

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7630358号
(P7630358)

(45)発行日 令和7年2月17日(2025.2.17)

(24)登録日 令和7年2月6日(2025.2.6)

(51)国際特許分類			F I		
G 0 2 B	26/10	(2006.01)	G 0 2 B	26/10	1 0 4 Z
G 0 2 B	26/08	(2006.01)	G 0 2 B	26/10	A
B 8 1 B	3/00	(2006.01)	G 0 2 B	26/10	C
G 0 9 G	3/02	(2006.01)	G 0 2 B	26/08	E
			B 8 1 B	3/00	
請求項の数 13 (全32頁) 最終頁に続く					
(21)出願番号 特願2021-92417(P2021-92417)			(73)特許権者 306037311		
(22)出願日 令和3年6月1日(2021.6.1)			富士フイルム株式会社		
(65)公開番号 特開2022-184514(P2022-184514 A)			東京都港区西麻布2丁目26番30号		
(43)公開日 令和4年12月13日(2022.12.13)			(74)代理人 110001519		
審査請求日 令和6年3月7日(2024.3.7)			弁理士法人太陽国際特許事務所		
			(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		
			(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		
			(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、
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、
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駆動信号が基準値となるタイミングから前記第1平均位相遅延時間と予め設定された第1条件に応じた第1ずれ時間とを加えた時間が経過したタイミングに、前記第1

軸周りの角度が基準角になったことを表す第 1 基準信号を生成し、

前記第 2 駆動信号が基準値となるタイミングから前記第 2 平均位相遅延時間と予め設定された第 2 条件に応じた第 2 ずれ時間とを加えた時間が経過したタイミングに、前記第 2 軸周りの角度が基準角になったことを表す第 2 基準信号を生成する

光走査装置。

【請求項 2】

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、

10

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れた一対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る

請求項 1 に記載の光走査装置。

【請求項 3】

前記第 1 基準信号は、前記第 1 軸周りの角度がゼロになったことを表す信号であり、

前記第 2 基準信号は、前記第 2 軸周りの角度がゼロになったことを表す信号である

請求項 1 又は請求項 2 に記載の光走査装置。

【請求項 4】

20

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

請求項 3 に記載の光走査装置。

【請求項 5】

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、

30

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 4 に記載の光走査装置。

【請求項 6】

前記第 1 条件は、前記第 1 位相遅延時間を含み、

前記第 2 条件は、前記第 2 位相遅延時間を含む

請求項 1 から請求項 5 の何れか 1 項に記載の光走査装置。

【請求項 7】

40

前記第 1 条件は、更に、前記第 1 駆動信号の駆動電圧を含み、

前記第 2 条件は、更に、前記第 2 駆動信号の駆動電圧を含む

請求項 6 に記載の光走査装置。

【請求項 8】

前記第 1 条件は、更に、前記第 1 駆動周波数を含み、

前記第 2 条件は、更に、前記第 2 駆動周波数を含む

請求項 6 又は請求項 7 に記載の光走査装置。

【請求項 9】

前記第 1 条件及び前記第 2 条件は、更に、環境温度を含む

請求項 6 から請求項 8 の何れか 1 項に記載の光走査装置。

50

【請求項 10】

前記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、前記ずれ時間を取得し、
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1から請求項9の何れか1項に記載の光走査装置。

【請求項 11】

前記第1平均位相遅延時間及び前記第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平均位相遅延時間導出モードを実行することにより、前記第1平均位相遅延時間及び前記第2平均位相遅延時間を取得し、
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平均位相遅延時間及び前記第2平均位相遅延時間を使用する
請求項1から請求項10の何れか1項に記載の光走査装置。

【請求項 12】

請求項1から請求項11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であって、
前記プロセッサは、前記第1基準信号及び前記第2基準信号に基づいて、前記光源の光の照射タイミングを制御する、
画像描画システム。

【請求項 13】

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、
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、
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駆動信号が基準値となるタイミングから前記第1平均位相遅延時間と予め設定された第1条件に応じた第1ずれ時間とを加えた時間が経過したタイミングに、前記第1軸周りの角度が基準角になったことを表す第1基準信号を生成し、
前記第2駆動信号が基準値となるタイミングから前記第2平均位相遅延時間と予め設定された第2条件に応じた第2ずれ時間とを加えた時間が経過したタイミングに、前記第2軸周りの角度が基準角になったことを表す第2基準信号を生成する
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。

10

【0004】

特許文献1には、ミラー部の回転角を検出するセンサと、そのセンサから得られるミラー部の回転角の振幅及び位相を補正するための補正量であって、各温度に対応する補正量が格納されるルックアップテーブルとを有する光走査装置が開示されている。

【0005】

特許文献2には、ミラー部を駆動するアクチュエータの容量変化によって発生する電流を検出するとともに所定の周波数以上の成分をカットした電流信号を出力し、その電流信号の極大値と極小値との時間差に基づいてアクチュエータに付与する駆動信号を調整する光走査装置が開示されている。

20

【0006】

特許文献3には、ミラー部の振動の位相に応じて、振動の最大振幅がミラー部の共振範囲に留まるように、第1及び第2の制御周波数を調整し、第1及び第2の制御周波数は実質的に固定された整数比率を持たない光走査装置が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0007】

【文献】特開2018-101040号公報

【文献】特開2017-181951号公報

30

【文献】特表2013-513828号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上記の光走査装置では、ミラー部の第1軸周りの角度を検出する第1角度検出センサ、及びミラー部の第2軸周りの角度を検出する第2角度検出センサが用いられる。例えば、光走査装置は、第1角度検出センサ及び第2角度検出センサの出力信号に基づいて、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）を出力する。この基準信号は、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の制御に用いられる。

40

【0009】

第1角度検出センサの出力信号は、ミラー部の第2軸周りの揺動等の影響を受けて、信号波形が安定しない場合がある。同様に、第2角度検出センサの出力信号は、ミラー部の第1軸周りの揺動等の影響を受けて、信号波形が安定しない場合がある。これらの場合、第1角度検出センサ及び第2角度検出センサの出力信号に基づいて基準信号を出力すると、基準信号の出力タイミングが周期によってずれてしまう。この場合、周期毎に光源による光の照射タイミングがずれることにより、描画される画像の画質が低下してしまう。

【0010】

しかしながら、特許文献1～3に記載の技術では、基準信号の出力タイミングのずれについては考慮されていない。

50

【0011】

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】

【0012】

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、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、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駆動信号及び第1平均位相遅延時間に基づいて、第1軸周りの角度が基準角になったことを表す第1基準信号を生成し、第2駆動信号及び第2平均位相遅延時間に基づいて、第2軸周りの角度が基準角になったことを表す第2基準信号を生成する。

【0013】

なお、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。

【0014】

また、本開示の光走査装置は、第1基準信号が、第1軸周りの角度がゼロになったことを表す信号であり、第2基準信号が、第2軸周りの角度がゼロになったことを表す信号であってもよい。

【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。

【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、プロセッサが、第1平均位相遅延時間及び第2平均位相遅延時間それぞれに、予め設定された条件に応じたずれ時間を加えた時間に基づいて、第1基準信号及び第2基準信号それぞれを生成してもよい。

【0018】

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。

【0019】

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。

【0020】

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。

【0021】

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。

【0022】

また、本開示の光走査装置は、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、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ずれ時間を使用してもよい。

10

【0023】

また、本開示の光走査装置は、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備えており、プロセッサが、キャリブレーションの際に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平均位相遅延時間及び第2平均位相遅延時間を使用してもよい。

20

【0024】

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、を備える画像描画システムであって、プロセッサが、第1基準信号及び第2基準信号に基づいて、光源の光の照射タイミングを制御する。

【0025】

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、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、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駆動信号及び第1平均位相遅延時間に基づいて、第1軸周りの角度が基準角になったことを表す第1基準信号を生成し、第2駆動信号及び第2平均位相遅延時間に基づいて、第2軸周りの角度が基準角になったことを表す第2基準信号を生成するものである。

30

【発明の効果】

40

【0026】

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】

【0027】

【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。

【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】一対の第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。

50

【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。

【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。

10

【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画像描画システムの概略平面図である。

【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。

【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 1 キャリブレーション処理を説明するための図である。

20

【図 26】 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 27】 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 28】 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 29】 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 30】 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 31】 第 1 駆動周波数と第 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】

【0028】

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。

【0029】

30

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。

【0030】

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。

【0031】

40

画像描画システム 10 は、例えば、リサージュ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スキャンディスプレイに適用可能である。

【0032】

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° を中心

50

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。

【0033】

光源3は、光ビームLとして、例えばレーザ光を発するレーザ装置である。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いいし、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

【0034】

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。

【0035】

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。

20

【0036】

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。

【0037】

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。

30

【0038】

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。

【0039】

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21は、第1軸 a_1 に沿って延伸したトーションバーである。

40

【0040】

第1可動枠22は、ミラー部20を取り囲む矩形の枠体であって、第1軸 a_1 上で第1支持部21を介してミラー部20と接続されている。第1可動枠22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30が形成されている。このように、第1可動枠22上に2つの圧電素子30が形成されることにより、一对の第1アクチュエータ31が構成されている。

【0041】

一对の第1アクチュエータ31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31は、ミラー部20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20を第1軸 a_1 周りに揺動させる。

50

【0042】

第2支持部23は、第1可動枠22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23は、第2軸 a_2 上で第1可動枠22と接続されており、第1可動枠22及びミラー部20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23は、第2軸 a_2 に沿って延伸したトーションバーである。

【0043】

第2可動枠24は、第1可動枠22を取り囲む矩形状の枠体であって、第2軸 a_2 上で第2支持部23を介して第1可動枠22と接続されている。第2可動枠24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30が形成されている。このように、第2可動枠24上に2つの圧電素子30が形成されることにより、一対の第2アクチュエータ32が構成されている。

10

【0044】

一対の第2アクチュエータ32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32は、ミラー部20及び第1可動枠22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20を揺動させる。

【0045】

接続部25は、第2可動枠24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25は、第2軸 a_2 上で第2可動枠24と接続されている。

【0046】

固定枠26は、第2可動枠24を取り囲む矩形状の枠体であって、第2軸 a_2 上で接続部25を介して第2可動枠24と接続されている。

20

【0047】

また、第1可動枠22には、第1支持部21の近傍に、第1軸 a_1 を挟んで対向する位置に一対の第1角度検出センサ11A、11Bが設けられている。一対の第1角度検出センサ11A、11B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11A、11Bは、それぞれ、ミラー部20の第1軸 a_1 周りの回転に伴う第1支持部21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。

【0048】

また、第2可動枠24には、第2支持部23の近傍に、第2軸 a_2 を挟んで対向する位置に一対の第2角度検出センサ12A、12Bが設けられている。一対の第2角度検出センサ12A、12B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12A、12Bは、それぞれ、ミラー部20の第2軸 a_2 周りの回転に伴う第2支持部23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。

30

【0049】

図2では、第1アクチュエータ31及び第2アクチュエータ32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11A、11B及び第2角度検出センサ12A、12Bから信号を出力するための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。

40

【0050】

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、一対の第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。

【0051】

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

50

斜する角度である。

【0052】

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 $V_{2B}(t)$ 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。

【0053】

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。

【0054】

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。

【0055】

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。

$$V_{1A}(t) = V_{off1} + V_1 \sin(2\pi f_{d1}t)$$

$$V_{1B}(t) = V_{off1} + V_1 \sin(2\pi f_{d1}t + \alpha)$$

【0056】

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。 α 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、 $\alpha = 180^\circ$ とする。

【0057】

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。

【0058】

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。

$$V_{2A}(t) = V_{off2} + V_2 \sin(2\pi f_{d2}t + \phi)$$

$$V_{2B}(t) = V_{off2} + V_2 \sin(2\pi f_{d2}t + \beta + \phi)$$

【0059】

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。 β 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、 $\beta = 180^\circ$ 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。

【0060】

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。

【0061】

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。

【0062】

10

20

30

40

50

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 6 0 A、第 2 駆動信号生成部 6 0 B、第 1 信号処理部 6 1 A、第 2 信号処理部 6 1 B、第 1 位相シフト部 6 2 A、第 2 位相シフト部 6 2 B、第 1 導出部 6 3 A、第 2 導出部 6 3 B、第 3 導出部 6 4、第 1 ゼロクロスパルス出力部 6 5 A、第 2 ゼロクロスパルス出力部 6 5 B、及び光源駆動部 6 6 を有する。

【0063】

第 1 駆動信号生成部 6 0 A、第 1 信号処理部 6 1 A、及び第 1 位相シフト部 6 2 A は、ミラー部 2 0 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 6 0 B、第 2 信号処理部 6 1 B、及び第 2 位相シフト部 6 2 B は、ミラー部 2 0 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。

10

【0064】

第 1 駆動信号生成部 6 0 A 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 6 2 A を介して一対の第 1 アクチュエータ 3 1 に付与する。これにより、ミラー部 2 0 は、第 1 軸 a_1 周りに揺動する。

【0065】

第 2 駆動信号生成部 6 0 B 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 6 2 B を介して一対の第 2 アクチュエータ 3 2 に付与する。これにより、ミラー部 2 0 は、第 2 軸 a_2 周りに揺動する。

20

【0066】

第 1 駆動信号生成部 6 0 A が生成する第 1 駆動信号と、第 2 駆動信号生成部 6 0 B 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。

【0067】

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。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。

【0068】

図 6 は、一対の第 1 角度検出センサ 1 1 A、1 1 B から出力される信号の一例を示す。図 6 において、 S_{1a_1} 及び S_{1a_2} は、ミラー部 2 0 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 1 1 A、1 1 B から出力される信号を表している。信号 S_{1a_1} 、 S_{1a_2} 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。

30

【0069】

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、一対の第 1 角度検出センサ 1 1 A、1 1 B の出力信号には、ミラー部 2 0 の第 2 軸 a_2 周りの揺動に起因する振動ノイズ RN_1 が重畳される。 S_{1b_1} は、信号 S_{1a_1} に振動ノイズ RN_1 が重畳された信号を表している。 S_{1b_2} は、信号 S_{1a_2} に振動ノイズ RN_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 RN_1 を強調して示している。

40

【0070】

図 7 は、一対の第 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_{2a_1} 及び S_{2a_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 周りにのみ揺動させた場合に一対の第 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_{2a_1} 、 S_{2a_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。

【0071】

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、一対の

50

第2角度検出センサ12A、12Bの出力信号には、ミラー部20の第1軸 a_1 周りの揺動に起因する振動ノイズRN2が重畳される。S2b₁は、信号S2a₁に振動ノイズRN2が重畳された信号を表している。S2b₂は、信号S2a₂に振動ノイズRN2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RN2を強調して示している。

【0072】

第1信号処理部61Aは、一对の第1角度検出センサ11A、11Bから出力されたS1a₁、S1a₂に基づいて、振動ノイズRN1が除去された信号（以下、「第1角度検出信号」という）S1cを生成する。第2信号処理部61Bは、一对の第2角度検出センサ12A、12Bから出力されたS2a₁、S2a₂に基づいて、振動ノイズRN2が除

10

【0073】

第1信号処理部61A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61Aは、バッファアンプ71、可変ゲインアンプ72、減算回路73、及びゲイン調整回路74により構成されている。ゲイン調整回路74は、第1BPF（Band Pass Filter）回路75A、第2BPF回路75B、第1検波回路76A、第2検波回路76B、減算回路77により構成されている。減算回路73及び減算回路77は、オペアンプで構成された差動増幅回路である。

【0074】

第1角度検出センサ11Aから出力された信号S1b₁は、バッファアンプ71を経由して、減算回路73のプラス入力端子（非反転入力端子）に輸入される。また、バッファアンプ71から出力される信号は、減算回路73に輸入されるまでの間に途中で分岐されて、ゲイン調整回路74内の第1BPF回路75Aに輸入される。

20

【0075】

第1角度検出センサ11Bから出力された信号S1b₂は、可変ゲインアンプ72を経由して、減算回路73のマイナス入力端子（反転入力端子）に輸入される。また、可変ゲインアンプ72から出力される信号は、減算回路73に輸入されるまでの間に途中で分岐されて、ゲイン調整回路74内の第2BPF回路75Bに輸入される。

【0076】

第1BPF回路75A及び第2BPF回路75B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B1を有する。通過帯域B1は、例えば、 $f_{d2} \pm 5\text{kHz}$ の周波数帯である。振動ノイズRN1は、第2駆動周波数 f_{d2} を有するので、通過帯域B1を通過する。したがって、第1BPF回路75Aは、バッファアンプ71から入力された信号から、振動ノイズRN1を抽出して出力する。第2BPF回路75Bは、可変ゲインアンプ72から入力された信号から、振動ノイズRN1を抽出して出力する。

30

【0077】

第1検波回路76A及び第2検波回路76Bは、それぞれ、例えば、RMS-DC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76Aは、第1BPF回路75A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のプラス入力端子に輸入する。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輸入する。

40

【0078】

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d₁を出力する。値d₁は、第1角度検出センサ11Aから出力された信号S1b₁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S1b₂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d₁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輸入する。

【0079】

50

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 $S1b_2$ に乘じることにより、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。

【0080】

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ので、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。

【0081】

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。

【0082】

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 $V_{1A}(t)$ に対して、位相に 90° の遅れが生じる。

【0083】

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。

【0084】

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。

【0085】

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 $V_{2A}(t)$ に対して、位相に 90° の遅れが生じる。

【0086】

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。

【0087】

第2信号処理部61Bにより生成された第2角度検出信号 $S2c$ は、第2駆動信号生成部60Bにフィードバックされる。第2位相シフト部62Bは、第2駆動信号生成部60B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62Bは、例えば、位相を 90° シフトさせる。

【0088】

第1信号処理部61Aにより生成される第1角度検出信号 $S1c$ 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61Aによる処理では、ミラー部20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11に示すように、第1角度検出信号 $S1c$ 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11では、複数周期の第1角度検出信号 S

10

20

30

40

50

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。

【0089】

そこで、第1導出部63Aは、複数周期の第1角度検出信号S1c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63Aによる処理を説明する。

【0090】

第1導出部63A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S1c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12に示すように、第1導出部63A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S1c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S1c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_{off1} 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_{off1} である時点の意味する。

10

【0091】

同様に、第2信号処理部61Bにより生成される第2角度検出信号S2cも、理想的には正弦波となるが、ミラー部20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63Bは、複数周期の第2角度検出信号S2c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63Bによる処理を説明する。

20

【0092】

第2導出部63B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S2c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13に示すように、第2導出部63B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S2c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S2c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_{off2} 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_{off2} である時点の意味する。

30

【0093】

なお、以上の第1導出部63A及び第2導出部63B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。

【0094】

以上の第1導出部63A及び第2導出部63Bによる処理により、第1角度検出信号S1c及び第2角度検出信号S2c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S1c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S2c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。

40

【0095】

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

50

なる。

【0096】

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。

【0097】

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_{1avg} に応じた第1ずれ時間 t_{31} を導出する。

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

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。

【0098】

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。

【0099】

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。

【0100】

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となったことを表す信号である。本実施形態では、この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。

【0101】

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。

【0102】

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となったことを表す信号である。本実施形態では、この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

10

20

30

40

50

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。

【0103】

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。

【0104】

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。

【0105】

光源駆動部 66 は、例えば、画像描画システム 10 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 66 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 $ZC1$ 及び第 2 ゼロクロスパルス $ZC2$ と同期するように照射タイミングを制御する。

【0106】

次に、図 18 を参照して、第 1 ずれ時間導出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、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。

【0107】

図 18 のステップ S10 で、第 1 導出部 63A 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。ステップ S12 で、第 1 導出部 63A は、ステップ S10 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。

【0108】

ステップ S14 で、第 3 導出部 64 は、前述した関数 $f1$ に従って、ステップ S12 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_{31} を導出する。ステップ S14 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_{31} が更新される。

【0109】

次に、図 19 を参照して、第 2 ずれ時間導出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、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。

【0110】

図 19 のステップ S20 で、第 2 導出部 63B 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。ステップ S22 で、第 2 導出部 63B は、ステップ S20 で取得された直

10

20

30

40

50

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。

【0111】

ステップS24で、第3導出部64は、前述した関数 f_2 に従って、ステップS22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_{32} を導出する。ステップS24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_{32} が更新される。

【0112】

次に、図20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10による画像の描画中に、図20に示す第1ゼロクロスパルス生成処理が実行される。

10

【0113】

図20のステップS30で、第1ゼロクロスパルス出力部65A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S32に移行し、否定判定となった場合、ステップS30が再度実行される。

【0114】

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。

20

【0115】

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。

【0116】

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、図21に示す第2ゼロクロスパルス生成処理が実行される。

30

【0117】

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。

【0118】

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。

40

【0119】

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。

【0120】

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

50

22は、キャリブレーションの際の画像描画システム10の概略平面図である。図22に示すように、キャリブレーションの際には、画像描画システム10は、更に、撮影装置7を備える。撮影装置7は、被走査面6を撮影可能な位置に設けられる。撮影装置7は、予め設定されたフレームレートで被走査面6を撮影し、撮影して得られた画像データを駆動制御部5に出力する。撮影装置7のフレームレートは、例えば、画像描画システム10が画像を描画する際のフレームレートと同じフレームレートに設定される。撮影装置7の例としては、デジタルカメラが挙げられる。

【0121】

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26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、光走査装置2の出荷先のユーザ拠点では、撮影装置7が画像描画システム10に含まれなくてもよい。

【0122】

図23のステップS50で、第1駆動信号生成部60A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62Aを介して一對の第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 周りにのみ揺動させる。

【0123】

ステップS52で、第1導出部63A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_{1c} 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S54で、第1導出部63A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。

【0124】

ステップS56で、第1ゼロクロスパルス出力部65Aは、第1駆動信号がゼロ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 ZC_1 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 ZC_1 を光源駆動部66に出力する。第1キャリブレーション処理では、光源駆動部66は、第1ゼロクロスパルス ZC_1 に同期させて、光源3からレーザ光を照射させる。この際の第1ずれ時間 t_{31} は、仮の値として設定される時間である。

【0125】

以上のステップS50からステップS56までの処理が、第1駆動周波数及第1ずれ時間 t_{31} を変更しながら複数回実行される。第1駆動周波数が変更されると、第1平均位相遅延時間も異なる値となる。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} の組み合わせのそれぞれに基づいて、第1ゼロクロスパルス出力部65Aから第1ゼロクロスパルス ZC_1 が出力され、光源3からレーザ光が照射される。

【0126】

ステップS58で、第3導出部64は、撮影装置7により撮影された画像データを取得する。なお、駆動制御部5と撮影装置7とは時刻同期されている。このため、第3導出部64は、画像データに付与された時刻情報に基づいて、どの画像データが、どの組み合わせの第1平均位相遅延時間及び第1ずれ時間 t_{31} に基づいてレーザ光が照射されたときの画像データであるかを特定することができる。

【0127】

第1平均位相遅延時間に対して仮の値として設定された第1ずれ時間 t_{31} が実際の第

10

20

30

40

50

1 ずれ時間 t_{31} と異なる場合、その第 1 平均位相遅延時間及び第 1 ずれ時間 t_{31} の組み合わせに対応する画像データが示す画像は、一例として図 24 に示すようになる。図 24 に示す輝点 P1 は、第 1 駆動信号が負から正に向けてゼロになる時点を基準とした第 1 ゼロクロスパルス ZC1 に基づいて光源 3 から照射されたレーザ光が MMD4 のミラー部 20 により反射されて被走査面 6 に描かれた輝点を示す。また、図 24 に示す輝点 P2 は、第 1 駆動信号が正から負に向けてゼロになる時点を基準とした第 1 ゼロクロスパルス ZC1 に基づいて光源 3 から照射されたレーザ光が MMD4 のミラー部 20 により反射されて被走査面 6 に描かれた輝点を示す。

【0128】

すなわち、この場合、画像データが示す画像において、輝点 P1 と輝点 P2 とは第 2 軸 a_2 に対応する軸上でずれる。これに対し、第 1 平均位相遅延時間に対して仮の値として設定された第 1 ずれ時間 t_{31} が実際の第 1 ずれ時間 t_{31} と一致する場合、その第 1 平均位相遅延時間及び第 1 ずれ時間 t_{31} の組み合わせに対応する画像データが示す画像は、一例として図 25 に示すようになる。すなわち、この場合、輝点 P1 と輝点 P2 とが重なる。

【0129】

そこで、ステップ S60 で、第 3 導出部 64 は、輝点 P1 と輝点 P2 とが重なる画像データが撮影されたときの第 1 平均位相遅延時間及び第 1 ずれ時間 t_{31} の組み合わせを正しい組み合わせであると特定する。この正しい組み合わせが複数得られるため、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。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 S60 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。

【0130】

図 26 のステップ S70 で、第 2 駆動信号生成部 60B 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 62B を介して一対の第 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 周りにのみ揺動させる。

【0131】

ステップ S72 で、第 2 導出部 63B 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。ステップ S74 で、第 2 導出部 63B 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。

【0132】

ステップ S76 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。第 2 キャリブレーション処理では、光源駆動部 66 は、第 2 ゼロクロスパルス ZC2 に同期させて、光源 3 からレーザ光を照射させる。この際の第 2 ずれ時間 t_{32} は、仮の値として設定される時間である。

【0133】

以上のステップ S70 からステップ S76 までの処理が、第 2 駆動周波数及第 2 ずれ時間 t_{32} を変更しながら複数回実行される。第 2 駆動周波数が変更されると、第 2 平均位相遅延時間も異なる値となる。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} の組み合わせのそれぞれに基づいて、第 2 ゼロクロスパルス出力部 65B から第 2 ゼロクロスパルス ZC2 が出力され、光源 3 からレーザ光が照射される。

【0134】

ステップS78で、第3導出部64は、撮影装置7により撮影された画像データを取得する。なお、駆動制御部5と撮影装置7とは時刻同期されている。このため、第3導出部64は、画像データに付与された時刻情報に基づいて、どの画像データが、どの組み合わせの第2平均位相遅延時間及び第2ずれ時間 t_{32} に基づいてレーザ光が照射されたときの画像データであるかを特定することができる。

【0135】

第2平均位相遅延時間に対して仮の値として設定された第2ずれ時間 t_{32} が実際の第2ずれ時間 t_{32} と異なる場合、その第2平均位相遅延時間及び第2ずれ時間 t_{32} の組み合わせに対応する画像データが示す画像は、一例として図27に示すようになる。図27に示す輝点P3は、第2駆動信号が負から正に向けてゼロになる時点を基準とした第2ゼロクロスパルスZC2に基づいて光源3から照射されたレーザ光がMMD4のミラー部20により反射されて被走査面6に描かれた輝点を示す。また、図27に示す輝点P4は、第2駆動信号が正から負に向けてゼロになる時点を基準とした第2ゼロクロスパルスZC2に基づいて光源3から照射されたレーザ光がMMD4のミラー部20により反射されて被走査面6に描かれた輝点を示す。

10

【0136】

すなわち、この場合、画像データが示す画像において、輝点P3と輝点P4とは第1軸 a_1 に対応する軸上でずれる。これに対し、第2平均位相遅延時間に対して仮の値として設定された第2ずれ時間 t_{32} が実際の第2ずれ時間 t_{32} と一致する場合、その第2平均位相遅延時間及び第2ずれ時間 t_{32} の組み合わせに対応する画像データが示す画像は、一例として図28に示すようになる。すなわち、この場合、輝点P3と輝点P4とが重なる。

20

【0137】

そこで、ステップS80で、第3導出部64は、輝点P3と輝点P4とが重なる画像データが撮影されたときの第2平均位相遅延時間及び第2ずれ時間 t_{32} の組み合わせを正しい組み合わせであると特定する。この正しい組み合わせが複数得られるため、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。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S70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。

30

【0138】

以上説明したように、本実施形態によれば、第1ゼロクロスパルスZC1及び第2ゼロクロスパルスZC2の出力タイミングの周期毎のずれを低減す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MMD4の構成は一例である。MMD4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。

40

【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29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29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、

50

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29の例では-X方向）にずれた位置に配置されている。

【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。

【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30に示す。図30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 $S1b_1$ 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 $S1b_2$ 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29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29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29の例では+Y方向）にずれた位置に配置されている。

【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30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。

【0146】

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 $ZC1$ 及び第2ゼロクロスパルス $ZC2$ 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、MMD4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。

10

20

30

40

50

【0147】

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31に、第1駆動周波数と、第1ずれ時間 t_{31} との関係の一例を示す。図31では、2つの異なる第1振れ角 θ_1 それぞれとなるように、ミラー部20を第1軸 a_1 周りに揺動させた場合の第1駆動周波数と、第1ずれ時間 t_{31} との関係が示されている。また、図31における実線は、破線よりも第1振れ角 θ_1 が大きい角度でミラー部20を第1軸 a_1 周りに揺動させた状態での第1駆動周波数と第1ずれ時間 t_{31} との関係を示している。図31に示すように、第1駆動周波数が高くなるほど第1ずれ時間 t_{31} が長くなっている。図31では、第1駆動周波数と、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駆動周波数だけではなく、第1駆動信号の駆動電圧にも応じて変化する。第1駆動信号の駆動電圧とは、例えば、第1駆動信号の振幅に相当する。

10

【0148】

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} を導出してもよい。

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

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。

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

20

【0149】

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。

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

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

【0150】

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。

30

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

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。

【0151】

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。

40

50

【符号の説明】

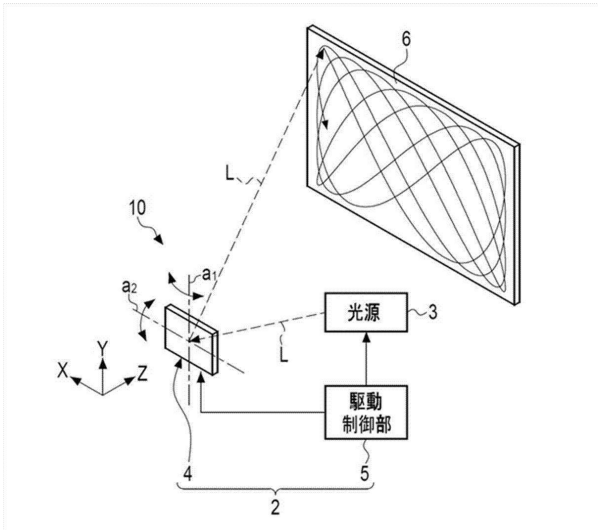
【 0 1 5 2 】

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	撮影装置	
10	画像描画システム	
11A、11B	第1角度検出センサ	10
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	
25	接続部	
26	固定枠	
30	圧電素子	20
31	第1アクチュエータ	
32	第2アクチュエータ	
60A	第1駆動信号生成部	
60B	第2駆動信号生成部	
61A	第1信号処理部	
61B	第2信号処理部	
62A	第1位相シフト部	
62B	第2位相シフト部	
63A	第1導出部	
63B	第2導出部	30
64	第3導出部	
65A	第1ゼロクロスパルス出力部	
65B	第2ゼロクロスパルス出力部	
66	光源駆動部	
71	バッファアンプ	
72	可変ゲインアンプ	
73、77	減算回路	
73A	加算回路	
74	ゲイン調整回路	
75A	第1BPF回路	40
75B	第2BPF回路	
76A	第1検波回路	
76B	第2検波回路	
L	光ビーム	
P1、P2、P3、P4	輝点	
RN1、RN2	振動ノイズ	
S1c	第1角度検出信号	
S2c	第2角度検出信号	
ZC1	第1ゼロクロスパルス	
ZC2	第2ゼロクロスパルス	50

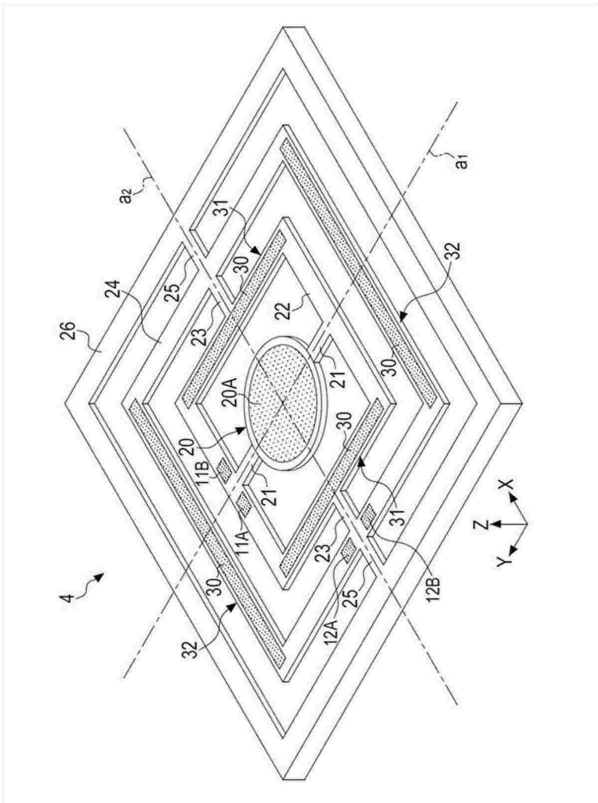
a_1 第1軸
 a_2 第2軸
 f_{d1} 第1驅動周波数
 f_{d2} 第2驅動周波数

【図面】

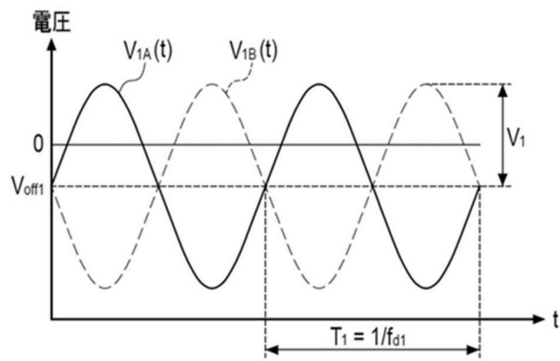
【図1】



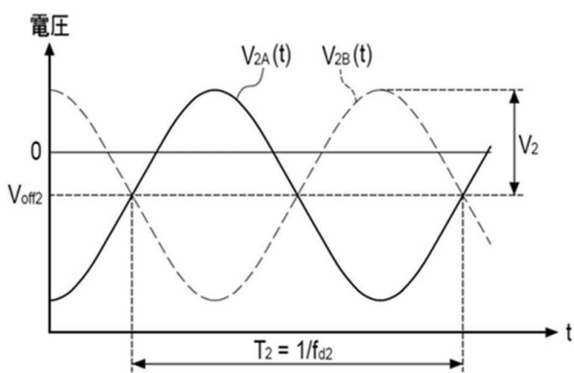
【図2】



【図3】



【図4】



10

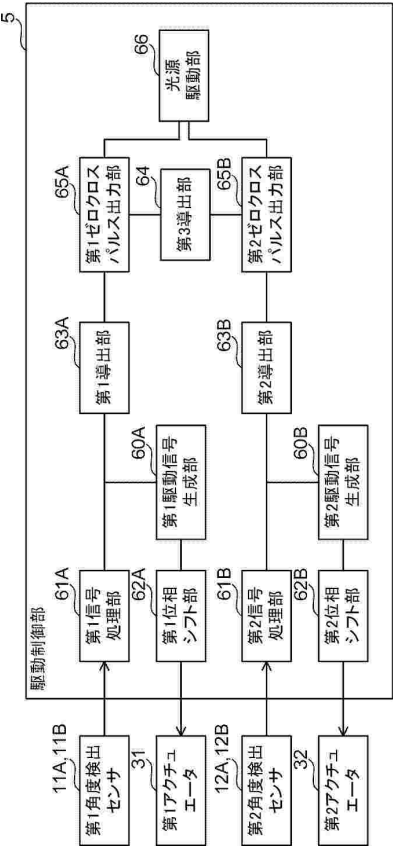
20

30

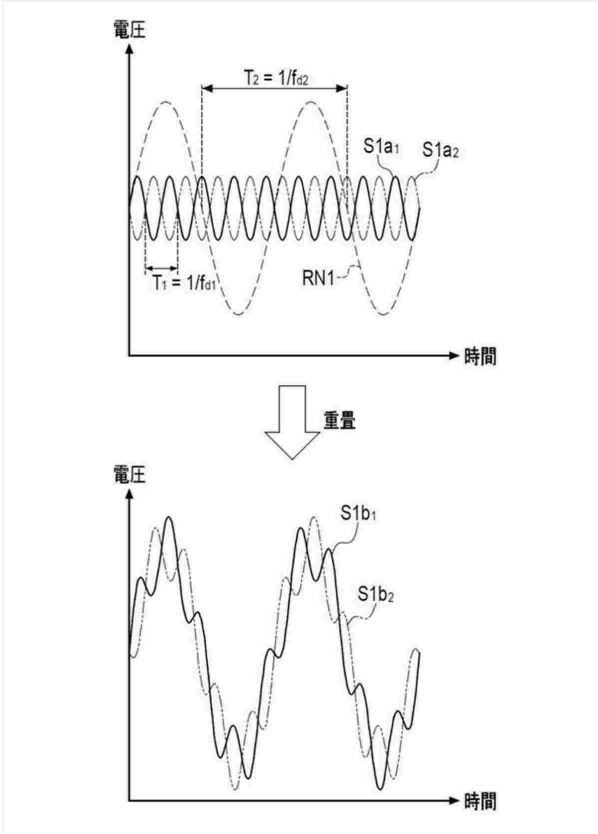
40

50

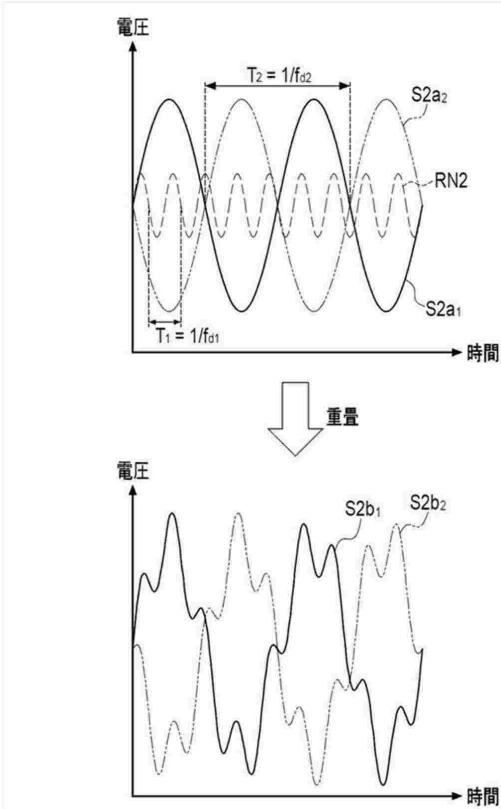
【図 5】



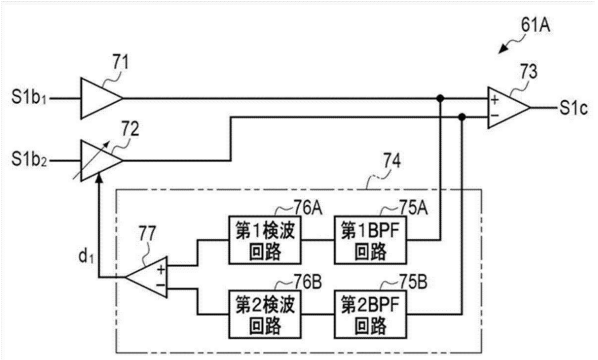
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

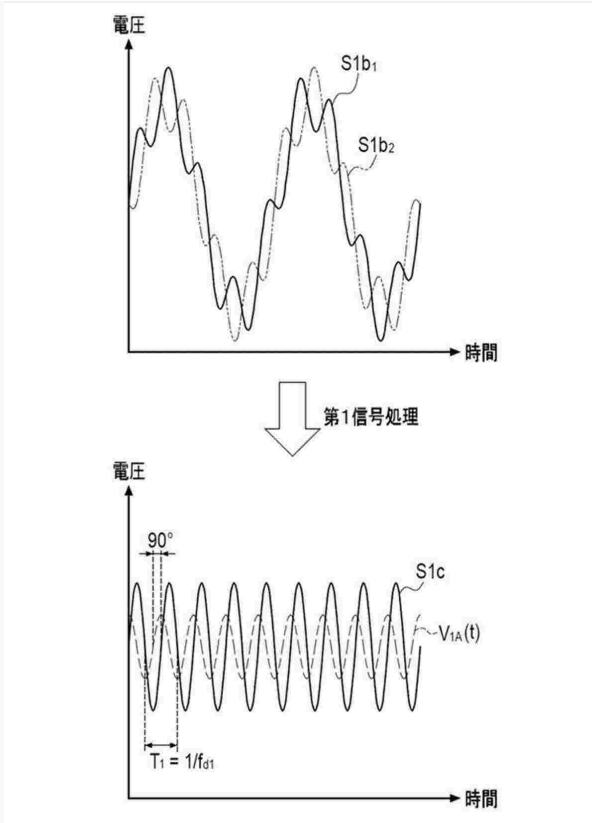
20

30

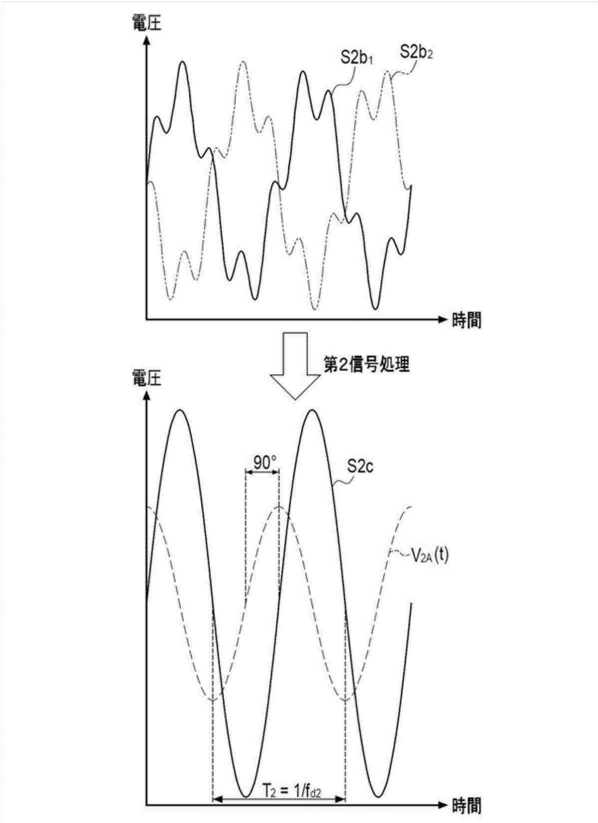
40

50

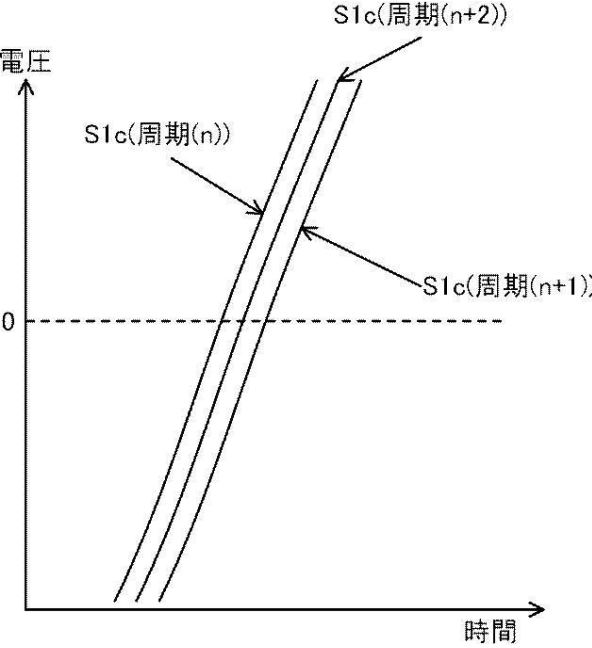
【図 9】



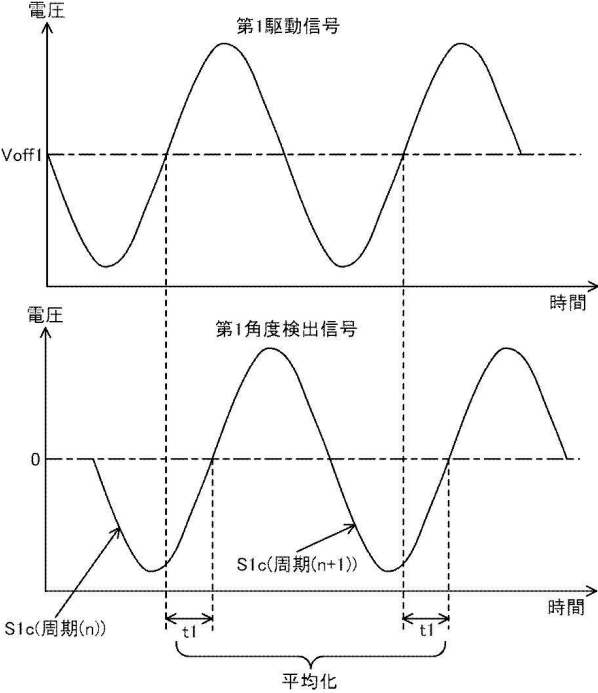
【図 10】



【図 11】



【図 12】



10

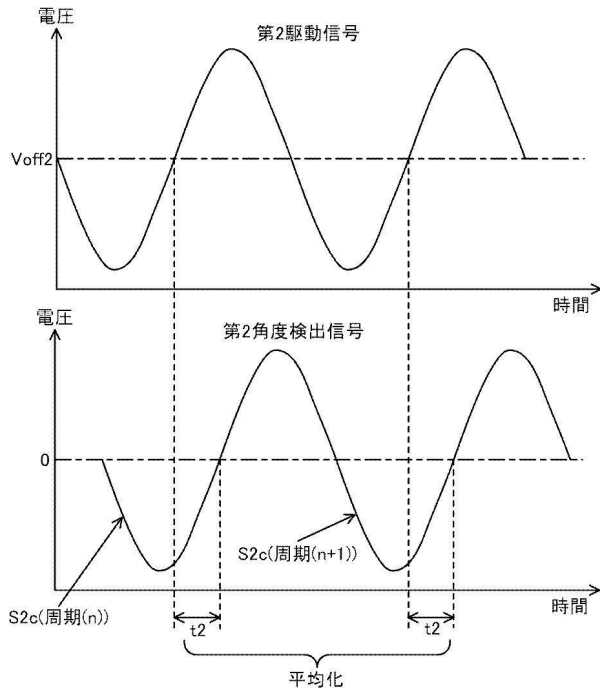
20

30

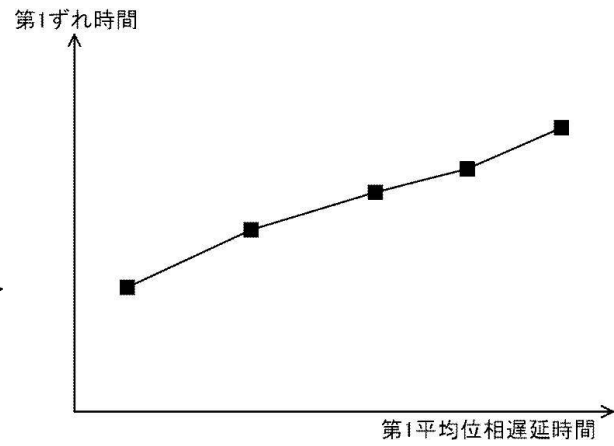
40

50

【図 1 3】



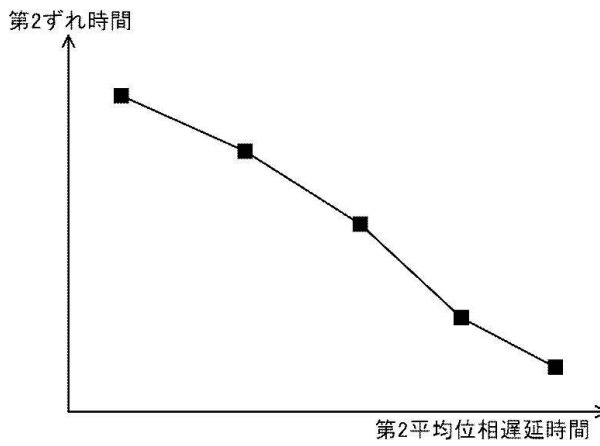
【図 1 4】



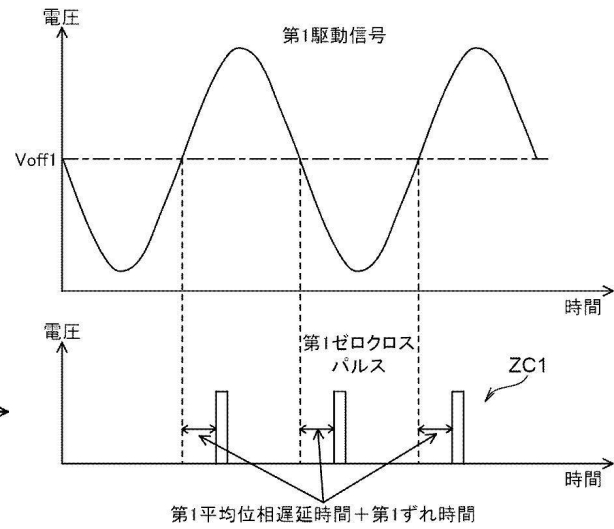
10

20

【図 1 5】



【図 1 6】

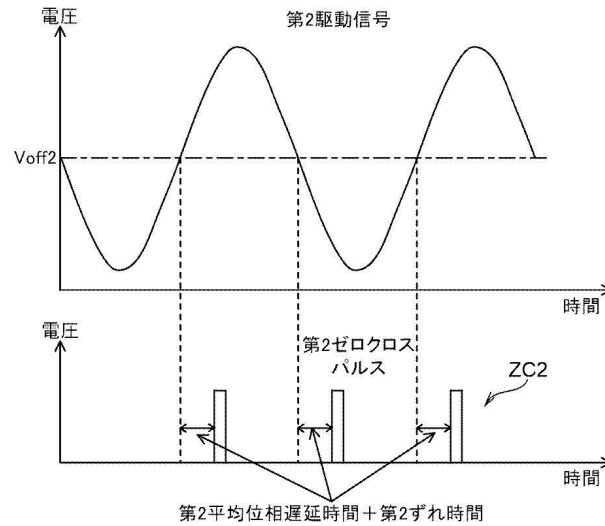


30

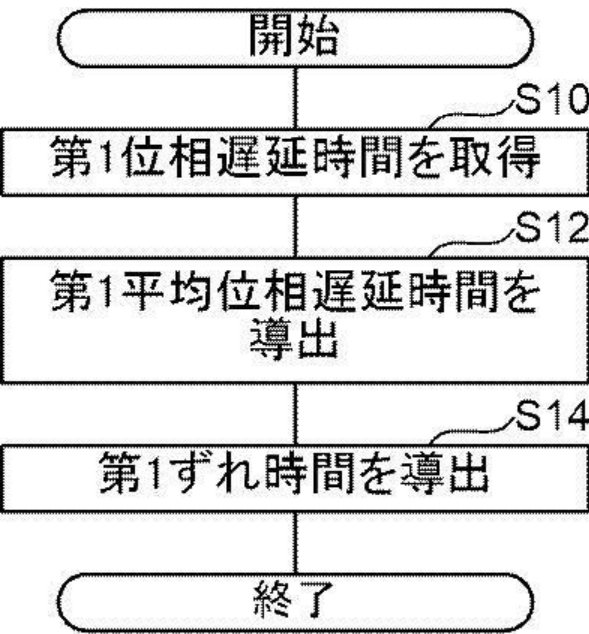
40

50

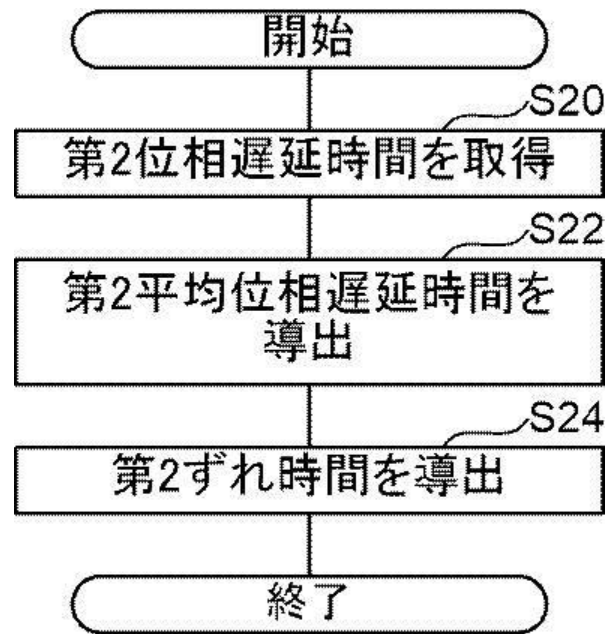
【図 17】



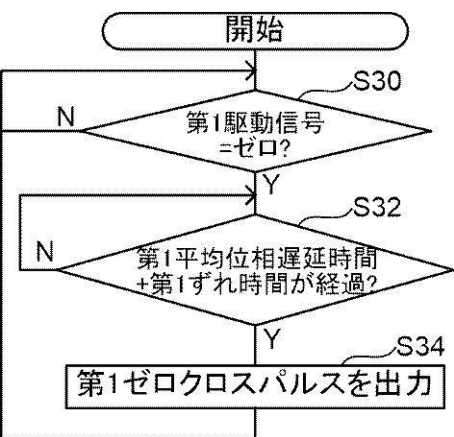
【図 18】



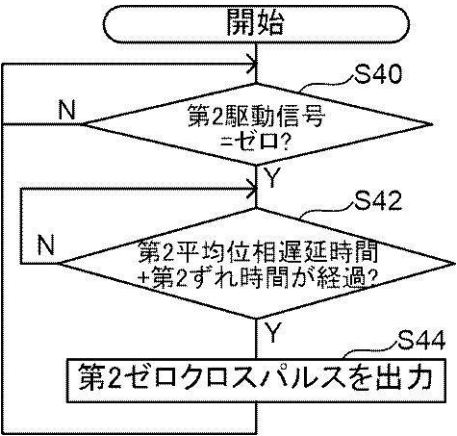
【図 19】



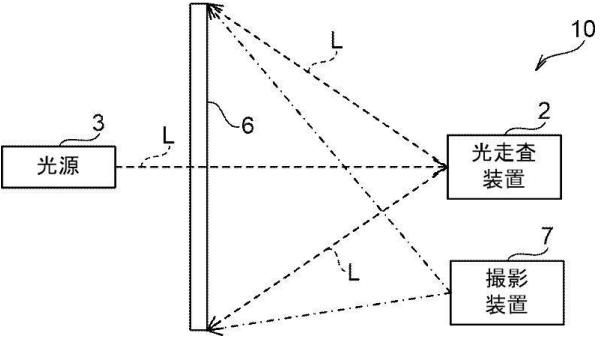
【図 20】



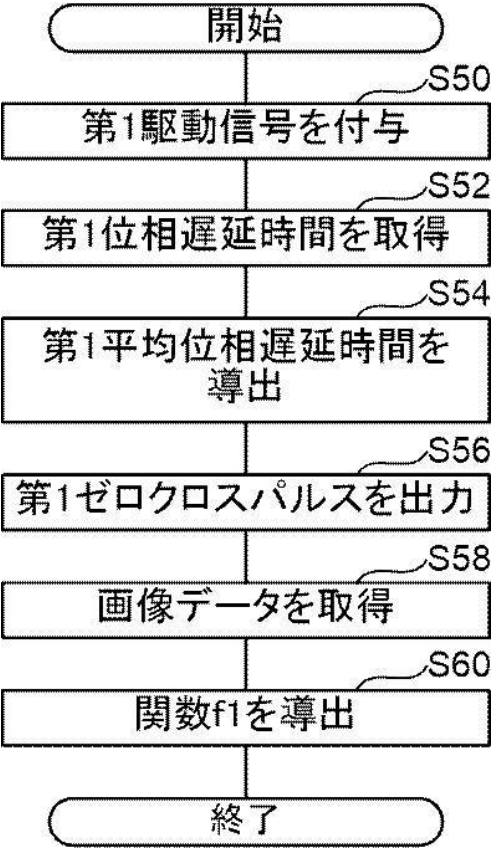
【図 2 1】



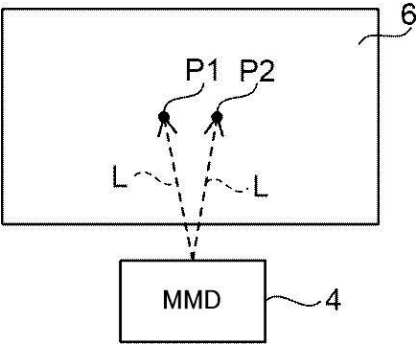
【図 2 2】



【図 2 3】



【図 2 4】



10

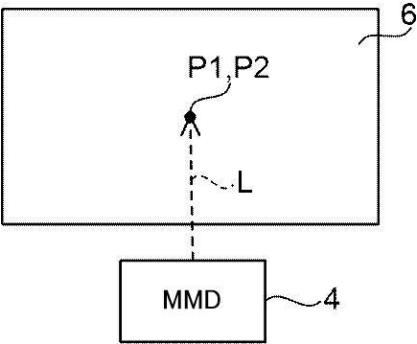
20

30

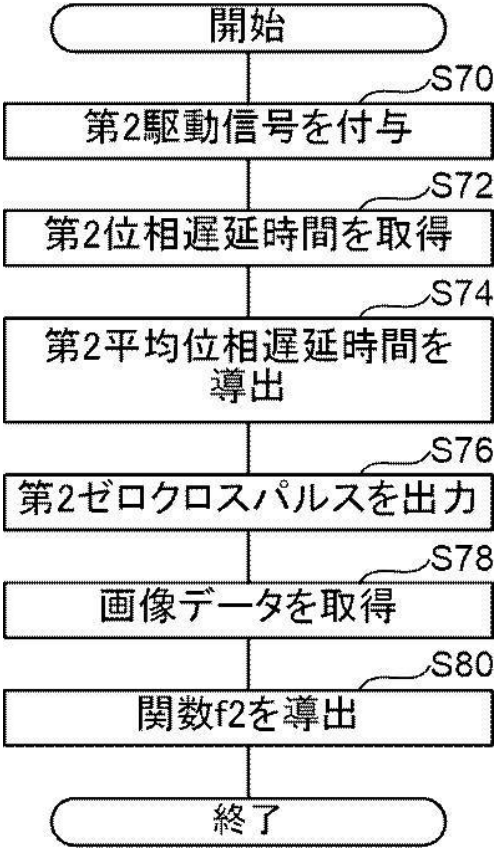
40

50

【図 2 5】



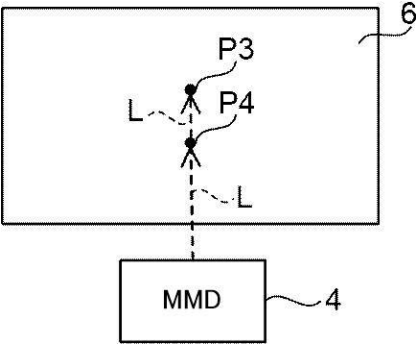
【図 2 6】



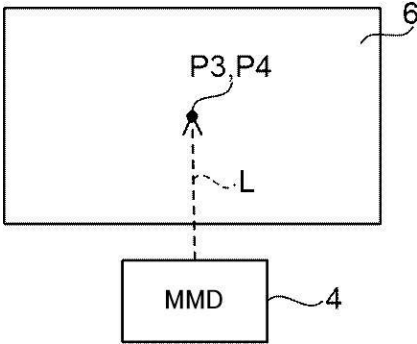
10

20

【図 2 7】



【図 2 8】

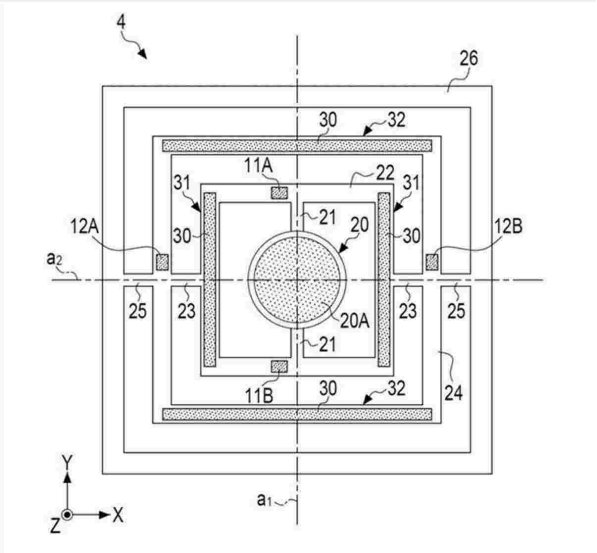


30

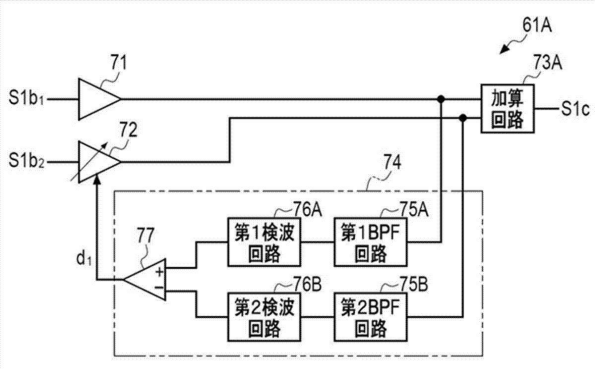
40

50

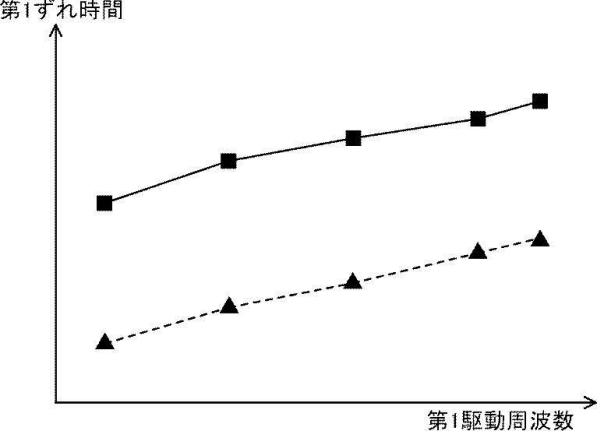
【図 2 9】



【図 3 0】



【図 3 1】



フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I
G 0 9 G 3/02 A

(72)発明者 神奈川県足柄上郡開成町牛島 5 7 7 番地 富士フイルム株式会社内
遠藤 靖
神奈川県足柄上郡開成町牛島 5 7 7 番地 富士フイルム株式会社内
審査官 近藤 幸浩

(56)参考文献 特開 2 0 1 8 - 1 0 1 0 4 0 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 1 3 1 1 5 1 (J P , A)
特開 2 0 0 4 - 2 1 2 8 0 7 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 2 0 2 8 0 3 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 1 5 6 9 1 3 (J P , A)
特開 2 0 1 2 - 2 3 7 7 8 8 (J P , A)
特開 2 0 1 5 - 0 4 0 9 2 8 (J P , A)
特開 2 0 0 4 - 0 7 8 1 3 0 (J P , A)
特開 2 0 0 3 - 1 7 7 3 4 0 (J P , A)
特開 2 0 1 6 - 0 8 5 2 7 9 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 1 / 0 0 5 8 0 4 5 (U S , A 1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)
G 0 2 B 2 6 / 1 0
G 0 2 B 2 6 / 0 8
B 8 1 B 3 / 0 0