

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7601720号
(P7601720)

(45)発行日 令和6年12月17日(2024.12.17)

(24)登録日 令和6年12月9日(2024.12.9)

(51)国際特許分類 F I
G 0 2 B 26/10 (2006.01) G 0 2 B 26/10 C

請求項の数 19 (全35頁)

(21)出願番号	特願2021-101749(P2021-101749)	(73)特許権者	306037311 富士フイルム株式会社 東京都港区西麻布2丁目26番30号
(22)出願日	令和3年6月18日(2021.6.18)	(74)代理人	110001519 弁理士法人太陽国際特許事務所
(65)公開番号	特開2023-751(P2023-751A)	(72)発明者	吉澤 宏俊 神奈川県足柄上郡開成町牛島577番地 富士フイルム株式会社内
(43)公開日	令和5年1月4日(2023.1.4)	(72)発明者	園田 慎一郎 神奈川県足柄上郡開成町牛島577番地 富士フイルム株式会社内
審査請求日	令和6年3月7日(2024.3.7)	(72)発明者	菱沼 慶一 神奈川県足柄上郡開成町牛島577番地 富士フイルム株式会社内
		(72)発明者	田中 伸也

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光走査装置、光走査装置の駆動方法、及び画像描画システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

入射光を反射する反射面を有するミラー部と、
前記ミラー部の静止時の前記反射面を含む平面内にある第1軸の周りに前記ミラー部を揺動させる第1アクチュエータと、
前記ミラー部の静止時の前記反射面を含む平面内であって前記第1軸に交差する第2軸の周りに前記ミラー部を揺動させる第2アクチュエータと、
前記ミラー部の前記第1軸周りの角度に応じた信号を出力する第1角度検出センサと、
前記ミラー部の前記第2軸周りの角度に応じた信号を出力する第2角度検出センサと、
前記ミラー部からの反射光を受光可能な位置に設けられた少なくとも1つの光検出器と、
少なくとも1つのプロセッサと、
を備える光走査装置であって、
前記プロセッサは、
前記第1アクチュエータに第1駆動周波数を有する第1駆動信号を付与し、
前記第2アクチュエータに第2駆動周波数を有する第2駆動信号を付与し、
前記ミラー部の前記第1軸周りの角度が第1基準角になったことを表す第1基準信号の生成タイミングの補正に用いられるずれ時間であって、前記第1角度検出センサの出力信号が、前記ミラー部の前記第1軸周りの角度が前記第1基準角になったことを表す時点に対する前記ミラー部の前記第1軸周りの角度が前記第1基準角になった時点の第1ずれ時間を前記光検出器の出力信号に基づいて導出し、

10

20

前記ミラー部の前記第 2 軸周りの角度が第 2 基準角になったことを表す第 2 基準信号の生成タイミングの補正に用いられるずれ時間であって、前記第 2 角度検出センサの出力信号が、前記ミラー部の前記第 2 軸周りの角度が前記第 2 基準角になったことを表す時点に対する前記ミラー部の前記第 2 軸周りの角度が前記第 2 基準角になった時点の第 2 ずれ時間を前記光検出器の出力信号に基づいて導出する

光走査装置。

【請求項 2】

前記光検出器は、前記ミラー部からの反射光により画像が描画される領域の中央に 1 つ設けられる

請求項 1 に記載の光走査装置。

10

【請求項 3】

前記光検出器は、前記ミラー部からの反射光により画像が描画可能な領域における前記第 1 軸に対応する軸上及び前記第 2 軸に対応する軸上に設けられる

請求項 1 に記載の光走査装置。

【請求項 4】

前記光検出器は、前記ミラー部からの反射光により画像が描画可能な領域における前記第 1 軸に対応する軸上のそれぞれの端部及び前記第 2 軸に対応する軸上のそれぞれの端部に少なくとも 1 つずつ設けられる

請求項 3 に記載の光走査装置。

【請求項 5】

20

前記プロセッサは、

複数周期の前記第 1 駆動信号に対する前記第 1 角度検出センサの出力信号の第 1 位相遅延時間を平均化することによって第 1 平均位相遅延時間を導出し、

複数周期の前記第 2 駆動信号に対する前記第 2 角度検出センサの出力信号の第 2 位相遅延時間を平均化することによって第 2 平均位相遅延時間を導出し、

前記第 1 角度検出センサの出力信号が、前記ミラー部の前記第 1 軸周りの角度が前記第 1 基準角になったことを表す時点は、前記第 1 駆動信号が、前記ミラー部の前記第 1 軸周りの角度が前記第 1 基準角になったことを表す時点から前記第 1 平均位相遅延時間が経過した時点であり、

前記第 2 角度検出センサの出力信号が、前記ミラー部の前記第 2 軸周りの角度が前記第 2 基準角になったことを表す時点は、前記第 2 駆動信号が、前記ミラー部の前記第 2 軸周りの角度が前記第 2 基準角になったことを表す時点から前記第 2 平均位相遅延時間が経過した時点である

30

請求項 1 から請求項 4 の何れか 1 項に記載の光走査装置。

【請求項 6】

前記プロセッサは、

前記第 1 角度検出センサの出力信号がゼロである時点の前記第 1 位相遅延時間を平均化することによって前記第 1 平均位相遅延時間を導出し、

前記第 2 角度検出センサの出力信号がゼロである時点の前記第 2 位相遅延時間を平均化することによって前記第 2 平均位相遅延時間を導出する

40

請求項 5 に記載の光走査装置。

【請求項 7】

前記プロセッサは、

対応する周期の前記第 1 駆動信号がゼロである時点から前記第 1 角度検出センサの出力信号がゼロである時点までの前記第 1 位相遅延時間を平均化することによって前記第 1 平均位相遅延時間を導出し、

対応する周期の前記第 2 駆動信号がゼロである時点から前記第 2 角度検出センサの出力信号がゼロである時点までの前記第 2 位相遅延時間を平均化することによって前記第 2 平均位相遅延時間を導出する

請求項 6 に記載の光走査装置。

50

【請求項 8】

前記第 1 基準角及び前記第 2 基準角はゼロであり、

前記第 1 ずれ時間は、前記第 1 角度検出センサの出力信号が前記ミラー部の前記第 1 軸周りの角度がゼロになったことを表す時点から、前記光検出器の出力信号が前記ミラー部の前記第 1 軸周りの角度がゼロになったことを表す時点までの時間であり、

前記第 2 ずれ時間は、前記第 2 角度検出センサの出力信号が前記ミラー部の前記第 2 軸周りの角度がゼロになったことを表す時点から、前記光検出器の出力信号が前記ミラー部の前記第 2 軸周りの角度がゼロになったことを表す時点までの時間である、

請求項 5 から請求項 7 の何れか 1 項に記載の光走査装置。

【請求項 9】

前記プロセッサは、

前記第 1 角度検出センサの出力信号が前記ミラー部の前記第 1 軸周りの角度が前記第 1 基準角になったことを表す時点から前記第 1 ずれ時間を経過した時点で、前記第 1 基準信号を生成し、

前記第 2 角度検出センサの出力信号が前記ミラー部の前記第 2 軸周りの角度が前記第 2 基準角になったことを表す時点から前記第 2 ずれ時間を経過した時点で、前記第 2 基準信号を生成する

請求項 5 から請求項 8 の何れか 1 項に記載の光走査装置。

【請求項 10】

前記第 1 ずれ時間及び前記第 2 ずれ時間を導出するずれ時間導出モードを備えており、

前記プロセッサは、

キャリブレーションの際に前記ずれ時間導出モードを実行することにより、予め設定された条件毎に、前記第 1 ずれ時間及び前記第 2 ずれ時間を取得し、

前記第 1 基準信号及び前記第 2 基準信号を生成する際には、前記キャリブレーションにおいて予め取得した前記第 1 ずれ時間及び前記第 2 ずれ時間を使用する

請求項 9 に記載の光走査装置。

【請求項 11】

前記条件は、前記第 1 位相遅延時間及び前記第 2 位相遅延時間を含む

請求項 10 に記載の光走査装置。

【請求項 12】

前記条件は、更に、前記第 1 駆動信号の駆動電圧及び前記第 2 駆動信号の駆動電圧を含む

請求項 11 に記載の光走査装置。

【請求項 13】

前記条件は、更に、前記第 1 駆動周波数及び前記第 2 駆動周波数を含む

請求項 11 又は請求項 12 に記載の光走査装置。

【請求項 14】

前記条件は、更に、環境温度を含む

請求項 11 から請求項 13 の何れか 1 項に記載の光走査装置。

【請求項 15】

前記光検出器は、フォトダイオードである

請求項 1 から請求項 14 の何れか 1 項に記載の光走査装置。

【請求項 16】

前記光検出器は、画像の描画中には駆動しない状態とされる

請求項 1 から請求項 15 の何れか 1 項に記載の光走査装置。

【請求項 17】

前記第 1 角度検出センサは、前記第 1 軸又は前記第 2 軸を挟んで対向する位置に配置された一対の角度検出センサであり、

前記第 1 角度検出センサの出力信号は、一対の角度検出センサから出力された一対の出力信号を加算又は減算することにより得られる出力信号であり、

前記第 2 角度検出センサは、前記第 1 軸又は前記第 2 軸を挟んで対向する位置に配置さ

10

20

30

40

50

れた一对の角度検出センサであり、

前記第2角度検出センサの出力信号は、一对の角度検出センサから出力された一对の出力信号を加算又は減算することにより得られる出力信号である

請求項1から請求項16の何れか1項に記載の光走査装置。

【請求項18】

請求項1から請求項17の何れか1項に記載の光走査装置と、

前記ミラー部に光を照射する光源と、

を備える画像描画システム。

【請求項19】

入射光を反射する反射面を有するミラー部と、

前記ミラー部の静止時の前記反射面を含む平面内にある第1軸の周りに前記ミラー部を揺動させる第1アクチュエータと、

前記ミラー部の静止時の前記反射面を含む平面内であって前記第1軸に交差する第2軸の周りに前記ミラー部を揺動させる第2アクチュエータと、

前記ミラー部の前記第1軸周りの角度に応じた信号を出力する第1角度検出センサと、

前記ミラー部の前記第2軸周りの角度に応じた信号を出力する第2角度検出センサと、

前記ミラー部からの反射光を受光可能な位置に設けられた少なくとも1つの光検出器と、
を備える光走査装置の駆動方法であって、

前記第1アクチュエータに第1駆動周波数を有する第1駆動信号を付与し、

前記第2アクチュエータに第2駆動周波数を有する第2駆動信号を付与し、

前記ミラー部の前記第1軸周りの角度が第1基準角になったことを表す第1基準信号の生成タイミングの補正に用いられるずれ時間であって、前記第1角度検出センサの出力信号が、前記ミラー部の前記第1軸周りの角度が前記第1基準角になったことを表す時点に対する前記ミラー部の前記第1軸周りの角度が前記第1基準角になった時点の第1ずれ時間を前記光検出器の出力信号に基づいて導出し、

前記ミラー部の前記第2軸周りの角度が第2基準角になったことを表す第2基準信号の生成タイミングの補正に用いられるずれ時間であって、前記第2角度検出センサの出力信号が、前記ミラー部の前記第2軸周りの角度が前記第2基準角になったことを表す時点に対する前記ミラー部の前記第2軸周りの角度が前記第2基準角になった時点の第2ずれ時間を前記光検出器の出力信号に基づいて導出する

光走査装置の駆動方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、光走査装置、光走査装置の駆動方法、及び画像描画システムに関する。

【背景技術】

【0002】

シリコン(Si)の微細加工技術を用いて作製される微小電気機械システム(Micro Electro Mechanical Systems: MEMS)デバイスの1つとしてマイクロミラーデバイス(マイクロスキャナともいう)が知られている。このマイクロミラーデバイスを備える光走査装置は、小型かつ低消費電力であることから、レーザーディスプレイ又はレーザープロジェクタ等の画像描画システムへの応用が期待されている。

【0003】

マイクロミラーデバイスは、ミラー部が、互いに直交する第1軸及び第2軸の周りに揺動可能に形成されており、ミラー部が各軸の周りに揺動することで、ミラー部が反射した光を二次元的に走査する。また、ミラー部を各軸の周りに共振させることにより、光をリサージュ走査することを可能とするマイクロミラーデバイスが知られている。

【0004】

特許文献1には、ミラー部を保護するとともに、ミラー部による光の反射方向に設けられてミラー部が反射した光を透過する保護部材と、保護部材において、ミラー部が反射し

10

20

30

40

50

た光を透過する範囲内から範囲外に渡って設けられる光検出器と、を備えるマイクロミラー装置が開示されている。このマイクロミラー装置は、光検出器による光の検出状態に応じてミラー部の振幅を制御する。

【0005】

特許文献2には、ミラー部の角度情報を検出するための光検出器を備える光走査装置が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】特開2010-256774号公報

10

【文献】国際公開2014/097683号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上記の光走査装置では、ミラー部の角度が基準角となったことを表す基準信号（例えば、ゼロクロス信号）に基づいて、ミラー部に光を照射する光源による光の照射タイミングが制御される。すなわち、光走査装置によるミラー部の角度が基準角となったタイミングの検知精度が低下すると、描画される画像の画質が低下してしまう。

【0008】

しかしながら、特許文献1及び特許文献2に記載の技術では、光検出器を用いてミラー部の角度が基準角となったタイミングの検知精度を向上させることについては考慮されていない。

20

【0009】

本開示は、以上の事情を鑑みてなされたものであり、描画される画像の画質の低下を抑制することができる光走査装置、光走査装置の駆動方法、及び画像描画システム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】

【0010】

本開示の光走査装置は、入射光を反射する反射面を有するミラー部と、ミラー部の静止時の反射面を含む平面内にある第1軸の周りにミラー部を揺動させる第1アクチュエータと、ミラー部の静止時の反射面を含む平面内であって第1軸に交差する第2軸の周りにミラー部を揺動させる第2アクチュエータと、ミラー部の第1軸周りの角度に応じた信号を出力する第1角度検出センサと、ミラー部の第2軸周りの角度に応じた信号を出力する第2角度検出センサと、ミラー部からの反射光を受光可能な位置に設けられた少なくとも1つの光検出器と、少なくとも1つのプロセッサと、を備える光走査装置であって、プロセッサは、第1アクチュエータに第1駆動周波数を有する第1駆動信号を付与し、第2アクチュエータに第2駆動周波数を有する第2駆動信号を付与し、ミラー部の第1軸周りの角度が第1基準角になったことを表す第1基準信号の生成タイミングの補正に用いられるずれ時間であって、第1角度検出センサの出力信号が、ミラー部の第1軸周りの角度が第1基準角になったことを表す時点に対するミラー部の第1軸周りの角度が第1基準角になった時点の第1ずれ時間を光検出器の出力信号に基づいて導出し、ミラー部の第2軸周りの角度が第2基準角になったことを表す第2基準信号の生成タイミングの補正に用いられるずれ時間であって、第2角度検出センサの出力信号が、ミラー部の第2軸周りの角度が第2基準角になったことを表す時点に対するミラー部の第2軸周りの角度が第2基準角になった時点の第2ずれ時間を光検出器の出力信号に基づいて導出する。

30

40

【0011】

なお、本開示の光走査装置は、光検出器が、ミラー部からの反射光により画像が描画される領域の中央に1つ設けられてもよい。

【0012】

また、本開示の光走査装置は、光検出器が、ミラー部からの反射光により画像が描画可

50

能な領域における第1軸に対応する軸上及び第2軸に対応する軸上に設けられてもよい。

【0013】

また、本開示の光走査装置は、光検出器が、ミラー部からの反射光により画像が描画可能な領域における第1軸に対応する軸上のそれぞれの端部及び第2軸に対応する軸上のそれぞれの端部に少なくとも1つずつ設けられてもよい。

【0014】

また、本開示の光走査装置は、プロセッサが、複数周期の第1駆動信号に対する第1角度検出センサの出力信号の第1位相遅延時間を平均化することによって第1平均位相遅延時間を導出し、複数周期の第2駆動信号に対する第2角度検出センサの出力信号の第2位相遅延時間を平均化することによって第2平均位相遅延時間を導出し、第1角度検出センサの出力信号が、ミラー部の第1軸周りの角度が第1基準角になったことを表す時点は、第1駆動信号が、ミラー部の第1軸周りの角度が第1基準角になったことを表す時点から第1平均位相遅延時間が経過した時点であり、第2角度検出センサの出力信号が、ミラー部の第2軸周りの角度が第2基準角になったことを表す時点は、第2駆動信号が、ミラー部の第2軸周りの角度が第2基準角になったことを表す時点から第2平均位相遅延時間が経過した時点であってもよい。

10

【0015】

また、本開示の光走査装置は、プロセッサが、第1角度検出センサの出力信号がゼロである時点の第1位相遅延時間を平均化することによって第1平均位相遅延時間を導出し、第2角度検出センサの出力信号がゼロである時点の第2位相遅延時間を平均化することによって第2平均位相遅延時間を導出してよい。

20

【0016】

また、本開示の光走査装置は、プロセッサが、対応する周期の第1駆動信号がゼロである時点から第1角度検出センサの出力信号がゼロである時点までの第1位相遅延時間を平均化することによって第1平均位相遅延時間を導出し、対応する周期の第2駆動信号がゼロである時点から第2角度検出センサの出力信号がゼロである時点までの第2位相遅延時間を平均化することによって第2平均位相遅延時間を導出してよい。

【0017】

また、本開示の光走査装置は、第1基準角及び第2基準角がゼロであり、第1ずれ時間は、第1角度検出センサの出力信号がミラー部の第1軸周りの角度がゼロになったことを表す時点から、光検出器の出力信号がミラー部の第1軸周りの角度がゼロになったことを表す時点までの時間であり、第2ずれ時間は、第2角度検出センサの出力信号がミラー部の第2軸周りの角度がゼロになったことを表す時点から、光検出器の出力信号がミラー部の第2軸周りの角度がゼロになったことを表す時点までの時間であってもよい。

30

【0018】

また、本開示の光走査装置は、プロセッサが、第1角度検出センサの出力信号がミラー部の第1軸周りの角度が第1基準角になったことを表す時点から第1ずれ時間を経過した時点に、第1基準信号を生成し、第2角度検出センサの出力信号がミラー部の第2軸周りの角度が第2基準角になったことを表す時点から第2ずれ時間を経過した時点に、第2基準信号を生成してもよい。

40

【0019】

また、本開示の光走査装置は、第1ずれ時間及び第2ずれ時間を導出するずれ時間導出モードを備えており、プロセッサが、キャリブレーションの際にずれ時間導出モードを実行することにより、予め設定された条件毎に、第1ずれ時間及び第2ずれ時間を取得し、第1基準信号及び第2基準信号を生成する際には、キャリブレーションにおいて予め取得した第1ずれ時間及び第2ずれ時間を使用してもよい。

【0020】

また、本開示の光走査装置は、上記条件が、第1位相遅延時間及び第2位相遅延時間を含んでもよい。

【0021】

50

また、本開示の光走査装置は、上記条件が、更に、第1駆動信号の駆動電圧及び第2駆動信号の駆動電圧を含んでもよい。

【0022】

また、本開示の光走査装置は、上記条件が、更に、第1駆動周波数及び第2駆動周波数を含んでもよい。

【0023】

また、本開示の光走査装置は、上記条件が、更に、環境温度を含んでもよい。

【0024】

また、本開示の光走査装置は、光検出器が、フォトダイオードであってもよい。

【0025】

また、本開示の光走査装置は、光検出器が、画像の描画中には駆動しない状態とされてもよい。

【0026】

また、本開示の光走査装置は、第1角度検出センサが、第1軸又は第2軸を挟んで対向する位置に配置された一对の角度検出センサであり、第1角度検出センサの出力信号が、一对の角度検出センサから出力された一对の出力信号を加算又は減算することにより得られる出力信号であり、第2角度検出センサが、第1軸又は第2軸を挟んで対向する位置に配置された一对の角度検出センサであり、第2角度検出センサの出力信号が、一对の角度検出センサから出力された一对の出力信号を加算又は減算することにより得られる出力信号であってもよい。

【0027】

また、本開示の画像描画システムは、上記の何れかの光走査装置と、ミラー部に光を照射する光源と、を備える。

【0028】

また、本開示の光走査装置の駆動方法は、入射光を反射する反射面を有するミラー部と、ミラー部の静止時の反射面を含む平面内にある第1軸の周りにミラー部を揺動させる第1アクチュエータと、ミラー部の静止時の反射面を含む平面内であって第1軸に交差する第2軸の周りにミラー部を揺動させる第2アクチュエータと、ミラー部の第1軸周りの角度に応じた信号を出力する第1角度検出センサと、ミラー部の第2軸周りの角度に応じた信号を出力する第2角度検出センサと、ミラー部からの反射光を受光可能な位置に設けられた少なくとも1つの光検出器と、を備える光走査装置の駆動方法であって、第1アクチュエータに第1駆動周波数を有する第1駆動信号を付与し、第2アクチュエータに第2駆動周波数を有する第2駆動信号を付与し、ミラー部の第1軸周りの角度が第1基準角になったことを表す第1基準信号の生成タイミングの補正に用いられるずれ時間であって、第1角度検出センサの出力信号が、ミラー部の第1軸周りの角度が第1基準角になったことを表す時点に対するミラー部の第1軸周りの角度が第1基準角になった時点の第1ずれ時間を光検出器の出力信号に基づいて導出し、ミラー部の第2軸周りの角度が第2基準角になったことを表す第2基準信号の生成タイミングの補正に用いられるずれ時間であって、第2角度検出センサの出力信号が、ミラー部の第2軸周りの角度が第2基準角になったことを表す時点に対するミラー部の第2軸周りの角度が第2基準角になった時点の第2ずれ時間を光検出器の出力信号に基づいて導出するものである。

【発明の効果】

【0029】

本開示によれば、描画される画像の画質の低下を抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】画像描画システムの概略図である。

【図2】マイクロミラーデバイスの外観斜視図である。

【図3】第1駆動信号の一例を示すグラフである。

【図4】第2駆動信号の一例を示すグラフである。

10

20

30

40

50

- 【図 5】 駆動制御部の機能的な構成の一例を示すブロック図である。
- 【図 6】 一对の第 1 角度検出センサから出力される信号の一例を示す図である。
- 【図 7】 一对の第 2 角度検出センサから出力される信号の一例を示す図である。
- 【図 8】 第 1 信号処理部の構成の一例を示す回路図である。
- 【図 9】 第 1 信号処理の一例を示す図である。
- 【図 10】 第 2 信号処理の一例を示す図である。
- 【図 11】 第 1 角度検出信号がゼロクロスするタイミングがずれることを説明するための図である。
- 【図 12】 第 1 平均位相遅延時間の導出処理を説明するための図である。
- 【図 13】 第 2 平均位相遅延時間の導出処理を説明するための図である。 10
- 【図 14】 第 1 平均位相遅延時間と第 1 ずれ時間との関係の一例を示す図である。
- 【図 15】 第 2 平均位相遅延時間と第 2 ずれ時間との関係の一例を示す図である。
- 【図 16】 第 1 ゼロクロスパルスの生成処理を説明するための図である。
- 【図 17】 第 2 ゼロクロスパルスの生成処理を説明するための図である。
- 【図 18】 第 1 ずれ時間導出処理の一例を示すフローチャートである。
- 【図 19】 第 2 ずれ時間導出処理の一例を示すフローチャートである。
- 【図 20】 第 1 ゼロクロスパルス生成処理の一例を示すフローチャートである。
- 【図 21】 第 2 ゼロクロスパルス生成処理の一例を示すフローチャートである。
- 【図 22】 キャリブレーションの際の光検出器の配置位置を説明するための図である。
- 【図 23】 第 1 キャリブレーション処理の一例を示すフローチャートである。 20
- 【図 24】 第 1 キャリブレーション処理を説明するための図である。
- 【図 25】 第 2 キャリブレーション処理の一例を示すフローチャートである。
- 【図 26】 第 2 キャリブレーション処理を説明するための図である。
- 【図 27】 変形例に係るマイクロミラーデバイスの平面図である。
- 【図 28】 変形例に係る第 1 信号処理部の構成を示す回路図である。
- 【図 29】 変形例に係る光検出器の配置位置を示す図である。
- 【図 30】 変形例に係る第 1 キャリブレーション処理を説明するための図である。
- 【図 31】 変形例に係る第 2 キャリブレーション処理を説明するための図である。
- 【図 32】 変形例に係る光検出器の配置位置を示す図である。
- 【図 33】 変形例に係る光検出器の配置位置を示す図である。 30
- 【図 34】 第 1 駆動信号の駆動電圧を異ならせた場合の第 1 平均位相遅延時間と第 1 ずれ時間との関係の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0031】

以下、図面を参照して、本開示の技術を実施するための形態例を詳細に説明する。

【0032】

まず、図 1 を参照して、本実施形態に係る画像描画システム 10 の構成を説明する。図 1 に示すように、画像描画システム 10 は、光走査装置 2 と光源 3 とを有する。光走査装置 2 は、マイクロミラーデバイス（以下、「MMD (Micro Mirror Device)」という) 4 と、駆動制御部 5 と、光検出器 7 とを含む。駆動制御部 5 は、開示の技術に係るプロセッサの一例である。 40

【0033】

画像描画システム 10 は、駆動制御部 5 の制御に従って、光源 3 から照射された光ビーム L を MMD 4 により反射して被走査面 6 を光走査することにより、画像を描画する。被走査面 6 は、例えば、画像を投影するためのスクリーン、又は人の目の網膜等である。

【0034】

画像描画システム 10 は、例えば、リサーチ走査方式のレーザーディスプレイに適用される。具体的には、画像描画システム 10 は、AR (Augmented Reality) グラス又は VR (Virtual Reality) グラス等のレーザーディスプレイに適用可能である。

【0035】

MMD 4は、第1軸 a_1 と、第1軸 a_1 に直交する第2軸 a_2 との周りに、ミラー部 20 (図2参照)を揺動させることを可能とする圧電型2軸駆動方式のマイクロミラーデバイスである。以下、第2軸 a_2 と平行な方向をX方向、第1軸 a_1 と平行な方向をY方向、第1軸 a_1 及び第2軸 a_2 に直交する方向をZ方向という。本実施形態では、第1軸 a_1 と第2軸 a_2 とが直交する(すなわち、垂直に交差する)例を示しているが、第1軸 a_1 と第2軸 a_2 とは90°以外の角度で交差してもよい。ここでいう交差とは、90度を中心として、許容誤差を含む一定の角度範囲内のことを意味する。

【0036】

光源3は、光ビームLとして、例えばレーザー光を発するレーザー装置である。光源3は、例えば、R(Red)、G(Green)、及びB(Blue)の3色のレーザー光を出力する。光源3は、MMD4のミラー部20が静止した状態において、ミラー部20が備える反射面20A(図2参照)に垂直に光ビームLを照射することが好ましい。なお、光源3から反射面20Aに垂直に光ビームLを照射する場合、光ビームLを被走査面6に走査して描画する際に、光源3が障害物となる可能性がある。このため、光源3から発せられた光ビームLを、光学系で制御して、反射面20Aに垂直に照射することが好ましい。光学系は、レンズを含むものであってもよいし、レンズを含まないものであってもよい。また、光源3から発せられた光ビームLを反射面20Aに照射する角度は垂直に限られず、光ビームLを反射面20Aに対して斜めに照射してもよい。

10

【0037】

駆動制御部5は、光走査情報に基づいて光源3及びMMD4に駆動信号を出力する。光源3は、入力された駆動信号に基づいて光ビームLを発生してMMD4に照射する。MMD4は、入力された駆動信号に基づいて、ミラー部20を第1軸 a_1 及び第2軸 a_2 の周りに揺動させる。

20

【0038】

駆動制御部5がミラー部20を第1軸 a_1 及び第2軸 a_2 の周りにそれぞれ共振させることにより、ミラー部20で反射される光ビームLが被走査面6上においてリサージュ波形を描くように走査される。この光走査方式は、リサージュ走査方式と呼ばれる。

【0039】

光検出器7は、入射光を光電変換し、光量に応じた信号を出力する。詳細は後述するが、光検出器7は、描画データに基づいてMMD4からの反射光によって画像を被走査面6に描画する際には使用されず、キャリブレーションの際に使用される。光検出器7の例としては、フォトダイオード等が挙げられる。

30

【0040】

次に、図2を参照して、本実施形態に係るMMD4の構成を説明する。図2に示すように、MMD4は、ミラー部20、第1支持部21、第1可動枠22、第2支持部23、第2可動枠24、接続部25、及び固定枠26を有する。MMD4は、いわゆるMEMSスキャナである。

【0041】

ミラー部20は、入射光を反射する反射面20Aを有する。反射面20Aは、ミラー部20の一面に設けられ、例えば、金(Au)、アルミニウム(Al)、銀(Ag)、又は銀の合金等の金属薄膜で形成されている。反射面20Aの形状は、例えば、第1軸 a_1 と第2軸 a_2 との交点を中心とした円形状である。

40

【0042】

第1軸 a_1 及び第2軸 a_2 は、ミラー部20が静止した静止時において反射面20Aを含む平面内に存在する。MMD4の平面形状は、矩形状であって、第1軸 a_1 に関して線対称であり、かつ第2軸 a_2 に関して線対称である。

【0043】

第1支持部21は、ミラー部20の外側に、第2軸 a_2 を挟んで対向する位置にそれぞれ配置されている。第1支持部21は、第1軸 a_1 上でミラー部20と接続されており、ミラー部20を第1軸 a_1 周りに揺動可能に支持している。本実施形態では、第1支持部

50

2 1 は、第 1 軸 a_1 に沿って延伸したトーションバーである。

【 0 0 4 4 】

第 1 可動枠 2 2 は、ミラー部 2 0 を取り囲む矩形形状の枠体であって、第 1 軸 a_1 上で第 1 支持部 2 1 を介してミラー部 2 0 と接続されている。第 1 可動枠 2 2 の上には、第 1 軸 a_1 を挟んで対向する位置にそれぞれ圧電素子 3 0 が形成されている。このように、第 1 可動枠 2 2 上に 2 つの圧電素子 3 0 が形成されることにより、一对の第 1 アクチュエータ 3 1 が構成されている。

【 0 0 4 5 】

一对の第 1 アクチュエータ 3 1 は、第 1 軸 a_1 を挟んで対向する位置に配置されている。第 1 アクチュエータ 3 1 は、ミラー部 2 0 に、第 1 軸 a_1 周りの回転トルクを作用させることにより、ミラー部 2 0 を第 1 軸 a_1 周りに揺動させる。

10

【 0 0 4 6 】

第 2 支持部 2 3 は、第 1 可動枠 2 2 の外側に、第 1 軸 a_1 を挟んで対向する位置にそれぞれ配置されている。第 2 支持部 2 3 は、第 2 軸 a_2 上で第 1 可動枠 2 2 と接続されており、第 1 可動枠 2 2 及びミラー部 2 0 を、第 2 軸 a_2 周りに揺動可能に支持している。本実施形態では、第 2 支持部 2 3 は、第 2 軸 a_2 に沿って延伸したトーションバーである。

【 0 0 4 7 】

第 2 可動枠 2 4 は、第 1 可動枠 2 2 を取り囲む矩形形状の枠体であって、第 2 軸 a_2 上で第 2 支持部 2 3 を介して第 1 可動枠 2 2 と接続されている。第 2 可動枠 2 4 の上には、第 2 軸 a_2 を挟んで対向する位置にそれぞれ圧電素子 3 0 が形成されている。このように、第 2 可動枠 2 4 上に 2 つの圧電素子 3 0 が形成されることにより、一对の第 2 アクチュエータ 3 2 が構成されている。

20

【 0 0 4 8 】

一对の第 2 アクチュエータ 3 2 は、第 2 軸 a_2 を挟んで対向する位置に配置されている。第 2 アクチュエータ 3 2 は、ミラー部 2 0 及び第 1 可動枠 2 2 に、第 2 軸 a_2 の周りの回転トルクを作用させることにより、第 2 軸 a_2 の周りにミラー部 2 0 を揺動させる。

【 0 0 4 9 】

接続部 2 5 は、第 2 可動枠 2 4 の外側に、第 1 軸 a_1 を挟んで対向する位置にそれぞれ配置されている。接続部 2 5 は、第 2 軸 a_2 上で第 2 可動枠 2 4 と接続されている。

【 0 0 5 0 】

固定枠 2 6 は、第 2 可動枠 2 4 を取り囲む矩形形状の枠体であって、第 2 軸 a_2 上で接続部 2 5 を介して第 2 可動枠 2 4 と接続されている。

30

【 0 0 5 1 】

また、第 1 可動枠 2 2 には、第 1 支持部 2 1 の近傍に、第 1 軸 a_1 を挟んで対向する位置に一对の第 1 角度検出センサ 1 1 A、1 1 B が設けられている。一对の第 1 角度検出センサ 1 1 A、1 1 B は、それぞれ圧電素子により構成されている。第 1 角度検出センサ 1 1 A、1 1 B は、それぞれ、ミラー部 2 0 の第 1 軸 a_1 周りの回転に伴う第 1 支持部 2 1 の変形により加わる力を電圧に変換して信号を出力する。すなわち、第 1 角度検出センサ 1 1 A、1 1 B は、ミラー部 2 0 の第 1 軸 a_1 周りの角度に応じた信号を出力する。

【 0 0 5 2 】

また、第 2 可動枠 2 4 には、第 2 支持部 2 3 の近傍に、第 2 軸 a_2 を挟んで対向する位置に一对の第 2 角度検出センサ 1 2 A、1 2 B が設けられている。一对の第 2 角度検出センサ 1 2 A、1 2 B は、それぞれ圧電素子により構成されている。第 2 角度検出センサ 1 2 A、1 2 B は、それぞれ、ミラー部 2 0 の第 2 軸 a_2 周りの回転に伴う第 2 支持部 2 3 の変形により加わる力を電圧に変換して信号を出力する。すなわち、第 2 角度検出センサ 1 2 A、1 2 B は、ミラー部 2 0 の第 2 軸 a_2 周りの角度に応じた信号を出力する。

40

【 0 0 5 3 】

図 2 では、第 1 アクチュエータ 3 1 及び第 2 アクチュエータ 3 2 に駆動信号を与えるための配線及び電極パッドについては図示を省略している。また、図 2 では、第 1 角度検出センサ 1 1 A、1 1 B 及び第 2 角度検出センサ 1 2 A、1 2 B から信号を出力するための

50

配線及び電極パッドについても図示を省略している。電極パッドは、固定枠 26 上に複数設けられる。

【0054】

ミラー部 20 の第 1 軸 a_1 周りの振れ角（以下、「第 1 振れ角」という） θ_1 は、駆動制御部 5 が第 1 アクチュエータ 31 に与える駆動信号（以下、「第 1 駆動信号」という）により制御される。第 1 駆動信号は、例えば正弦波の交流電圧である。第 1 駆動信号は、一对の第 1 アクチュエータ 31 の一方に印加される駆動電圧波形 $V_{1A}(t)$ と、他方に印加される駆動電圧波形 $V_{1B}(t)$ とを含む。駆動電圧波形 $V_{1A}(t)$ と駆動電圧波形 $V_{1B}(t)$ は、互いに逆位相（すなわち位相差 180° ）である。

【0055】

なお、第 1 振れ角 θ_1 は、反射面 20A の法線が、XZ 平面において Z 方向に対して傾斜する角度である。

【0056】

ミラー部 20 の第 2 軸 a_2 周りの振れ角（以下、「第 2 振れ角」という） θ_2 は、駆動制御部 5 が第 2 アクチュエータ 32 に与える駆動信号（以下、「第 2 駆動信号」という）により制御される。第 2 駆動信号は、例えば正弦波の交流電圧である。第 2 駆動信号は、一对の第 2 アクチュエータ 32 の一方に印加される駆動電圧波形 $V_{2A}(t)$ と、他方に印加される駆動電圧波形 $V_{2B}(t)$ とを含む。駆動電圧波形 $V_{2A}(t)$ と駆動電圧波形 $V_{2B}(t)$ は、互いに逆位相（すなわち位相差 180° ）である。

【0057】

なお、第 2 振れ角 θ_2 は、反射面 20A の法線が、YZ 平面において Z 方向に対して傾斜する角度である。

【0058】

図 3 に、第 1 駆動信号の一例を示し、図 4 に、第 2 駆動信号の一例を示す。図 3 は、第 1 駆動信号に含まれる駆動電圧波形 $V_{1A}(t)$ 及び $V_{1B}(t)$ を示す。図 4 は、第 2 駆動信号に含まれる駆動電圧波形 $V_{2A}(t)$ 及び $V_{2B}(t)$ を示す。

【0059】

駆動電圧波形 $V_{1A}(t)$ 及び $V_{1B}(t)$ は、それぞれ次のように表される。

$$\begin{aligned} V_{1A}(t) &= V_{off1} + V_1 \sin(2\pi f_{d1}t) \\ V_{1B}(t) &= V_{off1} + V_1 \sin(2\pi f_{d1}t + \pi) \end{aligned}$$

【0060】

ここで、 V_1 は振幅電圧である。 V_{off1} はバイアス電圧である。 V_{off1} はゼロでもよい。 f_{d1} は駆動周波数（以下、「第 1 駆動周波数」という）である。 t は時間である。 π は、駆動電圧波形 $V_{1A}(t)$ 及び $V_{1B}(t)$ の位相差である。本実施形態では、例えば、 $\pi = 180^\circ$ とする。

【0061】

駆動電圧波形 $V_{1A}(t)$ 及び $V_{1B}(t)$ が一对の第 1 アクチュエータ 31 に印加されることにより、ミラー部 20 は、第 1 駆動周波数 f_{d1} で第 1 軸 a_1 周りに揺動する。

【0062】

駆動電圧波形 $V_{2A}(t)$ 及び $V_{2B}(t)$ は、それぞれ次のように表される。

$$\begin{aligned} V_{2A}(t) &= V_{off2} + V_2 \sin(2\pi f_{d2}t + \phi) \\ V_{2B}(t) &= V_{off2} + V_2 \sin(2\pi f_{d2}t + \phi + \pi) \end{aligned}$$

【0063】

ここで、 V_2 は振幅電圧である。 V_{off2} はバイアス電圧である。 V_{off2} はゼロでもよい。 f_{d2} は駆動周波数（以下、「第 2 駆動周波数」という）である。 t は時間である。 ϕ は、駆動電圧波形 $V_{2A}(t)$ 及び $V_{2B}(t)$ の位相差である。本実施形態では、例えば、 $\pi = 180^\circ$ とする。また、 ϕ は、駆動電圧波形 $V_{1A}(t)$ 及び $V_{1B}(t)$ と、駆動電圧波形 $V_{2A}(t)$ 及び $V_{2B}(t)$ との位相差である。

【0064】

駆動電圧波形 $V_{2A}(t)$ 及び $V_{2B}(t)$ が一对の第 2 アクチュエータ 32 に印加され

10

20

30

40

50

ることにより、ミラー部 20 は、第 2 駆動周波数 f_{d2} で第 2 軸 a_2 周りに揺動する。

【0065】

第 1 駆動周波数 f_{d1} は、ミラー部 20 の第 1 軸 a_1 周りの共振周波数に一致するように設定される。第 2 駆動周波数 f_{d2} は、ミラー部 20 の第 2 軸 a_2 周りの共振周波数に一致するように設定される。本実施形態では、 $f_{d1} > f_{d2}$ とする。すなわち、ミラー部 20 は、第 1 軸 a_1 周りの揺動周波数が、第 2 軸 a_2 周りの揺動周波数よりも高い。なお、第 1 駆動周波数 f_{d1} 及び第 2 駆動周波数 f_{d2} は、必ずしも共振周波数と一致していなくてもよい。例えば、第 1 駆動周波数 f_{d1} 及び第 2 駆動周波数 f_{d2} は、それぞれ共振周波数の近傍の周波数範囲（例えば、共振周波数をピーク値とする周波数分布の半値幅の範囲）内の周波数であってもよい。この周波数範囲は、例えば、いわゆる Q 値の範囲内である。

10

【0066】

次に、図 5 を参照して、駆動制御部 5 の機能的な構成を説明する。図 5 に示すように、駆動制御部 5 は、第 1 駆動信号生成部 60A、第 2 駆動信号生成部 60B、第 1 信号処理部 61A、第 2 信号処理部 61B、第 1 位相シフト部 62A、第 2 位相シフト部 62B、第 1 導出部 63A、第 2 導出部 63B、第 3 導出部 64、第 1 ゼロクロスパルス出力部 65A、第 2 ゼロクロスパルス出力部 65B、及び光源駆動部 66 を有する。

【0067】

第 1 駆動信号生成部 60A、第 1 信号処理部 61A、及び第 1 位相シフト部 62A は、ミラー部 20 の第 1 軸 a_1 周りの揺動が指定の周波数の振動状態を維持するようにフィードバック制御を行ってもよい。第 2 駆動信号生成部 60B、第 2 信号処理部 61B、及び第 2 位相シフト部 62B は、ミラー部 20 の第 2 軸 a_2 周りの揺動が指定の周波数の振動状態を維持するようにフィードバック制御を行ってもよい。

20

【0068】

第 1 駆動信号生成部 60A は、基準波形に基づいて、上述の駆動電圧波形 $V_{1A}(t)$ 及び $V_{1B}(t)$ を含む第 1 駆動信号を生成し、生成した第 1 駆動信号を、第 1 位相シフト部 62A を介して一対の第 1 アクチュエータ 31 に付与する。これにより、ミラー部 20 は、第 1 軸 a_1 周りに揺動する。

【0069】

第 2 駆動信号生成部 60B は、基準波形に基づいて、上述の駆動電圧波形 $V_{2A}(t)$ 及び $V_{2B}(t)$ を含む第 2 駆動信号を生成し、生成した第 2 駆動信号を、第 2 位相シフト部 62B を介して一対の第 2 アクチュエータ 32 に付与する。これにより、ミラー部 20 は、第 2 軸 a_2 周りに揺動する。

30

【0070】

第 1 駆動信号生成部 60A が生成する第 1 駆動信号と、第 2 駆動信号生成部 60B が生成する第 2 駆動信号とは、第 2 駆動信号に含まれる駆動電圧波形 $V_{2A}(t)$ 及び $V_{2B}(t)$ を示す式において、 ϕ で示したとおり、位相同期されている。

【0071】

第 1 角度検出センサ 11A、11B は、ミラー部 20 の第 1 軸 a_1 周りの角度に応じた信号を出力する。第 2 角度検出センサ 12A、12B は、ミラー部 20 の第 2 軸 a_2 周りの角度に応じた信号を出力する。

40

【0072】

図 6 は、一対の第 1 角度検出センサ 11A、11B から出力される信号の一例を示す。図 6 において、 S_{1a1} 及び S_{1a2} は、ミラー部 20 を第 2 軸 a_2 周りには揺動させずに、第 1 軸 a_1 周りにのみ揺動させた場合に一対の第 1 角度検出センサ 11A、11B から出力される信号を表している。信号 S_{1a1} 、 S_{1a2} は、第 1 駆動周波数 f_{d1} を有する正弦波に近似した波形信号であり、互いに逆位相となる。

【0073】

ミラー部 20 を第 1 軸 a_1 及び第 2 軸 a_2 の周りに同時に揺動させた場合には、一対の第 1 角度検出センサ 11A、11B の出力信号には、ミラー部 20 の第 2 軸 a_2 周りの揺動に起因する振動ノイズ R_{N1} が重畳される。 S_{1b1} は、信号 S_{1a1} に振動ノイズ R

50

N 1 が重畳された信号を表している。S 1 b 2 は、信号 S 1 a 2 に振動ノイズ R N 1 が重畳された信号を表している。なお、図 6 の例では、本実施形態の説明のために、振動ノイズ R N 1 を強調して示している。

【 0 0 7 4 】

図 7 は、一对の第 2 角度検出センサ 1 2 A、1 2 B から出力される信号の一例を示す。図 7 において、S 2 a 1 及び S 2 a 2 は、ミラー部 2 0 を第 1 軸 a 1 周りには揺動させずに、第 2 軸 a 2 周りにはのみ揺動させた場合に一对の第 2 角度検出センサ 1 2 A、1 2 B から出力される信号を表している。信号 S 2 a 1、S 2 a 2 は、第 2 駆動周波数 f_{d2} を有する正弦波に近似した波形信号であり、互いに逆位相となる。

【 0 0 7 5 】

ミラー部 2 0 を第 1 軸 a 1 及び第 2 軸 a 2 の周りに同時に揺動させた場合には、一对の第 2 角度検出センサ 1 2 A、1 2 B の出力信号には、ミラー部 2 0 の第 1 軸 a 1 周りの揺動に起因する振動ノイズ R N 2 が重畳される。S 2 b 1 は、信号 S 2 a 1 に振動ノイズ R N 2 が重畳された信号を表している。S 2 b 2 は、信号 S 2 a 2 に振動ノイズ R N 2 が重畳された信号を表している。なお、図 7 の例では、本実施形態の説明のために、振動ノイズ R N 2 を強調して示している。

【 0 0 7 6 】

第 1 信号処理部 6 1 A は、一对の第 1 角度検出センサ 1 1 A、1 1 B から出力された S 1 a 1、S 1 a 2 に基づいて、振動ノイズ R N 1 が除去された信号（以下、「第 1 角度検出信号」という）S 1 c を生成する。第 2 信号処理部 6 1 B は、一对の第 2 角度検出センサ 1 2 A、1 2 B から出力された S 2 a 1、S 2 a 2 に基づいて、振動ノイズ R N 2 が除去された信号（以下、「第 2 角度検出信号」という）S 2 c を生成する。

【 0 0 7 7 】

第 1 信号処理部 6 1 A は、例えば、一例として図 8 に示す構成の回路によって実現が可能である。図 8 に示すように、第 1 信号処理部 6 1 A は、バッファアンプ 7 1、可変ゲインアンプ 7 2、減算回路 7 3、及びゲイン調整回路 7 4 により構成されている。ゲイン調整回路 7 4 は、第 1 B P F (Band Pass Filter) 回路 7 5 A、第 2 B P F 回路 7 5 B、第 1 検波回路 7 6 A、第 2 検波回路 7 6 B、減算回路 7 7 により構成されている。減算回路 7 3 及び減算回路 7 7 は、オペアンプで構成された差動増幅回路である。

【 0 0 7 8 】

第 1 角度検出センサ 1 1 A から出力された信号 S 1 b 1 は、バッファアンプ 7 1 を経由して、減算回路 7 3 のプラス入力端子（非反転入力端子）に入力される。また、バッファアンプ 7 1 から出力される信号は、減算回路 7 3 に入力されるまでの間に途中で分岐されて、ゲイン調整回路 7 4 内の第 1 B P F 回路 7 5 A に入力される。

【 0 0 7 9 】

第 1 角度検出センサ 1 1 B から出力された信号 S 1 b 2 は、可変ゲインアンプ 7 2 を経由して、減算回路 7 3 のマイナス入力端子（反転入力端子）に入力される。また、可変ゲインアンプ 7 2 から出力される信号は、減算回路 7 3 に入力されるまでの間に途中で分岐されて、ゲイン調整回路 7 4 内の第 2 B P F 回路 7 5 B に入力される。

【 0 0 8 0 】

第 1 B P F 回路 7 5 A 及び第 2 B P F 回路 7 5 B は、それぞれ、第 2 駆動周波数 f_{d2} を中心周波数とする通過帯域 B 1 を有する。通過帯域 B 1 は、例えば、 $f_{d2} \pm 5 \text{ kHz}$ の周波数帯である。振動ノイズ R N 1 は、第 2 駆動周波数 f_{d2} を有するので、通過帯域 B 1 を通過する。したがって、第 1 B P F 回路 7 5 A は、バッファアンプ 7 1 から入力された信号から、振動ノイズ R N 1 を抽出して出力する。第 2 B P F 回路 7 5 B は、可変ゲインアンプ 7 2 から入力された信号から、振動ノイズ R N 1 を抽出して出力する。

【 0 0 8 1 】

第 1 検波回路 7 6 A 及び第 2 検波回路 7 6 B は、それぞれ、例えば、R M S - D C コンバータ (Root Mean Squared value to Direct Current converter) により構成されている。第 1 検波回路 7 6 A は、第 1 B P F 回路 7 5 A から入力された振動ノイズ R N 1

10

20

30

40

50

の振幅をDC電圧信号に変換して、減算回路77のプラス入力端子に入力する。第2検波回路76Bは、第2BPF回路75Bから入力された振動ノイズRN1の振幅をDC電圧信号に変換して、減算回路77のマイナス入力端子に入力する。

【0082】

減算回路77は、第1検波回路76Aから入力されたDC電圧信号から第2検波回路76Bから入力されたDC電圧信号を減算した値 d_1 を出力する。値 d_1 は、第1角度検出センサ11Aから出力された信号 $S1b_1$ に含まれる振動ノイズRN1の振幅と、第1角度検出センサ11Bから出力された信号 $S1b_2$ に含まれる振動ノイズRN1の振幅との差に対応する。減算回路77は、値 d_1 を、ゲイン調整値として可変ゲインアンプ72のゲイン調整端子に入力する。

10

【0083】

可変ゲインアンプ72は、ゲイン調整値として入力された値 d_1 を、第1角度検出センサ11Bから入力される信号 $S1b_2$ に乗じることにより、信号 $S1b_2$ の振幅レベルを調整する。このように、ゲイン調整回路74によりフィードバック制御が行われることで、可変ゲインアンプ72を通過した後の信号 $S1b_2$ に含まれる振動ノイズRN1の振幅が、バッファアンプ71を通過した後の信号 $S1b_1$ に含まれる振動ノイズRN1の振幅と一致するように調整される。

【0084】

減算回路73は、プラス入力端子に入力された信号 $S1b_1$ から、マイナス入力端子に入力された信号 $S1b_2$ を減算した値を出力する。上記のフィードバック制御により両信号に含まれる振動ノイズRN1の振幅が一致しているため、減算回路73による減算処理により、両信号に含まれる振動ノイズRN1が相殺される。従って、減算回路73からは、振動ノイズRN1が除去された信号である第1角度検出信号 $S1c$ （図9参照）が出力される。

20

【0085】

図9は、一对の第1角度検出センサ11A、11Bから出力された $S1b_1$ 、 $S1b_2$ に基づいて、第1角度検出信号 $S1c$ が生成される様子を示している。第1角度検出信号 $S1c$ は、信号 $S1b_1$ から振動ノイズRN1が除去された信号の振幅を2倍とした信号に対応する。

【0086】

ミラー部20の第1軸 a_1 周りの揺動が共振状態を維持している場合には、図9に示すように、第1信号処理部61Aから出力される第1角度検出信号 $S1c$ は、第1駆動信号に含まれる駆動電圧波形 $V1A(t)$ に対して、位相に 90° の遅れが生じる。

30

【0087】

第2信号処理部61Bは、第1信号処理部61Aと同様の構成により実現が可能であるため、説明を省略する。

【0088】

図10は、一对の第2角度検出センサ12A、12Bから出力された $S2b_1$ 、 $S2b_2$ に基づいて、第2角度検出信号 $S2c$ が生成される様子を示している。第2角度検出信号 $S2c$ は、信号 $S2b_1$ から振動ノイズRN2が除去された信号の振幅を2倍とした信号に対応する。

40

【0089】

ミラー部20の第2軸 a_2 周りの揺動が共振状態を維持している場合には、図10に示すように、第2信号処理部61Bから出力される第2角度検出信号 $S2c$ は、第2駆動信号に含まれる駆動電圧波形 $V2A(t)$ に対して、位相に 90° の遅れが生じる。

【0090】

第1信号処理部61Aにより生成された第1角度検出信号 $S1c$ は、第1駆動信号生成部60Aにフィードバックされる。第1位相シフト部62Aは、第1駆動信号生成部60Aから出力された駆動電圧波形の位相をシフトする。第1位相シフト部62Aは、例えば、位相を 90° シフトさせる。

50

【 0 0 9 1 】

第 2 信号処理部 6 1 B により生成された第 2 角度検出信号 S 2 c は、第 2 駆動信号生成部 6 0 B にフィードバックされる。第 2 位相シフト部 6 2 B は、第 2 駆動信号生成部 6 0 B から出力された駆動電圧波形の位相をシフトする。第 2 位相シフト部 6 2 B は、例えば、位相を 9 0 ° シフトさせる。

【 0 0 9 2 】

第 1 信号処理部 6 1 A により生成される第 1 角度検出信号 S 1 c は、理想的には正弦波となるが、滑らかな正弦波とならない場合が多い。これは、第 1 信号処理部 6 1 A による処理では、ミラー部 2 0 の第 2 軸 a 2 周りの揺動の影響を除去しきれないためである。この場合、一例として図 1 1 に示すように、第 1 角度検出信号 S 1 c がゼロクロスするタイミングは、周期によって若干ずれてしまう。図 1 1 では、複数周期の第 1 角度検出信号 S 1 c がゼロクロスするタイミングの波形を重ね合わせた例を示している。

10

【 0 0 9 3 】

そこで、第 1 導出部 6 3 A は、複数周期の第 1 角度検出信号 S 1 c を平均化することによって、上記の周期毎のずれによる影響を低減する。以下、第 1 導出部 6 3 A による処理を説明する。

【 0 0 9 4 】

第 1 導出部 6 3 A は、直近の複数周期の第 1 駆動信号に対する第 1 角度検出信号 S 1 c の位相遅延時間（以下、「第 1 位相遅延時間」という）を平均化することによって第 1 平均位相遅延時間を導出する。具体的には、一例として図 1 2 に示すように、第 1 導出部 6 3 A は、直近の複数周期の第 1 駆動信号及び第 1 角度検出信号 S 1 c について、対応する周期の第 1 駆動信号がゼロである時点から第 1 角度検出信号 S 1 c がゼロである時点までの第 1 位相遅延時間 t 1 を平均化することによって第 1 平均位相遅延時間を導出する。本実施形態では、第 1 駆動信号は、バイアス電圧 V o f f 1 の分だけオフセットされているため、第 1 駆動信号がゼロである時点とは、第 1 駆動信号が V o f f 1 である時点の意味する。

20

【 0 0 9 5 】

同様に、第 2 信号処理部 6 1 B により生成される第 2 角度検出信号 S 2 c も、理想的には正弦波となるが、ミラー部 2 0 の第 1 軸 a 1 周りの揺動の影響が残っているため、滑らかな正弦波とならない場合が多い。そこで、第 2 導出部 6 3 B は、複数周期の第 2 角度検出信号 S 2 c を平均化することによって、上記の周期毎のずれによる影響を低減する。以下、第 2 導出部 6 3 B による処理を説明する。

30

【 0 0 9 6 】

第 2 導出部 6 3 B は、直近の複数周期の第 2 駆動信号に対する第 2 角度検出信号 S 2 c の位相遅延時間（以下、「第 2 位相遅延時間」という）を平均化することによって第 2 平均位相遅延時間を導出する。具体的には、一例として図 1 3 に示すように、第 2 導出部 6 3 B は、直近の複数周期の第 2 駆動信号及び第 2 角度検出信号 S 2 c について、対応する周期の第 2 駆動信号がゼロである時点から第 2 角度検出信号 S 2 c がゼロである時点までの第 2 位相遅延時間 t 2 を平均化することによって第 2 平均位相遅延時間を導出する。本実施形態では、第 2 駆動信号は、バイアス電圧 V o f f 2 の分だけオフセットされているため、第 2 駆動信号がゼロである時点とは、第 2 駆動信号が V o f f 2 である時点の意味する。

40

【 0 0 9 7 】

なお、以上の第 1 導出部 6 3 A 及び第 2 導出部 6 3 B による処理では、正弦波が負から正に向けてゼロになる時点を使用しているが、これに限定されない。例えば、正弦波が正から負に向けてゼロになる時点を使用してもよいし、正弦波が負から正に向けてゼロになる時点及び正弦波が正から負に向けてゼロになる時点の双方を使用してもよい。

【 0 0 9 8 】

以上の第 1 導出部 6 3 A 及び第 2 導出部 6 3 B による処理により、第 1 角度検出信号 S 1 c 及び第 2 角度検出信号 S 2 c がゼロクロスするタイミングの周期毎の違いによる影響

50

を低減することができる。しかしながら、第1角度検出信号 S_{1c} がゼロになるタイミングと、実際に第1振れ角 θ_1 がゼロになるタイミングとの間に、ずれ時間 t_{31} (以下、「第1ずれ時間 t_{31} 」という)のずれが発生する場合がある。同様に、第2角度検出信号 S_{2c} がゼロになるタイミングと、実際に第2振れ角 θ_2 がゼロになるタイミングとの間に、ずれ時間 t_{32} (以下、「第2ずれ時間 t_{32} 」という)のずれが発生する場合がある。

【0099】

図14に、第1平均位相遅延時間と第1ずれ時間 t_{31} との関係の一例を示し、図15に、第2平均位相遅延時間と第2ずれ時間 t_{32} との関係の一例を示す。図14に示すように、第1平均位相遅延時間が長くなるに従って、第1ずれ時間 t_{31} が長くなる。図15に示すように、第2平均位相遅延時間が長くなるに従って、第2ずれ時間 t_{32} が短くなる。

10

【0100】

そこで、第3導出部64は、予め設定された条件に応じたずれ時間として、第1ずれ時間 t_{31} 及び第2ずれ時間 t_{32} を導出する。本実施形態では、この条件として、第1平均位相遅延時間及び第2平均位相遅延時間を適用した例を説明する。なお、第1平均位相遅延時間に代えて、例えば、直近の周期の第1位相遅延時間を用いてもよい。また、第2平均位相遅延時間に代えて、例えば、直近の周期の第2位相遅延時間を用いてもよい。

【0101】

具体的には、第3導出部64は、次の関数 f_1 に従って、第1平均位相遅延時間 t_{1a} 及び t_{1v} に応じた第1ずれ時間 t_{31} を導出する。

20

$$t_{31} = f_1(t_{1avg})$$

なお、第3導出部64は、関数 f_1 ではなく、第1平均位相遅延時間 t_{1avg} と第1ずれ時間 t_{31} とが対応付けられたルックアップテーブルを用いて、第1平均位相遅延時間 t_{1avg} に応じた第1ずれ時間 t_{31} を導出してもよい。

【0102】

また、第3導出部64は、次の関数 f_2 に従って、第2平均位相遅延時間 t_{2avg} に応じた第2ずれ時間 t_{32} を導出する。

$$t_{32} = f_2(t_{2avg})$$

なお、第3導出部64は、関数 f_2 ではなく、第2平均位相遅延時間 t_{2avg} と第2ずれ時間 t_{32} とが対応付けられたルックアップテーブルを用いて、第2平均位相遅延時間 t_{2avg} に応じた第2ずれ時間 t_{32} を導出してもよい。

30

【0103】

関数 f_1 は、キャリブレーションにより得られた第1平均位相遅延時間と第1ずれ時間 t_{31} との関係を近似することによって求められた関数である。関数 f_2 は、キャリブレーションにより得られた第2平均位相遅延時間と第2ずれ時間 t_{32} との関係を近似することによって求められた関数である。キャリブレーションの詳細については後述する。

【0104】

第1ゼロクロスパルス出力部65Aは、第1駆動信号、第1導出部63Aにより導出された第1平均位相遅延時間、及び第3導出部64により導出された第1ずれ時間 t_{31} に基づいて、基準信号(以下、「第1基準信号」という)を生成する。第1基準信号は、ミラー部20の第1軸 a_1 周りの角度が基準角(以下、「第1基準角」という)となったことを表す信号である。本実施形態では、この第1基準角としてゼロを適用した例を説明する。すなわち、第1ゼロクロスパルス出力部65Aは、第1駆動信号、第1導出部63Aにより導出された第1平均位相遅延時間、及び第3導出部64により導出された第1ずれ時間 t_{31} に基づいて、第1基準信号の一例としてのゼロクロスパルス(以下、「第1ゼロクロスパルス」という。)ZC1を生成する。第1ゼロクロスパルス出力部65Aは、ゼロクロス検出回路により構成されている。第1ゼロクロスパルスは、ミラー部20の第1軸 a_1 周りの角度がゼロになったことを表すゼロクロス信号である。

40

【0105】

50

図 16 に示すように、第 1 ゼロクロスパルス出力部 65A は、第 1 駆動信号がゼロ（本実施形態では、 V_{off1} ）を横切るタイミングから、第 1 平均位相遅延時間と第 1 ずれ時間 t_{31} とを加えた時間を経過したタイミングで第 1 ゼロクロスパルス ZC1 を生成する。第 1 ゼロクロスパルス出力部 65A は、生成した第 1 ゼロクロスパルス ZC1 を光源駆動部 66 に出力する。

【0106】

このように、第 1 ずれ時間 t_{31} は、第 1 基準信号の生成タイミングの補正に用いられるずれ時間である。また、第 1 ずれ時間 t_{31} は、第 1 角度検出信号 S_{1c} が、ミラー部 20 の第 1 軸 a_1 周りの角度が第 1 基準角（本実施形態では、ゼロ）となったことを表す時点（本実施形態では、第 1 角度検出信号 S_{1c} がゼロクロスする時点）に対するミラー部 20 の第 1 軸 a_1 周りの角度が実際に第 1 基準角になった時点のずれ時間である。また、ここでいう第 1 角度検出信号 S_{1c} が、ミラー部 20 の第 1 軸 a_1 周りの角度が第 1 基準角となったことを表す時点とは、第 1 駆動信号が、ミラー部 20 の第 1 軸 a_1 周りの角度が第 1 基準角になったことを表す時点（本実施形態では、第 1 駆動信号が V_{off1} を横切る時点）から第 1 平均位相遅延時間が経過した時点である。

10

【0107】

第 2 ゼロクロスパルス出力部 65B は、第 2 駆動信号、第 2 導出部 63B により導出された第 2 平均位相遅延時間、及び第 3 導出部 64 により導出された第 2 ずれ時間 t_{32} に基づいて、基準信号（以下、「第 2 基準信号」という）を生成する。第 2 基準信号は、ミラー部 20 の第 2 軸 a_2 周りの角度が基準角（以下、「第 2 基準角」という）となったことを表す信号である。本実施形態では、この第 2 基準角としてゼロを適用した例を説明する。すなわち、第 2 ゼロクロスパルス出力部 65B は、第 2 駆動信号、第 2 導出部 63B により導出された第 2 平均位相遅延時間、及び第 3 導出部 64 により導出された第 2 ずれ時間 t_{32} に基づいて、第 2 基準信号の一例としてのゼロクロスパルス（以下、「第 2 ゼロクロスパルス」という。）ZC2 を生成する。第 2 ゼロクロスパルス出力部 65B は、ゼロクロス検出回路により構成されている。第 2 ゼロクロスパルスは、ミラー部 20 の第 2 軸 a_2 周りの角度がゼロになったことを表すゼロクロス信号である。

20

【0108】

図 17 に示すように、第 2 ゼロクロスパルス出力部 65B は、第 2 駆動信号がゼロ（本実施形態では、 V_{off2} ）を横切るタイミングから、第 2 平均位相遅延時間と第 2 ずれ時間 t_{32} とを加えた時間を経過したタイミングで第 2 ゼロクロスパルス ZC2 を生成する。第 2 ゼロクロスパルス出力部 65B は、生成した第 2 ゼロクロスパルス ZC2 を光源駆動部 66 に出力する。

30

【0109】

このように、第 2 ずれ時間 t_{32} は、第 2 基準信号の生成タイミングの補正に用いられるずれ時間である。また、第 2 ずれ時間 t_{32} は、第 2 角度検出信号 S_{2c} が、ミラー部 20 の第 2 軸 a_2 周りの角度が第 2 基準角（本実施形態では、ゼロ）となったことを表す時点（本実施形態では、第 2 角度検出信号 S_{2c} がゼロを横切る時点）に対するミラー部 20 の第 2 軸 a_2 周りの角度が実際に第 2 基準角になった時点のずれ時間である。また、ここでいう第 2 角度検出信号 S_{2c} が、ミラー部 20 の第 2 軸 a_2 周りの角度が第 2 基準角となったことを表す時点とは、第 2 駆動信号が、ミラー部 20 の第 2 軸 a_2 周りの角度が第 2 基準角になったことを表す時点（本実施形態では、第 2 駆動信号が V_{off2} を横切る時点）から第 2 平均位相遅延時間が経過した時点である。

40

【0110】

なお、第 1 ゼロクロスパルス出力部 65A 及び第 2 ゼロクロスパルス出力部 65B は、正弦波が負から正に向けてゼロになる時点及び正弦波が正から負に向けてゼロになる時点の双方を用いてゼロクロスパルスを出力しているが、これに限定されない。例えば、第 1 ゼロクロスパルス出力部 65A 及び第 2 ゼロクロスパルス出力部 65B は、正弦波が負から正に向けてゼロになる時点及び正弦波が正から負に向けてゼロになる時点の何れか一方を用いてゼロクロスパルスを出力してもよい。

50

【 0 1 1 1 】

光源駆動部 6 6 は、例えば、画像描画システム 1 0 の外部から供給される描画データに基づいて、光源 3 を駆動する。また、光源駆動部 6 6 は、光源 3 によるレーザ光の照射タイミングが、第 1 ゼロクロスパルス Z C 1 及び第 2 ゼロクロスパルス Z C 2 と同期するように照射タイミングを制御する。

【 0 1 1 2 】

次に、図 1 8 を参照して、第 1 ずれ時間導出処理の流れを説明する。第 1 ずれ時間導出処理の流れは、例えば、画像描画システム 1 0 による画像の描画中に、予め定められた時間間隔で実行される。この時間間隔は、例えば、第 1 駆動信号の一周期に相当する時間間隔でもよいし、複数周期に相当する時間間隔でもよいし、周期とは関係なく予め設定された時間間隔でもよい。

10

【 0 1 1 3 】

図 1 8 のステップ S 1 0 で、第 1 導出部 6 3 A は、対応する周期の第 1 駆動信号がゼロである時点から第 1 角度検出信号 S 1 c がゼロである時点までの第 1 位相遅延時間を周期毎に取得する。ステップ S 1 2 で、第 1 導出部 6 3 A は、ステップ S 1 0 で取得された直近の複数周期の第 1 位相遅延時間を平均化することによって第 1 平均位相遅延時間を導出する。

【 0 1 1 4 】

ステップ S 1 4 で、第 3 導出部 6 4 は、前述した関数 f_1 に従って、ステップ S 1 2 で導出された第 1 平均位相遅延時間に応じた第 1 ずれ時間 t_{3_1} を導出する。ステップ S 1 4 の処理が終了すると、第 1 ずれ時間導出処理が終了する。画像の描画中に定期的に第 1 ずれ時間導出処理が実行されることによって、第 1 平均位相遅延時間及び第 1 ずれ時間 t_{3_1} が更新される。

20

【 0 1 1 5 】

次に、図 1 9 を参照して、第 2 ずれ時間導出処理の流れを説明する。第 2 ずれ時間導出処理は、例えば、画像描画システム 1 0 による画像の描画中に、予め定められた時間間隔で実行される。この時間間隔は、例えば、第 2 駆動信号の一周期に相当する時間間隔でもよいし、複数周期に相当する時間間隔でもよいし、周期とは関係なく予め設定された時間間隔でもよい。

【 0 1 1 6 】

図 1 9 のステップ S 2 0 で、第 2 導出部 6 3 B は、対応する周期の第 2 駆動信号がゼロである時点から第 2 角度検出信号 S 2 c がゼロである時点までの第 2 位相遅延時間を周期毎に取得する。ステップ S 2 2 で、第 2 導出部 6 3 B は、ステップ S 2 0 で取得された直近の複数周期の第 2 位相遅延時間を平均化することによって第 2 平均位相遅延時間を導出する。

30

【 0 1 1 7 】

ステップ S 2 4 で、第 3 導出部 6 4 は、前述した関数 f_2 に従って、ステップ S 2 2 で導出された第 2 平均位相遅延時間に応じた第 2 ずれ時間 t_{3_2} を導出する。ステップ S 2 4 の処理が終了すると、第 2 ずれ時間導出処理が終了する。画像の描画中に定期的に第 2 ずれ時間導出処理が実行されることによって、第 2 平均位相遅延時間及び第 2 ずれ時間 t_{3_2} が更新される。

40

【 0 1 1 8 】

次に、図 2 0 を参照して、第 1 ゼロクロスパルス生成処理の流れを説明する。例えば、画像描画システム 1 0 による画像の描画中に、第 1 ゼロクロスパルス生成処理が実行される。

【 0 1 1 9 】

図 2 0 のステップ S 3 0 で、第 1 ゼロクロスパルス出力部 6 5 A は、第 1 駆動信号がゼロであるか否かを判定する。この判定が肯定判定となった場合、処理はステップ S 3 2 に移行し、否定判定となった場合、ステップ S 3 0 が再度実行される。

【 0 1 2 0 】

50

ステップS32で、第1ゼロクロスパルス出力部65Aは、ステップS30で第1駆動信号がゼロとなったタイミングから、上記第1ずれ時間導出処理により導出された第1平均位相遅延時間及び第1ずれ時間 t_{31} を加えた時間が経過するまで待機する。ステップS30で第1駆動信号がゼロとなったタイミングから、第1平均位相遅延時間及び第1ずれ時間 t_{31} を加えた時間が経過すると、ステップS32の判定が肯定判定となり、処理はステップS34に移行する。

【0121】

ステップS34で、第1ゼロクロスパルス出力部65Aは、第1ゼロクロスパルスZC1を生成し、生成した第1ゼロクロスパルスZC1を光源駆動部66に出力する。ステップS34の処理が終了すると、処理はステップS30に戻る。画像描画システム10による画像の描画処理が終了すると、第1ゼロクロスパルス生成処理が終了する。

10

【0122】

次に、図21を参照して、第2ゼロクロスパルス生成処理の流れを説明する。例えば、画像描画システム10による画像の描画中に、第2ゼロクロスパルス生成処理が実行される。

【0123】

図21のステップS40で、第2ゼロクロスパルス出力部65Bは、第2駆動信号がゼロであるか否かを判定する。この判定が肯定判定となった場合、処理はステップS42に移行し、否定判定となった場合、ステップS40が再度実行される。

【0124】

ステップS42で、第2ゼロクロスパルス出力部65Bは、ステップS40で第2駆動信号がゼロとなったタイミングから、上記第2ずれ時間導出処理により導出された第2平均位相遅延時間及び第2ずれ時間 t_{32} を加えた時間が経過するまで待機する。ステップS40で第2駆動信号がゼロとなったタイミングから、第2平均位相遅延時間及び第2ずれ時間 t_{32} を加えた時間が経過すると、ステップS42の判定が肯定判定となり、処理はステップS44に移行する。

20

【0125】

ステップS44で、第2ゼロクロスパルス出力部65Bは、第2ゼロクロスパルスZC2を生成し、生成した第2ゼロクロスパルスZC2を光源駆動部66に出力する。ステップS44の処理が終了すると、処理はステップS40に戻る。画像描画システム10による画像の描画処理が終了すると、第2ゼロクロスパルス生成処理が終了する。

30

【0126】

次に、キャリブレーションにより前述した関数 f_1 、 f_2 を求める処理を説明する。図22は、キャリブレーションの際の光検出器7の配置位置を説明するための図である。光検出器7は、ミラー部20からの反射光を受光可能な位置に設けられる。本実施形態では、一例として図22に示すように、光検出器7は、ミラー部20からの反射光により画像が描画される領域(以下、「描画領域」という)R1の中央に1つ設けられる。ミラー部20が静止した状態、すなわち、ミラー部20の第1軸 a_1 周りの角度及び第2軸 a_2 周りの角度がゼロの場合に、ミラー部20から反射された光ビームLが光検出器7に照射される。この場合、光検出器7は、光ビームLが照射されたことを表す信号(以下、「照射信号」という)を駆動制御部5に出力する。

40

【0127】

本実施形態に係る光走査装置2は、第1ずれ時間 t_{31} 及び第2ずれ時間 t_{32} を導出するずれ時間導出モードを備えている。キャリブレーションの際に、ずれ時間導出モードを実行することにより、図23に示す第1キャリブレーション処理及び図25に示す第2キャリブレーション処理が実行される。キャリブレーションの実行タイミングとしては、光走査装置2の起動時、又はユーザによってキャリブレーションの実行指示が入力されたタイミング等が挙げられる。また、キャリブレーションの実行タイミングは、光走査装置2が工場から出荷される前でもよい。この場合、キャリブレーションにより得られたデータは、例えば、駆動制御部5が備える不揮発性の記憶部に保存される。また、この場合、

50

光走査装置 2 の出荷先のユーザ拠点では、光検出器 7 が画像描画システム 10 に含まれなくてもよい。また、第 1 キャリブレーション処理及び第 2 キャリブレーション処理の実行中は、光源 3 からミラー部 20 の反射面 20 A に光ビーム L が継続的に照射されているものとする。

【0128】

図 23 のステップ S50 で、第 1 駆動信号生成部 60 A は、前述したように、第 1 駆動信号を生成し、生成した第 1 駆動信号を、第 1 位相シフト部 62 A を介して一对の第 1 アクチュエータ 31 に付与する。すなわち、第 1 キャリブレーション処理では、ミラー部 20 を第 2 軸 a_2 周りには揺動させずに、第 1 軸 a_1 周りにはのみ揺動させる。

【0129】

ステップ S52 で、第 1 導出部 63 A は、対応する周期の第 1 駆動信号がゼロである時点から第 1 角度検出信号 S1c がゼロである時点までの第 1 位相遅延時間を周期毎に取得する。この際、一例として図 24 に示すように、第 1 導出部 63 A は、第 1 角度検出信号 S1c がゼロである時点から、光検出器 7 から照射信号が入力される時点までのずれ時間 t_4 も周期毎に取得する。この照射信号が入力された時点は、光検出器 7 の出力信号がミラー部 20 の第 1 軸 a_1 周りの角度がゼロになったことを表す時点を表す。

【0130】

ステップ S54 で、第 1 導出部 63 A は、ステップ S52 で取得された直近の複数周期の第 1 位相遅延時間を平均化することによって第 1 平均位相遅延時間を導出する。ステップ S56 で、第 1 導出部 63 A は、ステップ S52 で取得された直近の複数周期のずれ時間 t_4 を平均化することによって第 1 ずれ時間 t_{31} を導出する。

【0131】

以上のステップ S50 からステップ S56 までの処理が、第 1 駆動周波数を変更しながら複数回実行される。第 1 駆動周波数を変更されると、第 1 平均位相遅延時間及び第 1 ずれ時間 t_{31} も異なる値となる。すなわち、複数の第 1 平均位相遅延時間及び第 1 ずれ時間 t_{31} の組み合わせが得られるため、一例として図 14 に示した第 1 平均位相遅延時間及び第 1 ずれ時間 t_{31} の関係が得られる。

【0132】

ステップ S58 で、第 3 導出部 64 は、得られた第 1 平均位相遅延時間及び第 1 ずれ時間 t_{31} の関係を近似することによって関数 f_1 を導出する。この関数 f_1 は、前述した第 1 ずれ時間導出処理（図 18 参照）のステップ S14 で用いられる。なお、第 3 導出部 64 は、得られた第 1 平均位相遅延時間及び第 1 ずれ時間 t_{31} の関係をルックアップテーブルとして保存してもよい。ステップ S58 の処理が終了すると、第 1 キャリブレーション処理が終了する。

【0133】

図 25 のステップ S70 で、第 2 駆動信号生成部 60 B は、前述したように、第 2 駆動信号を生成し、生成した第 2 駆動信号を、第 2 位相シフト部 62 B を介して一对の第 2 アクチュエータ 32 に付与する。すなわち、第 2 キャリブレーション処理では、ミラー部 20 を第 1 軸 a_1 周りには揺動させずに、第 2 軸 a_2 周りにはのみ揺動させる。

【0134】

ステップ S72 で、第 2 導出部 63 B は、対応する周期の第 2 駆動信号がゼロである時点から第 2 角度検出信号 S2c がゼロである時点までの第 2 位相遅延時間を周期毎に取得する。この際、一例として図 26 に示すように、第 2 導出部 63 B は、第 2 角度検出信号 S2c がゼロである時点から、光検出器 7 から照射信号が入力される時点までのずれ時間 t_5 も周期毎に取得する。この照射信号が入力された時点は、光検出器 7 の出力信号がミラー部 20 の第 2 軸 a_2 周りの角度がゼロになったことを表す時点を表す。

【0135】

ステップ S74 で、第 2 導出部 63 B は、ステップ S72 で取得された直近の複数周期の第 2 位相遅延時間を平均化することによって第 2 平均位相遅延時間を導出する。ステップ S76 で、第 2 導出部 63 B は、ステップ S72 で取得された直近の複数周期のずれ時

10

20

30

40

50

間 t_5 を平均化することによって第 2 ずれ時間 t_{32} を導出する。

【0136】

以上のステップ S70 からステップ S76 までの処理が、第 2 駆動周波数を変更しながら複数回実行される。第 2 駆動周波数に変更されると、第 2 平均位相遅延時間及び第 2 ずれ時間 t_{32} も異なる値となる。すなわち、複数の第 2 平均位相遅延時間及び第 2 ずれ時間 t_{32} の組み合わせが得られるため、一例として図 15 に示した第 2 平均位相遅延時間及び第 2 ずれ時間 t_{32} の関係が得られる。

【0137】

ステップ S78 で、第 3 導出部 64 は、得られた第 2 平均位相遅延時間及び第 2 ずれ時間 t_{32} の関係を近似することによって関数 f_2 を導出する。この関数 f_2 は、前述した第 2 ずれ時間導出処理（図 19 参照）のステップ S24 で用いられる。なお、第 3 導出部 64 は、得られた第 2 平均位相遅延時間及び第 2 ずれ時間 t_{32} の関係をルックアップテーブルとして保存してもよい。ステップ S78 の処理が終了すると、第 2 キャリブレーション処理が終了する。

10

【0138】

以上説明したように、本実施形態によれば、光走査装置 2 によるミラー部 20 の角度が基準角となったタイミングの検知精度を、光検出器 7 を用いて向上させることができる結果、描画される画像の画質の低下を抑制することができる。

【0139】

なお、上記実施形態で示した MMD 4 の構成は一例である。MMD 4 の構成は、種々の変形が可能である。例えば、ミラー部 20 を第 1 軸 a_1 周りの揺動させる第 1 アクチュエータ 31 を第 2 可動枠 24 に配置し、ミラー部 20 を第 2 軸 a_2 周りの揺動させる第 2 アクチュエータ 32 を第 1 可動枠 22 に配置してもよい。

20

【0140】

また、上記実施形態では、一对の第 1 角度検出センサ 11A、11B が、第 1 軸 a_1 を挟んで対向する位置に配置されている場合について説明したが、これに限定されない。例えば、図 27 に示すように、一对の第 1 角度検出センサ 11A、11B は、第 2 軸 a_2 を挟んで対向する位置に配置されてもよい。図 27 の例では、一对の第 1 角度検出センサ 11A、11B は、第 1 可動枠 22 上において、それぞれ第 1 支持部 21 の近傍に配置されている。第 1 角度検出センサ 11A は、ミラー部 20 の一方に接続された第 1 支持部 21 の近傍に配置されている。第 1 角度検出センサ 11B は、ミラー部 20 の他方に接続された第 1 支持部 21 の近傍に配置されている。従って、一对の第 1 角度検出センサ 11A、11B は、第 2 軸 a_2 を挟んで対向し、かつミラー部 20 を挟んで対向する位置に配置されている。また、一对の第 1 角度検出センサ 11A、11B は、第 1 軸 a_1 から同じ方向（図 27 の例では -X 方向）にずれた位置に配置されている。

30

【0141】

上記実施形態のように一对の第 1 角度検出センサ 11A、11B が第 1 軸 a_1 を挟んで対向する位置に配置されている場合には、両者の出力信号のうち、一方から他方を減算することにより、振動ノイズを除去することができる。これに対し、この形態例のように、一对の第 1 角度検出センサ 11A、11B が第 2 軸 a_2 を挟んで対向する位置に配置されている場合には、両者の出力信号を加算することにより、振動ノイズを除去することができる。

40

【0142】

この形態例における第 1 信号処理部 61A の構成の一例を図 28 に示す。図 28 に示すように、この形態例では、第 1 信号処理部 61A は、減算回路 73 に代えて、加算回路 73A を有している。加算回路 73A は、第 1 角度検出センサ 11A からバッファアンプ 71 を経由して入力された信号 S_{1b1} と、第 1 角度検出センサ 11B から可変ゲインアンプ 72 を経由して入力された信号 S_{1b2} とを加算した値を出力する。

【0143】

また、上記実施形態では、一对の第 2 角度検出センサ 12A、12B が、第 2 軸 a_2 を

50

挟んで対向する位置に配置されている場合について説明したが、これに限定されない。例えば、図27に示すように、一对の第2角度検出センサ12A、12Bは、第1軸 a_1 を挟んで対向する位置に配置されてもよい。図27の例では、一对の第2角度検出センサ12A、12Bは、第2可動枠24上において、それぞれ第2支持部23の近傍に配置されている。第2角度検出センサ12Aは、第1可動枠22の一方に接続された第2支持部23の近傍に配置されている。第2角度検出センサ12Bは、第1可動枠22の他方に接続された第2支持部23の近傍に配置されている。従って、一对の第2角度検出センサ12A、12Bは、第1軸 a_1 を挟んで対向し、かつミラー部20及び第1可動枠22を挟んで対向する位置に配置されている。また、一对の第2角度検出センサ12A、12Bは、第2軸 a_2 から同じ方向（図27の例では+Y方向）にずれた位置に配置されている。

10

【0144】

上記実施形態のように一对の第2角度検出センサ12A、12Bが第2軸 a_2 を挟んで対向する位置に配置されている場合には、両者の出力信号のうち、一方から他方を減算することにより、振動ノイズを除去することができる。これに対し、この形態例のように、一对の第2角度検出センサ12A、12Bが第1軸 a_1 を挟んで対向する位置に配置されている場合には、両者の出力信号を加算することにより、振動ノイズを除去することができる。この形態例における第2信号処理部61Bの構成は、図28に示す第1信号処理部61Aと同様の構成により実現が可能であるため、説明を省略する。

【0145】

また、上記実施形態において、一对の第1角度検出センサ11A、11Bのうちの何れか1つがMMD4に設けられる形態としてもよい。同様に、一对の第2角度検出センサ12A、12Bのうちの何れか1つがMMD4に設けられる形態としてもよい。

20

【0146】

また、上記実施形態では、キャリブレーションの際に、光検出器7が描画領域R1の中央に1つ設けられる場合について説明したが、これに限定されない。一例として図29に示すように、光検出器7は、ミラー部20からの反射光により画像が描画可能な領域（以下、「描画可能領域」という）における第1軸 a_1 に対応する軸 a_3 上のそれぞれの端部及び第2軸 a_2 に対応する軸 a_4 上のそれぞれの端部に1つずつ設けられてもよい。なお、図29では、描画可能領域として、描画領域R1を適用した例を示している。この場合、ミラー部20が静止した状態で、ミラー部20から反射された光ビームLが照射される位置P（図29の例では描画領域R1の中心）から光検出器7までの距離A1~A4と、光検出器7からの照射信号の入力タイミングとに基づいて、ずれ時間 t_4 、 t_5 が導出される。

30

【0147】

具体的には、上記第1キャリブレーション処理のステップS52において、第1導出部63Aは、一例として図30に示すように、位置Pから軸 a_4 上の光検出器7それぞれまでの距離A1及びA2の比と、軸 a_4 上の光検出器7それぞれから照射信号が入力された時点とに基づいて、ミラー部20の第1軸 a_1 の角度がゼロになった時点T1を導出する。図29の例では、距離A1と距離A2とが等しいため、時点T1は、軸 a_4 上の光検出器7それぞれから照射信号が入力された時点の中央の時点となる。そして、第1導出部63Aは、第1角度検出信号S1cがゼロである時点から、導出した時点T1までをずれ時間 t_4 として用いる。時点T1が、光検出器7の出力信号がミラー部20の第1軸 a_1 周りの角度がゼロになったことを表す時点を表す。

40

【0148】

同様に、上記第2キャリブレーション処理のステップS72において、第2導出部63Bは、一例として図31に示すように、位置Pから軸 a_3 上の光検出器7それぞれまでの距離A3及びA4の比と、軸 a_3 上の光検出器7それぞれから照射信号が入力された時点とに基づいて、ミラー部20の第2軸 a_2 の角度がゼロになった時点T2を導出する。図29の例では、距離A3と距離A4とが等しいため、時点T2は、軸 a_3 上の光検出器7それぞれから照射信号が入力された時点の中央の時点となる。そして、第2導出部63B

50

は、第2角度検出信号 S_{2c} がゼロである時点から、導出した時点 T_2 までをずれ時間 t_5 として用いる。時点 T_2 が、光検出器7の出力信号がミラー部20の第2軸 a_2 周りの角度がゼロになったことを表す時点を表す。

【0149】

ミラー部20は、描画データに基づく描画領域 R_1 よりも広い領域に光ビーム L を反射可能な場合もある。すなわち、ミラー部20は、装置の仕様として、描画データに基づいて描画領域 R_1 に画像を描画するときよりも第1振れ角 θ_1 及び第2振れ角 θ_2 を大きくした状態で画像を描画することが可能な場合もある。この場合、一例として図32に示すように、光検出器7は、描画領域 R_1 外であって、かつ描画可能領域 R_2 内の軸 a_3 上のそれぞれの端部及び軸 a_4 上のそれぞれの端部に1つつ設けられてもよい。

10

【0150】

また、一例として図33に示すように、光検出器7は、描画可能領域における第1軸 a_1 に対応する軸 a_3 上のそれぞれの端部以外の2点及び第2軸 a_2 に対応する軸 a_4 上のそれぞれの端部以外の2点に1つつ設けられてもよい。なお、図33では、描画可能領域として、描画領域 R_1 を適用した例を示している。この場合も、光検出器7が端部に設けられた場合と同様に、第1導出部63Aは、位置 P から軸 a_4 上の光検出器7それぞれまでの距離 A_1 及び A_2 の比と、軸 a_4 上の光検出器7それぞれから照射信号が入力された時点とに基づいて、ミラー部20の第1軸 a_1 の角度がゼロになった時点 T_1 を導出することができる。また、この場合も、光検出器7が端部に設けられた場合と同様に、第2導出部63Bは、位置 P から軸 a_3 上の光検出器7それぞれまでの距離 A_3 及び A_4 の比と、軸 a_3 上の光検出器7それぞれから照射信号が入力された時点とに基づいて、ミラー部20の第2軸 a_2 の角度がゼロになった時点 T_2 を導出することができる。

20

【0151】

また、上記実施形態において、光検出器7は、画像の描画中には駆動しない状態とされてもよい。この場合、光検出器7への電源の供給を停止することができる結果、消費電力を低減することができる。

【0152】

また、上記実施形態では、画像の描画時に第1平均位相遅延時間及び第2平均位相遅延時間を導出する場合について説明したが、これに限定されない。キャリブレーションの際に、第1平均位相遅延時間及び第2平均位相遅延時間を導出する平均位相遅延時間導出モードを実行することにより、第1平均位相遅延時間及び第2平均位相遅延時間を取得する形態としてもよい。この場合、第1ゼロクロスパルス ZC_1 及び第2ゼロクロスパルス ZC_2 を生成する際には、キャリブレーションにおいて予め取得した第1平均位相遅延時間及び第2平均位相遅延時間を使用する。この場合のキャリブレーションの実行タイミングとしては、 MMD_4 の起動時、又はユーザによってキャリブレーションの実行指示が入力されたタイミング等が挙げられる。

30

【0153】

また、上記実施形態では、第3導出部64は、上記関数 f_1 に従って、第1平均位相遅延時間に応じた第1ずれ時間 t_{31} を導出する場合について説明したが、これに限定されない。図34に、第1駆動信号の駆動電圧 V_1 を異ならせた場合の第1平均位相遅延時間と、第1ずれ時間 t_{31} との関係の一例を示す。第1駆動信号の駆動電圧 V_1 とは、例えば、第1駆動信号の振幅に相当する。図34における実線は、破線よりも駆動電圧 V_1 が高い場合を示している。図34に示すように、駆動電圧 V_1 が高くなるほど第1ずれ時間 t_{31} が長くなっている。図34では、駆動電圧 V_1 を異ならせた場合の第1平均位相遅延時間と、第1ずれ時間 t_{31} との関係を示しているが、第1ずれ時間 t_{31} は、第1駆動信号の駆動電圧 V_1 だけではなく、第1駆動周波数にも応じて変化する。

40

【0154】

そこで、第3導出部64は、次に示す関数 f_3 に従って、更に、第1駆動周波数 F_1 及び第1駆動信号の駆動電圧 V_1 に応じた第1ずれ時間 t_{31} を導出してよい。

$$t_{31} = f_3(t_{1avg}, F_1, V_1)$$

50

同様に、第3導出部64は、次に示す関数 f_4 に従って、更に、第2駆動周波数 F_2 及び第2駆動信号の駆動電圧 V_2 に応じた第2ずれ時間 t_{32} を導出してもよい。

$$t_{32} = f_4(t_{2avg}, F_2, V_2)$$

【0155】

また、第3導出部64は、次に示す関数 f_5 、 f_6 に従って、更に、環境温度 T に応じた第1ずれ時間 t_{31} 及び第2ずれ時間 t_{32} を導出してもよい。この場合、MMD4には環境温度を測定する温度センサが設けられる。

$$t_{31} = f_5(t_{1avg}, T)$$

$$t_{32} = f_6(t_{2avg}, T)$$

【0156】

また、第3導出部64は、次に示す関数 f_7 に従って、更に、第1駆動周波数 F_1 、第1駆動信号の駆動電圧 V_1 、及び環境温度 T に応じた第1ずれ時間 t_{31} を導出してもよい。

$$t_{31} = f_7(t_{1avg}, F_1, V_1, T)$$

同様に、第3導出部64は、次に示す関数 f_8 に従って、更に、第2駆動周波数 F_2 、第2駆動信号の駆動電圧 V_2 、及び環境温度 T に応じた第2ずれ時間 t_{32} を導出してもよい。

$$t_{32} = f_8(t_{2avg}, F_2, V_2, T)$$

なお、上記関数 f_3 、 f_7 において、第1駆動周波数 F_1 及び第1駆動信号の駆動電圧 V_1 は、何れか一方のみでもよい。また、上記関数 f_4 、 f_8 において、第2駆動周波数 F_2 及び第2駆動信号の駆動電圧 V_2 は、何れか一方のみでもよい。

【0157】

また、駆動制御部5のハードウェア構成は種々の変形が可能である。駆動制御部5は、アナログ演算回路及びデジタル演算回路の少なくとも一方を用いて構成することが可能である。駆動制御部5は、1つのプロセッサで構成されてもよいし、同種又は異種の2つ以上のプロセッサの組み合わせで構成されてもよい。プロセッサには、CPU (Central Processing Unit)、プログラマブルロジックデバイス (Programmable Logic Device: PLD)、及び専用電気回路等が含まれる。CPUは、周知のとおりソフトウェア (プログラム) を実行して各種の処理部として機能する汎用的なプロセッサである。PLDは、FPGA (Field Programmable Gate Array) 等の、製造後に回路構成を変更可能なプロセッサである。専用電気回路は、ASIC (Application Specific Integrated Circuit) 等の特定の処理を実行させるために専用に設計された回路構成を有するプロセッサである。

【符号の説明】

【0158】

- 2 光走査装置
- 3 光源
- 4 マイクロミラーデバイス (MMD)
- 5 駆動制御部
- 6 被走査面
- 7 光検出器
- 10 画像描画システム
- 11A、11B 第1角度検出センサ
- 12A、12B 第2角度検出センサ
- 20 ミラー部
- 20A 反射面
- 21 第1支持部
- 22 第1可動枠
- 23 第2支持部
- 24 第2可動枠

10

20

30

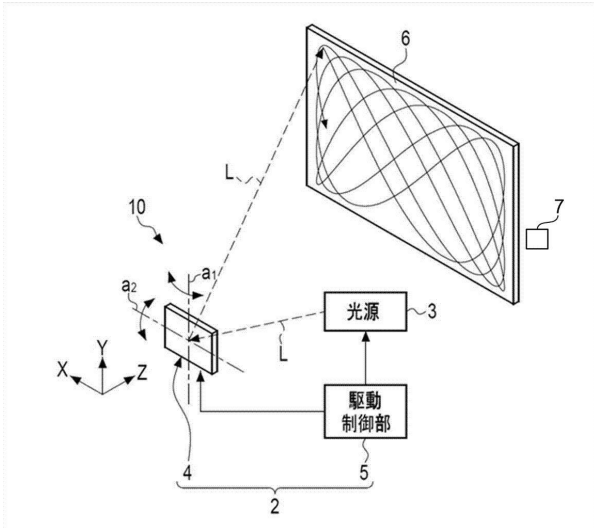
40

50

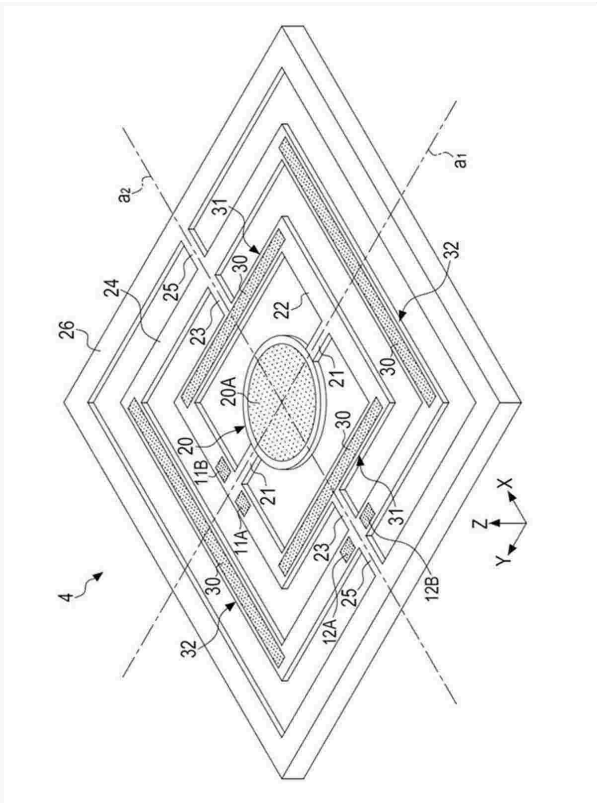
2 5	接続部	
2 6	固定枠	
3 0	圧電素子	
3 1	第 1 アクチュエータ	
3 2	第 2 アクチュエータ	
6 0 A	第 1 駆動信号生成部	
6 0 B	第 2 駆動信号生成部	
6 1 A	第 1 信号処理部	
6 1 B	第 2 信号処理部	
6 2 A	第 1 位相シフト部	10
6 2 B	第 2 位相シフト部	
6 3 A	第 1 導出部	
6 3 B	第 2 導出部	
6 4	第 3 導出部	
6 5 A	第 1 ゼロクロスパルス出力部	
6 5 B	第 2 ゼロクロスパルス出力部	
6 6	光源駆動部	
7 1	バッファアンプ	
7 2	可変ゲインアンプ	
7 3、7 7	減算回路	20
7 3 A	加算回路	
7 4	ゲイン調整回路	
7 5 A	第 1 B P F 回路	
7 5 B	第 2 B P F 回路	
7 6 A	第 1 検波回路	
7 6 B	第 2 検波回路	
L	光ビーム	
P	位置	
R 1	描画領域	
R 2	描画可能領域	30
R N 1、R N 2	振動ノイズ	
S 1 c	第 1 角度検出信号	
S 2 c	第 2 角度検出信号	
Z C 1	第 1 ゼロクロスパルス	
Z C 2	第 2 ゼロクロスパルス	
a 1	第 1 軸	
a 2	第 2 軸	
a 3、a 4	軸	
f d 1	第 1 駆動周波数	
f d 2	第 2 駆動周波数	40

【 図面 】

【 図 1 】



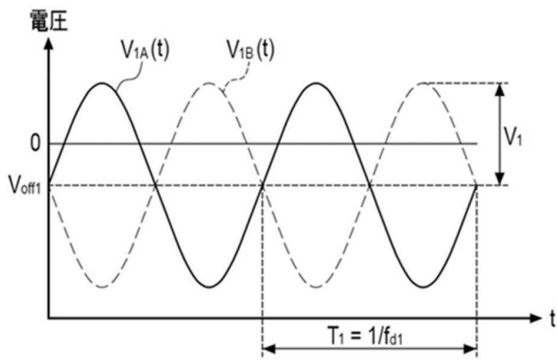
【 図 2 】



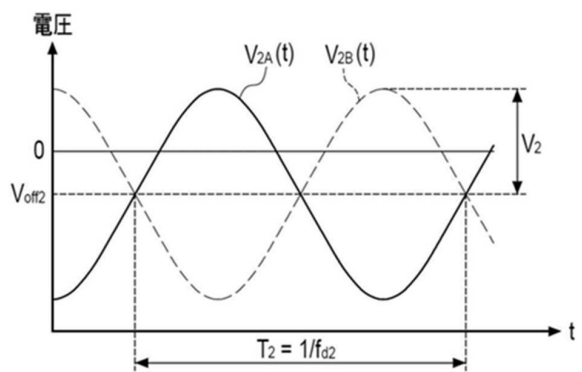
10

20

【 図 3 】



【 図 4 】

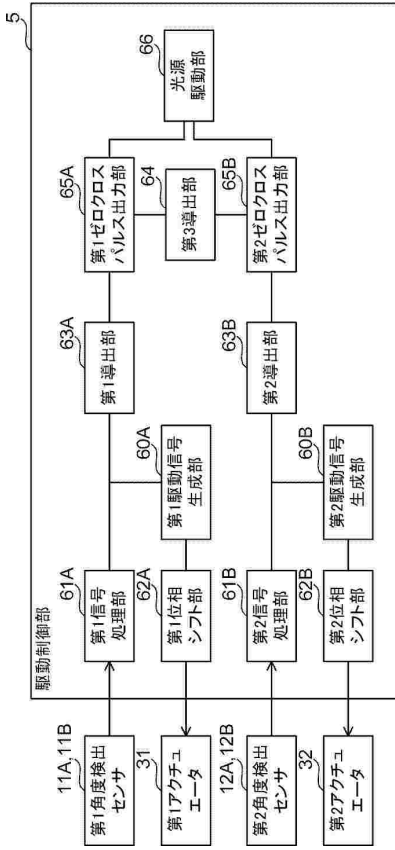


30

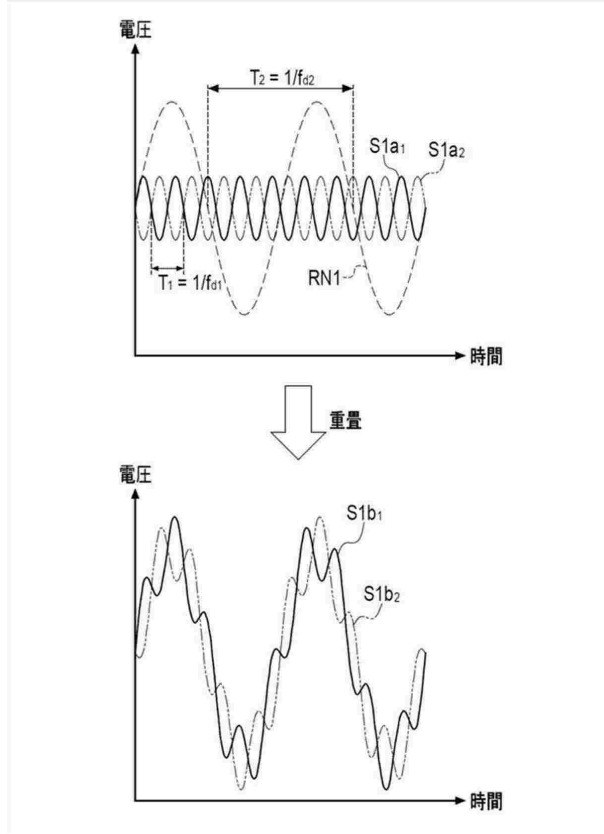
40

50

【図5】



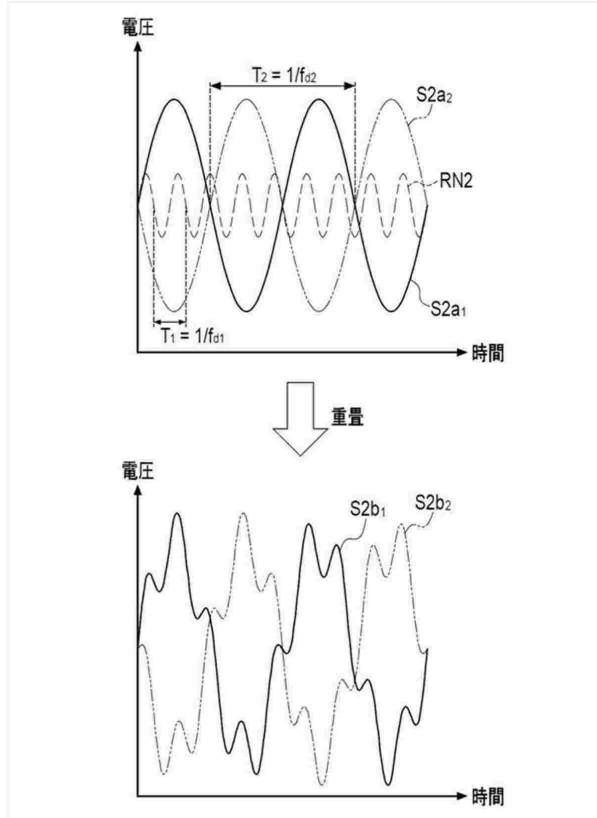
【図6】



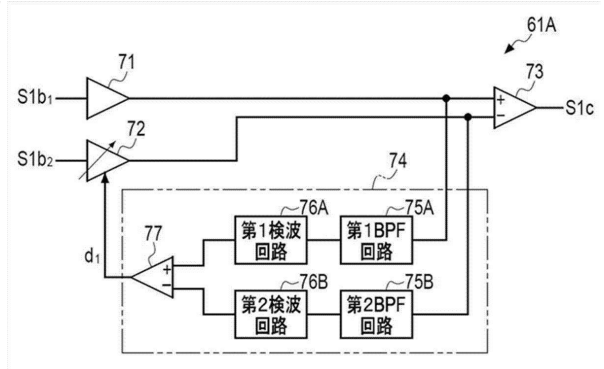
10

20

【図7】



【図8】

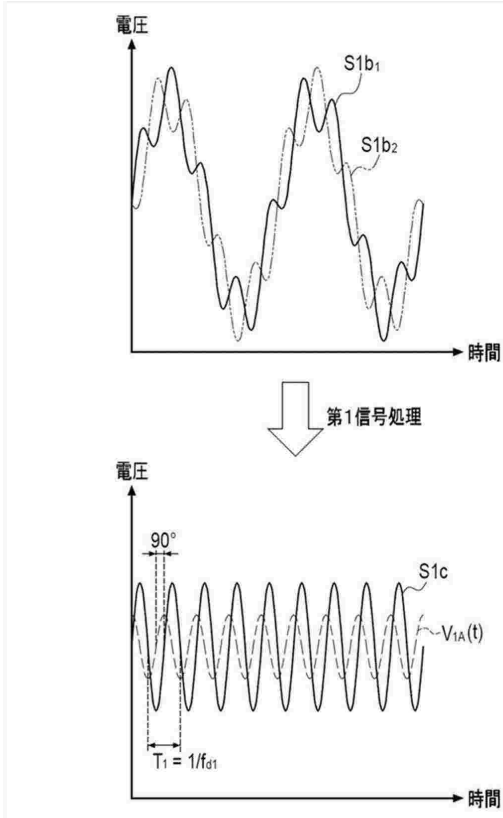


30

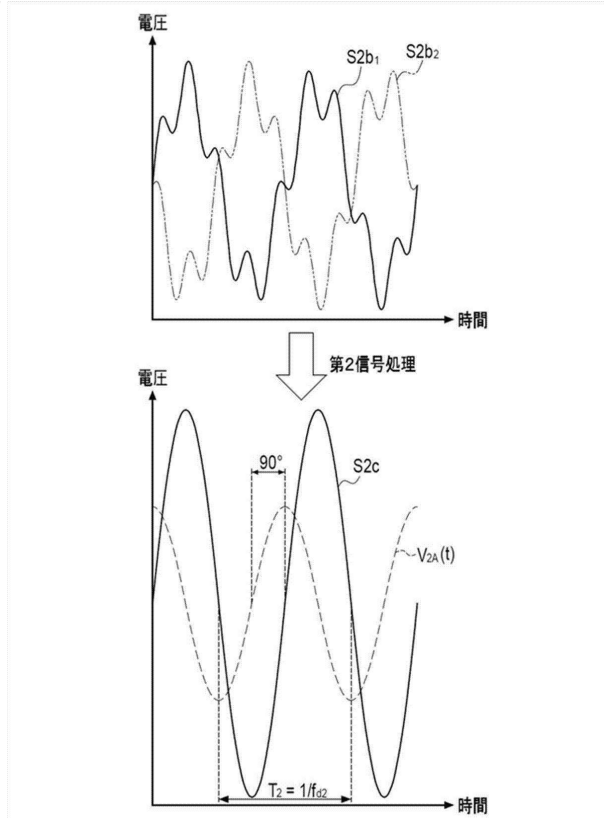
40

50

【 図 9 】



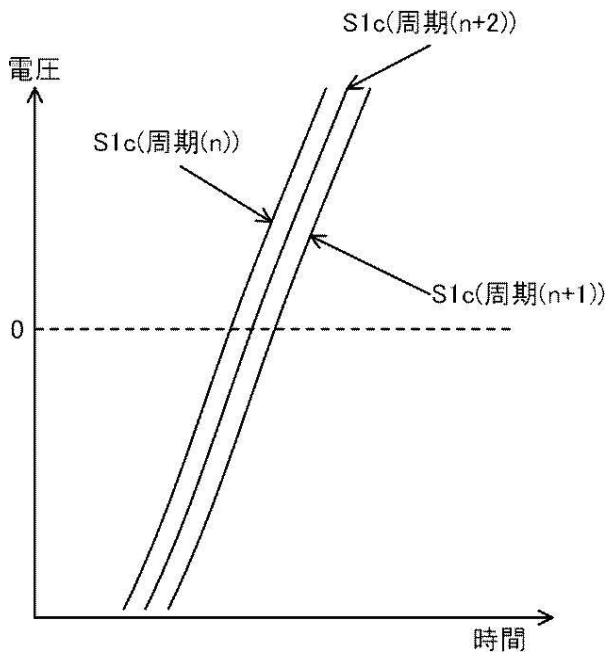
【 図 10 】



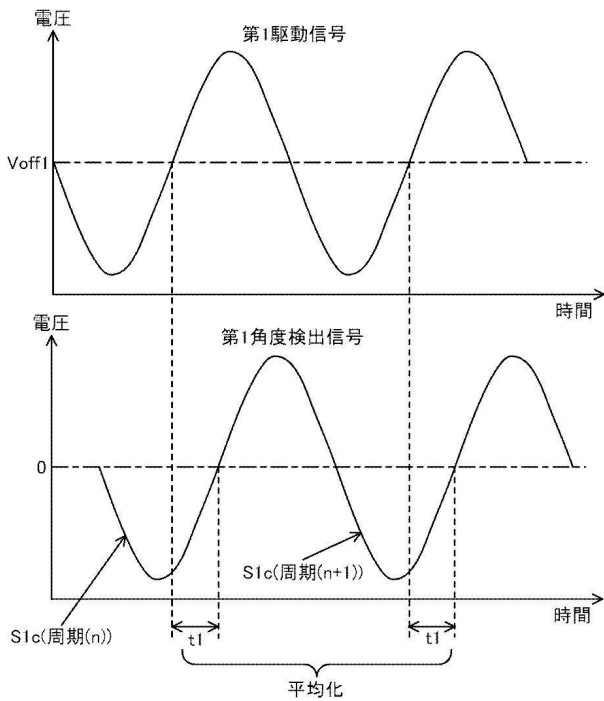
10

20

【 図 11 】



【 図 12 】

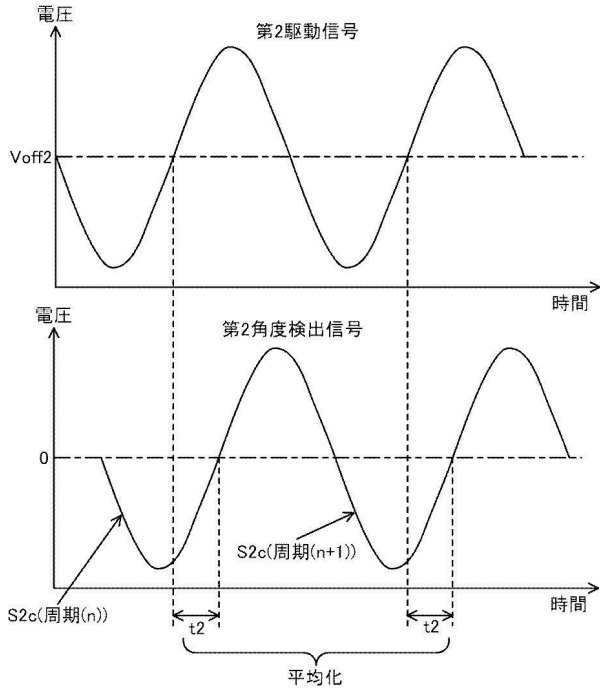


30

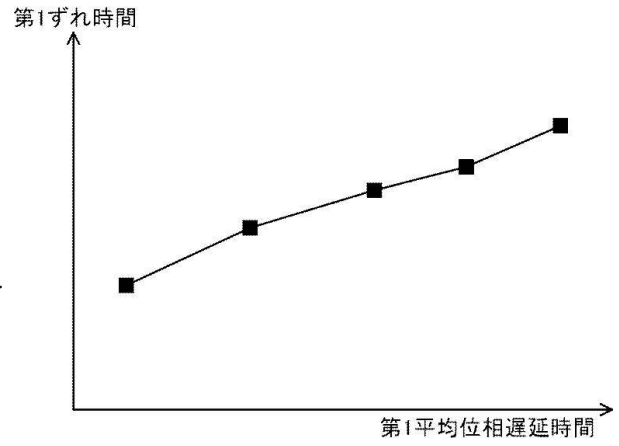
40

50

【図 1 3】



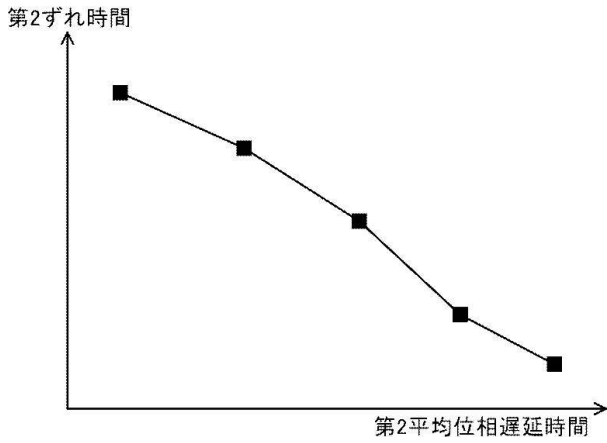
【図 1 4】



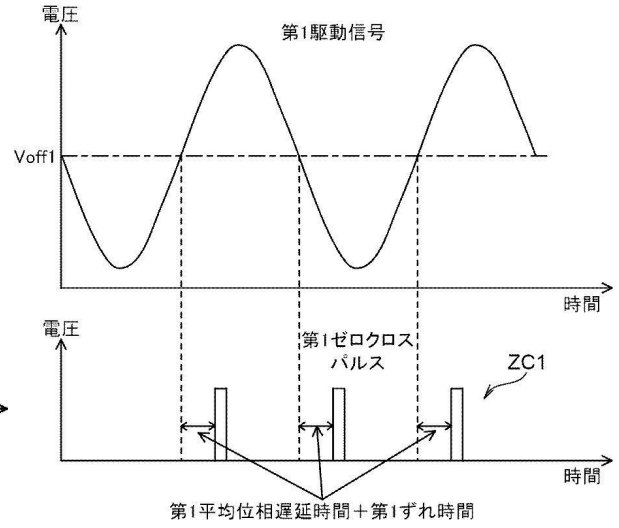
10

20

【図 1 5】



【図 1 6】

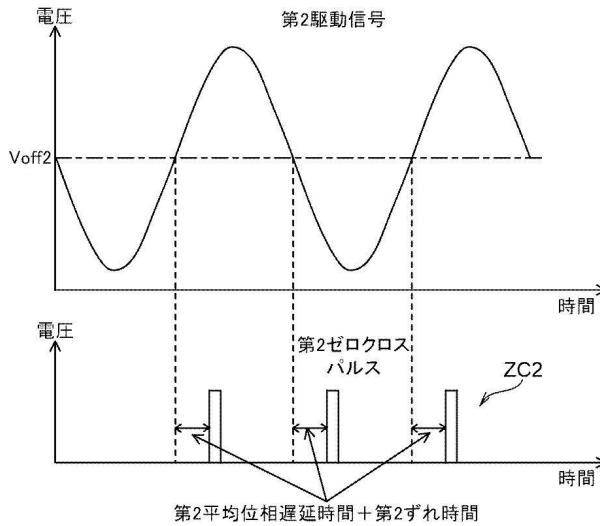


30

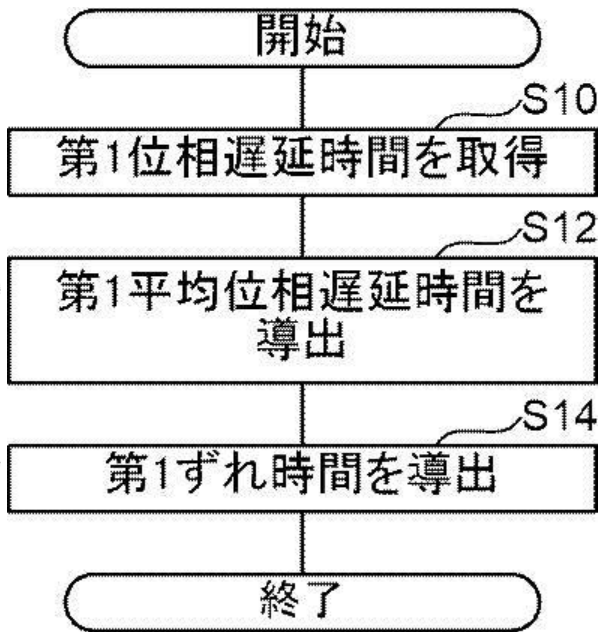
40

50

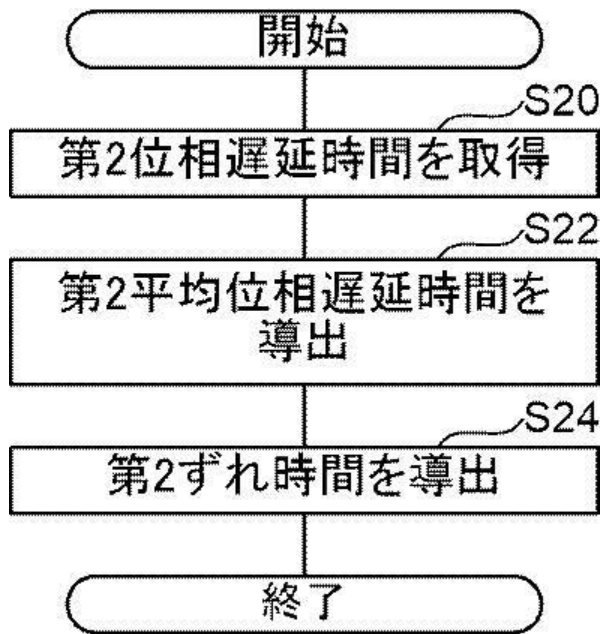
【図17】



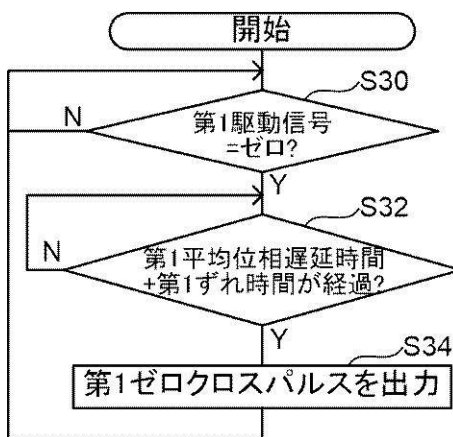
【図18】



【図19】



【図20】



10

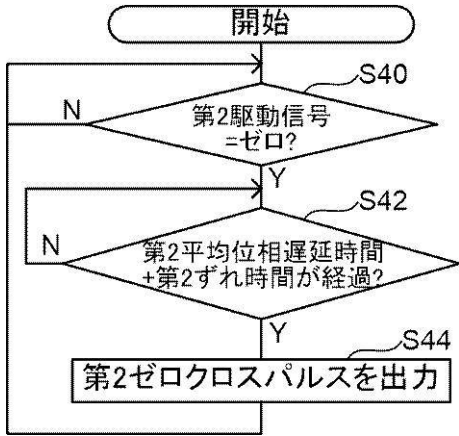
20

30

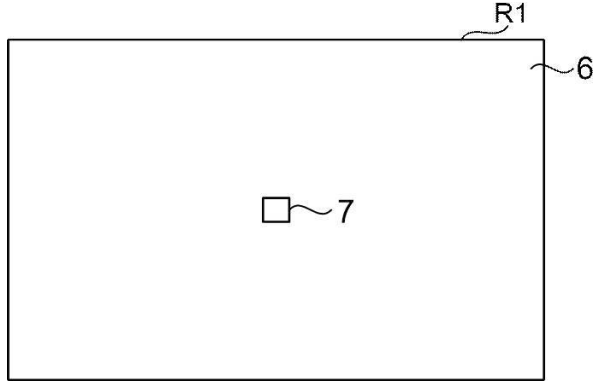
40

50

【図 2 1】



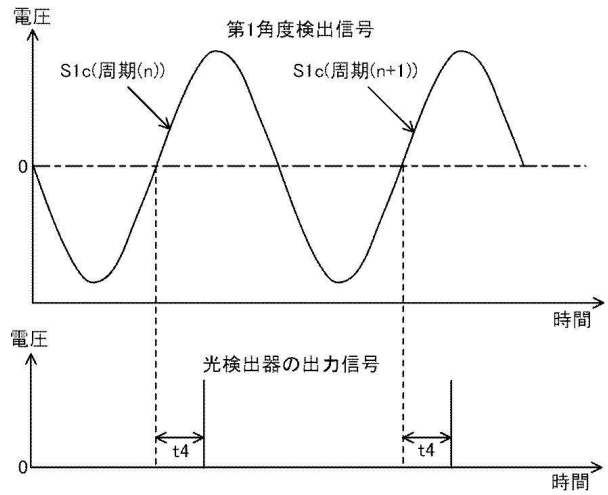
【図 2 2】



【図 2 3】



【図 2 4】



10

20

30

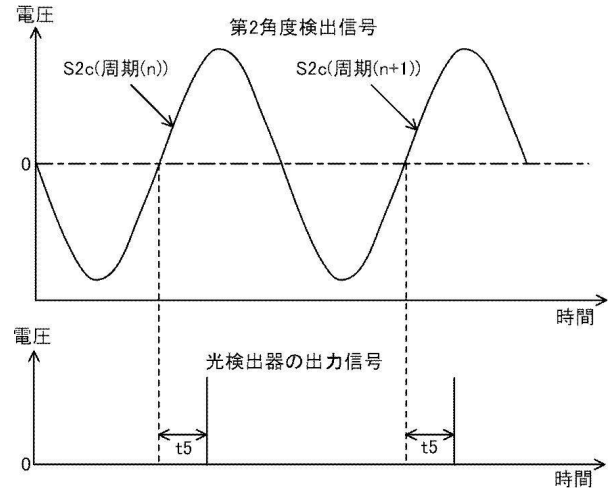
40

50

【図 2 5】



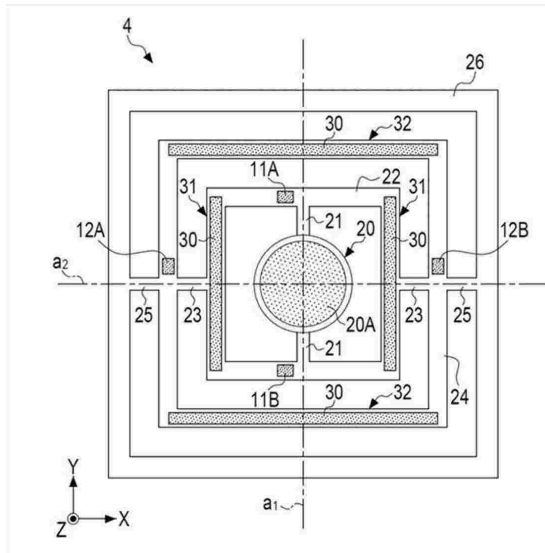
【図 2 6】



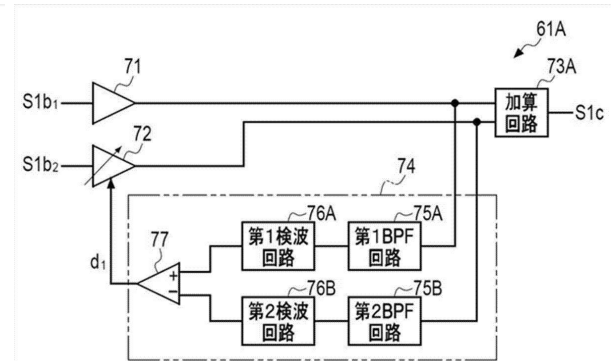
10

20

【図 2 7】



【図 2 8】

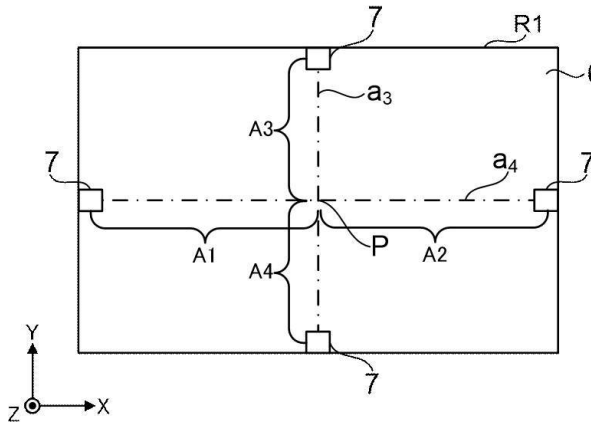


30

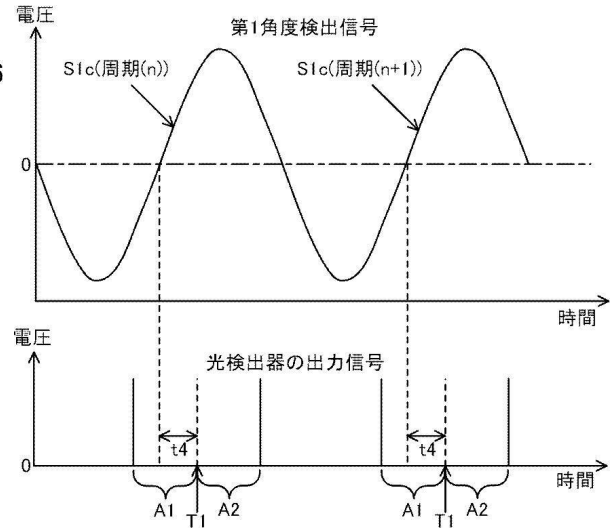
40

50

【図 29】

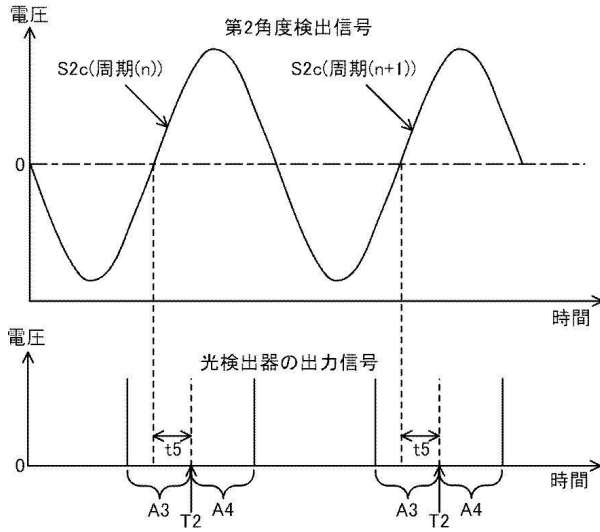


【図 30】

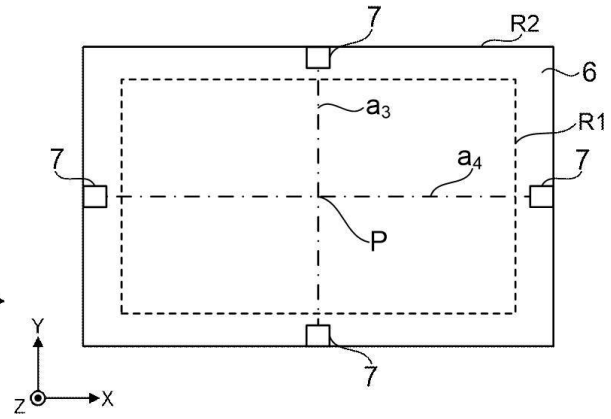


10

【図 31】



【図 32】



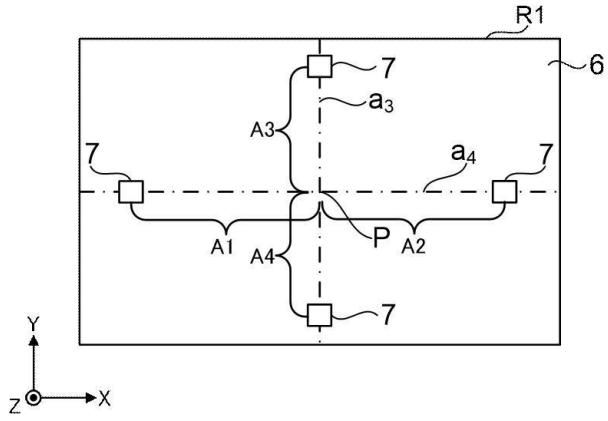
20

30

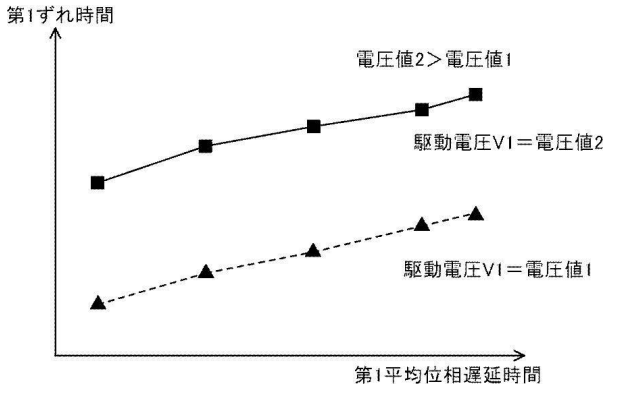
40

50

【図 3 3】



【図 3 4】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

神奈川県足柄上郡開成町牛島 577 番地 富士フイルム株式会社内

審査官 河村 麻梨子

- (56)参考文献 特開 2018 - 101115 (JP, A)
特開 2020 - 016720 (JP, A)
特表 2019 - 509507 (JP, A)
特開 2021 - 033011 (JP, A)
米国特許出願公開第 2020 / 0314395 (US, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB 名)
G02B 26 / 08、26 / 10