

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3633625号
(P3633625)

(45) 発行日 平成17年3月30日(2005.3.30)

(24) 登録日 平成17年1月7日(2005.1.7)

(51) Int.C1.⁷

F 1

G O 1 B 9/02

G O 1 B 9/02

G O 1 B 11/24

G O 1 B 11/24

D

請求項の数 10 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平7-529917
 (86) (22) 出願日 平成7年5月15日(1995.5.15)
 (65) 公表番号 特表平10-500486
 (43) 公表日 平成10年1月13日(1998.1.13)
 (86) 国際出願番号 PCT/US1995/006531
 (87) 国際公開番号 WO1995/031694
 (87) 国際公開日 平成7年11月23日(1995.11.23)
 審査請求日 平成14年5月9日(2002.5.9)
 (31) 優先権主張番号 08/242,789
 (32) 優先日 平成6年5月16日(1994.5.16)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 ジゴー コーポレーション
 アメリカ合衆国、O 6 4 5 5 コネチカット、ミドルフィールド、ローレル ブルック ロード(番地なし)
 (74) 代理人 弁理士 野河 信太郎
 (72) 発明者 デ グルート、ピーター
 アメリカ合衆国、O 6 4 5 7 コネチカット、ミドルタウン、ローレル グローブ ロード 355
 審査官 山下 雅人
 (56) 参考文献 特開平04-213005 (JP, A)
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 改良された位相ずれ干渉計及び表面形状測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

表面におけるある位置の高さを決定する方法であつて、
 その位置が画像装置と光学的に一列になる位相ずれ干渉計の光軸に沿つた前記表面の位置
 決めのステップと、
 光学的にコヒーレントな波長 λ の照明光源を用いてその表面位置の、前記画像装置上で
 の干渉パターンの作成のステップと、
 それぞれがおおよそ $\lambda/2$ の位相差によって他のものから連続的にずれている 7 つのフレー
 ム $j = 0, \dots, 6$ に対して前記表面位置のための強度データ g_j を前記画像装置上
 に作成する干渉計の作動のステップと、

前記 7 つのフレーム j に対して前記画像装置上に作成された強度データ g_j の電子的な記憶
 のステップと、

式

$$\Theta = \tan^{-1} \left\{ \frac{7 (g_2 - g_4) - (g_0 - g_6)}{-4 (g_1 + g_5) + 8 g_3} \right\}$$

を用いた、前記表面位置のための波面位相 Φ の演算のステップと、
 式

10

20

Θ

$$h = \lambda \text{ ————— }$$

$$4 \pi$$

を用いた、前記表面位置の高さ h の演算のステップと
を備えている方法。

【請求項 2】

干渉計が、フィゾー空隙を有するフィゾー型干渉計からなり、前記作動のステップがさらに、前記 7 つのフレーム j のうちの連続するものの間におおよそ $\pi/2$ の位相ずれを作成するため前記光軸に沿ったフィゾー空隙の長さの変更を備えている請求項 1 記載の方法。 10

【請求項 3】

前記照明光源が波長調整可能な光源からなり、前記作動のステップがさらに、前記 7 つのフレーム j のうちの連続するものの間におおよそ $\pi/2$ の前記位相ずれを作成するために前記光源の波長の調整を備えている請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】

それぞれがおおよそ $\pi/2$ の位相差によって他のものから連続的にずれている 7 つのフレーム n - - これら 7 つのフレーム n は前記 7 つのフレーム j と交互に重ねられてそれらのフレーム j からおおよそ $\pi/4$ だけ隔たっており、 $n = 7, \dots, 13$ である - - に対して強度データ g_n を前記画像装置上に作成する干渉計の作動のステップと、 20

前記 7 つのフレーム n に対して前記画像装置上に作成された強度データ g_n の電子的な記憶のステップと、

式

$$\Theta' = \tan^{-1} \left\{ \frac{7(g_8 - g_{11}) - (g_7 - g_{13})}{-4(g_8 + g_{12}) + 8g_{10}} \right\}$$

を用いた、前記表面位置のための第 2 波面位相 の演算のステップと、 30

式

$$(\Theta + \Theta')$$

$$\Theta_{avg} = \text{———— }$$

$$2$$

を用いた平均波面位相 $_{avg}$ の演算のステップと
をさらに備え、

前記表面位置の高さ h の演算のステップが

式

$$\Theta_{avg}$$

$$h = \lambda \text{ ————— }$$

$$4 \pi$$

における平均波面位相 $_{avg}$ を用いることを備えている
請求項 1 の方法。

【請求項 5】

表面におけるある位置の高さを決定する方法であって、
その位置が画像装置と光学的に一列になる位相ずれ干渉計の光軸に沿った前記表面の位置 50

決めのステップと、

光学的にコヒーレントな波長 の照明光源を用いてその表面位置の、前記画像装置での干渉パターンの作成のステップと、

それぞれがおおよそ $\pi/2$ の位相差によって他のものから連続的にずれている 6 つのフレーム $j - - j = 0 \dots \dots 5 - -$ に対して前記表面位置のための強度データ g_j を前記画像装置上に作成する干渉計の作動のステップと、

前記 6 つのフレーム j に対して前記画像装置上に作成された強度データ g_j の電子的な記憶のステップと、

式

$$\Theta = \tan^{-1} \left\{ \frac{3g_1 - 4g_3 + g_5}{-g_6 + 4g_2 - 3g_4} \right\}$$

10

を用いた、前記表面位置のための波面位相 の演算のステップと、

式

$$\Theta$$

$$h = \lambda \frac{4\pi}{\Theta}$$

20

を用いた、前記表面位置の高さ h の演算のステップと
を備えてなる方法。

【請求項 6】

干渉計が、フィゾー空隙を有するフィゾー型干渉計からなり、前記作動のステップがさらに、前記 6 つのフレーム j のうちの連続するものの間におおよそ $\pi/2$ の位相ずれを作成するため前記光軸に沿ったフィゾー空隙の長さの変更を備えている請求項 5 記載の方法。

【請求項 7】

前記照明光源が波長調整可能な光源からなり、前記作動のステップがさらに、前記 6 つのフレーム j のうちの連続するものの間におおよそ $\pi/2$ の位相ずれを作成するために前記光源の波長の調整を備えている請求項 5 記載の方法。

30

【請求項 8】

表面におけるある位置の高さを決定する方法であって、

その位置が画像装置と光学的に一列になる位相ずれ干渉計の光軸に沿った前記表面の位置決めのステップと、

光学的にコヒーレントな波長 の照明光源を用いてその表面位置の、前記画像装置での干渉パターンの作成のステップと、

それぞれがおおよそ $\pi/4$ の位相差によって他のものから連続的にずれている 13 個のフレーム $j - - j = 0 \dots \dots 12 - -$ に対して前記表面位置のための強度データ g_j を前記画像装置上に作成する干渉計の作動のステップと、

40

前記 13 個のフレームのために前記画像装置上に作成された強度データ g_j の電子的な記憶のステップと、

式

$$\Theta = \tan^{-1} \left\{ \frac{-3(g_0 - g_{12}) - 4(g_1 - g_{11})}{-4(g_1 + g_{11})} \right. \\ \left. + \frac{12(g_3 - g_9) + 21(g_4 - g_8)}{-12(g_2 + g_3 + g_9 + g_{10})} \right. \\ \left. + \frac{16(g_5 - g_7)}{+16(g_5 + g_7) + 24g_6} \right\}$$

を用いた、前記表面位置のための波面位相 の演算のステップと、式

Θ

$$h = \lambda \frac{4\pi}{\Theta}$$

を用いた、前記表面位置の高さ h の演算のステップとを備えてなる方法。

【請求項 9】

干渉計が、フィゾー空隙を有するフィゾー型干渉計からなり、前記作動のステップがさらに、前記13個のフレーム j のうちの連続するものの間におおよそ $\pi/2$ の位相ずれを作成するため前記光軸に沿ったフィゾー空隙の長さの変更を備えている請求項 8 記載の方法。

【請求項 10】

前記照明光源が波長調整可能な光源からなり、前記作動のステップが、前記13個のフレーム j のうちの連続するものの間におおよそ $\pi/2$ の位相ずれを作成するための前記光源の波長の調整を備えている請求項 8 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

発明の分野

本発明は、一般に、表面の画像作成及び分析のための精密光学測定器具に関し、さらに詳しくは、干渉計を基にした、表面形状の縦断面輪郭を描くための装置及び方法に関する。

発明の背景

表面形状 (surface topography) を測定するために最も広く用いられている器具には干渉計があり、それは高精度に表面高さの変化を図示するために光の波特性を使う。今日、通常の使用において最も正確な干渉計が位相ずれの原理に基づいたものであることは一般に当業者に受け入れられている。現代の位相ずれ干渉計は、典型的には、光学システム、電子画像システム、コンピュータを基にするか他に自動化された制御装置、及び参照位相ずれを導入するための手段を備えてなる。

位相ずれ干渉計使用法 ("PSI") は、例えばダニエルマラカラ (Daniel Malacara) (ワイルイ、ニューヨーク 1992) によって編集された文献、"Optical Shop Testing"の第14章に詳細に記載されている。簡単に述べれば、PSIは、典型的に、3 ~ 5つの一連の参照位相ずれのために測定された強度パターンの電子的記憶を用いる。これらの記憶された強度パターンは、コンピュータを基にしたデジタル信号処理装置によるように、その後分析

10

20

30

40

50

され、位相ずれの関数としての強度の変化の分析を通じて元の波面位相を回復させる。そのようなPSIを基にした器具が適切に調整されると、光の波長の1/1000のオーダーの分解能で表面形状を測定することができる。

すべての従来技術のPSI器具のある種の側面が、所望の高精度で表面形状の測定値を得ることに関して重要である。これらの側面に、干渉計の作動中における、参照位相及び増加位相の変化の正確な調整、さらに振動、特にたいていの製造環境で典型的な低周波振動からの干渉計の実質的に完全な隔離が含まれる。

最近では、PSIに対して要求された参照位相ずれを導入する最も普通の方法及び配置は、参考表面の機械的な平行移動または移動による。この目的のために必要な機械的移動の総量は、通常、光の波長より小さいものであり、そして、適切な正確さで繰り返し可能な位相ずれをもたらすよう注意深く（そしてしばしばくり返して）較正されなければならない。圧電変換器（PZT）、または同等のアセンブリの制御された作動によってしばしば実行される。当業者に知られた別の方法は、小さい位相ずれをもたらすような方法で干渉計のための光源光の波長を選択的に同調させることを用いる。この別の方法は、また注意深い較正を要求し、またその光源の波長の連続的な監視さえ必要とするかもしれない。

位相ずれのひずみは、従来技術のPSI器具に容認できない測定誤差を特にもたらすことはよく知られている。そして、重大な誤差が、その参照位相ずれが非線形であるかまたは適切に較正されていないときに起こり得る。

ジェイ・ファン・ヴィンガーデン（J.van Wingerden）、エイチ・エイチ・フランケナ（H.H.Frankena）及びシー・スマレンバーグ（C.Smorenburg）による“位相ずれ干渉計使用法における測定誤差の線形近似”（Linear Approximation For Measurement Errors In Phase Shifting Interferometry）〔30応用光学2718-29（1991）〕なるタイトルの論文には、これらの誤差は、それらの形態及び大きさを含んでいくらか詳細に記載されている。ケイ・キンスタッター（K.Kinnstatter）、キュー・ダヴリュ・ローマン（Q.W.Lohmann）、ジェイ・シュワイダー（J.Schwider）及びエヌ・ストライブル（N.Streibl）による“位相ずれ干渉計使用法の正確度”（Accuracy of Phase Shifting Interferometry）〔27応用光学5082-89（1988）〕なるタイトルの論文のような、他のいくつかの論文は、注意深い較正の必要性を述べ、位相ずれの大きさを測定するための特別の配置を提案している。

線形動作からの偏差は、従来技術のPSI器具では、比較的小さな非線形度でも、結果としての表面高さの計算値に容認できない大きな誤差をもたらすこともあるので、特にやっかいである。

結果として、位相ずれをできるだけ線形にするため高価でかつ扱いにくい高電圧のPZTアセンブリを用いなければならず、かつ位相ずれの実質的に完全な較正を達成するため、時間のかかる操作を行わなければならない。波長のずれを較正しつつ線形化することに伴う問題は、干渉計の構成要素の機械的移動の代わりとしての、干渉計における波長同調レーザダイオードの広くゆきわたった使用をも大きく妨げてきた。

干渉計のデータ取得サイクルの際に起こる低周波やその他の振動も位相ずれを有意にゆがませ、従来の器具では、全振動源の注意深い排除を通じてのみ除去できるような、さらなる誤差をもたらす。

通常用いられた振動遮断法は、干渉計の光学要素を支持するための重い枠組とともに、大きな花崗岩や空気浮遊テーブルの使用を必要とする。加えて、測定システムは製造及び組立て区域からしばしば物理的に隔離しなければならず、その結果、製造された物品の表面品質を確かめるために干渉計を使用する製造工業に対し、有意にいっそう高いコストを引き起こすことになる。

したがって、従来技術の高精度の位相ずれメカニズムや操作、高価な振動遮断配置法によらずに正確に表面形状を測定する装置及び方法を求める、未だ満たされていないニーズがある。

発明の目的

したがって、本発明の主要な1つの目的は、位相ずれ干渉計使用法を用いてある表面の形

10

20

30

40

50

状 (topography) を測定するための、改良された方法と装置を提供することにある。本発明のさらなる 1 つの目的は、きわめて高精度に、それにもかかわらず、位相ずれが行われる機構の、注意深いすなわち正確な較正をすることなく、表面形状を測定することにある。

本発明のさらなる 1 つの目的は、有意な非線形運動を有し、そのような運動の特性が従来の位相ずれ干渉計使用法の方法と装置を用いて高精度の表面形状測定をするには互換性がないかまたは容認できないような低コストの位相ずれ機構を用いて、非常に高い測定精度を得ることができる方法と装置を提供することにある。

本発明のさらなる 1 つの目的は、レーザダイオードのような安価で波長同調可能な光源であって、その波長同調が従来の位相ずれ干渉計使用法の方法と装置を用いて高精度の表面形状測定をするには互換性がないかまたは容認できないような光源を用いて、きわめて高い測定精度を得ることができる方法と装置を提供することにある。

発明の概要

表面形状 (surface topography) を測定するために本発明により構成された装置は、縦断面輪郭の描かれる表面からの干渉データを展開するための光学干渉計と、この干渉計からの干渉データを受けるための電子画像システムと、コンピュータを基にした制御装置ならびにデータ解析装置と、干渉計の照明の参照位相を可変的に調整するための装置または配置とを含んでいる。本発明の好ましい方法によれば、画像システムにより一連の 7 つの強度画像が検出されて電子的に記憶される。これらの強度画像は、おおよそ $/2$ の間隔で配された相異なる 7 つの参照位相値のための干渉パターンすなわち干渉写真図に相当する。その位相値間隔 (すなわち、おおよそ $/2$) は、完全に同じである必要はなく、また繰り返しができるものである必要がなく、低周波数振動も、前記強度画像のためのデータ取得の際にその光学システムから完全に排除する必要はない。7 つの干渉写真図は、検査中の表面の形状をそのデータから取り出すために前記コンピュータで - - 従来の技術では知られていない方法論を利用して - - 作成される。本発明の別の実施例は、レーザダイオードを基にした装置と、6 つの強度フレーム、13 の強度フレームならびに異なる位相オフセット値により得られた 2 組以上の強度測定の結合を用いた方法とを含んでいる。

本発明の付加的な目的と特徴は、添付された図面とともに考慮された下記の詳細な説明から明らかにされる。しかし、それらの図面は単に例示の目的のために示されたものであって本発明の限定を意味するものとして示されたものではないことを理解すべきであり、それらのためには添付の請求の範囲を参照すべきである。

【図面の簡単な説明】

図面において、類似の参照符号は幾つかの図を通して同様の要素を示す。

図 1 は、本発明の第 1 実施例に従って構成され、機構的な参照位相ずれ配置を用いた、位相ずれ干渉計と関連装置とのブロックダイアグラム表示である。

図 2 は、本発明の第 2 実施例に従って構成され、参照位相のずれまたは所定変化のための波長同調可能なレーザダイオード光源を用いた、位相ずれ干渉計と関連装置とのブロックダイアグラム表示である。

図 3 は、本発明の位相ずれ干渉計装置および方法の性能を、位相ずれ較正誤差の存在下での代表的従来技術の研究法と比較した結果を示すグラフである。

図 4 は、本発明の位相ずれ干渉計装置および方法の性能を、位相ずれの非線形性の存在下での代表的従来技術の研究法と比較した結果を示すグラフである。

図 5 は、本発明の位相ずれ干渉計装置および方法の性能を、低周波数振動の存在下での代表的従来技術の研究法と比較した結果を示すグラフである。

好ましい実施例の詳細な説明

図 1 は本発明による第 1 の好ましい実施例により構成された装置の基本要素を図解的に描いたものであり、この装置は原理的に、コンピュータ 1 と有名なフィゾー幾何形状の位相ずれ干渉計 2 とから構成されている。ここで記述される装置の好ましい形態では、コンピュータ 1 - - 特別に構成されるかこの用途に合致したデジタル信号処理装置またはここで開示した機能性を発揮するようプログラムされた汎用目的コンピュータでもよい - - は、

10

20

30

40

50

干渉計の作動を制御し、かつ本発明による干渉計の作動によって得られる干渉強度データの演算及び分析を取得して実行する。マイケルソン (Michelson) またはツイマン グリーン (Twyman Green) 型のような光学的に等価な干渉計幾何形状を代わりに用いることができ、その干渉計幾何形状はこの開示の意図した範囲及び思想の中にあると理解すべきである。

干渉計 2 は、光学的にコヒーレントな光源 3、すなわち図 1 に示すフィゾー幾何形状で干渉計使用法 (interferometry) を行うための十分な分光及び空間純度を持つ光源によって照射される。光源 3 は、例えばヘリウムネオンレーザのような、この技術分野で知られた通常の構成のレーザであってもよく、電源 15 から作動電力を受ける。光源 3 からの光はビームスプリッタ 5 によって反射され、フィゾー干渉計の空隙 6 に向かい、そこでその光は平凸レンズ 6 の凸面 7 によって平行にされる。レンズ 8 の平面側 9 は、参照表面として働くとともに、ビームスプリッタ 5 を介して光の一部を後方へ反射させ、画像作成レンズ 11 を経てカメラ 10 へ導く。カメラ 10 は、標準的なビデオカメラ、電荷結合素子 (CCD)、またはそこに当たる光の強度のに応じた電子画像を発生させるための同様の装置であってもよい。レンズ 8 を通過する光の一部は、表面形状を測定しようとする対象物 13 の前面側 12 から反射される。対象物 13 から反射された光は、ビームスプリッタ 5 を介して後方のカメラ 10 に伝達され、そこで参照表面 9 から反射された光と干渉する。干渉現象は、カメラ 10 によって測定されかつコンピュータ 1 に電子的に移送される強度分布を有する干渉写真図になる。

干渉計 2 は、対象物または検査中の部分から反射された光の特性、より具体的には反射波面の位相輪郭を測定するために有効に用いられる。カメラが受け取った強度画像は、予め設定され実質的に等間隔に位置する一連の所定数の位相ずれのための、コンピュータを基にする制御装置に記憶される。これらの位相ずれはアセンブリ 14 によって作られ、そのアセンブリはフィゾー空隙 6 の長さを変えるべく物理的に前後にレンズ 11 を移し変えるための電子機械的手段を含む。そのような物理的移し替えは、例えば圧電変換器 (PZT) または類似のものによる公知な配置によってなされてもよい。コンピュータ 1 は選択的に変わる電圧を PZT に供給することにより、レンズの移し替えを有効に制御する。当業者は、フィゾー空隙の長さを干渉計の部品または要素の物理的移し替えを通じて変化させるための他の配置を設計上の選択事項として用いてもよいことを認めるであろう。

本発明の 1 つの好ましい方法によれば、一連の 7 つの強度画像は、レンズ 11 の直線的な移し替えの間に、関連メモリに記憶されるかあるいはコンピュータ 1 により記録される。このように、7 つの強度値 g_j * がそれぞれの像点ごとにコンピュータメモリに記憶され、それぞれは、

数式 1

$$g_j = A \cdot (1 + V \cdot \cos(\phi_j + \phi_0))$$

に等しい。

ここで、V は干渉じまの鮮明度、A は全定数、 $j = 0 \dots 6$ は 7 つのそれぞれの画像に対応する。基準位相ずれ ϕ_0 は、

数式 2

$$\phi_j = (j - 3) \frac{\pi}{2}$$

である。

したがって、画像の位相間隔は (少なくともおおよそ) $\pi/2$ であり、633nm の典型的な照明光源波長において 79nm の連続する画像の間での直線運動に相当するものである。7 つの強度画像を記録した後、コンピュータ 1 は数式 3 の関係式を用いて波面位相 ϕ を計算する。

数式 3

$$\phi = \tan^{-1}(T)$$

ここで、

数式 4

10

20

30

40

50

$$T = \frac{7(g_2 - g_4) - (g_0 - g_6)}{-4(g_1 + g_5) + 8g_3}$$

この計算は、対象物から反射した波面を表す正確な位相画像を作成するため機器の視野におけるすべての像点について実行される。波面位相 ϕ に相当する表面高さ h は、次に数式 5 を用いてそれぞれの像点ごとに算出される。

数式 5

$$h = \lambda \frac{\Theta}{4\pi}$$

このようにしてコンピュータ 1 は、その画像のすべての点における高さを計算し、対象物表面の 3 次元形状画像を生成する。 10

第 2 は、図 2 に示す本発明の他の装置の実施例であって連続する強度画像の間での干渉計における位相ずれが、「干渉計使用波面測定」と題する米国特許第4,594,003号においてソマグレン (Sommagren) によって教示されたものに類似する方法で、同調可能な光源 4 の波長を選択的に調節することにより達成される。この波長同調と呼ばれるものは、この第 2 の装置の実施例の好ましい形態において、レーザーダイオード電源 17 のコンピュータ制御操作により自動的に実行される。しかしながら、前記ソマグレン特許に記載された 4 つの強度画像測定結果を用いる代わりに、本発明では、およそ $\lambda/2$ の画像間位相ずれに相当する一連の 7 つの強度画像をコンピュータの記録部に取得し記憶する構成としている。コンピュータ 1 は次に、数式 (3)、(4) 及び (5) を用いて対象物表面形状を演算する。数式 (5) における λ は波長同調光源の平均波長である。 20

本発明は、すべての実際的な目的のためには、従来技術の位相ずれ干渉計使用法とは基本的に異なり、本発明の方法及び装置は、連続する強度画像間の位相ずれにおける誤差、すなわち、位相ずれ ϕ_j が予想値あるいは意図値とは実際に異なることにより生じる誤差に對して、実質的に鈍感である。仮に、説明の便宜上、実際の位相ずれ ϕ_j を表す式を、

数式 6 とする。

$$\phi_j = \left(\frac{\pi}{2} + \epsilon + \frac{\gamma}{2} (j-3) \right) (j-3)$$

数式 (6) において、係数 ϵ は較正における誤差を表し、係数 γ は位相ずれにおける 2 次非線形性を示す。従来技術による位相ずれ干渉計使用法では、上述したように、これらの係数は最大可能な範囲まで最小化されるが、さもなければ形状の縦断面輪郭に有意な測定誤差を生じるからである。しかしながら、本発明の方法及び装置は、すべての実際上の目的においてこれらのひずみに全く依存せず、ずっと安価な位相ずれ機構の使用を可能にし、先行技術における不可欠な要求である大がかりな較正手順の必要を最小化あるいは削除する。 30

図 3 は、生じた測定誤差の大きさを数式 (6) における較正係数 γ の関数として、一方に先行技術の方法によるもので、他方に本発明によるもので、比較したグラフを示す。この例における先行技術は、「デジタル位相ずれ干渉計使用法：単純誤差補償、位相算出アルゴリズム、26 応用光学 2504 - 06 (1987)」と題して P. Hariharan, F. F. Oreb 及び T. Ei jui による文献に記述された方法によるものである。その方法は、位相ずれ干渉計使用法を用いた表面形状分析において使用するための現在利用できる最良の方法であると広く一般的に認識されている。図 3 において明らかのように、先行技術の方法は、光波の 1/1000 より精度の高い表面高さ測定を維持するために極めて精密な位相ずれの較正を必要とする。他方、本発明の方法及び装置は、位相ずれの較正には本質的に依存しない高精度の表面形状測定を提供する。 40

図 4 は、先行技術と本発明の方法について測定誤差の大きさを数式 (6) における非線形係数 γ の関数としてグラフ上で比較した概略を示す。図 4 のグラフは、先行技術が、光波の 1/1000 より正確な表面高さ測定を維持するために連続する強度像の間で位相ずれのほぼ完全な線形性を要求しているということを明らかに示す。もう一度繰り返すが、本発明の方法は位相ずれにおける 2 次非線形性から本質的に依存しない高度に正確な測定精度を提 50

供する。

最後に、図5は、低周波数振動の存在下での先行技術及び本発明の方法について測定誤差の大きさを比較したグラフである。このグラフは、60Hzのビデオカメラを備えた先行技術の機器についての振動数と測定誤差との関係を示す。振動の量は周波数帯にわたって固有値に維持され、光波の約5/1000に等しい干涉計の空隙における機械振動に相当する。図5のグラフは、低周波数帯全体にわたり、振動に対する有意の表面高さ測定誤差を明示し、これらの振動数は製造環境では特にありふれており、重機械、熱運動、気流及び歩行者の通行により生じるもののが例示できる。グラフ化されたデータを皮相的に見直したとしても、先行技術の干渉計は、高精度を維持するために大がかりな低周波数振動の隔離を要することを明確に示す。他方、本発明の方法及び装置に対する測定誤差の大きさは、実質的に低減される。本発明はこのように、干渉計機器において振動の大がかりな隔離の、今まで理解されている必要性を有意に低減しあるいは不要とする。

本発明の現在、最も好ましい実施例は、7つの干渉写真図から得られたデータを採用するが、ある応用については、取得し記憶する強度画像の数を6まで減らすことが有利かもしれない。そのような環境下で、本発明の実質的な特徴及び機能は、数式(4)に代わって下記の数式を用いることにより保存される。

数式7

$$T = \frac{3g_1 - 4g_3 + g_5}{-g_0 + 4g_2 - 3g_4}$$

ここで6つの強度画像は、 $j = 0 \dots 5$ として示される。7つの強度画像を有する数式(4)の代わりに6つの強度画像を有する数式(7)を使用するときには、本発明の効率は幾分減少するが、しかしながら本発明の方法におけるこの修正された手段は依然として、従来技術に特有な較正、線形性及び振動の問題に対して本質的に依存せずかつ過敏ではない。

さらに、本発明の他の実施例は、異なる位相オフセットにおいて取られた2以上の連続する測定値の組を平均化したシステムで構成される。例えば、高反射性の参照及び対象物表面を有するフィゾー空隙において、一方から他方へ $\pi/4$ だけ互いにねがずれた2つの異なるデータの組に数式(4)を適用するのは有利である。

そのようなオフセットは、都合のよいことには、 $\pi/4$ の位相間隔で14個の強度フレームからなる1つのデータ組を取ることにより得られる。次に数式(3)及び(4)は、すべての偶数番号のフレームまたは強度画像について集めたデータに適用され、次にすべての奇数番号のフレームのデータに再適用される。最終位相値は2つの計算結果の平均である。フィゾー空隙及び大量の強度ノイズを含むデータに効果を有する、さらに他の実施例は、 $\pi/4$ の位相間隔で13個の強度フレーム($j = 0 \dots 12$)を記録し、次に前述したように、しかし数式(4)に代わる以下の公式を用いて表面高さを計算することからなる。

数式8

$$T = \frac{-3(g_0 - g_{12}) - 4(g_1 - g_{11}) + 12(g_3 - g_9) + 21(g_4 - g_8) + 16(g_5 - g_7)}{-4(g_0 + g_{12}) - 12(g_1 + g_3 + g_9 + g_{10}) + 16(g_5 + g_7) + 24g_6}$$

ここで

(数式1)

$$g_j = A \cdot (1 + V \cdot \cos(\phi_j + \phi_j))$$

及び

数式9

$$\phi_j = (j - 6) \frac{\pi}{4}$$

これらの数式は、7つの強度画像フレームから得られるデータを数式(3)及び(4)に用いるときに、本発明によつてもたらされる同様の利点を保存するとともにデータに存在する強度ノイズに対する抵抗性を増大する。

好ましい実施例に適用した本発明の基本的な新しい特徴を示し記述し指摘したが、本発明

10

20

30

40

50

の精神から逸脱することなく、当業者によって様々な省略や置き換えや形状の変更や開示された本発明に対する詳細な説明が可能であることは理解されるであろう。ゆえに、本発明は、ここに付された請求の範囲の視点により示されたものに限定されない。

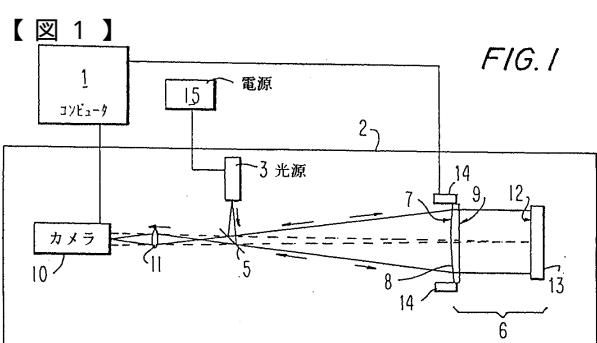


FIG.1

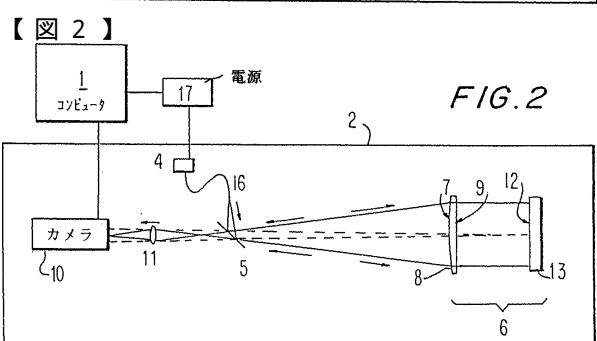


FIG.2

FIG.3

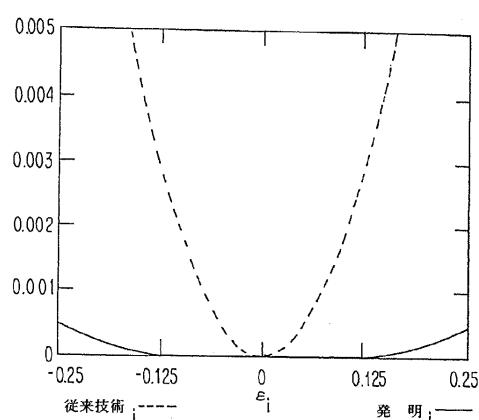
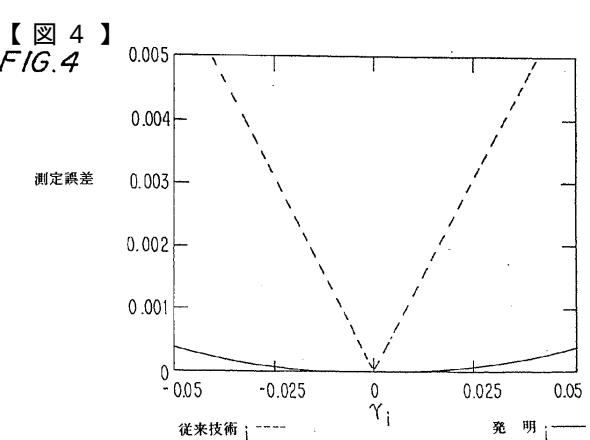
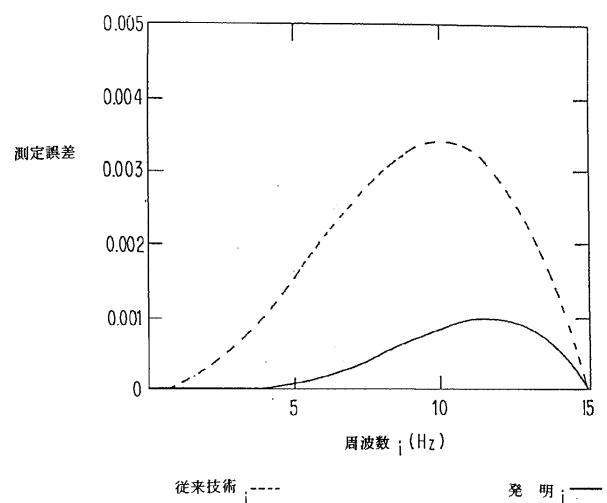


FIG.4



【図5】
FIG. 5

フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷ , DB名)

G01B 9/00 - 11/30