

(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2011-232070

(P2011-232070A)

(43) 公開日 平成23年11月17日(2011.11.17)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
G O 1 B 11/22 (2006.01) G O 1 B 11/22 H 2 F O 6 5

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2010-100633 (P2010-100633) (22) 出願日 平成22年4月26日 (2010. 4. 26)</p>	<p>(71) 出願人 000002369 セイコーエプソン株式会社 東京都新宿区西新宿 2 丁目 4 番 1 号 (74) 代理人 100095728 弁理士 上柳 雅誉 (74) 代理人 100107261 弁理士 須澤 修 (74) 代理人 100127661 弁理士 宮坂 一彦 (72) 発明者 山越 陽介 長野県諏訪市大和 3 丁目 3 番 5 号 セイコーエプソン株式会社内 (72) 発明者 小島 広一 長野県諏訪市大和 3 丁目 3 番 5 号 セイコーエプソン株式会社内</p>
--	---

最終頁に続く

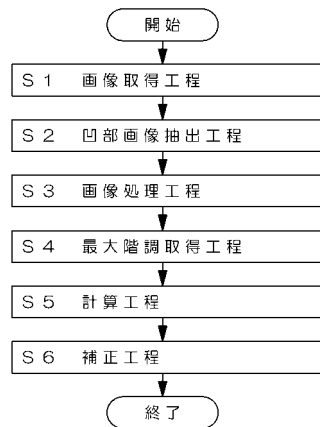
(54) 【発明の名称】 凹部深さの測定方法及び検査装置

(57) 【要約】

【課題】凹部深さを高精度に検出できる凹部深さの測定方法及び検査装置を提供する。

【解決手段】凹部 D が形成された測定対象物 W に対して略直交する方向の光 Light を測定対象物 W に照射して凹部 D の周縁に陰影を生じさせた状態で、測定対象物 W の凹部 D を濃淡表示した画像を取得する画像取得工程 S 1 を有する凹部深さの測定方法は、前記画像の凹部 D に対応する部分 (凹部画像 D') の略中心から周縁までの階調値に基づいて凹部深さを計算する計算工程 S 5 を設けたことを特徴とする。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

凹部が形成された測定対象物に対して略直交する方向の光を測定対象物に照射して凹部の周縁に陰影を生じさせた状態で、測定対象物の凹部を濃淡表示した画像を取得する画像取得工程を有する凹部深さの測定方法であって、前記画像の凹部に対応する部分の略中心から周縁までの階調値に基づいて凹部深さを算出する計算工程を設けたことを特徴とする凹部深さの測定方法。

【請求項 2】

前記計算工程では、凹部深さを前記画像の凹部に対応する部分の略中心から互いに異なる少なくとも 2 方向についてそれぞれ算出したうちの最大値とすることを特徴とする請求項 1 に記載の凹部深さの測定方法。

10

【請求項 3】

前記計算工程の凹部深さを実測値との相関関係に基づいて実測値に接近させるように修正する補正工程を設けたことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の凹部深さの測定方法。

【請求項 4】

凹部が形成された測定対象物を載置可能な載置部を備えた位置決め手段と、前記位置決め手段の前記載置部に対して所定間隔を空けてそれぞれ対向配置され、前記位置決め手段の前記載置部に向かって光を照射する照明手段と、前記位置決め手段の前記載置部側を撮影して濃淡表示した画像を取得する撮像手段とを有する検査装置であって、前記画像に対して請求項 1 から請求項 3 までのいずれか 1 項に記載の凹部深さの測定方法の少なくとも前記計算工程を実行する演算手段を設けたことを特徴とする検査装置。

20

【請求項 5】

前記撮像手段から前記演算手段まで前記濃淡表示した画像を転送可能な転送手段を備えていることを特徴とする請求項 4 に記載の検査装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は画像から測定対象物に形成された凹部の深さを測定する凹部深さの測定方法及び検査装置に関する。特に、シリコン基板に形成された凹部の深さを検査するのに好適な凹部深さの測定方法及び検査装置に関する。

30

【背景技術】**【0002】**

従来から測定対象物に形成された凹部の深さをその画像から測定する方法が考案されている。この種類の測定方法は例えば特許文献 1 及び特許文献 2 に記載されている。

【0003】

特許文献 1 に記載の凹部深さの測定方法は、カード型ハードディスク付きデジタルカメラを用いて測定対象物の凹部を含む部分の画像を取得した後、パソコン (Personal Computer) によって当該画像から凹部の外径を抽出して、凹部の外径と深さとの相関関係に基づいて凹部深さを検出する方法が記載されている。これにより、ゲージやレーザ変位計等を用いて凹部深さを直接測定する場合に比べて短時間かつ低コストに検出できる。

40

【0004】

また、特許文献 2 に記載の凹部深さの測定方法は、CCDカメラ (Charge Coupled Device Camera) を用いて半導体装置 (測定対象物) のプローブ接触痕 (凹部) を含む部分の画像を取得して画像処理部に転送した後、この画像処理部によって当該画像からプローブ接触痕 (凹部) の面積や寸法や濃度等の凹部情報を抽出して、この凹部情報とプローブ接触痕の深さ (凹部深さ) との相関関係に基づいてプローブ接触痕の深さ (凹部深さ) を検出する方法が記載されている。これにより凹部深さを簡単かつ短時間に検出できる。

50

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開平10-221028号公報

【特許文献2】特開2001-345358号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献1と特許文献2に記載の凹部深さの測定方法は、それぞれ画像から凹部の外径や面積等の凹部情報を抽出して、この凹部情報を凹部深さとの相関関係に照合して対応する凹部深さを検出するので、凹部の外径や面積等が同一の場合には凹部深さが同一になってしまうという問題がある。

10

【0007】

そこで、上記問題点を解決するものであり、その課題は、凹部が形成された測定対象物の画像から凹部深さを検出する場合において、凹部の外径や面積等が同一である場合でも、そのそれぞれの凹部の深浅の相違を検出できる凹部深さの測定方法及び検査装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するために本発明の凹部深さの測定方法は、凹部が形成された測定対象物に対して略直交する方向の光を測定対象物に照射して凹部の周縁に陰影を生じさせた状態で、測定対象物の凹部を濃淡表示した画像を取得する画像取得工程を有する凹部深さの測定方法であって、前記画像の凹部に対応する部分の略中心から周縁までの階調値に基づいて凹部深さを算出する計算工程を設けたことを特徴とする。

20

【0009】

この発明によれば、前記計算工程において、前記濃淡表示した画像の凹部に対応する部分の略中心から周縁までの階調値に基づいて凹部深さを算出することにより、前記画像の凹部に対応する部分の外径や面積等が同一であったとしても、前記画像の凹部に対応する部分の略中心から周縁までの階調値がそれぞれ異なるため、前記濃淡表示した画像からそのそれぞれの凹部の深浅の相違を検出できる。

30

【0010】

ここで、前記濃淡表示した画像は、画像の輝度又は明度を16階調以上の階調値で表現されていることが好ましく、256階調で表現されていてもよいし、65,536階調で表現されていてもよい。階調が多いほど凹部深さの精度を向上させることができるからである。

【0011】

なお、前記濃淡表示した画像は、グレースケール(Gray Scale)でもよいし、RGBフルカラー(Red、Green、Blue Full Color)でもよい。

【0012】

本発明の態様の1つは、前記計算工程では、凹部深さを前記画像の凹部に対応する部分の略中心から互いに異なる少なくとも2方向についてそれぞれ算出したうちの最大値とすることを特徴とする。

40

【0013】

この発明によれば、前記画像の凹部に対応する部分の略中心から一方向について算出した計算値が異物の存在によって、凹部深さを実際に測定した実測値に比べて不適当に小さくなってしまったとしても、当該計算値を凹部深さとして採用することなく、他方向について算出した計算値を凹部深さとして採用するので、前記計算工程の計算値が実測値から乖離してしまうことを低減でき、前記計算工程の信頼性を担保できる。

【0014】

50

なお、凹部深さを互いに直交する2方向についてそれぞれ計算してもよいし、互いの方向が反対となる2方向についてそれぞれ計算してもよいし、互いに異なる3方向、4方向、5方向又は6方向についてそれぞれ計算してもよい。前記計算工程の各計算方向が接近していると、全ての計算値が実測値から乖離してしまう可能性があるからである。

【0015】

本発明の態様に1つは、前記計算工程の凹部深さを実測値との相関関係に基づいて実測値に接近させるように修正する補正工程を設けたことを特徴とする。この発明によれば、前記計算工程の凹部深さを実測値に接近させることができる。

【0016】

本発明の検査装置は、凹部が形成された測定対象物を載置可能な載置部を備えた位置決め手段と、前記位置決め手段の前記載置部に対して所定間隔を空けてそれぞれ対向配置され、前記位置決め手段の前記載置部に向かって光を照射する照明手段と、前記位置決め手段の前記載置部側を撮影して濃淡表示した画像を取得する撮像手段とを有する検査装置であって、前記画像に対して請求項1から請求項3までのいずれか1項に記載の凹部深さの測定方法の少なくとも前記計算工程を実行する演算手段を設けたことを特徴とする。

10

【0017】

この発明によれば、凹部が形成された測定対象物を前記位置決め手段の前記載置部上に載置すると、前記照明手段の光が測定対象物の略真上から測定対象物の表面を照射するとともに、前記撮像手段が測定対象物の略真上から測定対象物の表面を撮影して濃淡表示した画像を取得し、前記演算手段が前記濃淡表示した画像に対して前記凹部深さの測定方法の少なくとも前記計算工程を実行するので、測定対象物の凹部の深さを非接触で短時間に検出できる。

20

【0018】

ここで、前記撮像手段は、例えば、デジタルカメラ(Digital Camera)やデジタルビデオカメラ(Digital Video Camera)やCCDカメラ(Charge Coupled Devices Camera)である。

【0019】

また、前記濃淡表示した画像は、画像の輝度又は明度を16階調以上の階調で表現されていることが好ましく、256階調で表現されていてもよいし、65,536階調で表現されていてもよい。

30

【0020】

なお、前記濃淡表示した画像は、グレースケール(Gray Scale)でもよいし、RGBフルカラー(Red、Green、Blue Full Color)でもよい。

【0021】

本発明の態様の1つは、前記撮像手段から前記演算手段まで前記濃淡表示した画像を転送可能な転送手段を備えていることを特徴とする。この発明によれば、記録媒体を介して前記撮像手段から前記演算手段まで前記濃淡表示した画像を移動させる場合に比べて、前記濃淡表示した画像を簡単かつ短時間に移動させることができる。

【0022】

ここで、前記転送手段は、前記撮像手段と前記演算手段を電線又は光ファイバ等によって電氣的又は光学的に接続して前記濃淡表示した画像を転送するように構成されていてもよいし、前記撮像手段から前記演算手段まで無線、赤外線又はレーザー等によって前記濃淡表示した画像を転送するように構成されていてもよい。

40

【発明の効果】

【0023】

以上、説明したように本発明によれば、濃淡表示した画像の凹部に対応する部分の略中心から周縁までの階調値に基づいて凹部深さを計算するので、凹部深さを高精度に検出できるといった優れた効果を奏し得る。

【図面の簡単な説明】

50

【 0 0 2 4 】

【 図 1 】 本発明に係る実施形態の凹部深さの測定方法の工程図である。

【 図 2 】 本発明に係る実施形態の検査装置を模式的に示す概略斜視図である。

【 図 3 】 測定対象物に形成された凹部を模式的に示す部分拡大縦断面図である。

【 図 4 】 図 3 の測定対象物の表面を撮影した状態を模式的に示す画像図である。

【 図 5 】 図 4 の中心線 V に沿って各画素の階調値を測定した一例を示す階調変化グラフである。

【 図 6 】 図 4 を 2 値化処理した状態を模式的に示す画像図である。

【 図 7 】 凹部画像の中心位置の特定方法を示す説明図である。

【 図 8 】 凹部深さの計算値の計算方法を示す説明図である。

10

【 図 9 】 凹部の一例を模式的に示す拡大縦断面図である。

【 図 1 0 】 図 9 の部分拡大図である。

【 図 1 1 】 凹部深さの計算方向を示す説明図である。

【 図 1 2 】 凹部深さの実測値と計算値の相関関係を示す散布図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 5 】

[凹部深さの測定方法]

まず、図 1 を参照して、本発明に係る実施形態の凹部深さの測定方法について説明する。図 1 は凹部深さの測定方法の工程図である。図 1 に示すように、凹部深さの測定方法は、凹部が形成された測定対象物の画像を取得する画像取得工程 S 1 と、この画像の中から凹部に対応する部分（以下、凹部画像という。）を抽出する凹部画像抽出工程 S 2 と、この凹部画像を修正する画像処理工程 S 3 と、凹部画像の最大階調値等を検出する最大階調取得工程 S 4 と、凹部深さの計算値を算出する計算工程 S 5 と、計算工程 S 5 の計算値を修正する補正工程 S 6 とを順次実行する方法である。

20

【 0 0 2 6 】

画像取得工程 S 1 では、図 2 に示すように、測定対象物 W の表面に対して略直交する光 Light を測定対象物 W に照射して、この測定対象物 W の表面上に光照射範囲 S を形成した状態で、測定対象物 W の表面に対向する位置からこの光照射範囲 S の内側部分をカメラ 1 3 0（撮像手段）で撮影して濃淡表示した画像を取得する。

【 0 0 2 7 】

この画像取得工程 S 1 によって取得した画像はグレースケール（モノクロ中間調）であり、画像の各画素の輝度又は明度が 2 5 6 階調で濃淡表示されている。この 2 5 6 階調は黒色から白色までを 0 から 2 5 5 までの階調値で表現したものである。また、画像の画素数は限定されないが、この画像内の凹部画像が少なくとも 2 0 画素以上であることが好ましい。凹部画像の画素数が少ないと凹部深さの計算値の精度が低下するからである。本実施形態では凹部画像の画素数を 2 0 画素から 9 0 画素までの範囲内に設定している。

30

【 0 0 2 8 】

また、この画像の画像形式は限定されないが、例えば、ビットマップ（BMP：Bit Map）、JPEG（JPEG：Joint Photographic Group）、ジフ（GIF：Graphic Interchange Format）、又はティフ（TIFF：Tagged Image File Format）である。

40

【 0 0 2 9 】

ここで、図 3 は測定対象物に形成された凹部を模式的に示す部分拡大縦断面図であり、図 4 は図 3 の測定対象物の表面を撮影した状態を模式的に示す画像図であり、図 5 は図 4 の中心線 V に沿って各画素の階調値を測定した一例を示す階調変化グラフである。

【 0 0 3 0 】

図 3 及び図 4 に示すように、測定対象物 W に凹部 D が形成されていると、画像の凹部 D に対応する部分である凹部画像 D' は円環状の陰影として撮影される。この陰影は一般的に楕円形になる。この凹部画像 D' は円環状の暗い部分と、この円環状の内側の明るい部分とを有している。また、画像のうちの凹部画像 D' の外側は明るい部分になっている。

50

【0031】

この凹部画像 D' の内側と外側が明るい部分になっているのは、図5の階調値が増加している略中央の山頂が図3の凹部 D の一番低い位置である最低位置 D_L に対応していると考えられるとともに、図5の階調値が増加している両側部分は図3の測定対象物 W の平坦部 W_s に対応しており、これら2つの位置は略水平、つまり、傾斜角度が略 0° であることによって、反射光のうちの測定対象物 W の表面に対して直交する方向成分（図3では上方向）の光量が大きくなるからである。

【0032】

また、図5に示すように、凹部画像 D' の円環状の暗い部分は、より詳細には内側から外側に向かって階調値が漸次減少してから漸次増加するようになっている。これは各位置の傾斜角度によって測定対象物 W の反射光のうち測定対象物 W の表面に対して直交する方向成分（図3では上方向）の光量が増減するからである。したがって、凹部画像 D' の階調値の増減は、傾斜角度の緩急に対応していることが分かる。

10

【0033】

凹部画像抽出工程 S_2 では、画像取得工程 S_1 によって取得した濃淡表示した画像を2値化処理して2値化画像を作成してから、この2値化画像の中から凹部画像に対応する部分を抽出し、その後、この2値化処理を解除して濃淡表示した凹部画像を取得する。この2値化処理は、濃淡表示した画像の各画素の階調値を所定の閾値より小さいと黒色にし、所定の閾値より大きいと白色にして白黒の2階調に変換処理することであり、図6に示すように、2値化処理した凹部画像は楕円形の黒色円環として表示されるので、具体的には、2値化画像の中から黒色円環部分を抽出する。これにより、画像の中から凹部画像を容易に抽出できる。

20

【0034】

画像処理工程 S_3 では、凹部画像抽出工程 S_2 によって抽出した凹部画像に対して平滑化処理を行う。この平滑化処理はフィルタ (filters) を用いて凹部画像上のノイズを除去したり、微細な階調変化を低減したりして凹部画像の階調変化を滑らかにすることである。このフィルタは、例えば、平均値フィルタ (average filter) やメディアンフィルタ (median filter) である。また、上記平滑化処理に加えて、一般的なエッジ強調フィルタ等を用いて凹部画像のピンぼけやぶれを補正してもよい。

30

【0035】

最大階調取得工程 S_4 では、凹部画像 D' の最大階調値 V_{max} とその位置 ($X_{V_{max}}$, $Y_{V_{max}}$) とを取得する。図7に示すように、まず、凹部画像 D' の横幅長 p を2つの半分長 $p/2$ に分割する位置を通過する縦軸線 p_y と、凹部画像 D' の縦幅長 q を2つの半分長 $q/2$ に分割する位置を通過する横軸線 q_x とが交差する位置を凹部画像 D' の中心位置 C として特定する。

【0036】

次に、この中心位置 C 及びその近傍における各画素の階調値のうちの最大値を最大階調値 V_{max} として取得するとともに、この最大階調値 V_{max} の画素位置を最大階調値の位置 ($X_{V_{max}}$, $Y_{V_{max}}$) として取得する。この場合において、最大階調値の画素が複数存在する場合には、これら最大階調値の画素のうち、これら画素の位置から中心位置 C までの距離が最短となる画素を最大階調値の画素として選択する。凹部画像 D' の中心位置 C が最大階調値の画素位置に対応する傾向があるからである（図4及び図5参照）。

40

【0037】

計算工程 S_5 では、最大階調取得工程 S_4 によって取得した最大階調値 V_{max} とその位置 ($X_{V_{max}}$, $Y_{V_{max}}$) とを用いて凹部深さの計算値 $Depth$ を算出する。図8は凹部深さの計算値の計算方法を示す説明図である。図8に示すように、凹部画像の最大階調値の位置 ($X_{V_{max}}$, $Y_{V_{max}}$) を $i = 0$ とし、凹部画像の周縁位置を $i = w$ とし、この $i = 0$ から $i = w$ までの間の任意の位置 i の深さ方向の増加量を De

50

$p(i)$ とすると、凹部深さの計算値 $Depth$ は最大階調値の位置から凹部画像の周縁位置まで ($i = 0 \sim w$) の各位置に対応する深さ方向の増加量 ($Dep(1) \sim Dep(w)$) を合算して求めることができる。

【0038】

【数1】

$$Depth = \sum_{i=0}^w Dep(i) \quad \dots (1)$$

10

【0039】

ここで、任意の位置 i に対応する深さ方向の増加量を $Dep(i)$ とし、任意の位置 i に対応する凹部の位置における接線の傾斜角度を θ_i とし、この任意の位置 i とこれに隣接する位置 $i+1$ までの距離を Δi とすると、関係式 (2) が成立する。

【0040】

【数2】

$$\tan \theta_i \cong \frac{Dep(i)}{\Delta i} \quad \dots (2)$$

20

【0041】

上記関係式 (2) を変形して、任意の位置 i における深さ方向の増加量 $Dep(i)$ を求めることができる。この深さ方向の増加量 $Dep(i)$ は、 $\tan \theta_i \cdot \Delta i$ に近似する。

【0042】

【数3】

$$Dep(i) \cong \tan \theta_i \cdot \Delta i \quad \dots (3)$$

30

【0043】

この式 (3) を上記式 (1) に代入すると、式 (4) が導き出される。

【0044】

【数4】

$$Depth \cong \sum_{i=0}^w \tan \theta_i \cdot \Delta i \quad \dots (4)$$

40

【0045】

ここで、図9及び図10に示すように、測定対象物 W の平坦部 W_s に対して略直交する方向 (図9及び図10では下方向) の光 $Light$ により凹部 D を照射すると、凹部 D の最低位置 DL から所定距離だけ離反した位置 i では所定方向に光反射する。この反射光を R_i とし、この反射光 R_i の垂直成分 (図10では上方向) を R_{iv} とし、この位置 i における接線を t とし、この接線 t と水平線 h のなす角度である傾斜角度を θ_i とすると、反射光の垂直成分 R_{iv} と接線 t のなす角度は、反射光の垂直成分 R_{iv} と水平線 h のなす角度が 90° であるので、 $90^\circ - \theta_i$ となる。

【0046】

また、接線 t に直交する法線を n とすると、反射光の垂直成分 R_{iv} と法線 n のなす角度は、法線 n と接線 t のなす角度が 90° であるので、 90° から反射光の垂直成分 R_{iv}

50

と接線 t のなす角度 $90 - \theta_i$ を引くことにより、 θ_i となる。

【0047】

このとき、この反射光の垂直成分 R_{iv} と法線 n のなす角度 θ_i は入射角度であり、反射光 R_i と法線 n のなす角度は反射角度であるので、入射角度と反射角度が互いに等しくなるという反射の法則を適用すると、反射光 R_i と法線 n のなす角度は θ_i となる。したがって、反射光 R_i と反射光の垂直成分 R_{iv} のなす角度は $2\theta_i$ となる。

【0048】

したがって、反射光 R_i と、反射光の垂直成分 R_{iv} と、これら反射光 R_i と反射光の垂直成分 R_{iv} のなす角度 $2\theta_i$ とから、関係式 (5) が成立する。

【0049】

【数5】

$$\cos 2\theta_i = \frac{R_{iv}}{R_i} \quad \dots (5)$$

【0050】

上記関係式 (5) は式 (6) に変形できる。

【0051】

【数6】

$$2\theta_i = \cos^{-1}\left(\frac{R_{iv}}{R_i}\right) \quad \dots (6)$$

【0052】

この式 (6) を 2 で割ると、任意の位置 i における傾斜角度 θ_i を求めることができる。

【0053】

【数7】

$$\theta_i = \frac{\cos^{-1}\left(\frac{R_{iv}}{R_i}\right)}{2} \quad \dots (7)$$

【0054】

この式 (7) を上記式 (4) に代入すると、以下の式 (8) が導き出される。

【0055】

【数8】

$$Depth \cong \sum_{i=0}^w \tan\left(\frac{\cos^{-1}\left(\frac{R_{iv}}{R_i}\right)}{2}\right) \cdot \Delta i \quad \dots (8)$$

【0056】

ここで、任意の位置 i における反射光 R_i の光量は、凹部 D の最低位置 D_L における反射光 R_0 の光量と同一であり、この反射光 R_0 の光量は凹部画像 D' の最大階調値 V_{max} として取得できる。

【0057】

10

20

30

40

【数 9】

$$R_i = R_0 \cong V_{max} \quad \dots (9)$$

【0058】

また、任意の位置 i における反射光の垂直成分 R_{iv} の光量は、凹部 D の任意の位置 i に対応する凹部画像 D' の位置における階調値 $V(i)$ として取得できる。

【0059】

【数 10】

10

$$R_{iv} \cong V(i) \quad \dots (10)$$

【0060】

これら式 (9) と式 (10) を上記式 (8) に代入すると、以下の式 (11) が導き出される。なお、この式 (11) から、凹部 D の任意の位置 i における傾斜角度 i は、凹部 D の任意の位置 i に対応する凹部画像 D' の位置における階調値 $V(i)$ と凹部画像 D' の最大階調値 V_{max} との比率を用いて計算されることが分かる。

20

【0061】

【数 11】

$$Depth \cong \sum_{i=0}^w \tan\left(\frac{\cos^{-1}\left(\frac{V(i)}{V_{max}}\right)}{2}\right) \cdot \Delta i \quad \dots (11)$$

【0062】

上記式 (11) を用いて凹部深さの計算値 $Depth$ を計算する。このとき、最大階調値 V_{max} は上記最大階調取得工程 S4 によって取得した最大階調値 V_{max} であり、階調値 $V(i)$ は上記最大階調取得工程 S4 によって取得した凹部画像 D' の最大階調値の位置から周縁位置までの各画素の階調値である。なお、凹部画像 D' の最大階調値の位置から周縁位置まで 1 画素ずつ計算するとして距離 i を 1 とする。

30

【0063】

図 11 に示すように、この場合において、凹部深さの計算値 $Depth$ は凹部画像 D' の最大階調値の位置から周縁位置まで互いに異なる 4 方向についてそれぞれ算出する。図示例では、上下左右の 4 方向について 4 つの凹部深さの計算値 $Depth(1)$ 、 $Depth(2)$ 、 $Depth(3)$ 、 $Depth(4)$ をそれぞれ算出する。

【0064】

次に、これら 4 つの凹部深さの計算値 $Depth(1)$ 、 $Depth(2)$ 、 $Depth(3)$ 、 $Depth(4)$ のうちの最大値をこの凹部画像 D' における凹部深さの計算値 $Depth(max)$ として選択する。

40

【0065】

最後に、補正工程 S6 では、この凹部深さの計算値 $Depth(max)$ を実測値との相関関係を用いて実測値に接近させるように修正する。具体的には、図 12 に示すように、測定対象物 W に形成された複数の凹部について、共焦点顕微鏡の如く凹部深さを測定可能な器具を用いて実際に測定した実測値を横軸 (X 軸) にとるとともに、上記計算工程 S5 によって算出した凹部深さの計算値を縦軸 (Y 軸) にとって、プロット (打点) して散布図を作成して回帰直線を描く。この回帰直線の傾き a と切片 b を求めて、凹部深さの実測値 $Depth(act)$ と計算値 $Depth(max)$ の相関関係式 (12) を取得す

50

る。

【0066】

【数12】

$$\text{Depth}(\text{act}) \cong \text{Depth}(\text{amd}) = (a \cdot \text{Depth}(\text{max})) + b \dots (12)$$

【0067】

この相関関係式(12)を用いて凹部深さの計算値 $\text{Depth}(\text{max})$ を修正して凹部深さの修正値 $\text{Depth}(\text{amd})$ を取得する。この凹部深さの修正値 $\text{Depth}(\text{amd})$ は凹部深さの実測値 $\text{Depth}(\text{act})$ に近似する。このため、凹部深さの計算値 $\text{Depth}(\text{max})$ を実測値 $\text{Depth}(\text{act})$ に接近させることができる。 10

【0068】

このように、本実施形態の凹部深さの測定方法では、計算工程S5において凹部画像D'の最大階調値の座標位置から周縁位置までの階調値に基づいて凹部深さの計算値 Depth を算出することにより、凹部画像D'の外径や面積等が同一であったとしても、その最大階調値の位置から周縁位置までの各画素の階調値がそれぞれ異なるので、凹部画像D'の外径や面積等の相関関係から凹部深さを求める場合に比べて、凹部深さを高精度に検出できる。

【0069】

また、計算工程S5に用いる式(11)は、凹部Dの任意の位置iにおける傾斜角度iを、凹部Dの任意の位置iに対応する凹部画像D'の位置における階調値 $V(i)$ と凹部画像D'の最大階調値 V_{max} との比率を用いて計算しているため、凹部深さの計算値は画像取得時の光 Light の輝度の影響を受け難くすることができ、凹部深さの計算値の信頼性を担保できる。 20

【0070】

さらに、計算工程S5において、凹部深さの計算値 $\text{Depth}(\text{max})$ は、凹部画像D'の最大階調値の位置から周縁位置まで互いに異なる4方向にそれぞれ計算したうちの最大値であるので、異物等に起因する凹部画像D'の階調誤差に基づいて計算した凹部深さの計算値を自動的に排除でき、凹部深さの計算値の信頼性をさらに担保できる。

【0071】

[検査装置]

次に図2を参照して本発明に係る実施形態の検査装置を説明する。図2は本実施形態の検査装置を模式的に示す概略斜視図である。図2に示すように、検査装置100は、X-Yステジ110(位置決め手段)と、X-Yステジ110の載置部111に対して所定間隔を空けてそれぞれ対向配置された照明装置120(照明手段)、カメラ130(撮像手段)および拡大鏡140と、カメラ130に電氣的に接続されたパソコン150(演算手段)とを有している。 30

【0072】

X-Yステジ110はシリコン基板の如く測定対象物Wを載置可能な平坦な載置部111を備えており、この載置部111は図示しない駆動機構により前後方向及び左右方向(図2ではA方向及びB方向)に移動可能に構成されている。これにより、測定対象物Wを位置決めできる。 40

【0073】

また、照明装置120はX-Yステジ110の載置部111に対して略直交する光 Light を載置部111に向かって照射するものであり、その光源は、例えば、LED(Light Emitting Diode: 発光ダイオード)である。カメラ130はX-Yステジ110の載置部側を撮影して256階調に表現されたグレースケール画像を取得するように構成されており、例えばCCDカメラである。拡大鏡140は入射像を所定倍率で拡大可能に構成されており、例えば顕微鏡である。パソコン150は上記凹部深さの測定方法のうちの凹部画像抽出工程S2、画像処理工程S3、最大階調取得工程S 50

4、計算工程 S 5 及び補正工程 S 6 を順次実行するとともに、これにより算出した凹部深さの修正値 $Depth(a, m, d)$ の良否を所定の閾値によって判断する装置である。

【0074】

カメラ 130 の撮影側（図 2 では X - Y ステ - ジ側）に拡大鏡 140 が連結されており、拡大鏡 140 によって拡大された画像をカメラ 130 が取得するようになっている。この拡大鏡 140 の側部には照明装置 120 が連結されている。また、カメラ 130 とパソコン 150 は銅線 160（転送手段）を介して電氣的に接続されており、カメラ 130 からパソコン 150 まで画像を逐次転送するように構成されている。

【0075】

このように構成された凹部深さの測定装置 100 は、X - Y ステ - ジ 110 の載置部 111 に測定対象物 W を載置してから、照明装置 120 から光 Light を照射すると、測定対象物 W の表面上に光照射範囲 S が形成され、この状態で、カメラ 130 で撮影すると、測定対象物 W の表面のうちの光照射範囲 S の内側部分の画像が取得され、その後、当該画像がカメラ 130 からパソコン 150 まで転送される。

【0076】

この実施形態の検査装置 100 においては、パソコン 150 を用いて測定対象物 W の画像に対して上記凹部深さの測定方法のうちの凹部画像抽出工程 S 2、画像処理工程 S 3、最大階調取得工程 S 4、計算工程 S 5 及び補正工程 S 6 を順次実行するとともに、算出した凹部深さの修正値 $Depth(a, m, d)$ の良否を所定の閾値によって判断するので、測定対象物 W の外観検査を非接触に短時間に行うことができ、延いては製品コストの低減を図ることができる。

【0077】

また、カメラ 130 とパソコン 150 は銅線 160 を介して電氣的に接続されており、カメラ 130 からパソコン 150 まで画像を逐次転送するように構成されているので、画像を格納可能なハードディスクや DVD (Digital Versatile Disc) やフラッシュメモリ等の如く記憶媒体を介在させてカメラ 130 からパソコン 150 まで画像を移動させる場合に比べて、画像の移動を簡単かつ短時間に行うことができ、測定対象物 W の外観検査の高速化を図ることができる。

【0078】

尚、本実施形態の凹部深さの測定方法及び検査装置は、上述の図示例にのみ限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において種々の変更を加え得ることは勿論である。例えば、本実施形態の凹部深さの測定方法の画像取得工程 S 1 によって取得する濃淡表示した画像は、256 階調で表現されているが、16 階調でもよいし、65, 536 階調でもよい。

【0079】

また、本実施形態の凹部深さの測定方法の画像取得工程 S 1 によって取得する濃淡表示した画像は、グレースケールであるが、RGB フルカラーでもよい。

【0080】

なお、本実施形態の凹部深さの測定方法の計算工程 S 5 では、凹部深さの計算値 $Depth$ を凹部画像 D' の最大階調値の位置から周縁位置まで 1 画素ずつ計算しているが、1 画素置きや 2 画素置きの如く任意の画素数を飛ばしながら計算してもよい。

【0081】

なお、本実施形態の検査装置では、カメラ 130 とパソコン 150 を銅線 160 によって電氣的に接続しているが、カメラ 130 からパソコン 150 まで画像を転送できればよく、カメラ 130 とパソコン 150 を光ファイバによって接続してもよいし、カメラ 130 からパソコン 150 まで画像を無線、レーザ又は赤外線等によって転送するように構成されていてもよい。

【符号の説明】

【0082】

S 1 ... 画像取得工程、S 2 ... 凹部画像抽出工程、S 3 ... 画像処理工程、S 4 ... 最大階調取

10

20

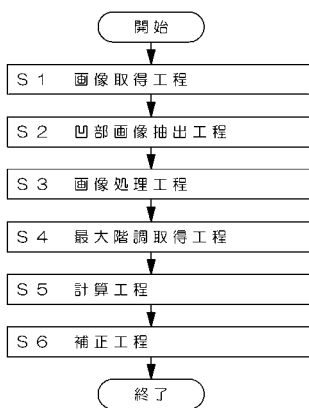
30

40

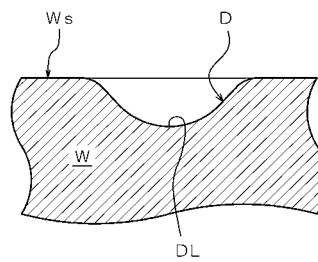
50

得工程、S 5 ... 計算工程、S 6 ... 補正工程、W ... 測定対象物、W s ... 平坦部、D ... 凹部、DL ... 最低位置、D' ... 凹部画像、S ... 光照射範囲、V ... 中心線、V max ... 最大階調値、(X _ V max , Y _ V max) ... 最大階調値の座標、p ... 横幅長、p / 2 ... 横幅長の半分長、p y ... 縦軸線、q ... 縦幅長、q / 2 ... 縦幅長の半分長、q x ... 横軸線、C ... 中心位置、i ... 任意の画素、Dep (i) ... 深さ方向の増加量、 θ ... 傾斜角度、r ... 距離、R 0、R i ... 反射光、R i v ... 反射光の垂直成分、t ... 接線、h ... 水平線、n ... 法線、Depth、Depth (1)、Depth (2)、Depth (3)、Depth (4)、Depth (max) ... 凹部深さの計算値、a ... 傾き、b ... 切片、Depth (act) ... 凹部深さの実測値、Depth (amd) ... 凹部深さの修正値、1 0 0 ... 検査装置、1 1 0 ... X - Y ステ - ジ、1 1 1 ... 載置部、1 2 0 ... 照明装置、1 3 0 ... カメラ、1 4 0 ... 拡大鏡、1 5 0 ... パソコン、1 6 0 ... 銅線、Light ... 光、A、B ... 方向

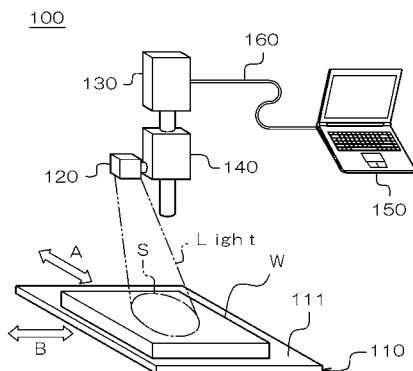
【 図 1 】



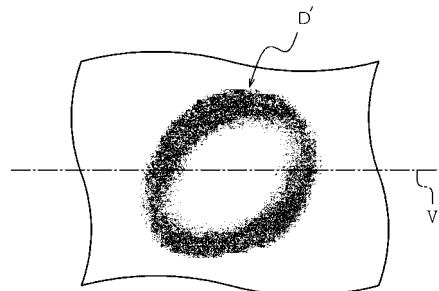
【 図 3 】



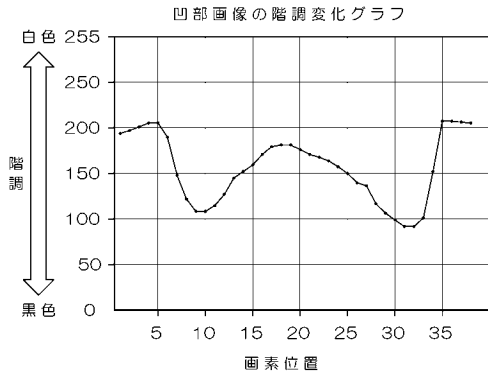
【 図 2 】



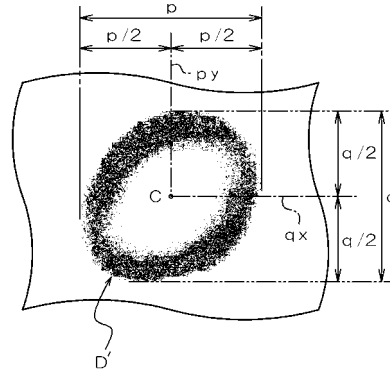
【 図 4 】



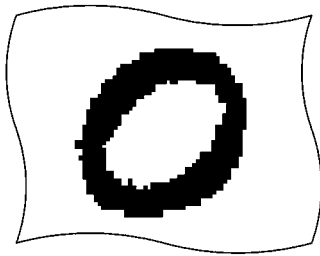
【 図 5 】



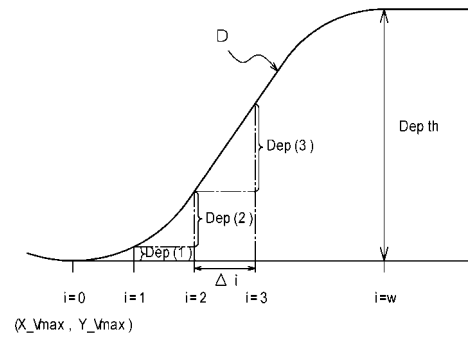
【 図 7 】



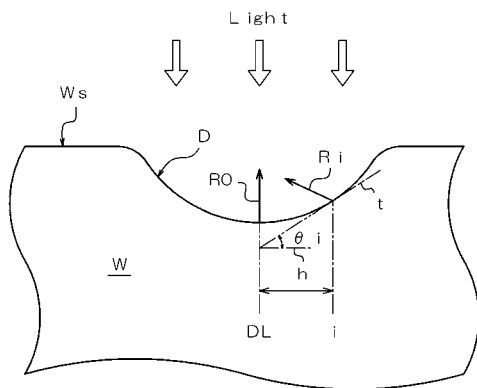
【 図 6 】



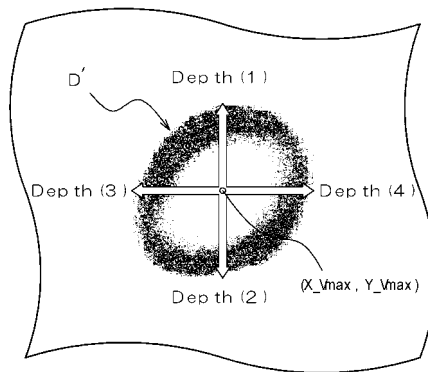
【 図 8 】



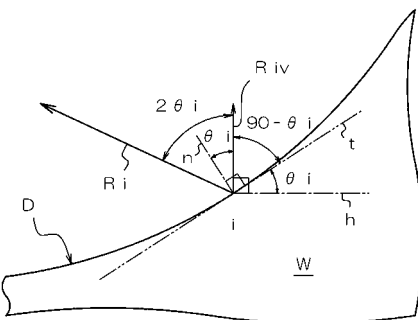
【 図 9 】



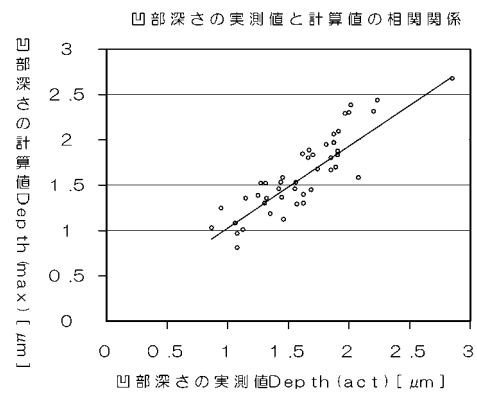
【 図 11 】



【 図 10 】



【 図 12 】



フロントページの続き

(72)発明者 藤本 敏雄

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

Fターム(参考) 2F065 AA25 BB01 CC19 FF42 GG07 HH13 JJ03 JJ09 JJ26 PP12

QQ03 QQ04 QQ17 QQ27 QQ33 QQ41 QQ42