

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-127675

(P2012-127675A)

(43) 公開日 平成24年7月5日(2012.7.5)

(51) Int.Cl.
G 0 1 B 11/25 (2006.01)F 1
G 0 1 B 11/25テーマコード (参考)
2 F 0 6 5

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 27 頁)

(21) 出願番号 特願2010-276780 (P2010-276780)
(22) 出願日 平成22年12月13日 (2010.12.13)(71) 出願人 000000044
旭硝子株式会社
東京都千代田区丸の内一丁目5番1号
(74) 代理人 100103090
弁理士 岩壁 冬樹
(74) 代理人 100124501
弁理士 塩川 誠人
(72) 発明者 尊田 嘉之
東京都千代田区有楽町一丁目12番1号
旭硝子株式会社内
(72) 発明者 大音 仁昭
東京都千代田区有楽町一丁目12番1号
旭硝子株式会社内

最終頁に続く

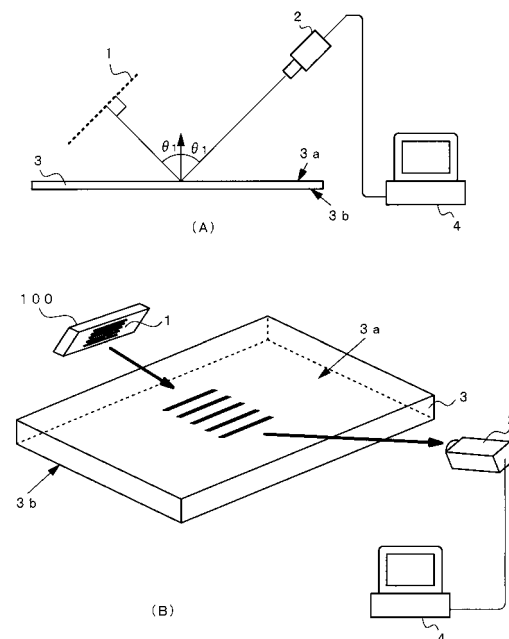
(54) 【発明の名称】 表面形状の評価方法および評価装置

(57) 【要約】

【課題】第1表面に対向する第2表面による反射像の影響を受けずに被評価物体の表面形状を精度よく評価することができるようにする。

【解決手段】評価装置は、評価対象である板ガラスなどの被評価物体3の表面3aに映し出されたストライプパターン1を、CCDカメラ2によって撮像するように構成されている。ストライプパターン1は、光源の発光面に設けられている。また、光源が発射する光の波長は、200～380nmである。CCDカメラ2によって撮像された画像は、演算装置としてのコンピュータ4に取り込まれ、コンピュータ4によって画像解析が行われる。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

周期的な明暗を有するパターンを被評価物体の第 1 表面に照射し、
前記第 1 表面を反射したパターンを受光し、
前記第 1 表面に照射されたパターンにおける明暗の基本周期に対する受光画像における明暗周期のずれを検出するために、前記第 1 表面に照射されたパターンにおける明暗の基本周期に対する受光画像における領域の明暗を平均化し、
平均化された信号にもとづいて前記第 1 表面の表面形状を評価する表面形状の評価方法であって、
前記第 1 表面に照射する前記パターンの光の波長が 200～380 nm である
ことを特徴とする表面形状の評価方法。

10

【請求項 2】

平均化された信号にもとづいて受光画像における明暗周期のずれ部分およびずれ量を測定し、測定結果にもとづいて前記被評価物体の表面形状を評価する請求項 1 に記載の表面形状の評価方法。

【請求項 3】

平均化された信号中における振幅の大きい部分とその近傍の振幅の小さい部分との差によって前記被評価物体の表面形状を評価する請求項 1 または 2 に記載の表面形状の評価方法。

【請求項 4】

明暗周期のずれ量として平均化された信号の増減の絶対値または二乗値を用いる
請求項 3 に記載の表面形状の評価方法。

20

【請求項 5】

被評価物体の第 1 表面における異なる地点による各反射像を形成するものであって位置を特定可能であって移動速度既知の運動する輝点または物点である基準体の前記各反射像をカメラを介して観測し、

前記第 1 表面が理想的平面である場合の各反射像に対する各観測反射像のずれ量を得て、
前記各ずれ量、前記基準体の位置情報および前記カメラのレンズ中心位置情報を用いて前記第 1 表面のうねり形状の傾きを求め、

30

前記第 1 表面がほぼ平坦であることを拘束条件として、前記うねり形状の傾きを積分して前記第 1 表面のうねり形状を評価する表面形状の評価方法であって、

前記第 1 表面に照射する前記パターンの光の波長が 200～380 nm である
ことを特徴とする表面形状の評価方法。

【請求項 6】

被評価物体の第 1 表面における異なる地点による各反射像を形成するものであって位置を特定可能であって周期的な明暗を有するパターンである基準体の前記各反射像をカメラを介して観測し、

前記第 1 表面が理想的平面である場合の各反射像に対する各観測反射像のずれ量を得て、前記各ずれ量、前記基準体の位置情報および前記カメラのレンズ中心位置情報を用いて前記第 1 表面のうねり形状の傾きを求め、

40

前記第 1 表面がほぼ平坦であることを拘束条件として、前記第 1 表面の傾きを積分して前記第 1 表面のうねり形状を評価する表面形状の評価方法であって、

前記第 1 表面に形成される反射像の光の波長が 200～380 nm である
ことを特徴とする表面形状の評価方法。

【請求項 7】

周期的な明暗を有するパターンを被評価物体の第 1 表面に照射する光源と、

前記第 1 表面を反射したパターンを受光する受光手段と、

前記光源のパターンにおける明暗の基本周期に対する前記受光手段による受光画像における明暗周期のずれに基づいて前記第 1 表面の表面形状を評価する評価手段とを備え、

50

前記評価手段は、前記第 1 表面に照射されたパターンにおける明暗の基本周期に対応した受光画像における領域の明暗を平均化する平均化手段と、前記平均化手段が出力する平均化信号を用いて前記第 1 表面における表面形状の変形箇所と変形量とを特定するための信号を出力する処理手段とを含む表面形状の評価装置であって、

前記光源が発射する光の波長が 200～380nm である

ことを特徴とする表面形状の評価装置。

【請求項 8】

被評価物体の第 1 表面における異なる地点による各反射像を形成するものであって位置を特定可能であって移動速度既知の運動する輝点または物点である基準体と、

前記基準体の前記第 1 表面による各反射像を得るカメラと、

前記第 1 表面が理想的平面である場合の各反射像に対する前記カメラが得た各反射像のずれ量を算出し、前記各ずれ量、前記基準体の位置情報および前記カメラのレンズ中心位置情報を用いて前記第 1 表面のうねり形状の傾きを求め、前記第 1 表面がほぼ平坦であることを拘束条件として前記うねり形状の傾きを積分して前記第 1 表面のうねり形状を求める演算手段とを含む表面形状の評価装置であって、

前記反射像を形成する光の波長が 200～380nm である

ことを特徴とする表面形状の評価装置。

【請求項 9】

被評価物体の第 1 表面における異なる地点による各反射像を形成するものであって位置を特定可能であり周期的な明暗を有するパターンである基準体と、

前記基準体の前記第 1 表面による各反射像を得るカメラと、

前記第 1 表面が理想的平面である場合の各反射像に対する前記カメラが得た各反射像のずれ量を算出し、前記各ずれ量、前記基準体の位置情報および前記カメラのレンズ中心位置情報を用いて前記第 1 表面のうねり形状の傾きを求め、前記第 1 表面がほぼ平坦であることを拘束条件として前記うねり形状の傾きを積分して前記第 1 表面のうねり形状を求める演算手段とを含む表面形状の評価装置であって、

前記反射像を形成する光の波長が 200～380nm である

ことを特徴とする表面形状の評価装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、表面形状の評価方法および評価装置に関する。

【背景技術】

【0002】

物体の表面形状を検査する方法として、周期的な明暗を有するストライプパターン（例えば、短冊状の黒パターン部が一定間隔で配列しているパターン）を被検査物体に照射し、被検査物体の表面を反射して形成される反射像における明暗周期のずれにもとづいて被検査物体の表面形状を評価する方法がある（例えば、特許文献 1 参照）。しかし、そのような方法を板ガラスのような透明板状体に適用すると、透明板状体の表面による反射像だけでなく、透明板状体の裏面による反射像も同時に撮像される。以下、透明板状体等の被検査物体の表面による反射像を表面反射像といい、透明板状体等の被検査物体の裏面による反射像を裏面反射像という。

【0003】

図 30 は、表面反射像と裏面反射像とが同時に形成される様子を示す説明図である。図 30 に示すように、ストライプパターン上の点 5 から発した光は、被評価物体 3 の表面 3a で反射され、光路 8 を介してレンズ中心 30 を経てカメラの受光面 7 上の撮像点 10 に結像される。また、被評価物体 3 を透過した光は、被評価物体 3 の裏面 3b で反射され、光路 9 を介してレンズ中心 30 を経て受光面 7 上の撮像点 11 に結像される。

【0004】

ここで、ストライプパターンの周期または幅によっては、撮像した画像信号に、以下に

10

20

30

40

50

示す問題が生ずることがある。図 3 1 は、カメラが出力する画像信号例を模式的に示す波形図である。図 3 1 (A) は、表面反射像の画像信号を示し、図 3 1 (B) は、裏面反射像の画像信号を示す。また、低いレベルはストライプパターンにおける暗部にもとづく画像信号のレベルを示し、高いレベルはストライプパターンにおける明部にもとづく画像信号のレベルを示す。ストライプパターンにおける暗部の幅が広いと、画像信号における低いレベルの部分の幅も大きくなって、表面反射像の画像信号における低いレベルと裏面反射像の画像信号における低いレベルとが重畳することがある。すると、カメラから出力される画像信号が図 3 1 (C) に示すような信号になってしまい、本来必要とされる表面反射像の画像信号 (図 3 1 (A) 参照) とは異なった信号にもとづいて表面形状の検査が行われることになる。

10

【0005】

また、図 3 2 に示すように、ストライプパターンにおける暗部の幅が十分に狭くても、表面反射像の画像信号における暗部の位置と裏面反射像の画像信号における暗部の位置との差 T がストライプパターンにおける明暗の周期の整数倍に近いときには、図 3 2 (C) に示すような画像信号がカメラから出力される。なお、図 3 2 (A) は、表面反射像の画像信号を示し、図 3 2 (B) は、裏面反射像の画像信号を示す。この場合にも、表面反射像の画像信号とは異なった信号にもとづいて表面形状の検査が行われることになり、正確な表面形状の評価を行えないという問題が生ずる。

【0006】

裏面反射像の影響を低減して表面形状の評価の精度を低下させないようにした表面形状の評価方法が提案されている (例えば、特許文献 2 参照)。図 3 3 は、特許文献 2 に記載された板ガラスなどの被評価物体の表面の平坦度を評価するための評価装置の概要を示す模式図である。

20

【0007】

図 3 3 に示すように、評価装置は、載置台 (図示せず) 上に載せられた検査対象である板ガラスなどの被評価物体 3 の表面 3 a に映し出されたストライプパターン 1 を、撮像手段としての CCD カメラ 2 によって撮像するように構成されている。ストライプパターン 1 は、光源 (図示せず) の発光面に設けられている。図 3 4 は、ストライプパターン 1 の一例を示す説明図である。図 3 4 において、 L_1 は暗部の幅を示し、 L_2 は明部の幅を示す。 $L_1 + L_2$ が明暗の周期に相当する。透明樹脂フィルムに黒色部分を着色してストライプパターン 1 を実現する場合には、明部は透明部分に相当し、暗部は黒色部分に相当する。

30

【0008】

特許文献 2 に記載された表面形状の評価方法では、第 1 ステップとして、被評価物体 3 に適するストライプパターン 1 を決定するストライプパターン決定工程が実行され、次いで、第 2 ステップで、第 1 ステップで決定されたストライプパターン 1 を用いて、ストライプパターン 1 の被評価物体 3 による反射像にもとづいて画像解析によって被評価物体 3 の表面形状を評価する表面形状検査工程が実行される。なお、第 2 ステップでは、第 1 ステップで決定されたストライプパターン 1 の被評価物体 3 の表面 3 a および裏面 3 b による反射像のうち、被評価物体 3 の表面 3 a による反射像のみが用いられる。

40

【0009】

図 3 5 は、特許文献 2 に記載されたストライプパターンを決定する処理の一例を示すフローチャートである。その処理において、まず、1 枚毎に異なるパターンが印刷された複数のストライプパターンを用意する (ステップ S 3 1)。すなわち、ストライプの周期や幅が異なる複数のストライプパターンを準備する。ストライプパターンは、例えば、インクジェット印刷により、透明樹脂フィルムにパターンを印刷することによって形成される。次いで、1 つのストライプパターンを光源に貼付する (ステップ S 3 2)。そして、被評価物体 3 によるストライプパターンの反射像を CCD カメラ 2 により撮像する (ステップ S 3 3)。

【0010】

50

次いで、演算装置（例えば、コンピュータ）4が、CCDカメラ2により撮像された画像の画像信号を入力し、画像解析処理プログラムに従って画像信号を解析する画像解析処理を実行する（ステップS34）。画像解析処理では、CCDカメラ2の出力信号すなわちCCDカメラ2から入力された画像信号が、図36（C）に示すような状態であるか否か判断する。具体的には、2つの暗部に対応するレベルが重畳していない状態であるか否か判断する。画像信号がそのような状態を示していない場合（NGの場合）には、別のストライプパターンを光源に貼付し、ステップS32，S3の処理を再度実行する。

【0011】

演算装置4が、画像信号において2つの暗部に対応するレベルが重畳していない状態であることを確認したら、そのときに光源に貼付されているストライプパターンを、被評価物体3の表面形状の評価において使用するストライプパターン1として決定する（ステップS37）。以上のようにして、被評価物体3の表面形状の評価に適するストライプパターン1として、CCDカメラ2によって得られた画像信号においては分離するように設定された明暗のパターンを有するストライプパターン1が決定される。

【0012】

図36（C）は、第1ステップで決定されたストライプパターン1を用いた場合におけるCCDカメラ2の出力信号例を示す波形図である。なお、図36（A）は、表面反射像の画像信号を示し、図36（B）は、裏面反射像の画像信号を示す。

【0013】

特許文献2に記載された発明では、ストライプパターンの暗部の幅（信号幅 W_1 ， W_2 に相当）と明暗の周期（周期 T_1 ， T_2 に相当）を最適化することによって、CCDカメラ2が出力する画像信号において、表面反射像における暗部と裏面反射像における暗部とが重なり合わないよう調整されている（図36（C）参照）。そのため、演算装置4による画像解析の際に、表面反射像の画像信号のみを容易に抽出でき、精密な表面形状評価を実施することができる。すなわち、安価な装置構成で裏面反射像の影響を除去して、表面形状を精度よく評価することができるようになる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0014】

【特許文献1】特開平11-148813号（段落0082-0083、図24）

【特許文献2】特開2005-345383号公報（段落0020-0024、図3）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0015】

しかし、特許文献2に記載された表面形状の評価方法では、表面反射像にもとづく暗部と裏面反射像にもとづく暗部とを適切に離反させることができるようなストライプパターンを決定するために、一度で決定できない限り、ストライプパターンを光源に貼付する作業を複数回行わなければならない、実際に表面形状検査を実施する前の準備作業に手間がかかる。また、図36（C）に示された例を参照すると、隣接する2つの低レベルの部分のうち、よりレベルが低い方が表面反射像にもとづく暗部に対応するが、裏面反射の光束が多い場合には2つの低レベルのレベル差が小さくなって表面反射像の画像信号のみを抽出することが難しくなり、結果として表面形状の評価の精度が低下する可能性がある。また、被評価物体の板厚が0.5mm以下の薄い場合には、ストライプパターンにおける隣接するストライプが重畳して観察される可能性がある。表面反射像の画像信号とは異なった信号にもとづいて表面形状の検査が行われることになり、正確な表面形状の評価を行えないという問題が生ずる。

【0016】

そこで、本発明は、準備作業に手間をかけることなく、第1表面に対向する第2表面による反射像の影響を受けずに被評価物体の表面形状を精度よく評価することができる表面形状の評価方法および評価装置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】

【0017】

本発明による表面形状の評価方法は、周期的な明暗を有するパターンを被評価物体の第1表面に照射し、第1表面を反射したパターンを受光し、第1表面に照射されたパターンにおける明暗の基本周期に対する受光画像における明暗周期のずれを検出するために、第1表面に照射されたパターンにおける明暗の基本周期に対する受光画像における領域の明暗を平均化し、平均化された信号にもとづいて第1表面の表面形状を評価する表面形状の評価方法であって、前記第1表面に照射する前記パターンの光の波長が200～380nmであることを特徴とする。

【0018】

本発明による他の態様の表面形状の評価方法は、被評価物体の第1表面における異なる地点による各反射像を形成するものであって位置を特定可能であって移動速度既知の運動する輝点または物点である基準体の各反射像をカメラを介して観測し、第1表面が理想的平面である場合の各反射像に対する各観測反射像のずれ量を得て、各ずれ量、基準体の位置情報およびカメラのレンズ中心位置情報を用いて第1表面のうねり形状の傾きを求め第1表面がほぼ平坦であることを拘束条件として、うねり形状の傾きを積分して第1表面のうねり形状を評価する表面形状の評価方法であって、前記第1表面に形成される前記反射像の光の波長が200～380nmであることを特徴とする。

【0019】

本発明による別の態様の表面形状の評価方法は、被評価物体の第1表面における異なる地点による各反射像を形成するものであって位置を特定可能であって周期的な明暗を有するパターンである基準体の各反射像をカメラを介して観測し、第1表面が理想的平面である場合の各反射像に対する各観測反射像のずれ量を得て、各ずれ量、基準体の位置情報およびカメラのレンズ中心位置情報を用いて第1表面のうねり形状の傾きを求め、第1表面がほぼ平坦であることを拘束条件として、第1表面の傾きを積分して第1表面のうねり形状を評価する表面形状の評価方法であって、前記第1表面に形成される反射像の光の波長が200～380nmであることを特徴とする。

【0020】

本発明による表面形状の評価装置は、周期的な明暗を有するパターンを被評価物体の第1表面に照射する光源と、第1表面を反射したパターンを受光する受光手段と、光源のパターンにおける明暗の基本周期に対する受光手段による受光画像における明暗周期のずれに基づいて第1表面の表面形状を評価する評価手段とを備え、評価手段は、第1表面に照射されたパターンにおける明暗の基本周期に対応した受光画像における領域の明暗を平均化する平均化手段と、平均化手段が出力する平均化信号を用いて第1表面における表面形状の変形箇所と変形量とを特定するための信号を出力する処理手段とを含む表面形状の評価装置であって、前記光源が発射する光の波長が200～380nmであることを特徴とする。

【0021】

本発明による他の態様の表面形状の評価装置は、被評価物体の第1表面における異なる地点による各反射像を形成するものであって位置を特定可能であって移動速度既知の運動する輝点または物点である基準体と、基準体の第1表面による各反射像を得るカメラと、第1表面が理想的平面である場合の各反射像に対するカメラが得た各反射像のずれ量を算出し、各ずれ量、基準体の位置情報およびカメラのレンズ中心位置情報を用いて第1表面のうねり形状の傾きを求め、第1表面がほぼ平坦であることを拘束条件としてうねり形状の傾きを積分して第1表面のうねり形状を求める演算手段とを含む表面形状の評価装置であって、前記反射像を形成する光の波長が200～380nmであることを特徴とする。

【0022】

本発明による別の態様の表面形状の評価装置は、被評価物体の第1表面における異なる地点による各反射像を形成するものであって位置を特定可能であり周期的な明暗を有するパターンである基準体と、基準体の第1表面による各反射像を得るカメラと、第1表面が

10

20

30

40

50

理想的平面である場合の各反射像に対するカメラが得た各反射像のずれ量を算出し、各ずれ量、基準体の位置情報およびカメラのレンズ中心位置情報を用いて第1表面のうねり形状の傾きを求め、第1表面がほぼ平坦であることを拘束条件としてうねり形状の傾きを積分して第1表面のうねり形状を求める演算手段とを含む表面形状の評価装置であって、前記反射像を形成する光の波長が200～380nmであることを特徴とする。

【発明の効果】

【0023】

本発明では、被評価物体の第1表面に到来する光の波長を200～380nmにしているので、被評価物体の内部に進んだ光束の多くは吸収される。さらに、被評価物体の第1表面からの反射像の光束は、反射像を受光するカメラを構成する光学部材によって吸収されない。従って、第1表面に対向する第2表面による反射像の影響を受けずに被評価物体の表面形状を精度よく評価することができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】被評価物体に入射する光と被評価物体の表面および裏面反射する光との関係を示す説明図。

【図2】カメラが出力する画像信号例を模式的に示す波形図。

【図3】被評価物体の表面の平坦度を評価するための評価装置を検査対象とともに示す模式図および斜視図。

【図4】表面形状の評価方法を説明するための説明図。

【図5】ストライプパターンの一例を示す説明図。

【図6】演算装置によって実現される機能ブロックの例を示すブロック図。

【図7】ストライプパターンに対応する撮像面の様子を示す説明図。

【図8】本発明による表面形状の評価方法を示すフローチャート。

【図9】受光パターンの明暗を示す画像信号および平均化信号の一例を示す波形図。

【図10】各サンプルの一断面について片面の表面形状を接触式測定機で測定した結果を示す説明図。

【図11】各サンプルについての平均化回路の出力を示す説明図。

【図12】形状値と測定値との相関を示す説明図。

【図13】本発明による表面形状の評価装置の他の構成例を示す構成図。

【図14】本発明による表面形状の評価方法の概略工程を示すフローチャート。

【図15】被測定物のうねり形状の測定状況を示す説明図。

【図16】観測された反射像の軌跡が理想的平面による反射像に対して先行している状況を示す説明図。

【図17】観測された反射像の軌跡が理想的平面による反射像に対して遅延している状況を示す説明図。

【図18】観測された反射像の軌跡が理想的平面による反射像に対して先行する場合の先行の程度とうねり形状の傾きとの関係を示す説明図。

【図19】観測された反射像の軌跡が理想的平面による反射像に対して遅延する場合の遅延の程度とうねり形状の傾きとの関係を示す説明図。

【図20】x軸およびz軸の定義を示す説明図。

【図21】シミュレーションにおいて用いられた光学系を示す説明図。

【図22】うねり形状の一例および本発明による表面形状の評価方法のシミュレーションで得られたうねり形状を示す説明図。

【図23】うねり形状の他の例および本発明による表面形状の評価方法のシミュレーションで得られたうねり形状を示す説明図。

【図24】移動する輝点の一実現例を示す説明図。

【図25】被測定物の全表面にわたるうねり形状の測定の一実施例を示す説明図。

【図26】この発明の他の実施の形態のうねり形状の測定装置の概略構成例を示す構成図。

。

10

20

30

40

50

【図 27】(A)は、接触式測定機によって被評価物体の表面形状を測定した結果を示し、(B)は、例 2 において同じ被測定物に対して本発明による方法を実施して得られた表面形状を示す説明図。

【図 28】(A)は、接触式測定機によって被評価物体の表面形状を測定しその微分の絶対値を算出した結果を示し、(B)は、例 3 において画像を撮像した場合の基本周期からのずれ量の絶対値を示す説明図。

【図 29】(A)は、接触式測定機による被評価物体の表面形状の測定結果を示し、(B)は、図 28 (B)に示された結果を極小値毎に正負反転しそれを積分することによって得られた形状を示す説明図。

【図 30】表面反射像と裏面反射像とが同時に形成される様子を示す説明図。

10

【図 31】カメラが出力する画像信号例を示す波形図。

【図 32】カメラが出力する画像信号例を示す波形図。

【図 33】従来の評価装置を検査対象とともに示す模式図。

【図 34】ストライプパターンの一例を示す説明図。

【図 35】ストライプパターンを決定する処理の一例を示すフローチャート。

【図 36】CCDカメラの出力信号例を示す波形図。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

【0026】

20

図 1 は、被評価物体 3 に入射する光と被評価物体 3 の表面 3 a および裏面 3 b 反射する光との関係を示す説明図である。ここでは、被評価物体 3 として板ガラスを例にする。図 1 (A) には、被評価物体 3 に入射する光の波長が 400 nm ~ 780 nm、つまり、光が可視光である例が示されている。被評価物体 3 に入射した光束は、被評価物体 3 の表面 3 a で反射して光 A として反射されるが、一部は被評価物体 3 の内部に進み、多くの光束は被評価物体 3 の裏面 3 b で反射される。そして、被評価物体 3 の表面 3 a から多くの光束が光 B として出射される。

なお、ここでは被評価物体 3 として板ガラスを例示するが、波長 200 ~ 380 nm を吸収する材料であればよい。また、板ガラスの種類は特に限定されず、アルカリガラス、無アルカリガラスが例示される。

30

【0027】

被評価物体 3 の表面 3 a に到来する光の波長を、可視光の波長領域外である 380 nm 以下にした場合には、図 1 (B) に示すように、被評価物体 3 の内部に進んだ光束の多くは、被評価物体 3 で吸収され、裏面 3 b にはほとんど到来しない。従って、光 B の量は少ない。換言すれば、被評価物体 3 の裏面 3 b での反射光は、被評価物体 3 の表面 3 a からほぼ出射しない。

さらに、被評価物体 3 の表面 3 a に到来する光の波長を 200 nm 以上にすれば、被評価物体 3 の表面 3 a からの反射像の光 A は、光 A を受光するカメラを構成する光学部材によって吸収されない。

【0028】

40

なお、図 1 では、厚い被評価物体 3 が示されているが、光 A をストライプパターンからの光であるとする、被評価物体 3 が板厚 0.5 mm 以下の薄い板ガラスである場合には、図 1 (A) に示された例では、ストライプパターンにおける隣接するストライプが重畳して観察される可能性がある。しかし、図 1 (B) に示された例では、被評価物体 3 の裏面 3 b での反射光は被評価物体 3 の表面 3 a からほぼ出射しないので、隣接するストライプが重畳して観察されないか、または被評価物体 3 の裏面 3 b での反射光の影響すなわち裏面反射像の影響（重畳の程度）が低減される。

【0029】

本発明では、図 1 (B) に例示された関係を利用して、裏面反射像の影響を低減することによって、表面形状を精度よく評価することができるようにする。

50

【0030】

図2は、本発明における被評価物体3で反射されたストライプパターンを撮像するカメラが出力する画像信号例を模式的に示す波形図である。図2(A)は、表面反射像の画像信号を示し、図2(B)は、裏面反射像の画像信号を示す。また、低レベルはストライプパターンにおける暗部にもとづく画像信号のレベルを示し、高レベルはストライプパターンにおける明部にもとづく画像信号のレベルを示す。

【0031】

また、図2(C)は、表面反射像と裏面反射像が重畳した画像信号を示す。図2(B)に示すように、裏面反射像における高レベルと低レベルとの差が小さくなるので、図2(C)に示す波形は、図2(A)に示す波形に近くなる。なお、図31に示された従来例では、図31(C)に示す波形と図31(A)に示す波形との差異が大きい。

10

【0032】

つまり、本発明では、カメラが出力する画像信号をそのまま用いて被評価物体3の表面形状の評価処理を行っても、裏面反射像の影響が排除された評価が実施されていることになる。また、従来例で説明したような適正なストライプパターンを決定するための処理を行う必要はない。

【0033】

図3(A)は、被評価物体の一例である板ガラスなどの被評価物体の表面の平坦度を評価するための評価装置を被評価物体とともに示す模式図である。図3(A)に示すように、評価装置は、評価対象である板ガラスなどの被評価物体3の表面3aに映し出されたストライプパターン1を、撮像手段としてのCCDカメラ2によって撮像するように構成されている。ストライプパターン1は、光源(図示せず)の発光面に設けられている。

20

【0034】

光源から照射される光の波長が200～380nmであれば、被評価物体3の内部に進んだ光束の多くは、被評価物体3によって吸収され、裏面3bにはほとんど到来しない。さらに、被評価物体3の表面3aからの反射像の光束は、反射像を受光するCCDカメラ2を構成する光学部材によって吸収されない。従って、被評価物体3の裏面3bによる反射像の影響を受けずに被評価物体3の表面3aの形状を精度よく評価することができる。

【0035】

光源は、キセノンランプ、水銀ランプ、及びメタルハライドランプなどが例示され、その発光面は、波長200～380nmの光を透過する部材で構成される。また、CCDカメラ2のレンズ及びフィルタなどの光学部材、並びに、ストライプパターンも、波長200～380nmの光を透過する部材で構成される。波長200～380nmの光を透過する部材は、石英ガラス、紫外線透過アクリル(メタクリル樹脂)、フッ素樹脂、ポリスチレン樹脂などが例示される。

30

【0036】

被評価物体3の板厚は特に限定されないが、0.5mm以下が好ましく、0.3mm以下がさらに好ましい。被評価物体の板厚が0.5mm超の場合には、被評価物体3の内部において、光束は吸収され易くなる、または、多重反射によって減衰する。従って、表面3aの形状評価における裏面3bの影響は少ない。

40

【0037】

CCDカメラ2によって撮像された画像は、パーソナルコンピュータなどの演算装置4に取り込まれ、演算装置4によって画像解析が行われる。

【0038】

なお、ここではCCDカメラ2を例示するが、CCDカメラ2に代えて、エリアカメラ、ラインカメラ、ビデオカメラ、スティルカメラ等いずれの方式のカメラでも使用可能である。また、フォトセンサを配列させたものなど反射像を特定できるものであれば、いずれの受光装置を使用してもよい。

【0039】

CCDカメラ2の光軸と、ストライプパターン1(具体的には、ストライプパターン1

50

が存在する平面)の法線とが、被評価物体3の表面3aの法線方向より同じ角度 θ_1 になるように、CCDカメラ2とストライプパターン1とが設置される。角度 θ_1 は、 45° であることが好ましい。

【0040】

図3(B)は、図3(A)に示された評価装置を示す斜視図である。図3(B)に示すように、評価装置において、ストライプパターン1が発光面に設けられている光源100から光が被評価物体3に照射される。

【0041】

実施の形態1.

まず、本実施の形態で使用される表面形状の評価方法の前提を説明する。図4は、表面形状の評価方法を説明するための説明図である。

【0042】

光源100からのストライプパターン1による光が被評価物体3に照射され、被評価物体3の表面3aからの反射光がCCDカメラ2の撮像素子で受光される。なお、「光源100からのストライプパターン1による光」は、ストライプパターン1を通過した光を意味するが、以下、ストライプパターン1を通過した光が照射されることを、「ストライプパターン1が照射される」と表現する。

【0043】

また、本実施の形態では、被評価物体3の裏面3bからの反射光は、ほとんどCCDカメラ2に入射しない。

【0044】

演算装置4は、受光にもとづく電気信号(画像信号)にもとづいて表面形状を評価する。被評価物体3の表面が全く平坦であれば、画像信号から得られる明暗のコントラストの状態は、既知であるストライプパターン1のコントラストの状態に一致する。図4(A)には、CCDカメラ2の受光パターン(画像)、CCDカメラ2の撮像素子における画素配列および撮像素子からの明暗を示す画像信号の一例が示されている。被評価物体3において表面変形がない場合には、画像信号における最初の3つの検出領域に例示されているようにコントラスト変化は現れない(図4(A)参照)。

【0045】

しかし、被評価物体3における表面変形部分からの反射光による画像信号中では、コントラスト変化が生ずる。すなわち、被評価物体3の表面変形部分からの受光による模様は、非変形部分からの模様と比べて、拡大していたり縮小したりしている。例えば、拡大している場合にはコントラストは大きくなるが、検出領域から模様がはみ出すことがある。

【0046】

よって、図4(B)に示すように、本来の最大値部分120aと最小値部分120bとが同一検出領域に入らなくなり、検出領域内でのコントラストは小さくなる。コントラストは、各検出領域において、 $(a-b)/(a+b)$ で定義される。また、縮小している場合には撮像素子で解像しきれなくなり、図4(C)に示すように、コントラストが小さくなる。従って、画像信号における白部分と黒部分との差を基準値と比較することによって、被評価物体3に表面変形があるかどうか評価できる。

【0047】

なお、パターンの拡大や縮小がない場合でも、画像信号における明部分の値が下がったり、暗部分の値が上がったりすることがある。その場合にも、所定の大きさの検出領域内の明部分と暗部分との差を基準値と比較することによって、被評価物体に表面変形があるかどうか評価できる。図4(A)において、網部分は輝度が下がった白部分であり、その部分を含む検出領域では、検出領域内でのコントラストが小さくなる。

【0048】

しかし、例えばパターンの拡大を生じさせる表面歪みが発生したとしても、拡大の態様と検出領域との関係が異なると検出領域内でのコントラストが異なる。一例として、図4(D)に示すパターンと図4(E)に示すパターンとは同じように拡大しているが、検出

10

20

30

40

50

領域への入り方が異なるので、検出領域内でのコントラストには差がある。本来、画像信号が図4（D）に示すようになった場合と図4（E）に示すようになった場合とでは同様の評価結果が得られるべきであるが、検出領域内のコントラストの相違のみにもとづいて表面形状を評価しようとする、異なる結果となってしまう可能性がある。すなわち、検出領域内でのコントラストの相違のみにもとづいて表面形状の評価を行おうとするには限界がある。

【0049】

本実施の形態では、以下に説明するように、検出領域内のコントラストの相違にもとづいて、高い精度で表面形状を評価することができ、結果として、歪みの検出可能範囲を広げることができる。

【0050】

図5は、ストライプパターン1の一例を示す説明図である。図5において、 L_1 は暗部の幅を示し、 L_2 は明部の幅を示す。 $L_1 + L_2$ が明暗の周期（ $1/f$ ）に相当する。周期の逆数は、パターンの空間周波数 f である。以下、空間周波数 f を基本周波数、その逆数を基本周期と呼ぶ。なお、透明樹脂フィルムに黒色部分を着色してストライプパターン1を実現する場合には、明部は透明部分に相当し、暗部は黒色部分に相当する。一例として、周期（ $1/f$ ）は1.0mm程度であり、暗部の幅 L_1 は100 μ m程度である。

【0051】

図6は、演算装置4によって実現される機能ブロックの例を示すブロック図である。図3に示す演算装置4において、入力回路41は、CCDカメラ2から明暗を示す受光パターンの画像信号を入力し、それをメモリ42に格納する。シェーディング補正回路43は、メモリ41内の画像信号についてシェーディング補正を行って、光源100の光量分布がCCDカメラ2の撮像に与えた影響を除去する。平均化回路44は、シェーディング補正後の各検出領域における各画素の明暗について平均化フィルタ処理を行い、最大値抽出回路45および最小値抽出回路46に平均化された値を出力する。

【0052】

平均化のための検出領域はパターンの基本周波数の逆数（基本周期）に相当している。従って、平均化回路44は、各基本周期毎に画像信号を平均化する積分型のフィルタ等で構成される。最大値抽出回路45は、平均化回路44の出力の最大値を出力し、最小値抽出回路46は、平均化回路44の出力の最小値を出力する。そして、差演算回路47は、最大値抽出回路45の出力値と最小値抽出回路46の出力値との差、および検出領域の位置を示す信号を出力する。これらの最大値および最小値は、被評価物体3に想定されるうねりの周期に相当する領域について抽出される。例えば、この領域の幅は基本周波数の2～10倍である。

【0053】

次に、図7の説明図、図8のフローチャート、および図9の説明図を参照して表面形状の評価装置の動作を説明する。

【0054】

図7は、ストライプパターン1に対応するCCDカメラ2の撮像面の様子を示す説明図である。ただし、図7には、CCDカメラ2の撮像面の画素のうちE0～E4の行の画素のみが示されている。また、本実施の形態では、ストライプパターン1における基本周期がCCDカメラ2における5画素に対応するように光学系が設定されている。従って、ここでは、平均化のための検出領域は5画素で構成される。

【0055】

図8は、評価装置の動作を示すフローチャートである。CCDカメラ2による撮像（具体的には、画像信号）は、演算装置4において、入力回路41を介してメモリ42に入力される。シェーディング補正回路43は、その時点で対象としている検出領域の前後数領域（対象としている検出領域を含む）の各画素についての画像信号の平均値を求める（ステップS11）。例えば、図7に示すE1の列のc領域を検出領域としている場合には、E1の列のb，c，d領域の各画素の平均値を求める。この処理によって、その検出領域

周辺の背景の光量分布画像（シェーディング画像）に対応したものが得られる。もちろん、平均値をとる対象領域をさらに拡張してもよいし、E 1 の列の前後の列の領域を、平均値をとる対象領域に含めてもよい。

【0056】

シェーディング補正回路43は、さらに、得られた平均値で各画素の画像信号を割り算する（ステップS11）。この結果、光源100の面上の位置によって発光量に違いがあったとしても、その違いが撮像に与える影響は低減される。

【0057】

なお、シェーディング補正の方法は、上述した方法に限られない。例えば、以下のような方法を用いることもできる。

【0058】

（1）上述した方法において、各領域における各画素の平均をとる代わりに、各領域における各画素の画像信号のうちの間値を用いる。

【0059】

（2）上述した方法において、得られた平均値で各画像信号を割り算する代わりに、各画像信号から平均値を減算する。

【0060】

（3）各検出領域についてその都度シェーディング補正のための平均値を求めるのではなく、光源100からの光を直接に受光する等の方法によって、あらかじめシェーディング画像を求めておく。そして、各検出領域についてシェーディング補正を行う際に、既に求められているシェーディング画像における画像信号を用いて割り算処理や減算処理を行う。

【0061】

図9は、受光パターンの明暗を示す画像信号および平均化信号の一例を示す波形図である。図9（A）、（B）、（C）の左側には、受光パターンの明暗を示す画像信号の一例が示されている。本実施の形態ではシェーディング補正回路43が設けられているので、具体的には、シェーディング補正回路43の出力信号が示されていることになる。被評価物体3が平坦である場合には受光パターンに拡大や縮小が生じないので、図9（A）に示されたように、受光パターンの周期は基本周期と一致する。

【0062】

被評価物体3の表面に凹凸があると、屈折作用によってCCDカメラ2による受光パターンにおいてパターンの拡大または縮小が現れる。例えば、表面が凸になっている部分からの透過光ではパターンの拡大が生じ、凹になっている部分からの透過光ではパターンの縮小が生ずる。その結果、図9（B）、（C）の左側に示されているように、受光パターンの周期が基本周期からずれる。よって、受光パターンにおけるパターンの周期が基本周期からずれていることを検出できれば、被評価物体3の表面に凹凸があることを検出できる。

【0063】

そこで、平均化回路43は、受光パターンの周期の基本周期からのずれを検出するために、検出領域中のシェーディング補正された各画素の明暗を平均化するようなフィルタ処理を行う（ステップS12）。本実施の形態では、ストライプパターン1における基本周期に対応する5画素によって1つの検出領域が構成されているので、平均化回路43は、5画素について画像信号を平均化する。図9（A）、（B）、（C）の右側には、平均化回路44の出力信号例が示されている。受光パターンの周期が基本周期と一致しているときには、平均化回路44は、1周期分の各信号を平均化した結果として図9（A）の右側に示すように値が一定である信号を出力する。

【0064】

被評価物体3の表面に凸部分がある場合には、平均化回路44の入力信号において、図9（B）の左側に示すように山部分と谷部分とが広がった信号が現れる。また、被評価物体3の表面に凹部分がある場合には、図9（C）の左側に示すように山部分と谷部分とが

10

20

30

40

50

狭まった信号が現れる。平均化回路 4 4 は、図 9 (A) に示すように山部分および谷部分が変化していない信号が入力されると一定の所定値を出力するのであるが、図 9 (B) の左側に示すような受光パターンに拡大があった場合の信号が入力されたときには、平均化回路 4 4 は、図 9 (B) の右側に示すように、所定値に対して凹凸が生じた信号を出力する。

【0065】

また、図 9 (C) の左側に示すような受光パターンに縮小があった場合の信号が入力されたときにも、図 9 (C) の右側に示すように、所定値に対して凹凸が生じた信号を出力する。平均化回路 4 4 の入力信号において山部分と谷部分との広がりまたは狭まりの程度が大きいほど、すなわち、被評価物体 3 の表面 3 a における凹凸の程度が大きいほど、平均化回路 4 4 の出力信号における凹凸の程度は大きい。

10

【0066】

本実施の形態では、平均化回路 4 4 の出力を評価するために、最大値抽出回路 4 5、最小値抽出回路 4 6 および差演算回路 4 7 が設けられている。最大値抽出回路 4 5 は、平均化回路 4 4 からの各検出領域における平均化された信号を入力し、その領域中の最大値を抽出する（ステップ S 1 3）。最大値抽出回路 4 5 は、例えば、一検出領域すなわち基本周期中の最大値を出力するフィルタで構成される。また、最小値抽出回路 4 6 は、平均化回路 4 4 からの各検出領域における平均化された信号を入力し、その領域中の最小値を抽出する（ステップ S 1 3）。最小値抽出回路 4 6 は、例えば、一検出領域すなわち基本周期中の最小値を出力するフィルタで構成される。

20

【0067】

差演算回路 4 7 は、最大値抽出回路 4 5 の出力と最小値抽出回路 4 6 の出力との差を演算する（ステップ S 1 4）。差演算の対象は、一検出領域内、または、近隣の複数の検出領域である。例えば、隣接する 2 つや 3 つの検出領域である。隣接する 2 つの検出領域を差演算対象とした場合には、2 つの検出領域内での最大値と最小値との差が差演算回路 4 7 から出力される。

【0068】

もちろん、平均化回路 4 4 が扱う検出領域のサイズと差演算回路 4 7 が扱う範囲のサイズとは、色々に異ならせてよい。例えば、差演算回路 4 7 が、平均化回路 4 4 が扱う検出領域の 2 ～ 10 倍の大きさの範囲について最大値と最小値との差を求めるようにしてもよい。また、最大値抽出回路 4 5 および最小値抽出回路 4 6 の対象領域を、平均化回路 4 4 が扱う検出領域と異ならせるようにしてもよい。

30

【0069】

そして、演算結果である差信号と、そのときに対象としていた検出領域の位置を示す位置信号を出力する。被評価物体 3 の表面 3 a に歪みがない場合には、図 9 (A) に示すように平均化回路 4 4 の出力は一定になるので、差演算回路 4 7 が出力する差信号は値 0 を示す。しかし、被評価物体 3 の表面 3 a に凹凸がある場合には、差信号は 0 ではない値を示す。しかも、差信号の値は凹凸の程度に対応している。従って、差演算回路 4 7 が出力する差信号の値および位置信号にもとづいて、被評価物体 3 の表面 3 a の変形の程度および変形している位置を特定できる。換言すれば、差演算回路 4 7 が出力する差信号の値および位置信号にもとづいて被評価物体 3 の表面形状の評価を行うことができる（ステップ S 1 5）。

40

【0070】

なお、ステップ S 1 5 の表面形状の評価は、検査者によって実行されてもよいが、演算装置 4 に、差信号の値と位置信号とにもとづく評価結果を決定して出力する評価機能を含めるようにしてもよい。評価機能による評価結果の出力は、例えば、画面表示や印刷出力である。また、評価機能は、例えば、差信号の値をあらかじめ決められているしきい値と比較し、しきい値を越えている場合に、欠点がある旨を、被評価物体 3 の表面 3 a における対応位置を示すデータとともに出力するような機能である。

【0071】

50

また、例えば、図4(D)、(E)に示されたような場合であっても、差演算回路47が近隣の複数の検出領域にわたって、または検出領域を越えた範囲を演算対象の範囲として最小値と最大値との差を出力するようにすれば、図4(D)と図4(E)に示された場合とで、同様の差信号が出力される。よって、本発明による方法によれば、凹凸の検出可能範囲をより広げることができる。

【0072】

また、被評価物体3の表面形状に変化があるが受光パターンの拡大や縮小がない場合で、CCDカメラ2から出力される画像信号における明部分の値が下がったり暗部分の値が上がったりしたときにも、平均化回路44によって平均化された信号には凹凸が現れる。従って、本実施の形態の方法によって、そのような表面形状の変化も検出される。

10

【0073】

なお、平均化回路44、最大値抽出回路45、最小値抽出回路46および差演算回路47は、メモリ42に格納された被評価物体2の所定領域における全面に対応した画像信号を逐次的に処理してもよいし、メモリ42内の2次元画像を一括処理するようにしてもよい。また、検出領域内の明暗を示す信号を平均化する方法に代えて領域内の明暗の標準偏差を出力してもよいし、平均化処理された信号の微分をとって被評価物体2の表面形状を評価することもできる。

【0074】

[例1] 次に、接触式測定機による測定結果と、本実施の形態の評価装置における評価を比較した結果について説明する。図10(A)～(E)は、5枚の板ガラスをサンプルA～Eとして、それぞれ、一断面について片面の表面形状を接触式測定機で測定した結果を示す。各サンプルA～Eは、厚さ0.7mm、300mm角の板ガラスである。また、被評価物体である各サンプルA～Eには、半ピッチが10～15mm程度のうねりがある。

20

【0075】

図11(A)～(E)は、サンプルA～Eと光軸を30°傾け、CCDカメラ2においてf25のレンズを用い絞りF16という条件での、平均化回路44の出力を示す。使用したストライプパターン1は白黒の1ピッチが6mmであり、サンプル面上では1画素が1mm強、画像上では1ピッチが5画素程度になるようにした。図11(A)～(E)に示す結果が得られたそれぞれのサンプルA～Eは、図10(A)～(E)に示す結果が得られたそれぞれのサンプルA～Eと同じものである。

30

【0076】

上述したように、図11(A)～(E)には、受光パターンの周期が基本周期とずれた部分、すなわち、板ガラスの表面の凹凸がある箇所に対応した部分に山部分または谷部分が現れている。実際には、板ガラスの表面形状とパターンの位相との関係に応じて、板ガラスの表面の凹部分が図11(A)～(E)における山部分に対応したり谷部分に対応したりする。しかし、山部分に対応した場合も谷部分に対応した場合も、山部分と谷部分との差の絶対値と、板ガラスの表面の凹凸の程度との間には相関がある。

【0077】

また、図11(A)～(E)は、サンプルの帯状の一領域についての受光パターンの周期が基本周期とずれた部分の分布を示しているが、そのような分布にもとづいてその断面についての表面平坦度を直ちに評価できる。そして、サンプルの全断面についての分布を出力するようにすれば、サンプルの全面の表面平坦度を直ちに評価できる。

40

【0078】

図12は、形状値と測定値との相関を示す説明図である。形状値として、各サンプルの表面形状における隣り合う凸部と凹部の差のうちの最大値(真の値)を用いている。また、測定値として、上述した実施の形態の評価装置において、各サンプルについての差演算回路47から出力された差信号のうちの最大値を用いている。図12に示すように、形状値と測定値とはよく相関している。相関係数は0.81となっている。

【0079】

実施の形態2.

50

図 1 3 は、本発明による表面形状の評価装置の第 2 の実施の形態の構成例を示す構成図である。なお、本実施の形態では、表面形状の評価装置としてのうねり形状の測定装置を示す。図 1 3 に示すように、測定装置は、移動する輝点 6 から発せられ被評価物体 3 としての板ガラスの表面で反射された光を受光して反射像を形成する C C D カメラ 2 と、C C D カメラ 2 による反射像の軌跡を入力してうねり形状を算出する計算機等の演算装置 4 とを含む。

【0080】

なお、ここでは C C D カメラ 2 を例示するが、C C D カメラ 2 に代えて、エリアカメラ、ラインカメラ、ビデオカメラ、スティルカメラ等いずれの方式のものでも使用可能である。また、フォトセンサを配列させたものなど輝点 6 の反射像を特定できるものであれば、いずれの受光装置を使用してもよい。

10

【0081】

図 1 4 は、本実施の形態における表面形状の評価方法の概略工程を示すフローチャートである。図 1 4 に示すように、この発明による表面形状の評価方法では、まず、移動速度が既知の移動する輝点 6 の被評価物体 3 の表面での反射光を C C D カメラ 2 で受光し、移動する反射像を得る（ステップ S 2 1）。被評価物体 3 の表面にうねりがある場合には、C C D カメラ 2 で撮像される反射像の軌跡は、うねりの全くない理想的平面が与える反射像の軌跡からずれる。すなわち、理想的平面が与える反射像の軌跡に対して先行したり遅れたりする。

【0082】

20

そこで、得られた反射像の理想的平面による反射像に対するずれ（先行情報または遅延情報）から、被評価物体 3 の表面のうねり形状の傾き（微分値）を算出する（ステップ S 2 2）。そして、被評価物体 3 の表面がほぼ平面であることを拘束条件として、積分演算によってうねり形状を得る（ステップ S 2 3）。

【0083】

次に、図 1 5 ～図 2 0 の説明図を参照して、図 1 3 に示された装置および図 1 4 に示された表面形状の評価方法について説明する。

【0084】

図 1 5 は、被測定物のうねり形状の測定状況を示す説明図である。図 1 5 に示すように、輝点 6 の反射像 1 9 は、C C D カメラ 2 の受光素子による受光面 7 に結像する。輝点 6 を出射した光は、光路 8 を経て被評価物体 3 の表面で反射されて受光面 7 に到達する。なお、ここでは、輝点 6 が所定の一定速度で移動する場合を例にする。

30

【0085】

上述したように、板ガラス表面にうねりがある場合には、得られた反射像 1 9 の各時刻における位置は、理想的表面で反射された光による反射像の位置に対して、先行したり遅れたりする。図 1 6 は、反射像 1 9 の軌跡が理想的平面による反射像 2 6 に対して先行している状況を示す説明図である。また、図 1 7 は、反射像 1 9 の軌跡が理想的平面による反射像 2 6 に対して遅延している状況を示す説明図である。図 1 6 および図 1 7 において、実線で示される光路 8 A は実際の光路を示している。輝点 6 から出射した光は、板ガラス表面の反射点 1 2 で反射された後 C C D カメラ 2 のレンズ中心 3 0 を経て受光面 7 に到達し反射像 1 9 を形成する。

40

【0086】

破線で示される光路 8 B は、板ガラス表面が理想的平面である場合において、輝点 6 から出射した光が板ガラス表面の反射点 1 3 で反射された後 C C D カメラ 2 のレンズ中心 3 0 を経て受光面 7 に到達する光路を示す。この場合、受光面 7 において、図 1 6 および図 1 7 に示された反射像 2 6 が形成される。ただし、反射像 2 6 は、板ガラス表面が理想的平面であると仮定した場合において形成される像であって、現実形成されるものではない。

【0087】

輝点 6 は所定の速度で移動させられるので、板ガラス表面が理想的表面であるならば、

50

反射像 26 も受光素子による受光面 7 において所定速度で移動する。輝点 6 の移動速度が決まっていれば、演算装置 4 は各時刻において、理想的表面で反射された光による反射像 26 の位置を認識できる。演算装置 4 は、理想的表面で反射された光による反射像 26 の位置を認識できるので、実際に得られた反射像 19 の位置の反射像 26 からのずれ量（先行量または遅延量）を知ることができる。

【0088】

図 18 は、反射像 19 の軌跡が理想的平面による反射像 26 に対して先行する場合の先行の程度とうねり形状の傾き（微分値）との関係を示す説明図である。また、図 19 は、反射像 19 の軌跡が理想的平面による反射像 26 に対して遅延する場合の遅延の程度とうねり形状の傾き（微分値）との関係を示す説明図である。

10

【0089】

図 18 および図 19 において、 α は、レンズ中心 30 から光路 8B に延ばしたベクトルを基準とした場合のレンズ中心 30 から光路 8A に延ばしたベクトルが形成する角度である。 β は、レンズ中心 30 から光路 8B に延ばしたベクトルを基準とした場合のレンズ中心 30 から鉛直下方に延ばしたベクトルが形成する角度である。 γ は、輝点 6 から鉛直下方に延ばしたベクトルを基準とした場合の輝点 6 から光路 8A に延ばしたベクトルが形成する角度である。そして、 δ は、反射点 12 の垂線ベクトルを基準とした場合の反射点 12 におけるうねり表面の法線ベクトルが形成する角度（法線ベクトルの傾き）である。

【0090】

いずれの角度も、基準とするベクトルから反時計方向に傾く場合に正の値をとるとする。従って、図 18 に示された状況において、 $\alpha < 0$ 、 $\delta < 0$ であり、図 19 に示された状況において、 $\alpha > 0$ 、 $\delta > 0$ である。

20

【0091】

【数 1】

$$\delta = \frac{\alpha - \beta + \gamma}{2} \quad (1)$$

【0092】

法線ベクトルの傾き δ は、(1) 式のように表される。うねり形状を $z = f(x)$ なる関数で表現すると、うねり形状の傾き（微分値） $= \tan \delta$ は、(2) 式で表される。 x 軸および z 軸は図 20 に示すようにとられ、 $x = 0$ の点は、例えば、被評価物体 3 の表面の左端に設定される。

30

【0093】

【数 2】

$$f'(x) = \frac{df(x)}{dx} = \tan \delta \quad (2)$$

40

【0094】

従って、うねり形状 z は、(3) 式のように求められる。(3) 式において、 C は積分定数である。被評価物体 3 としてフラットパネルディスプレイに用いられるガラス基板として利用される板ガラスを想定すると、板ガラスの表面形状は、細かなうねりがあるかもしれないがほぼ平坦である。従って、(4) 式に示す関係が成り立つと考えてよい。すなわち、板ガラス表面におけるうねりの平均値は 0 であるという条件を付加する。すると、(3) 式における積分定数 C は、(4) 式の拘束条件を満足するように決定することができる。ただし、(4) 式において、理想的表面を $z = 0$ の平面としている。

【0095】

50

【数 3】

$$z = \int f'(x) dx + C \quad (3)$$

【0096】

【数 4】

$$\int f(x) dx = 0 \quad (4)$$

10

【0097】

具体的には以下のような処理が行われる。演算装置 4 は、CCD カメラ 2 から各時刻における受光面 7 における反射像 19 を入力し、各時刻における反射像 19 の位置情報を得る。また、輝点 6 の移動速度はあらかじめ定められている一定速度であるので、各時刻における輝点 6 の位置および理想的平面による反射像 26 の位置情報も認識できる。反射像 19、26 の受光面 7 における位置は、板ガラス表面における反射点 12、13 の位置に対応している。

【0098】

また、レンズ中心 30 の位置も定まったものである。各時刻における輝点 6 の位置が認識でき、各時刻における反射点 12、13 の位置は反射像 19、26 の受光面 7 における位置から決定でき、また、レンズ中心 30 の位置も既知であるので、演算装置 4 は、各時刻における各角度 α 、 β 、 γ を算出することができる。従って、(1) 式にもとづいて各時刻における δ を計算できる。なお、各時刻における反射点 12 の位置は、(2) 式～(4) 式における x の値である。

20

【0099】

各時刻における δ が算出されたので、演算装置 4 は、容易に各時刻における $\tan \delta$ ($= f'(x)$) の値を算出できる。各時刻における $f'(x)$ が、 $f'(x_1)$ 、 $f'(x_2)$ 、 $f'(x_3)$ 、 $\dots$ 、 $f'(x_n)$ のように n 個得られたとし、 $\Delta(x)$ を以下のように定義する。

30

$$\Delta(x_1) = (f'(x_1) + f'(x_2)) \times (x_2 - x_1) / 2$$

$$\Delta(x_2) = (f'(x_2) + f'(x_3)) \times (x_3 - x_2) / 2$$

⋮

⋮

$$\Delta(x_{(n-1)}) = (f'(x_{(n-1)}) + f'(x_n)) \times (x_n - x_{(n-1)}) / 2$$

【0100】

うねり形状は、 $f'(x)$ を数値積分することにより求めることができる。具体的には、演算装置 4 は、 $f(x_n) = \Delta(x_1) + \Delta(x_2) + \dots + \Delta(x_{(n-1)})$ を算出することにより、各 x におけるうねりの高さを得る。

【0101】

40

このようにして得られたうねり形状は必ずしも (4) 式を満たすとは限らないが、演算装置 4 は、(3) 式における積分定数 C を、

$$C = - (f(x_1) + f(x_2)) \times (x_2 - x_1) / 2$$

$$- (f(x_2) + f(x_3)) \times (x_3 - x_2) / 2$$

⋮

⋮

$$- (f(x_{(n-1)}) + f(x_n)) \times (x_n - x_{(n-1)}) / 2$$

のように定めることにより、(4) 式を満たすうねり形状を得ることができる。

【0102】

【例 2】次に、本実施の形態の方法によって被評価物体として板ガラスを実測した例を示

50

す。この例では、図 2 1 に示された光学系位置関係を用いた。図 2 1 において、a は被評価物体 3（この例では、板ガラス）の端部と CCD カメラ 2 のレンズ中心 3 0 からおろした垂線との間の距離、b は被評価物体 3 の幅、c はストライプパターン上の点とレンズ中心 3 0 との間の距離、h は理想的平面（板ガラスの表面のうねりの平均的平面）からのレンズ中心 3 0 の高さである。

【0103】

シミュレーションにおいて、輝点 6、理想的平面およびレンズ中心 3 0 の位置関係は既知であるとした。具体的には、 $a = 450\text{ mm}$ 、 $b = 250\text{ mm}$ 、 $c = 1300\text{ mm}$ 、 $h = 28.43\text{ mm}$ とした。

また、被評価物体 3 の表面のうねり形状を振幅 a_1 、 a_2 、波長 L_1 、 L_2 を有する (5) 式で表される関数で表現した。 10

【0104】

【数 5】

$$z = a_1 \sin\left[\frac{2\pi x}{L_1}\right] + a_2 \sin\left[\frac{2\pi x}{L_2}\right] \quad (5)$$

【0105】

図 2 2 (A) は、(5) 式において $a_1 = 0.00005\text{ mm}$ 、 $L_1 = 10\text{ mm}$ 、 $a_2 = 0.0\text{ mm}$ 、 $L_2 = 20.0\text{ mm}$ とした場合のうねり形状を示す波形図である。図 2 2 (B) は、図 2 1 に示された位置関係を有する光学系および図 2 2 (A) に示された表面形状を有する被測定物を対象として上述した測定方法を実施した場合に得られたうねり形状を示す波形図である。図 2 2 (B) に示すうねり形状は、図 2 2 (A) に示されたうねり形状とほぼ一致している、すなわち、本発明による方法によって、うねり形状が正しく測定できることが確認された。 20

【0106】

図 2 3 (A) は、(5) 式において $a_1 = 0.00005\text{ mm}$ 、 $L_1 = 10\text{ mm}$ 、 $a_2 = 0.00005\text{ mm}$ 、 $L_2 = 20.0\text{ mm}$ とした場合のうねり形状を示す波形図である。図 2 3 (B) は、図 2 1 に示された位置関係を有する光学系および図 2 3 (A) に示された表面形状を有する被測定物を対象として上述した測定方法を実施した場合に得られたうねり形状を示す波形図である。図 2 3 (B) に示すうねり形状は、図 2 3 (A) に示されたうねり形状とほぼ一致している、すなわち、本発明による方法によって、表面形状が正しく測定できることが確認された。 30

【0107】

また、本発明による表面形状の評価方法では、観測値にもとづく角度算出計算および積分のための加減算処理を行えばよいので、演算装置 4 の演算量はさほど多くない。

【0108】

図 2 4 は、移動する輝点 6 の一実現例を示す説明図である。この例では、レーザ光源 2 1 からの光を移動可能なミラー 2 2 で反射させ、反射光がスクリーン 2 3 に照射されるようにする。このようにした場合、反射光のスクリーン 2 3 における照射点を、輝点 6 として使用することができる。ここで、スクリーン 2 3 上で輝点 6 が等速で移動するようにミラー 2 2 を移動させれば、等速で移動する輝点 6 が実現される。なお、図 2 4 にはミラー 2 2 が移動していく形態が示されているが、実際にミラー 2 2 が移動する形態に代えて、ポリゴンミラーのような回転ミラーと補正ミラーとを用いて、ミラー移動を容易に実現することができる。 40

【0109】

なお、上記の実施の形態では、被評価物体 3 の表面における異なる地点による各反射像 1 9 を形成可能な基準体であって位置が特定されうる基準体として、等速で移動する輝点 6 を用いた例について説明した。しかし、移動速度があらかじめ決められていれば、輝点 50

6の移動速度が等速でなくても本発明を適用できる。また、基準体として、そのように作成された輝点6に限らず、自身が移動する物理的な点(物点)を使用してもよい。

【0110】

物点として、例えば、そのものが移動する点光源や、照明環境下に置かれた移動可能な点を用いることができる。物点として移動する点光源を用いた場合には反射像19は明点となり、物点として照明環境下に置かれた移動可能な点の場合には反射像19は暗点となる。なお、輝点および物点は数学的な意味での点ではなく、現実には、ある程度の広がりをもつ領域となる。

【0111】

上記の実施の形態では一次元のうねり形状を測定する場合について説明したが、被評価物体3の全表面にわたってうねり形状を測定する場合には、例えば、図25に示すように、被評価物体3を光路8Aと直交する方向に移動させればよい。そして、演算装置4は、被評価物体3の表面の各列(図25において破線間で示される仮想的な各列)について上述した演算を実施する。なお、図25には被測定物1が移動する場合を示したが、輝点6を、光路8Aと直交する方向に移動させてもよい。

【0112】

図26は、この発明の他の実施の形態の表面形状の評価装置の概略構成例を示す構成図である。本実施の形態では、被評価物体3としての板ガラスの表面における異なる地点による各反射像19を形成可能な基準体であって位置が特定されうる基準体として、移動する輝点6に代えて、輝度ピッチが既知であるストライプパターン61が用いられる。ストライプパターン61の各高輝度部分62からの光の板ガラス表面による反射像はCCDカメラ2で撮像された後、演算装置4に入力する。

【0113】

ストライプパターン61において輝度ピッチは既知であるから、演算装置4は、被評価物体3の受光面7における理想的平面による反射像26の各位置を認識することができる。演算装置4は、理想的平面による反射像26の各位置からの実際の反射像19の位置のずれにもとづいて、上述した演算によってうねり形状を算出する。このように、移動する輝点6の時間情報(各時刻における反射像19、26の位置情報)に代えて、ストライプパターン61の空間情報(各高輝度部分62に対応した反射像19、26の位置情報)を用いても、板ガラス表面のうねり形状を測定することができる。

【0114】

[例3]次に、本実施の形態の方法によって被測定物として板ガラスを実測した例を示す。この例では、図21に示された光学系位置関係を用い、具体的には図26に示された装置を用いた。図21において、aは被評価物体3の端部とレンズ中心30からおろした垂線との間の距離、bは被測定物1の幅、cは輝点6とレンズ中心30との間の距離、hは理想的平面(被評価物体3の表面のうねりの平均的平面)からのレンズ中心30の高さである。

【0115】

ストライプパターン1の設置位置、理想的平面、およびレンズ中心30の位置関係は既知であるとした。具体的には、 $a = 225\text{ mm}$ 、 $b = 300\text{ mm}$ 、 $c = 750\text{ mm}$ 、 $h = 60\text{ mm}$ とした。また、使用したストライプパターン1の高輝度部および低輝度部の1周期を 1 mm とした。従って、被評価物体3の中心上では1周期は 0.5 mm である。そして、CCDカメラ2において絞りF16、焦点距離 55 mm のレンズを用いた。ストライプパターン1における画素分解能は約 0.09 mm 、被評価物体3の中心上で画素分解能は約 0.04 mm となり、ストライプパターン1における1周期は11~12画素に相当する。

【0116】

図27(A)は、接触式測定機によって被評価物体3の表面形状を測定した結果を示す。また、図27(B)は、同じ被評価物体3に対して本実施の形態による方法を実施して得られた表面形状を示す。図27(B)に示された表面形状は、図27(A)に示された

表面形状にほぼ一致しているので、本発明によって表面形状が正しく測定できていることがわかる。

【0117】

図10に示された各形状のサンプルの表面形状を測定した例では、各サンプルにおいて半ピッチが10～15mm程度のうねりがあるのに対して、パターンの白黒の1ピッチが6mmであるような比較的両者が近接している条件で測定が行われた。

【0118】

そのような条件では、基本周期からのずれ量と表面形状との間に直接相関があるので凹凸のレベルに高い相関がある。従って、図10に示された各形状のサンプルの表面形状を測定した例ではサンプル面で1画素が1mm程度になるようにしたが、そのような解像度の低い条件でも十分に凹凸レベルを評価することができる。

10

【0119】

一方、上記の例（図27（B）に示された波形を得た例）のように、被評価物体3の中心上での1周期が0.5mmというような、うねりの半ピッチに比べて十分小さい場合には、既に説明したような最大値と最小値との差を算出するまでもなく、表面形状の変化の絶対値（うねり形状の傾きの絶対値）は基本周期からのずれ量の絶対値に関しても相関がある。よって、そのような場合には、画像から算出した基本周期のずれ量の絶対値をピーク毎にプラスマイナス反転させて積分することによって、表面形状を算出することができる。そのような算出方法によれば計算が簡易化される。なお、ピーク毎に正負反転させるのは、絶対値で得られるデータを本来の凹凸に関するデータに戻すためである。また、ずれ量の絶対値に代えてずれ量の二乗値を用いても、値は異なるものの、同様の結果が得られる。

20

【0120】

〔例4〕図28（B）は、例3と同一の条件で画像を撮像した場合の基本周期からのずれ量の絶対値を示す。ただし、この例では、演算装置4は、基本周期でスムージング処理を施して平均化された値を算出し、算出された値と、5周期分の平均であるシェーディング信号との差の絶対値を、基本周期からのずれ量の絶対値とする。すなわち、平均化信号の増減の絶対値を、明暗周期の基本周期からのずれ量とする。

【0121】

被評価物体3の変形によって基本周期からのずれが生ずるときには、パターンの位相によって、スムージング幅に明るい部分が多い場合と暗い部分が多い場合とのどちらの可能性もある。そこで、どちらの場合も評価できるように絶対値をとっている。図28（A）は、接触式測定機によって被評価物体3の表面形状を測定し、その微分の絶対値を算出した結果を示す。

30

【0122】

また、図29（A）は、接触式測定機による被評価物体3の表面形状の測定結果を示す。図29（B）は、図29（B）に示された結果を極小値毎に正負反転し、それを積分することによって得られた形状を示す。両者の形状は酷似しているので、基本周期のずれ量の絶対値（または二乗値）をピーク毎にプラスマイナス反転させて積分することによって、表面形状を評価できることがわかる。

40

【0123】

以上に説明したように、本実施の形態では、被評価物体3の表面3aからの反射光による受光画像における明暗周期の基本周期からのずれにもとづいて被評価物体3の表面形状を評価するので、表面形状における歪み等を短時間でより精度よく評価できる。また、受光画像における基本周期に対応した領域の明暗を平均化し、平均化された信号にもとづいて被評価物体3の表面形状を評価することによって、歪み等の検出可能範囲を広げることができる。

【0124】

また、被評価物体3の表面3aを照射する光の波長は、被評価物体3の内部で吸収され、且つ、CCDカメラ2を構成する光学部材で吸収されない200～380nmを使用し

50

ているので、裏面反射像の影響が低減されたＣＣＤカメラ２からの画像信号を用いて、被評価物体３の表面形状を精度よく評価することができる。

【産業上の利用可能性】

【０１２５】

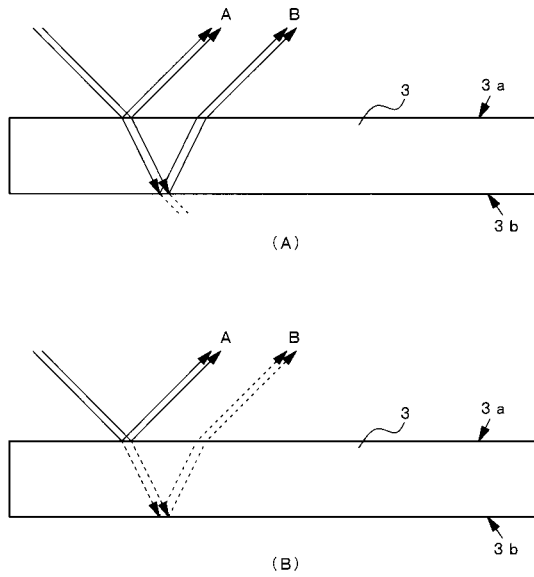
本発明は、被評価物体の表面の平坦度を評価するときに好適に適用される。

【符号の説明】

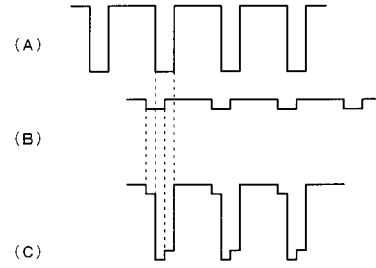
【０１２６】

１， ６ １	ストライプパターン	
２	ＣＣＤカメラ	
３	被評価物体	10
３ a	表面	
３ b	裏面	
４	演算装置	
５	ストライプパターン上の点	
６	輝点	
７	受光面	
８， ８ A， ８ B， ９	光路	
１ ０， １ １	撮像点	
１ ２， １ ３	反射点	
１ ９， ２ ６	反射像	20
２ １	レーザ光源	
２ ２	ミラー	
２ ３	スクリーン	
３ ０	レンズ中心	
３ １， ３ ２	反射点	
４ １	入力回路	
４ ２	メモリ	
４ ３	シェーディング補正回路	
４ ４	平均化回路	
４ ５	最大値抽出回路	30
４ ６	最小値抽出回路	
４ ７	差演算回路	
６ ２	高輝度部分	
１ ０ ０	光源	

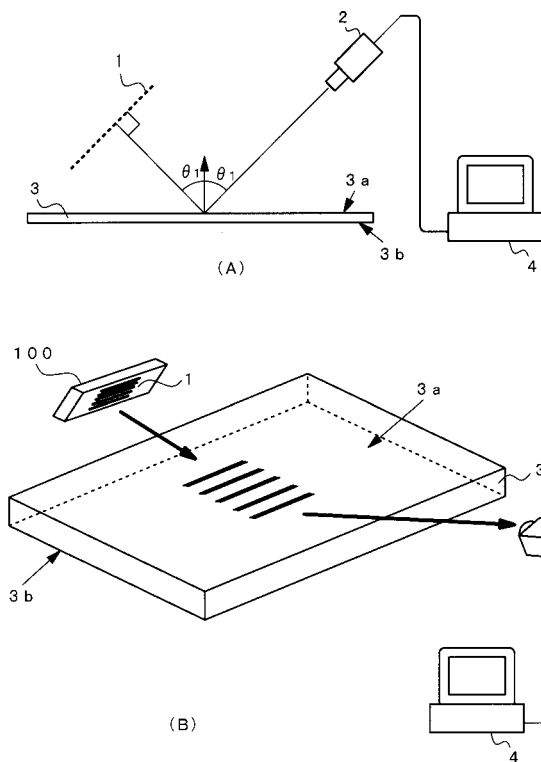
【図 1】



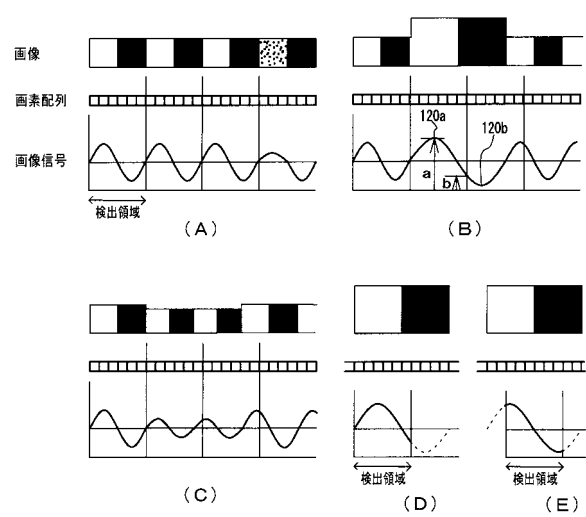
【図 2】



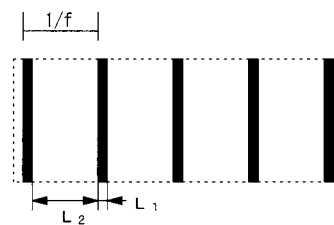
【図 3】



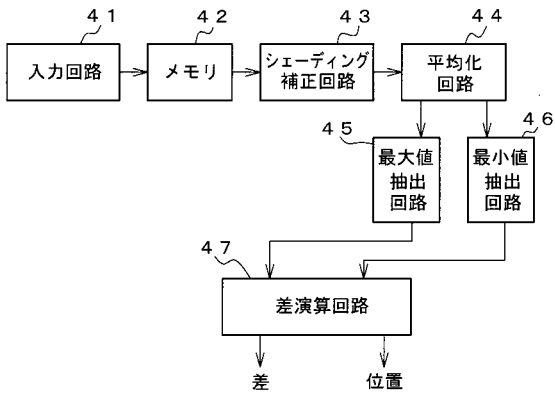
【図 4】



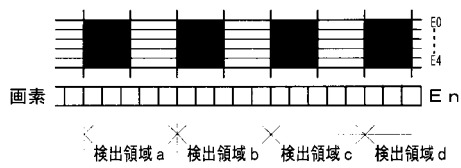
【図 5】



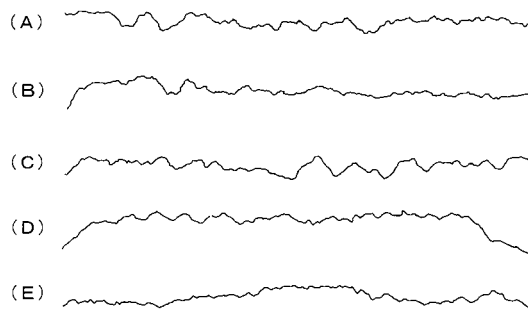
【図 6】



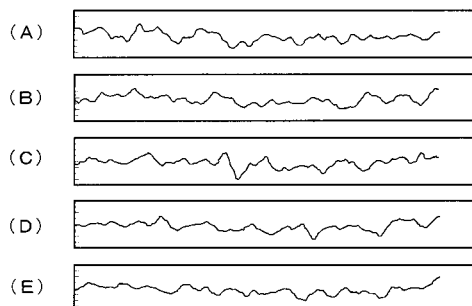
【図 7】



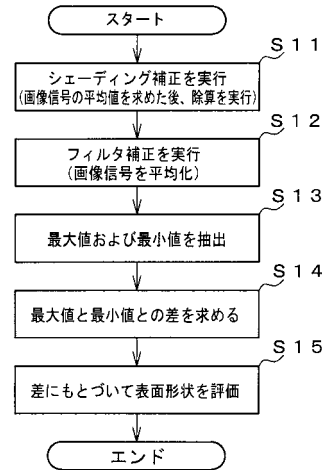
【図 10】



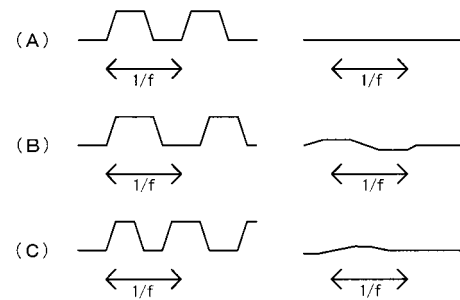
【図 11】



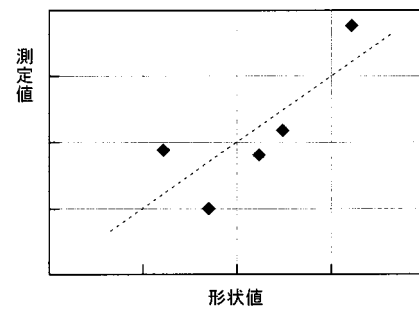
【図 8】



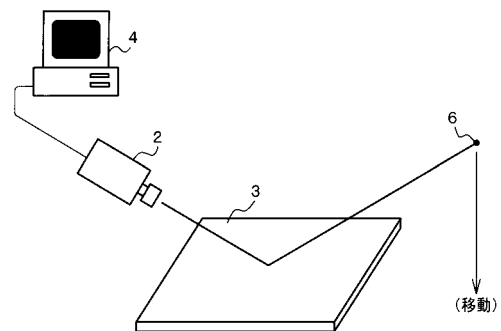
【図 9】



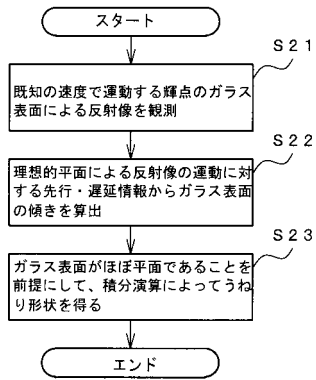
【図 12】



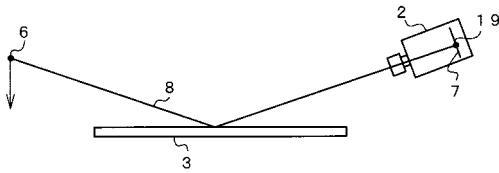
【図 13】



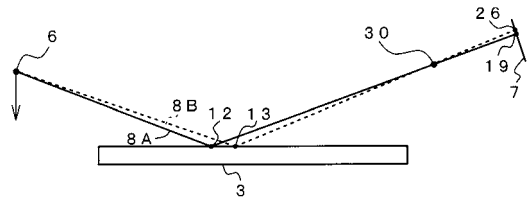
【図 14】



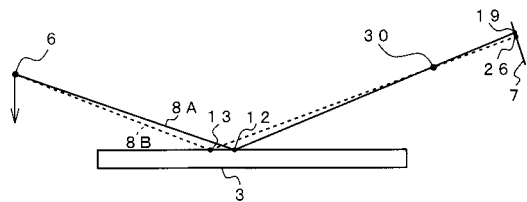
【図 15】



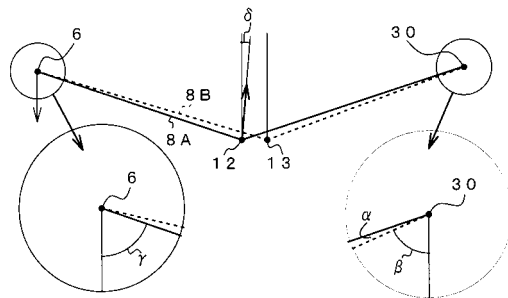
【図 16】



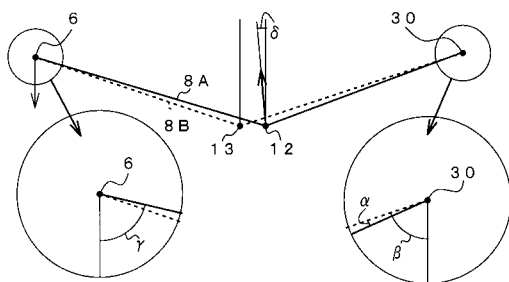
【図 17】



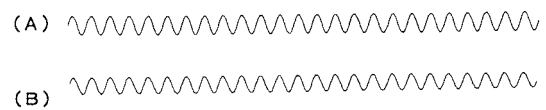
【図 18】



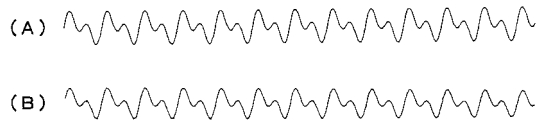
【図 19】



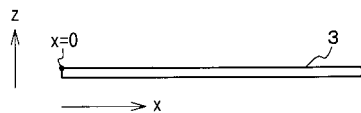
【図 22】



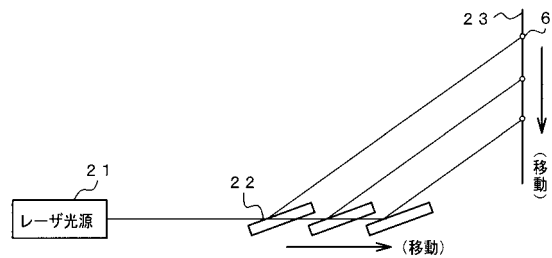
【図 23】



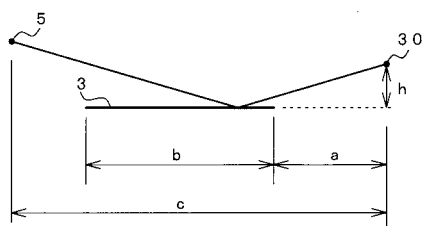
【図 20】



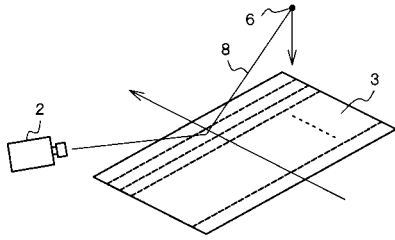
【図 24】



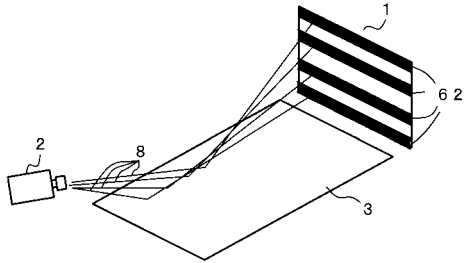
【図 21】



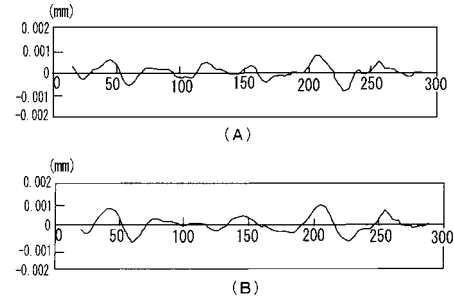
【図 25】



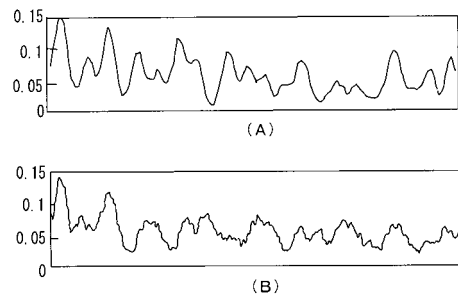
【図 26】



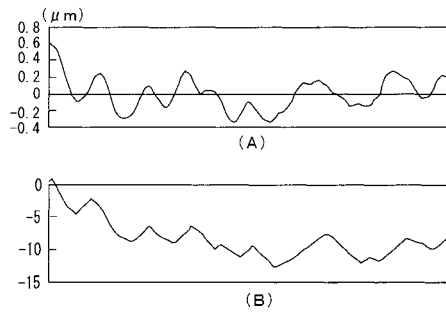
【図 27】



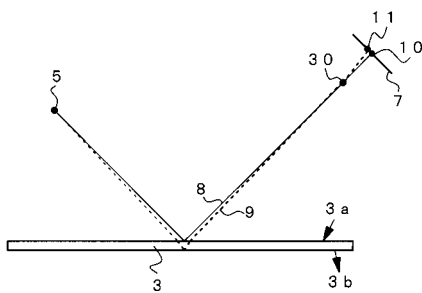
【図 28】



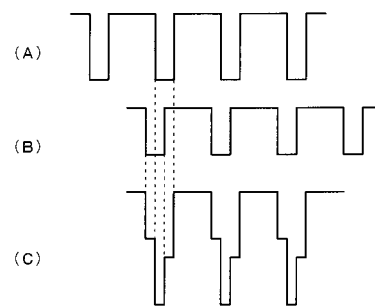
【図 29】



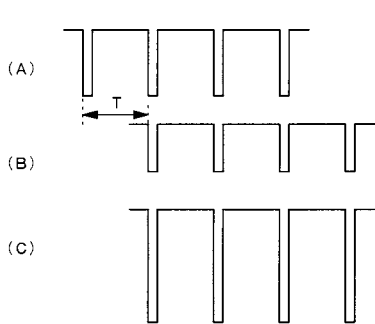
【図 30】



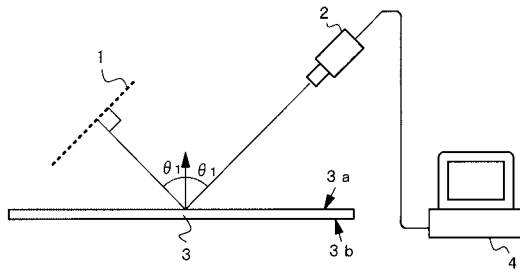
【図 31】



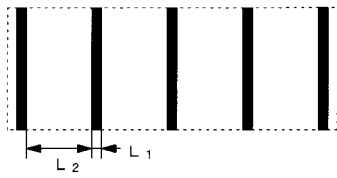
【図 32】



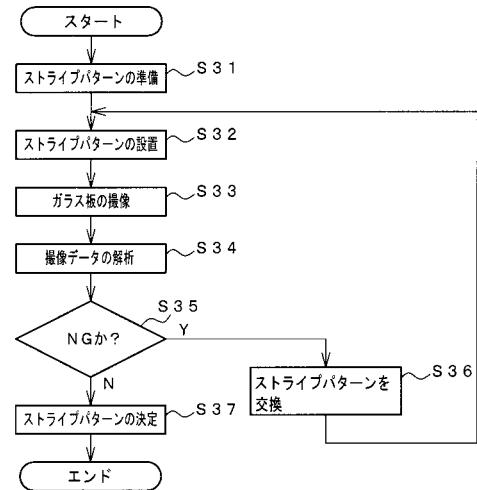
【図 3 3】



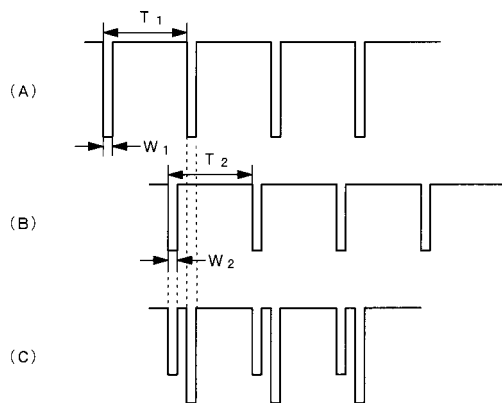
【図 3 4】



【図 3 5】



【図 3 6】



フロントページの続き

(72)発明者 加藤 宗寿

東京都千代田区有楽町一丁目1番1号 旭硝子株式会社内

(72)発明者 城山 厚

東京都千代田区有楽町一丁目1番1号 旭硝子株式会社内

Fターム(参考) 2F065 AA35 AA53 BB01 BB22 DD12 FF41 FF46 FF61 GG02 GG03
GG04 GG21 HH12 JJ02 JJ03 JJ07 JJ25 JJ26 LL12 LL14
LL15 QQ14 QQ25 QQ26 QQ29 QQ31 QQ42 QQ44 RR07