & 0 & -1/2\alpha & 1/2 & 0 & -1/2 & 0 \\ -1/2\beta & 0 & 1/2\beta & 0 & 0 & 1/2 & 0 & -1/2 \\ 1/4 & 1/4 & 1/4 & 1/4 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_a \\ D_b \\ D_c \\ D_d \\ X_a \\ X_b \\ X_c \\ X_d \end{bmatrix} \dots \quad (9)$$

【0071】

式(9)において、 $\alpha$  および  $\beta$  は、反射体20が回転量 $x$ 、 $y$ だけ傾いた際に、並進位置検出値が変化する感度に相当する係数である。係数 $\alpha$ 、 $\beta$ は、力センサ部101の設計により決定され、光源格子23および第9格子24から第8格子22までの距離、発光素子11と受光素子アレイ12との距離などの設計値により、幾何光学的に算出することが可能である。係数 $\alpha$ 、 $\beta$ は、実測により決定してもよい。このようにして、反射型回折格子(第9格子24)を用いた面内変位検出において、反射面の傾き変動によるクロストーク成分を除去することが可能である。

【0072】

以上のようにして求められた各軸の変位より、変位部材2へのX軸方向の力 $F_x$ 、Y軸方向の力 $F_y$ 、Z軸方向の力 $F_z$ 、X軸周りのモーメント $M_x$ 、Y軸周りのモーメント $M_y$ 、および、Z軸周りのモーメント $M_z$ の6軸の外力を演算する。すなわち各軸の外力は、X軸方向の変位量 $X$ 、Y軸方向の変位量 $Y$ 、Z軸方向の変位量 $Z$ 、X軸周りの回転量 $x$ 、Y軸周りの回転量 $y$ 、および、Z軸周りの回転量 $z$ のそれぞれと略比例関係にある。このため、各軸の外力は、それぞれの変位量または回転量に係数をかけることにより変換されて取得される。

【0073】

このように本実施例の力覚センサ(光学式力覚センサ300)は、ベース部材1、変位部材2、および、ベース部材1と変位部材2とを支持するようにベース部材1と変位部材2との間に設けられた弾性支持部材3を有する。また力覚センサは、変位部材2のベース部材1に対する変位に応じて変位部材2に作用する外力を検出するように構成された、各実施例の光学式ギャップセンサ(位置検出装置)を有する。

【0074】

なお本実施例では、ベース部材1に変位検出器5のセンサユニット10A~10Dを設け、変位部材2に反射体20を設けた場合について説明した。しかし、ベース部材1に反射体20を設け、変位部材2のセンサユニット10A~10Dを設けてもよい。すなわち、検出器本体をベース部材1と変位部材2の一方の部材に設け、反射体20を他方の部材に設けることができる。

【実施例6】

10  
20  
30  
40  
50

## 【 0 0 7 5 】

次に、図 1 2 を参照して、本発明の実施例 6 におけるロボットアーム搬送装置について説明する。図 1 2 は、本実施例におけるロボットアーム搬送装置 4 0 0 の構成図であり、実施例 5 で説明した光学式力覚センサ 3 0 0 を備えたロボットアーム搬送装置 4 0 0 を示している。

## 【 0 0 7 6 】

動作可能な可動部としてのロボットアーム 2 0 0 は、把持部 2 0 1 にて被搬送物 2 0 5 を把持する。ロボットアーム 2 0 0 は、被搬送物 2 0 5 を基板 2 0 6 に形成された穴部 2 0 6 a に挿入する動作を行っており、その動作は制御部 2 1 0 によって制御される。

## 【 0 0 7 7 】

ロボットアーム 2 0 0 には、把持部 2 0 1 が被搬送物 2 0 5 を介して基板 2 0 6 から受ける上向きの外力を検出するための力センサ部 1 0 1 ( 光学式力覚センサ 3 0 0 ) が搭載されている。被搬送物 2 0 5 が基板 2 0 6 の上面における穴部 2 0 6 a 以外の部分に接触している場合、把持部 2 0 1 から力センサ部 1 0 1 に外力が作用するため、被搬送物 2 0 5 の位置が穴部 2 0 6 a の位置から外れていることが検出される。このため、制御部 2 1 0 は、被搬送物 2 0 5 を基板 2 0 6 の上面に沿って移動させるようにロボットアーム 2 0 0 の動作を制御する。

## 【 0 0 7 8 】

そして、被搬送物 2 0 5 が穴部 2 0 6 a の上方に位置すると、それまで把持部 2 0 1 から力センサ部 1 0 1 に作用していた外力がなくなるため、被搬送物 2 0 5 の位置が穴部 2 0 6 a の位置に一致したことが検出される。このため、制御部 2 1 0 は、被搬送物 2 0 5 を穴部 2 0 6 a 内に挿入するようにロボットアーム 2 0 0 の動作を制御する。

## 【 0 0 7 9 】

このように本実施例の装置 ( ロボットアーム搬送装置 4 0 0 ) は、可動部 ( 把持部 2 0 1 ) と、実施例 5 の力覚センサ ( 光学式力覚センサ 3 0 0 ) と、力覚センサを用いて可動部を制御する制御部 2 1 0 とを有する。ロボットアーム 2 0 0 に実施例 5 にて説明した光学式力覚センサ 3 0 0 を用いることにより、ロボットアーム 2 0 0 の動作を高精度に制御することができる。なお、実施例 5 にて説明した光学式力覚センサ 3 0 0 は、本実施例で説明したようなロボットアーム搬送装置 4 0 0 以外の装置であって、外力検出の結果を用いて動作の制御を行う各種装置に用いることができる。

## 【 0 0 8 0 】

各実施例の位置検出装置は、反射面の傾きの影響を受けにくい。このため各実施例によれば、高精度な位置検出 ( ギャップ検出 ) が可能な位置検出装置、力覚センサ、および、装置を提供することができる。

## 【 0 0 8 1 】

以上、本発明の好ましい実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 0 8 2 】

- 1 0 センサユニット ( 検出部 )
- 1 1 発光素子
- 1 2 受光素子アレイ ( 受光部 )
- 1 5 第 1 格子
- 1 6 第 2 格子
- 1 7 インデックス格子 ( 第 3 格子 )
- 2 0 反射体 ( 対象物 )
- 1 0 0 光学式ギャップセンサ ( 位置検出装置 )
- 1 0 2 信号処理回路 ( 信号処理部 )

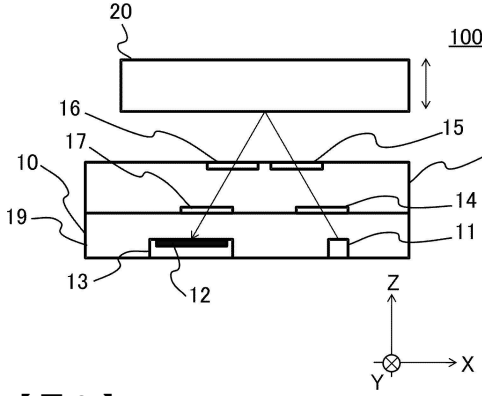
10

20

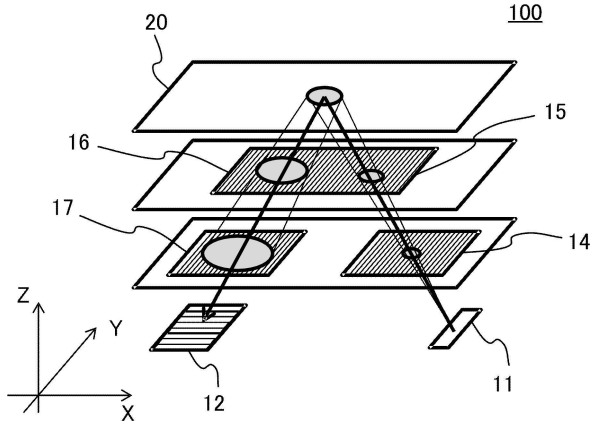
30

40

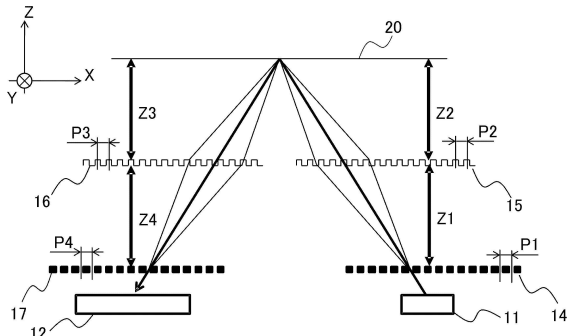
【図1】



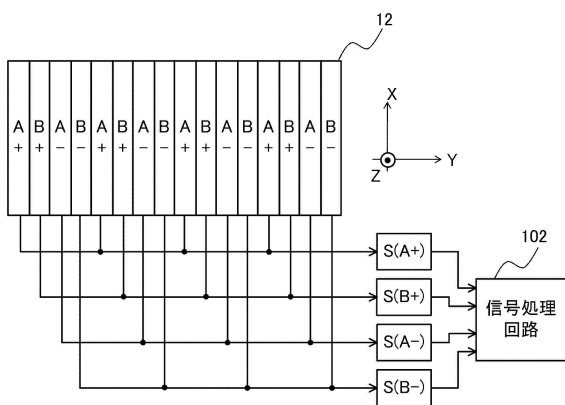
【図2】



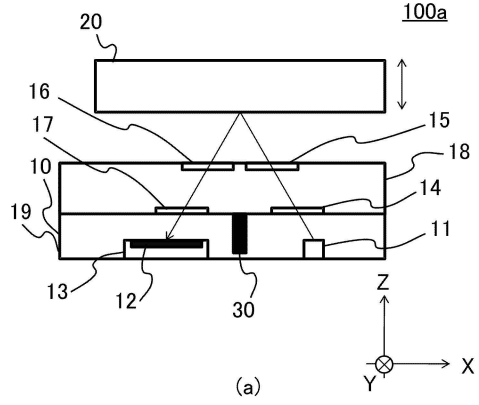
【図4】



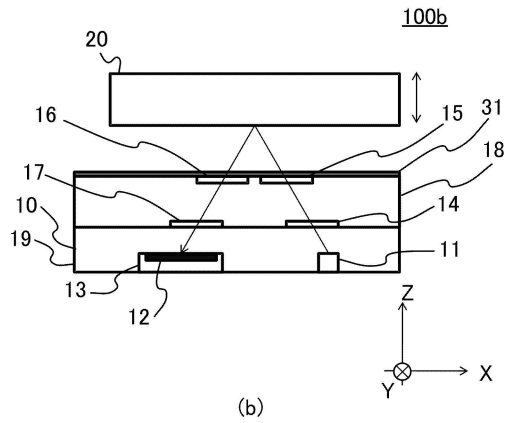
【図5】



【図3】

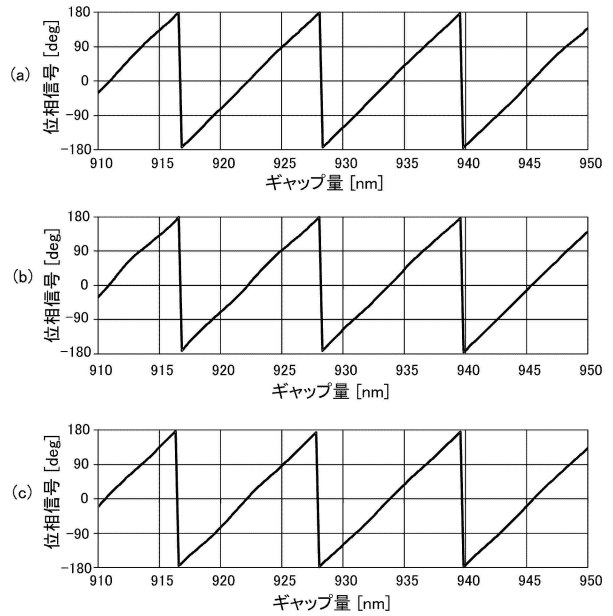


(a)

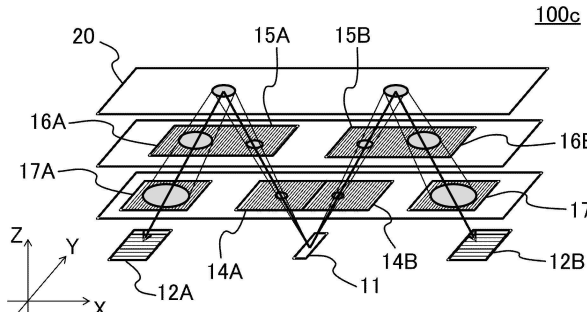


(b)

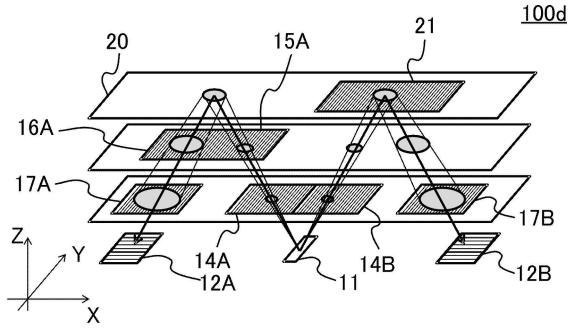
【図6】



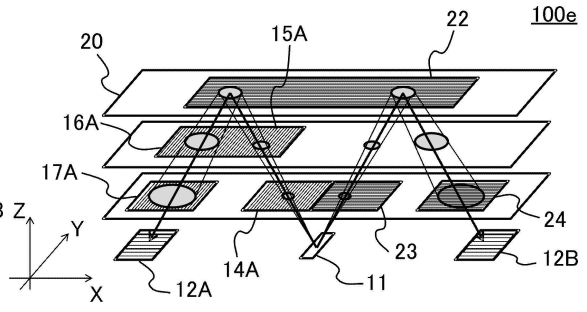
【図7】



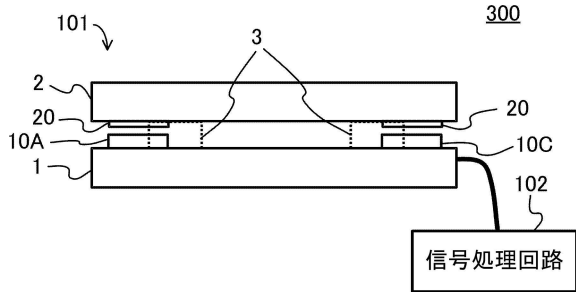
【図8】



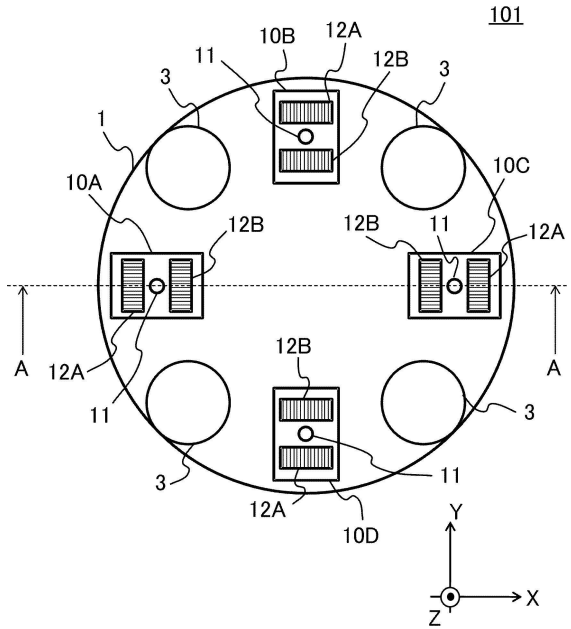
【図9】



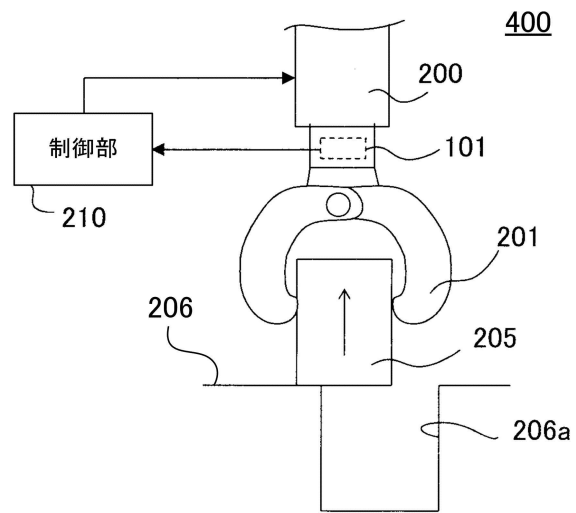
【図10】



【図11】



【図12】





---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
G 0 1 L 1/06

(56)参考文献 特開2015-200568(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 1 B 1 1 / 0 0  
G 0 1 D 5 / 3 4 7  
G 0 1 D 5 / 3 8  
G 0 1 L 1 / 0 6  
G 0 1 L 5 / 1 6