

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7085725号
(P7085725)

(45)発行日 令和4年6月17日(2022.6.17)

(24)登録日 令和4年6月9日(2022.6.9)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 B 11/24 (2006.01) G 0 1 B 11/24 K

請求項の数 14 (全25頁)

(21)出願番号	特願2020-215113(P2020-215113)	(73)特許権者	000151494 株式会社東京精密 東京都八王子市石川町2 9 6 8 - 2
(22)出願日	令和2年12月24日(2020.12.24)	(74)代理人	100083116 弁理士 松浦 憲三
(62)分割の表示	特願2017-41711(P2017-41711)の 分割	(74)代理人	100170069 弁理士 大原 一樹
原出願日	平成29年3月6日(2017.3.6)	(74)代理人	100128635 弁理士 松村 潔
(65)公開番号	特開2021-47211(P2021-47211A)	(74)代理人	100140992 弁理士 松浦 憲政
(43)公開日	令和3年3月25日(2021.3.25)	(72)発明者	森井 秀樹 茨城県土浦市東中貫町4 株式会社東京 精密内
審査請求日	令和2年12月25日(2020.12.25)	審査官	續山 浩二

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 表面形状測定装置及び表面形状測定方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

測定対象物を支持する支持部と、
前記測定対象物の被測定面の表面形状を測定する光を出力する光源、前記光源から出力された光を前記被測定面に照射する複数の倍率の異なる対物レンズ、及び前記被測定面の測定画像を取得する撮影部を少なくとも有する光学部と、
前記支持部を前記被測定面の面内方向に移動させる面内方向移動手段と、
前記被測定面を傾斜状領域と平坦状領域とで構成される複数の測定面に分割する被測定面分割手段と、
前記分割した前記傾斜状領域と前記平坦状領域とに前記光を照射したときの測定に寄与する測定寄与照射量 G に応じて前記複数の対物レンズのうち使用する倍率の対物レンズを選択する対物レンズ選択手段と、
前記支持部を前記被測定面の面内方向に移動させることにより、前記分割した各測定面を前記選択した対物レンズに基づいて表面形状を個々に測定して複数の測定データを取得する測定面形状測定手段と、
前記取得した複数の測定データを接続するデータ接続手段と、を備えた表面形状測定装置。

【請求項2】

前記対物レンズの測定視野は前記測定対象物の被測定面よりも狭く、ステッチング測定により前記被測定面の表面形状を測定する請求項1に記載の表面形状測定装置。

【請求項3】

前記対物レンズを通して前記被測定面に照射した光のうち前記対物レンズに戻り測定に寄与する照射光の前記測定寄与照射量 G を検出する測定寄与照射光量検出手段を設けた請求項 1 又は 2 に記載の表面形状測定装置。

【請求項 4】

前記対物レンズ選択手段は前記分割した前記傾斜状領域及び前記平坦状領域について、照射した光の全照射光量 F に対する前記測定寄与照射量 G の割合 G / F に基づいて使用する倍率の対物レンズを選択する請求項 1 から 3 の何れか 1 項に記載の表面形状測定装置。

【請求項 5】

前記分割した前記傾斜状領域と前記平坦状領域とに前記光を照射したときの測定に寄与する測定寄与照射量に応じて前記光源の光量を調整する光量調整手段をさらに備え、前記測定面形状測定手段は、前記支持部を前記被測定面の面内方向に移動させることにより、前記分割した各測定面を前記選択した対物レンズに基づいて表面形状を個々に測定して複数の測定データを取得する請求項 1 から 4 の何れか 1 項に記載の表面形状測定装置。

10

【請求項 6】

前記光量調整手段は前記分割した前記傾斜状領域及び前記平坦状領域について、前記平坦状領域を測定するときの前記測定寄与照射量 G を基準光量とし、前記傾斜状領域を測定するときの前記測定寄与照射量 G が前記基準光量になるように前記光源の光量を調整する請求項 5 に記載の表面形状測定装置。

【請求項 7】

前記測定対象物の前記被測定面の表面形状はうねり形状である請求項 1 から 6 の何れか 1 項に記載の表面形状測定装置。

20

【請求項 8】

前記被測定面の概略形状情報を取得する概略形状取得手段をさらに備え、前記被測定面分割手段は、前記概略形状情報に基づいて前記被測定面を傾斜状領域と平坦状領域とで構成される複数の測定面に分割する請求項 1 から 7 の何れか 1 項に記載の表面形状測定装置。

【請求項 9】

前記概略形状取得手段は、三角測量方式のレーザー変位計、ステレオカメラ、パターン投影装置の何れかである請求項 8 に記載の表面形状測定装置。

【請求項 10】

前記概略形状取得手段は、前記測定対象物の CAD データを保持する保持手段である請求項 8 又は 9 に記載の表面形状測定装置。

30

【請求項 11】

前記概略形状取得手段は、前記光学部の対物レンズよりも倍率の小さな低倍率レンズを用いた白色干渉計である請求項 8 から 10 の何れか 1 項に記載の表面形状測定装置。

【請求項 12】

前記被測定面分割手段で分割された複数の測定面について前記対物レンズ選択手段で選択した対物レンズマップを表示する表示部を有する請求項 1 から 11 の何れか 1 項に記載の表面形状測定装置。

【請求項 13】

前記光学部は白色干渉計又はレーザー共焦点顕微鏡である請求項 1 から 12 の何れか 1 項に記載の表面形状測定装置。

40

【請求項 14】

測定対象物を支持する支持部と、前記測定対象物の被測定面の表面形状を測定する光を出力する光源、前記光源からの出力された光を前記被測定面に照射する倍率の異なる複数の対物レンズ、及び前記被測定面の測定画像を取得する撮影部を少なくとも有する光学部と、を少なくとも有する表面形状測定装置を用いて前記被測定面の表面形状を測定する表面形状測定方法であって、前記被測定面を傾斜状領域と平坦状領域とで構成される複数の測定面に分割する被測定面分割工程と、

50

前記分割した前記傾斜状領域と前記平坦状領域とに前記光を照射したときの測定に寄与する測定寄与照射量に応じて前記複数の対物レンズのうち使用する倍率の対物レンズを選択する対物レンズ選択工程と、

前記支持部を前記被測定面の面内方向に移動させることにより、前記分割した各測定面を前記選択した対物レンズに基づいて表面形状を個々に測定して複数の測定データを取得する測定面形状測定工程と、

前記取得した複数の測定データを接続するデータ接続工程と、を備えた表面形状測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、表面形状測定装置及び表面形状測定方法に係り、特に光源、複数の倍率の異なる対物レンズ、及び測定画像を取得する撮影部を少なくとも有する光学部によって測定対象物の被測定面の表面形状を測定する表面形状測定装置及び表面形状測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

表面形状測定装置は、測定対象物の被測定面の3次元形状を測定する装置であり、被測定面の表面形状を測定する光を出力する光源、光源から出力された光を被測定面に照射する対物レンズ、及び被測定面の測定画像を取得する撮影部で少なくとも構成された表面形状測定装置としては、例えば白色干渉顕微鏡（特許文献1）あるいはレーザー共焦点顕微鏡が知られている。

【0003】

そして、上記構成の光学部の表面形状測定装置は、測定準備アライメントとして、異なる倍率の複数の対物レンズの中から適正な倍率の対物レンズの選択及び光源の適正な光量調整を少なくとも行う必要がある。この測定準備アライメントを適正に行うか否かによって、被測定面の表面形状の測定精度が異なる。

【0004】

ところで、上記光学部のように対物レンズを備えた表面形状測定装置においては、対物レンズの測定視野等の制限により、1回の測定で測定可能な被測定面の測定範囲に制限がある場合が多い。このため、測定対象物を水平移動可能なステージ上に載置し、被測定面を複数回測定し、その後でソフトウェア処理等を用いて計算することで複数枚の測定データを接続するスティッチング測定を行うことが知られている。

【0005】

したがって、スティッチング測定を高精度に行うには、複数回の測定ごとに対物レンズの倍率選択及び光量調整の測定準備アライメントを適正に行う必要がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】特開2016-136091号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、従来、対物レンズの選択や光源の光量調整は、操作者の経験に基づいて行っていたので、操作者の習熟度によって表面形状の測定精度にバラツキが生じるという問題があった。特にスティッチング測定においては、複数回の測定ごとの測定精度にバラツキがあると、複数枚の測定データを接続して得られる表面形状の精度が悪くなり深刻な問題であった。

【0008】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、表面形状測定を高精度化できる表面形状測定装置及び表面形状測定方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 9 】

本発明の一態様に係る表面形状測定装置は目的を達成するために、測定対象物を支持する支持部と、測定対象物の被測定面の表面形状を測定する光を出力する光源、光源から出力された光を被測定面に照射する複数の倍率の異なる対物レンズ、及び被測定面の測定画像を取得する撮影部を少なくとも有する光学部と、支持部を被測定面の面内方向に移動させる面内方向移動手段と、被測定面の概略形状情報を取得する概略形状取得手段と、概略形状情報に基づいて被測定面を傾斜状領域と平坦状領域とで構成される複数の測定面に分割する被測定面分割手段と、分割した傾斜状領域と平坦状領域とに光を照射したときの測定に寄与する測定寄与照射量に応じて複数の対物レンズのうち使用する倍率の対物レンズを選択する対物レンズ選択手段と、分割した傾斜状領域と平坦状領域とに光を照射したときの測定に寄与する測定寄与照射量に応じて光源の光量を調整する光量調整手段と、支持部を被測定面の面内方向に移動させることにより、分割した各測定面を選択した対物レンズ及び調整した光量に基づいて表面形状を個々に測定して複数の測定データを取得する測定面形状測定手段と、取得した複数の測定データを接続するデータ接続手段と、を備えた。光学部としては白色干渉計又はレーザー共焦点顕微鏡を適用することができる。

10

【 0 0 1 0 】

本発明の表面形状測定装置によれば、被測定面の表面形状測定を行う際の対物レンズの選択及び光源の光量調整の測定準備アライメントを適正に行うことができるので表面形状測定を高精度化でき、特にステッチング測定において有効である。

【 0 0 1 1 】

本発明の表面形状測定装置において、対物レンズの測定視野は測定対象物の被測定面よりも狭く、ステッチング測定により被測定面の表面形状を測定することが好ましい。ステッチング測定において本発明は特に有効だからである。

20

【 0 0 1 2 】

本発明の表面形状測定装置としては、光学部は白色干渉計を好適に使用することができる。

【 0 0 1 3 】

本発明の表面形状測定装置において、対物レンズを通して被測定面に照射した光のうち対物レンズに戻り測定に寄与する照射光の測定寄与照射量 G を検出する測定寄与照射量検出手段を設けることが好ましい。

【 0 0 1 4 】

そして、対物レンズ選択手段は分割した傾斜状領域と平坦状領域とについて、照射した光の全照射光量 F に対する測定寄与照射量 G の割合 G / F に基づいて使用する倍率の対物レンズを選択する。これにより、傾斜状領域と平坦状領域とによって測定を高精度に行うための適正な倍率の対物レンズを選択することができる。

30

【 0 0 1 5 】

また、光量調整手段は分割した傾斜状領域及び平坦状領域について、平坦状領域を測定するときの測定寄与照射量 G を基準光量とし、傾斜状領域を測定するときの測定寄与照射量 G が基準光量になるように光源の光量を調整する。これにより、傾斜状領域と平坦状領域とによって測定を高精度に行うための適正な光源光量を調整することができる。

【 0 0 1 6 】

本発明の表面形状測定装置において、測定対象物の被測定面の表面形状はうねり形状であることが好ましい。測定対象物の被測定面の表面形状である場合において本発明は特に有効だからである。

40

【 0 0 1 7 】

本発明の表面形状測定装置において、概略形状取得手段は、三角測量方式のレーザー変位計、ステレオカメラ、パターン投影装置の何れかであることが好ましい。

【 0 0 1 8 】

本発明の表面形状測定装置において、概略形状取得手段は、測定対象物の C A D データを保持する保持手段であることが好ましい。

【 0 0 1 9 】

50

本発明の表面形状測定装置において、概略形状取得手段は、光学部の対物レンズよりも倍率の小さな低倍率レンズを用いた白色干渉計であることが好ましい。

【0020】

本発明の表面形状測定装置において、被測定面分割手段で分割された複数の測定面について対物レンズ選択手段で選択した対物レンズマップを表示する表示部を有することが好ましい。

【0021】

本発明の一態様に係る表面形状測定方法は目的を達成するために、測定対象物を支持する支持部と、測定対象物の被測定面の表面形状を測定する光を出力する光源、光源からの出力された光を被測定面に照射する倍率の異なる複数の対物レンズ、及び被測定面の測定画像を取得する撮影部を少なくとも有する光学部と、を少なくとも有する表面形状測定装置を用いて被測定面の表面形状を測定する表面形状測定方法であって、被測定面の概略形状情報を取得する概略形状取得工程と、概略形状情報に基づいて被測定面を傾斜状領域と平坦状領域とで構成される複数の測定面に分割する被測定面分割工程と、分割した傾斜状領域と平坦状領域とに光を照射したときの測定に寄与する測定寄与照射量に応じて複数の対物レンズのうち使用する倍率の対物レンズを選択する対物レンズ選択工程と、分割した傾斜状領域と平坦状領域とに光を照射したときの測定に寄与する測定寄与照射量に応じて光源の光量を調整する光量調整工程と、支持部を被測定面の面内方向に移動させることにより、分割した各測定面を選択した対物レンズ及び設定した光量に基づいて表面形状を個々に測定して複数の測定データを取得する測定面形状測定工程と、取得した複数の測定データを接続するデータ接続工程と、を備えた。

【0022】

本発明の表面形状測定方法によれば、被測定面の表面形状測定を行う際の対物レンズの選択及び光源の光量調整の測定準備アライメントを適正に行うことができるので表面形状測定を高精度化でき、特にスティッチング測定において有効である。

【発明の効果】

【0023】

本発明の表面形状測定装置及び表面形状測定方法によれば、被測定面の表面形状測定を行う際の対物レンズの選択及び光源の光量調整の測定準備アライメントを適正に行うことができるので表面形状測定を高精度化できる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明の実施の形態の表面形状測定装置の全体構成図

【図2】光学部の干渉部に設けられた倍率の異なる複数の種類の対物レンズの一例を示す概念図

【図3】撮像素子の撮像面のx-y座標上における干渉縞の画素配列を示した図

【図4】干渉部のz位置と輝度値との関係及び干渉縞曲線を例示した図

【図5】被測定面の異なる点の異なるz座標値と干渉縞曲線との関係を例示した図

【図6】スティッチング測定による表面形状測定の説明図

【図7】うねり形状の被測定面を有する測定対象物の一例を示す斜視図

【図8】概略形状取得手段の一態様のレーザー変位計を説明する説明図

【図9】概略形状取得手段の一態様のステレオカメラを説明する説明図

【図10】概略形状取得手段の一態様の白色干渉計を説明する説明図

【図11】表面形状測定装置の処理部に搭載した被測定面分割手段、対物レンズ選択手段、光量調整手段、測定面形状測定手段、データ接続手段の説明図

【図12】段差閾値の説明図

【図13】うねり形状の被測定面を傾斜角度調整と平坦状領域との複数の測定面に分割した一例を説明する説明図

【図14】対物レンズ選択手段によって傾斜状領域と平坦状領域とに倍率の異なる対物レンズを選択する一例を説明する説明図

10

20

30

40

50

【図 15】見込角 1 の対物レンズで傾斜角度 2 の被測定面に光を照射したときの光の挙動を説明する説明図

【図 16】被測定面の傾斜角度と、全照射光量に対する測定に寄与する測定寄与照射光量の割合との関係を表したグラフ

【図 17】本発明の実施の形態の表面形状測定方法のフローチャート

【図 18】対物レンズマップの説明図

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、添付図面にしたがって本発明の表面形状測定装置及び表面形状測定方法の好ましい実施の形態について説明する。

【0026】

本発明は以下の好ましい実施の形態により説明される。本発明の範囲を逸脱することなく、多くの手法により変更を行うことができ、本実施の形態以外の他の実施の形態を利用することができる。したがって、本発明の範囲内における全ての変更が特許請求の範囲に含まれる。

【0027】

ここで、図中、同一の記号で示される部分は、同様の機能を有する同様の要素である。また、本明細書中で、数値範囲を“ ~ ”を用いて表す場合は、“ ~ ”で示される上限、下限の数値も数値範囲に含むものとする。

【0028】

[表面形状測定装置]

本実施の形態の表面形状測定装置では、測定対象物の被測定面の表面形状を測定する光を出力する光源、光源から出力された光を被測定面に照射する対物レンズ、及び被測定面の測定画像を取得する撮影部を少なくとも有する光学部として、垂直走査型の白色干渉計の例で以下に説明する。

【0029】

また、対物レンズの測定視野が測定対象物の被測定面よりも小さくスティッチング測定を行う場合で説明する。

【0030】

図 1 は、本発明の実施の形態の表面形状測定装置の全体構成を示した構成図である。

【0031】

図 1 における表面形状測定装置 1 は、マイケルソン型の干渉計を用いて測定対象物 P の被測定面 S の表面形状等を非接触により 3 次元測定する所謂、マイケルソン型の走査型白色干渉計（顕微鏡）であり、測定対象物 P の干渉縞（干渉画像）を取得する光学部 2 と、測定対象物 P が載置される支持部としてのステージ 10 と、表面形状測定装置 1 の各種制御や光学部 2 により取得された干渉縞像に基づいて各種演算処理を行うパーソナルコンピュータ等の演算処理装置からなる処理部 18 等を備える。

【0032】

なお、本実施の形態では、マイケルソン型の走査型白色干渉計の例で説明するが、周知のミロー型の走査型白色干渉計であってもよい。また、測定対象物 P が配置される測定空間において、互いに直交する水平方向の 2 つの座標軸を x 軸（紙面に平行する軸）と y 軸（紙面に直交する軸）とし、x 軸及び y 軸に直交する鉛直方向の座標軸を z 軸とする。z 軸は後記する測定光軸 Z - 0 に平行である。そして、処理部 18 は、被測定面 S 上の点を x 軸の x 座標、y 軸の y 座標、z 軸の z 座標で示す x y z 座標をもっており、被測定面 S の 3 次元位置を得ることができる。

【0033】

ステージ 10 は、x 軸及び y 軸に略平行する平坦面であって測定対象物 P を載置するステージ面 10 S を有する。また、ステージ 10 は、ステージ 10 を光学部 2 に対して相対的に被測定面 S の面内方向に水平移動させる面内方向移動手段 35 と、を備えている。

【0034】

10

20

30

40

50

面内方向移動手段 35 は、 x アクチュエータ 34 と y アクチュエータ 36 とで構成される。そして、ステージ 10 は、 x アクチュエータ 34 の駆動により x 軸方向に水平移動し、 y アクチュエータ 36 の駆動により y 軸方向に水平移動する。このステージ 10 の x 軸方向及び y 軸方向への移動により、ステージ 10 に載置された測定対象物 P の被測定面 S を光学部 2 に対して移動させる。

【0035】

なお、 x アクチュエータ 34 及び y アクチュエータ 36 のように本明細書においてアクチュエータという場合には、 piezo アクチュエータやモータなどの任意の駆動装置を示す。

【0036】

また、ステージ面 10 S に対向する位置、即ち、ステージ 10 の上側には、筐体 2 A (図 2 参照) により一体的に保持された光学部 2 が配置される。

10

【0037】

光学部 2 は、 x 軸に平行な光軸 Z - 1 を有する光源部 12 と、 z 軸に平行な光軸 (測定光軸 Z - 0) を有する干渉部 14 と、撮影部 16 とを有する。光源部 12 の光軸 Z - 1 は、干渉部 14 及び撮影部 16 の測定光軸 Z - 0 に対して直交し、干渉部 14 と撮影部 16 との間において測定光軸 Z - 0 と交差する。なお、光軸 Z - 1 は、必ずしも x 軸と平行でなくてもよい。

【0038】

光源部 12 は、測定対象物 P を照明する照明光として波長幅が広い白色光 (可干渉性の少ない低コヒーレンス光) を出射する光源 40 と、光源 40 から拡散して出射された照明光を略平行な光束に変換するコレクタレンズ 42 とを有する。光源 40 及びコレクタレンズ 42 の各々の中心とする軸は光源部 12 の光軸 Z - 1 として同軸上に配置される。

20

【0039】

また、光源 40 としては、発光ダイオード、半導体レーザー、ハロゲンランプ、高輝度放電ランプなど、任意の種類が発光体を用いることができる。

【0040】

この光源部 12 から出射された照明光は、干渉部 14 と撮影部 16 との間に配置され、光軸 Z - 1 と測定光軸 Z - 0 とが交差する位置に配置されたハーフミラー等のビームスプリッタ 44 に入射する。そして、ビームスプリッタ 44 (ビームスプリッタ 44 の平坦な光分割面 (反射面)) で反射した照明光が光軸 Z - 0 に沿って進行して干渉部 14 に入射する。

30

【0041】

干渉部 14 は、マイケルソン型干渉計により構成され、光源部 12 から入射した照明光を測定光と参照光とに分割する。そして、測定光を測定対象物 P に照射するとともに参照光を参照ミラー 52 に照射し、測定対象物 P から戻り測定光と参照ミラー 52 から戻り参照光とを干渉させた干渉光を生成する。

【0042】

干渉部 14 は、集光作用を有し、倍率の異なる複数の対物レンズ 50 と、光を反射する参照面であって平坦な反射面を有する参照ミラー 52 と、光を分割する平坦な光分割面を有するビームスプリッタ 54 を有する。対物レンズ 50、参照ミラー 52、及びビームスプリッタ 54 の各々の中心とする軸は干渉部 14 の測定光軸 Z - 0 として同軸上に配置される。参照ミラー 52 の反射面はビームスプリッタ 54 の側方位置に、測定光軸 Z - 0 と平行に配置される。

40

【0043】

図 2 は、光学部 2 の干渉部 14 に設けられた対物レンズ 50 を示す概念図である。

【0044】

図 2 に示すように、光学部 2 を保持する筐体 2 A の被測定面 S 側の面にはレボルバー 2 B が設けられ、レボルバー 2 B には低倍率レンズ 50 A、中倍率レンズ 50 B、高倍率レンズ 50 C が固定されている。そして、処理部 18 の指示でレボルバー 2 B を回転させることにより干渉部 14 の測定走査に用いる対物レンズ 50 を選択することができる。

50

【 0 0 4 5 】

なお、対物レンズ 5 0 は上記の 3 種類に限定するものではなく、低倍率レンズ 5 0 A、中倍率レンズ 5 0 B、高倍率レンズ 5 0 C のうちの 2 つを組み合わせてもよく、あるいは 4 つ以上の対物レンズ 5 0 を設けて倍率を細かく分けてもよい。

【 0 0 4 6 】

図 1 に戻って、光源部 1 2 から干渉部 1 4 に入射した照明光は、対物レンズ 5 0 により集光作用を受けた後、ビームスプリッタ 5 4 に入射する。

【 0 0 4 7 】

ビームスプリッタ 5 4 は、例えばハーフミラーであり、ビームスプリッタ 5 4 に入射した照明光は、ビームスプリッタ 5 4 を透過する測定光と、ビームスプリッタ 5 4 の光分割面で反射する参照光とに分割される。

10

【 0 0 4 8 】

ビームスプリッタ 5 4 を透過した測定光は、測定対象物 P の被測定面 S に照射された後、被測定面 S から干渉部 1 4 へと戻り、再度、ビームスプリッタ 5 4 に入射する。そして、ビームスプリッタ 5 4 を透過した測定光が対物レンズ 5 0 に入射する。

【 0 0 4 9 】

一方、ビームスプリッタ 5 4 で反射した参照光は、参照ミラー 5 2 の光反射面で反射した後、再度、ビームスプリッタ 5 4 に入射する。そして、ビームスプリッタ 5 4 で反射した参照光が対物レンズ 5 0 に入射する。

【 0 0 5 0 】

これにより、干渉部 1 4 から測定対象物 P の被測定面 S に照射されて干渉部 1 4 に戻る測定光と、参照ミラー 5 2 で反射した参照光とが重ね合わされた干渉光が生成され、その干渉光が対物レンズ 5 0 により集光作用を受けた後、干渉部 1 4 から撮影部 1 6 に向けて出射される。

20

【 0 0 5 1 】

また、照明光が測定光と参照光とに分割された後、測定光と参照光とが重ね合わされるまでの測定光と参照光の各々が通過した光路の光学的距離を、測定光の光路長及び参照光の光路長といい、それらの差を測定光と参照光の光路長差というものとする。

【 0 0 5 2 】

干渉部 1 4 を測定光の測定光軸 Z - 0 (z 軸) に沿って垂直方向に測定走査することで測定光の光路長を変化させる走査手段としての干渉部アクチュエータ 5 6 を有する。そして、干渉部アクチュエータ 5 6 の駆動により干渉部 1 4 が z 軸方向 (測定走査方向) に移動する。これにより、対物レンズ 5 0 の焦点面の位置 (高さ) が z 軸方向に移動すると共に、被測定面 S とビームスプリッタ 5 4 との距離が変化することで測定光の光路長が変化し、測定光と参照光との光路長差が変化する。

30

【 0 0 5 3 】

撮影部 1 6 は、測定対象物 P の被測定面 S の各点に照射された測定光と、参照光とによる干渉光の輝度情報から干渉縞を取得する干渉縞取得部であり、例えば CCD (Charge Coupled Device) カメラに相当し、CCD 型の撮像素子 6 0 と、結像レンズ 6 2 とを有する。撮像素子 6 0 と結像レンズ 6 2 の各々の中心とする軸は撮影部 1 6 の測定光軸 Z - 0 として同軸上に配置される。なお、撮像素子 6 0 は、CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) 型の固体撮像素子等、任意の撮像手段を用いることができる。

40

【 0 0 5 4 】

干渉部 1 4 から出射された干渉光は、上述のビームスプリッタ 4 4 に入射し、ビームスプリッタ 4 4 を透過した干渉光が撮影部 1 6 に入射する。

【 0 0 5 5 】

撮影部 1 6 に入射した干渉光は、結像レンズ 6 2 により撮像素子 6 0 の撮像面 6 0 S に干渉縞像を結像する。ここで、結像レンズ 6 2 は、測定対象物 P の被測定面 S の測定光軸 Z - 0 周辺の領域に対する干渉縞像を高倍率に拡大して撮像素子 6 0 の撮像面 6 0 S に結像する。

50

【 0 0 5 6 】

また、結像レンズ 6 2 は、干渉部 1 4 の対物レンズ 5 0 の焦点面上における点を、撮像素子 6 0 の撮像面上の像点として結像する。即ち、撮影部 1 6 は、対物レンズ 5 0 の焦点面の位置にピントが合うように（合焦するように）設計されている。

【 0 0 5 7 】

撮像素子 6 0 の撮像面 6 0 S に結像された干渉縞像は、撮像素子 6 0 により電気信号に変換されて干渉縞として取得される。そして、その干渉縞は、処理部 1 8 に与えられる。

【 0 0 5 8 】

以上のように光源部 1 2、干渉部 1 4、及び撮影部 1 6 等により構成される光学部 2 は、全体が一体的として z 軸方向に直進移動可能に設けられる。例えば、光学部 2 は、z 軸方向に沿って立設された不図示の z 軸ガイド部に直進移動可能に支持される。そして、z アクチュエータ 7 0 の駆動により光学部 2 全体が z 軸方向に直進移動する。これにより、干渉部 1 4 を z 軸方向に移動させる場合よりも、撮影部 1 6 のピント位置を z 軸方向に大きく移動させることができ、例えば、測定対象物 P の厚さ等に応じて撮影部 1 6 のピント位置を適切な位置に調整することができる。

10

【 0 0 5 9 】

処理部 1 8 は、測定対象物 P の被測定面 S の表面形状を測定する際に、干渉部アクチュエータ 5 6 を制御して光学部 2 の干渉部 1 4 を z 軸方向に移動させながら撮影部 1 6 の撮像素子 6 0 から干渉縞を順次取得する。そして、取得した干渉縞に基づいて被測定面 S の 3 次元形状データを被測定面 S の表面形状を示すデータとして取得する。

20

【 0 0 6 0 】

ここで、処理部 1 8 が干渉縞に基づいて被測定面 S の 3 次元形状データを取得する処理について説明する。

【 0 0 6 1 】

撮影部 1 6 の撮像素子 6 0 は、x 軸及び y 軸からなる x y 平面（水平面）に沿って 2 次元的に配列された多数の受光素子（画素）から構成されている。そして、各画素において受光される干渉縞の輝度値、即ち、撮像素子 6 0 により取得される干渉縞の各画素の輝度値は、各画素に対応する被測定面 S の各点で反射した測定光と参照光との光路長差に応じた干渉光の強度（輝度情報）を示す。

【 0 0 6 2 】

ここで、図 3 に示すように、撮像素子 6 0 の撮像面 6 0 S の x y 座標上の干渉縞における m 列目、n 行目の画素を (m , n) を表すものとする。そして、画素 (m , n) の x 軸方向に関する位置（以下、x 軸方向に関する位置を「x 位置」という）を示す x 座標値を x (m , n) と表すものとする。そして、y 軸方向に関する位置（以下、y 軸方向に関する位置「y 位置」という）を示す y 座標値を y (m , n) と表すものとする。

30

【 0 0 6 3 】

また、画素 (m , n) に対応する測定対象物 P の被測定面 S 上の点の x 位置を示す x 座標値を X (m , n) と表し、y 位置を示す y 座標値を Y (m , n) と表すものとし、その点を x y 座標値により (X (m , n) , Y (m , n)) と表すものとする。なお、画素 (m , n) に対応する被測定面 S 上の点とは、ピントが合っている状態において画素 (m , n) の位置に像点が結像される被測定面 S 上の点を意味する。

40

【 0 0 6 4 】

このとき、撮像素子 6 0 により取得される干渉縞の画素 (m , n) の輝度値は、画素 (m , n) に対応する被測定面 S 上の点 (X (m , n) , Y (m , n)) に照射された測定光と参照光との光路長差に応じた大きさを示す。

【 0 0 6 5 】

即ち、図 1 の干渉部アクチュエータ 5 6 により干渉部 1 4 を z 軸方向に測定走査させて光学部 2（撮影部 1 6）に対する干渉部 1 4 の相対的な z 軸方向の位置（以下、「z 位置」という）を変位させると、撮影部 1 6 のピント位置（対物レンズ 5 0 の焦点面）も z 軸方向に移動し、ピント位置も干渉部 1 4 と同じ変位量で変位する。また、ピント位置が変位

50

すると、被測定面 S の各点に照射される測定光の光路長も変化する。

【 0 0 6 6 】

そして、干渉部 1 4 を z 軸方向に移動させてピント位置を変位させながら、即ち、測定光の光路長を変化させながら、撮像素子 6 0 から干渉縞を順次取得して干渉縞の任意の画素 (m , n) の輝度値を検出する。

【 0 0 6 7 】

ここで、処理部 1 8 は、干渉部 1 4 の所定の基準位置からの変位量 (干渉部 1 4 の z 位置) を、ポテンショメータやエンコーダなどの不図示の位置検出手段からの検出信号により検出することができる。または、位置検出手段を使用することなく干渉部 1 4 の z 位置を制御する場合、例えば、干渉部アクチュエータ 5 6 に与える駆動信号により一定変位量ずつ干渉部 1 4 を移動させる場合には、その総変位量により検出することができる。

10

【 0 0 6 8 】

そして、干渉部 1 4 が基準位置のときのピント位置の z 位置を測定空間における z 座標の基準位置 (原点位置) として、かつ、干渉部 1 4 の基準位置からの変位量をピント位置の z 座標値として取得することができる。なお、z 座標値は、原点位置よりも高い位置 (撮影部 1 6 に近づく位置) を正側、低い位置 (ステージ面 1 0 S に近づく位置) を負側とする。また、干渉部 1 4 の基準位置、即ち、z 座標の原点位置は任意の z 位置に設定、変更することができる。

【 0 0 6 9 】

図 4 の (A) ~ (C) は、干渉部 1 4 を測定対象物 P の被測定面 S に近接した位置から z 軸方向に上昇させながら撮影部 1 6 の撮像素子 6 0 から画像を取得したときの干渉部 1 4 の z 位置と輝度値との関係を示した図である。

20

【 0 0 7 0 】

図 4 の (A) のように、測定光の光路長 L 1 が参照光の光路長 L 2 よりも小さいと干渉は小さく、輝度値は略一定となる。そして、図 4 の (B) のように、測定光の光路長 L 1 と参照光の光路長 L 2 とが同じ、即ち光路長差が 0 となる場合に干渉が大きくなり、最も大きな輝度値を示す。さらに、図 4 の (C) のように、測定光の光路長 L 1 が参照光の光路長 L 2 よりも大きいと再び干渉は小さくなり、輝度値は略一定となる。これにより、図 4 の (D) に示す干渉縞曲線 Q に沿った輝度値が得られる。

【 0 0 7 1 】

即ち、任意の画素 (m , n) における干渉縞曲線 Q は、その画素 (m , n) に対応する被測定面 S 上の点 (X (m , n) , Y (m , n)) に照射された測定光と参照光との光路長差が所定値より大きい場合には略一定の輝度値を示し、光路長差がその所定値より小さいときには、光路長差が減少するにつれて輝度値が振動すると共にその振幅が大きくなる。

30

【 0 0 7 2 】

したがって、図 4 (D) に示すように、干渉縞曲線 Q は、測定光と参照光との光路長が一致したときに (光路長差が 0 のときに) 、最大値を示すと共に、その干渉縞曲線 Q の包絡線における最大値を示す。

【 0 0 7 3 】

また、被測定面 S 上の点 (X (m , n) , Y (m , n)) に照射された測定光と参照光との光路長は、撮影部 1 6 のピント位置が被測定面 S 上の点 (X (m , n) , Y (m , n)) の z 位置に一致したときに一致する。

40

【 0 0 7 4 】

したがって、干渉縞曲線 Q が最大値を示すとき (又は干渉縞曲線 Q の包絡線が最大値を示すとき) のピント位置は、被測定面 S 上の点 (X (m , n) , Y (m , n)) の z 位置に一致しており、そのときのピント位置の z 座標値は、被測定面 S 上の点 (X (m , n) , Y (m , n)) の z 座標値を示す。

【 0 0 7 5 】

以上のことから、処理部 1 8 は、干渉部アクチュエータ 5 6 により干渉部 1 4 を z 軸方向に移動させてピント位置を z 軸方向に移動させながら (測定光の光路長を変化させながら

50

)、撮像素子60から干渉縞を順次取得し、各画素(m, n)の輝度値をピント位置のz座標値に対応付けて取得する。即ち、ピント位置をz軸方向に走査しながら干渉縞の各画素(m, n)の輝度値を取得する。そして、各画素(m, n)について、図3(D)のような干渉縞曲線Qの輝度値が最大値を示すときのピント位置のz座標値(干渉縞位置)を、各画素(m, n)に対応する被測定面S上の点(X(m, n), Y(m, n))のz座標値Z(m, n)として検出する。

【0076】

なお、Z(m, n)は、画素(m, n)に対応する被測定面S上の点(X(m, n), Y(m, n))のz座標値を示す。

【0077】

また、干渉縞曲線Qの輝度値が最大値を示すときのピント位置のz座標値を検出する方法は周知であり、どのような方法を採用してもよい。例えば、ピント位置の微小間隔ごとのz座標値において干渉縞を取得することで、各画素(m, n)について、図3(D)のような干渉縞曲線Qを実際に描画することができる程度に輝度値を取得することができる。そして、取得した輝度値が最大値を示すときのピント位置のz座標値を検出することで、干渉縞曲線Qの輝度値が最大値を示すときのピント位置のz座標値を検出することができる。

【0078】

または、ピント位置の各z座標値において取得した輝度値に基づいて最小二乗法等により干渉縞曲線Qを推測し、又は、干渉縞曲線Qの包絡線を推測する。そして、その推測した干渉縞曲線Q又は包絡線に基づいて輝度値が最大値を示すときのピント位置のz座標値を検出することで、干渉縞曲線Qの輝度値が最大値を示すときのピント位置のz座標値を検出することができる。

【0079】

以上のようにして、処理部18は、干渉縞(撮像素子60の撮像面60S)の各画素(m, n)に対応する被測定面S上の各点(X(m, n), Y(m, n))のz座標値Z(m, n)を検出することで、被測定面S上の各点(X(m, n), Y(m, n))の相対的な高さを検出することができる。

【0080】

そして、被測定面S上の各点のx座標値X(m, n)、y座標値Y(m, n)、及びz座標値Z(m, n)を被測定面Sの3次元形状データ(表面形状を示すデータ)として取得することができる。

【0081】

例えば、図5に示すようにx軸方向に並ぶ3つの画素に対応する被測定面S上の3点におけるz座標値Z1、Z2、Z3が相違する場合に、ピント位置をz軸方向に走査しながら干渉縞のそれらの画素の輝度値を取得する。その結果、それらの画素の各々に関してピント位置がz座標値Z1、Z2、Z3のときに輝度値が最大値を示す干渉縞曲線Q1、Q2、Q3が取得される。したがって、それらの干渉縞曲線Q1、Q2、Q3の輝度値が最大値を示すときのピント位置のz座標値を検出することで、それらの画素に対応する被測定面S上の3点におけるz座標値Z1、Z2、Z3を検出することができる。このようにして、被測定面Sの3次元形状データを取得することにより、測定対象物Pの表面形状測定を行う。

【0082】

上述のように光学部2として垂直走査型の白色干渉計を使用した場合、干渉部14に使用する対物レンズ50の最大撮影面積である測定視野W等の制限により、1回の測定で測定可能な被測定面Sの測定視野に制限がある場合が多い。

【0083】

このため、図6に示すように、測定対象物Pをx軸方向及びy軸方向に水平移動可能なステージ10上に載置し、測定対象物Pの被測定面Sを一定の割合で測定範囲が重なるように移動させながら複数回測定する。そして、その後でソフトウェア処理等を用いて計算す

10

20

30

40

50

ることによって複数枚の測定データを接続することにより被測定面 S の表面形状を測定するステッチング測定を行う。

【 0 0 8 4 】

なお、本実施の形態では、被測定面 S を一定の割合で測定範囲が重なるように測定する例で説明するが、重ねない場合もありえる。図 6 の W は対物レンズ 5 0 の測定視野を示しているが、実際には幅が W の正方形の面積である。

【 0 0 8 5 】

ところで、従来技術でも述べたように、光源 4 0、倍率の異なる複数の対物レンズ 5 0、及び撮影部 1 6 を備えた光学部 2 を有する表面形状測定装置 1 においては、測定準備アライメントとして、干渉部 1 4 に設けられた複数の倍率の異なる対物レンズ 5 0 の選択及び光源 4 0 の光量調整を少なくとも行う必要がある。

10

【 0 0 8 6 】

この測定準備アライメントを適正に行うか否かによって、表面形状の測定精度が異なる。特に、図 7 に示すように、表面形状が傾斜状領域 D と平坦状領域 K を有するうねり形状の被測定面 S を複数回測定し、その後複数枚の測定データを接続するステッチング測定を行う場合、傾斜状領域 D と平坦状領域 K との測定精度にバラツキが生じ易い。したがって、複数回の測定ごとに対物レンズ 5 0 の選択及び光源 4 0 の光量調整に関する測定準備アライメントを適正に行わないと、表面形状測定の精度が悪くなる。

【 0 0 8 7 】

そこで、本発明の実施の形態の表面形状測定装置 1 は、上記の基本構成に加えて、表面形状測定を高精度に行うための以下の構成を備えるようにした。

20

【 0 0 8 8 】

即ち、図 1 に示すように、主として、概略形状取得手段 7 2 と、被測定面分割手段 7 4 と、対物レンズ選択手段 7 5 と、光量調整手段 7 6 と、測定面形状測定手段 7 7 と、データ接続手段 7 8 と、を備えた。

【 0 0 8 9 】

(概略形状取得手段)

概略形状取得手段 7 2 は、被測定面 S の概略形状情報を取得するものであり、被測定面 S における傾斜状領域 D (図 7 参照) と平坦状領域 K (図 7 参照) とを識別できる程度の比較的精度のものでよく、高速かつ広範囲で測定が可能であることが優先される。概略形状取得手段 7 2 としては、次の 3 通りのものを採用することが好ましい。

30

【 0 0 9 0 】

1 つ目の概略形状取得手段 7 2 は、三角測量方式のレーザー変位計、ステレオカメラ、パターン投影装置、等を別途設ける場合である。図 8 は三角測量方式のレーザー変位計 7 2 A を被測定面 S の面内方向に沿って移動させることにより被測定面 S の傾斜状領域 D や平坦状領域 K の概略形状を取得している概念図である。

【 0 0 9 1 】

三角測量方式のレーザー変位計 7 2 A は、測定対象物 P の被測定面 S に照射されたレーザーの拡散反射の一部が受光レンズを通過して受光素子上にスポットを形成し、測定対象物 P までの距離が変位すると、スポットも移動する。そのスポット位置を検出することにより被測定面 S の概略形状を測定する方法である。反射光のなかの拡散反射光を受光することにより、測定範囲を広くとることができる。

40

【 0 0 9 2 】

ステレオカメラ 7 2 B は、測定対象物 P の被測定面 S を複数の異なる方向から同時に撮影することにより、その奥行き方向の情報も記録でき、1 台で両眼視差を再現し、立体的な空間把握のできる立体写真の撮影が可能である。

【 0 0 9 3 】

図 9 は 2 つのカメラ 7 3 で測定対象物 P の被測定面 S を撮像している図であり、これにより被測定面 S の概略形状を取得することができる。

【 0 0 9 4 】

50

図示しないが、パターン投影法は、パターン光を測定対象物 P の被測定面 S に投影し、画像に写ったパターン上の点の三次元座標を求める方法である。そして、パターン上の各点から三角測量の原理で、それらの点に対応する三次元座標で三次元形状データを取得することにより被測定面 S の概略形状を取得することができる。

【 0 0 9 5 】

これらの三角測量方式のレーザー変位計 7 2 A、ステレオカメラ 7 2 B、パターン投影装置等の概略形状取得手段 7 2 は公知のものを使用することができる。

【 0 0 9 6 】

レーザー変位計 7 2 A、ステレオカメラ 7 2 B、パターン投影装置等の新たに設置が必要な概略形状取得手段 7 2 は、図 1 に示すように例えば光学部 2 の側方位置に配置される。また、ステージ 1 0 を光学部 2 の下方位置と概略形状取得手段 7 2 の下方位置とに往復移動させるステージ移動手段 8 0 が設けられる。これにより、概略形状取得手段 7 2 によりステージ 1 0 上に載置された測定対象物 P の被測定面 S の概略形状が取得されると、ステージ移動手段 8 0 によってステージ 1 0 が光学部 2 の下方まで移動する。なお、本実施の形態では、1 つのステージ 1 0 を光学部 2 の下方位置と概略形状取得手段 7 2 の下方位置とで移動させるようにしたが、概略形状取得手段 7 2 のためのステージを別途設け、概略形状取得手段 7 2 による概略形状取得が終了したら、ユーザが測定対象物 P をステージ 1 0 に載せ変えるようにしてもよい。

【 0 0 9 7 】

2 つ目の概略形状取得手段 7 2 は、測定対象物 P の C A D (computer-aided-design) データを保持する保持手段 (図示せず) であり、処理部 1 8 の記憶手段を使用することができる。このように、測定対象物 P の C A D データを保持する保持手段を概略形状取得手段 7 2 として利用すれば、1 つ目の概略形状取得手段 7 2 のように、概略形状取得手段 7 2 を別途設ける必要がない。また、保持手段に保持された C A D データは既に測定対象物 P の 3 次元形状データを有している。これにより、測定対象物 P の被測定面 S の概略形状を測定する必要もないので、測定の時間短縮に寄与する。

【 0 0 9 8 】

3 つ目の概略形状取得手段 7 2 は、干渉部 1 4 の対物レンズ 5 0 として広い範囲を高速で測定できる低倍率レンズを用いた白色干渉計で概略形状を事前測定する場合である。この場合は、本実施の形態の表面形状測定装置 1 の干渉部 1 4 に既設の対物レンズ 5 0 における低倍率レンズ 5 0 A を使用することで構成できる。したがって、3 つ目の概略形状取得手段 7 2 の場合にも、概略形状取得手段 7 2 を別途設ける必要がない。

【 0 0 9 9 】

そして、図 1 0 に示すように、低倍率レンズ 5 0 A に切り替えた干渉部 1 4 により、被測定面 S の複数の特徴点近傍をサンプリング測定することで、被測定面 S の概略形状を取得することができる。特徴点は例えば被測定面 S の段差エッジ部分等である。

【 0 1 0 0 】

これらの概略形状取得手段 7 2 で取得された被測定面 S の概略形状情報は被測定面分割手段 7 4 に送られる。

【 0 1 0 1 】

(被測定面分割手段)

被測定面分割手段 7 4 は、概略形状取得手段 7 2 によって取得した概略形状情報に基づいて被測定面 S を傾斜状領域 D と平坦状領域 K とで構成され 1 つの面積が対物レンズ 5 0 の測定視野 W 以下の複数の測定面 N に分割するものである。

【 0 1 0 2 】

ここで、傾斜状領域 D 及び平坦状領域 K とは、概略形状情報を表示部 2 0 (図 1 参照) に表示したときに、被測定面 S 全体の概観として傾斜状に見える領域と平坦状に見える領域を言い、被測定面 S の細かな凹凸を拡大したときの傾斜や平坦は含まない。

【 0 1 0 3 】

また、傾斜状領域 D とは傾斜面及びその近傍領域を言い、傾斜面が 1 つであることに限ら

10

20

30

40

50

ず、傾斜角度の異なる傾斜面が繋がっている場合も含む。平坦状領域Kとは平坦面及びその近傍領域を言い、平坦とは略平坦であればよい。

【0104】

図11は、被測定面分割手段74、及び詳細を後記する対物レンズ選択手段75、光量調整手段76、測定面形状測定手段77、データ接続手段78をパーソナルコンピュータ等の演算処理装置からなる処理部18に搭載した場合である。

【0105】

なお、被測定面分割手段74、対物レンズ選択手段75、光量調整手段76、測定面形状測定手段77、及びデータ接続手段78は、処理部18に搭載せずに専用のハードウェアとして構成することもできるが、本実施の形態では、処理部18において実行されるプログラムを用いて構築される。即ち、処理部18のCPU(Central-Processing-Unit)が演算処理装置を構成し、被測定面分割手段74、対物レンズ選択手段75、光量調整手段76、測定面形状測定手段77、データ接続手段78として機能する。

10

【0106】

図11に示すように、処理部18は被測定面分割手段74、対物レンズ選択手段75、光量調整手段76、測定面形状測定手段77と、データ接続手段78を搭載し、概略形状取得手段72からの概略形状情報が被測定面分割手段74に入力される。また、概略形状取得手段72における概略形状情報の3次元座標(xyz座標)も処理部18に入力される。

【0107】

そして、被測定面分割手段74は、概略形状取得手段72により取得した概略形状情報の3次元座標と、ステージ10に載置された測定対象物Pの3次元座標とを整合する。これにより、測定対象物Pと概略形状情報との位置合わせが行われる。そして、概略形状情報に基づいて被測定面Sを傾斜状領域Dと平坦状領域Kとで構成され1つの面積が測定視野W以下の複数の測定面Nに分割する。この場合、被測定面Sを一定の割合で測定面Nが重なるように分割する。

20

【0108】

被測定面分割手段74は、傾斜状領域Dと平坦状領域Kとの高低差で形成される段差の閾値(以下、段差閾値という)によって識別することが好ましい。

【0109】

図12に示すように、例えば、うねり形状のうねり最大高さh(測定対象物Pの最大厚みh1-最小厚みh2)が100 μ mある場合に、段差閾値Rを例えば10 μ mに設定する。これにより、被測定面分割手段74は、被測定面Sにおいて10 μ m以上の高低差を有する領域を傾斜状領域Dとして判定し、10 μ m未満の高低差を有する領域を平坦状領域Kとして判断する。段差閾値Rをどの程度に設定するかは被測定面Sのうねり形状のうねり最大高さh、うねり幅の大きさ、うねり周期等に基づいて決定することができる。

30

【0110】

段差閾値Rを幾つに設定するかは、被測定面分割手段74に予め設定しておいてもよいが、ユーザが入力部22等を利用して被測定面分割手段74に任意に設定することが好ましい。これにより、被測定面Sの表面形状に応じて被測定面Sの分割数を適正に選択することができる。

40

【0111】

図13は、図7に示したうねり形状の被測定面Sを被測定面分割手段74により、x軸方向とy軸方向とに四角形状の16個の測定面N₁~N₁₆に分割し、分割した各測定面Nについて測定面に存在する最大高さを測定走査するのに最小限必要な干渉部14の最小走査範囲Z₁~Z₈を設定した説明図である。

【0112】

図13の(A)は分割した16個の測定面Nの最小走査範囲Z₁~Z₈を示し、(B)は分割した16個の測定面N₁~N₁₆を示す。図13の(B)において、網状部分は測定面N同士の重なり部分を示す。また、図13の(C)は干渉部14の対物レンズ50の測定視野Wを示す。

50

【 0 1 1 3 】

図 1 3 の (B) に示すように、16 個の測定面 N を N_1 から N_{16} と名前を付けたとすると、例えば測定面 N_1 及び測定面 N_9 の最小走査範囲は Z_1 となる。また、測定面 N_8 及び測定面 N_{16} の最小走査範囲は Z_8 となる。測定面 $N_2 \sim N_7$ 及び測定面 $N_{10} \sim N_{15}$ についても同様に最小測定走査設定 $Z_2 \sim Z_7$ を設定することができる。

【 0 1 1 4 】

なお、被測定面分割手段 7 4 が被測定面 S を傾斜状領域 D と平坦状領域 K とに分割する別の方法としては、表示部 2 0 と入力部 2 2 とを用いてユーザが被測定面分割手段 7 4 に対して分割領域を指定することもできる。即ち、表示部 2 0 に表示した概略形状情報をユーザが目視して傾斜状領域 D と平坦状領域 K とに識別し、識別した分割領域の位置座標 (x y 座標) を入力する。そして、被測定面分割手段 7 4 は、ユーザからの指定に基づいて被測定面 S を傾斜状領域 D と平坦状領域 K とに分割する。また、被測定面 S を傾斜状領域 D と平坦状領域 K とに分割できれば、上記の分割方法に限定するものではない。

10

【 0 1 1 5 】

(対物レンズ選択手段)

以下説明するように、対物レンズ選択手段 7 5 は、分割した各測定面 N について傾斜状領域 D と平坦状領域 K とに光源 4 0 から光を照射したときの測定に寄与する測定寄与照射量に応じて複数の対物レンズ 5 0 の中から使用する倍率の対物レンズ 5 0 を選択する。

【 0 1 1 6 】

図 1 4 は、被測定面分割手段 7 4 によって分割された傾斜状領域 D と平坦状領域 K とに、対物レンズ選択手段 7 5 によって倍率の異なる対物レンズ 5 0 を選択する一例を示した説明図である。

20

【 0 1 1 7 】

測定対象物 P の被測定面 S の表面形状が図 1 4 のようにうねり形状の場合、対物レンズ 5 0 を通して被測定面 S に照射された光は散乱し易い。これにより、対物レンズ 5 0 に戻る光が弱くなり、撮影部 1 6 においてノイズの多い画像になるため測定精度が悪くなる。

【 0 1 1 8 】

一方、対物レンズ 5 0 の特質として、開口数 (NA) の高い高倍率レンズ 5 0 C は開口数の低い低倍率レンズ 5 0 A に比べて微弱な光でも明るく高解像にとらえることができ、低倍率レンズ 5 0 A は高倍率レンズ 5 0 C に比べて測定視野が広い。

30

【 0 1 1 9 】

したがって、図 1 4 に示すように、対物レンズ選択手段 7 5 は、測定視野 W が広いが傾斜面に対する測定精度が悪い低倍率レンズ 5 0 A を平坦状領域 K の測定に選択し、傾斜面に対する測定精度が良いが測定視野 W が狭い高倍率レンズ 5 0 C を傾斜状領域 D の測定に選択する。これにより、傾斜状領域 D と平坦状領域 K の両方を高精度に測定でき、しかも平坦状領域 K に測定視野が広い低倍率レンズ 5 0 A を使用することによって短時間で広範囲を測定でき、測定準備アライメントの時間短縮を図ることができる。

【 0 1 2 0 】

なお、図 1 4 における符号 W_x は被測定面 S の面内方向 (x 軸) の測定面 N の幅を示し、 W_z は干渉部 1 4 の z 軸方向の走査範囲を示す。

40

【 0 1 2 1 】

次に、傾斜状領域 D と平坦状領域 K とによって複数の対物レンズ 5 0 の中から適正な倍率の対物レンズ 5 0 をどのように選択するかの対物レンズ選択方法を説明する。

【 0 1 2 2 】

図 1 5 は、見込角 θ_1 の対物レンズ 5 0 で傾斜角度 θ_2 の被測定面 S に光を照射したときの光の挙動を説明する説明図である。図 1 5 において、傾斜角度 θ_2 は水平面 1 7 に対する被測定面 S の傾斜角度である。

【 0 1 2 3 】

即ち、空气中において、見込角 θ_1 の対物レンズ 5 0 から傾斜角度 θ_2 の測定対象物 P の被測定面 S へ光を照射した場合、対物レンズ 5 0 に戻る、いわゆる測定に寄与する照射光

50

Aと対物レンズ50に戻らない、いわゆる測定に寄与しない照射光Bとがある。符号Cは、対物レンズ50に戻らない照射光Bの反射領域を示し、符号15は被測定面Sに対して垂直な法線である。

【0124】

図15において、空気中では、開口数(NA) = $\sin \theta$ の関係がなりたつので、被測定面Sの傾斜角度 θ の理論的な測定限界傾斜角度 θ_{max} は、 $\sin \theta_{max} = NA$ で表すことができる。例えばNAが0.3の対物レンズ50の場合、測定限界傾斜角度 θ_{max} は約17°となる。即ち、被測定面Sの傾斜角度 $\theta < \sin^{-1}(NA)$ の式を満足すれば測定可能と言える。換言すると、NAが0.3の対物レンズ50の場合には被測定面Sの傾斜角度が17°を超えると測定不可であり、17°以下であれば測定可能と判断

10

【0125】

しかしながら実際には $\theta < \sin^{-1}(NA)$ の式は理論的な測定限界傾斜角度 θ_{max} であり、対物レンズ50を選択する判断基準としてそのまま適用することは現実的でない。現実的な判断基準は対物レンズ50を通して被測定面Sに照射する光の全照射光量(F)に対して、対物レンズ50に戻る測定に寄与する測定寄与照射光量(G)の割合(G/F)によって決定することが好ましい。

【0126】

図16は、例えばNAが0.3の対物レンズ50において一様な照射光を想定した場合、被測定面Sの傾斜角度 θ と、全照射光量(F)に対する測定寄与照射光量(G)の割合(G/F)との関係を表したグラフである。

20

【0127】

図16の横軸は被測定面Sの傾斜角度 θ (°)を示し、縦軸はG/Fを示す。そして、G/Fが0.2未満(20%未満)になるとNAが0.3の対物レンズ50では測定不可となり、0.3よりも大きなNA(大きな倍率)の対物レンズ50を選択する必要がある。図15のグラフから、G/Fが0.2は傾斜角度 θ が約12°であり、現実的には、傾斜角度12°が測定限界傾斜角度 θ_{max} になる。

【0128】

このことから、干渉部14に備える複数の対物レンズ50のそれぞれについて測定限界傾斜角度 θ_{max} におけるG/Fを予め予備試験等により求めておく。そして、傾斜状領域D及び平坦状領域Kの測定寄与照射光量(G)を知ることによって、傾斜状領域D及び平坦状領域Kを高精度に測定するための適正な倍率の対物レンズ50を選択することができる。なお、全照射光量(F)は測定しなくても光源40の出力から知ることができる。

30

【0129】

したがって、本発明の実施の形態の表面形状測定装置1は、測定寄与照射光量(G)を検出する測定寄与照射光量検出手段82(図2及び図11参照)を更に設けることが好ましい。そして、対物レンズ選択手段75は、分割した傾斜状領域Dと平坦状領域KとによってG/Fに基づいて使用する倍率の対物レンズ50を選択する。これにより、傾斜状領域Dと平坦状領域Kとによって複数の対物レンズ50の中から適正な倍率の対物レンズ50を選択することができる。

40

【0130】

なお、適正な倍率の対物レンズ50の選択方法として、測定寄与照射光量検出手段82に限定するものではない。傾斜状領域Dや平坦状領域Kの傾斜角度を測定して測定限界傾斜角度 θ_{max} を求めることができれば、直接的な指数である測定限界傾斜角度 θ_{max} に基づいて適正な倍率の対物レンズ50を選択してもよい。あるいは概略形状取得手段72で取得した測定対象物Pの概略形状情報を表示部20に表示し、操作者が目視で傾斜状領域Dや平坦状領域Kの傾斜角度の程度を判定して対物レンズ50を選択してもよい。

【0131】

(光量調整手段)

以下説明するように、光量調整手段76は、分割した各測定面Nについて傾斜状領域Dと

50

平坦状領域 K とに光源 40 から光を照射したときの測定に寄与する測定寄与照射量に応じて光源 40 の光量調整を行う。

【0132】

光源 40 の光量調整についても、図 15 で説明した考えを用いることができる。例えば NA が 0.3 の対物レンズ 50 において一様な照射光を想定した場合、被測定面 S の傾斜角度 θ と、全照射光量 (F) に対する測定に寄与する測定寄与照射光量 (G) の割合 (G/F) との関係は図 16 のグラフになる。

【0133】

ここで、被測定面 S の傾斜角度 θ が例えば 6° のときの G/F (約 0.56) は傾斜角度 θ が 0° のときの G/F (1.0) の約半分になり、光量不足により測定精度が低下する。

10

【0134】

したがって、光量調整手段 76 は、被測定面 S の傾斜角度 θ が例えば 6° のときには、傾斜角度 θ が 0° のときの光量の約 2 倍に調整する。このように、傾斜角度 θ が 0° のときの光量を基準光量として、被測定面 S の傾斜角度が大きくなることで生じる光量不足による測定精度低下を避けることができる。これにより、被測定面 S がうねり形状のように小さな傾斜角度から大きな傾斜角度まで複数の測定面 N が存在する場合であっても、各測定面 N の表面形状を高精度に測定することができる。

【0135】

したがって、光量調整手段 76 は、測定寄与照射光量検出手段 82 で検出した測定寄与照射光量 (G) を光源 40 の光量調整方法に利用することができる。即ち、光量調整手段は平坦状領域 K を測定するときの測定寄与照射量 G を基準光量とし、傾斜状領域 D を測定するときの測定寄与照射量 G が基準光量になるように光源 40 の光量を調整する。

20

【0136】

これによって、傾斜状領域 D と平坦状領域 K との光量が同じになるので、両方の領域 D, K を高精度に測定することができ且つ測定精度を均一化することができる。

【0137】

(測定面形状測定手段)

測定面形状測定手段 77 は、ステージ 10 を面内方向移動手段 35 により被測定面 S の面内方向に移動させることにより、分割した各測定面 N を選択した対物レンズ 50 及び調整した光源 40 の光量に基づいて表面形状を個々に測定して複数の測定データを取得するものである。

30

【0138】

即ち、測定面形状測定手段 77 は、面内方向移動手段 35 により被測定面 S の面内方向に移動させることにより、分割した各測定面 N を選択した対物レンズ 50 及び調整した光源 40 の光量に基づいて表面形状を個々に測定して複数の測定データを取得する。

【0139】

即ち、図 13 で示した 16 個の測定面 $N_1 \sim N_{16}$ ごとに設定した最小走査範囲 $Z_1 \sim Z_8$ の範囲で干渉部 14 を垂直方向に測定走査し、各測定面 $N_1 \sim N_{16}$ の表面形状を測定する。処理部 18 は、例えば最初に測定面 N_1 について最小走査範囲 Z_1 だけ測定走査して測定面 N_1 の表面形状を取得する。次に、測定面 N_2 について最小走査範囲 Z_2 だけ測定走査して測定面 N_2 の表面形状を取得する。これを測定面 N_{16} まで繰り返す。

40

【0140】

(データ接続手段)

データ接続手段 78 は、測定面形状測定手段 77 で取得した各測定面 N の測定データを接続するものである。これにより、被測定面 S 全体の表面形状を測定することができる。データ接続手段 78 による各測定面 N の接続方法はソフトウェア処理等の公知の方法を採用することができる。

【0141】

[表面形状測定方法]

50

次に、上記の如く構成した本発明の表面形状測定装置 1 を用いて、うねり形状の被測定面 S を有する測定対象物 P の表面形状を測定する表面形状測定方法について説明する。

【0142】

図 17 は、測定対象物 P の被測定面 S の表面形状をスティッチング測定方法で測定するステップフローである。説明し易いように本実施の表面形状測定方法では、図 7 に示すように、x 軸方向のみにうねり形状を有し、x 軸方向の長さが干渉部 14 の対物レンズ 50 の測定視野 W よりも長く、y 軸方向の長さが測定視野 W よりも僅かに短い測定対象物 P の例で説明する。

【0143】

先ず概略形状取得手段 72 は、測定対象物 P の被測定面 S の概略形状情報を取得する概略形状取得工程を行う（ステップ S10）。概略形状取得手段 72 は、上記した三角測量方式のレーザー変位計、ステレオカメラ、パターン投影装置、CAD（computer-aided-design）データを保持する保持手段、干渉部 14 の対物レンズとして広視野な低倍率レンズを用いた白色干渉計の何れでもよい。

10

【0144】

次に被測定面分割手段 74 は、概略形状取得手段 72 による概略形状情報の 3 次元座標とステージ 10 に載置された測定対象物 P の 3 次元座標とを整合し、概略形状情報に基づいて被測定面 S を傾斜状領域 D と平坦状領域 K とで構成され 1 つの面積が測定視野 W 以下の複数の測定面に分割する被測定面分割工程を行う（ステップ S20）。

【0145】

次に対物レンズ選択手段 75 は、分割した各測定面 N について傾斜状領域 D と平坦状領域 K とに光源 40 から光を照射したときの測定に寄与する測定寄与照射量に応じて複数の対物レンズ 50 のうち使用する倍率の対物レンズ 50 を選択する対物レンズ選択工程を行う（ステップ S30）。

20

【0146】

この対物レンズ選択工程において、図 18 に示すように、分割した複数の傾斜状領域 D と平坦状領域 K との各測定面 N について上記した対物レンズ選択方法で選択した対物レンズ 50 の対物レンズマップ F を表示部 20 に表示することが好ましい。

【0147】

図 18 の (A) は、被測定面 S のうねり形状を x 軸方向と z 軸方向とで示したものである。実際には y 軸方向にもうねりがあるが、図では省略している。図 18 の (B) は、図 18 の (A) のうねり形状を分割した複数の傾斜状領域 D と平坦状領域 K とについて選択した対物レンズ 50 の対物レンズマップ F の一例を表示部 20 に表示したものである。10 の (C) は、低倍率レンズ 50A、中倍率レンズ 50B、及び高倍率レンズ 50C の測定視野 W_1 , W_2 , W_3 の大きさを示したものである。

30

【0148】

図 18 の (B) のように、対物レンズマップ F には、各測定面 N の測定範囲を四角形で表示するとともに、異なる倍率の対物レンズ 50 を異なる色で表示することが好ましい。例えば対物レンズマップ F には、低倍率レンズ 50A で測定する測定面 N_R を赤色で示し、中倍率レンズ 50B で測定する測定面 N_G を緑色で示し、高倍率レンズ 50C で測定する測定面 N_B を青色で示すことができる。なお、斜線部分は測定面の重なり合う部分である。

40

【0149】

これにより、操作者に対して、測定面 N ごとに使用する対物レンズ 50 の倍率を目視で確認させることができ、倍率に応じて対物レンズ 50 が面積の異なる測定範囲をもつことを明示することができる。

【0150】

また、対物レンズマップ F を表示部 20 に表示することで、表示しない場合に比べて、より最適な対物レンズ 50 の選択プランの様子をユーザは実感することができる。

【0151】

次に、光量調整手段 76 は、分割した各測定面 N について傾斜状領域 D と平坦状領域 K と

50

に光源 40 から光を照射したときの測定に寄与する測定寄与照射量に応じて光源 40 の光量調整を行う光量調整工程を行う（ステップ S 40）。

【0152】

次に処理部 18 の測定面形状測定手段 77 は、ステージ 10 を被測定面 S の面内方向に移動させることにより、分割した各測定面 N を選択した対物レンズ 50 及び調整した光源光量に基づいて表面形状を個々に測定して複数の測定データを取得する測定面形状測定工程を行う（ステップ S 50）。

【0153】

次に、処理部 18 のデータ接続手段 78 は、取得した複数の測定データを接続するデータ接続工程を行う（ステップ S 60）。

10

【0154】

これにより、ステッチング測定において、被測定面 S の表面形状測定を行う際の適正な倍率の対物レンズ 50 の選択及び光源 40 の適正な光量の調整の測定準備アライメントを行うことができるので被測定面 S の表面形状測定を高精度化できる。

【0155】

上記の説明した本実施の形態では、対物レンズ 50 の測定視野 W が被測定面 S よりも小さく、ステッチング測定を行う例で説明したが、ステッチング測定に限定するものではない。対物レンズ 50 の測定視野 W が被測定面 S と同等以上の場合であっても、本発明のように、概略形状取得工程（ステップ S 10）～データ接続工程（ステップ S 60）を行うことによって、特にうねり形状の被測定面 S の表面形状を高精度に測定することができる。

20

【0156】

なお、ステージ 10 を光学部 2 に対して水平移動させることで説明したが、ステージ 10 に対して光学部 2 を水平移動させてもよい。また、本実施の形態では、被測定面 S がうねり形状である場合で説明したが、この形状に限定するものではなく、表面が凹凸の高低差を有する形状であればよい。

【0157】

なお、上記した本実施の形態の表面形状測定装置 1 では、測定対象物 P の被測定面 S の表面形状を測定する光を出力する光源 40、光源 40 から出力された光を被測定面 S に照射する対物レンズ 50、及び被測定面 S の測定画像を取得する撮影部 16 を少なくとも有する光学部 2 として、垂直走査型の白色干渉計の例で説明したが、本発明はレーザー共焦点顕微鏡にも適用することができる。

30

【符号の説明】

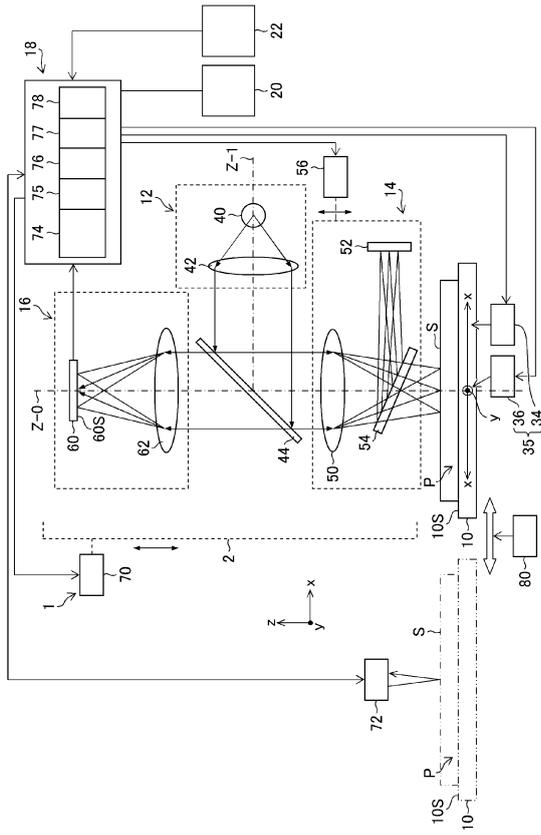
【0158】

P ... 測定対象物、Q, Q1, Q2, Q3 ... 干渉縞曲線、S ... 被測定面、Z - 0, Z - 1 ... 光軸、N ... 測定面、D ... 傾斜状領域、K ... 平坦状領域、A ... 測定に使用可能な照射光、B ... 測定に使用不可な照射光、C ... 対物レンズ 50 に戻らない反射光、F ... 対物レンズ分割マップ、Z ... 走査範囲、1 ... 表面形状測定装置、2 ... 光学部、2A ... 筐体、2B ... レボルバー、10 ... ステージ、10S ... ステージ面、12 ... 光源部、14 ... 干渉部、16 ... 撮影部、18 ... 処理部、20 ... 表示部、22 ... 入力部、34 ... x アクチュエータ、35 ... 面内方向移動手段、36 ... y アクチュエータ、40 ... 光源、42 ... コレクタレンズ、44, 54 ... ビームスプリッタ、50 ... 対物レンズ、50A ... 低倍率レンズ、50B ... 中倍率レンズ、50C ... 高倍率レンズ、52 ... 参照ミラー、56 ... 干渉部アクチュエータ、60 ... 撮像素子、60S ... 撮像面、62 ... 結像レンズ、70 ... z アクチュエータ、72 ... 概略形状取得手段、74 ... 被測定面分割手段、75 ... 対物レンズ選択手段、76 ... 光量調整手段、77 ... 測定面形状測定手段、78 ... データ接続手段、80 ... ステージ移動手段、82 ... 測定寄与照射光量測定手段

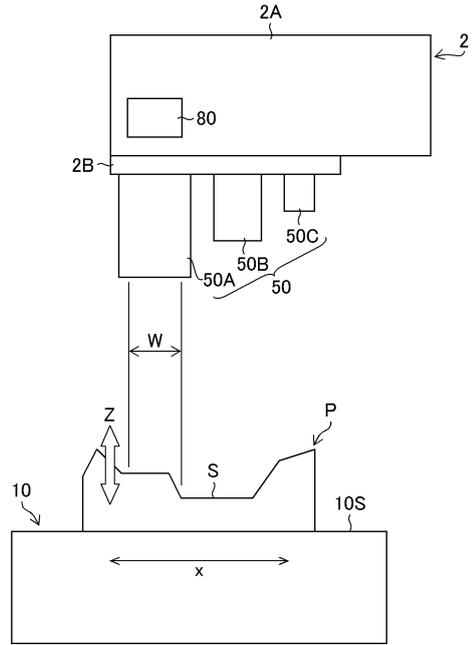
40

【図面】

【図 1】



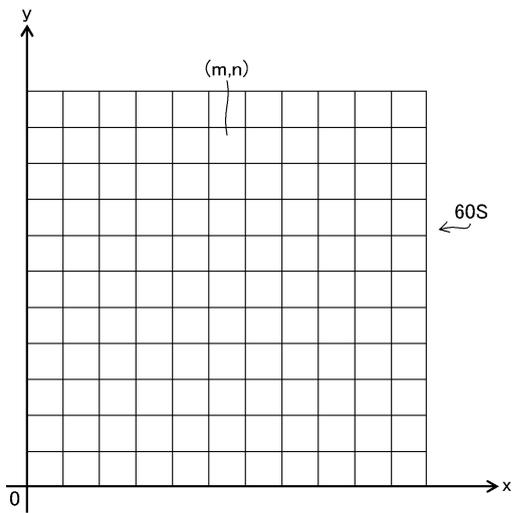
【図 2】



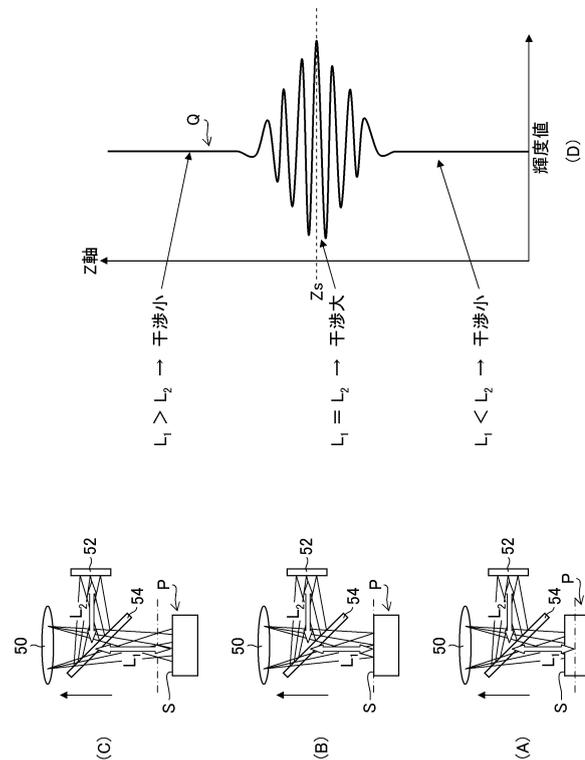
10

20

【図 3】



【図 4】

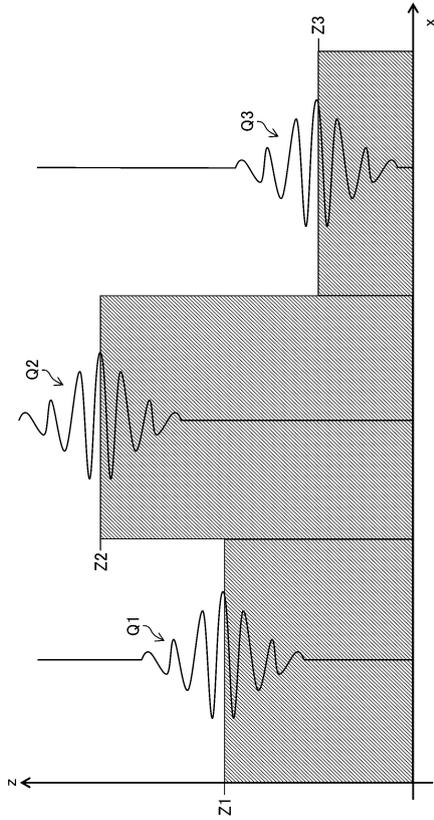


30

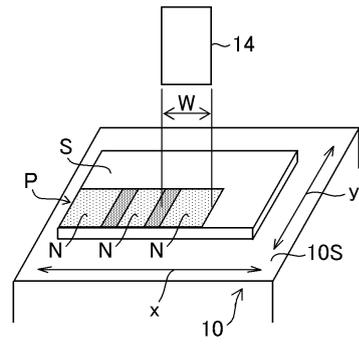
40

50

【図 5】

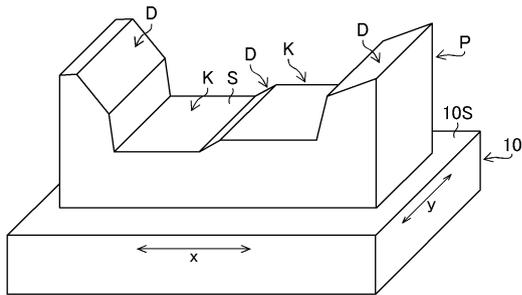


【図 6】

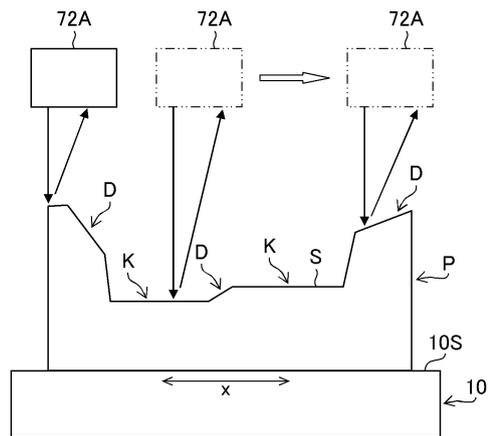


10

【図 7】



【図 8】

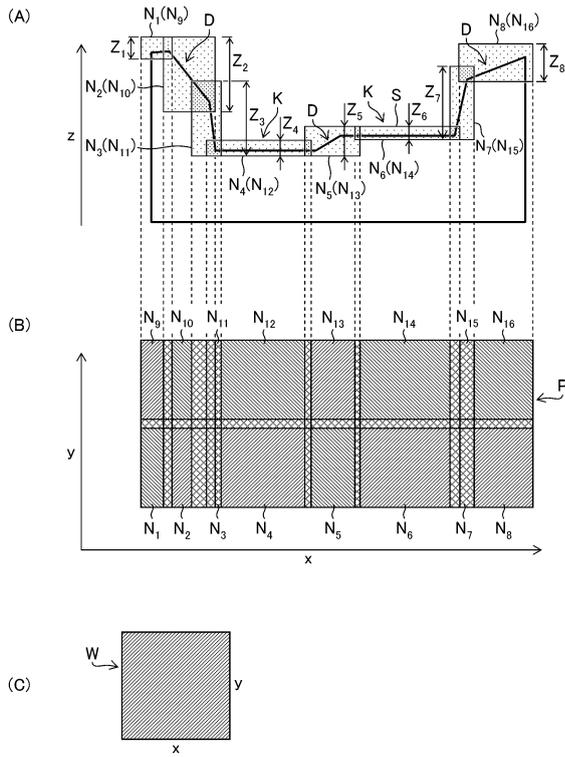


30

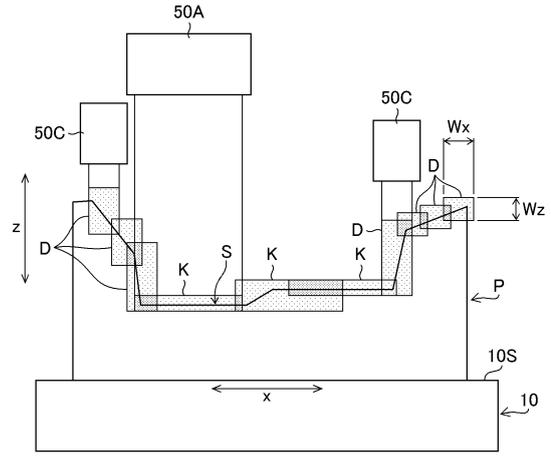
40

50

【 図 1 3 】



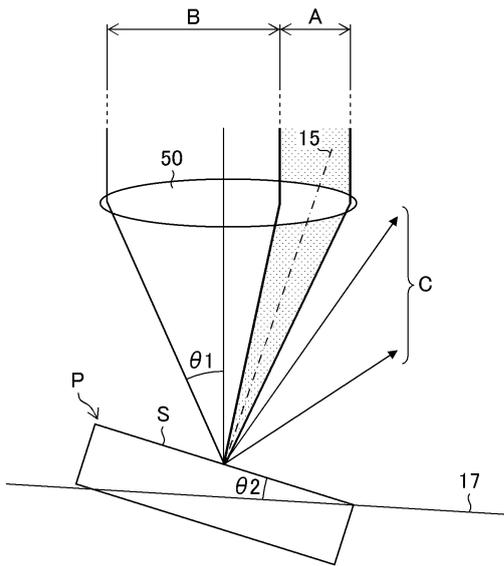
【 図 1 4 】



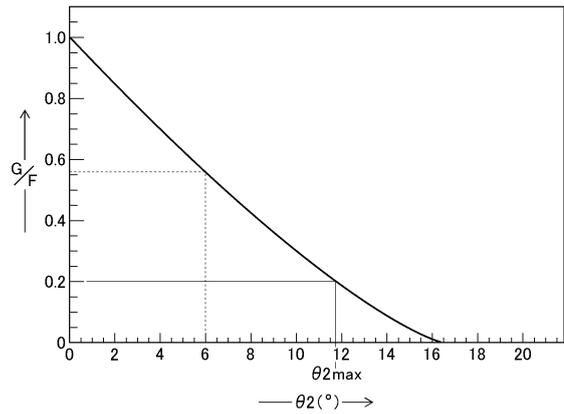
10

20

【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

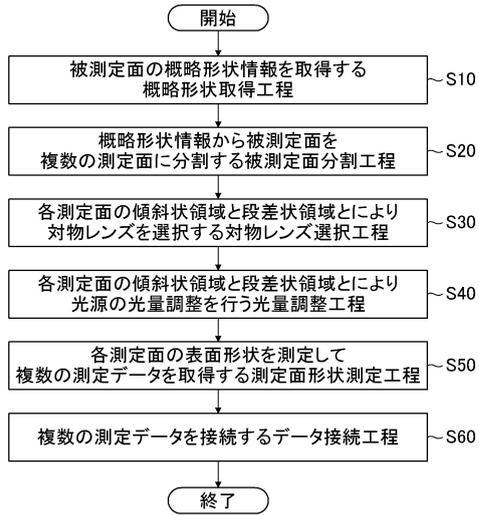


30

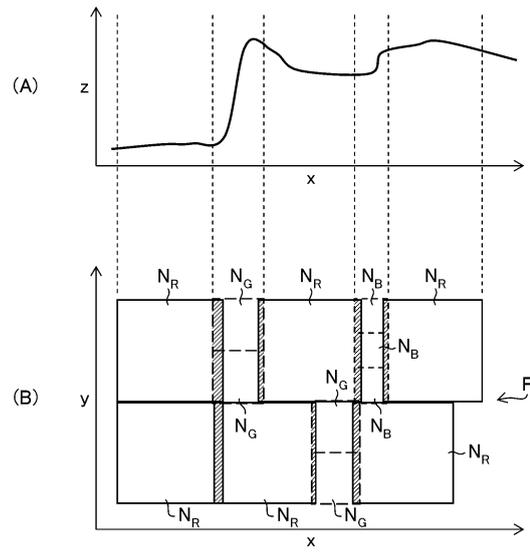
40

50

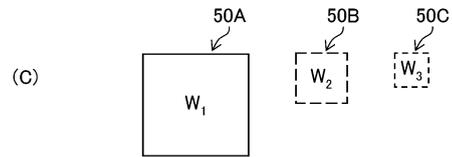
【 図 1 7 】



【 図 1 8 】



10



20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平08-320210(JP,A)
特開2008-281492(JP,A)
特開2017-040652(JP,A)
特開2016-161312(JP,A)
特開2016-031368(JP,A)
米国特許第04798469(US,A)
米国特許出願公開第2012/0140243(US,A1)
米国特許出願公開第2010/0225926(US,A1)
米国特許出願公開第2006/0176494(US,A1)
米国特許出願公開第2003/0058454(US,A1)
米国特許第04606634(US,A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01B 11/24