

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2004 年 2 月 19 日 (19.02.2004)

PCT

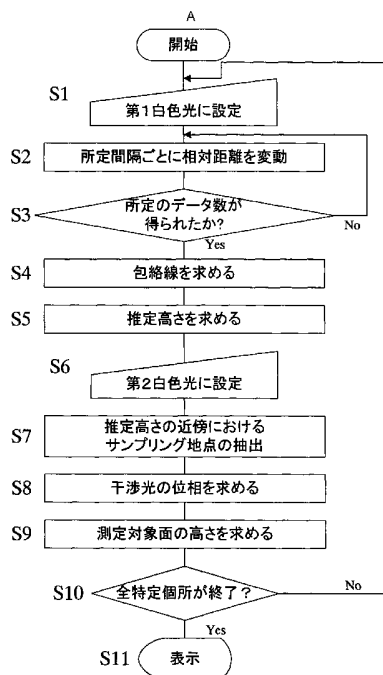
(10) 国際公開番号  
WO 2004/015366 A1

- (51) 国際特許分類: G01B 11/24, 9/02 江一丁目 1 番 4 5 号 東レエンジニアリング株式会社  
社内 Shiga (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2002/008202
- (22) 国際出願日: 2002 年 8 月 9 日 (09.08.2002) (74) 代理人: 杉谷 勉 (SUGITANI, Tsutomu); 〒530-0047 大  
阪府 大阪市 北区西天満 1 丁目 1 0 番 8 号 西天満第  
1 1 松屋ビル Osaka (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 東レエ  
ン지니어リング株式会社 (TORAY ENGINEERING  
CO., LTD.) [JP/JP]; 〒530-0005 大阪府 大阪市 北区中  
之島 3 丁目 4 番 1 8 号 三井ビル 2 号館 Osaka (JP).
- (81) 指定国 (国内): CN, JP, KR, US.
- (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY,  
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL,  
PT, SE, SK, TR).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 北川 克一 (KITA-  
GAWA, Katsuichi) [JP/JP]; 〒520-2141 滋賀県 大津市大
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告書

/ 続葉有 /

(54) Title: SURFACE SHAPE DETERMINING METHOD AND ITS DEVICE

(54) 発明の名称: 表面形状測定方法およびその装置



A...START  
S1...SET FIRST WHITE LIGHT  
S2...VARY RELATIVE DISTANCE BY PREDETERMINED INTERVAL  
S3...PREDETERMINED NUMBER OF ITEMS OF DATA OBTAINED?  
S4...DETERMINE ENVELOPE  
S5...DETERMINE ESTIMATION HEIGHT  
S6...SET SECOND WHITE LIGHT  
S7...EXTRACT SMPLING POINTS NEAR ESTIMATION HEIGHT  
S8...DETRERMIN PHASE OF INTERFERENCE LIGHT  
S9...DETERMIN HEIGHT OF OBJECT SURFACE  
S10...ALL SPECIFIC POINTS ENDED?  
S11...DISPLAY

(57) Abstract: While varying the relative distance between a reference face (15) and an object face (31) to be measured, an estimation height  $h_1$  at which intensity of interference light is a maximum is determined. The phase difference  $\Phi$  of the interference light is determined from the intensity of each interference light at four (three or more) sampling points near the estimation height. A formula  $h_2 = \lambda / 2 \times ((\Phi / 2\pi) + N)$  is defined where  $h_2$  is the height of the object face to be determined. An integer is selected so that the height  $h_2$  of the object face is the nearest to the estimation height  $h_1$ . From the selected  $N$ , the height  $h_2$  of the object face is determined.

/ 続葉有 /



2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

---

(57) 要約:

参照面 1 5 と測定対象面 3 1 との相対距離を変化させて、干渉光の強度が最大になる推定高さ  $h_1$  を求め、推定高さを含む 4 つの（3 個以上の）サンプリング地点における各干渉光の強度から干渉光の位相差  $\phi$  を求め、求めるべき測定対象面の高さを  $h_2$  としたときに、 $h_2 = \lambda / 2 \times \{ (\phi / 2\pi) + N \}$  なる式から測定対象面の高さ  $h_2$  が推定高さ  $h_1$  にもっとも近くなるように整数  $N$  を選択し、選択された  $N$  から測定対象面の高さ  $h_2$  を求める。

## 明細書

## 表面形状測定方法およびその装置

## 技術分野

- 5      本発明は、測定対象面の凹凸形状を測定する表面形状測定方法およびその装置に係り、特に、白色光あるいは単色光を用いて非接触で測定対象表面を測定する技術に関する。

## 背景技術

- 10      従来、この種の装置として、フィルムや光学素子などの精密加工品の凹凸形状をレーザなどの単色光の干渉を用いて測定する方法を利用した表面形状測定装置が広く知られている。従来の表面形状測定方法では、単色光源からの単色光を、ビームスプリッタによって、測定対象面に照射する単色光と、参照面に照射する単色光とに分け、両面にそれぞれ反
- 15      射された各単色光による干渉現象を利用して、測定対象面の凹凸形状を測定している。

- すなわち、ビームスプリッタを上下に変動させることで、参照面からビームスプリッタまでの距離と、ビームスプリッタから測定対象面までの距離との差に応じた干渉現象を発生させ、その干渉現象が発生した単
- 20      色光（以下、単に『干渉光』と呼ぶ）の強度を測定する。

ここで、測定対象面と参照面とからそれぞれ反射された両者の単色光の位相差を $\phi$ とし、参照面からの高さを $h$ とし、 $N$ を整数とすると、 $h$ は、下記（１）式のように表すことができる。

$$h = \lambda / 2 \times \{ (\phi / 2 \pi) + N \} \quad \dots (1)$$

- 25      そして、干渉光の位相変動量の単位を $\pi / 2$ とし、 $0$ 、 $\pi / 2$ 、 $\pi$ 、 $3 \pi / 2$ の４回分変化させるようにビームスプリッタを上下に変動させ

る。これは、単色光の波長が $\lambda$ の場合、 $0$ 、 $\lambda/8$ 、 $\lambda/4$ 、 $3\lambda/8$ の移動を意味する。このときの干渉光の強度を $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ とすると、位相差 $\phi$ は、下記(2)式のように表すことができる。

$$\phi = \tan^{-1} \{ (A - C) / (B - D) \} \quad \dots (2)$$

5 上記(2)式より求められた位相差 $\phi$ には、 $2\pi N$ の任意性があるので、実際に $h$ を求めるには上記(1)式に記載されている右辺の第2式の $N$ が必要になる。そこで、測定対象面の高さが十分平滑で、水平方向に見た時の高さが連続的に変化しているという仮定を用いて位相接続(アンラッピング)処理を行って、 $N$ を特定した後に参照面からの高さ $h$   
10 を求める。位相接続法には、例えば、もっとも単純な近傍接続法や、より複雑なアルゴリズムのMST(Minimum Spanning Tree)法などがある。なお、このような位相差に基づいて高さを求める方法は、『位相シフト干渉法(Phase Shift Interferometry)』(以下、適宜『PSI法』と略記する)と呼ばれる。

15 しかしながら、このようなPSI法の場合には、高さが連続的に変化しているという仮定を用いているので、測定対象が、上述したフィルムや光学素子などのような測定対象面の凹凸が波長に比較し、十分に滑らかであるという条件が必要である。

従って、PSI法の場合には測定対象面は平滑面に限定され、それ以外  
20 の例えば半導体バンプや金属加工面など表面段差の大きい測定対象面では、測定が不可能である。

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであって、表面段差の大きい測定対象面においても精度良く測定することができる表面形状測定方法およびその装置を提供することを目的とする。

本発明者らは、このような目的を達成するために鋭意研究した結果、次のような知見を得た。

表面形状測定装置として、上述したP S I法を用いた装置の他に、『垂直走査白色干渉法(Vertical Scanning Interferometry)』（以下、適  
5 宜『V S I法』と略記する）を用いた装置が知られている。この方法によれば、白色光源からの白色光を、測定対象面に照射する白色光と参照面に照射する白色光とに分け、両面にそれぞれ反射された各白色光による干渉光の強度を測定する。P S I法では、干渉光の位相差が $0$ 、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $3\pi/2$ の4回分変化させるようにビームスプリッタを上下に  
10 変動させたが、V S I法では所定間隔ごとにビームスプリッタを上下に変動させ、所定間隔ごとの干渉光のサンプリングを行う。そして、干渉光の強度値変化の波形（以下、『インターフェログラム』と呼ぶ）が最大になる位置を求めることで、測定対象面の高さを求める。

実際には、所定間隔ごとにサンプリングデータが離散しているので、  
15 干渉光の強度が最大になる位置を精度良く求めるのは難しい。そこで、インターフェログラムの包絡線や、本発明者らが先に提案した『日本国特開2001-066122号公報』の発明にある特性関数が最大になる位置に基づいて、測定対象面の高さを求める。なお、本明細書中での『干渉光』は、インターフェログラムのみならず、上述した包絡線や特  
20 性関数なども含む。

上述したV S I法によれば、P S I法のように高さが連続的に変化しているという仮定を用いないので、上述した半導体バンプや金属加工面など表面段差の大きい測定対象面で測定を行うことができる。

しかし、V S I法の場合には、上述したように干渉光の強度が最大になる位置を求めるのが困難で、包絡線や特性関数に関する干渉光の強度  
25 を求めるには演算に時間がかかるという問題がある。

その一方で、単色光による干渉光の強度に基づいて高さを求める P S I 法とは異なり、V S I 法では白色光による干渉光の強度に基づいて高さを求める。これは、P S I 法では干渉光の位相を、 $0$ 、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $3\pi/2$  と動かすのに波長  $\lambda$  は既知であることが必要で、レーザのような単色光が P S I 法で用いられ、V S I 法では単色光を用いると干渉性が高く、最大を求める干渉光の強度変化（ピーク）が平坦になるので測定精度が悪くなり、逆にピークがある程度鋭くなる白色光が V S I 法で最適だからである。

本発明者らは、用いる光源がそれぞれ違う P S I 法と V S I 法とを敢えて組み合わせることで、本発明の目的を達成するという知見を得た。このような知見に基づく本発明は、次のような構成をとる。

すなわち、本発明に係る表面形状測定方法は、光干渉に基づいて測定対象面の凹凸形状を測定する表面形状測定方法であって、参照面と前記測定対象面との相対距離を所定間隔で変動させる第 1 工程と、前記第 1 工程で前記相対距離を変動させるたびに、光を前記参照面と前記測定対象面とに照射することで得られる干渉光の強度をそれぞれ測定する第 2 工程と、前記第 2 工程で測定された各々の前記干渉光の強度のうち、干渉光の強度が最大となる前記相対距離を推定距離として推定する第 3 工程と、前記第 3 工程で推定された前記推定距離の近傍にある複数の相対距離における各々の干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相を求める第 4 工程と、前記第 3 工程で推定された前記推定距離と、前記第 4 工程で求められた前記干渉光の位相とに基づいて、前記測定対象面の高さを求める第 5 工程とを備えていることを特徴とするものである。

本発明に係る表面形状測定方法によれば、第 1 工程では、参照面と測定対象面との相対距離を所定間隔で変動させ、第 2 工程では、第 1 工程で相対距離を変動させるたびに、参照面と測定対象面とによる干渉光の

強度を測定する。第3工程では、第2工程で測定された各々の干渉光の強度のうち、干渉光の強度が最大となる相対距離を推定距離として推定する。これら第1工程から第3工程までで、干渉光の強度変化から測定対象面の高さを測定するという垂直走査白色干渉法（V S I 法）における工程を行う。

第4工程では、第3工程で推定された推定距離の近傍にある複数の相対距離における各々の干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相を求め、第5工程では、第3工程で推定された推定距離と、第4工程で求められた干渉光の位相とに基づいて、測定対象面の高さを求める。これら第4工程と第5工程とで、各々の干渉光の強度に基づいて干渉光の位相を求め、その位相に基づいて測定対象面の高さを測定するという位相シフト干渉法（P S I 法）における工程を行う。

従って、第3工程で推定された推定距離に基づいて測定対象面の高さを確定することができ、測定対象面の高さを求めるのに位相接続（アンラッピング）処理を行う必要はなく、測定対象面が平滑面のみならず表面段差の大きい面においても測定を行うことができる。また、第3工程で推定距離を求めたうえで、第5工程で測定対象面の高さを求めているので、精度良く測定することができる。その結果、表面段差の大きい測定対象面においても精度良く測定することができる。

第4工程において、第3工程で推定された推定距離の近傍にある複数の相対距離における各々の干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相を求めるには、従来知られているP S I 法と同じく、3つ以上の相対距離における各々の干渉光の強度に関するデータがあればよく、代表的なものに3点データ法、4点データ法、5点データ法などがある。特に、4点データ法の場合には、具体的には下記のような方法がある。すなわち、推定距離の近傍にある4つの相対距離における各々の干渉光の強度に基

づいて、干渉光の位相変動量を  $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$  として求めるとともに、そのときにおける4つの干渉光の強度をそれぞれ  $A, B, C, D$  とし、求めるべき位相を  $\phi$  としたときに、 $\phi = \tan^{-1} \{ (A - C) / (B - D) \}$  なる式から位相  $\phi$  を求める。

- 5 第5工程において、第3工程で推定された推定距離と、第4工程で求められた干渉光の位相とに基づいて、測定対象面の高さを求めるには、具体的には下記のような方法がある。すなわち、 $N$  を整数とし、第2工程で参照面と測定対象面とに照射する光の波長を  $\lambda$  とし、第3工程で推定された推定距離に基づく推定高さを  $h_1$  とし、第4工程で求められた位相を  $\phi$  とし、第5工程で求めるべき測定対象面の高さを  $h_2$  としたときに、第5工程は、 $h_2 = \lambda / 2 \times \{ (\phi / 2\pi) + N \}$  なる式から測定対象面の高さ  $h_2$  が推定高さ  $h_1$  にもっとも近くなるように整数  $N$  を選択し、選択された  $N$  から測定対象面の高さ  $h_2$  を求める。
- 10

- また、第2工程で測定された干渉光の強度を用いて、第4工程は干渉光の位相を求めてもよいし、第2工程で測定された干渉光の強度から波形復元し、その波形復元の結果に基づいて、第4工程は干渉光の位相を求めてもよい。
- 15

- 前者の場合には、第1工程で相対距離を変動させる所定間隔は、第2工程で参照面と測定対象面とに照射する光の波長を  $\lambda$  としたときの  $\lambda/8$ 、または  $N$  を整数としたときの  $(N/2 + 1/8) \times \lambda$  である。かかる場合には、干渉光の位相変動量を  $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$  と、 $\pi/2$  ごとに動かすのに、位相変動量に対応する  $\lambda/8$  をそのまま利用することができる。従って、新たに波形を復元する必要はない。
- 20

- 後者の場合には、第1工程で前記相対距離を変動させる所定間隔は、第2工程で参照面と測定対象面とに照射する光の波長を  $\lambda$  としたときの  $\lambda/8$  よりも長く、かつナイキスト間隔よりも短く、第2工程で測定さ
- 25

れた干渉光の強度から標本化定理を用いて波形復元し、その波形復元の結果に基づいて、第4工程は干渉光の位相を求めてもよいし、第1工程で相対距離を変動させる所定間隔は、ナイキスト間隔よりも長く、第2工程で測定された干渉光の強度から帯域通過型標本化定理を用いて波形復元し、その波形復元の結果に基づいて、第4工程は干渉光の位相を求めてもよい。かかる場合には、所定間隔が $\lambda/8$ よりも長いので、前者の場合であって、所定間隔が $\lambda/8$ の場合と比較して、干渉光の強度のサンプリング個数を少なく取ることができ、干渉光の強度のサンプリング時間を短くすることができる。

10      また、第1工程とは別に、第4工程は、参照面と測定対象面との相対距離を再度に変動させ、その変動された各々の相対距離と、第3工程で推定された推定距離の近傍にある複数の相対距離における各々の干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相を求めてもよい。相対距離を再度に変動させる場合には、後述する第2工程で照射する光の光源と第4工程で  
15      照射する光の光源とが互いに異なるときにおいて有用である。

また、第2工程で参照面と測定対象面とに照射する光は、例えば白色光が好ましい。白色光の場合には最大を求める干渉光の強度変化（ピーク）がある程度鋭くなるので、第2工程の後の工程である第3工程において、干渉光の強度が最大となる相対距離を求めるのが容易になる。

20      なお、第2工程は、いわゆるV S I法の工程の一部であるが、第4工程以降は、いわゆるP S I法の工程の一部であるので、第2工程で照射する白色光をそのまま用いずに、第4工程は、第2工程で照射する白色光よりも周波数帯域が狭い白色光、または単色光を照射し、第2工程で照射する白色光よりも周波数帯域が狭い白色光、または単色光に関する  
25      各々の干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相を求めるのが好ましい。これは、第4工程で位相を求めるのに波長は既知であることが必要で、

このような光は、第 2 工程で照射する白色光よりも周波数帯域が狭い白色光、または単色光だからである。

また、第 2 工程で照射する白色光と、第 4 工程で照射する白色光または単色光とを互いに同一の光源で用い、第 2 工程で照射する白色光を狭い周波数帯域に制限し、それを第 4 工程で照射してもよいし、第 2 工程で照射する白色光と、第 4 工程で照射する白色光または単色光とをそれぞれ異なる光源で用いてもよい。

また、本発明に係る表面形状測定装置は、測定対象面と参照面とに照射する光を発生させる光源と、前記測定対象面と参照面との相対距離を所定間隔で変動させる変動手段と、前記光が照射された測定対象面と参照面との相対距離の変動に伴って発生する干渉縞の変化とともに前記測定対象面を撮像する撮像手段と、前記撮像された測定対象面上の複数の特定箇所における干渉光の強度値を取り込むために、前記変動手段による前記測定対象面と参照面との相対距離の変動によって変化する干渉縞に応じた特定箇所の干渉光の強度値について、前記所定間隔ごとに順次取り込むサンプリング手段と、前記サンプリング手段によって取り込まれた各特定箇所ごとの複数の強度値である各干渉光強度値群に基づいて前記複数の特定箇所の高さをそれぞれ求めることによって、前記測定対象面の凹凸形状を測定する演算手段とを備えた表面形状測定装置において、前記演算手段は、前記サンプリング手段によって取り込まれた干渉光強度値群のうち、干渉光の強度が最大となる前記相対距離を推定距離として推定する第 1 処理、推定された前記推定距離の近傍にある複数の相対距離における各々の干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相を求める第 2 処理、および推定された前記推定距離と、求められた前記干渉光の位相とに基づいて、前記特定箇所の高さを求める第 3 処理を行うことを特徴とするものである。

本発明に係る表面形状測定装置によれば、光源は光を発生させて、その光を測定対象面と参照面とにそれぞれ照射させる。変動手段は、光が照射された測定対象面と参照面との相対距離を変動させる。撮像手段は、測定対象面と参照面とでそれぞれ反射する光の光路差に応じて変化する干渉縞を撮像するとともに測定対象面を撮像しているので、測定対象面の凹凸形状に応じて干渉縞が発生または変化している様子の把握が可能になる。サンプリング手段は、撮像された測定対象面上の複数の特定箇所における干渉光の強度値を取り込むために、変動手段による測定対象面と参照面との相対距離の変動によって変化する干渉縞に応じた特定箇所の干渉光の強度値について、所定間隔ごとに順次取り込む。サンプリング手段によって取り込まれた各特定箇所ごとの複数の強度値である各干渉光強度値群に基づいて、複数の特定箇所の高さを演算手段がそれぞれ求めることによって、測定対象面の凹凸形状を測定する。

具体的には、演算手段は、サンプリング手段によって取り込まれた干渉光強度値群のうち、干渉光の強度が最大となる相対距離を推定距離として推定する第1処理を行い、推定された推定距離の近傍にある複数の相対距離における各々の干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相を求める第2処理を行い、さらに、推定された推定距離と、求められた干渉光の位相とに基づいて、特定箇所の高さを求める第3処理を行う。

すなわち、第1処理は、本発明に係る表面形状測定方法における第3工程に、第2処理は、本発明に係る表面形状測定方法における第4工程に、第3処理は、本発明に係る表面形状測定方法における第5工程にそれぞれ相当する。また、変動手段は、本発明に係る表面形状測定方法における第1工程を好適に実施することができ、変動手段および光源は、本発明に係る表面形状測定方法における第2工程を好適に実施することができる。

以上より、本発明に係る表面形状測定装置によれば、本発明に係る表面形状測定方法を好適に実施することができる。

#### 図面の簡単な説明

- 5 第1図は、本発明の第1実施例に係る表面形状測定装置の概略構成図を示したブロック図であり、
- 第2図は、干渉縞が発生するメカニズムを説明するための説明図であり、
- 第3図は、V S I法によって推定高さを求める手法を説明するための説明図であり、
- 10 第4図は、V S I法によって推定高さを求める手法を説明するための説明図であり、
- 第5図は、第1実施例に係る表面形状測定方法における処理を示すフローチャートであり、
- 15 第6図は、第2実施例に係る表面形状測定装置の概略構成図を示したブロック図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

従来の問題点を解決するための形態として、以下のものがある。

##### 20 <第1実施例>

- 本発明の第1実施例について図面を参照しながら説明する。第1図は本発明の第1実施例に係る表面形状測定装置の概略構成図を示したブロック図、第2図は干渉縞が発生するメカニズムを説明するための説明図であり、第3図、第4図はV S I法によって推定高さを求める手法を説明するための説明図、第5図は第1実施例に係る表面形状測定方法における処理を示すフローチャートである。
- 25

第2図に示すように、ハーフミラー16から参照面15までの距離を距離 $L_1$ として、ハーフミラー16から距離 $L_1$ だけ離れた位置にある面を面Eとする。また、試料台50を基準として、そこから面Eまでの高さ $h$ を干渉計の位置とし、試料の測定対象面31上の点Pの高さを $h_p$ とする。

第1実施例に係る表面形状測定装置は、第1図に示すように、半導体ウエハ、ガラス基板や金属基板などの測定対象物30の測定対象面31上に形成された微細なパターンに、特定周波数帯域の白色光を照射する光学系ユニット1と、光学系ユニット1を制御する制御系ユニット2とを備えて構成されている。

光学系ユニット1は、測定対象面31および参照面15に照射する白色光を発生させる白色光源10と、白色光源10から白色光を平行光にするコリメートレンズ11と、白色光源10からの白色光よりも周波数帯域が狭い白色光に制限する（第1実施例では中心波長600nmで帯域幅20nm）バンドパスフィルタ12と、バンドパスフィルタ12を通過してきた白色光あるいは、バンドパスフィルタ12を通過せずに白色光源10から直接的に照射されてきた白色光を測定対象物30の方向に反射する一方、測定対象物30の方向からの白色光を通過させるハーフミラー13と、ハーフミラー13で反射されてきた白色光を集光する対物レンズ14と、対物レンズ14を通過してきた白色光を、参照面15へ反射させる参照光と、測定対象面31へ通過させる測定光とに分けるとともに、参照面15で反射してきた参照光と測定対象面31で反射してきた測定光とを再びまとめて、干渉縞を発生させるハーフミラー16と、対物レンズ14、参照面15、およびハーフミラー16を上下左右に駆動するアクチュエータ17と、参照光と測定光とがまとめられた白色光を結像する結像レンズ18と、干渉縞とともに測定対象面31を

撮像するＣＣＤカメラ１９とを備えて構成されている。

白色光源１０は、例えば白色光ランプなどであり、比較的広い周波数帯域の白色光を発生させる。この白色光源１０から発生された白色光は、コリメートレンズ１１によって平行光とされ、バンドパスフィルタ１  
5 ２に入射する。

バンドパスフィルタ１２は、特定周波数帯域の白色光だけを通過させるためのフィルタであり、白色光源１０からＣＣＤカメラ１９までの光路に取り付けられる。好ましくは、白色光源１０から、その白色光源１  
0 ０からの白色光が参照面１５への参照光と測定対象面３１への測定光に分かれる位置までの間の光路に取り付けられる。この実施例では、例えばコリメートレンズ１１と、ハーフミラー１３との間の光路に取り付けられている。バンドパスフィルタ１２としては、例えば、中心波長６０  
0 nm、バンド幅（帯域幅）２０nmの帯域通過型光学干渉フィルタなどを利用する。このバンドパスフィルタ１２に入射した比較的広い周波  
15 数帯域の白色光は、その周波数帯域が狭められ、特定周波数帯域の白色光だけがバンドパスフィルタ１２を通過する。バンドパスフィルタ１２は、本発明における周波数帯域制限手段に相当する。

なお、この実施例では、バンドパスフィルタ１２は、後述するフィルタ切換部２４によって切換可能に構成されており、後述するステップＳ  
20 １～Ｓ５では、フィルタ切換部２４によってバンドパスフィルタ１２は、コリメートレンズ１１と、ハーフミラー１３との間の光路外に待避されており、白色光源１０から発生した白色光はバンドパスフィルタ１２を通過せずに比較的広い周波数帯域のままとなる。一方、後述するステップＳ６以降では、フィルタ切換部２４によってバンドパスフィルタ１  
25 ２は、コリメートレンズ１１と、ハーフミラー１３との間の光路に取り付けられており、バンドパスフィルタ１２を通過して周波数帯域が狭い

白色光に制限される。

なお、本明細書では、バンドパスフィルタ 1 2 を通過せずに白色光源 1 0 から直接的に照射されてきた白色光を『第 1 白色光』と定義づけるとともに、バンドパスフィルタ 1 2 を通過してきた周波数帯域が狭い白色光を『第 2 白色光』と定義づける。

ハーフミラー 1 3 は、第 1 白色光または第 2 白色光を測定対象物 3 0 の方向に向けて反射する一方、測定対象物 3 0 の方向から戻ってきた白色光を通過させるものである。このハーフミラー 1 3 で反射された第 1 / 第 2 白色光は、対物レンズ 1 4 に入射する。

10 対物レンズ 1 4 は、入射してきた白色光を焦点 P に向けて集光するレンズである。この対物レンズ 1 4 によって集光される第 1 / 第 2 白色光は、参照面 1 5 を通過し、ハーフミラー 1 6 に到達する。

ハーフミラー 1 6 は、対物レンズ 1 4 で集光される第 1 / 第 2 白色光を、参照面 1 5 で反射させるために、ハーフミラー 1 6 で反射させる参照光と、測定対象面 3 1 で反射させるために、ハーフミラー 1 6 を通過させる測定光とに分けるとともに、それら参照光と測定光とを再びまとめることによって、干渉縞を発生させるものである。ハーフミラー 1 6 に達した白色光は、ハーフミラー 1 6 で反射された参照光と、ハーフミラー 1 6 を通過する測定光とに分けられ、その参照光は参照面 1 5 に達し、その測定光は測定対象面 3 1 に達する。

参照面 1 5 によって反射された参照光は、ハーフミラー 1 6 に達し、さらに、この参照光はハーフミラー 1 6 によって再度に反射される。

ハーフミラー 1 6 を通過した測定光は、焦点 P に向けて集光され、測定対象面 3 1 上で反射する。この反射した測定光は、ハーフミラー 1 6 に達して、そのハーフミラー 1 6 を通過する。

ハーフミラー 1 6 は、参照光と測定光とを再びまとめる。このとき、

参照面 1 5 とハーフミラー 1 6 との間の距離  $L_1$  と、ハーフミラー 1 6 と測定対象面 3 1 との間の距離  $L_2$  との、距離の違いによって光路差が生じる。この光路差に応じて、参照光と測定光とが干渉し合うことで、干渉縞が生じる。この干渉縞が生じた状態の白色光は、ハーフミラー 1 5 3 を通過し、結像レンズ 1 8 によって結像されて、CCD カメラ 1 9 に入射する。

アクチュエータ 1 7 は、光学系ユニット 1 内の参照面 1 5 とハーフミラー 1 6 との間の固定された距離  $L_1$  と、ハーフミラー 1 6 と測定対象面 3 1 との間の可変の距離  $L_2$  との距離の差を変化させるために、対物レンズ 1 4, 参照面 1 5, およびハーフミラー 1 6 を直交 3 軸方向に変動させる装置であり、CPU 2 0 からの指示によって対物レンズ 1 4, 参照面 1 5, およびハーフミラー 1 6 を X, Y, Z 軸方向に駆動するように構成されている。本実施例では、対物レンズ 1 4, 参照面 1 5, およびハーフミラー 1 6 を動作させるが、光学系ユニット 1 全体を動作させてもよいし、例えば測定対象物 3 0 が載置される図示していないテーブルを直交 3 軸方向に変動させるようにしてもよい。アクチュエータ 1 7 は、本発明における変動手段に相当する。

なお、本発明における変動手段は、上下左右に駆動する例えば 3 軸駆動型のサーボモータなどの駆動機構などであってもよい。

CCD カメラ 1 9 は、干渉縞が生じた状態の白色光とともに、測定光によって映し出される測定対象面 3 1 の焦点 P 付近の画像を撮像する。この撮像した画像データは、制御系ユニット 2 によって収集される。また、アクチュエータ 1 7 によって、対物レンズ 1 4, 参照面 1 5, およびハーフミラー 1 6 が上下左右に変動される。これらが上下方向に駆動されることによって、距離  $L_1$  と距離  $L_2$  との距離が変動される。これにより、距離  $L_1$  と距離  $L_2$  との距離の差に応じて、干渉縞が徐々に変

化する。ＣＣＤカメラ１９によって、後述するサンプリング間隔（第１実施例では $\lambda/8$ ）ごとに、干渉縞の変化とともに測定対象面３１の画像が撮像され、その画像データが制御系ユニット２によって収集される。ＣＣＤカメラ１９は、本発明における撮像手段に相当する。また、サンプリング間隔は、本発明における所定間隔に相当する。

制御系ユニット２は、表面形状測定装置の全体を統括的に制御したり、所定の演算処理を行うためのＣＰＵ２０と、ＣＰＵ２０によって逐次収集された画像データやＣＰＵ２０での演算結果などの各種のデータを記憶するメモリ２１と、サンプリング間隔やその他の設定情報を入力するマウスやキーボードなどの入力部２２と、測定対象面３１の画像などを表示するモニタ２３と、ＣＰＵ２０の指示に応じてバンドパスフィルタ１２を切り換えるフィルタ切換部２４とを備えるコンピュータシステムで構成されている。なお、ＣＰＵ２０は、本発明におけるサンプリング手段および演算手段に相当する。

ＣＰＵ２０は、いわゆる中央処理装置であって、ＣＣＤカメラ１９、メモリ２１および光学系ユニット１のアクチュエータ１７を制御するとともに、ＣＣＤカメラ１９で撮像した干渉縞を含む測定対象面３１の画像データに基づいて、測定対象面３１の凹凸形状を測定する処理を行う。この処理については後で詳細に説明する。さらに、ＣＰＵ２０には、モニタ２３と、キーボードやマウスなどの入力部２２とが接続されており、操作者は、モニタ２３に表示される操作画面を観察しながら、入力部２２から各種の設定情報の入力を行う。また、モニタ２３には、測定対象面３１の測定終了後に、測定対象面３１の凹凸形状が数値や画像として表示される。

フィルタ切換部２４は、後述するステップＳ１～Ｓ５では、白色光源１０から発生した白色光がバンドパスフィルタ１２を通過せずに測定対

象物 30 に直接的に入射できるように、すなわち第 1 白色光を測定対象物 30 に直接的に照射できるように、コリメートレンズ 11 と、ハーフミラー 13 との間の光路外にバンドパスフィルタ 12 を待避させており、後述するステップ S 6 以降では、白色光源 10 から発生した白色光が

5 バンドパスフィルタ 12 を通過して周波数帯域が狭い白色光（第 2 白色光）に制限した状態で、測定対象物 30 に入射できるように、コリメートレンズ 11 と、ハーフミラー 13 との間の光路にバンドパスフィルタ 12 を取り付けられている。つまり、フィルタ切換部 24 は、コリメートレンズ 11 と、ハーフミラー 13 との間の光路内外にバンドパスフィルタ

10 12 を変動させる装置である。アクチュエータ 19 と同様に、フィルタ切換部 24 は、CPU 20 からの指示によってバンドパスフィルタ 12 を X, Y, Z 軸方向に駆動するように構成されている。

以下、本実施例の表面形状測定装置全体で行なわれる処理を、第 5 図のフローチャートを参照して説明する。

15 ステップ S 1（第 1 白色光に設定）

まず、フィルタ切換部 24 は、バンドパスフィルタ 12 を、コリメートレンズ 11 とハーフミラー 13 との間の光路外へ待避させた状態で、白色光源 10 から白色光を発生させる。これによって白色光源 10 から発生した白色光は、バンドパスフィルタ 12 を通過せずに、比較的広い

20 周波数帯域のまま、測定対象物 30、さらには参照面 15 に入射されることになる。バンドパスフィルタ 12 を、コリメートレンズ 11 とハーフミラー 13 との間の光路外へ待避させることで、第 1 白色光の設定が行われる。設定後、ステップ S 6 の第 2 白色光の設定まで、第 1 白色光を、測定対象面 31 および参照面 15 に照射する。

25 ステップ S 2（所定間隔ごとに相対距離を変動）

CPU 20 は、予め所定の測定場所に移動された光学系ユニット 1 を

z 軸方向に移動を開始させるための変動開始の指示をアクチュエータ 17 に与える。アクチュエータ 17 は、対物レンズ 14、参照面 15、およびハーフミラー 16 を z 軸方向に予め決められた距離だけ移動させる。これにより、参照面 15 と測定対象面 31 との相対距離が変動される。  
5 。このステップ S 2 は、本発明における第 1 工程に相当する。

この実施例では、所定間隔、すなわちサンプリング間隔を波長  $\lambda$  の  $1/8$  倍 ( $\lambda/8$ ) ごとに相対距離を変動させるべく、z 軸方向に移動させる。なお、最初のサンプリング地点を  $h_0$  とし、サンプリング間隔を  $\Delta$  とし、サンプリング間隔  $\Delta$  ごとに  $h_0 + \Delta$ ,  $h_0 + 2\Delta$ , ...,  $h_0 + (n$   
10  $- 1)\Delta$ ,  $h_0 + n\Delta$  と z 軸方向に動かし、CCD カメラ 19 が撮像する干渉縞を含む測定対象面 31 の画像データについて、サンプリング間隔ごとに番号を付する。第 3 図に示すように、サンプリング地点  $h_0$  のときには、番号を  $i_0$  とし、サンプリング地点  $h_0 + \Delta$  のときには、番号を  $i_1$  とする。以下、同様の手順で番号を付する。

15 また、参照面 15・測定対象面 31 の両面からそれぞれ反射されて得られた干渉光の強度（インターフェログラム）を  $g(h)$  とすると、サンプリング間隔ごとに、 $g(h_0)$ ,  $g(h_0 + \Delta)$ ,  $g(h_0 + 2\Delta)$ , ...,  $g(h_0 + n\Delta)$  と干渉光強度値群が得られる。

ステップ S 3（所定のデータ数が得られたか？）

20 干渉光の強度群について、所定のデータ数が得られていなければ、ステップ S 2 に戻って、ステップ S 2 で所定間隔（サンプリング間隔）ごとに相対距離を変動させて、サンプリング間隔ごとに参照面 15 と測定対象面 31 とに白色光を照射させて干渉光の強度を得る。所定のデータ数が得られていれば、ステップ S 4 に移行する。このステップ S 3 は、  
25 本発明における第 2 工程に相当する。

ステップ S 4（包絡線を求める）

干渉光強度値群のうち、干渉光の強度変化が最大になるサンプリング地点が、測定対象面の高さとなるが、実際には、所定間隔ごとにサンプリングデータが離散しているので、 $g(h)$  から干渉光の強度が最大になる位置を求めるのは難しい。そこで、インターフェログラムの包絡線  
5 や、本発明者らが先に提案した『日本国 特開 2001-066122 号公報』の発明にある特性関数が最大にある位置に基づいて、測定対象面の高さを求める。

この実施例では、包絡線を求め、この包絡線が最大になる位置を推定高さとするとともに、この推定高さを  $h_1$  とする。

10 包絡線を求めるべく、各干渉光強度値群から、干渉光強度値群の平均値を減算して、減算されたデータを 2 乗する。そして、バンドパスフィルタ 12 で平滑化することで、第 4 図に示す包絡線が得られる。

ステップ S 5 (推定高さを求める)

包絡線が得られたら、この包絡線が最大になる位置となる推定高さ  $h_1$   
15 を求める。このときの画像番号が  $i_j$  であれば、推定高さ  $h_1$  は、 $h_0 + J\Delta$  となる。このステップ S 5 は、本発明における第 3 工程に相当し、本発明における第 1 処理にも相当する。

ステップ S 6 (第 2 白色光に設定)

フィルタ切換部 24 は、バンドパスフィルタ 12 を、コリメートレンズ 11 とハーフミラー 13 との間の光路に取り付ける。これによって白  
20 色光源 10 から発生した白色光は、バンドパスフィルタ 12 を通過して、周波数帯域が狭い白色光に制限され、測定対象物 30、さらには参照面 15 に入射されることになる。バンドパスフィルタ 12 を、コリメートレンズ 11 とハーフミラー 13 との間の光路に取り付けることで、第  
25 2 白色光の設定が行われる。設定後、ステップ S 11 の表示まで、第 2 白色光を、測定対象面 31 および参照面 15 に照射する。

ステップ S 7 (推定高さの近傍におけるサンプリング地点の抽出)

推定高さの近傍にある 4 つのサンプリング地点を抽出する。この実施例では、 $h_1$ ,  $h_1 + \Delta$ ,  $h_1 + 2\Delta$ ,  $h_1 + 3\Delta$  を抽出するが、 $h_1 - \Delta$ ,  $h_1$ ,  $h_1 + \Delta$ ,  $h_1 + 2\Delta$  であってもよいし、 $h_1 - 2\Delta$ ,  $h_1 - \Delta$ ,  $h_1$ ,  $h_1 + \Delta$  であってもよいし、 $h_1 - 3\Delta$ ,  $h_1 - 2\Delta$ ,  $h_1 - \Delta$ ,  $h_1$  であってもよい。

なお、サンプリング間隔  $\Delta$  は、 $\lambda / 8$  であって、干渉光の位相変動量では  $\pi / 2$  に対応する。そして、抽出された位置に設定して、ステップ S 8 を行う。

10 ステップ S 8 (干渉光の位相を求める)

$h_1$ ,  $h_1 + \Delta$ ,  $h_1 + 2\Delta$ ,  $h_1 + 3\Delta$  のときにおける各干渉光の強度を A, B, C, D とする。また、求めるべき干渉光の位相差を  $\phi$  とすると、位相差  $\phi$  は、A, B, C, D を用いて上記 (2) 式から求められる。このステップ S 8 は、本発明における第 4 工程に相当し、本発明における第 2 処理にも相当する。

15 ステップ S 9 (測定対象面の高さを求める)

最終的に求められる測定対象面の高さを  $h_2$  とする。位相  $\phi$  が求められたら、上記 (1) 式の左辺の  $h$  を  $h_2$  とし、高さ  $h_2$  が推定高さ  $h_1$  にもっとも近くなるように整数 N を選択し、選択された N から測定対象面の高さ  $h_2$  を求める。このステップ S 9 は、本発明における第 5 工程に相当し、本発明における第 3 処理にも相当する。

20 ステップ S 10 (全特定箇所が終了?)

CPU 20 は、全ての特定箇所が終了するまで、ステップ S 1 ~ S 9 の処理を繰り返し行い、全ての特定箇所の高さを求める。

25 なお、実際にはテレビカメラ (2 次元 CCD センサ) で検出するので、ステップ S 10 は計算のステップだけが繰り返されることになる。

## ステップ S 1 1 (表示)

CPU 20 は、モニタ 23 に特定箇所の高さの情報を表示したり、それら各特定箇所の高さの情報に基づいた 3 次元または 2 次元の画像を表示する。操作者は、これらの表示を観察することで、測定対象物 30 の

5 測定対象面 31 の凹凸形状を把握することができる。

上述した第 1 実施例によれば、ステップ S 2 では、参照面と前記測定対象面との相対距離を所定間隔であるサンプリング間隔  $\Delta$  で変動させ、

ステップ S 3 では、サンプリング間隔  $\Delta$  で変動させるたびに、白色光を参照面と測定対象面とで得られる干渉光の強度をそれぞれ測定する。ス

10 テップ S 5 では、ステップ S 3 で測定された各干渉光強度値群のうち、干渉光の強度が最大となる推定高さを求める。この実施例では、ステップ S 4 で法絡線を求め、この包絡線が最大になる推定高さをステップ S 5 で求める。これらステップ S 1 ~ S 5 までで、干渉光の強度を測定するまでの垂直走査白色干渉法 (VSI 法) における工程を行う。

15 ステップ S 8 では、ステップ S 5 で推定された推定高さに基づいて、干渉光の位相差  $\phi$  を求め、ステップ S 9 では、ステップ S 5 で推定された推定高さと、ステップ S 8 で求められた干渉光の位相差  $\phi$  とに基づいて、測定対象面の高さを求める。ステップ S 9 で、各々の干渉光の強度に基づいて干渉光の位相を求め、その位相に基づいて測定対象面の高さを

20 を測定するまでの位相シフト干渉法 (PSI 法) における工程を行う。

従って、ステップ S 5 で推定された推定高さに基づいて測定対象面の高さを確定することができ、測定対象面の高さを求めるのに位相接続 (アンラッピング) 処理を行う必要はなく、測定対象面が平滑面のみならず表面段差の大きい面においても測定を行うことができる。また、ス

25 テップ S 5 で推定高さを求めたうえで、ステップ S 9 で測定対象面の高さを求めているので、精度良く測定することができる。その結果、表面段

差の大きい測定対象面においても精度良く測定することができる。

5     サンプリング間隔 $\Delta$ が、 $\lambda/8$ の場合には、4つのサンプリング地点における各々の干渉光の位相の変動は、 $\lambda/8$ に対応する $\pi/2$ であって、ステップS8では、サンプリング間隔 $\Delta$ ごとの各干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相を求める。

10     かかる場合には、干渉光の位相変動量を0,  $\pi/2$ ,  $\pi$ ,  $3\pi/2$ と、 $\pi/2$ ごとに動かすのに、位相変動量に対応する $\lambda/8$ をそのまま利用することができるので、新たに波形を復元する必要はなく、既に求められた $\lambda/8$ であるサンプリング間隔ごとの各干渉光の強度を利用して、干渉光の位相を求めることができる。

また、参照面と測定対象面とに照射する光は、白色光であって、白色光の場合、単色光と比較すると干渉性が低く、最大を求める干渉光の強度変化（ピーク）がある程度鋭くなるので、ステップS5において、干渉光の強度が最大になる推定高さを求めるのが容易になる。

15     なお、ステップS3は、いわゆるVSI法の工程の一部であるが、ステップS8以降は、いわゆるPSI法の工程の一部であるので、ステップS1～S6で照射する白色光（第1白色光）をそのまま用いずに、ステップS7～S10は、ステップS1～S6で照射する白色光よりも周波数帯域が狭い白色光（第2白色光）を照射し、第2白色光に関する各々の干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相を求めている。これは、ステップS8で位相を求めるのに、波長 $\lambda$ は既知であることが必要で、このような光は、ステップS3で照射する第1白色光よりも周波数帯域が狭い白色光だからである。なお、この実施例では、第1／第2白色光は、単色光でない

20     白色光はある程度周波数帯域が狭まっているので周波数帯域内の所定の波長を既知の波長 $\lambda$ として決定するとともに、 $\lambda/8$ であるサンプリン

25

グ間隔 $\Delta$ を決定すればよい。

### ＜第2実施例＞

次に、本発明の第2実施例を説明する。なお、第1実施例と共通する箇所については同符号を付して、その説明を省略する。第2実施例に係る表面形状測定装置は、第6図に示すように、光学系ユニット1に白色光源10とは別の光源の白色光源10bを備えており、第1実施例の制御系ユニット2内のフィルタ切換部24の替わりに、制御系ユニット2に白色光源10、10bを切り換える光源切換部25を備えている。この白色光源10bから発生する白色光は、白色光源10から発生する白色光よりも周波数帯域が狭くなるように構成されている。つまり、白色光源10から発生する白色光は第1白色光となり、白色光源10bから発生する白色光は第2白色光となる。

表面形状測定方法における処理は、第1実施例と同じなので、その説明を省略する。

この場合には、第1実施例と相違し、周波数帯域が狭い白色光に制限するためのバンドパスフィルタ12を備えていないが、バンドパスフィルタ12を備えるのが好ましい。

本発明は、上記実施形態に限られることはなく、下記のように変形実施することができる。

(1) 上述した第1、第2実施例では、光学系ユニット1は、いわゆる『マイケルソン干渉計』と呼ばれるものであったが、いわゆる『ミラウ干渉計』と呼ばれる光学系ユニットを用いてもよい（『日本国 特開2001-066122号公報』を参照）。

(2) 上述した第1、第2実施例では、 $h_1$ 、 $h_1 + \Delta$ 、 $h_1 + 2\Delta$ 、 $h_1 + 3\Delta$ の4点を抽出する、いわゆる『4点データ法』で位相を求めたが、3つ以上の干渉光の強度に関するデータがあればよく、代表的なも

のに 3 点データ法, 5 点データ法などがある。

(3) 上述した第 1, 第 2 実施例では、V S I 法では比較的広めの白色光 (第 1 白色光) を、P S I 法では狭帯域の白色光 (第 2 白色光) を用いたが、波長  $\lambda$  をある程度特定することができるのであれば、V S I  
5 法と同じ白色光を P S I 法で用いてもよい。

また、P S I 法では狭帯域の白色光であったが、単色光であってもよい。単色光の場合には波長  $\lambda$  は完全に既知となるので、サンプリング間隔  $\Delta$  をより簡易に決定し易くなる。また、第 1 実施例の場合には、バンドパスフィルタ 12 は単色光のみを通過させるフィルタを利用し、第 2  
10 実施例の場合には、単色光を発生させる光源を白色光源 10 とは別に備える。

(4) 上述した第 1 実施例では、サンプリング間隔を  $\lambda / 8$  としたが、それより長くてもよい。

波形を復元しない場合には、 $N$  を整数としたときに、サンプリング間  
15 隔を  $(N / 2 + 1 / 8) \times \lambda$  としてもよい。 $N \lambda / 2$  が 1 周期に対応するので、このサンプリング間隔を位相に対応させると、違う周期ごとにサンプリングを行うことになる。つまり、 $N$  が 1 の場合には、 $0, 5 \lambda / 8 (= \lambda / 2 + \lambda / 8), 5 \lambda / 4 (= \lambda + \lambda / 4), \dots$  に対応させると干渉光の位相変動量は、 $0, 5 \pi / 2 (= 2 \pi + \pi / 2), 5 \pi (= 4 \pi + \pi), \dots$  と動く。もちろん、 $N$  が 1 以外であってもよいし、 $N$   
20 をサンプリングごとにランダムに変更してもよい。この場合も、干渉光の位相変動量を  $0, \pi / 2, \pi, 3 \pi / 2$  と、 $\pi / 2$  ごとに動かすのに、位相変動量に対応する  $\lambda / 8$  をそのまま利用することができるので、新たに波形を復元する必要はない。

25 波形を復元させる場合には、例えば、以下のような方法がある。標本化定理を用いる場合には、サンプリング間隔は、 $\lambda / 8$  よりも長く、ナ

イキスト間隔よりも短くとればよく、帯域通過型標本化定理を用いる場合には、サンプリング間隔は、ナイキスト間隔よりも長くてもよい。いずれの場合にも、標本化定理あるいは帯域通過型定理を用いて波形を復元する必要があるが、サンプリング間隔が $\lambda/8$ よりも長いので、サンプリング間隔が $\lambda/8$ の場合と比較して、干渉光の強度のサンプリング個数を少なく取ることができ、干渉光の強度のサンプリング時間を短くすることができる。

(5) 上述した第1実施例では、包絡線を干渉光の強度として置き換えたが、インターフェログラムであってもよいし、本発明者らが先に提案した『日本国 特開2001-066122号公報』の発明にある特性関数を干渉光の強度として置き換えて、置き換えられた関数が最大になる位置を求めてもよい。

(6) 上述した第1, 第2実施例では、VSI法とPSI法とにおいて用いる光が異なっている。従って、ステップS2で参照面と測定対象面との相対距離( $L_1 + L_2$ )を変動させて干渉光の強度を得て、ステップS6で、参照面と測定対象面との相対距離を再度に変動させて干渉光の強度を得るのが好ましい。もちろん、VSI法と同一の光をPSI法でも用いる場合には、再度に変動させて干渉光の強度を得る必要はない。

20

#### 産業上の利用可能性

以上のように、本発明に係る表面形状測定方法およびその装置は、半導体ウエハや液晶表示器用ガラス基板などの精密加工品のみならず、半導体バンプや金属加工面など表面段差の大きい測定対象面を有する測定対象物の凹凸形状を、光干渉を用いて測定するのに適している。

25

## 請求の範囲

1. 光干渉に基づいて測定対象面の凹凸形状を測定する表面形状測定  
5 方法であって、

参照面と前記測定対象面との相対距離を所定間隔で変動させる第1工程と、

前記第1工程で前記相対距離を変動させるたびに、光を前記参照面と  
前記測定対象面とに照射することで得られる干渉光の強度をそれぞれ測  
10 定する第2工程と、

前記第2工程で測定された各々の前記干渉光の強度のうち、干渉光の  
強度が最大となる前記相対距離を推定距離として推定する第3工程と、

前記第3工程で推定された前記推定距離の近傍にある複数の相対距離  
における各々の干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相を求める第4工程と、  
15 程と、

前記第3工程で推定された前記推定距離と、前記第4工程で求められ  
た前記干渉光の位相とに基づいて、前記測定対象面の高さを求める第5  
工程と

を備えていることを特徴とする表面形状測定方法。

20 2. 請求項1に記載の表面形状測定方法において、

前記第4工程は、前記推定距離の近傍にある3つ以上の相対距離にお  
ける各々の干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相を求めることを特徴  
とする表面形状測定方法。

3. 請求項2に記載の表面形状測定方法において、

25 前記第4工程は、前記推定距離の近傍にある4つの相対距離における  
各々の干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相変動量を  $0$ ,  $\pi/2$ ,  $\pi$

，  $3\pi/2$  として求めるとともに、そのときにおける4つの干渉光の強度をそれぞれA，B，C，Dとし、求めるべき位相を $\phi$ としたときに、  
 $\phi = \tan^{-1} \{ (A - C) / (B - D) \}$  なる式から位相 $\phi$ を求めることを特徴とする表面形状測定方法。

- 5      4．請求項1から請求項3のいずれかに記載の表面形状測定方法において、

Nを整数とし、前記第2工程で前記参照面と前記測定対象面とに照射する光の波長を $\lambda$ とし、前記第3工程で推定された前記推定距離に基づき推定高さを $h_1$ とし、前記第4工程で求められた位相を $\phi$ とし、前記  
 10    第5工程で求めるべき前記測定対象面の高さを $h_2$ としたときに、

前記第5工程は、 $h_2 = \lambda / 2 \times \{ (\phi / 2\pi) + N \}$  なる式から測定対象面の高さ $h_2$ が前記推定高さ $h_1$ にもっとも近くなるように整数Nを選択し、選択されたNから測定対象面の高さ $h_2$ を求めることを特徴とする表面形状測定方法。

- 15      5．請求項1から請求項4のいずれかに記載の表面形状測定方法において、

前記第2工程で測定された干渉光の強度を用いて、前記第4工程は干渉光の位相を求めることを特徴とする表面形状測定方法。

- 20      6．請求項5に記載の表面形状測定方法において、  
 前記第1工程で前記相対距離を変動させる前記所定間隔は、前記第2工程で前記参照面と前記測定対象面とに照射する光の波長を $\lambda$ としたときの $\lambda/8$ であることを特徴とする表面形状測定方法。

- 7．請求項5に記載の表面形状測定方法において、  
 前記第1工程で前記相対距離を変動させる前記所定間隔は、前記第2  
 25    工程で前記参照面と前記測定対象面とに照射する光の波長を $\lambda$ とし、Nを整数としたときの $(N/2 + 1/8) \times \lambda$ であることを特徴とする表

面形状測定方法。

8. 請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載の表面形状測定方法において、

前記第 2 工程で測定された干渉光の強度から波形復元し、その波形復  
5 元の結果に基づいて、前記第 4 工程は干渉光の位相を求めることを特徴とする表面形状測定方法。

9. 請求項 8 に記載の表面形状測定方法において、  
前記第 1 工程で前記相対距離を変動させる前記所定間隔は、前記第 2 工  
程で前記参照面と前記測定対象面とに照射する光の波長を  $\lambda$  としたとき  
10 の  $\lambda/8$  よりも長く、かつナイキスト間隔よりも短く、

前記第 2 工程で測定された干渉光の強度から標本化定理を用いて波形  
復元し、その波形復元の結果に基づいて、前記第 4 工程は干渉光の位相  
を求めることを特徴とすることを特徴とする表面形状測定方法。

10. 請求項 8 に記載の表面形状測定方法において、  
15 前記第 1 工程で前記相対距離を変動させる前記所定間隔は、ナイキスト  
間隔よりも長く、

前記第 2 工程で測定された干渉光の強度から帯域通過型標本化定理を  
用いて波形復元し、その波形復元の結果に基づいて、前記第 4 工程は干  
渉光の位相を求めることを特徴とする表面形状測定方法。

20 11. 請求項 1 から請求項 10 のいずれかに記載の表面形状測定方法  
において、

前記第 1 工程とは別に、前記第 4 工程は、前記参照面と前記測定対象  
面との相対距離を再度に変動させ、その変動された各々の相対距離と、  
前記第 3 工程で推定された前記推定距離の近傍にある複数の相対距離に  
25 おける各々の干渉光の強度とに基づいて、干渉光の位相を求めることを  
特徴とする表面形状測定方法。

1 2. 請求項 1 から請求項 1 1 のいずれかに記載の表面形状測定方法において、

前記第 2 工程で前記参照面と前記測定対象面とに照射する光は、白色光であることを特徴とする表面形状測定方法。

5 1 3. 請求項 1 から請求項 1 1 のいずれかに記載の表面形状測定方法において、

前記第 2 工程で前記参照面と前記測定対象面とに照射する光は、白色光であって、

第 2 工程で照射するその白色光を第 1 白色光とし、

10 前記第 2 工程とは別に、前記第 4 工程は、前記第 2 工程で照射する前記第 1 白色光よりも周波数帯域が狭い白色光である第 2 白色光を照射し、前記第 3 工程で推定された前記推定距離の近傍にある複数の相対距離における前記第 2 白色光に関する各々の干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相を求めることを特徴とする表面形状測定方法。

15 1 4. 請求項 1 から請求項 1 1 のいずれかに記載の表面形状測定方法において、

前記第 2 工程で前記参照面と前記測定対象面とに照射する光は、白色光であって、

20 前記第 2 工程とは別に、前記第 4 工程は、単色光を照射し、前記第 3 工程で推定された前記推定距離の近傍にある複数の相対距離における前記単色光に関する各々の干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相を求めることを特徴とする表面形状測定方法。

1 5. 請求項 1 3 または請求項 1 4 に記載の表面形状測定方法において、

25 前記第 2 工程で照射する白色光と、前記第 4 工程で照射する第 2 白色光または単色光とは互いに同一の光源で用いられており、前記第 2 工程

で照射する白色光を狭い周波数帯域に制限することで、前記第 4 工程で第 2 白色光または単色光を照射することを特徴とする表形状測定方法。

16. 請求項 13 または請求項 14 に記載の表面形状測定方法において、

- 5 前記第 2 工程で照射する白色光と、前記第 4 工程で照射する第 2 白色光または単色光とは互いに異なる光源でそれぞれ用いられることを特徴とする表面形状測定方法。

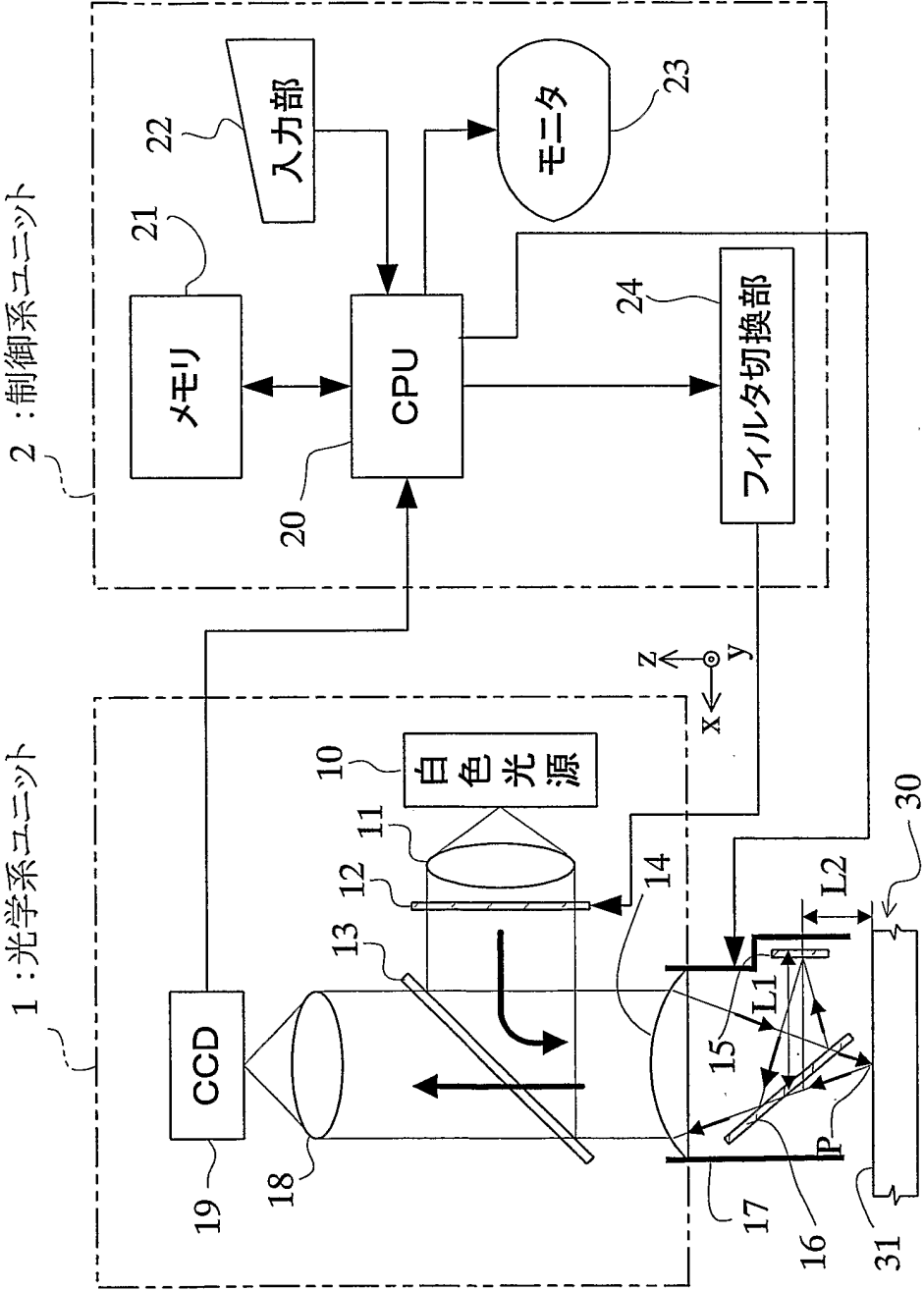
17. 測定対象面と参照面とに照射する光を発生させる光源と、前記測定対象面と参照面との相対距離を所定間隔で変動させる変動手段と、
- 10 前記光が照射された測定対象面と参照面との相対距離の変動に伴って発生する干渉縞の変化とともに前記測定対象面を撮像する撮像手段と、前記撮像された測定対象面上の複数の特定箇所における干渉光の強度値を取り込むために、前記変動手段による前記測定対象面と参照面との相対距離の変動によって変化する干渉縞に応じた特定箇所の干渉光の強度値
- 15 について、前記所定間隔ごとに順次取り込むサンプリング手段と、前記サンプリング手段によって取り込まれた各特定箇所ごとの複数の強度値である各干渉光強度値群に基づいて前記複数の特定箇所の高さをそれぞれ求めることによって、前記測定対象面の凹凸形状を測定する演算手段とを備えた表面形状測定装置において、
- 20 前記演算手段は、前記サンプリング手段によって取り込まれた干渉光強度値群のうち、干渉光の強度が最大となる前記相対距離を推定距離として推定する第 1 処理、推定された前記推定距離の近傍にある複数の相対距離における各々の干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相を求める第 2 処理、および推定された前記推定距離と、求められた前記干渉光の
- 25 位相とに基づいて、前記特定箇所の高さを求める第 3 処理を行うことを特徴とする表面形状測定装置。

18. 請求項17に記載の表面形状測定装置において、  
前記光源は、白色光を発生させることを特徴とする表面形状測定装置。

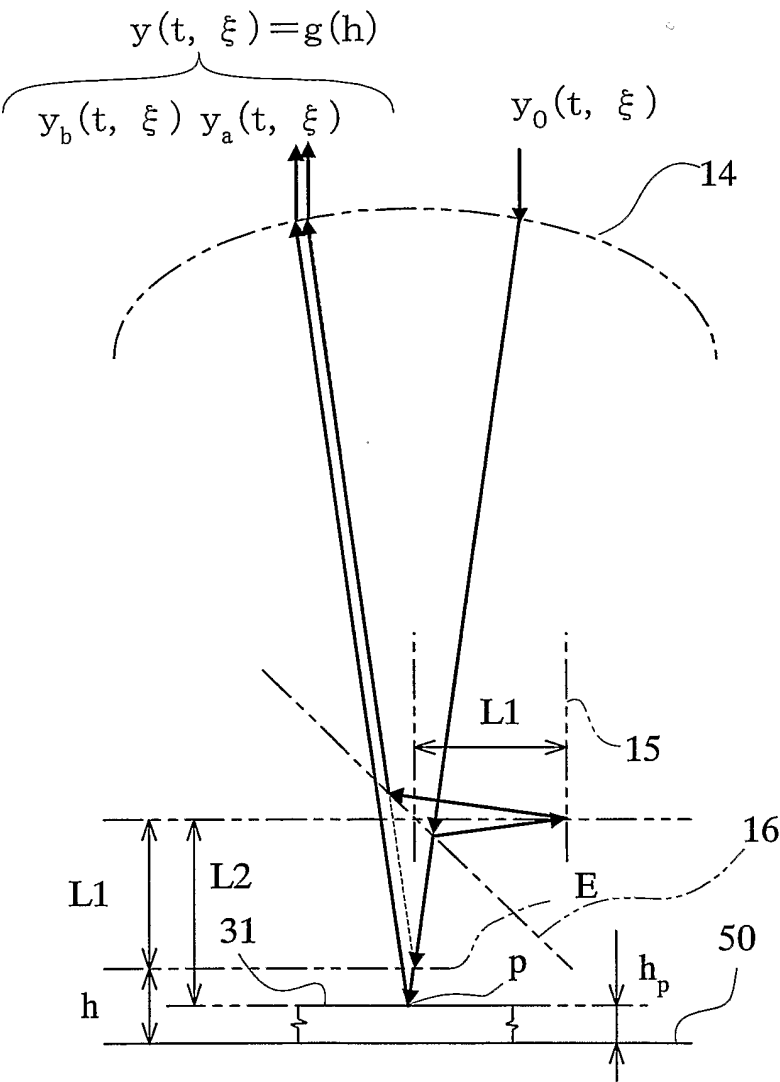
19. 請求項18に記載の表面形状測定装置において、
- 5 前記光源から発生する白色光について、その白色光よりも狭い周波数帯域の白色光、または単色光に制限する周波数帯域制限手段を備え、  
前記光源から発生する前記白色光を第1白色光とするとともに、前記周波数帯域制限手段によって制限された前記白色光を第2白色光とし、  
前記第2処理は、前記周波数帯域制限手段によって制限された前記第2白色光または単色光を照射し、前記第1処理で推定された前記推定距離の近傍にある複数の相対距離における前記第2白色光または単色光に関する各々の干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相を求めることを特徴とする表面形状測定装置。

20. 請求項18に記載の表面形状測定装置において、
- 15 前記白色光を発生させる光源とは別に、その白色光よりも周波数帯域が狭い白色光、または単色光を発生させる光源を備え、  
前記光源から発生する前記白色光を第1白色光とするとともに、その第1白色光よりも周波数帯域が狭い白色光を第2白色光とし、  
前記第2処理は、前記周波数帯域制限手段によって制限された前記第2白色光または単色光を照射し、前記第1処理で推定された前記推定距離の近傍にある複数の相対距離における前記第2白色光または単色光に関する各々の干渉光の強度に基づいて、干渉光の位相を求めることを特徴とする表面形状測定装置。

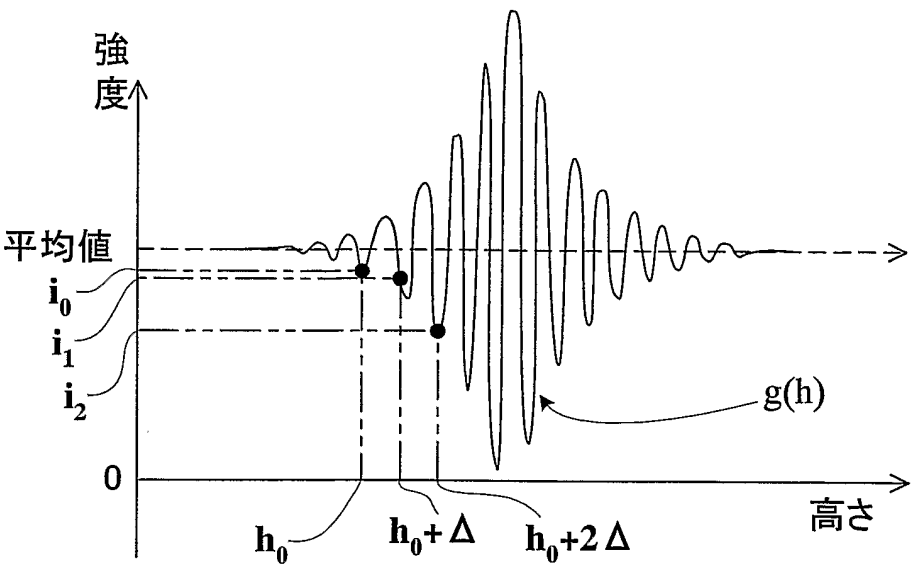
第 1 図



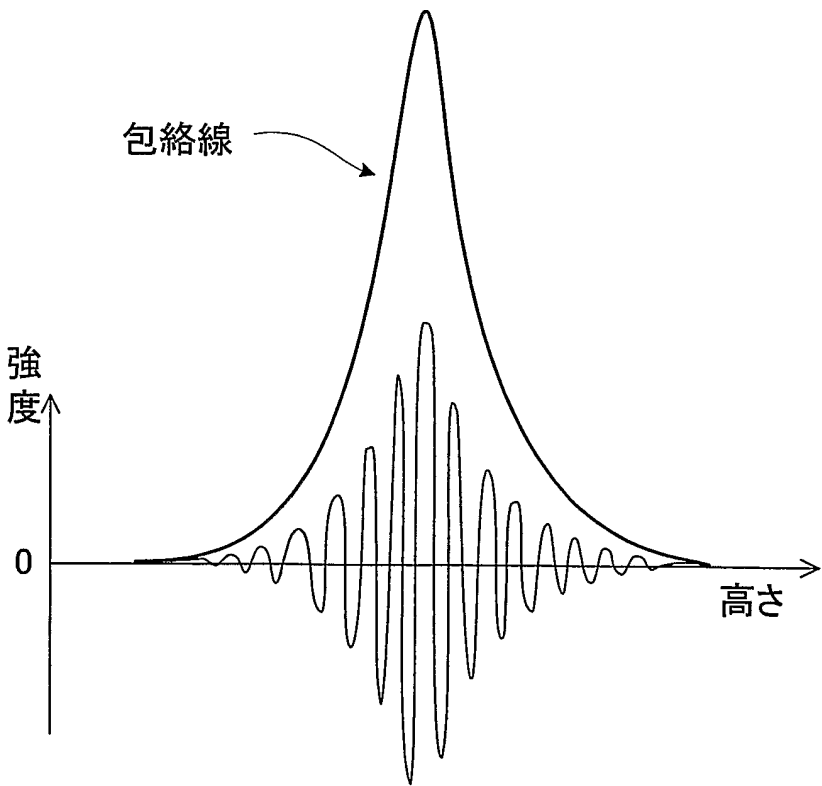
第 2 図



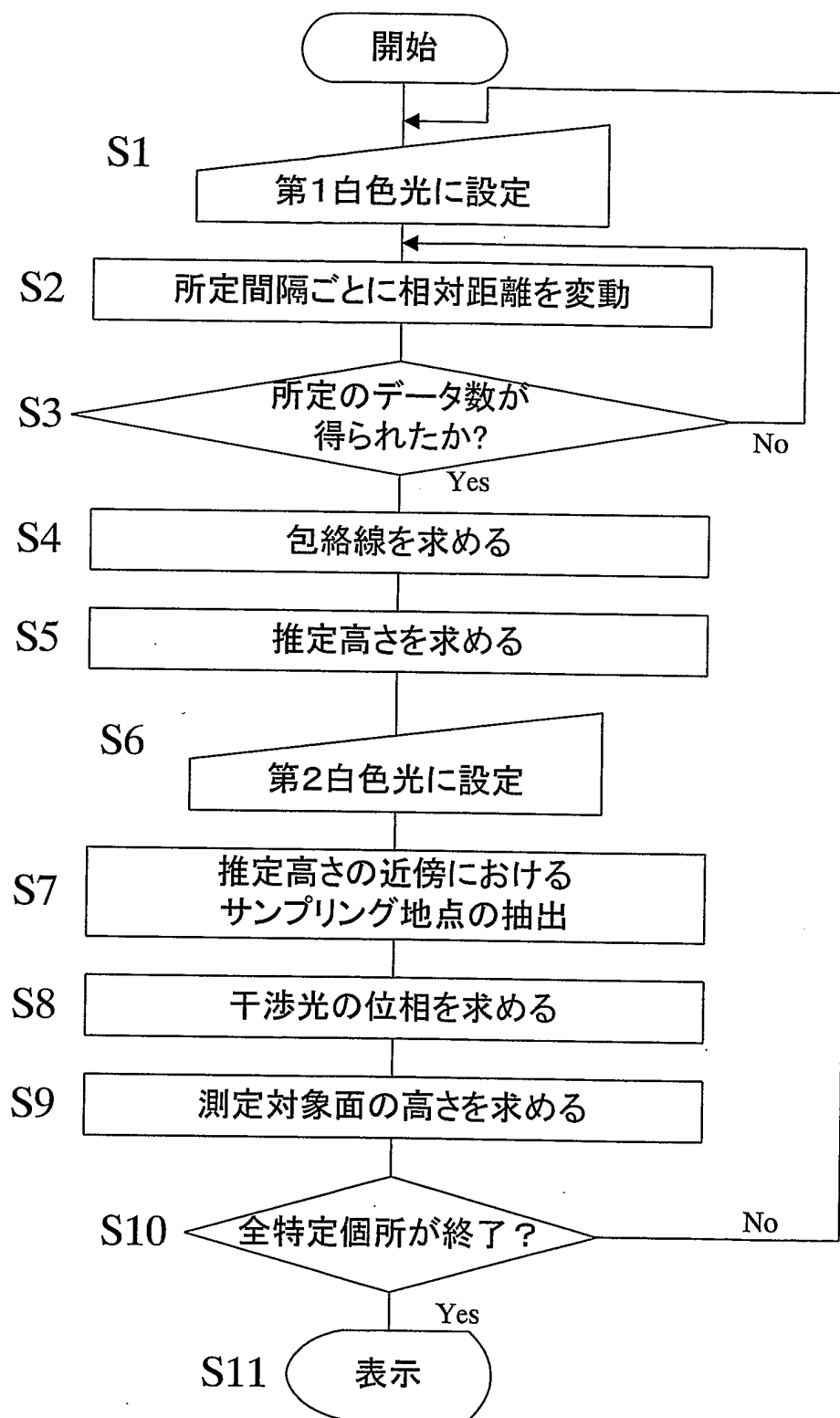
第 3 図



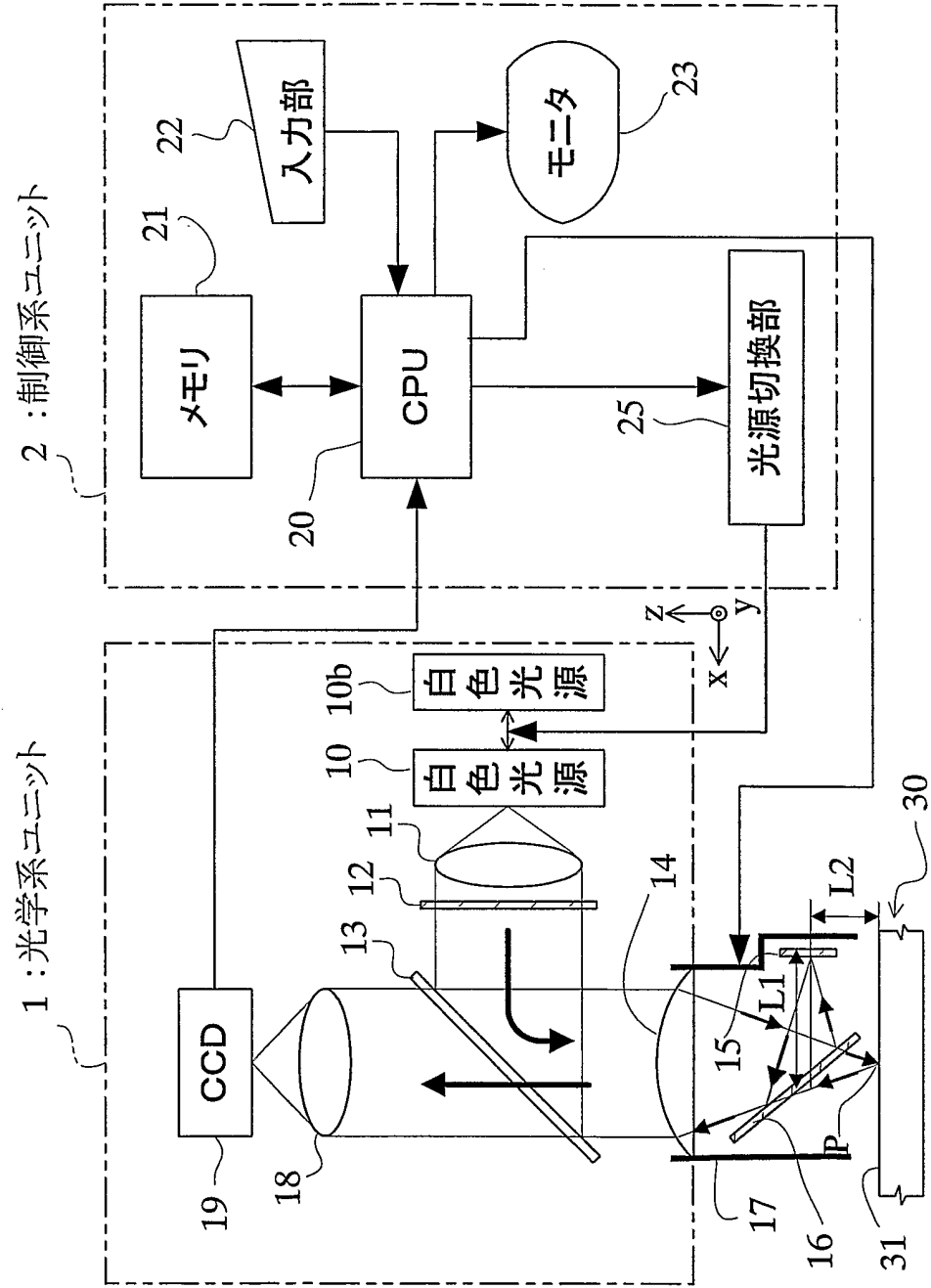
第 4 図



第 5 図



第 6 図



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/08202

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G01B11/24, G01B9/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G01B9/00-11/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

|                           |           |                            |           |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho       | 1922-1996 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2002 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2002 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2002 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                          | Relevant to claim No. |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| X<br>Y    | US 5471303 A (Wyko Corp.),<br>28 November, 1995 (28.11.95),<br>Full text; all drawings<br>(Family: none)                    | 1-4, 11-20<br>5-10    |
| X         | JP 2000-258142 A (Tokyo Seimitsu Co., Ltd.),<br>22 September, 2000 (22.09.00),<br>Full text; all drawings<br>(Family: none) | 1-4, 11-15,<br>17-19  |
| Y         | JP 8-201034 A (Tokyo Seimitsu Co., Ltd.),<br>09 August, 1996 (09.08.96),<br>Par. Nos. [0027] to [0036]<br>(Family: none)    | 5-10                  |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

|                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| * Special categories of cited documents:                                                                                                                                | "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention                                              |
| "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance                                                                | "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone                                                                     |
| "E" earlier document but published on or after the international filing date                                                                                            | "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art |
| "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) | "&" document member of the same patent family                                                                                                                                                                                                    |
| "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                  |
| "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                  |

Date of the actual completion of the international search  
01 October, 2002 (01.10.02)

Date of mailing of the international search report  
15 October, 2002 (15.10.02)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP02/08202

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                         | Relevant to claim No. |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Y         | JP 2001-66122 A (Zaidan Hojin Rikogaku Shinkokai, Toray Engineering Co., Ltd.),<br>16 March, 2001 (16.03.01),<br>Full text; all drawings<br>(Family: none) | 10                    |

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01B 11/24  
G01B 9/02

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G01B 9/00 - 11/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-2002年  
日本国登録実用新案公報 1994-2002年  
日本国実用新案登録公報 1996-2002年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の<br>カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                        | 関連する<br>請求の範囲の番号     |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| X               | US 5471303 A (Wyko Corporation)<br>1995. 11. 28, 全文, 全図 (ファミリーなし)        | 1-4, 11-20           |
| Y               |                                                                          | 5-10                 |
| X               | JP 2000-258142 A (株式会社東京精密)<br>2000. 09. 22, 全文, 全図 (ファミリーなし)            | 1-4, 11-15,<br>17-19 |
| Y               | JP 8-201034 A (株式会社東京精密)<br>1996. 08. 09, 段落番号【0027】-【0036】<br>(ファミリーなし) | 5-10                 |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

01. 10. 02

国際調査報告の発送日

15.10.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

岡田 卓弥



2S 3004

電話番号 03-3581-1101 内線 3256

| C (続き). 関連すると認められる文献 |                                                                                 |                  |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 引用文献の<br>カテゴリー*      | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示                                               | 関連する<br>請求の範囲の番号 |
| Y                    | JP 2001-66122 A<br>(財団法人理工学振興会, 東レエンジニアリング株式会社)<br>2001.03.16, 全文, 全図 (ファミリーなし) | 10               |