

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7413372号
(P7413372)

(45)発行日 令和6年1月15日(2024.1.15)

(24)登録日 令和6年1月4日(2024.1.4)

(51)国際特許分類

G 0 1 B 11/25 (2006.01)

F I

G 0 1 B 11/25

H

請求項の数 7 (全41頁)

(21)出願番号	特願2021-521106(P2021-521106)	(73)特許権者	500148488
(86)(22)出願日	令和1年10月18日(2019.10.18)		サイバーオプティクス コーポレーション
(65)公表番号	特表2022-505166(P2022-505166 A)		アメリカ合衆国 5 5 4 1 6 ミネソタ
(43)公表日	令和4年1月14日(2022.1.14)		州、ゴールデン バレイ、ゴールデン ヒ
(86)国際出願番号	PCT/US2019/056921	(74)代理人	ルス ドライブ 5 9 0 0
(87)国際公開番号	WO2020/081927		110001508
(87)国際公開日	令和2年4月23日(2020.4.23)	(72)発明者	弁理士法人 津国
審査請求日	令和3年6月10日(2021.6.10)		ホーゲン、ポール・アール
(31)優先権主張番号	62/747,350	(72)発明者	アメリカ合衆国、ミネソタ 5 5 3 4 8
(32)優先日	平成30年10月18日(2018.10.18)		、ブルーミントン、エッジウッド・ロー
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(72)発明者	ド 9 6 2 5
(31)優先権主張番号	62/747,353		ハウガン、カール・イー
(32)優先日	平成30年10月18日(2018.10.18)		アメリカ合衆国、ミネソタ 5 5 1 0 5
	最終頁に続く		、セント・ポール、グッドリッチ・アベ
			ニュー 2 0 3 1
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 対向配置チャネルを有する三次元センサ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

ターゲット面の寸法情報を決定する方法であって、

第1の対向配置チャネルを有する位相形状測定システムの第1の撮像システム・照明源対によって生成された前記ターゲット面の第1の複数の再構成表面点に対応する第1の点群を生成することと、

第2の対向配置チャネルを有する位相形状測定システムの第2の撮像システム・照明源対によって生成された前記ターゲット面の第2の複数の再構成表面点に対応する第2の点群を生成することと、

前記ターゲット面に対応する体積を、ボクセルのセットに分割することと、

前記第1の点群及び前記第2の点群内の再構成表面点ごとに、表面点の符号付き距離関数（SDF）及び対応する重みを、前記第1の点群及び前記第2の点群内の各再構成表面点の撮像システム光線に沿った前記ボクセルのセットに付加することと、

前記第1の点群及び前記第2の点群の前記SDFのレベルセットを識別することと、

第1及び第2の複数の再構成表面点、前記SDFのレベルセット、及び前記第1の撮像システム・照明源対及び前記第2の撮像システム・照明源対の幾何学的配置に基づき最終的な点群を生成すること、

を含む、方法。

【請求項2】

前記最終的な点群を生成することが、鏡面反射グリントによって引き起こされる測定誤差

を低減する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記最終的な点群を生成することが、前記ターゲット面の反射率勾配によって引き起こされる測定誤差を低減する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

前記最終的な点群を生成することが、前記ターゲット面の傾斜によって引き起こされる測定誤差を低減する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記第 1 の撮像システム・照明源対が、第 1 の動作同軸カメラ・プロジェクタ対からの第 1 のカメラと、第 2 の動作同軸カメラ・プロジェクタ対からの第 1 のプロジェクタとを含み、

10

前記第 2 の撮像システム・照明源対が、前記第 2 の動作同軸カメラ・プロジェクタ対からの第 2 のカメラと、前記第 1 の動作同軸カメラ・プロジェクタ対からの第 2 のプロジェクタとを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記第 1 の動作同軸カメラ・プロジェクタ対又は前記第 2 の動作同軸カメラ・プロジェクタ対の少なくとも一方が、前記ターゲット面及びターゲット面法線に対して斜角で位置合わせされる、請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

前記第 1 の動作同軸カメラ・プロジェクタ対又は前記第 2 の動作同軸カメラ・プロジェクタ対の少なくとも一方が、前記ターゲット面に対して垂直に位置合わせされる、請求項 6 に記載の方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

背景技術

表面又は物体に関する精密な寸法情報を得ることは、多くの産業及びプロセスにとって不可欠である。例えば、エレクトロニクス組立産業では、回路基板上の電気部品に関する精密な寸法情報を使用して、その部品が適切に配置されているかどうかを判定することができる。さらに、寸法情報は、適切な量のはんだペーストが回路基板上の適切な位置に確実に付着されるようにするための部品実装前の回路基板上のはんだペースト付着物の検査においても有用である。さらに、寸法情報は、半導体ウエハ及びフラット・パネル・ディスプレイの検査においても有用である。

30

【0002】

光位相形状測定システムは、面オブジェクトに関する精密な寸法情報を正確に測定及び取得するために使用されてきた。しかしながら、一部の新しい電子アセンブリは、反射鏡面を有する部品を含む。従来のシステムは、一般に、拡散非反射面を測定するように構成されており、そのような部品の精密な寸法情報を取得することが困難である。加えて、特定の技術はサイズを縮小しており（例えば、回路基板並びに回路基板上の部品及び／又はデバイス）、正確な寸法情報を得るために、より高倍率、より高分解能の光学系を必要としている。従来の光学計測システムは、用途のサイズ及び表面反射率が進歩及び変化するにつれて、様々な要因から様々な測定誤差を生じる。

40

【0003】

そのような部品の寸法情報の精度が様々な産業及びプロセスにとってますます重要になるにつれて、そのような情報を正確に測定及び取得し、測定された表面形状の測定誤差の様々な原因を補正することがますます重要になる。

【0004】

上記の考察は、単に、一般的な背景情報について提供されており、特許請求される主題の範囲を決定する際の補助として使用されることを意図されていない。特許請求される主題は、背景に記載された欠点のいずれか又はすべてを解決する実装形態に限定されない。

50

【0005】

上記の考察は、単に、一般的な背景情報について提供されており、特許請求される主題の範囲を決定する際の補助として使用されることを意図されていない。

【発明の概要】

【0006】

光位相形状測定システムは、ターゲット面に対して第1の角度で位置合わせされた、ターゲット面に第1の照明を投射する第1の動作同軸カメラ・プロジェクタ対と、ターゲット面に対して第2の角度で位置合わせされた、ターゲット面に第2の照明を投射する第2の動作同軸カメラ・プロジェクタ対とを含む。第1の角度と第2の角度とは、第2の動作同軸カメラ・プロジェクタ対が第1の照明からの第1の反射を取り込むように構成され、第1の動作同軸カメラ・プロジェクタ対が第2の照明からの第2の反射を取り込むように構成されるように、ターゲット面に対して互いに等しく反対である。光位相形状測定システムは、取り込まれた第1の反射及び第2の反射に基づいて、ターゲット面の第1の推定及び第2の推定を生成し、それらを組み合わせて、ターゲット面の寸法形状を生成するように構成されたコントローラをさらに含む。

10

【0007】

この概要は、以下の詳細な説明でさらに説明される概念の中から選択したものを簡略化した形で紹介するために提供されている。この概要は、特許請求される主題の重要な特徴又は本質的な特徴を特定することを意図されておらず、特許請求される主題の範囲を決定する際の補助として使用されることも意図されていない。

20

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】典型的な光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。

【図2A】例示的な光位相形状測定システムを示す概略図である。

【図2B】例示的な光位相形状測定システムを示す概略図である。

【図2C】例示的な光学検査環境を示す概略図である。

【図2D】例示的な光学検査環境を示す概略図である。

【図3A】例示的な動作同軸撮像システム・照明源対を示す概略図である。

【図3B】例示的な動作同軸撮像システム・照明源対を示す概略図である。

【図4A】例示的な光位相形状測定システムを示す概略図である。

30

【図4B】例示的な光位相形状測定システムを示す概略図である。

【図5A】例示的な光位相形状測定システムを示す概略図である。

【図5B】例示的な光位相形状測定システムを示す概略図である。

【図6】光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。

【図7】反復結合点群リファインメントの一例示的方法を示すフローチャートである。

【図8】反復結合点群リファインメントの1反復を示す概略図である。

【図9】対向配置チャネルからの点群をマージする一例示的方法を示すフローチャートである。

【図10A】対向配置チャネルからの点群マージの一例を示す概略図である。

【図10B】対向配置チャネルからの点群マージの一例を示す概略図である。

40

【図10C】対向配置チャネルからの点群マージの一例を示す概略図である。

【図11A】光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。

【図11B】球面ターゲットの例示的な生成された三次元形状を示す概略図である。

【図11C】球面ターゲットの例示的な生成された三次元形状を示す概略図である。

【図12】光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。

【図13A】例示的な光位相形状測定システムを示す概略図である。

【図13B】例示的な光位相形状測定システムを示す概略図である。

【図13C】例示的な光位相形状測定システムを示す概略図である。

【図14】ターゲット面及び／又は物体の三次元形状を生成する一例示的方法を示すフローチャートである。

50

【図 1 5 A】ターゲット面及び／又は物体の寸法形状生成の一例を示す概略図である。

【図 1 5 B】ターゲット面及び／又は物体の寸法形状生成の一例を示す概略図である。

【図 1 6】光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。

【図 1 7】光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。

【図 1 8 A】光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。

【図 1 8 B】光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。

【図 1 9】光位相形状測定システムにおける誤差を動的に補償する一例示的方法を示すフローチャートである。

【図 2 0】動的補償の一例を示す概略図である。

【図 2 1】動的補償の一例示的方法を示すフローチャートである。

【図 2 2 A】デジタル光処理プロジェクタシステムの一例を示す概略図である。

【図 2 2 B】光学ローパスフィルタの一例を示すブロック図である。

【図 2 3】ターゲット面上への光投射の一例を示すフローチャートである。

【図 2 4】例示的な光位相形状測定システムを示す概略図である。

【図 2 5】例示的な光位相形状測定システムを示す概略図である。

【図 2 6】光位相形状測定システムの一例を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

光位相形状測定システムは、様々な産業及びプロセスで表面又は物体に関する精密な寸法情報を取得するために使用されることが多い。例えば、これらのシステムを、物体表面の様々な部品の高さ及び位置を測定するために使用することができる。エレクトロニクス産業では、例えば、多くの電子アセンブリは、回路基板に実装された様々な部品及び／又はデバイスを含む。そのような部品及び／又はデバイスの正確な寸法及び配置を確実にするために、照明源（例えば、プロジェクタ）は、ターゲット面又は物体上にパターン化された照明を投射する。パターン化された照明は、ターゲット面又は物体から反射され、照明角度（例えば、三角測量角度）に対して公知の角度でターゲット面を見る撮像システム（例えば、カメラ）によって取り込まれる。光位相形状測定システムは、撮像システムによって取り込まれた画像の特定の点（例えば、画素）における投射された照明の位相又は位置、及びセンサの幾何学的配置を測定することによって、ターゲット面又は物体の寸法を計算する。

【0010】

典型的な光位相形状測定システムでは、構造化パターンで表面を照明する単一のプロジェクタと、表面を観測する複数の斜めカメラ（すなわち、表面を基準としてプロジェクタに対して斜めの角度で配置されたカメラ）とを有することが一般的である。あるいは、反対であるが同等の構造、複数の斜めプロジェクタ（すなわち、表面を基準としてカメラに対して斜めの角度で配置されたプロジェクタ）によって照明される表面を観測する単一のカメラが使用される。

【0011】

測定対象の表面の推定値（例えば、点群）は、典型的には、各カメラ・プロジェクタ対から独立して生成され、次いで、これらの推定値は、表面の近似再構成を形成するために一緒に平均化される。一般に、推定値は、表面上に正弦波干渉縞を投影し、画像内の各画素における正弦波の位相を推定することによって形成され得る。

【0012】

図 1 は、典型的な光位相形状測定システム 10 の一例を示す概略図である。システム 10 は、プロジェクタ 12 と、斜めカメラ 14 と、斜めカメラ 16 と、照明 18 と、表面 20 と、反射 22 と、反射 24 とを含む。上述したように、システム 10 は、単一のプロジェクタ 12 と、複数の斜めカメラ 14 及び 16 とを有する。プロジェクタ 12 は、表面 20 上に、複数の斜めカメラ 14 及び 16 によって取り込まれる反射 22 及び 24 として反射される照明 18 を投射する。図 1 は、単一のプロジェクタ／複数の斜めカメラの構成を示しているが、上述したように、同等であるが反対の構成を、複数の斜めプロジェクタが

10

20

30

40

50

照明を投射する表面を単一のカメラが観測する典型的な位相形状測定システムで使用することもできる。

【0013】

これらの典型的なシステムには、特に鏡面及び／又は困難な表面形状（例えば、「丸みを帯びた」反射面及び／又は「湾曲した」反射面、傾斜したターゲット面、反射率の変動など）を有する物体を観測するときに、いくつかの制限がある。

【0014】

1つの課題は、鏡面反射に起因する測定の不正確さに関する。光学検査中、1つの撮像システムの視点から見てターゲット面上のある位置にグリント（すなわち、明るい鏡面反射）がある状況に遭遇することが一般的である。グリントは、高反射面の面法線がカメラ・プロジェクタ対によって規定される角度を二等分するときに発生する。光位相形状測定によって使用される、撮像光学系における実用的な現実である撮像システムの点広がり関数の非ゼロ幅が原因で、隣接する画素における位相推定値は、グリントでの反射が表面上の隣接する点の反射よりもはるかに強いために、グリントで観測される位相によって歪む可能性がある。これにより、その位相形状測定システムの試験面の点群表現に不正確な点が追加される結果となる可能性がある。

【0015】

図2Aは、光位相形状測定システム50の一例を示す概略図である。図2Aは、1つの斜めカメラの視点のみを示している。システム50は、照明52と、ターゲット面54と、反射56と、グリント58と、実際の表面点60と、誤った表面点62と、プロジェクタ64と、第1の斜めカメラ66とを含む。図2Aに示されるように、プロジェクタ64は、ターゲット面54上に、第1の斜めカメラ66に向かう反射56として反射され、第1の斜めカメラによって取り込まれる照明52を投射する。しかしながら、ターゲット面54は、照明52がターゲット面54に到達するときにグリント58を発生させる少なくとも多少の鏡面反射部分を含む。カメラ66の画像特性の点広がり関数及び反射グリント58の強度により、照明52の位相情報がカメラ66の表面点60の画像に現れる。カメラ66が反射56によって表面点60から受け取る情報が表面点60とグリント58の位相情報の組み合わせであるため、表面点60の再構成点が不正確に測定される。図2Aに示されるように、カメラ66の測定位置表面点は、反射光線56に沿ってグリント58の方向に移動され、例えば、誤った表面点62を生じさせる。

【0016】

図2Bは、光位相形状測定システム50の一例を示す概略図である。図2Bは、（図2Aとは反対の）システム50の他方の斜めカメラの視点を示している。システム50は、照明52と、ターゲット面54と、反射57と、再構成表面点63と、プロジェクタ64と、第2の斜めカメラ68とを含む。図2Bに示されるように、プロジェクタ64は、ターゲット面54に、第2の斜めカメラ68に向かう反射57として反射され、第2の斜めカメラによって取り込まれる照明52を投射する。しかしながら、図2Aとは異なり、第2の斜めカメラ68の視点から見て表面点63の近くにグリントは発生しない。よって、カメラ68の再構成表面点63は、実際の表面点の正確な表現である。

【0017】

しかしながら、第2の斜めカメラ68は表面点を正確に再構成するが、上述したように、ターゲット面54の最終的な表面推定値の再構成中にカメラ66とカメラ68の両方によって生成された推定値（例えば、点群）が組み合わせられるため、第1の斜めカメラ66によって測定された不正確な点（62）に起因する誤差が存在することになる。最終的な表面推定値は、したがって、第1の斜めカメラ66の点群の誤差によって偏ることになる。

【0018】

図2A～図2Bに記載されるものと同様の影響が、ターゲット面上に任意の強度勾配及び／又は反射率勾配（例えば、明るさの変動）がある場合に起こり得る。撮像光学系（例えば、カメラ66及び68）の点広がり関数により、より暗い点の位相は、付近のより明るい点の位相の影響を受ける。これにより、最終的な再構成が不正確になる可能性がある

10

20

30

40

50

(例えば、最終的な再構成は、それぞれの反射（撮像システム）光線に沿ってより明るい点の方へ偏ることになる）。

【0019】

図2Cは、光学検査環境70の一例を示す概略図である。環境70は、投射72と、反射74と、ターゲット面76と、矢印77と、測定表面点78とを含む。ターゲット面76は、矢印77で示されるように、左から右に「高輝度」から「低輝度」までの強度及び／又は反射率勾配を有する。一般に、これは、ターゲット面76が左から右に高反射から低反射及び／又は高鏡面反射から低鏡面反射であることを意味する。投射72は、プロジェクタ又は他の照明源によってターゲット面76上に投射され、カメラ又は他の撮像システムによって取り込まれる反射74として反射される。しかしながら、勾配が原因で、ターゲット76の左側の明るさの増加が測定表面点78を反射（撮像システム）光線に沿ってターゲット76のより明るい部分の方へ偏らせるので、カメラは、測定表面点78で示されるように、高さを実際の表面高さよりも低いものとして復号する。よって、カメラの測定出力が誤ることになる。この誤差は、表面76の法線（例えば、垂線）が投射72と反射74との間の角度を二等分するときが発生する傾向がある。

10

【0020】

図2Dは、光学検査環境80の一例を示す概略図である。環境80は、投射82と、反射84と、ターゲット面86と、矢印87と、測定表面点88とを含む。環境80は、投射72がターゲット面76の左側（「高輝度側」／高鏡面反射側）から来ていたのに対して、投射84はターゲット面86の右側（「低輝度側」／低鏡面反射側）から来ていることを除いて、環境70と同様である。ターゲット面86は、矢印87で示されるように、左から右に「高輝度」から「低輝度」までの強度及び／又は反射率勾配を有する。一般に、これは、ターゲット面86が左から右に高反射から低反射及び／又は高鏡面反射から低鏡面反射であることを意味する。投射82は、プロジェクタ又は他の照明源によってターゲット面86上に投射され、カメラ又は他の撮像システムによって取り込まれる反射84として反射される。しかしながら、勾配が原因で、ターゲット86の左側の明るさの増加が測定表面点88を反射（撮像システム）光線に沿ってターゲット86のより明るい部分の方へ偏らせるので、カメラは、測定表面点88で示されるように、高さを実際の表面高さよりも高いものとして復号する。よって、カメラの測定出力が誤ることになる。この誤差は、表面86の法線（例えば、垂線）が投射82と反射84との間の角度を二等分するときが発生する傾向がある。

20

30

【0021】

上述した問題を克服するために、対向配置チャネル構成を有する複数の同軸照明源／撮像システム（例えば、プロジェクタ／カメラ）対を使用するシステムが使用される。

【0022】

明確にするために、「チャネル」という用語は特定の照明源・撮像システム対を指し、「対向配置チャネル」という用語は、照明源及び撮像システムの位置が交換されることを除いて同一であるチャネルの対を指すことを理解されたい。「チャネル」という用語は、ある動作対（例えば、動作同軸撮像システム・照明源対）からの照明源と、別の動作対からの撮像システムとを含むことができることも理解されたい。「チャネル」という用語は、第1のカメラ・プロジェクタ対からのカメラと、第2のカメラ・プロジェクタ対からのプロジェクタとを含むことができることも理解されたい。

40

【0023】

図3Aは、動作同軸撮像システム・照明源対の一例を示す概略図である。システム100は、照明源102と、撮像システム104と、ビームスプリッタ106と、照明108と、ターゲット面110と、反射112とを含む。照明源102（例えば、プロジェクタ）は、照明をターゲット面110の方へ投射し、ビームスプリッタ106に当てる。照明108の一部分は、ターゲット面110に向かって進み、ビームスプリッタ106の方へ反射され、反射112として撮像システム104の方へ反射される。ビームスプリッタ106を利用することにより、システム100は、共通の光路を共有する照明源102及び

50

撮像システム１０４で構成される。すなわち、照明源１０２及び撮像システム１０４は、ほぼ同軸であり、事実上、同じ見地／視点からターゲット面１１０を見る。

【００２４】

照明源１０２の方に面する表面がコーティングされた（例えば半透鏡の）薄い平坦なガラス板からなる、４５°の角度で配置されたプレート・ビーム・スプリッタとして示されているビームスプリッタ１０６。ビームスプリッタ１０６は照明１０８を半分に「分割」し、一部分は（図示されるように）ターゲット面１１０に向かって進み（例えば、伝わり）、別の部分は、通常、撮像システム１０４の視野内の基準面（例えば、ミラー）の方へ反射され（明確にするために図３Ａには示されていない）、この基準面は、（通常は、撮像システム１０４に入る前に分割されたビームを再結合するために）撮像システム１０４の方へ（ビームスプリッタ１０６を通して戻る）基準ビームを反射する。やはり明確にするために図３Ａには示されていないが、システム１００は、いくつかのレンズ（例えば、コリメートレンズ、対物レンズ、複合レンズアセンブリ、テレセントリック・レンズ・アセンブリなど）、開口、センサ、追加のビームスプリッタ、ミラー、並びに任意の他の適切な部品及び／又はデバイスも含むことができる。加えて、プレート・ビーム・スプリッタが示されているが、他のタイプのビームスプリッタ、例えば、これに限定されないが、キューブ・ビーム・スプリッタを使用することもできる。

【００２５】

図３Ａでは説明のために互いに分離されて示されているが、照明源１０２と撮像システム１０４とは、単一のハウジング内に収容することができる動作対である。例示として、特定の将来の記述は、図３Ｂに示されるように、各動作照明源／撮像システム対を単一のアセンブリとして示すことになる。

【００２６】

図３Ｂは、動作同軸照明源／撮像システム対の一例を示す概略図である。図３Ｂは、図３Ａに示されるシステム１００の簡略バージョンであり、図３Ａと同様であり、よって同様の要素には同じ番号が付されている。システム１０１は、動作照明源／撮像システム対１０３を含み、これは、照明源１０２と、撮像システム１０４と、ビームスプリッタ１０６とを含むが、番号では示されていない。システム１００は、照明１０８と、ターゲット１１０と、反射１１２とをさらに含む。図３Ａ及び図３Ｂでは照明１０８と反射１１２とが線を共有しているが、矢印で示されるような照明１０８及び反射１１２を等しく表していることを理解されたい。照明源１０２は、一例では、プロジェクタを含む。撮像システム１０４は、一例では、カメラを含む。

【００２７】

図４Ａは、光位相形状測定システム２００の一例を示す概略図である。システム２００は、第１の照明源／撮像システムの動作対２０２及び第２の照明源／撮像システムの動作対２０４を含む。動作対２０２及び２０４は、図３Ａ～図３Ｂを参照して上述したように、同軸対である。システム２００は、ターゲット面２０６と、照明２０８及び２１４と、反射２１２及び２１６とをさらに含む。図４Ａに示される構成（例えば、アライメントジオメトリ）は、異なる角度からターゲット面２０６を各々見る、２つの動作対２０２及び２０４を利用し、（以下でさらに説明されるように）２つの対向配置チャネルを形成する。

【００２８】

図４Ｂは、光位相形状測定システム２００の一例を示す概略図である。図４Ｂは図４Ａと同様であり、よって同様の要素には同様に番号が付されている。図４Ｂは、システム２００の構成によって形成された２つの対向配置チャネルを示すために、システム２００をそれぞれの照明及び撮像部品に例示的に分割している。左側では、動作対２０４の照明源は、ターゲット面２０６上に、ターゲット面から反射２１６として反射され、動作対２０２の撮像システムによって取り込まれる照明２１４を投射する。この光路（例えばチャネル）（２１４及び２１６）は、第１の対向配置チャネル２１８を形成する。

【００２９】

右側では、動作対２０２の照明源は、ターゲット面２０６上に、反射２１２としてター

10

20

30

40

50

ゲット面 206 から反射され、動作対 204 の撮像システムによって取り込まれる照明 208 を投射する。この光路（例えばチャネル）（208 及び 214）は、第 2 の対向配置チャネル 220 を形成する。

【0030】

対向配置チャネルを使用することは有利である。両方のチャネル 218 及び 220 が、同じ視野を観測／露光し、照明と反射との間の同じ相対角度を共有するので、光学的カバレッジに差がない。より重要なことには、これらは、グリント又は強度勾配の存在下での撮像システムの点広がり関数の影響に関して前述した測定誤差（図 2A～図 2B）を排除及び／又は低減するという点でよりロバストである。具体的には、システム 200 でこれらの誤差が発生する場合、2つのチャネル 218 及び 220 の推定（例えば、点群）からの対応する点は、ほぼ等しく反対の方向に移動する。適切なアルゴリズムを使用することにより、チャネル 218 及び 220 の推定を、誤差がほとんど及び／又は実質的に互いに相殺するように組み合わせることができる。この意味で、対向配置チャネル 218 及び 220 は互いに相補的であり、自己補償的である。これは、以下の図により完全に示されている。

【0031】

図 5A は、光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。図 5A は図 4A と同様であり、よって同様の特徴には同じ番号が付されている。システム 200 は、動作照明源／撮像システム対 202 と、動作照明源／撮像システム対 204 と、表面ターゲット 206 と、照明 214 と、反射 216 とを含み、これらは第 1 の対向配置チャネル 218 を形成する。システム 200 は、グリント 222 と、実際の表面点 224 と、誤った表面点 226 とをさらに含む。図 2A の現象と同様に、グリント 222 は、動作対 202 の撮像システムに誤った表面点 226 を生成させる。実際の表面点 224 は、反射光線 216 に沿ってグリント 222 の方向に移動される。

【0032】

図 5B は、光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。図 5B は図 4A と同様であり、よって同様の特徴には同じ番号が付されている。システム 200 は、動作照明源／撮像システム対 202 と、動作照明源／撮像システム対 204 と、表面ターゲット 206 と、照明 208 と、反射 212 とを含み、これらは第 2 の対向配置チャネル 220 を形成する。システム 200 は、グリント 222 と、実際の表面点 228 と、再構成表面点 230 とをさらに含む。この場合もやはり、グリント 222 は測定誤差を引き起こす。動作対 204 の撮像システムは、誤った再構成表面点 230 を生成する。実際の表面点 228 は、（図 5A 及び図 2A の誤った再構成表面点と全く同様に）反射 212 光線に沿って引っ張られる。しかしながら、動作対 202 と動作対 204 とは同軸であり、これらは 2つの対向配置チャネルを形成するように構成されているため、誤差は反対方向に等しく、よって補償され得る。

【0033】

上述したように、対向配置チャネル 218 及び 220 の各々は、ターゲット面 206 の推定（点群）を生成する。これらの推定は、グリント（例えば 222）又は強度勾配の存在下での撮像システムの点広がり関数の影響から生じる誤差を含む。しかしながら、対向配置チャネル 218 及び 220 のために、再構成表面点 226 及び 230 の誤差は、それぞれの反射光線 216 及び 212 に沿って等しく反対であり、よって互いに補償し合うことができる。

【0034】

図 6 は、光位相形状測定システム 250 の一例を示す概略図である。システム 250 は、動作対 252 及び 254 と、ターゲット面 256 と、照明 258 及び 254 と、反射 262 及び 266 と、対向配置チャネル 268 及び 270 と、グリント 272 と、誤った再構成表面点 276 及び 280 と、正しい再構成表面点 282 と、矢印 284 及び 286 とを含む。再構成表面点 276 及び 280 の誤差を、誤った点 276 及び 280 を、それらが交差し、表面ターゲット位置の新しいより正確な表現を定義するまで、矢印 284 及び

286で示されるように、それぞれの反射光線266及び262に沿って移動させることによって、再構成点282を作成するために補正することができる。反射光線の方向は、一例では、撮像システム較正技術を使用して、視野内の撮像システムの画素位置を受光角にマップすることによって導出される。

【0035】

別の実施態様では、アルゴリズムを使用して、対向配置チャネルの誤った再構成点の交点を近似することが可能である。一般的に言えば、このアルゴリズムは、対向配置チャネルからのそれぞれの推定（点群）を反復的にリファインし、各点をその反射光線（撮像システム光線）に沿って他方の点群の方へ徐々にうまく移動させる。

【0036】

図7は、反復結合点群リファインメントの一例示的方法を示すフローチャートである。方法300は、ブロック310から開始し、そこで、光学形状測定システムを使用して、ターゲット面に沿って、第1の対向配置チャネルの点群及び第2の対向配置チャネルの点群において再構成表面点が生成される。表面点は、第1の対向配置チャネルの点群と第2の対向配置チャネルの点群の両方について再構成（推定）される。一例では、システム250などの光学形状測定システムが使用される。

【0037】

方法はブロック320に進み、そこで、第1のチャネルの点群内の再構成表面点ごとに、第1のチャネルの点群内の再構成表面点ごとのそれぞれの反射（撮像システム）光線の近くの第2のチャネルの点群内の再構成表面点が識別される。この識別ステップは、選択された第1のチャネルの再構成表面点の反射（撮像システム）光線に近い第2のチャネルの点群上の「候補」点のセットを識別する。

【0038】

方法はブロック330に進み、そこで、第1のチャネルの反射（撮像システム）光線上への第2のチャネルの点群の近（候補）点の各々の投影が計算される。言い換えれば、第2のチャネルの近（候補）点の各々が第1のチャネルの反射（撮像システム）光線に沿うことになる距離が計算される。あるいは、言い換えると、第1のチャネルの反射（撮像システム）光線に沿ってどこに近（候補）点の各々がどこに配置されるべきかを計算する。

【0039】

方法はブロック340に進み、そこで、第1のチャネルの反射（撮像システム）光線上の第2のチャネルの近（候補）点の計算された投影（位置）の各々の平均投影（位置）が計算される。言い換えれば、反射光線上の近点の平均位置を計算する。

【0040】

方法はブロック350に進み、そこで、第1のチャネルの再構成表面点が、その反射（撮像システム）光線に沿って、反射（撮像システム）光線上の近（候補）点の計算された平均位置までの距離の一部だけ移動される。

【0041】

方法300はブロック360に進み、そこで、第2のチャネルの点群内の再構成表面点ごとに、第2のチャネルの点群内の再構成表面点ごとのそれぞれの反射（撮像システム）光線の近くの第1のチャネルの点群内の再構成表面点が識別される。この識別ステップは、選択された第2のチャネルの再構成表面点の反射（撮像システム）光線に近い第1のチャネルの点群上の「候補」点のセットを識別する。

【0042】

方法300はブロック370に進み、そこで、第2のチャネルの反射（撮像システム）光線上への第1のチャネルの点群の近（候補）点の各々の投影が計算される。言い換えれば、第1のチャネルの近（候補）点の各々が第2のチャネルの反射（撮像システム）光線に沿うことになる距離が、近（候補）点の各々になる。

【0043】

方法はブロック380に進み、そこで、第2のチャネルの反射（撮像システム）光線上の第1のチャネルの近（候補）点の計算された投影（位置）の各々の平均投影（位置）が

10

20

30

40

50

計算される。言い換えれば、反射光線上の近点の平均位置を計算する。

【0044】

方法はブロック390に進み、そこで、第2のチャンネルの再構成表面点が、その反射（撮像システム）光線に沿って、反射（撮像システム）光線上の近（候補）点の計算された平均位置までの距離の一部だけ移動される。

【0045】

図8は、方法300の一反復を示す概略図である。特に、図8はブロック310～ブロック350を示している。反復301は、動作照明源／撮像システム252と、第1の対向配置チャンネル268の一部分を形成する反射266（又は反射／撮像システム光線）と、第1のチャンネル表面点276と、近（候補）点288と、平均投影点290と、再配置（リファイン）点292と、矢印294とを含む。反射266に近い近（候補）点288が識別される。反射266に沿った近点288の平均投影（位置）点が290で表されるように計算される。平均投影点290が計算されると、再配置（リファイン）再構成点292が、矢印294で示されるように平均投影点290に向かう途中の一部だけ反射266に沿って再計算された表面点276を移動させることによって識別される。

【0046】

図9は、対向配置チャンネルからの点群をマージする一例示的方法を示すフローチャートである。方法400は、ブロック410で、少なくとも第1の対向配置チャンネル及び第2の対向配置チャンネルを有する光位相形状測定システムを用いて、第1の点群及び第2の点群を生成することから開始する。第1の対向配置チャンネル及び第2の対向配置チャンネルは各々、それぞれの第1の点群及び第2の点群を生成する。また、第1の点群及び第2の点群は各々、ターゲット面に沿った測定表面点に対応する複数の表面点を有する。

【0047】

方法400はブロック420に進み、そこで、ターゲット面に対応する測定対象の体積がボクセルのセットに分割される。方法400はブロック430に進み、そこで、第1の点群及び第2の点群各々の表面点ごとに、点の符号付き距離関数（SDF）及び対応する重みが、第1の対向配置チャンネル及び第2の対向配置チャンネルの反射（撮像システム）光線の各々に沿ったボクセルの体積に付加される。符号付き距離は、特定の方向で測定された点から基準面までの距離である。例えば、海拔は、海面まで符号付き距離であり、海面より上の地点では正の値であり、海面より下の地点では負の値である。符号付き距離関数（SDF）は、指定された点についてこの距離を計算する関数であり、この場合、符号付き距離は、個々のボクセルから点群内の点までの距離を表す。

【0048】

方法400はブロック440に進み、そこで、ボクセルの体積内のターゲット面に対応する表面形状マップが、第1の点群及び第2の点群の各々のSDFのレベルセット（例えば、理論的ゼロ交差）を識別することによって生成される。

【0049】

図10A～図10Cは、対向配置チャンネルからの点群マージの一例を示す概略図である。より具体的には、図10A～図10Cは、方法400の実行の一例を示している。図10A～図10Cに示される体積及びボクセルは、光位相形状測定システムの全測定空間を定義する3Dオブジェクトであることを理解されたい。例示を明確にするために、体積及びボクセルは2Dで示されている。

【0050】

図10Aは、ボクセルの体積内の第1の対向配置チャンネルに対応する点群の一例を示す概略図である。ボクセル体積300は、測定対象の体積302と、（1つ又は複数の）ボクセル304と、（1つ又は複数の）表面点306と、（1つ又は複数の）反射（撮像システム）光線308とを含む。一般に、ボクセル体積300は、複数のボクセル304を有する測定対象の体積302を示し、それぞれの点のSDF及びそのそれぞれの反射（撮像システム）光線308に沿った対応する重みを有する、複数の表面点306が、測定対象の体積302に付加される。

【0051】

図10Bは、ボクセルの体積内の第2の対向配置チャンネルに対応する点群の一例を示す概略図である。ボクセル体積310は、測定対象の体積312と、（1つ又は複数の）ボクセル314と、（1つ又は複数の）表面点316と、（1つ又は複数の）反射（撮像システム）光線318とを含む。一般に、ボクセル体積310は、複数のボクセル304を有する測定対象の体積302を示し、それぞれの点のSDF及びそのそれぞれの反射（撮像システム）光線318に沿った対応する重みを有する、複数の表面点316が、測定対象の体積312に付加される。

【0052】

図10Cは、第1の対向配置チャンネル及び第2の対向配置チャンネルからの点群マージの一例を示す概略図である。ボクセル体積320は、測定対象の体積322と、（1つ又は複数の）ボクセル324と、（1つ又は複数の）第1の対向配置チャンネルの反射（撮像システム）光線326と、（1つ又は複数の）第2の対向配置チャンネルの反射（撮像システム）光線328と、ターゲット面近似330とを含む。一般に、ボクセル体積320は、測定対象の体積322内のターゲット面に対応する、ターゲット面近似330によって表されるように、第1の点群及び第2の点群各々のSDFのレベルセット（例えば、理論的ゼロ交差）を識別することによって生成されるターゲット面形状マップを示す。

【0053】

典型的な光位相形状測定システムの別の特定の課題が、丸みを帯びた／球面形状を有するターゲット面及び／又は物体（例えば、ボール）の正確な測定である。特に、これらのターゲット面及び／又は物体が、グリントを引き起こす可能性がある鏡面部分を有する場合。

【0054】

上述したように、典型的な光位相形状測定システムでは、構造化パターンで表面を照明する単一のプロジェクタと、表面を観測する複数の斜めカメラとを有することが一般的である。あるいは、単一のカメラと2つの斜めプロジェクタとを有する、反対であるが同等の構成が使用される。

【0055】

図11Aは、光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。システム350は、第1の斜めプロジェクタ352と、第2の斜めプロジェクタ354と、カメラ356と、球面ターゲット358と、投射360及び362と、第1の斜めプロジェクタ測定364と、第2の斜めプロジェクタ測定366と、高さ誤差368とを含む。システム350は、図2A及び図2Bに関して説明した現象の影響、すなわち、グリントによる測定誤差を受ける。図11Aに示されるように、第1の斜めプロジェクタ352は、カメラ356と組み合わせさせて、球面ターゲット358の上部の高さ誤差368（例えば、高さディボット誤差）を示す測定364を生成する。同様に、第2の斜めプロジェクタ354も、カメラ356と組み合わせさせて、球面ターゲット358の上部の高さ誤差368（例えば、高さディボット誤差）を示す測定366を生成する。この誤差は、前述したように、それぞれのプロジェクタの各々の斜角と、その点広がり関数と組み合わせられたカメラの視点との組み合わせに起因するグリントの発生によって引き起こされる。それぞれのプロジェクタは、球面ターゲット358上の異なる位置からのグリントの影響を受ける。本発明の実施態様などの三角測量システムでは、特徴の測定位置は、グリントによってずれる。ずれの大きさは、2つの要因、すなわち、1）グリントまでの距離と2）グリントの点広がり関数（PSF）との積によって調節される。よって、ずれのプロットは、PSFの幅に対応する局所的な領域にわたって傾斜を有する傾向がある。本発明者らはこれを、予測できないゴルフスイングによって生じるディボットに似ているため、「ディボット」と呼ぶ。

【0056】

図11Bは、システム350を使用して生成された球面ターゲット358の三次元形状の一例を示す概略図である。形状370に示されるように、高さ誤差368が発生し、「高さディボット誤差」を示している。図示されるように、球面ターゲット358の高さの

10

20

30

40

50

頂点にあるべきである球面ターゲット 3 5 8 の上部の高さ測定単位 3 7 4 によって反映されるように、高さ測定が明確に減少している。例えば、高さ誤差 3 6 8 として示される領域における高さ読み取り値と比較して、ターゲット 3 5 8 の外側 3 7 2 における高さ読み取り値を比較されたい。

【0057】

この高さディボット誤差は、図 1 1 C に示されるように、単一のプロジェクタ複数の斜めカメラのシステムを使用することによっては解決されない。

【0058】

図 1 1 C は、球面ターゲット 3 5 8 の三次元形状の一例を示す概略図である。左側は、ターゲット 3 5 8 の実際の高さ形状を示す、ターゲット 3 5 8 の測定 Z 高さである。図示されるように、ターゲット 3 5 8 は、高さ測定単位 3 7 6 によって反映されるように、（ターゲット 3 5 8 の上部に対応する）画像の中心でその高さの頂点にある。しかしながら、右側は、単一のプロジェクタ／2つの斜めカメラのシステムによって生成された球面ターゲット 3 5 8 の三次元形状である。図示されるように、高さ誤差 3 6 8 は、高さ測定単位 3 7 8 によって反映されるように、（ターゲット 3 5 8 の上部に対応する）画像の中心で発生する。

【0059】

図 1 2 は、光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。システム 5 0 0 は、動作同軸照明源／撮像システム対 5 0 2 と、斜め動作同軸照明源／撮像システム対 5 0 4 及び 5 0 6 と、球面ターゲット 5 0 8 と、チャンネル 5 1 0 とを含む。システム 5 0 0 は、図 1 1 A ～ 図 1 1 C に関して説明したような、測定誤差を排除又は低減するように構成される。一例では、グリントに起因する測定誤差は、システム 5 0 0 のアライメントジオメトリによって補償され、例えば、グリントによって引き起こされる誤差は、（2 対の対向配置チャンネルがある）4 つのチャンネルのアライメントジオメトリを使用する場合、ほぼ等しく反対になる（よって互いに相殺する）傾向がある。システム 5 0 0 は、一例では、6 つのチャンネル（例えば、4 つの拡散チャンネル [拡散反射を取り込むように構成された光チャンネル] 及び 2 つの鏡面反射チャンネル [鏡面反射を取り込むように構成された光チャンネル]）を作り出すアライメントジオメトリを有するように構成される。一例では、システム 5 0 0 は、鏡面反射性又は部分的に鏡面反射性のターゲット及び／又は物体によって引き起こされる測定誤差を、鏡面反射と拡散反射の両方を取り込み、よってどちらかによって引き起こされた誤差を補償するように構成されたアライメントジオメトリを作り出すことによって補償する。このアライメントジオメトリを、図 1 3 A ～ 図 1 3 C でより詳細に説明する。

【0060】

図 1 3 A は、光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。具体的には、図 1 3 A は、システム 5 0 0 のアライメントジオメトリによって作り出された 6 つのチャンネルのうちの 2 つを示している。第 1 のチャンネルは、投射 5 1 2 及び反射 5 1 4 によって形成される。投射 5 1 2 は動作対 5 0 2 の照明源によって投射され、ターゲット 5 0 8 から反射 5 1 4 として反射され、動作対 5 0 4 の撮像システムによって取り込まれる。第 2 のチャンネルは、投射 5 1 6 及び反射 5 1 8 によって形成される。投射 5 1 6 は、動作対 5 0 4 の照明源によって投射され、動作対 5 0 2 の撮像システムによって取り込まれる反射 5 1 8 としてターゲット 5 0 8 から反射される。第 1 のチャンネル及び第 2 のチャンネルは、対向配置チャンネルの第 1 の対を形成する。

【0061】

図 1 3 B は、光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。具体的には、図 1 3 B は、システム 5 0 0 のアライメントジオメトリによって作り出された 6 つのチャンネルのうちの 2 つを示している。第 3 のチャンネルは、投射 5 1 2 及び反射 5 2 0 によって形成される。投射 5 1 2 は動作対 5 0 2 の照明源によって投射され、ターゲット 5 0 8 から反射 5 2 0 として反射され、動作対 5 0 6 の撮像システムによって取り込まれる。第 4 のチャンネルは、投射 5 2 2 及び反射 5 2 4 によって形成される。投射 5 2 2 は、動作対 5 0 6 の

照明源によって投射され、動作対502の撮像システムによって取り込まれる反射524としてターゲット508から反射される。第3のチャンネル及び第4のチャンネルは、対向配置チャンネルの第2の対を作り出す。

【0062】

図13Cは、光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。具体的には、図13Cは、システム500のアライメントジオメトリによって生成された6つのチャンネルのうちの2つを示している。第5のチャンネルは、投射516及び反射526によって形成される。投射516は、ターゲット508から反射526として反射され、動作対506の撮像システムによって取り込まれる動作対504の照明源によって投射される。第6のチャンネルは、投射522及び反射528によって形成される。投射522は、動作対506の照明源によって投射され、反射528としてターゲット508から反射され、動作対504の撮像システムによって取り込まれる。

【0063】

一例では、動作対502、504及び506の光学構成はテレセントリックである。一例では、動作対502、504及び506のレンズアセンブリは、無限遠に入射瞳又は射出瞳を有する多要素／複合レンズアセンブリを含む。テレセントリック光学構成は、(512、516及び522で表されるような)公称投射方向及び(514、518及び520で表されるような)反射方向が動作対502、504及び506の視野にわたって同じであることを保証する。投射角及び反射角が視野にわたって等しいことにより、対向配置チャンネルの利点が、チャンネルごとのそれぞれの反射が動作対ごとのそれぞれの撮像システムによって受け取られるという点で維持される。一例では、照明源によって生成された照明が、多要素／複合テレセントリック・レンズ・アセンブリに入り、動作対を出るときに実質的に平行になり、よって高度に集中する。よって、照明源によって生成されたほぼすべての光がターゲット面に当たり、結果として生じる反射が撮像システムによって取り込まれる。

【0064】

図14は、ターゲット面及び／又は物体の寸法形状を生成する一例示的方法を示すフローチャートである。方法600はブロック610から開始し、そこで、ターゲット面及び／又は物体の第1の寸法形状が生成される。これは、ブロック612で示されるような結合点群リファインメント、例えばSDFを使用することによる、ブロック614で示されるような対向配置チャンネルからの点群マージ、及び／又はその他616によって行うことができる。その他616は、方法300及び／又は方法400を含むことができる。その他616は、断面を含むことができる。その他616は、ターゲット面及び／又は物体の寸法形状を生成するための任意の他の適切な技術を含むことができる。

【0065】

方法600はブロック620に進み、そこで、ターゲット面及び／又は物体の第2の寸法形状が生成される。これは、ブロック622で示されるような結合点群リファインメント、例えばSDFを使用することによる、ブロック624で示されるような対向配置チャンネルからの点群マージ、及び／又はその他626によって行うことができる。その他626は、方法300及び／又は方法400を含むことができる。その他626は、断面を含むことができる。その他626は、ターゲット面及び／又は物体の寸法形状を生成するための任意の他の適切な技術を含むことができる。

【0066】

方法600はブロック630に進み、そこで、ターゲット面及び／又は物体の第3の寸法形状が生成される。これは、ブロック632で示されるように、第1の寸法形状と第2の寸法形状の比較によって行うことができる。これは、ブロック634で示されるように、第1の寸法形状と第2の寸法形状の組み合わせによって行うことができる。これは、ブロック636で示されるように、その他の技術によって行うことができる。例えば、その他636は、第1の寸法形状及び第2の寸法形状の平均(例えば、加重平均)をとることを含むことができる。その他636は、第1第2の寸法形状に基づいて第3の寸法形状を

10

20

30

40

50

生成するための任意の他の適切な技術を含むことができる。

【0067】

図14には例示目的でステップの特定の順序が示されているが、これらのステップの一部又は全部を、同時に、並行して、順次に、非並行に、非順次に、及びそれらの任意の組み合わせを含むが、これらに限定されない任意の数の順序で行うことができることを理解されたい。方法600のステップのどの特定の順序も、例示によって示唆されるべきではなく、及び／又は例示から解釈されるべきではない。

【0068】

図15A～図15Bは、ターゲット面及び／又は物体の寸法形状生成の一例を示す概略図である。より具体的には、図15A～図15Bは、方法600のステップの実行のいくつかの例を示している。

【0069】

図15Aは、反復結合点群リファインメントを使用するターゲット面及び／又は物体の寸法形状生成の一例を示す概略図である。寸法形状650は、ここでは球状物体として示されている、複数のターゲット物体652の寸法形状の表現である。寸法形状650は、マイクロメートル単位で測定されたそれらのy座標（例えば、長さ及び／又は幅）、マイクロメートル単位で測定されたそれらのx座標（例えば、長さ及び／又は幅）、並びに656で表されたそれらの高さ（例えば、z座標）を含む、複数のターゲット物体652の寸法情報を表している。寸法形状658は、線654で示されるような選択されたターゲット物体の断面である。寸法形状658は、マイクロメートル単位で測定されたそれらのx座標（例えば、長さ及び／又は幅）並びに657で表されたそれらの高さ（例えば、z座標）を含む、選択されたターゲット物体654の寸法情報を表している。寸法形状650及び／又は658は、一例では、方法300によって生成することができる。

【0070】

図15Bは、SDFを用いた対向配置チャネルからの点群マージを使用するターゲット面及び／又は物体の寸法形状生成の一例を示す概略図である。寸法形状660は、ここでは球状物体として示されている、複数のターゲット物体662の寸法形状の表現である。寸法形状660は、マイクロメートル単位で測定されたそれらのy座標（例えば、長さ及び／又は幅）、マイクロメートル単位で測定されたそれらのx座標（例えば、それらの長さ及び／又は幅）、並びに666で表されたそれらの高さ（例えば、z座標）を含む、複数のターゲット物体662の寸法情報を表している。寸法形状668は、線664で示されるような選択されたターゲット物体の断面である。寸法形状668は、マイクロメートル単位で測定されたそれらのx座標（例えば、長さ及び／又は幅）並びに657で表されたそれらの高さ（例えば、z座標）を含む、選択されたターゲット物体664の寸法情報を表している。寸法形状660及び／又は668は、一例では、方法400によって生成することができる。

【0071】

Scheimplugの原理によれば、物面が光軸に垂直ではない場合、像面も傾斜する。図16は、タイル状の物体及び像面の幾何学的配置の一例を示す概略図である。平面716内に位置する物体708は、光軸712に対して角度718で傾斜した法線714を有する。光線束712がレンズ706に入り、シータ(θ)で示される光軸に対して角度720で位置するイメージセンサ704で集束する。レンズ706は、光軸に対して垂直である。シャインプルーフの原理によれば、以下の通りである。

【0072】

【数1】

$$\tan(\theta) = m * \tan(30) \quad \text{式1}$$

式中、mは、撮像システム702の倍率であり、30°は図16の角度718である。

【0073】

倍率 m が大きいと、シャインブルーの原理が必要とする像面の傾斜が大きくなり得る。例えば、 $m=1.5$ の場合、シータは 40.9° である。この必要な角度は、典型的な撮像システム、特にマイクロレンズを使用する撮像システムの使用可能な範囲外である。

【0074】

米国特許第397254号明細書で教示されているように、光路にプリズムを導入することによって、像面の傾斜720を実質的に低減することができる。残念なことに、像面の傾斜の低減は、様々な収差、特に非点収差及び横方向の色収差の導入を伴う。この問題を回避するために、当技術分野で周知のように、追加のプリズムが光路に導入され得、レンズ設計プログラムによって性能が最適化され得る。好ましい実施態様では、当技術分野で周知のように、収差の適切な制御のために3つのプリズムが使用され、色消しレンズにおける2つのタイプのガラスの必要性と同様に、横方向の色収差の制御のために少なくとも2つのタイプのガラスが使用される。プリズムの数は、倍率、視野、及び傾斜度に依存し、本発明の範囲から逸脱することなく選択することができる。

【0075】

図17は、光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。システム760は、レンズ756と、焦点面754と、出射光線束758と、プリズムアセンブリ752とを含み、プリズムアセンブリ752は、プリズム761、762、763と、くさび角764、765及び766とを含む。レンズ756の後面から出射した光は、プリズムアセンブリ752によって屈折され、光軸にほぼ垂直な焦点面754に収束する。

【0076】

一例では、システム750は、複数のプリズム（例えば、761、762及び／又は763）を使用して必要なイメージセンサの傾斜角（例えば、シャインブルー角）を減少させて、光が撮像システムを通過して焦点面に到達する際の収差（例えば、色収差）を補償、低減、及び／又は排除することによって、高分解能及び／又は高倍率の光位相プロファイロメータを可能にする。一例では、プリズム761、762及び／又は763の少なくとも1つが、その他のプリズムの少なくとも1つと異なるタイプのガラスを含む。別の例では、プリズム761、762及び763の各々が、その他のプリズムの各々と異なるタイプのガラスを含む。一例では、プリズム761、762及び／又は763は、くさびプリズムを含む。一例では、プリズム761、762及び／又は763の少なくとも1つが、その他のプリズムの少なくとも1つと異なるくさび角を含む。一例では、プリズム761、762及び／又は763の少なくとも1つが、その他のプリズムの少なくとも1つと異なる方向を向いたくさび角（例えば、くさび頂角）を有する。一例では、プリズムアセンブリ760は、第1の方向を向いたくさび角（例えば、くさび頂角764）を有する第1のプリズム（例えば761）と、第2の方向を向いたくさび角（例えば、くさび頂角765）を有する第2のプリズム（例えば762）と、第2の方向を向いたくさび角（例えば、くさび頂角766）を有する第3のプリズム（例えば763）とを含む。図17には3つのプリズムが示されているが、任意の数の材料を含み、任意の数の方向を向いたくさび角を有する任意の数のプリズムを使用することができる。

【0077】

典型的な光位相形状測定システムの別の課題は、センサ又はセンサの環境に対する変更起因する測定誤差である。例えば、熱スケーリング、機械的ドリフトが、様々な他の要因とともに、測定出力誤差を引き起こす可能性がある。上述したように、典型的な光位相形状測定システムは、異なる視点（例えば、単一のカメラ／複数のプロジェクタ、単一のプロジェクタ／複数のカメラなど）からターゲット面を見る複数の結像路を有する。各カメラ／プロジェクタ対は、チャンネル（結像路／光路）を形成し、測定対象の表面の固有の見地を提供する。表面は、（例えば点群において）各チャンネルによって別々に再構成されることが多く、これらの再構成は、ターゲット面の最終的な寸法形状（例えば、高さマップ）に組み合わされる。

【0078】

図18Aは、光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。システム800は、

カメラ 802 と、プロジェクタ 804 及び 806 と、ターゲット面 808 と、投射 810 及び 812 と、反射 814 とを含む。投射 810 及び反射 814 は第 1 のチャンネル 816 を形成し、投射 812 及び反射 814 は第 2 のチャンネル 818 を形成する。反射 814 は、図 18 では説明を明確にするために単一の線で示されているが、プロジェクタ 804 によって投射された投射は、プロジェクタ 806 によって投射された投射とは別個の反射を作り出すことを理解されたい。第 1 のチャンネル及び第 2 のチャンネルの各々から、ターゲット面 808 の寸法再構成を含む点群が生成される。第 1 のチャンネル 816 は第 1 の点群 820 を生成し、第 2 のチャンネル 818 は第 2 の点群 822 を生成する。プロジェクタ 804 及び 806 のアライメントジオメトリ及びターゲット面 808 の相対的な高さのために、824 及び 826 で示されるように、各点群に死角／陰がある。よって、点群は、828 で示されるように、ターゲット面 808 の完全な寸法形状を生成するために組み合わせられる。

10

【0079】

これらの別個の点群を組み合わせるには、それらが互いに十分に位置合わせされることが必要であり、これは通常、撮像センサの較正手順によって保証される。しかしながら、時間の経過とともに、センサに対する変更（例えば、熱スケーリング、機械的ドリフトなど）が、上述したように、個々の点群をシフトさせる（例えば、位置がずれる）可能性がある。そのような場合、最終的な組み合わせ寸法形状が、チャンネルがまだ精密に位置合わせされていた場合の寸法形状よりも正確さ及び再現性の低いものになる可能性がある。

【0080】

20

図 18B は、光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。図 18B は図 18 と同様であり、よって同様の要素には同様に番号が付されている。図 18B は、プロジェクタ 806 の実際の位置合わせと比較した精密な位置合わせ 807 によって表されるように、ずれた位置にある（例えば、シフトされた）プロジェクタ 806 を示している。これにより、表面点 819 で示されるように測定誤差が生じる。この位置ずれは、第 2 のチャンネル 818 の点群 823 を第 1 のチャンネル 816 の点群 820 に対してシフトさせる。点群 820 と点群 823 との組み合わせは、829 で示されるように、ターゲット面 808 の誤った寸法形状をもたす。

【0081】

これらのタイプの誤差は、センサを再較正することによって、例えば、現場較正手順に従うことによって解決することができる。しかしながら、これらの現場較正手順は、多くの場合、オペレータが光位相形状測定システムで作業するために、システムが測定を停止することを必要とする。これは、生産に大きな混乱を生じさせ、オンライン検査作業のスループットを低下させる可能性がある。より混乱の少ない技術が必要である。このような技術の一例を以下に示す。

30

【0082】

動的補償の方法を使用することにより、多くの場合、誤差をその場で（例えば、システムが動作し続ける間に）解決することができる。個々の点群間の相対誤差を動的に推定し、次いで、それらをターゲット面の最終的な寸法形状に組み合わせる前に補償することができる。一般的な方法は、個々の点群間の相対誤差を、個々の点群を 3D で最適に位置合わせする変換を計算することによって推定するものである。一般に、その変換は、回転、並進、スケーリング、又は撮像センサに対する変更（例えば、熱スケーリング、機械的ドリフトなど）によって予期される変化をモデル化する任意の他の形の変換からなり得る。一例では、3D の並進で、システムのアライメントジオメトリに対する小さな変更を十分にモデル化することができる。

40

【0083】

図 19 は、光位相形状測定システムにおける誤差を動的に補償する一例示的方法を示すフローチャートである。方法 900 はブロック 910 から開始し、そこで、第 1 のチャンネル及び第 2 のチャンネル（例えば、結像路／光路）を使用して、第 1 の点群及び第 2 の点群が生成される。2 つの個別のチャンネルからの 2 つの個別の点群が上述されているが、他の

50

例では、任意の数のチャネルを使用することができ、任意の数の点群を生成することができる。他の例では、特定の光位相形状測定システム内の各チャネルが、ターゲット面及び／又は物体に対して及び個別の点群を生成することができる。

【0084】

方法900はブロック920に進み、そこで、視野のどの部分が空でないかが判定される。一例では、この判定は、(1つ又は複数の)点群のどの部分が表面点を有し、どの部分が表面点を有していないかを判定することを含む。一例では、この判定は、任意の数の特性(例えば、ターゲット面及び／又は物体に関する寸法情報)を示す(例えば、イメージセンサからの)(1つ又は複数の)センサ信号を受信し、センサ信号に基づいて、視野のどの部分(例えば、それぞれの領域、測定対象の体積、システムが見ている環境など)が空でないか(例えば、対応する表面点を有する部分)を判定するように構成された、いくつかのコントローラ及び／又はプロセッサ(例えば、マイクロプロセッサ)を有することができる光位相形状測定システムによって行われる。

10

【0085】

方法900はブロック930に進み、そこで、第1の点群及び第2の点群が、判定された視野の空でない部分(例えば、点群の空でない部分)において位置合わせされる。この位置合わせは、様々な方法で行うことができる。一例では、ブロック932で示されるように点群ごとの最適な変換が計算される。一例では、ブロック933で示されるように回転が行われる。一例では、ブロック934で示されるように並進が行われる。別の例では、ブロック935で示されるようにスケーリングが行われる。別の例では、ブロック936で示されるように重み付けが行われる。一例では、ブロック936の重み付けは、点群の表面点を、それらの信頼値(例えば、それらの信号対雑音指数)によって重み付けすることを含む。別の例では、ブロック937で示されるように、点群を、任意の他の数の変換、特に撮像センサへの変更(例えば、熱スケーリング、機械的ドリフトなど)をモデル化する変換を行うことによって位置合わせすることができる。

20

【0086】

方法900はブロック940に進み、そこで、点群ごとの相対誤差が決定される。一例では、点群ごとの相対誤差を決定することは、点群ごとの最適な変換の反対を識別することを含む。方法900はブロック950に進み、そこで、ターゲット面及び／又は物体の寸法形状が生成される。一例では、ターゲット面及び／又は物体の寸法形状を生成することは、相対誤差を減算することを含む。一例では、寸法形状を生成することは、点群ごとの最適な変換を計算することと、点群ごとの相対誤差(例えば、最適な変換の反対)を識別することと、各点群からそれぞれの相対誤差を減算し、補償及び／又は補正された点群を組み合わせることとを含む。

30

【0087】

図20は、動的補償の一例を示す概略図である。図20の上部には、第1の点群962及び第2の点群964が示されている。一例では、点群962及び964は、第1のチャネル及び第2のチャネル(例えば816及び818)によって生成される。第1の点群及び第2の点群の各々は、ドットで示されるような複数のそれぞれの表面点を有する。図20に示されるように、点群962と点群964の両方が、イメージセンサに対する変更(例えば、図18Aに示されるような機械的ドリフト)に起因する測定誤差を有する。生成された点群は、測定されているターゲット面(例えば808)を正確に示していない。しかしながら、動的補償によって、上述したように(例えば、方法900)、各点群の測定誤差を補償及び／又は補正し、位置合わせされた寸法形状966で示されるように、ターゲット面の実際の寸法形状を正確又は実質的に正確に示すターゲット面の寸法形状を作成することができる。

40

【0088】

一例では、動的補償は、ターゲット面を観測する光位相形状測定システムのそれぞれの第1のチャネル及び第2のチャネルから第1の点群及び第2の点群を生成することによって、第1の点群及び第2の点群が、光位相形状測定システムの視野に関する寸法情報を示

50

す、ことと、視野のどの部分が空でないか（例えば、視野のどの部分が表面点を有するか）を判定することと、空でない領域において、第１の点群と第２の点群とを、点群ごとの最適な変換を計算し、各点群の相対誤差を特定（例えば計算）することによって位置合わせすることと、各点群から相対誤差を減算することと、各点群から相対誤差を減算し、補正及び／又は補償された第１の点群と第２の点群を組み合わせることによって、寸法形状（例えば高さマップ）を生成することと、を含む。一例では、最適な変換を計算することは、第１の点群及び第２の点群各々の表面点をそれらの信頼値（例えば、信号対雑音指数）によって重み付けすることを含む。一例では、最適な変換を計算することは、回転、並進、スケーリング、又は任意の他の変換又はそれらの組み合わせを行うことを含む。

【００８９】

場合によっては、点群ごとの相対誤差を決定することは、計算集約的である可能性があり、ターゲット面及び／又は物体の全体的な再構成（例えば、高さマップの生成）を遅らせる可能性がある。特に、三次元取得が連続的に（例えば、電子アセンブリプロセスにおける回路基板の自動光学検査中に）行われるオンライン検査環境では、各フレームで相対誤差を決定することが必要でも望ましくもない場合がある。一例では、相対誤差は周期的に決定され、次いで各取得時に適用される（例えば、寸法形状、高さマップなど）。加えて、相対誤差の各決定は若干のノイズを含み得るため、相対誤差決定の移動平均を保つことによりそれらの決定を時間的に平滑化することができる。

【００９０】

図２１は、動的補償の一例示的方法を示すフローチャートである。方法１０００はブロック１０１０から開始し、そこで、ターゲット面及び／又は物体の個々の三次元取得ごとに、相対誤差平均の最後の決定からの時間が閾値を超えているかどうか判定される。ブロック１０１０で、最後の相対誤差平均が決定されてからの時間が閾値を超えていないと判定された場合には、最新の相対誤差平均が各点群に適用される。方法１０００はブロック１０２５に進み、そこで、寸法形状（例えば、高さマップ）がターゲット面及び／又は物体について生成される。

【００９１】

ブロック１０１０に戻って、最後の相対誤差平均からの時間が閾値を超えていると判定された場合、方法１０００はブロック１０３０に進み、そこで新しい相対誤差平均が決定される。一例では、新しい相対誤差平均は、変換の平均（例えば最適な変換）を決定することによって決定される。一例では、変換の平均は、以下に従って決定される。

【００９２】

【数２】

$$T_{avg} = \alpha T_{new} + (1 - \alpha)T_{old} \quad \text{式 2}$$

式中、 α は 0 ～ 1 の定数である。

【００９３】

方法１０００はブロック１０４０に進み、そこで、相対誤差平均（例えば T_{avg} ）が各点群から減算される。方法１０００はブロック１０５０に進み、そこで、補正及び／又は補償された（例えば、相対誤差平均が減算された）点群が組み合わせられる。方法１０００はブロック１０６０に進み、そこで、補正及び／又は補償された点群の組み合わせに基づいて寸法形状（例えば、高さマップ）が生成される。方法１０００は、光学検査作業が完了するまで、三次元取得ごとに継続することができる。

【００９４】

場合によっては、補償できる誤差の程度に限界があり得る。相対誤差決定がこの限界に近づき始めると、全現場又は工場の較正が行われることが必要になり得る。一例では、光位相形状測定システムは、相対誤差決定が閾値（例えば、誤差の量、反復回数など）を超えたかどうかを判定することができ、閾値を超えたと判定すると、光位相形状測定は、通信、警告、警報、又は較正が必要であるという何らかの他の指示（例えば、ユーザインタ

10

20

30

40

50

ーフェースに表示を出す)を生成することができる。

【0095】

典型的な光位相形状測定システムが直面する別の課題は、ターゲット面及び／又は物体の取得画像の質及び精度を制限するシステムの制限によって引き起こされる。

【0096】

光位相形状測定は、投影された正弦波の質によって制限される。デジタル光処理(DLP)システムは柔軟であるが、投影された正弦波の位相に階段状のパターンを作り出す有限の画素サイズを有する。DLPシステムでは、ダイナミックレンジも限られている。例えば、典型的なDLPシステムは、正弦波が256レベルに量子化されることになる8ビット画像を使用する。残念ながら、このデジタル／アナログ(例えば、光レベル)変換は完全に線形ではない。実際の用途は、著しい積分及び／又は微分直線性誤差を有する可能性があり、微分直線性誤差は対処(例えば、補正、補償など)するのがより困難である。他方、積分誤差は、オフセット及び利得誤差とともに、多相再構成によって除去することができる。例えば、三相再構成はオフセット利得誤差に鈍感であり、四相再構成は二次積分誤差に鈍感であり、より高次の再構成はより高次の積分誤差を補償する。一方、微分直線性誤差は、正弦波のすべての部分にわたって「ランダムな」(例えば、予測が困難な)位相雑音を付加する。

【0097】

DLPシステムは、タイムスライス法によって複数の階調を生成する。階調を生成するために、DLPシステム内の個々のミラーが、パルス幅変調(PWM)と同様に、オン及びオフに反転される。ミラーは機械的デバイスであるため、その切り替え時間が制限され、したがって、投影される階調の数を増やす(例えば、画像内のビット数を増やす)と、画像のフレーム時間も増加する。例えば、単一ビット画像は、正弦波らしくは見えない可能性があるが、高ビット画像と比較して非常に迅速に投影することができ、したがってシステム出力時間が向上する。

【0098】

図22Aは、DLPプロジェクタシステムの一例を示す概略図である。システム1100は、光源1102と、デジタル・マイクロミラー・デバイス1104と、光学ローパスフィルタ(OLPF)1106と、デジタル投射レンズアセンブリ1108とを含み、デジタル投射レンズアセンブリ1108は、レンズ1110及び1112をさらに含む。システム1100は、光源光線束1114と、投射1116と、ターゲット面1118とをさらに含む。一般に、システム1100の動作は以下の通りである。光源光線束1114は、光源1102(例えば、LED)から発し、デジタル・マイクロミラー・デバイス1104を効果的に照明するために光源光線束1114を収束させる集光レンズ1102を通過する。光源光線束1114は、集光レンズ1102を通過した後、デジタル・マイクロミラー・デバイスに当たり、そこからデジタル投射1116として投射される。デジタル投射1116は、上述したように、典型的なDLPシステムの問題を低減及び／又は排除するように構成された、以下(図22B)でさらに詳細に説明するような、OLPF1106を通過する。投射1116は、投射1116をターゲット面1118上に所望のレベルに集束させるように配置されたレンズ1110及び1112を含むプロジェクタ・レンズ・アセンブリ1108上に進む。投射1116は次いで、表面ターゲット1118上まで通過し、そこから反射され、その後、センサ(例えば、イメージセンサ)を使用してターゲット面1118の寸法形状を生成する撮像システム(例えば、カメラ)によって取り込まれる。図22には例示目的で部品の特定の配置が示されているが、システム1100は、追加のデジタル・マイクロミラー・デバイス、様々な方法で配置されたプロジェクタ・レンズ・アセンブリ1108内の追加のレンズを含む追加のレンズ(例えば、成形レンズ)、(1つ又は複数の)カラーフィルタ、追加の光源、並びにそのようなシステムに必要な又は望ましい他の部品及び／又はデバイスを含むがこれらに限定されない、任意の数の追加の部品及び／又はデバイスを含むことができる。

【0099】

10

20

30

40

50

図 2 2 B は、O L P F の一例を示す簡略化されたブロック図である。O L P F 1 1 0 6 は、（１つ又は複数の）複屈折材料 1 1 2 0 と、その他 1 1 2 8 とを含む。（１つ又は複数の）複屈折材料 1 1 2 0 は、（１つ又は複数の）水晶板 1 1 2 2、（１つ又は複数の）波遅延器 1 1 2 4、及びその他 1 1 2 6 を含む。一例では、O L P F 1 1 0 6 は複屈折材料の層からなる。一例では、（１つ又は複数の）水晶板 1 1 2 2 は、デジタル・マイクロミラー・デバイスからの点を 1 対の点に分割する第 1 の水晶板と、2 点を 4 点に分割する第 2 の水晶板とを含む。一例では、4 点は正方形のパターンで配置される。一例では、（１つ又は複数の）波遅延器 1 1 2 4 は、（デジタル・マイクロミラー・デバイスによって投射された）画像の各コピーの偏光を円偏光に変換する第 1 の $1/4$ 波遅延器と、画像の各コピーの偏光を円偏光に変換する第 2 の $1/4$ 波遅延器とを含む。一例では、第 2 の $1/4$ 波遅延器は、O L P F 1 1 0 6 によって出力される光（例えば、投射 1 1 1 6）が円偏光化されることを保証する。一例では、O L P F 1 1 0 6 は、複屈折材料の 4 つの層を含み、第 1 層は第 1 の水晶板を含み、第 2 層は第 1 の $1/4$ 波遅延器を含み、第 3 層は第 2 の水晶板を含み、第 4 層は第 2 の $1/4$ 波遅延器を含む。

【0 1 0 0】

（１つ又は複数の）複屈折材料 1 1 2 0 は、任意の他の数の結晶構造を含むがこれに限定されない、任意の他の数の複屈折材料も含むことができる。O L P F 1 1 0 6 は、撮像システムにおける光学ローパスフィルタリング及び／又は再構成フィルタリングに必要な又は望ましい任意の他の数の材料及び／又は部品も含むことができる。

【0 1 0 1】

光位相形状測定システムの垂直分解能は、投射される最高周波数によって制限される。D L P 位相形状測定システムでは、周波数は通常、1 周期当たり約 4 デジタル・マイクロミラー・デバイス画素である。1 画素当たり $1/4$ サイクルの周波数は、事実上方形波である。O L P F 1 1 0 6 を D L P 位相形状測定システムに適用することにより、方形波を正弦波に転換することができる。方形波から開始することの利点は、それが 2 値画像（例えば、2 つのレベルのみ）であることである。2 値パターンを使用すると、他の典型的な D L P 位相形状測定システムと比較して、システム 1 1 0 0 の速度が向上する。例えば、8 ビット D L P 画像は、1 画像当たり数十ミリ秒を必要とするが、単一ビット画像は、システム 1 1 0 0 の場合のように、1 ミリ秒未満で十分に投影することができ、よって、画像取得及び寸法形状出力の速度が向上する。

【0 1 0 2】

より低い周波数の正弦波が必要とされる場合、正弦波に追加のビットレベルを付加することができ、例えば、1 サイクル当たり 6 画素の正弦波を、わずか 3 つの階調（例えば、0、0.5 及び 1.0）で十分に投影することができる。一例では、 n 画素ごとに繰り返す正弦波では、 $n/2$ の階調が提供される。システム 1 1 0 0 は、所望の投影周波数の信号レベルを最大化し、望ましくないアーチファクト（例えば、投影周波数の高調波や「スクリーンドア効果」）を最小化するように構成される。

【0 1 0 3】

図 2 3 は、ターゲット面上への光投射の一例を示すフローチャートである。方法 1 2 0 0 はブロック 1 2 1 0 から開始し、そこで、光が、光源を使用してデジタル・マイクロミラー・デバイス（D M D）上に投射される。光は、D M D 表面に到達する前に、最初にレンズアセンブリ 1 2 1 1 を通過し得、レンズアセンブリ 1 2 1 1 は、一例では、集光レンズを含むことができる。光は、D M D への途中で任意の他のデバイス及び／又は部品も通過し得る。光源は、L E D 1 2 1 4 を含み得る。光源は、D M D 上への光の投射に適した任意の他のタイプの光源 1 2 1 5 を含み得る。

【0 1 0 4】

方法 1 2 0 0 はブロック 1 2 2 0 に進み、そこで、投射光（投射）は D M D を形成するターゲット面及び／又は物体の方へ反射される。方法 1 2 0 0 はブロック 1 2 3 0 に進み、そこで、投射光は、D M D から反射された後、ただしターゲット面及び／又は物体に到達する前に、フィルタリングされる。このフィルタリングを、O L P F 1 2 3 1 を使用し

で行うことができる。このフィルタリングを、他のタイプのフィルタ 1 2 3 2 を使用して行うことができる。フィルタは、任意の数の（１つ又は複数の）波長板 1 2 3 3、例えば水晶波長板を含むことができる。フィルタは、任意の数の（１つ又は複数の）波遅延器 1 2 3 4、例えば、 $1/4$ 波遅延器を含むことができる。フィルタは、複屈折材料、結晶構造、並びにフィルタリング及び／又は再構成に必要な及び／又は望ましい任意の他の材料、部品、及び／又はデバイスを含むがこれらに限定されない、任意の他の数の材料、部品、及び／又はデバイスを含むことができる。一例では、フィルタは、複数の層からなる O L P F であり、第 1 層は第 1 の水晶波長板を含み、第 2 層は第 1 の $1/4$ 波遅延器を含み、第 3 層は第 2 の水晶波長板を含み、第 4 層は第 2 の $1/4$ 波波長板を含む。一例では、ブロック 1 2 3 0 のフィルタは、O L P F 1 1 0 6 を含むことができる。

10

【0 1 0 5】

方法 1 2 0 0 はブロック 1 2 4 0 に進み、そこで、フィルタリングされた投射がターゲット面及び／又は物体上に集束する。フィルタリングされた投射は、最初にレンズアセンブリ 1 2 4 1 を通過することができる。一例では、ブロック 1 2 4 1 のレンズアセンブリは、プロジェクタ・レンズ・アセンブリ 1 1 0 8 である。フィルタリングされた投射は、最初に（１つ又は複数の）開口 1 2 4 2 を通過することができる。フィルタ投射は、ターゲット面及び／又は物体に向かう途中で、任意の数の他のデバイス及び／又は部品を通過することができる。

【0 1 0 6】

一例では、方法 1 2 0 0 は、LED で、1 画素当たり $1/4$ サイクルの周波数で光を反射する（例えば、投射を方形波として反射する）ように構成された D M D 上に投射することを含む。D M D からの光は次いで、方形波を正弦波に「再構成」するように構成された O L P F によってフィルタリングされる。O L P F は、D M D からの点を 1 対の点に分割するように構成された第 1 の水晶波長板と、画像の各コピーの偏光を円偏光に変換するように構成された第 1 の $1/4$ 波遅延器と、2 点を 4 点に分割するように構成された第 2 の水晶波長板であって、4 点が正方形パターンで配置される、第 2 の水晶波長板と、出力光（例えば、O L P F を通過し、O L P F から出て、ターゲット面及び／又は物体に向かう光）を円偏光に変換するように構成された第 2 の $1/4$ 波遅延器とを含む。フィルタリングされた光は次いで、フィルタリングされた光をターゲット面及び／又は物体に集束させるように構成されたプロジェクタ・レンズ・アセンブリを通過し、レンズアセンブリは、第 1 の凸面を有する第 1 のレンズと、第 2 の凸面を有する第 2 のレンズとを含み、第 1 の凸面と第 2 の凸面とは反対方向に面している。

20

30

【0 1 0 7】

典型的な位相形状測定システムと関連付けられる別の課題は、特に鏡面反射ターゲット面を有するターゲットの傾斜に関する。典型的なシステムでは、照明源は、ターゲット面上の各点から出射する光線束の境界を画定する開口数を有する。通常、システムは、非傾斜ターゲットでは、照明源瞳の中心が撮像システム瞳の中心と交差するように位置合わせされる。しかしながら、ターゲット面の傾斜はこの位置合わせを乱し、例えば、ターゲット面が傾斜していると、（反射としてターゲットから反射された）照明源からの光線束が受光器の開口を通過する。例えば、ターゲット面が理想的な平面から傾斜しており、三角測量角度を変更すると、デフレクトメータ誤差が発生する。この誤差は、ケラレとしても知られる、反射が縁部で重なり合う場合に悪化する。場合によっては、ターゲットが極端に傾斜している場合など、反射はもはや重なり合わず、むしろ撮像システムには見えなくなり、よってターゲット面の寸法情報を生成することができない。ターゲット面傾斜に起因する誤差は、米国特許出願公開第 2 0 1 9 / 0 2 2 6 8 3 5 号明細書でさらに説明されている。

40

【0 1 0 8】

デフレクトメータ誤差の一例として、非ゼロの高さの鏡面反射ターゲット（例えば理想平面）が傾斜していると、撮像システムによって測定される高さに変化する。例えば、 60° の開光角度を有する位相形状測定システムでは、 1° 傾斜したカメラの最良焦点から

50

1 ミリメートルのターゲットは、約 40 マイクロメートルの高さ誤差を有することになる。
【0109】

図 24 は、光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。システム 1300 は、撮像システム 1106 と、照明源 1108 と、ビームスプリッタ 1308 とを含む、第 1 の動作同軸撮像システム／照明源対 1302 を含む。システム 1300 は、撮像システム 1312 と、照明源 1314 と、ビームスプリッタ 1316 とを含む、第 2 の動作同軸撮像システム／照明源対 1304 をさらに含む。動作対 1302 及び 1304 は、それぞれの撮像システム（1306 及び 1312）がそれぞれの照明源（1308 及び 1314）と光路を共有するように構成される。動作対 1302 及び 1304 は、それぞれのビームスプリッタ 1310 及び 1316 を利用し、ビームスプリッタ 1310 及び 1316 は、一例では、それぞれの撮像システム（1306 及び 1312）とそれぞれの照明源（1308 及び 1314）とに対して 45° の角度で構成される。一例では、撮像システム 1306 及び／又は 1312 はカメラを含むことができる。一例では、撮像システム 1306 及び／又は 1312 は、（1 つ又は複数の）イメージセンサを含むことができる。一例では、照明源 1308 及び／又は 1314 は、プロジェクタを含むことができる。一例では、照明源 1308 及び／又は 1314 は、DLP プロジェクタを含むことができ、DLP プロジェクタは、デジタル・マイクロミラー・デバイス（DMD）及び OLPF を含むことができる。システム 1300 は、ターゲット面 1318 と、照明 1320 及び 1324 と、反射 1322 及び 1326 とをさらに含む。

【0110】

システム 1300 は、動作対 1302 及び 1304 が斜め対を構成する（例えば、ターゲット面 1318 及び法線 [例えば、垂線] に対して斜角で配置される）ように配置される。システム 1300 は、動作対 1302 と動作対 1304 とが互いに対して対称であるようにさらに配置される。言い換えれば、それらのターゲット面 1318 及び法線に対する斜角は等しいが反対方向に（例えば、法線の両側に）ある。このようにして、動作対 1302 及び 1304 は、対向配置チャネルを形成する。一例では、それらは第 1 の鏡面反射チャネル及び第 2 の鏡面反射チャネルを形成する。第 1 のチャネルは、照明源 1308 から投射された照明 1320 と、ターゲット面 1318 から反射された反射 1322 とを含む。一例では、反射 1322 は鏡面反射を含む。第 2 のチャネルは、照明源 1314 から投射された照明 1324 と、ターゲット面 1318 から反射された反射 1326 とを含む。一例では、反射 1326 は鏡面反射を含む。

【0111】

システム 1300 のアライメントジオメトリは、鏡面反射ターゲット面の先端又は傾斜に起因する高さ再構成誤差が補償されるという利点を有する。ターゲットの傾斜によって引き起こされる誤差は、システム 1300 では、各動作対 1302 及び 1304 について等しく反対である。よって、動作対 1302 及び 1304 によって生成された点群が組み合わされると、ターゲットの傾斜によって引き起こされた鏡面反射誤差が補正される。さらに、一例では、照明源及び撮像システムの光学的開口（図示されていない）が等しく（例えば、それぞれのチャネルの開口数が同等であり）、鏡面反射誤差が最小化され、結果として得られるターゲット面の表現がより正確になる。

【0112】

図 25 は、光位相形状測定システムの一例を示す概略図である。システム 1400 は、撮像システム 1408 と、照明源 1410 と、ビームスプリッタ 1412 とを含む、第 1 の動作同軸撮像システム／照明源対 1402 を含む。システム 1400 は、撮像システム 1414 と、照明源 1416 と、ビームスプリッタ 1418 とを含む、第 2 の動作同軸撮像システム／照明源対 1404 をさらに含む。システム 1400 は、撮像システム 1420 と、照明源 1422 と、ビームスプリッタ 1424 とを含む、第 3 の動作同軸撮像システム／照明源対 1406 をさらに含む。動作対 1402、1404 及び 1406 は、それぞれの撮像システム（1408、1414、及び 1420）がそれぞれの照明源（1410、1416、及び 1422）と光路を共有するように構成される。動作対 1402、1

404及び1406は、それぞれのビームスプリッタ1412、1418及び1424を利用し、ビームスプリッタ1412、1418及び1424は、一例では、それぞれの撮像システム（1408、1414、及び1420）とそれぞれの照明源（1410、1416、及び1422）とに対して45°の角度で構成される。一例では、撮像システム1408、1414及び／又は1420は、カメラを含むことができる。一例では、撮像システム1408、1414及び／又は1420は、（1つ又は複数の）イメージセンサを含むことができる。一例では、照明源1410、1416及び／又は1422は、プロジェクタを含むことができる。一例では、照明源1410、1416及び／又は1422は、デジタル・マイクロミラー・デバイス（DMD）及びOLPFを含むことができる、DLPプロジェクタを含むことができる。システム1400は、ターゲット面1426と、照明1428、1434及び1438と、反射1430／1440／1450、1432／1442及び1436／1446とをさらに含む。

【0113】

システム1400は、6つの対向配置チャネルを形成するように配置される。一例では、4つの拡散チャネル及び2つの鏡面反射チャネル。一例では、4つの対向配置チャネルは、公称拡散反射を取り込むように構成され、2つの対向配置された鏡面反射チャネルは、鏡面反射を取り込むように構成される。システム1400は、動作対1402及び1406が斜め対を含む（例えば、ターゲット面1426及び「法線」〔例えば垂線及び／又は、一例では、動作対1404〕に対して斜角で配置／位置合わせされる）ように配置される。システム1400は、動作対1402と動作対1406とが互いに対して対称であるように配置される。言い換えれば、それらのターゲット1426及び法線に対する斜角は等しいが、反対方向に（例えば、法線の両側に）ある。このようにして、動作対1402及び1406は、第1の対向配置された鏡面反射チャネル及び第2の対向配置された鏡面反射チャネルを形成する。第1のチャネルは、照明源1410から投射された照明1428と、ターゲット面1426から反射された反射1432とを含む。一例では、反射1426は鏡面反射を含む。第2のチャネルは、照明源1422から投射された照明1438と、ターゲット面1426から反射された反射1436とを含む。一例では、反射1436は鏡面反射を含む。

【0114】

システム1400は、4つのさらなる対向配置チャネル、すなわち、各斜め対（1402及び1406）と動作対1404との間に2つの対向配置チャネルが形成されるようにさらに配置される。動作対1404は、ターゲット1426に対してほぼ垂直（例えば、直角）に配置／位置合わせされる。第3の対向配置チャネルは、照明源1410によって投射された照明1428と、ターゲット面1426から反射された反射1440とを含む。一例では、反射1440は拡散反射である。第4の対向配置チャネルは、照明源1416から投射された照明1434と、ターゲット面1426から反射された反射1446とを含む。一例では、反射1446は拡散反射である。第5の対向配置チャネルは、照明源1422から投射された照明1438と、ターゲット面1426から反射された反射1450とを含む。一例では、反射1450は拡散反射である。第6の対向配置チャネルは、照明源1416から投射された照明1434と、反射1442とを含む。一例では、反射1442は拡散反射である。

【0115】

一例では、システム1400の6つすべてのチャネルを取得するのに必要な時間を最小化するために、個々の撮像システム・照明源対のタイミングを組み合わせることができる。典型的には、撮像システム1408、1414、及び1420は、CMOSエリアアレイ検出器を用いて構成される。これらのタイプの撮像装置は、その撮像装置の露光時間が撮像装置のフレーム時間のごく一部（例えば、取得及び読み出し及び画像化する時間）になるように露光時間を制御する能力を有する。例えば、撮像システム（例えば、1408、1414及び1420）が毎秒50フレームで画像を取得することができる場合、取得間の時間は1／50秒又は20ミリ秒である。1つの撮像システムから少なくとも2つの

10

20

30

40

50

画像を取得するシリアルモードで6つのチャンネルの各々から少なくとも1つの画像を取得するためには、画像のフルセットを取得する時間は120ミリ秒（6〔画像〕×20ミリ秒）である。しかしながら、反射（例えば、1436、1446、1430、1440、1450、1432及び1442）に十分な強度がある場合、露光時間は、20ミリ秒よりかなり短くなる可能性があり、画像取得のシーケンスを3つの撮像システム間で組み合わせることができる。3つの撮像システムの取得シーケンスを組み合わせることにより、ある撮像システムの露光を、別の撮像システムがそのフレーム時間を完了するのに必要とする読み出し時間と同時になるようにタイミングを合わせることができ、この特定の例では、120／3又は40ミリ秒の全体取得時間が得られる。

【0116】

以下は、システム1400のアライメントジオメトリ（例えば、構成）を利用して取得時間を最小化することができる、6つのチャンネルから画像を取得するための組み合わせられたトリガシーケンスの一例である。

トリガ時間1：照明源1410が撮像システム1414を露光する、
トリガ時間2：照明源1416が撮像システム1420を露光する、
トリガ時間3：照明源1422が撮像システム1408を露光する、
トリガ時間4：照明源1422が撮像システム1414を露光する、
トリガ時間5：照明源1410が撮像システム1420を露光する、
トリガ時間6：照明源1416が撮像システム1408を露光する

【0117】

この例では、トリガイベント間の時間は、 $20 / 3 = 6.6$ ミリ秒である。任意の単一の撮像システムをトリガする間の時間は20ミリ秒であるが、6つすべての画像の全体取得時間は 6.6 ミリ秒×6＝40ミリ秒である。これは、シーケンス組み合わせの単なる一例であり、本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく他のシーケンス組み合わせを使用できることを理解されたい。

【0118】

図26は、光位相形状測定システムの一例を示す簡略化されたブロック図である。システム1500は、（1つ又は複数の）照明源1502と、（1つ又は複数の）撮像システム1504と、電子機器1550と、アライメントジオメトリ1562と、（1つ又は複数の）電源1564と、メモリ1565と、（1つ又は複数の）ユーザインターフェース1566と、（1つ又は複数の）ビームスプリッタ1567と、（1つ又は複数の）リモートデバイス1568、（1つ又は複数の）ハウジング、（1つ又は複数の）ディスプレイ1570と、その他1571とを含む。システム1500は、実施態様のいずれかを含むことができ、本明細書に記載される方法のいずれかを組み込むことができる。

【0119】

（1つ又は複数の）照明源1502は、（1つ又は複数の）照明生成器1512と、レンズアセンブリ1514と、（1つ又は複数の）フィルタ1515と、（1つ又は複数の）開口1516と、（1つ又は複数の）ハウジング1518と、その他1522とを含む。（1つ又は複数の）照明源1502は、本明細書に記載される実施態様のいずれかを含むことができる。（1つ又は複数の）照明生成器1512は、ターゲット上に投射されるべき照明（例えば、構造化又はパターン化された照明）を生成するように構成される。（1つ又は複数の）照明生成器1512は、空間光変調器、構造化光生成器、DLPプロジェクタ、透過型液晶、液晶オンシリコン（LCOS）、又は構造化光パターンを投射するための任意の他の適切な技術、デジタル・マイクロミラー・デバイス（DMD）、又は任意の他の数の適切な（1つ若しくは複数の）照明生成器を含むことができる。

【0120】

レンズアセンブリ1514は、一般に、（1つ又は複数の）照明源1402からの照明をターゲットの方へ向けるように構成され、テレセントリック・レンズ・アセンブリ、入射レンズ及び出射レンズ、無限遠の入射瞳又は射出瞳、2つ以上のレンズ、並びにポリカーボネート、プラスチック、ポリマー、ガラス、液体レンズ材料、及び任意の他の適切な

10

20

30

40

50

材料を含むがこれらに限定されない様々な材料から作製されたレンズを含むことができる。レンズアセンブリ1514は、集光レンズ、プロジェクタ・レンズ・アセンブリを含むことができ、プロジェクタ・レンズ・アセンブリは、第1の凸面を有する第1のレンズと、第2の凸面を有する第2のレンズとを含み、第1の凸面と第2の凸面とは反対方向に面している。

【0121】

(1つ又は複数の) フィルタ1515は、一般に、照明をフィルタリング及び／又は再構成するように構成される。(1つ又は複数の) フィルタ1515は、OLPFを含むことができ、OLPFは、任意の数の複屈折材料を含む。OLPFは4つの層を含むことができ、第1の層は波長板(例えば水晶波長板)を含み、第2の層は1/4波遅延器を含み、第3の層は第2の波長板(例えば水晶波長板)を含み、第4の層は第2の1/4波遅延器を含む。(1つ又は複数の) フィルタ1515は、結晶構造、プレートなどを含むがこれらに限定されない、任意の他の数の材料、部品及び／又はデバイスを含むことができる。

【0122】

(1つ又は複数の) 開口1516は、照明源1502からの照明をターゲット面の方へ向けるように構成される。(1つ又は複数の) 開口1516は、本明細書に記載されるシステム及び実施態様などの、光位相形状測定システムにわたって任意のサイズの変化を含むことができる。一例では、各動作同軸撮像システム・照明源対の開口数は同等である。一例では、開口数は異なるサイズのものである。一例では、チャンネル(例えば、対向配置、鏡面反射、拡散など)について、受光器(例えば、撮像システム)の開口数は、光源(例えば、照明源)の開口数よりも小さい。一例では、チャンネル(例えば、対向配置、鏡面反射、拡散など)について、受光器(例えば、撮像システム)の開口数は、光源(例えば、照明源)の開口数よりも大きい。一例では、チャンネル(例えば、対向配置、鏡面反射、拡散など)について、受光器(例えば、撮像システム)の開口数と光源(例えば、照明源)の開口数とは同等である。

【0123】

(1つ又は複数の) ハウジング1518は、(1つ又は複数の) 照明源1502の本体を画定し、(1つ又は複数の) 照明源1502の部品を収容するように構成される。(1つ又は複数の) ハウジング1518は、プラスチック、ポリマー、金属、又は任意の他の適切な材料を含むがこれらに限定されない、任意の数の材料を含むことができる。(1つ又は複数の) ハウジング1518は、本明細書に記載される実施態様のいずれかを含むことができる。その他1522は、ターゲットに構造化照明を投射するために照明源によって使用されるのに適した任意の他の部品を含むことができる。

【0124】

(1つ又は複数の) 撮像システム1504は、レンズアセンブリ1528と、(1つ又は複数の) 開口1530と、(1つ又は複数の) カメラ1532と、(1つ又は複数の) 画像平面1534と、(1つ又は複数の) 調整機構1540と、(1つ又は複数の) ハウジング1542、(1つ又は複数の) センサ1546と、その他1548とを含む。(1つ又は複数の) 撮像源1504は、ターゲットから反射する(1つ又は複数の) 照明源1402から投射された照明を受光するように構成される。レンズアセンブリ1528は、ターゲットから反射された照明を(1つ又は複数の) 撮像システム1504の内部部品(例えば、(1つ又は複数の) カメラ1532、(1つ又は複数の) 画像平面1534、(1つ又は複数の) センサ1546)の方へ向けるように構成され、テレセントリック・レンズ・アセンブリ、入射レンズ及び出射レンズ、無限遠の入射瞳又は射出瞳、2つ以上のレンズ、調整可能なレンズ、並びにポリカーボネート、プラスチック、ポリマー、ガラス、液体レンズ材料、及び任意の他の適切な材料を含むがこれらに限定されない様々な材料から作製されたレンズを含むことができる。レンズアセンブリ1528は、任意の数のプリズム(例えば761、762及び／又は763)を含むことができるプリズムアセンブリ(例えば760)を含むことができる。

【0125】

(1つ又は複数の) 開口1530は、ターゲットから反射された照明を(1つ又は複数の) 撮像システム1504の(1つ又は複数の) 内部部品の方へ向けるように構成される。(1つ又は複数の) 開口1530は、本明細書に記載されるシステム及び実施態様などの、光位相形状測定システムにわたって任意のサイズの変化を含むことができる。一例では、各動作同軸撮像システム・照明源対の開口数は同等である。一例では、開口数は異なるサイズのものである。一例では、チャンネル(例えば、対向配置、鏡面反射、拡散など)について、受光器(例えば、撮像システム)の開口数は、光源(例えば、照明源)の開口数よりも小さい。一例では、チャンネル(例えば、対向配置、鏡面反射、拡散など)について、受光器(例えば、撮像システム)の開口数は、光源(例えば、照明源)の開口数よりも大きい。一例では、チャンネル(例えば、対向配置、鏡面反射、拡散など)について、受光器(例えば、撮像システム)の開口数と光源(例えば、照明源)の開口数とは同等である。

10

【0126】

一例では、(1つ又は複数の) 開口1516及び(1つ又は複数の) 開口1530の開口数は同等であり、よってターゲットの傾斜(例えば、デフレクトメータ誤差、ケラレなど)に起因する測定誤差を低減、補償、及び／又は排除するように構成される。

【0127】

(1つ又は複数の) カメラ1532は、(1つ又は複数の) 照明源1502によって投射され、ターゲットから(1つ又は複数の) 撮像システム1504の方へ反射された照明を受光するように構成される。(1つ又は複数の) カメラ1532は、ターゲットの画像を示す受光した照明に基づいてセンサ信号を生成するように構成された(1つ又は複数の) センサ1546(例えば、イメージセンサ)を含むことができる。(1つ又は複数の) 画像平面1534は、(1つ又は複数の) カメラ1532の一部であり、反射された照明が(1つ又は複数の) 撮像システム1504の内部部品(例えば、レンズアセンブリ1528、(1つ又は複数の) 開口1530など)を通過した後に集束するカメラの表面を画定する。

20

【0128】

(1つ又は複数の) 調整機構1540は、レンズアセンブリ1528又は(1つ若しくは複数の) 撮像システム1504の別の部品の位置又は特性を変更するように構成されたデバイスである。(1つ又は複数の) 調整機構1540は、レンズの焦点が変更されるようにレンズの位置を変更するように構成された機械的デバイスを含むことができる。(1つ又は複数の) 調整機構1540は、その焦点位置が変更されるように画像取り込み間でその形状を変更する電気光学レンズを含むことができる。そのようなシステムでは、レンズの曲率が電流を印加することによって調整される。(1つ又は複数の) 調整機構1540は、可変倍率レンズ、例えば液体レンズアセンブリを含むことができる。(1つ又は複数の) 調整機構は、(1つ又は複数の) 画像平面1534の位置を変更するように構成されたデバイスを含むことができる。(1つ又は複数の) 調整機構1540は、(1つ又は複数の) カメラ1532の位置を変更するように構成されたデバイスを含むことができる。(1つ又は複数の) 調整機構1540は、撮像システムの焦点位置が変化し得るような任意の他の適切なデバイス、部品、及び／又は技術を含むことができる。

30

40

【0129】

(1つ又は複数の) ハウジング1542は、(1つ又は複数の) 撮像システム1504の本体を画定し、(1つ又は複数の) 撮像システム1504の部品を収容するように構成される。(1つ又は複数の) ハウジング1542は、プラスチック、ポリマー、金属、又は任意の他の適切な材料を含むがこれらに限定されない任意の数の材料を含むことができる。(1つ又は複数の) ハウジング1542は、本明細書に記載される実施態様のいずれかを含むことができる。(1つ又は複数の) センサ1546は、受光した照明の特性、ターゲット寸法情報、取り込み画像などを示す信号を生成するように構成された任意の数のセンサを含むことができる。その他1548は、(1つ又は複数の) 撮像システム1504が照明を受光すること、又はターゲットに関する寸法情報を取得することを可能にする

50

ように構成された任意の他の適切な部品を含むことができる。

【0130】

電子機器1550は、通信回路1552と、（1つ又は複数の）プロセッサ1554と、（1つ又は複数の）コントローラ1556と、その他1560とを含む。通信回路1552は、システム1500の他の部品（例えば、（1つ又は複数の）照明源1502及び（1つ又は複数の）撮像システム1504）、外部部品（例えば、（1つ又は複数の）ユーザインターフェース1566、（1つ又は複数の）リモートデバイス1568、及び（1つ又は複数の）ディスプレイ1570）、並びに電子機器1550の他の部品と通信するように構成される。通信回路1552は、有線（例えば、有線ループ）及び／又は無線（Wi-Fi、ブルートゥース（登録商標）など）回路を含むことができる。（1つ又は複数の）プロセッサ1554は、信号（例えば、（1つ又は複数の）センサ1546からのセンサ信号）及びターゲットに関する他の入力を受け取り、それらの信号及び入力に基づいて、ターゲットに関する特性及び／又は寸法情報（例えば、高さ、傾き、x位置、y位置、z位置など）を決定、計算、及び／又は生成するように構成される。（1つ又は複数の）プロセッサ1554は、一例では、ターゲットに対してシステムのそれぞれのチャンネル（例えば、光路）によって取り込まれた複数の表面点を有する点群を生成するように構成され、チャンネルは、少なくとも1つの照明源及び少なくとも1つの撮像システムを含む。（1つ又は複数の）プロセッサ1554を、ハードウェア、ソフトウェア、又はそれらの組み合わせを介して、（1つ又は複数の）撮像システム1504から取得画像を受け取り、本明細書に記載されるものを含む、いくつかの計算、方法、及び／又は技術を実行するように適合させることができる。例えば、（1つ又は複数の）プロセッサ1554は、点群マージ、反復結合点群リファインメント、符号付き距離関数、加重平均、動的補償、組み合わせ、比較、及び任意の他の数の計算、方法及び／若しくは技術、又は本明細書に記載されるものの任意の組み合わせを実行することができる。

【0131】

（1つ又は複数の）コントローラ1556は、（1つ又は複数の）プロセッサ1554及び他の部品（例えば、（1つ又は複数の）ユーザインターフェース1566）から信号を受け取り、システム1500の部品への制御信号を生成するように構成される。一例では、（1つ又は複数の）コントローラ1556は、（1つ若しくは複数の）プロセッサ1554を含む任意の数の（1つ若しくは複数の）プロセッサ又は（1つ若しくは複数の）マイクロプロセッサを含むことができる。例えば、（1つ又は複数の）コントローラ1556は、較正プロセスを開始する必要性（例えば、相対誤差決定が限界を超えており、現場又は工場の較正が必要とされる場合）を示す（1つ又は複数の）プロセッサ1554からの出力を受け取ることができる。（1つ又は複数の）コントローラ1556は次いで、外部部品（例えば、（1つ若しくは複数の）ユーザインターフェース1566、（1つ若しくは複数の）リモートデバイス1568及び／又は（1つ若しくは複数の）ディスプレイ1570）表面に、表示、警告、警報、又はシステム1500の状況の任意の他の指示（例えば、較正が必要であること）を出させるための制御信号を生成することができる。他の例では、（1つ又は複数の）コントローラ1556は、（1つ又は複数の）プロセッサ1554に新しい相対誤差を決定させるための制御信号、及び通信回路1552に、メモリ1565に新しい相対誤差を格納させるための制御信号を生成することができる。（1つ又は複数の）コントローラ1556は、本明細書に記載される方法及び／又は技術のいずれかのための制御信号を含む、任意の数の制御信号を生成することができる。

【0132】

別の例では、（1つ又は複数の）コントローラ1556は、システム1500のタイミング（例えば、投射及び取得のタイミング、露光のタイミングなど）を操作するように構成される。一例では、システム1500のタイミングは組み合わせられる（例えば、組み合わせられたトリガシーケンス）。一例では、ある撮像システムの露光を、別の撮像システムがそのフレーム時間を完了するのに必要とする読み出し時間と同じになるようにタイミングを合わせることができる。一例では、組み合わせられたトリガシーケンスは、システム1

500に40ミリ秒の全体取得時間をもたらすことができる。一例では、トリガイベント間の時間は6.6ミリ秒である。

【0133】

アライメントジオメトリ1562は、システム1500の位置合わせ構造である。アライメントジオメトリ1562は、(1つ又は複数の)照明源1502及び／又は(1つ又は複数の)撮像システム1504の垂直又は水平位置を含むことができる。アライメントジオメトリ1562は、(1つ又は複数の)照明源1502及び／又は(1つ又は複数の)撮像システム1504の方位角又は光軸を含むことができる。アライメントジオメトリ1562は、本明細書に記載されるシステム、方法、技術、又は実施態様のいずれか、例えば、これらに限定されないが、図3A～図3B、図4A～図4B、図12、図13A～図13C、図17、図24、及び図25に記載されるアライメントジオメトリを含むことができる。

10

【0134】

(1つ又は複数の)電源1564は、システム1500の部品に電力を供給するように構成される。(1つ又は複数の)電源1564は、システム1500の部品が電力供給されるような、バッテリー(battery)、電気回路への有線接続、又は任意の他の適切な技術を含むことができる。加えて、システム1500の個々のサブシステムの各々(例えば、(1つ又は複数の)照明源1502、(1つ又は複数の)撮像システム1504、及び電子機器1550)は、それらが互いに独立して電力供給されるようにそれら自体の(1つ又は複数の)電源(例えば、バッテリー又は電子回路への個別の接続)を含むことができる。(1つ又は複数の)電源1564は、これらの任意の組み合わせも含むことができる。

20

【0135】

メモリ1565は、データ(例えば、ターゲットに関する寸法情報、計算、決定、命令など)、較正情報、システムステータス情報などを格納するように構成される。メモリ1565は、RAM、ROM、キャッシュ、ダイナミックRAM、スタティックRAM、フラッシュメモリ、仮想メモリ、ビデオメモリ、BIOS、又は任意の他の適切な形態のメモリを含むことができる。メモリ1565は、好ましくは、システム1500に電氣的に結合される。

【0136】

(1つ又は複数の)ビームスプリッタ1567は、(1つ又は複数の)照明源1502からの照明及びにターゲットから反射された反射を、(1つ又は複数の)照明源1502及び(1つ又は複数の)撮像システム1504が、一例では、本明細書に記載されるような動作同軸対を含むことができるように「分割」するように構成される。(1つ又は複数の)ハウジング1569は、特に、本明細書に記載される特定の実施態様と同様に動作同軸照明源／撮像システム対が利用される場合、(1つ又は複数の)照明源1502と(1つ又は複数の)撮像システム1504の両方を単一のハウジング内に収容するように構成することができる。(1つ又は複数の)ハウジング1569は、(1つ又は複数の)照明源1502及び(1つ又は複数の)撮像システム1504の本体を画定し、各々の内部部品、並びに一例では(1つ又は複数の)ビームスプリッタ1567も収容するように構成される。(1つ又は複数の)ハウジング1569は、プラスチック、ポリマー、金属、又は任意の他の適切な材料を含むがこれらに限定されない任意の数の材料を含むことができる。システム1500は、1571で示されるような任意の他の数の適切な部品及び／又はデバイスを含むことができる。

30

40

【0137】

(1つ又は複数の)ユーザインターフェース1566は、ユーザ又はオペレータの入力を受け取るように構成される。(1つ又は複数の)ユーザインターフェースは、タッチスクリーンディスプレイ、スイッチ、レバー、電子制御基板、ボタン、又はユーザ若しくはオペレータの入力を受け取るための任意の他の適切な技術を含むことができる。(1つ又は複数の)リモートデバイス1568は、有線ループ上の制御室内のコンピュータなどの

50

システム１５００に電子的に結合されているがリモートのデバイスを含むことができる。
（１つ又は複数の）リモートデバイス１５６８は、ハンドヘルドデバイス、ラップトップ、タブレット、オフサイトのコンピュータなどのシステム１５００に無線で結合されたデバイスも含むことができる。（１つ又は複数の）リモートデバイス１５６８は、システム１５００に関する情報（例えば、ターゲットに関する寸法情報、性能分析、警告、警報、通知、システムステータスなど）を表示、受信、及び送信するように構成することができる。（１つ又は複数の）ディスプレイ１５７０は、システム１５００に関する情報を表示するように構成される。（１つ又は複数の）ディスプレイ１５００は、画面表示などの可視ディスプレイ、又はシステム１５００の状況を表示するように構成されたライト（例えば、警告灯）を含むことができる。（１つ又は複数の）ディスプレイ１５７０は、システム１５００に関する情報を伝達するためにノイズ（例えば、可聴警報）を生成するように構成された可聴表示を含むことができる。

10

【０１３８】

システム１５００の部品及び／又はデバイスのいずれか及びすべてが、本明細書に記載される部品、デバイス、技術、方法、及び／又は実施態様のいずれか、又はそれらの任意の組み合わせを含むことができる。

【０１３９】

本明細書に記載される特定の実施態様は、一例では、本明細書に記載される誤差などの誤差（例えば、測定誤差）を低減、排除、補償、及び／又は補正するようにも構成される。そのような誤差には、ターゲット面の反射率勾配、グリント、ターゲットの傾斜などに起因する誤差が含まれるが、これらに限定されない。

20

【０１４０】

本明細書に記載される方法では例示目的でステップの特定の順序が示されているが、これらのステップの一部又は全部を、同時に、並行して、順次に、非並行に、非順次に、及びそれらの任意の組み合わせを含むが、これらに限定されない任意の数の順序で行うことができることを理解されたい。本明細書に記載される方法のためのステップのどの特定の順序も、例示によって示唆されるべきではなく、及び／又は例示から解釈されるべきではない。

【０１４１】

本発明を、好ましい実施態様を参照して説明したが、当業者は、本発明の趣旨及び範囲から逸脱することなく形態及び詳細に変更が加えられ得ることを認めるであろう。本明細書に記載される異なる例を異なる方法で組み合わせることができることに留意されたい。すなわち、１つ又は複数の例の部分、１つ又は複数の他の例の部分と組み合わせることができる。本明細書では、このすべてが企図されている。

30

【０１４２】

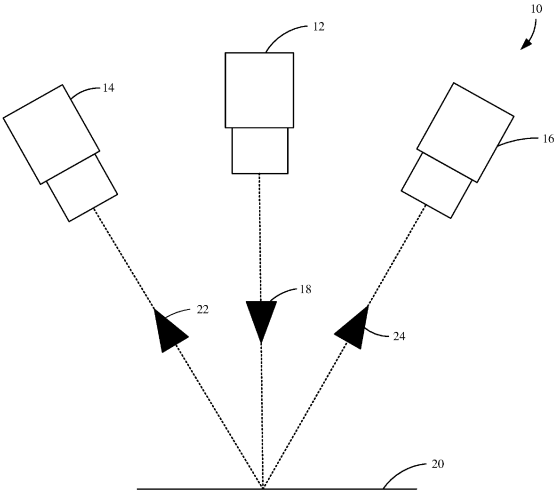
主題は、構造的特徴及び／又は方法的活動に特有の表現で説明されているが、添付の特許請求の範囲に定義される主題は、必ずしも上述した特定の特徴又は活動に限定されないことを理解されたい。むしろ、上述した特定の特徴及び活動は、特許請求の範囲を実施する例示的な形態として開示されている。

40

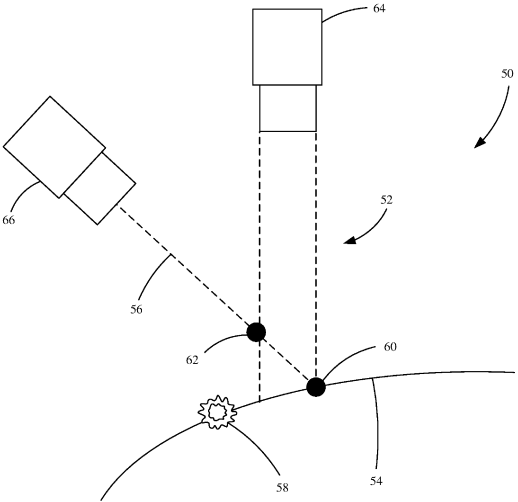
50

【図面】

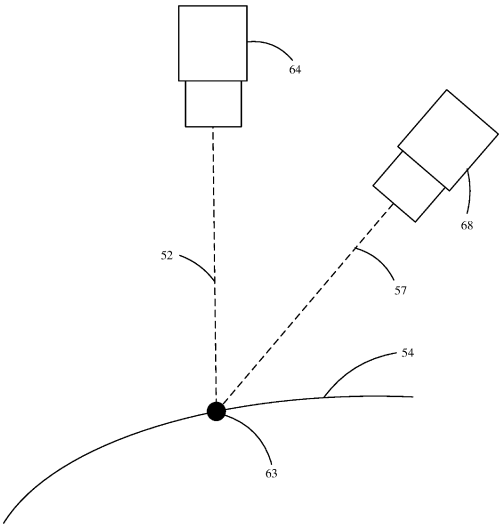
【図 1】



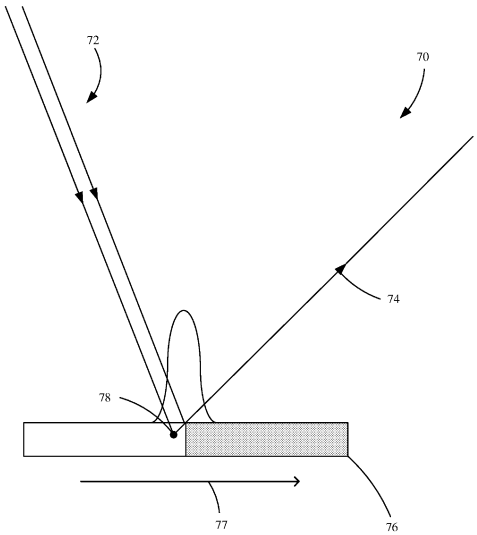
【図 2 A】



【図 2 B】



【図 2 C】



10

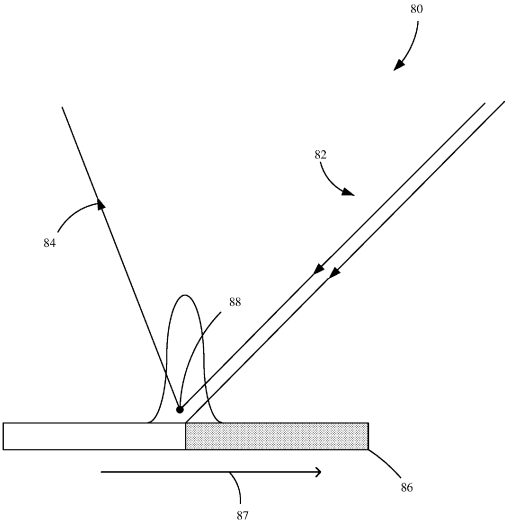
20

30

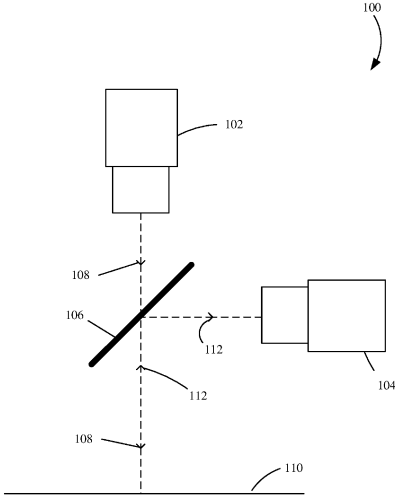
40

50

【図 2 D】

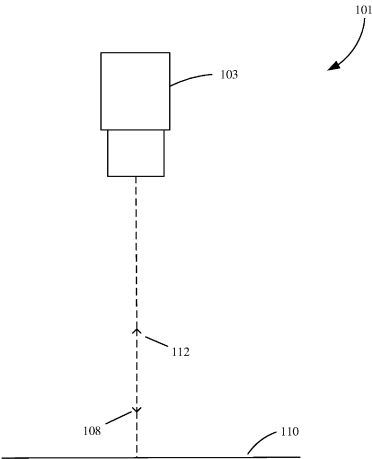


【図 3 A】

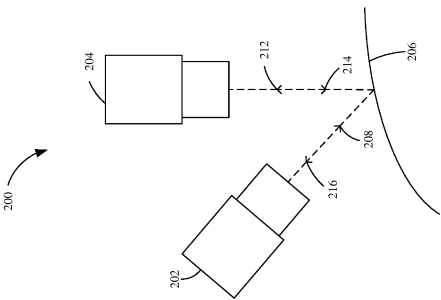


10

【図 3 B】



【図 4 A】



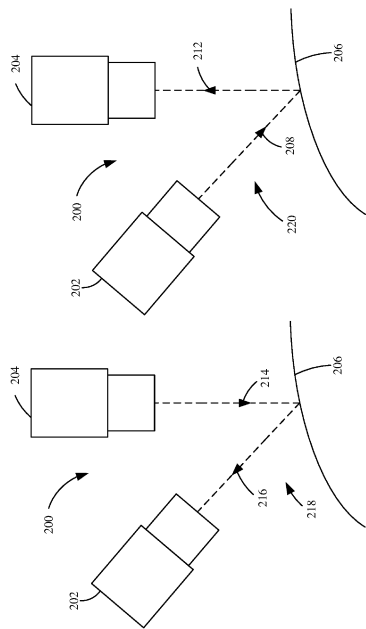
20

30

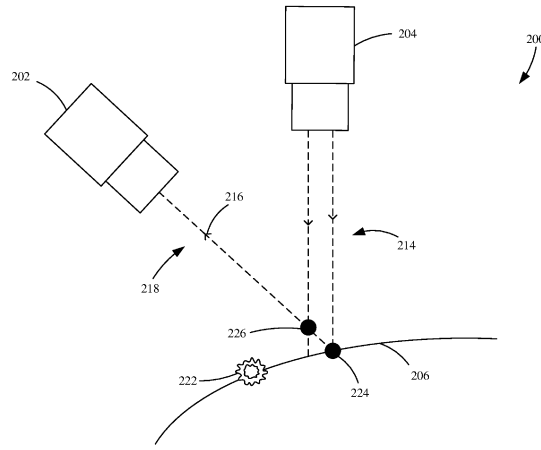
40

50

【図 4 B】

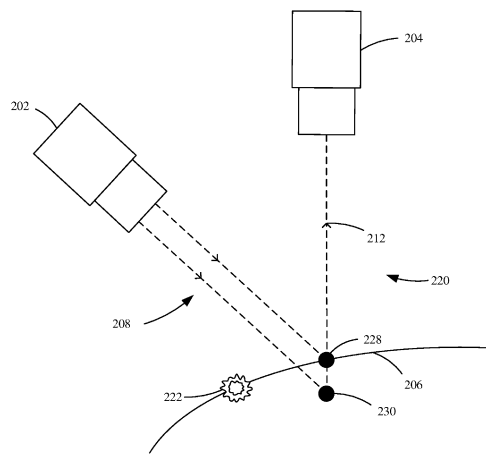


【図 5 A】

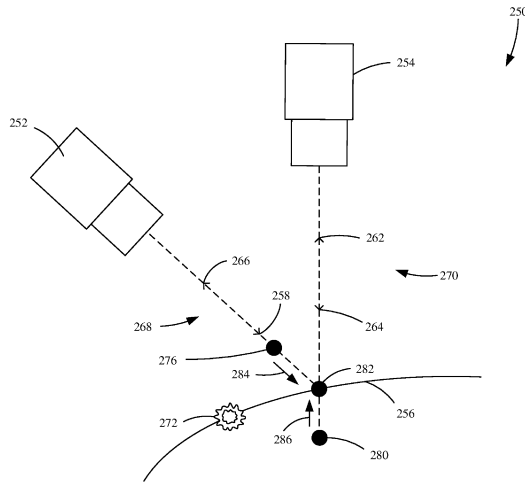


10

【図 5 B】



【図 6】



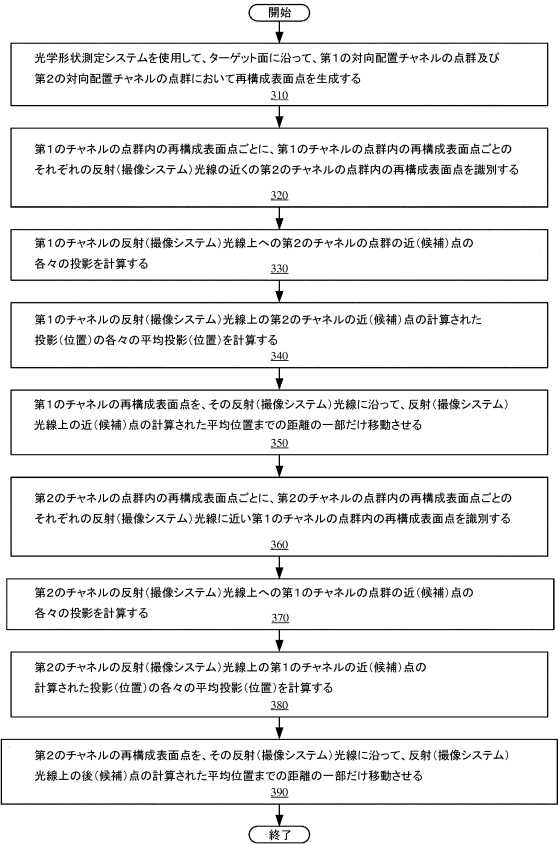
20

30

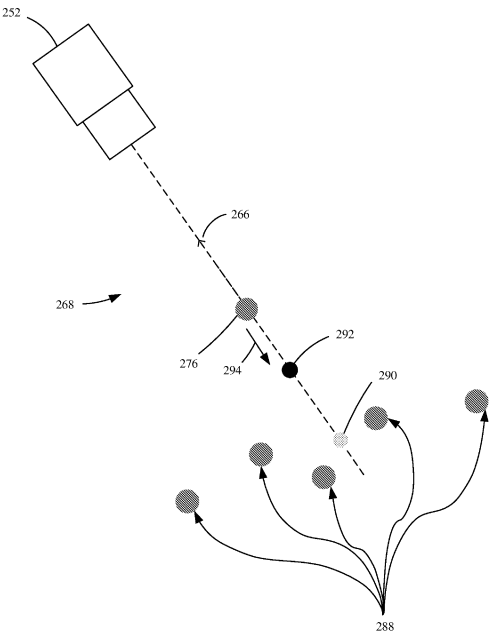
40

50

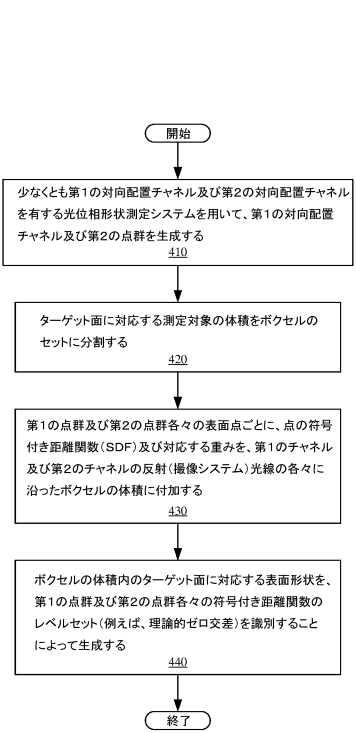
【図 7】



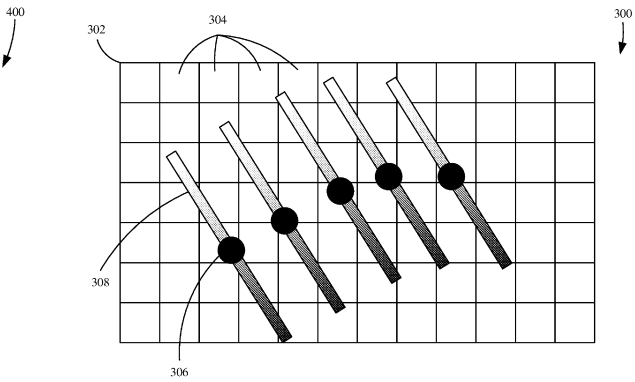
【図 8】



【図 9】



【図 10 A】



10

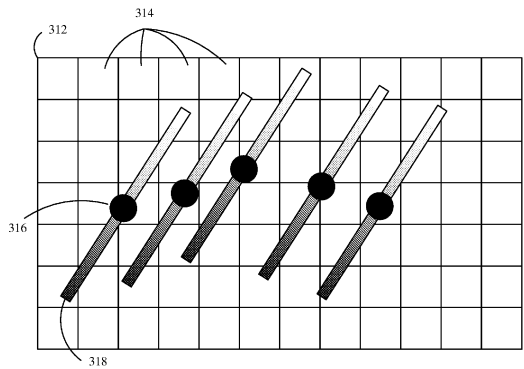
20

30

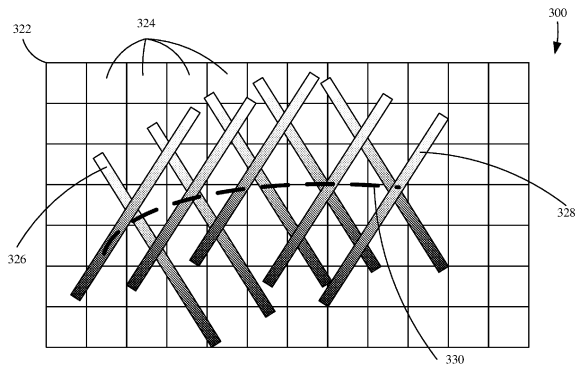
40

50

【図 1 0 B】

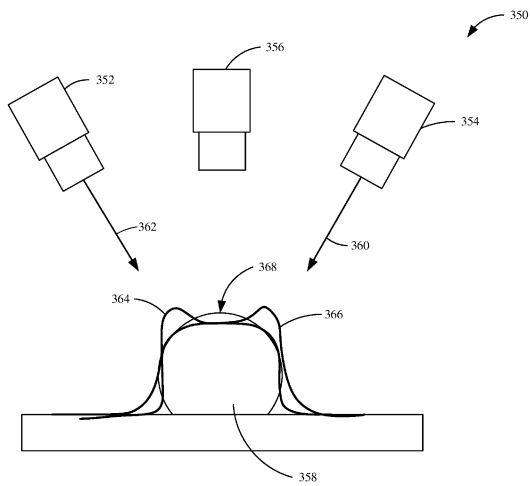


【図 1 0 C】

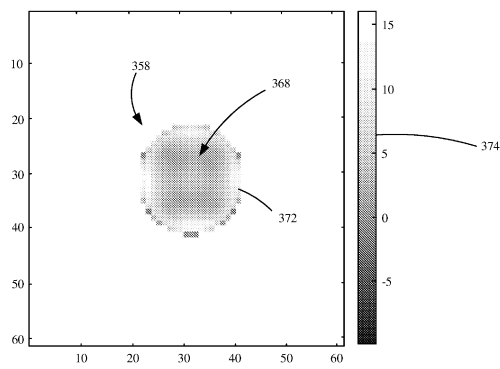


10

【図 1 1 A】



【図 1 1 B】



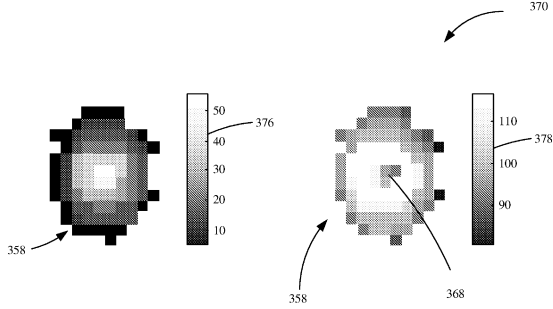
20

30

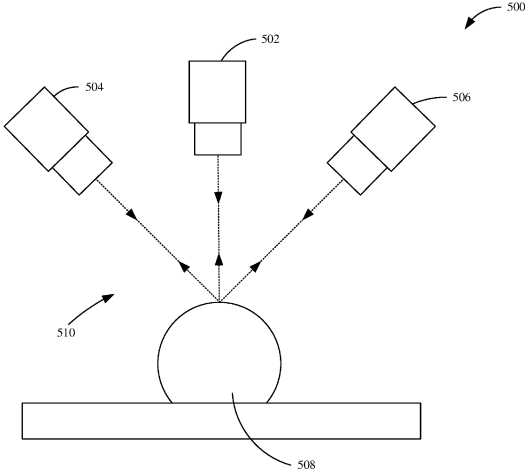
40

50

【図 1 1 C】

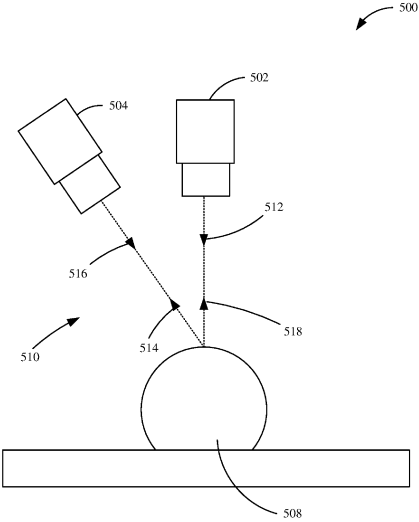


【図 1 2】

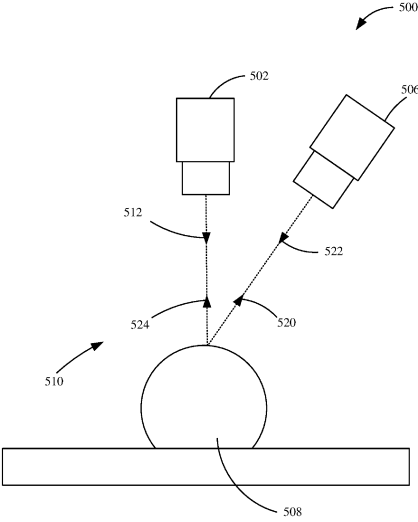


10

【図 1 3 A】



【図 1 3 B】



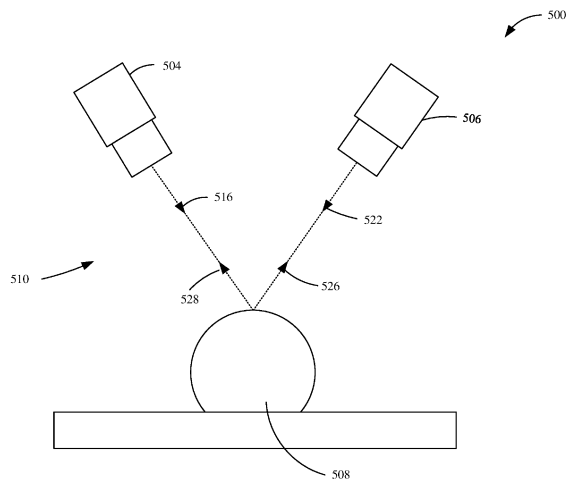
20

30

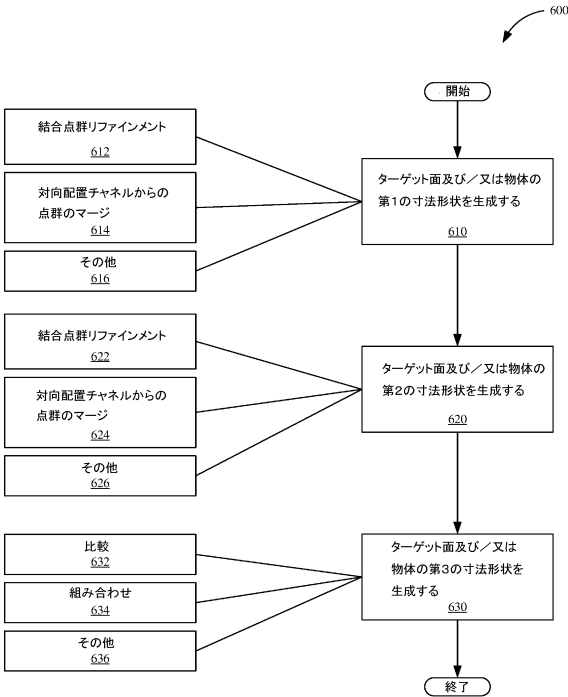
40

50

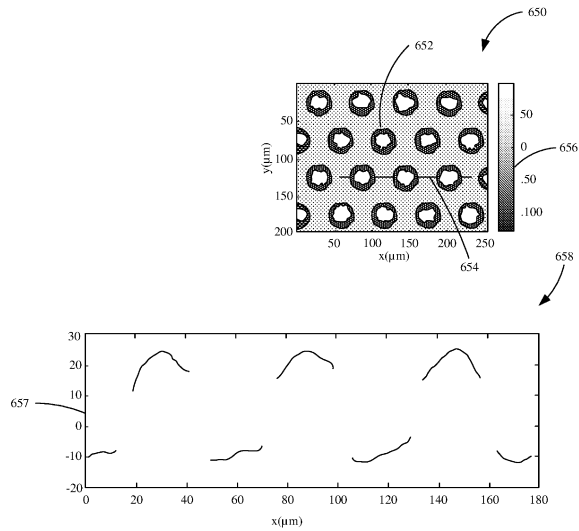
【図 1 3 C】



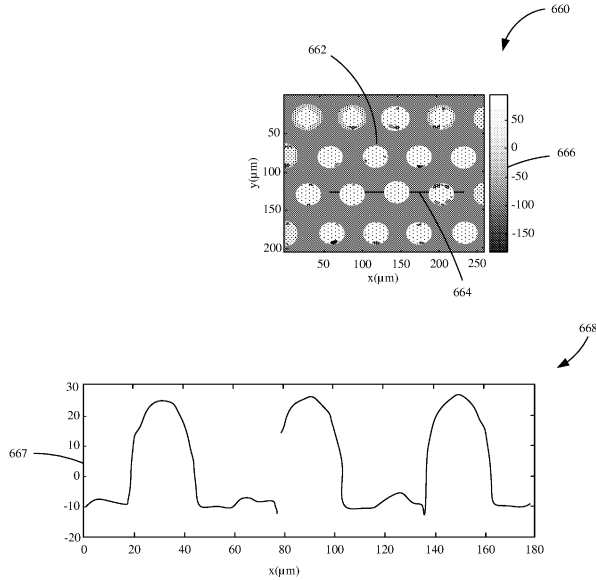
【図 1 4】



【図 1 5 A】



【図 1 5 B】



10

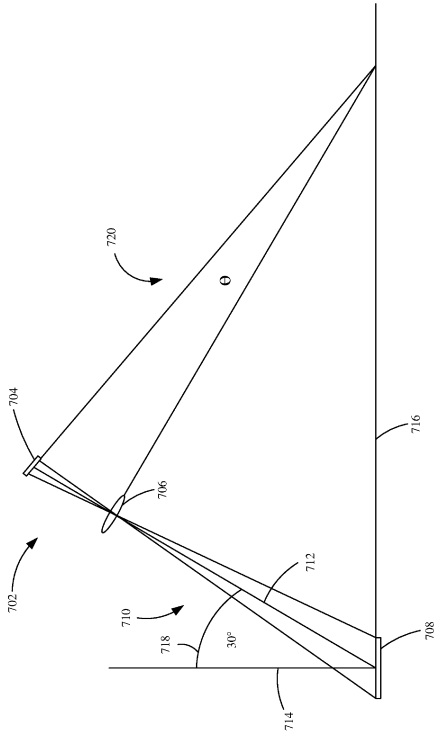
20

30

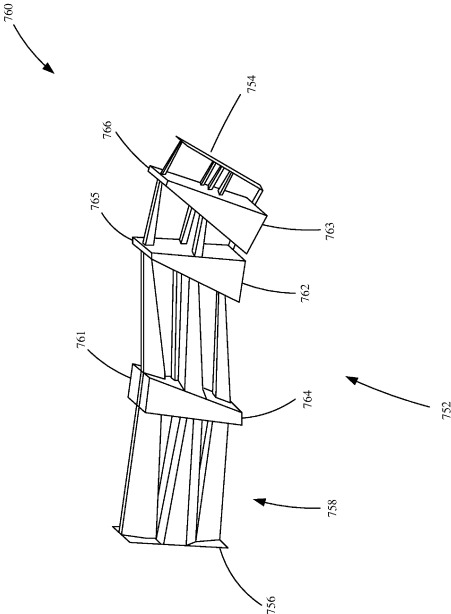
40

50

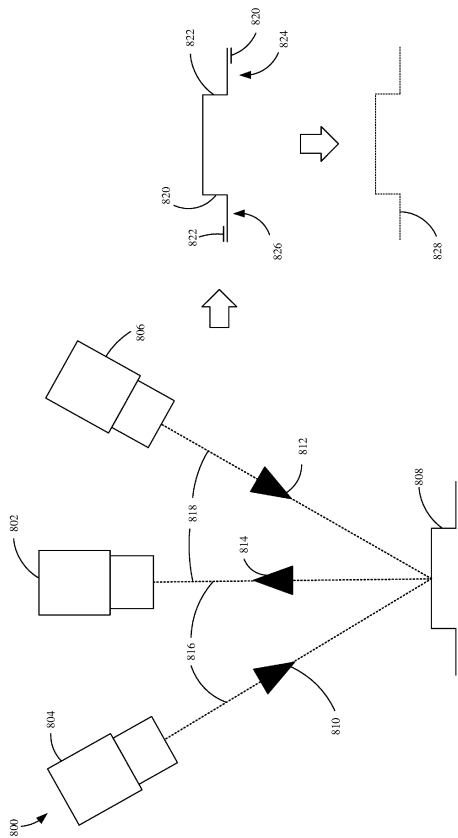
【図 1 6】



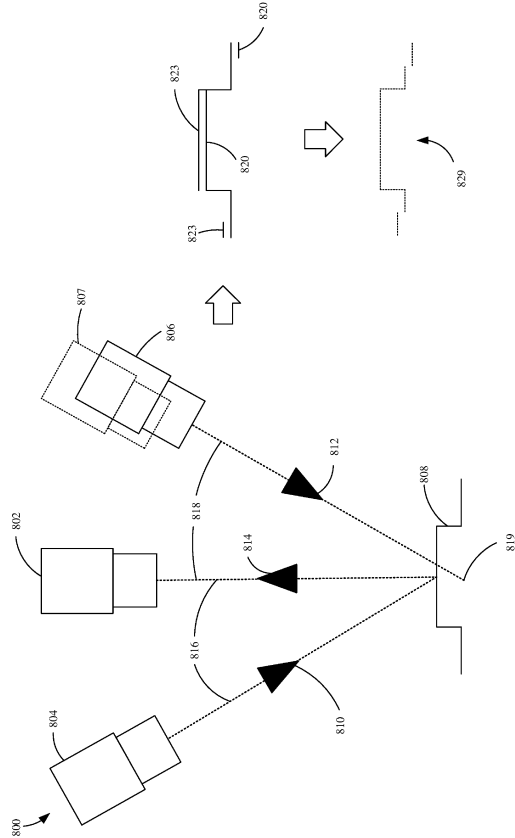
【図 1 7】



【図 1 8 A】



【図 1 8 B】



10

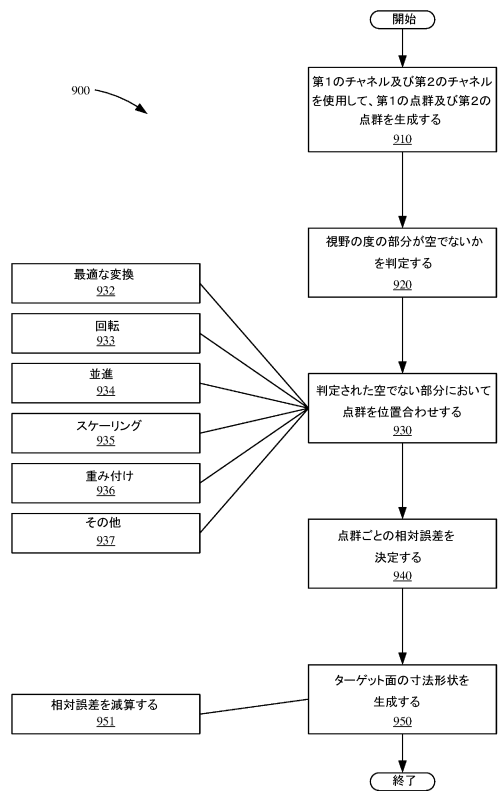
20

30

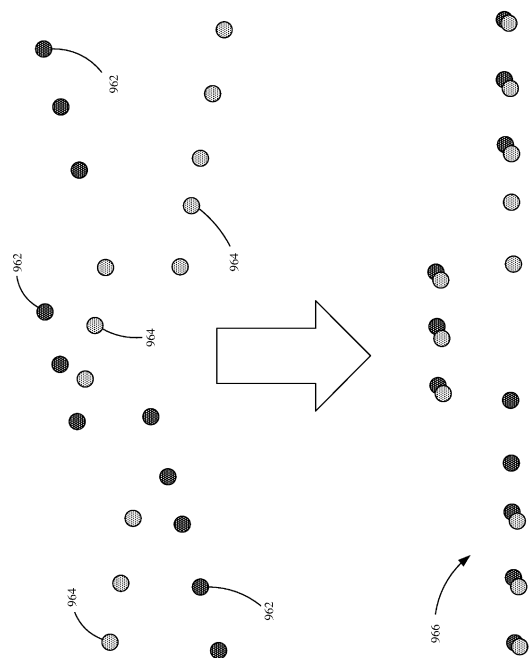
40

50

【図 19】



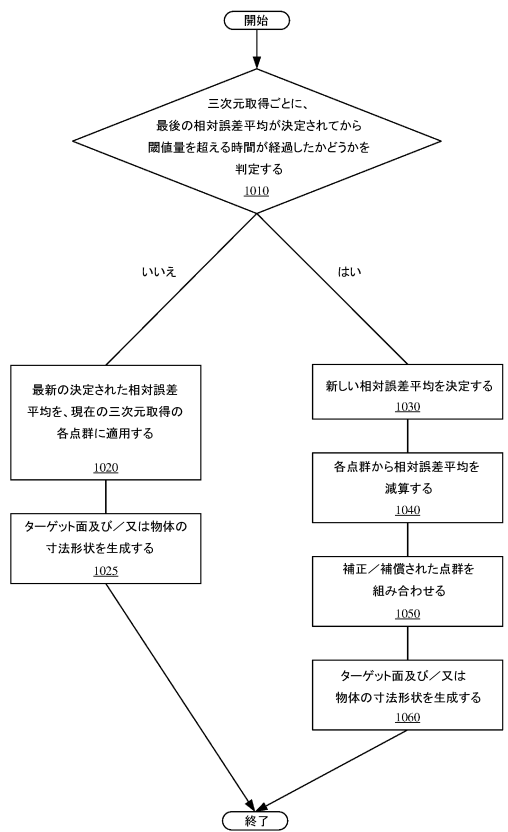
【図 20】



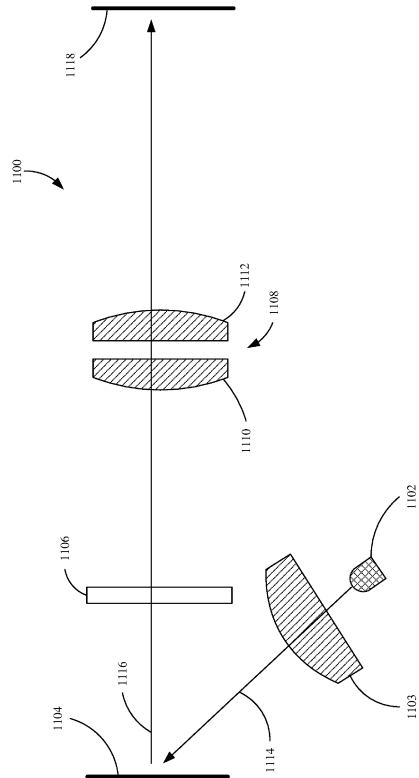
10

20

【図 21】



【図 22 A】

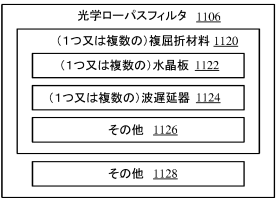


30

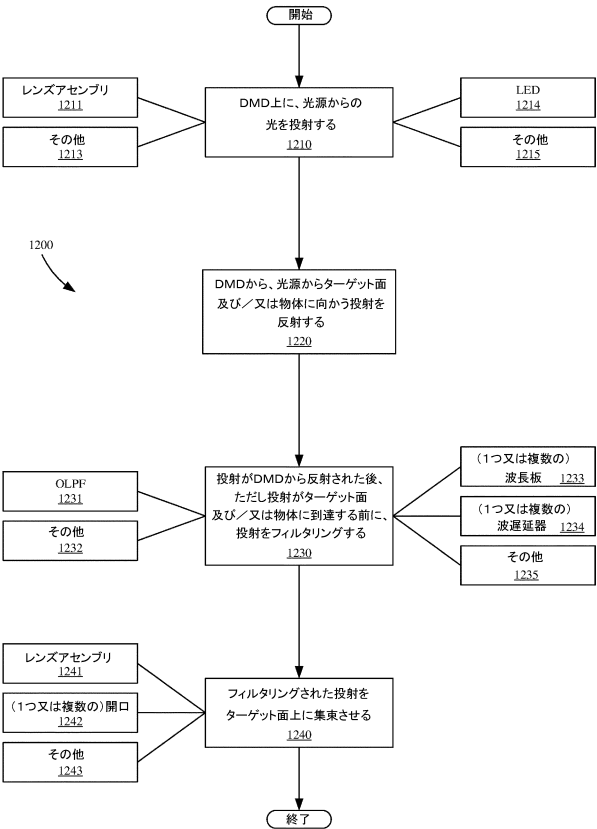
40

50

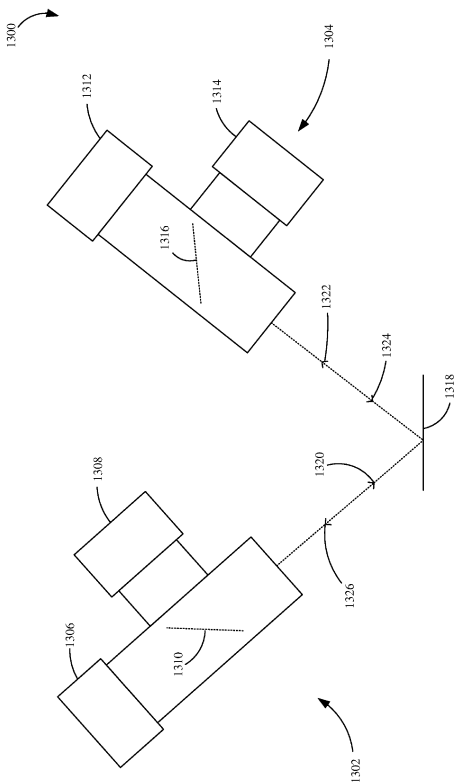
【図 2 2 B】



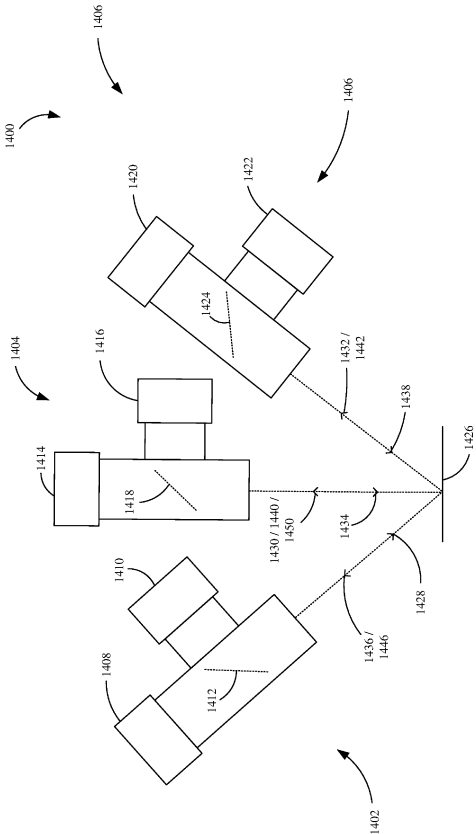
【図 2 3】



【図 2 4】



【図 2 5】





フロントページの続き

- (33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
- (31)優先権主張番号 16/655,674
- (32)優先日 令和1年10月17日(2019.10.17)
- (33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
- (72)発明者 ラッド, エリック・ピー
アメリカ合衆国、ミネソタ 5 5 3 4 3、ホプキンス、ノース・ヴァン・ビューレン・トレイル 6
0 8
- (72)発明者 リブニック, エヴァン・ジェイ
アメリカ合衆国、ミネソタ 5 5 4 2 6、セント・ルイス・パーク、テキサス・サークル 1 4 4 2
- 審査官 山▲崎▼ 和子
- (56)参考文献 国際公開第2 0 1 3 / 1 8 7 2 0 4 (WO, A 1)
特開2 0 1 2 - 1 4 1 7 5 8 (JP, A)
特開2 0 1 8 - 1 2 4 9 8 5 (JP, A)
国際公開第9 6 / 0 1 7 2 5 8 (WO, A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G 0 1 B 1 1 / 0 0 - 1 1 / 2 5