

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7182306号

(P7182306)

(45)発行日 令和4年12月2日(2022.12.2)

(24)登録日 令和4年11月24日(2022.11.24)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 B 11/00 (2006.01)

G 0 1 B

11/00

G

G 0 1 B 9/02056(2022.01)

G 0 1 B

9/02056

請求項の数 17 (全14頁)

(21)出願番号 特願2020-502661(P2020-502661)
(86)(22)出願日 平成30年8月6日(2018.8.6)
(65)公表番号 特表2020-530105(P2020-530105 A)
(43)公表日 令和2年10月15日(2020.10.15)
(86)国際出願番号 PCT/US2018/045327
(87)国際公開番号 WO2019/032430
(87)国際公開日 平成31年2月14日(2019.2.14)
審査請求日 令和3年4月21日(2021.4.21)
(31)優先権主張番号 62/541,906
(32)優先日 平成29年8月7日(2017.8.7)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号 16/055,125
(32)優先日 平成30年8月5日(2018.8.5)

最終頁に続く

(73)特許権者 517188622
アプレ インストゥルメンツ, インコー
ポレイテッド
A P R E I n s t r u m e n t s , I
n c .
アメリカ合衆国 アリゾナ州 8 5 7 0 5
ツーソン スイート 1 0 0 2 4 4 0 ウ
エスト ルースラウフ ロード
2 4 4 0 W e s t R u t h r a u f f
R o a d , S u i t e 1 0 0 , T u
c s o n , A Z 8 5 7 0 5 (U S)
(74)代理人 100095577
弁理士 小西 富雅
(74)代理人 100100424
弁理士 中村 知公

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 空間におけるオブジェクトの位置測定

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

空間におけるオブジェクトの位置を測定するための干渉計システムであって、
空間における前記オブジェクトに向けられた発散する光錐として成形される検査波面を
放出するように構成される干渉測定モジュールと、
ブルズアイインターフェログラムが生成されて検出器により検出されるように、前記光
錐内に配置される湾曲した反射面と、
前記検出器により検出される前記ブルズアイインターフェログラムに基づいて、前記反
射面の位置測定値を生成するようにプログラムされるプロセッサと、
前記ブルズアイインターフェログラムを前記測定モジュールの照明軸と位置合わせするよ
うに適合化される補正モジュールであって、干渉ビームの経路に挿入された補正モジュ
ールと、を備え、

前記反射面は、空間における前記オブジェクトと点接触しているプローブへ取り付けら
れる、干渉計システム。

【請求項 2】

前記補正モジュールは、前記ブルズアイインターフェログラムから信号を受信する複数の
検出器エレメントを有するセンサを含み、かつ前記プロセッサは、さらに、前記ブルズ
アイインターフェログラムの中心が前記照明軸上にあるときに前記検出器エレメントにブ
ルズアイパターンを検出させるべく前記補正モジュールを駆動するようにプログラムされ
る、請求項 1 に記載の干渉計システム。

10

20

【請求項 3】

前記複数の検出器エレメントは、中央検出器の周りに対称的に配置される 4 つの衛星検出器を含む、請求項 2 に記載の干渉計システム。

【請求項 4】

前記反射面は、球面である、請求項 1 に記載の干渉計システム。

【請求項 5】

前記反射面は、前記プローブのチップである、請求項 1 に記載の干渉計システム。

【請求項 6】

前記反射面は、球面である、請求項 5 に記載の干渉計システム。

【請求項 7】

座標測定機（CMM）であって、

発散する光錐として成形される個々の検査波面を放射するように構成される少なくとも 3 つの干渉測定モジュールと、

個々のブルズアイインターフェログラムが生成されて個々の検出器により検出されるように、前記光錐内に配置される湾曲した反射面と、

前記検出器により記録される前記ブルズアイインターフェログラムに基づいて、前記反射面の 3 次元位置測定値を生成するようにプログラムされるプロセッサと、

前記ブルズアイインターフェログラムを前記測定モジュールの個々の照明軸と位置合わせするように適合化される補正モジュールであって、干渉ビームの経路に挿入された補正モジュールと、を備え、

前記反射面は、前記 CMM のプローブへ取り付けられ、かつ前記プローブは、測定されるオブジェクトと点接触して 3 次元的に動作するように適合化される、座標測定機（CMM）。

【請求項 8】

前記補正モジュールは、前記ブルズアイインターフェログラムから個々の信号を受信する複数の検出器エレメントを有する個々のセンサを含み、かつ前記プロセッサは、さらに、前記ブルズアイインターフェログラムの中心が前記測定モジュールの個々の照明軸上にあるときに前記検出器エレメントにブルズアイパターンを検出させるべく前記補正モジュールの各々を駆動するようにプログラムされる、請求項 7 に記載の座標測定機（CMM）。

【請求項 9】

前記複数の検出器エレメントの各々は、中央検出器の周りに対称的に配置される 4 つの衛星検出器を含む、請求項 8 に記載の座標測定機（CMM）。

【請求項 10】

前記反射面は球面である、請求項 7 に記載の座標測定機（CMM）。

【請求項 11】

前記反射面は、前記プローブのチップである、請求項 7 に記載の座標測定機（CMM）。

【請求項 12】

空間におけるオブジェクトの位置を測定するための干渉方法であって、

空間における前記オブジェクトに向けられた発散する光錐として成形される検査波面を生成するステップと、

ブルズアイインターフェログラムが生成されて検出器により検出されるように、前記光錐内に、プローブへ連結される湾曲した反射面を配置するステップと、

前記オブジェクトを前記プローブに接触させるステップと、

干渉ビームの経路に挿入された補正モジュールにより前記ブルズアイインターフェログラムを測定モジュールの照明軸と位置合わせするステップと、

前記検出器により検出される前記ブルズアイインターフェログラムの干渉分析に基づいて、前記反射面の位置測定値を生成するステップと、を備える干渉方法。

【請求項 13】

前記位置合わせするステップは、前記ブルズアイインターフェログラムから信号を受信する複数の検出器エレメントを有するセンサを用いて、かつ前記検出器エレメントが、前

10

20

30

40

50

記照明軸上に中心が置かれる前記ブルズアイインターフェログラムに対応する干渉パターンを記録するように前記ブルズアイインターフェログラムの伝播方向を変更することによって実行される、請求項 1 2 に記載の干渉方法。

【請求項 1 4】

前記複数の検出器エレメントは、中央検出器の周りに対称的に配置される 4 つの衛星検出器を含む、請求項 1 3 に記載の干渉方法。

【請求項 1 5】

前記反射面は、球面である、請求項 1 2 に記載の干渉方法。

【請求項 1 6】

前記反射面は、前記オブジェクトに接触するプローブである、請求項 1 2 に記載の干渉方法。

10

【請求項 1 7】

前記反射面は、球面である、請求項 1 6 に記載の干渉方法。

【発明の詳細な説明】

【関連出願】

【0001】

本出願は、2017年8月7日に提出された米国暫定出願第62/541,906号明細書を基礎とし、かつ該米国暫定出願の優先権を主張するものであって、該米国暫定出願は、参照により開示に含まれる。

【技術分野】

20

【0002】

本発明は、概して、光学座標測定機の分野などの、空間におけるオブジェクトの位置の測定に関し、具体的には、測定プローブの接触点を直に追跡することを基礎とする新規アプローチに関する。

【背景技術】

【0003】

空間におけるオブジェクトの位置の測定は、現代科学技術の基盤であって、座標測定機(CMM)は、機械部品から光学表面に及ぶ広範なオブジェクトの品質管理に使用される最も一般的なデバイスのうちの1つである。CMMは、典型的には、測定表面の存在を接触により検出するために使用されるセンサ(プローブ)と、接触点の空間座標を提供するメトロロジーフレームとからなる。ある典型的なCMMを略示する図1は、オブジェクトOを測定するために使用される単一点接触検出チップ12を有する従来のプローブ10を示す。メトロロジーフレーム14は、プローブチップ12の位置を、プローブチップ12がオブジェクトOの表面を測定すべく移動するにつれて追跡するために使用される。作動中、マシンは、プローブがパーツを様々なポイントで辿るにつれて、プローブからの入力を読み取り、これらのポイントのX、Y、Z座標が、測定されるオブジェクトのサイズおよび形状をマイクロメートルの精度で決定するために使用される。

30

【0004】

プローブは、光学的、機械的、電気的および他の原理を基礎として多くの異なる設計が存在し、その感度および精度特性も多様であるが、基礎をなす測定原理は常に同じであって、オブジェクトとの接触点の位置が、少なくとも3つの独立した位置軸を用いて空間内で測定される、というものである。最も一般的な設計は、距離測定デバイスを装備したX、Y、Z軸を有するデカルト座標系を用いる。高精度測定に使用される一般的なデバイスのうちの1つは、距離測定干渉計(DMI)であり、これは、レーザ光の干渉を用いて直線に沿った変位を精密に測定する。

40

【0005】

非接触プローブの多くは、光学ベースである。これらは、典型的には、良好な感度を提供するが、検査対象表面により反射される光の量による制限を受け、よって、最適な検出状態を達成するためには、表面に対する適正な位置合わせを必要とする。実際には、これは、確実に検出できる表面傾斜範囲が限定的であって、プローブの向きを繰り返し直して

50

これを検査表面に対して略垂直に配置する必要があること、すなわち、測定システムの精度を下げかつ複雑さを増すタスクを要することを意味する。さらに、プローブの向きを回転によって変えるためには、座標測定機の動作において重要なパラメータの較正を追加する必要があり、よって付帯的不確実性および潜在的誤差を伴う。したがって、概して、操作がより簡単な接触プローブの方が好ましい。

【 0 0 0 6 】

接触プローブおよびD M Iを装備したC M Mは、高精度度量衡フレームの実装例であるが、D M Iであっても、所謂アッペ角度誤差（正弦誤差としても知られる）、すなわち、実際の接触点が線形座標の測定点からある距離だけ離れていることに起因する位置測定の誤差、を経験する。ある理想的な測定機では、プローブ10が常に駆動軸の運動面に対して垂直である。しかしながら、図2において、単一の直線方向に関して拡大して示されているように、実際のシステムでは、ステージにおける機械的な不正確さに起因して、プローブ10は、連続する位置間で矢印16が示す方向などへ移動するにつれて、チップ12に対して傾く傾向がある。その結果、並進機構の運動線に沿ってプローブ10の基部で測定される距離 D' （すなわち、D M Iにより報告される距離）が、プローブチップ12の実際の変位 D とは異なる。これは、実環境のC M Mプローブ設計では回避し難い、純粋に幾何学的な歪誤差である。当技術分野では、この誤差の影響を減らすための様々なスキームが実装されてきたが、これらは、常に設計を複雑にしかつC M Mのコストを増加させ、よって目標を完全に達成していない。

【 0 0 0 7 】

理想的なソリューションは、プローブ10の並進機構との接続点の位置を並進軸に沿って追跡することではなく、プローブチップ12の実際の位置を測定することであると思われる。しかしながら、D M Iデバイスは、単一の見通し線に沿ってのみ動作することから、これを高精度で行うことが困難である。また、測定対象表面に沿ったどこでも3次元空間における接触点位置の測定を可能にするという理由で、直にチップを追跡することも理想的であると思われるが、これは、プローブと並進機構との位置合わせを、D M I測定の完全性を保ちながら変更することができない現在のプローブでは不可能なことである。本開示は、3次元空間において接触点または接触点の近くに置かれる反射面の位置を、高精度を提供すると共に測定プロセスに対するアッペ誤差の影響をなくす、または大幅に減らす干渉法原理を用いて追跡する方法について述べる。

【発明の概要】

【 0 0 0 8 】

本発明は、平坦な参照ビームを湾曲した検査面で反射される球面ビームと干渉させることによって、ブルズアイパターンに干渉縞を生成するという考案に存する。このようなブルズアイパターンは、結局のところ干渉計縞であって、これから、従来の干渉分析によって検査面の正確な位置（参照システムに対するその座標）を確立することができる。

したがって、最も一般的な意味において、本発明による、空間におけるオブジェクトの位置を測定するための干渉計システムは、干渉測定モジュールを含み、該干渉測定モジュールは、オブジェクトと点接触しているプローブへ取り付けられる湾曲した反射検査面に向けられた発散する光錐として成形される検査波面を放出するように構成される。戻ってくる検査ビームと参照ビームとを干渉させることにより生成されるブルズアイインターフェログラムは、検出器に記録され、かつ従来的に分析されて反射検査面の位置測定値が生成される。

【 0 0 0 9 】

ビーム補正モジュールは、好ましくは、縞の分析を容易にすべくブルズアイインターフェログラムを測定モジュールの照明軸と位置合わせするために使用される。ある例示的な補正モデルは、ブルズアイインターフェログラムから信号を受信する複数の検出器エレメントを有するセンサと、インターフェログラムの中心が照明軸上にあるときに検出器エレメントがブルズアイの完全なブルズアイパターンを検出するために、ブルズアイインターフェログラムの軸方向位置を変えるべく補正モジュールを駆動するようにプログラムされ

るプロセッサとを含む。複数の検出器エレメントは、好ましくは、中央検出器の周りに4つの検出器が対称的に配置される衛星型検出器として構成される。反射面は、好ましくは球形であって、検査オブジェクトとの接触点の極く近くでプローブへ取り付けられ、または、最も好ましくは、プローブのチップ自体を構成する。

【0010】

座標測定機のある実施形態において、本発明は、少なくとも3つの干渉測定モジュールを含み、該干渉測定モジュールは、CMMのプローブへ取り付けられる湾曲した反射面に向けられた発散する光錐として成形される個々の検査波面を放出するように構成される。したがって、ブルズアイインターフェログラムが個々に生成されかつ個々の検出器によって検出され、反射面および接続されたプローブの3次元位置測定値は、複数の検出器により記録されたブルズアイインターフェログラムの解析から取得されることが可能である。測定されるオブジェクトと点接触しているプローブの従来のCMM 3次元運動を提供することにより、オブジェクトを高精度かつ大幅に低減されたアッペ誤差で走査しかつ測定することができる。

10

【0011】

他の様々な利点は、以下の発明の明細書本文から、および添付の特許請求の範囲において具体的に指摘される新規特徴から明らかとなるであろう。したがって、本発明は、以下に図面で例示され、好ましい実施形態の詳細な説明において完全に記述され、かつ特許請求の範囲において具体的に指摘される特徴を含むが、このような図面および説明は、単に、発明が実施され得る様々な方法のうちの一部を開示したものである。

20

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】従来の座標測定機の主要なコンポーネントを示す基本的な略図である。

【0013】

【図2】従来のCMMにおけるアッペ誤差を示す略図である。

【0014】

【図3】ある典型的なDMIセットアップを示す略図である。

【0015】

【図4】本発明による、空間内のオブジェクトを追跡するための干渉計セットアップを示す略図である。

30

【0016】

【図5】平坦な波面と球面波面との間の「ブルズアイ」干渉パターンの一例を示す。

【0017】

【図6】デカルト座標および球座標における干渉位置のジオメトリを示す。

【0018】

【図7】ブルズアイ補償システムを示す略図である。

【0019】

【図8】本発明のブルズアイを照明システムの光軸上にセンタリングすることに適する検出器スキームを示す。

【0020】

40

【図9】本発明による、3つのセンサを用いるCMMを示す。

【発明を実施するための形態】

【0021】

高精度の追跡方法は、典型的には光干渉を用いるが、その理由は、その高い感度、および測定の不確定性が、高精度で発生可能な使用される波長に直結することにある。ある典型的なDMIは、2つの反射面より成り、その一方は、ステージ上の追跡されるオブジェクト（オブジェクトビーム）に取り付けられ、他方は、固定的（参照ビーム）であって距離の測定基準を提供する。最も一般的な配置は、ビームの折り返し点に置かれるリトロリフレクタが高品質の干渉信号を提供するセットアップにおいて、図3に示すようなトワイマン・グリーン構成を用いる。DMI測定モジュール20は、コリメートされたレーザビ

50

ームBを送出し、これがビームスプリッタ22によって参照ビームBRとオブジェクトビームBOとに分割される。参照ビームは、定置のリトロフレクタ24によって計器へと反射して返される。オブジェクトビームも、測定されるオブジェクトを含む可動ステージ28へ取り付けられるリトロフレクタ26によって同様に反射される。反射されたビームBRRおよびBORは、次に、ビームスプリッタ22によって再び結合され、結果として生じる干渉ビームIBが検出器（不図示）によって検出され、かつ測定モジュール20において処理されて干渉パターンが従来方法で距離読取り値に変換される。

【0022】

オブジェクト上の接触点の空間内位置を検出するには、通常、ホモダイン検出およびヘテロダイン検出という2方法が利用される。ホモダイン検出は、干渉信号を、その強度の
10 変調に伴って直に測定する。

ヘテロダイン検出は、ヘテロダイン法を用いて連続する高品質の位相検出を実現できるように、BOビームとBRビームとの間に光周波数シフトを導入する。どちらのセットアップにも、測定できる距離が単一の見通し線沿いに限られ、これにより、プローブ並進の見通し線とプローブの接触点の動線との間の空間的なずれの結果としてアップ誤差を生じさせる、という欠点がある。ある典型的なDMIとは対照的に、本発明は、測定されるオブジェクトの追跡を、（測定プローブの追跡ではなく）プローブチップとオブジェクトとの接触点における場所、または該接触点に極く近い場所を、単一の見通し線沿いではなく測定デバイスにより生成される光錐内で追跡することによって可能にし、これにより、アップ誤差および関連誤差を大幅に減らした3D測定値を生成する干渉方法および関連装置
20 である。

【0023】

図4は、本発明の基本構成を示す。干渉測定モジュール30は、光ビームBを放射し、これがビームスプリッタ32によって参照ビームBRとオブジェクトビームBOとに分割される。参照ビームBRは、参照鏡34（または、リトロフレクタ）によってビームスプリッタおよび測定モジュール30へと反射して返される（ビームBRR）。オブジェクトビームBOは、仮想ソース点38を生成する光学系36によって発散する光錐DWに成形される。炭化ケイ素といった反射材料製の球などの反射オブジェクト40は、照明された空間内へ、オブジェクト40に直角である光DWの一部DWNがビームDWRとして反射し返されるように置かれ、ビームDWRは、光学系によって集束される。モジュール30
30 に向かう戻りビームは、光線DRRとして示され、概してモジュール内の照明システムの光軸Z上に位置決めされない。光線DRRは、次に、参照ビームBRRと干渉させられ、図5に略示されるような干渉パターンを有するビームIBを生成する。平面波（BRR）と球面波（DRR）との間のこのような干渉パターンを、典型的には、「ブルズアイ」パターンと称する。

【0024】

（反射面34または40のいずれかを動かすことなどにより生じる）BRRとDRRとの間の光路差（OPD）の変化によって生じるブルズアイパターンの変化を従来方法で分析すれば、対応する位置変化を測定できることが知られている。したがって、この干渉パターンは、反射オブジェクト40の位置を、オブジェクト40の反射点における反射面
40 に対する法線と球形の照明ビームの仮想焦点38とを結ぶ軸に沿って追跡するために使用可能である。この線に沿ったオブジェクト40の動きは、いずれも、干渉パターンの位相変化として現れ、かつDMIシステムの場合のように、参照面からオブジェクトまでの距離に関する情報を伝える。このような干渉パターンは、干渉分光法で使用されるあらゆる適切な方法を用いて処理されることが可能であり、かつ縞の位相は、この距離の監視に使用可能である。本発明のある典型的な実施形態では、参照ビームBRが、任意の従来手段により生成されることが可能な平面波であるが、参照ビームBRは、検出および処理をより容易にすることに適し得る他のあらゆる波面である可能性もある。

【0025】

従来のDMIデバイスにおいて、干渉パターンの位相は、干渉波面を通して一定であり

10

20

30

40

50

、よって、これは、単一の検出器により、集められた全ての光を用いて分析されることが可能である。これに対して、本発明のデバイスでは、オブジェクトビームの極く一部のみが捕捉され、これが限られた空間でのみ参照ビームに干渉する。したがって、本発明の検出原理を説明するには、2つの干渉ビームを、参照平面波（参照）と干渉計により捕集される球面波（オブジェクトビーム）との干渉に由来する縞が局所的でしか見えない2次元「画像」として扱うことが手助けとなる。この表現は、球形のオブジェクトが結像干渉計の視界に挿入された場合に結像干渉計が「見る」ものに似ていて、いずれの検出スキームも、この領域のみを選択して分析しなければならない。しかしながら、光学的に言えば、本発明のデバイスは、結像システムではなく、よって、検出器上にオブジェクトの画像が形成されることを必要としない。必要なのは、オブジェクトと参照ビームとの間に干渉パターンを形成することだけである。

10

したがって、以下の説明は、単に、空間的に局所化された干渉と、処理を目的として干渉領域を分離する必要性とを説明するための手段を表すものとして理解されるべきである。

【0026】

先に述べたように、図4のセットアップにより生成される干渉パターンは、図5に示すようにブルズアイである。ブルズアイの中心は、照明されるオブジェクト40に垂直な光線DWNがオブジェクトに当たる場所に対応する。この点において、オブジェクト波DWは、局所的に平坦であってヌルの干渉パターンとなるが、この点から離れるにつれて、インターフェログラムに高密度の縞が見える。よって、処理方法は、干渉パターン内の空間的縞の位相変動性を考慮する必要がある。

20

【0027】

検出面におけるブルズアイの場所は一定でなく、代わりに照明空間におけるオブジェクトの動きを追跡することは、明らかである。

図6は、検出面における干渉パターンの場所と、追跡されるオブジェクトからの反射場所との対応づけを説明するものであり、ここで、球体50（右図）は、仮想ソース点38を原点とする照明システムの極座標を表す。このような極座標系において、照明波面は、原点（すなわち、球体50の中心51であって、図4の仮想ソース点38に対応する）から発するものとして現出し、光軸Zは、場所52において天頂方向を指している。この設定では、図4の光線DWNが、球体50の表面上の交差する場所54として示されている。隣接する直交座標系56（左図）は、測定モジュール30における干渉検出平面（すなわち、検出器平面）を表し、双方の座標系でスポット54として記されているブルズアイパターンの場所、すなわち垂直な光線DWNの場所に対応する場所、を示す。球座標におけるスポット54の角偏向58（すなわち、その緯度）は、直交座標系56内の干渉平面における所定の半径62を有するリング60に対応する。同様に、球座標系におけるスポット54の角位置64（すなわち、その経度）は、検出平面における線66に対応する。これら2つの線（60および66）の交点は、検出平面における干渉パターン54の座標を確立する。これを考える別の方法は、心射図法に関連する。すなわち、デカルト座標と球座標間の一意の対応であって、平面検出器で収集される情報から視野方向を逆算できるようにする。

30

【0028】

この関係性は一意であり、よって、DWN光線の球座標を干渉パターンの場所に基づいて計算することが可能であり、故にこれにより、追跡されるオブジェクトの場所に関する情報が提供され、かつ該計算を測定プロセスに用いることができる。オブジェクトが照明された容積内を移動するにつれて、ブルズアイの場所は、干渉検出平面を辿り、よって反射面40の正確な位置に関する情報を提供すべく測定されることが可能である。

40

【0029】

ブルズアイ中心におけるインターフェログラムの位相は、干渉計からオブジェクトまでの距離を直に示し、よってオブジェクトの位置を従来のDMIと同じ方法で追跡するために使用されることが可能である。しかしながら、この同じDMI分析アプローチ（すなわち、参照ビームとオブジェクトビームとの干渉を検出するために、収集される全ての光を

50

同時に用いるもの)は、光線DWNのサイズが狭いことから使用可能な信号を生成せず、よって位相の検出は、局所的に行われなければならない。そのため、照明モジュール30のブルズアイ中心が生成される場所に光検出器が挿入され、かつこの検出器の横方向サイズは、良好な信号振幅を提供するように選択される(典型的には、このサイズは、縞の1周期の位相に対応する円の直径の0.5倍未満であるものとする)。技術上よく理解されているように、使用可能信号の振幅は、干渉縞の周期性に起因して、ブルズアイのサイズに対して検出器が大きいほど小さくなる。

【0030】

先に述べたように、検出平面における干渉パターンの場所は、オブジェクトが照明フィールド内を移動するにつれて変わり、よって、オブジェクトの動きに応じて視野内のブルズアイパターンを辿るための、または、干渉パターンをそれが常に検出器を中央で照らすようにシフトするための、適切な機構が提供されなければならない。これらのアプローチは、いずれも適格である。動作方法として好ましいということで、以下、その中心が常に軸上にあるようにブルズアイをシフトするシステムについて説明するが、この同じ動作原理は、全てのアプローチに適用可能である。

【0031】

検出器平面における横方向の軸外ブルズアイ位置を補正するシステムの一例を図7に示す。測定されるオブジェクトが照明フィールドで移動する場合でも、ブルズアイの位置を検出平面76において照明システムの光軸Zに沿った検出フィールドの中心74に保持できるような干渉パターンの横方向シフトを可能にすべく、干渉ビーム72(たとえば、図4における結合ビームDRRおよびBRRに対応する)の経路には、光シフト光学モジュール70が挿入されている。上側の略図を参照すると、干渉ビーム72は、検出フィールドの中心74に位置決めされるものとして示されている。ビームは、偏向されずに補正光学モジュール70を通り、これから軸上のビーム78として出る。したがって、干渉パターンは、検出平面76の中心74上にセンタリングされる。下側の略図では、干渉ビーム72は、軸外を伝播するものとして示され、補正がなければ、ブルズアイは、中心74から離れて位置決めされることになると思われる。しかしながら、適切な補正信号80が印加されて、検出平面の中心74へと配向される補正ビーム82が生成され、よって干渉パターンの場所が検出器の中心に置かれる。

【0032】

このような補正モジュール70は、透過波面を横方向にシフトすることができる、または波面を傾斜させる能力を有するあらゆる光学系であることが可能である。所望される補正を行うには、制御された駆動信号を従来式に供給する必要がある。図8は、特殊なセンサにより測定されるインターフェログラム信号に基づいて、適切な駆動信号をフィードバックループで生成できるシステムの可能な一実施形態を示す。このようなセンサ88は、ブルズアイパターンの位相を追跡するために使用される中央検出器90と、検出器の中心に対するパターンの位置を検出するために使用される4つの衛星検出器(92、94、96、98)よりなるセットを含む。ブルズアイインターフェログラムが対称性であることに基いて、衛星検出器は、中央検出器90上にセンタリングされるブルズアイパターンの位置を保持するために必要とされる補正信号を、これらの衛星検出器が同じ信号を測定するようにビームをシフトするだけで提供するために使用されることが可能である。図示されているように、これらは、好ましくはペアで使用され、各ペアは、中央から反対側の等距離にある検出器を含み(すなわち、検出器92および96が1つのペアを形成し、かつ検出器94および98が第2のペアを形成する)、各検出器は、中央に対して対称に位置合わせされ、かつ縞の位相または強度のいずれかを検出するように設定される。ペア内の各検出器により読み取られる信号の差は、干渉パターンの非対称性の測度であって、図7に示すような補正モジュール70を用いてブルズアイの位置を保持する補正信号を生成するために使用されることが可能である。当業者には分かると思われるが、検出器のサイズは、良質の信号を提供するように選択される必要があり、すなわち典型的には、干渉縞のサイズより小さいものである必要がある。センサ88内の検出器位置の対称性は、好

10

20

30

40

50

ましいものの、適切な補正信号は、システムを適宜校正することによって他の構成からも取得され得るという理由で、絶対要件でないことは理解される。同様に、センサ 88 も、5つの検出器を別々の検出素子として含むものと記述されているが、本発明の補正スキームを達成する必要に応じて、単一の検出器でも、単に該検出器の複数の部分（図 8 における検出器 90 ~ 98 に相当する 5つの部位など）を測定することによって同じ結果を得られることが明らかである。また、カメラなどの拡張型検出器を用いて、ブルズアイインターフェログラムを従来式に追跡できることも理解される。

【0033】

ブルズアイインターフェログラムが上述のように中心をつけられると、様々な検出スキームを用いて、ブルズアイ中心の位相を連続的に監視し、反射面 40（図 4 参照）の参照位置からの距離を決定してその動きを追跡することができる。たとえば、ヘテロダイン法は、オブジェクトビームと参照ビームとの間の光周波数シフトを導入することにより、使用されることが可能である。干渉パターンの位相は、測定されるオブジェクトまでの距離に直に関係し、よってこれは、DMI の場合のように、座標読取り値を提供するために使用可能である。したがって、このデバイスは、反射オブジェクトの参照表面に対する距離を正確に測定することを可能にする。一意的には、反射オブジェクト 44 が光錐 DW（図 4）内で測定され得ることから、このデバイスは、単一の見通し線沿いではなく、ある空間量内におけるオブジェクトの測定を可能にし、かつアップベ誤差を除去または最小限に抑えながらこれを行ない、これにより、既存の技法に対する明確な差別化および優位点を提供する。システムの参照フレーム内の反射面 40 の位置に関する正確な情報を生成するには、測定モジュール 30 内のプロセッサにおいてプログラムされるあらゆる従来の干渉分析を使用可能である。

【0034】

測定機に適用されると、本発明の検出スキームは、空間内の単一点からの距離の測定を可能にするが、オブジェクトの 3次元形状の測定には、CMM が使用される。したがって、少なくとも 3つの追跡システムが同時に使用されなければならない。図 9 は、このような CMM を略示したものであり、本図において、プローブ 100 は、測定容積内に位置合わせされ、従来の 3軸デカルトメトロロジーフレーム（不図示）によって動き回る。反射面 102 は、典型的には高品質の反射球であって、測定チップ 104 に近接してプローブへ取り付けられる。次に、球体の位置が、3つの独立した測定モジュール 106、108、110 によって追跡され、これらのモジュールは各々、測定プロセスの間に常時反射面 102 が各モジュールに見えるように位置決めされる上述の機能エレメントを含む。プローブは、オブジェクト O を通常の方法で、すなわちプローブのチップを用いて表面を検出することによって測定するために使用されるが、チップの座標は、メトロロジーフレームの XYZ 座標を測定することではなく、ボール 102 の 3つのセンサ 106、108、110 からの距離を決定することによって検索される。空間におけるプローブの位置を明確に検出するためには、3つのセンサを用いることが必要であるが、システムの精度を高める、または反射面が測定されるオブジェクトによって不明瞭にされることを防止するために、より多くのセンサが使用されてもよい。

【0035】

反射面 102 は、アップベ誤差を最小限に抑えるために、測定チップ 104 上のプローブの検出点へ可能な限り近接して位置合わせされるべきである。場合によっては、プローブの測定チップを反射エレメントとしても使用することが可能であることもある。測定の全体精度は、反射面の球形度により、または概して反射面の形状に関する知識により影響されるが、機械的なプローブチップの場合がそうであるように、このような誤差が適切な手順を用いて較正されかつ測定量から減算され得ることは、理解される。

【0036】

明細書本文では、空間においてその位置を追跡できるオブジェクトの一例として反射球を使用した。この具体的形状は、単に要点を示すために選択されたものである。他の形状も可能であって、かつおそらくはこのタスクにとって他の形状の方が適することは、理

10

20

30

40

50

解されるべきである。また、検査オブジェクトの動きをより正確に追跡するために、検査オブジェクトの隠れた部位を測定するために使用されるという理由で、プローブ 100 上で 2 つ以上の反射球（または他の表面）が使用され得ることも予想される。たとえば、プローブは、チップ 104 を検査オブジェクトにおける空洞に到達させるべく方向を変えることができるように構成されてもよい。その場合、プローブの、プローブを駆動する並進機構に対する偏向に関する情報を提供するために、プローブの他端には、またはチップの方へ近接して、自身へ向けて配向される対応する測定モジュールを有する追加の反射球が取り付けられる可能性もある。反射球と個々の測定モジュールとのこのような組み合わせにより、球が十分な（各球につき 3 つの）測定モジュールの見通し線内に連続して存在する限り、CMM の動作空間におけるあらゆる場所で、チップを 3 次元で追跡しかつ測定することができるようになる。

10

【0037】

このように、本明細書では、本発明を、最も実際的かつ好ましい実施形態であると考えられるものにおいて示しかつ説明したが、本発明の範囲内でこれからの逸脱が可能である点は、認識される。たとえば、検出器において認識可能で好ましくは対称性の干渉パターンを生成する参照ビームと検査ビームとの組み合わせは、いずれも、検査オブジェクトとの接触点が移動されると位相または強度の変化を検出するための既知のパターン特性を活用することにより、同様に使用される可能性もある。また、本発明による測定を実行するためには、この主題に関して 2014 年以降に発行された様々な特許に記載されているスペクトル制御式干渉分光法のソースおよび関連する分析ツールを含む、従来のあらゆる干渉光源および関連する分析ツールが使用され得ることも理解される。したがって、本発明は、開示している詳細に限定されるものではなく、その任意かつ全ての等価物を含む、特許請求の範囲に記載される全範囲を認められるべきものである。

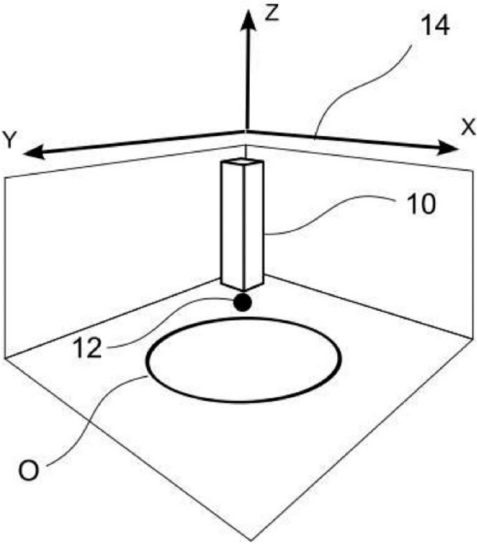
20

30

40

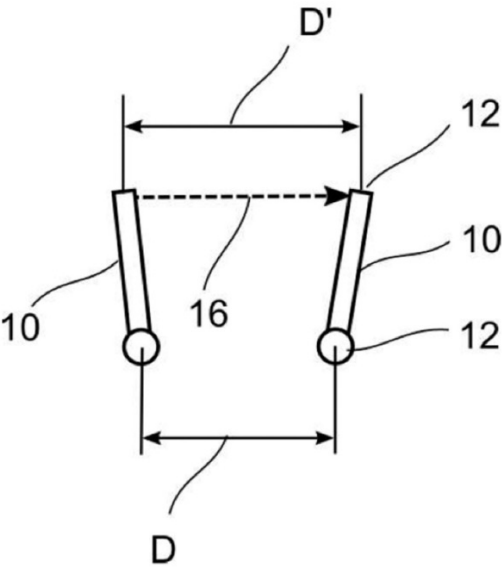
50

【図面】
【図 1】



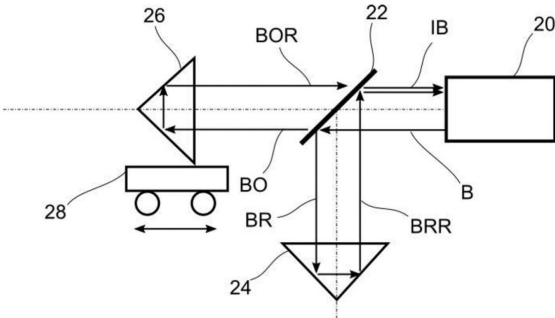
(先行技術)

【図 2】



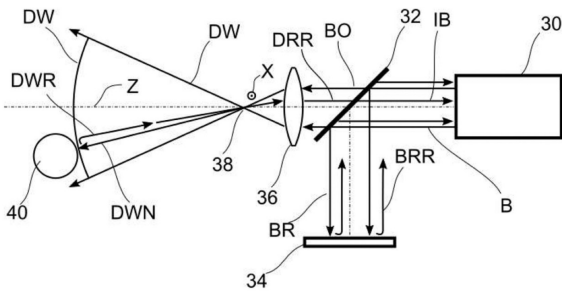
(先行技術)

【図 3】



(先行技術)

【図 4】



10

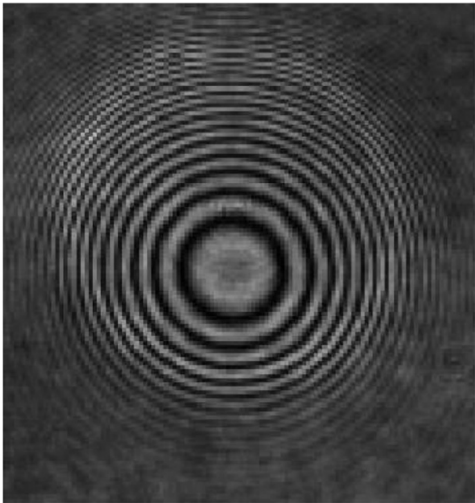
20

30

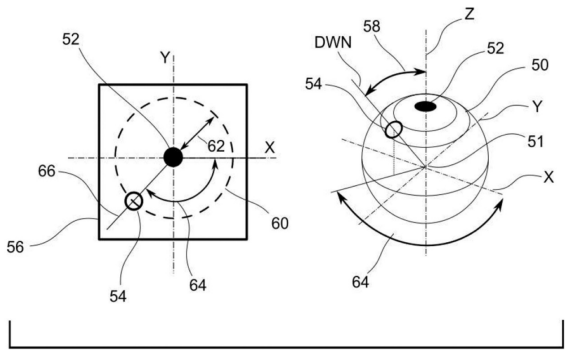
40

50

【 図 5 】

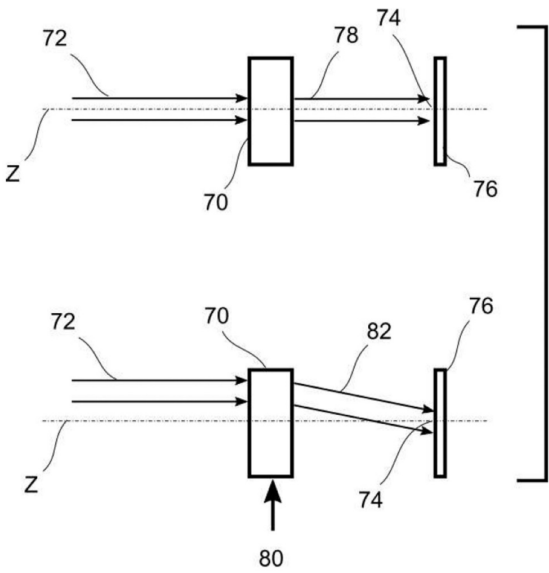


【 図 6 】

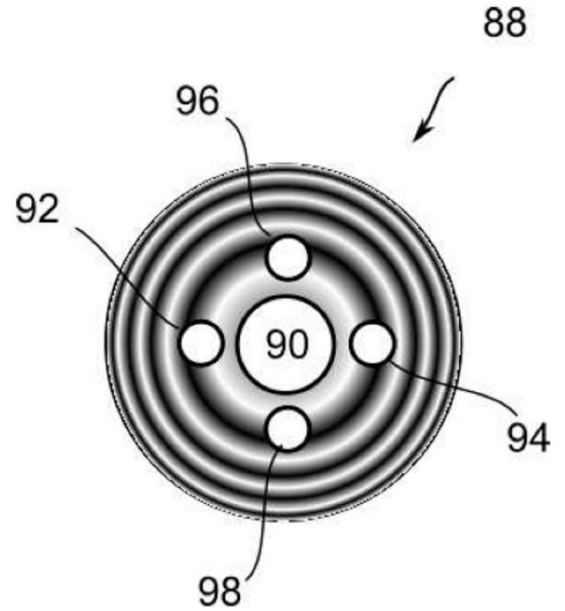


10

【 図 7 】



【 図 8 】



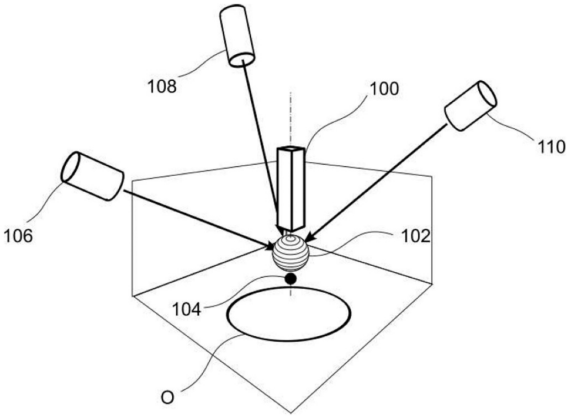
20

30

40

50

【 図 9 】



10

20

30

40

50

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)

(72)発明者 オルスザク, アルトゥール

アメリカ合衆国 アリゾナ州 8 5 7 4 5 ツーソン 3 1 2 3 ウエスト モルガン ロード

審査官 山 崎 和子

(56)参考文献 特表 2 0 1 5 - 5 1 4 9 8 2 (J P , A)

特開 2 0 1 4 - 1 4 5 6 8 4 (J P , A)

特開 2 0 0 8 - 1 3 4 1 1 2 (J P , A)

米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 0 3 7 0 1 7 2 (U S , A 1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)

G 0 1 B 5 / 0 0 - 5 / 3 0

9 / 0 0 - 9 / 1 0

1 1 / 0 0 - 1 1 / 3 0

2 1 / 0 0 - 2 1 / 3 2