

(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2021-189044

(P2021-189044A)

(43) 公開日 令和3年12月13日(2021.12.13)

| (51) Int.Cl.            | F I            | テーマコード (参考) |
|-------------------------|----------------|-------------|
| GO 1 N 21/88 (2006.01)  | GO 1 N 21/88 Z | 2 F 0 6 5   |
| GO 1 N 21/952 (2006.01) | GO 1 N 21/952  | 2 G 0 5 1   |
| GO 1 B 11/30 (2006.01)  | GO 1 B 11/30 A |             |

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2020-94598 (P2020-94598)  
 (22) 出願日 令和2年5月29日 (2020.5.29)

(71) 出願人 000006747  
 株式会社リコー  
 東京都大田区中馬込1丁目3番6号  
 (74) 代理人 100127111  
 弁理士 工藤 修一  
 (72) 発明者 駒宮 大介  
 東京都大田区中馬込1丁目3番6号・株式会社リコー内  
 Fターム(参考) 2F065 AA49 AA65 BB06 DD03 FF04  
 FF61 GG03 GG16 GG17 HH06  
 HH12 JJ03 JJ26 LL04 QQ24  
 QQ31  
 2G051 AB03 AB07 BB01 BB07 BC03  
 CA04 CA06 CB01 CC09 EA16  
 EB01

(54) 【発明の名称】 表面検査装置および表面検査方法

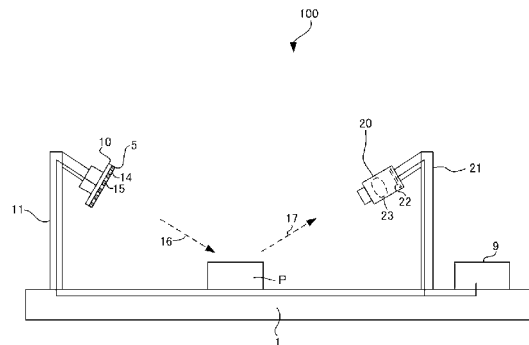
(57) 【要約】

【課題】色特性として表れにくい被検査体の表面の3次元形状に由来する微小な欠陥を一度の撮影で広範囲にわたって検出可能な表面検査装置の提供。

【解決手段】

明暗の差を周期的に繰り返す明暗パターンを被検査体の表面に投射する照明手段と、前記照明手段の前記被検査体からの正反射光を受光して撮影する撮影手段と、前記撮影手段により撮影された画像と、前記明暗パターンとを比較することで前記画像から前記被検査体の表面上の微小な形状変化を検出する検出手段と、を有し、前記撮影手段は、前記照明手段からの前記正反射光の反射角が、条件式(1)： $45^\circ < \theta < 85^\circ$ の範囲内に収まる位置に配置されたことを特徴とする表面検査装置。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

明暗の差を周期的に繰り返す明暗パターンを被検査体の表面に投射する照明手段と、前記照明手段の前記被検査体からの正反射光を受光して撮影する撮影手段と、前記撮影手段により撮影された画像と、前記明暗パターンとを比較することで前記画像から前記被検査体の表面上の微小な形状変化を検出する検出手段と、を有し、前記撮影手段は、前記照明手段からの前記正反射光の反射角  $\theta$  が、条件式 (1) :

$$45^\circ < \theta < 85^\circ$$

の範囲内に収まる位置に配置されたことを特徴とする表面検査装置。

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載の表面検査装置において、前記被検査体の表面上の前記形状変化は、前記照明手段により前記被検査体の表面に投影された前記明暗パターンの正反射における法線と垂直な方向の変位を  $x$ 、前記  $x$  に対する前記法線方向の変位を  $y$ 、としたとき、前記撮影手段によって撮影された前記画像における前記被検査体の表面の分解能を  $L$ 、前記入射光の長さを  $L$  としたとき、条件式 (2) :

$$L \leq x / y$$

を満足することを特徴とする表面検査装置。

## 【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の表面検査装置において、前記明暗パターンは、前記撮影手段によって撮影された画像における明部の輝度が暗部の輝度の 1.3 倍以上となることを特徴とする表面検査装置。

## 【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 の何れか 1 つに記載の表面検査装置において、前記明暗パターンの形状が明部と暗部とを交互に繰り返す縞形状であることを特徴とする表面検査装置。

## 【請求項 5】

請求項 1 乃至 3 の何れか 1 つに記載の表面検査装置において、前記明暗パターンの形状が、明部と暗部とが互いに隣接し合うブロック形状であることを特徴とする表面検査装置。

## 【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 の何れか 1 つに記載の表面検査装置において、前記照明手段は、前記明暗パターンの位相を任意の値だけ動かすことを可能とする位相変化手段を有することを特徴とする表面検査装置。

## 【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 の何れか 1 つに記載の表面検査装置において、前記被検査体は円筒形状であることを特徴とする表面検査装置。

## 【請求項 8】

請求項 1 乃至 7 の何れか 1 つに記載の表面検査装置において、前記撮影手段は、前記被検査体の表面に写り込んだ前記照明手段に焦点を合わせて撮影することを特徴とする表面検査装置。

## 【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 の何れか 1 つに記載の表面検査装置において、前記検出手段は、前記撮影手段によって撮影された画像を当該画像中の前記明暗パターンと、検出したい前記形状変化の大きさに基づいて複数の領域に分割し、各領域に含まれる前記明暗パターンに基づいてそれぞれの領域毎に前記被検査体の表面上の微小な形状変化を検出することを特徴とする表面検査装置。

## 【請求項 10】

被検査体の表面に照度を与える光源部と、前記被検査体の 3 次元形状に応じた周期的な明暗パターンを前記被検査体の表面に投影する明部と暗部とを備えた照明手段と、

10

20

30

40

50

前記明暗パターンからの正反射光を反射角が  $45^\circ < \theta < 85^\circ$  を満足する位置で受光して撮影する撮影手段と、

前記撮影手段により撮影された画像から前記明暗パターンの周期性に対する歪みを検出することで前記被検査体の表面上の微小な3次元形状に由来する欠陥を検出する検出手段と、を用いることを特徴とする表面検査方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、表面検査装置および表面検査方法に関する。

【背景技術】

【0002】

製造業において、高品質かつ安心・安全な製品を提供するために、検査工程により良品・不良品の判別を的確に行う必要がある。

一般に不良品を判断する欠陥検査において、カメラや照明などの撮像光学系を組み合わせることで、製品の外観を撮影した後、適切な画像処理を行うことで製品表面の欠陥の有無や大きさを判別する方法が知られている。

特に被検査体表面の凹凸を検査する方法としては、被検査体の表面に照明を当てて撮影し、撮影画像を解析して凹凸を検出する方法が従来から広く行われている（例えば特許文献1～12等参照）。

しかしながら、このような方法では被検査体の表面が鏡面光沢を有する時など、撮影画像にカメラ等の撮影手段自体や周囲の物体が映り込んでしまい、被検査体の表面の凹凸が隠れてしまう問題があった。

このような映り込みを防ぐためには、照明装置に拡散板を付ける方法があるが、様な光を照射することとなるため、色特性の差として表れない程度に微小な3次元形状に由来する欠陥等についての検出が難しい。

【0003】

鏡面光沢を有する被検査体の表面にある微小な3次元形状に由来する欠陥を検出する方法としては、例えば輝線を含む照明を被検査体の表面に照射して反射光を撮影手段により撮影し、撮影画像における輝線の明暗の境界の歪みを検出することで形状欠陥を検出する方法が考えられている（例えば特許文献3、4等参照）。

しかしながら、このような方法では広範囲の検出を行うことが難しいという問題が生じていた。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明は、以上のような問題点に鑑みてなされたものであり、色特性として表れにくい被検査体の表面の3次元形状に由来する微小な欠陥を一度の撮影で広範囲にわたって検出可能な表面検査装置の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上述した課題を解決するため、本発明の表面検査装置は、明暗の差を周期的に繰り返す明暗パターンを被検査体の表面に投射する照明手段と、前記照明手段の前記被検査体からの正反射光を受光して撮影する撮影手段と、前記撮影手段により撮影された画像と、前記明暗パターンとを比較することで前記画像から前記被検査体の表面上の微小な形状変化を検出する検出手段と、を有し、前記撮影手段は、前記照明手段からの前記正反射光の反射角が、 $45^\circ < \theta < 85^\circ$  の範囲内に収まる位置に配置されたことを特徴とする。

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、色特性として表れにくい被検査体の表面の3次元形状に由来する微小な欠陥を一度の撮影で広範囲にわたって検出可能である。

10

20

30

40

50

## 【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】本発明の実施形態に係る表面検査装置の全体構成の一例を示す図である。

【図2】照明手段によって投影する明暗パターンの構成の一例を示す図である。

【図3】図1に示した撮像手段と照明手段との位置関係の一例を示す図である。

【図4】図3に示した明暗パターンを被検査体の表面に投射したときの一例を示す図である。

【図5】図3に示した明暗パターンを欠陥の無い被検査体の表面に投射したときの理想的な例を示す図である。

【図6】表面検査装置の第1の比較例における撮影画像の一例を示す図である。

10

【図7】表面検査装置の第2の比較例を示す図である。

【図8】図7に示した第2の比較例における撮影画像の一例を示す図である。

【図9】被検査体の表面における光の反射の一例を示す模式図である。

【図10】明暗パターンの他の一例を示す図である。

【図11】明暗パターンを動的に変化させる場合の構成の一例を示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

【0008】

本発明の実施形態の一例として図1に表面検査装置100の概略構成を示す。

本発明の第1の実施形態における表面検査装置100は、被検査体であるワークPの表面に向けて明部と暗部とを有する明暗パターンを含んだ投射光16を照射する照明手段たるハロゲンランプ10と、投射光16がワークPに反射した反射光17を受光するカメラ20と、を有している。

20

表面検査装置100は、ハロゲンランプ10を支持する照明支持アーム11と、カメラ20を支持する検出器支持アーム21と、照明支持アーム11、検出器支持アーム21、ワークP等を支持する不動の架台1と、を有している。

表面検査装置100はまた、ハロゲンランプ10やカメラ20を制御するための制御手段として機能する端末である制御部9を有している。

【0009】

制御部9は、CPU(Central Processing Unit)、メインメモリ(MEM-P)、ノースブリッジ(NB)、サウスブリッジ(SB)等を有する計算機である。

30

制御部9はまた、AGP(Accelerated Graphics Port)バス、ASIC(Application Specific Integrated Circuit)、ローカルメモリ(MEM-C)を有している。

制御部9はまた、HD(Hard Disk)、HDD(Hard Disk Drive)、PCIバス、ネットワークI/Fを有している。

【0010】

CPUは、メインメモリに記憶されたプログラムに従って、データを加工・演算したり、上述した各部の動作を制御したりするものである。メインメモリは制御部9の記憶領域としてはたらく、制御部9の各機能を実現させるプログラムやデータを記憶する。あるいはこのプログラムは、インストール可能な形式又は実行可能な形式のファイルでCD-ROM、FD、CD-R、DVD等のコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録して提供するように構成してもよい。

40

【0011】

ローカルメモリ(MEM-C)は、コピー用画像バッファ及び符号バッファとして用いる。HDは、画像データの蓄積、印刷時に用いるフォントデータの蓄積、フォームの蓄積を行うためのストレージである。HDDは、CPUの制御にしたがってHDに対するデータの読み出し又は書き込みを制御する。ネットワークI/Fは、通信ネットワークを介して情報処理装置等の外部機器と情報を送受信する。

【0012】

50

制御部 9 は、通信ネットワークなどを介した上位装置（例えばパソコン）との双方向の通信を制御するための通信制御手段として動作する。

制御部 9 はまた、ハロゲンランプ 10 とカメラ 20 と接続されており、後述するようにカメラ 20 により撮影された画像と、明暗パターンとを比較することでワーク P の表面上の微小な形状変化を検出する検出手段として機能する。

#### 【0013】

ハロゲンランプ 10 は、ワーク P の表面に図 2 に示すような明暗パターンを含んだ投射光 16 を投射する照明手段である。

このような明暗パターンは、例えば図 1 に示すようにハロゲンランプ 10 の出射面にスリット 5 など設けることで投影可能である他、拡散板や、複数の帯状の面照明を幅方向に並べて形成するとしても良い。

本実施形態においては、ハロゲンランプ 10 の出射面に、明部 12 に対応する透過部 14 と、暗部 13 に対応する遮蔽部 15 と、を縞状に設けることで、図 2 に示したような明暗パターンを形成している。

なお、本実施形態ではハロゲンランプ 10 を照明手段として用いたが、その他液晶、LED、蛍光灯、白熱電球、レーザー、プロジェクタ、有機 EL 素子等の様々な光源を照明手段として用いても良い。さらに、ディスプレイを用いて明部 12 に対応する部分を点灯させ、暗部 13 に対応する部分を消灯して、ワーク P に投射光 16 を投射する構成であっても良い。

#### 【0014】

明暗パターンは、本実施形態では円弧状の明部 12 と暗部 13 とが交互に形成された縞状のパターンを形成する。ここで明部 12 はハロゲンランプ 10 によって照射された投射光 16 のうち照度の高い部分、暗部 13 はハロゲンランプ 10 によって照射された投射光 16 のうち照度の低い部分である。

このように、明暗パターンは、ある方向に対して明暗の差がある明部 12 と暗部 13 とが周期的に繰り返される構成であれば良く、照射される形状については特に限定されない。

なお、かかる縞状の構成に限定されるものではなく、例えば矩形の明部 12 と暗部 13 とが互いに隣接し合うブロック形状であっても良い。

#### 【0015】

カメラ 20 は、ワーク P の表面に照射された投射光 16 が正反射した反射光 17 を受光する CCD や CMOS 等のセンサー 22 と、ズームレンズ、固定焦点レンズ、ティルト機能付きレンズ、テレセントリックレンズ等を用いて構成されたテレセントリック光学系である撮像光学系 23 と、を備えたデジタルカメラである。

カメラ 20 は、図 3 に示したように、ハロゲンランプ 10 からの投射光 16 の入射角  $\theta$  とし、反射光 17 の反射角  $\theta_r$  としたとき、反射角  $\theta_r$  は次の数式 (1) を満足する。

#### 【0016】

##### 【数 1】

$$45^\circ < \theta \leq 85^\circ \dots (1)$$

#### 【0017】

一般に、反射角  $\theta_r$  を大きくすることで、ワーク P の表面上の欠陥の傾斜方向に対する明暗パターンの歪みが強調され、欠陥の検出が容易となる。なお、ここでいうワーク P 表面上の欠陥とは、例えば理想的なワーク P にはない表面の 3 次元形状の変化を指しているが、例えば表面の微小な凹凸や歪み、キズなどを含む。

さて、反射光 17 の反射角  $\theta_r$  が  $45^\circ$  以下の場合には、微小な凹凸が検出し辛くなる。他方、反射角  $\theta_r$  が  $85^\circ$  よりも大きい場合には、微小な凹凸の検出感度は向上する一方で、奥行方向にワーク P の撮影画像面に対する正射影の長さが、ワーク P の実寸に対して  $\cos 85^\circ$  (0.087) 以下の倍率で表示されることとなるために撮影範囲が過剰に潰れてしまう。すなわち、カメラ 20 から見たときのワーク P の分解能が不足して、十分

10

20

30

40

50

な表面検査を行うことが難しくなってしまう。

また、フレネルの式で表されるブリュスター角以上の角度では、s 偏光、p 偏光ともに反射率が上昇していく。そのため、ワーク P の鏡面性が低いような場合にも、反射を得やすくなって明暗パターンのコントラストが向上するメリットもある。

#### 【 0 0 1 8 】

センサ 2 1 から撮像光学系 2 3 を通して見たとき、ワーク P は光軸に対して斜めに配置されており、ワーク P の表面に射影された明暗パターンの何れの箇所においても焦点が揃っていることが望ましい。すなわち、撮像光学系 2 3 は、センサ 2 1 の受光面上に像を結ぶように、被写界深度が長い構成がより好ましい。ただし、本発明のように、ワーク P を斜めから見る構成においては特に、ワーク P の奥側と手前側とで生じる遠近差を低減するために、テレセントリック光学系であることが好ましい。

10

撮像光学系 2 3 をテレセントリック光学系とすることで、ワーク P の手前側と奥側とで撮影された画像上での拡大倍率が等しくなり、ワーク P の撮影範囲全域を同品質で検査可能となる。

また、撮像光学系 2 3 をテレセントリックレンズとすれば、テレセントリックレンズ面に対して垂直に入射した（換言するとレンズ光軸に平行な）光のみを取り込むという効果により、ワーク P の撮影範囲全域に対して同一の反射角で表面検査を行うことができる。

#### 【 0 0 1 9 】

カメラ 2 0 によって撮影された撮影画像 Q は、円筒形状のワーク P に照射した時には、例えば図 4 に示すように撮影される。

20

このとき、ハロゲンランプ 1 0 によって照射される照射光 1 6 は、明部 1 2 と暗部 1 3 とが交互に形成された明暗パターンとして照射されているから、全く歪みや傷などの表面の欠陥のない理想的なワーク P' からの反射光 1 7' は、例えば図 5 に示す画像のように明暗パターンには歪みのない形でカメラ 2 0 によって撮影されるはずである。

しかしながら、図 4 に示すように、ワーク P の表面に歪みや傷などがあつたときには、撮影画像 Q には、破線 A、破線 B で示すような明暗パターンの歪みとして検出される。

#### 【 0 0 2 0 】

制御部 9 は、図 5 に示したような理想的なワーク P' に明暗パターンを含む照射光 1 6 を照射したときの参照画像 R と、図 4 に示したようなカメラ 2 0 によって得られた撮影画像 Q と、を比較することで、ワーク P の表面に歪みや傷等が生じていないかどうかを検出することができる。

30

なお、参照画像 R は、例えば表面検査装置 1 0 0 の出荷時に予めリファレンスデータとして理想的なワーク P' を載置して撮影した画像データであっても良いし、図 2 に示したような明暗パターンの投射光 1 6 が、ある 3 次元形状を持ったワーク P' に投射された時の明暗パターンの形状を表すデータであっても良い。

このとき、ワーク P の表面にハロゲンランプ 1 0 や周囲の物体が映り込んでいたとしても、ワーク P の表面には明暗パターンが映っているために、かかる撮影画像 Q に含まれる明暗パターンが得られる。

また、明暗パターンにより、ワーク P の表面のわずかな変化も捉えることができるから、ワーク P の表面の微小な凹凸をも確実に検出することができる。

40

かかる構成により、従来 of 明度や彩度等の画像の色情報から検出する方法よりもワーク P の歪みや傷などの表面形状の欠陥を精度よく検出することができる。

#### 【 0 0 2 1 】

また、ワーク P の表面が鏡面仕上げされている場合にも、カメラ 2 0 はワーク P の表面に映り込んだハロゲンランプ 1 0 に焦点を合わせることにより、明暗パターンを高精度で撮影することができて、画質の良い明暗パターンの画像を得ることができるから、ワーク P 表面の欠陥の検出精度を高めることができる。

このように、ワーク P の表面が鏡面光沢を有する場合にも、ワーク P の表面の三次元形状の欠陥を検出することができる。

50

## 【 0 0 2 2 】

ここで、本発明に対する第 1 の比較例として、図 6 に明暗パターンのない投射光 1 6 1 を照射した場合の撮影画像 Q 1 を示す。なお、第 1 の比較例においては、カメラ 2 0 はワーク P に対して反射角  $70^\circ$  の位置になるように斜めに配置されており、ワーク P の表面は鏡面加工が施されている。

すなわち、第 1 の比較例においては、投射光 1 6 1 に明暗パターンのない点で本発明の実施形態と異なっている。

図 6 から明らかのように、単に数式 ( 1 ) の範囲内にカメラ 2 0 を設置するだけでは、一点鎖線で示したような投射光 1 6 1 の映り込みの境界部分近傍にあるような欠陥部分については検知可能なものの、検知可能な領域が狭いという課題がある。

10

## 【 0 0 2 3 】

また、第 2 の比較例として、図 7、図 8 に明暗パターンについては本発明の実施形態と同様に含む投射光 1 6 2 を照射した場合であって、カメラ 4 0 の位置がワーク P 直上に配置された構成における撮影画像 Q 2 を示す。

なお、明暗パターンについては本発明の実施形態と同様に図 2、図 4 に示したような明暗パターンを形成するとし、ワーク P についても同様の形状の物を用いた。

## 【 0 0 2 4 】

図 8 から明らかのように、ワーク P の上方からカメラ 4 0 を用いて撮影された撮影画像 Q 2 においては、明暗パターンがワーク P 上に照射されてはいるものの、明暗パターンの歪みを用いて欠陥を検出することが難しい。

20

## 【 0 0 2 5 】

この点について図 9 ( a )、( b ) を用いて更に詳細に説明する。なお、図 9 ( a ) ( b ) ではハロゲンランプ 1 0 から照射された照射光 1 6 と、欠陥の無いワーク P 表面で反射された正反射光を実線で示し、欠陥があった場合の正反射光を一点鎖線で示している。

また、図 9 ( a ) において円で囲まれた欠陥部 A 近傍を拡大し、光線の模式図を追加したものが図 9 ( b ) である

本発明の実施形態においては、ワーク P とハロゲンランプ 1 0 とに対するカメラ 2 0 を斜めに、数式 ( 1 ) を満足するような位置で配置するとともに、ワーク P にハロゲンランプ 1 0 から明暗パターンを含む投射光 1 6 を照射している。

このように、明暗パターンを含む投射光 1 6 をワーク P に照射するとともに、投射光 1 6 の正反射の方向に配置されたカメラ 2 0 へ向かう反射光 1 7 の反射角  $\theta$  としたとき、反射角  $\theta$  が数式 ( 1 ) を満足することとすると、明暗パターンの歪みから微小な凹凸を検出することができるとともに、ワーク P の実寸サイズに対して画像面に対する正射影の長さを十分に確保できるから、画像の分解能を確保することができる。

30

## 【 0 0 2 6 】

また、明暗パターンの歪みは、表面形状の微小な凹凸や傷などの欠陥の有無による光の正反射のずれに起因する。ワーク P における欠陥の無いフラットな面での正反射光と、欠陥部分での正反射光とのずれは、欠陥部分からの距離が遠ざかる程大きくなる。

すなわち、明暗パターンの歪みがカメラ 2 0 をワーク P から離すことで徐々に強調されていくことを示している。また、正反射光を受光するためにハロゲンランプ 1 0 とワーク P とカメラ 2 0 との間の位置関係は一意に定まるから、入射光である投射光 1 6 についても光路の長さが長いほど歪みの影響が大きくなる。

40

すなわち、ハロゲンランプ 1 0 とワーク P とカメラ 2 0 とは、互いに配置される角度が数式 ( 1 ) の範囲内で規定されつつも、照明手段であるハロゲンランプ 1 0 とワーク P との間の距離は出来るかぎり遠ざけた方が、明暗パターンの歪みを大きく検知することができる。

## 【 0 0 2 7 】

具体的には、ワーク P の表面上の微小な 3 次元形状の欠陥部 A として、ハロゲンランプ 1 0 によりワーク P の表面に投影された明暗パターンの正反射における法線と垂直な方向の変位を  $x$ 、 $x$  に対する法線方向の変位を  $y$  と定義し、カメラ 2 0 により撮影された撮影

50

画像 Q におけるワーク P 表面の分解能を、入射光たる投射光 16 の光路長 L とする。このとき、ワーク P の表面上の欠陥は、微小な凹凸であるから  $y$  は  $x$  に対して十分に小さい ( $y \ll x$ )。

【0028】

このとき、 $y/x = \tan \theta$  となる角度  $\theta$  とすると、 $y \ll x$  より  $y/x = \tan \theta$  ( $\text{rad}$ ) である。図 9 (b) から明らかなように、この  $y/x$  あるいは  $\tan \theta$  は、欠陥部 A における傾斜を表している。

つまり欠陥部 A において、法線の角度は理想的なワーク P の表面の法線方向からだけずれることとなる。このとき、欠陥の無いフラットな面での正反射光の反射角  $\theta$  であり、反射角  $\theta$  の方向にカメラ 20 が設置されているから、欠陥部 A があるときには、ハロゲンランプ 10 の同一位置から照射された光線は、法線の傾きによってカメラ 20 とは異なる方向に反射されてしまう。カメラ 20 がテレセントリック光学系であるなら、欠陥部 A があるときにカメラ 20 に入射する光線は、反射角  $\theta + \theta$  となるような光線である。すなわち、理想的な入射光と、欠陥部 A での正反射光がカメラ 20 に受光されるような入射光との角度のずれは  $2\theta$  で表される。

言い換えるとカメラ 20 に入射するためには、入射光側で  $2\theta$  の角度のずれを持つ光である必要がある。 $y \ll x$  より、 $\theta$  が十分小さいので図 9 (c) に示すように 2 つの同一な長さ L の光線によってつくられる弧の長さは  $2L \tan \theta = 2L \theta$  となる。

【0029】

以上の説明により、理想面の正反射光に対して、カメラ 20 に入射する欠陥部 A で反射された正反射光は、かかる弧の長さ  $2L \theta$  だけずれた位置からの投射光 16 を受光することとなる。既に説明したように、ハロゲンランプ 10 は図 2 に示すような明部 12 と暗部 13 とが周期的に繰り返す明暗パターンを投射するのであるから、このような入射位置のずれが、カメラ 20 に撮影される撮影画像において図 4 に例示するような明暗パターンの歪み、ずれとして計測されることとなる。

欠陥による明暗パターンの歪みを強調させるためには、この弧の長さ  $2L \theta$  が、分解能の 2 倍以上であることが望ましい。すなわち、数式 (2)、(3) を満足することが好ましい。

【0030】

【数 2】

$$2L\theta \geq 2\delta$$

【0031】

【数 3】

$$L \geq \frac{\delta x}{y}$$

【0032】

さて、ハロゲンランプ 10 からワーク P までの距離が遠ざかる程、光の拡散の影響によってワーク P に照射される明部 12 と暗部 13 との間の輝度コントラストが下がってしまう。

特にカメラ 20 によって撮影された撮影画像 Q において、明部 12 の輝度が暗部 13 の輝度に対して 1.3 倍未満となるような条件下では、明暗パターンの明部 12 と暗部 13 との区別が難しくなってしまう、欠陥の検出が難しくなってしまう。

そこで、ハロゲンランプ 10 とワーク P とカメラ 20 とは、明部 12 の輝度が暗部 13 の輝度に対して 1.3 倍以上となるような位置に配置されることが好ましい。

なお、かかる明部 12 と暗部 13 との間の輝度差については、ハロゲンランプ 10 とワーク P とカメラ 20 との間のそれぞれの距離の他、ハロゲンランプ 10 の透過部 14 と、遮蔽部 15 との間の透過率の差等によっても生じるため、撮影画像 Q における明部 12 と暗部 13 との輝度差を条件とすることがより好ましい。

【0033】

10

20

30

40

50

また、明暗パターンは、明部 1 2 と暗部 1 3 とが周期的に繰り返されることが好ましい。

明暗パターンは、ワーク P の表面に均一に明暗パターンが投影されるように、ワーク P の 3 次元形状に応じてハ口ゲンランプ 1 0 側に明暗パターンが設定されていることが好ましい。具体的には、例えば図 4 に示したような円筒形状のワーク P に対しては、照射した時に明部 1 2 と暗部 1 3 とが交互に縞状の線として投影されるようにアナモルフォーシス技法を参考にしたパターン設計により設定されることが好ましい。

なお、このような「3次元形状に応じたパターン」については、かかる構成に限定されるものではなく、ハ口ゲンランプ 1 0 の形状や位置、カメラ 2 0 の位置や検査の走査方法に応じて自由に変形して良い。

#### 【0034】

さらに、明暗パターンの明部 1 2 と暗部 1 3 との周期性を持つ方向への幅（例えば、図 4 に示す Y 方向に沿った方向への幅）が、何れも欠陥の幅の 1 倍以下であることが検出感度の観点から好ましい。

すなわち、検出しようとする欠陥の幅よりも明部 1 2 の幅と暗部 1 3 の幅とが小さくなるように、明部 1 2 と暗部 1 3 とが設定されることが好ましい。

かかる構成によれば、明部 1 2 と暗部 1 3 との境界部において欠陥があったときに反射光から明暗パターンの歪みが検知されるから、かかる境界部が欠陥と交差する頻度、回数を高めることで、明暗パターンの歪みによる欠陥の検出精度をより向上させることを目的としている。

この際、明部 1 2 と暗部 1 3 との幅の設計の変更によるもの以外にも、例えば明暗パターンの歪みを、明部 1 2 または暗部 1 3 の何れかの位相を任意の値だけ動かして投影することでも、実質的に本来の明部 1 2 と暗部 1 3 との有する幅よりも狭い間隔で欠陥の検出を行うことができる。

#### 【0035】

さらに、明部 1 2 と暗部 1 3 との間は、前述の幅方向において、明部 1 2 に対する暗部 1 3 の比率が 0.5 ~ 2.0 の範囲内であることが明暗のコントラスト確保を維持する観点から有利であって、検出感度を確保する上で好ましい。

#### 【0036】

明暗パターンが撮影された撮影画像 Q において、明暗パターンの形状は例えば縦、横、斜め、十字、多次元関数等、様々な形状をとって良いが、最も好ましくは縞形状である。

これは、明部 1 2 と暗部 1 3 との間の境界部分が明確であって、さらに欠陥と交差する頻度、回数を高めることで欠陥を検出しやすくすることができるためである。

#### 【0037】

また、互いに矩形の明部 1 2 と暗部 1 3 とが互いに交互に隣接し合う、図 1 0 に示したようなブロック形状であっても良い。このようなブロック形状とすることによれば、単位面積当たりの明暗の境界部が占める面積が増加するため、欠陥と明暗の境界部とが交差する頻度や回数を確保して、検出しやすくするためである。

#### 【0038】

また、明暗パターンは、明部 1 2 と暗部 1 3 とがスリット 5 の透過部 1 4 と遮蔽部 1 5 とによって静的に形成されるものであっても良いし、スリット 5 や液晶素子、その他光学部材を用いて、透過部 1 4 と遮蔽部 1 5 との位置を動的に変化させて明部 1 2 と暗部 1 3 との配列を動的に変化させるものであっても良い。

また、このような場合には、図 1 1 に示すように、互いに隣接する明部 1 2 と暗部 1 3 との 1 組を 1 周期と定めて、図 1 1 (b) の位相表に従って変動するようなものであっても良い。なお、図 1 1 (b) において、白が明部 1 2、黒が暗部 1 3 に対応しており、「位相を だけ動かす」ことは明部 1 2 と暗部 1 3 とを互いに反転させることを表している。このとき、スリット 5 は、明暗パターンの位相を任意の値だけ動かすことを可能とする位相変化手段として機能する。

また、ハ口ゲンランプ 1 0 に代えて液晶ディスプレイ等を照明手段として用いる場合に

10

20

30

40

50

は、点灯と消灯によって明部 1 2 と暗部 1 3 とを任意に切替可能であるので、かかる照明手段が、位相変化手段としての機能をも有することとなる。

【 0 0 3 9 】

また、制御部 9 による比較を定量的に行うためには、撮影画像 Q の観察視野の水平方向に対して平行または略平行に明部 1 2 と暗部 1 3 との境界部が形成されることがより好ましい。

このように明暗パターンの形状が平行または略平行に撮影画像 Q に撮影されることによれば、画像処理による明暗パターンの歪みの定量化が簡便になる効果がある。

【 0 0 4 0 】

カメラ 2 0 は、ワーク P の表面そのものではなく、ワーク P の表面に映り込んだハロゲンランプ 1 0 に投影される明暗パターンに焦点を合わせて撮影を行われる。

このように、映り込んだハロゲンランプ 1 0 に焦点を合わせるとはすなわちワーク P の表面に投射された明暗パターンに焦点を合わせることと等しい。

このようにカメラ 2 0 の焦点を調整することで、明暗パターンの歪みを検出しやすくなって検査の S N 比の向上に寄与する。

【 0 0 4 1 】

本発明にかかる表面検査装置 1 0 0 は、撮影画像 Q を複数の領域に分割して検査しても良い。

このように各領域に区切ること、領域ごとに検査の閾値を設定することができるので、より細分化したワーク P の表面の 3 次元形状の評価を行うことができる。

このような撮影画像 Q の領域の分割は、ワーク P の大きさや 3 次元形状、投影される明暗パターンの周期や形状によって個別に設定することが好ましい。

また、制御部 9 が行う撮影画像 Q と参照画像 R との比較あるいは 3 次元形状の評価は、周波数フィルタリングを用いた画像処理や時間変化法、位相シフト法、その他のルールベースに基づく画像処理方法全般、および機械学習やディープラーニングによる画像処理法を用いても良い。

これらの画像処理方法を用いて撮影画像 Q に写った明暗パターンから、ワーク P の欠陥によって生じる明暗パターンの歪みを検出することにより、ワーク P の表面の凹凸などの欠陥を検出することができる。

また本発明に係る表面検査装置 1 0 0 は、従来装置では検出が困難であった塗膜上の微小な膜厚段差や、異物による凹凸を容易に精度よく検出することができる。

またかかる表面検査装置 1 0 0 によって検査されるワーク P は、投影された明暗パターンに対する反射光があればよく、光沢を有する塗装面や金属面、ガラス面等、さまざまなワーク P に対して適用することができる。

【 0 0 4 2 】

以上本発明の好ましい実施の形態について説明したが、本発明はかかる特定の形態に限定されるものではなく、上述の説明で特に限定していない限り、特許請求の範囲に記載された本発明の趣旨の範囲内において、種々の変形・変更が可能である。

【 0 0 4 3 】

本発明の実施の形態に記載された効果は、本発明から生じる最も好適な効果を列挙したに過ぎず、本発明による効果は、本発明の実施の形態に記載されたものに限定されるものではない。

【 符号の説明 】

【 0 0 4 4 】

- 9            検出手段（制御部）
- 1 0        照明手段（ハロゲンランプ）
- 1 2        明部（明暗パターンの一部）
- 1 3        暗部（明暗パターンの一部）
- 2 0        撮影手段（カメラ）
- 1 0 0      表面検査装置

10

20

30

40

50

P 被検査体 (ワーク)  
 Q 撮影画像  
 R 参照画像

【先行技術文献】

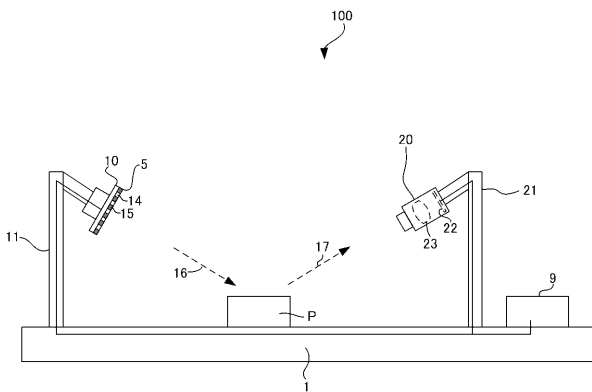
【特許文献】

【0045】

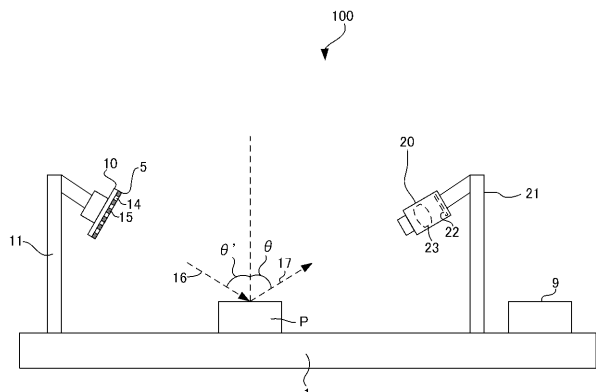
- 【特許文献1】特開平11-132964号公報
- 【特許文献2】特許第4685971号公報
- 【特許文献3】特開2005-337857号公報
- 【特許文献4】特許第5895733号公報
- 【特許文献5】特許第5182833号公報
- 【特許文献6】特許第6420131号公報
- 【特許文献7】特開2009-168454号公報
- 【特許文献8】特開2007-071562号公報
- 【特許文献9】特開2010-230684号公報
- 【特許文献10】特開2006-017481号公報
- 【特許文献11】特開2012-063190号公報
- 【特許文献12】特開2002-148029号公報

10

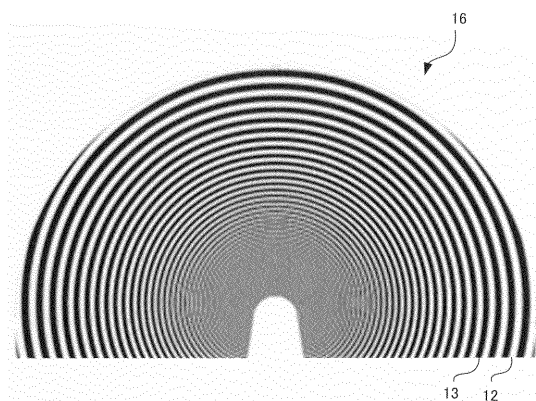
【図1】



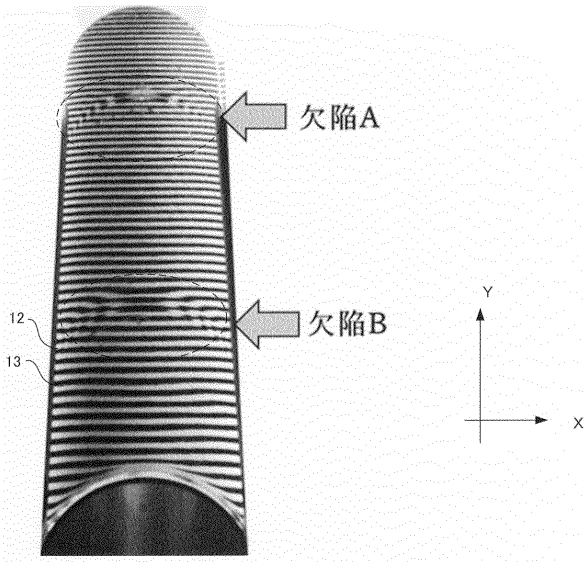
【図3】



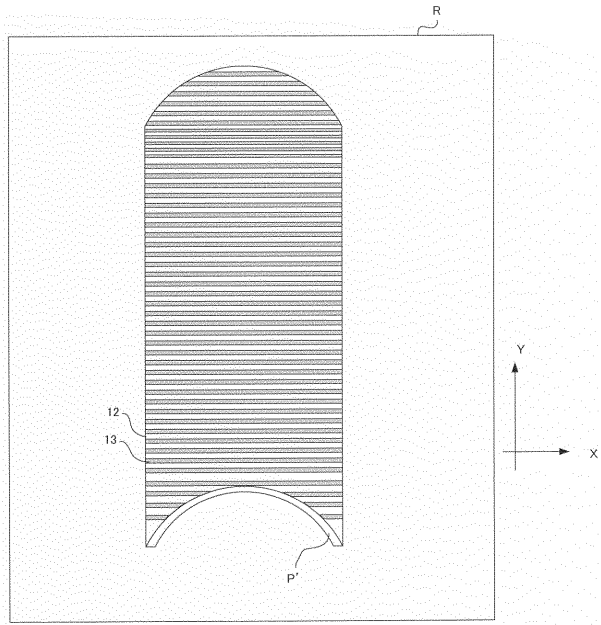
【図2】



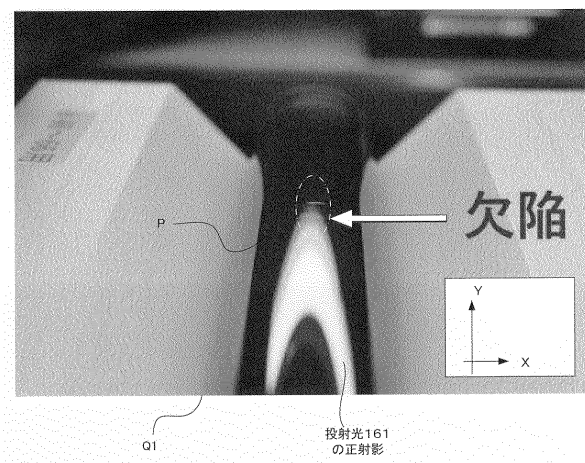
【 図 4 】



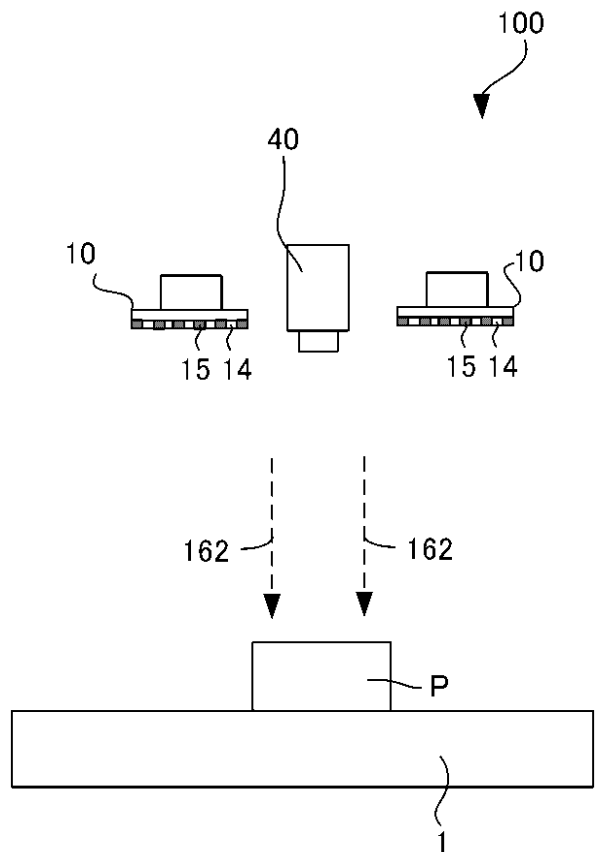
【 図 5 】



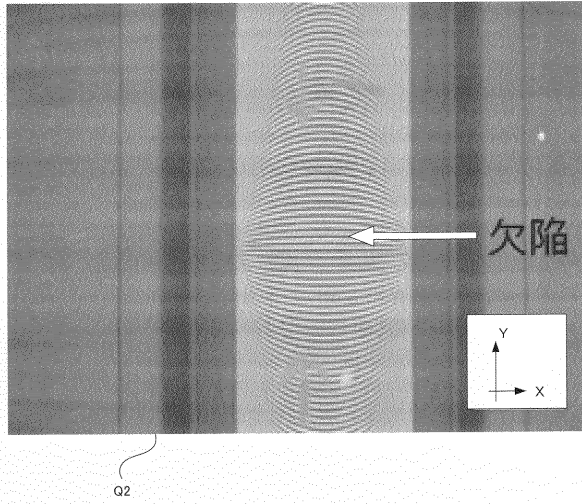
【 図 6 】



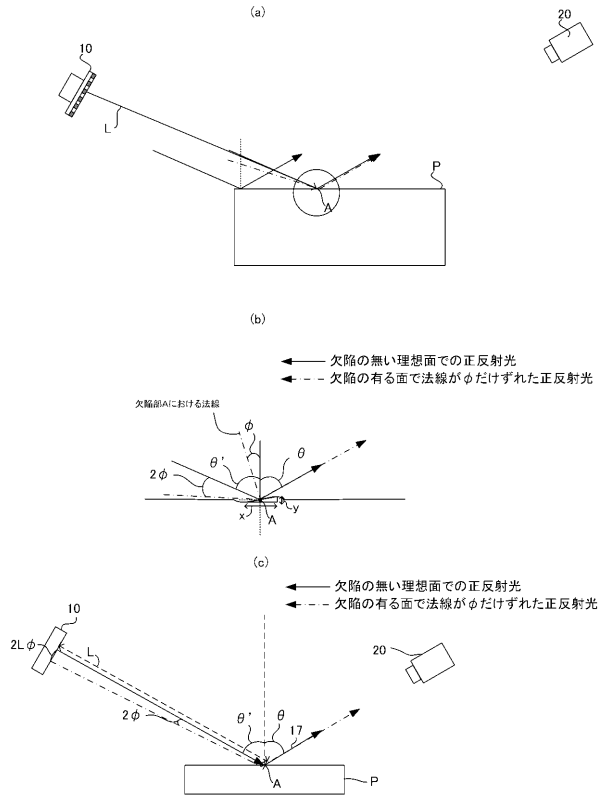
【 図 7 】



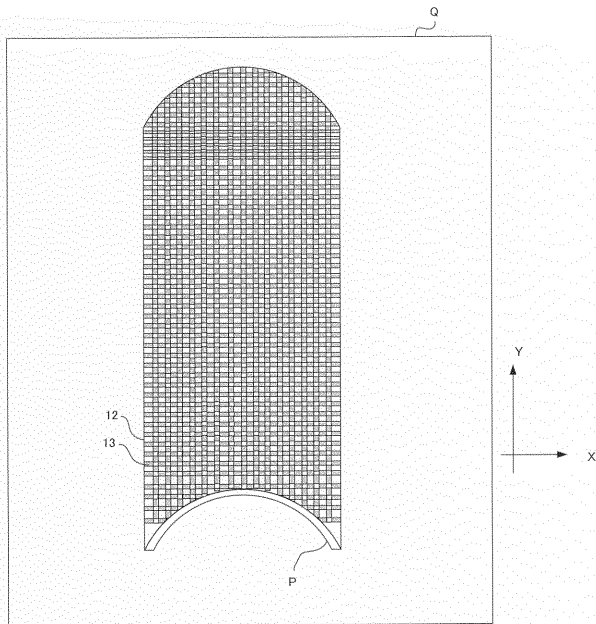
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【図 11】

