

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7061036号
(P7061036)

(45)発行日 令和4年4月27日(2022.4.27)

(24)登録日 令和4年4月19日(2022.4.19)

(51)国際特許分類

F I

G 0 1 N 21/84 (2006.01)

G 0 1 N 21/84

E

G 0 1 B 11/30 (2006.01)

G 0 1 B 11/30

A

G 0 1 N 21/88 (2006.01)

G 0 1 N 21/88

Z

請求項の数 14 (全15頁)

(21)出願番号 特願2018-126888(P2018-126888)
 (22)出願日 平成30年7月3日(2018.7.3)
 (65)公開番号 特開2020-8318(P2020-8318A)
 (43)公開日 令和2年1月16日(2020.1.16)
 審査請求日 令和3年6月15日(2021.6.15)

(73)特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74)代理人 110003281
 特許業務法人大塚国際特許事務所
 (72)発明者 植村 卓典
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 キヤノン株式会社内
 審査官 ▲高▼場 正光

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光照射装置、光学評価装置および物品製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体に光を照射する光照射装置であって、
 一定の中心間隔で配置され、少なくとも部分的に光を遮断するライン状の複数の遮光部と、
 前記物体に光を照射するように前記複数の遮光部のうちの一部の遮光部に対して重なるよ
 うに配置されたライン状の複数の光照射部と、を含み、
 前記複数の光照射部は、前記複数の遮光部の前記中心間隔の2倍以上の周期で周期的に配
 置された複数の周期要素を含む、
 ことを特徴とする光照射装置。

【請求項2】

前記複数の周期要素の各々は、同じ個数の光照射部で構成される、
 ことを特徴とする請求項1に記載の光照射装置。

【請求項3】

前記個数が2以上であり、前記複数の周期要素の各々における前記光照射部の中心間隔が
 前記複数の遮光部の前記中心間隔と等しい、
 ことを特徴とする請求項2に記載の光照射装置。

【請求項4】

前記個数を n 、前記複数の遮光部の前記中心間隔を P_m 、前記周期を P_o としたときに、
 $1/4 \leq (n \times P_m) / P_o \leq 3/4$
 を満たすことを特徴とする請求項2又は3に記載の光照射装置。

【請求項 5】

前記複数の光照射部の各々の幅は、前記複数の遮光部の各々の幅以下である、
ことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光照射装置。

【請求項 6】

前記複数の遮光部の各々の長さ方向と前記複数の遮光部が配置された方向とが互いに直交
することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の光照射装置。

【請求項 7】

光を透過する板部材を更に含み、

前記複数の遮光部および前記複数の光照射部は、前記板部材の主面の上に配置されている、
ことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の光照射装置。

10

【請求項 8】

前記複数の光照射部は、前記複数の遮光部のうち前記複数の光照射部が重なるように配置
された遮光部と前記主面との間に配置されている、
ことを特徴とする請求項 7 に記載の光照射装置。

【請求項 9】

前記板部材の端面に対して光を照射する光源を更に含む、
ことを特徴とする請求項 8 に記載の光照射装置。

【請求項 10】

前記複数の光照射部の厚さは、前記複数の遮光部の前記中心間隔より小さい、
ことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の光照射装置。

20

【請求項 11】

請求項 1 に記載の光照射装置と、

前記光照射装置によって光が照射された前記物体を、前記複数の遮光部の間の開口部を介
して撮像する撮像部と、

前記複数の遮光部および前記複数の光照射部を前記複数の遮光部の各々の長さ方向と交差
する方向に移動させる駆動部と、

前記撮像部によって撮像された複数の画像に基づいて前記物体を評価する画像処理部と、
を備えることを特徴とする光学評価装置。

【請求項 12】

前記撮像部は、前記駆動部が前記複数の遮光部および前記複数の光照射部を移動させてい
る状態で撮像を行う、

30

ことを特徴とする請求項 11 に記載の光学評価装置。

【請求項 13】

前記複数の周期要素の各々は、同じ個数の光照射部で構成され、

前記個数を n 、前記複数の遮光部の前記中心間隔を P_m 、前記周期を P_o としたときに、
前記撮像部の露光期間において前記駆動部が前記複数の遮光部および前記複数の光照射部
を移動させる距離が、 $P_o - (n \times P_m)$ より小さい、

ことを特徴とする請求項 12 に記載の光学評価装置。

【請求項 14】

請求項 11 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の光学評価装置を用いて物品の評価を行う工程
と、

40

前記評価の結果に応じた処理を前記物品に対して行う工程と、

を含むことを特徴とする物品製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光照射装置、光学評価装置および物品製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、輝度が周期的に変化する光を被検査体に照射しながら被検査体を撮像し

50

、得られた画像の周期的な輝度変化の振幅値等を算出し、振幅値等を用いて欠陥を検出する検査装置が記載されている。特許文献1の検査装置において、被検査体に光を照射する照明装置は、LCD等の表示装置に縞パターン光を映し出し、この縞パターン光を被検査体に照射する。あるいは、照明装置は、プロジェクタによってスクリーンに縞パターン光を投影し、スクリーンで反射された縞パターン光を被検査体に照射する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特許第5994419号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献1に記載された検査装置のような光学評価装置では、LCD等の表示装置からなる照明装置、又は、プロジェクタおよびスクリーンからなる照明装置が使用され、このような照明装置は、光を透過しない非透過型である。したがって、被検査体に形成された縞パターンを撮像装置によって撮像するためには、撮像装置の視野が照明装置によって遮られないように照明装置を配置する必要がある、これにより光学評価装置が大型化する。特に、被検査体の検査対象領域が曲面である場合、検査対象領域の全体からの正反射光を一度に撮像するためには、大きな照明装置が必要となり、光学評価装置の更なる大型化が問題となりうる。

【0005】

本発明は、上記の課題認識を契機としてなされたものであり、光学評価装置の小型化に有利な技術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】

【0006】

本発明の1つの側面は、物体に光を照射する光照射装置に係り、前記光照射装置は、一定の中心間隔で配置され、少なくとも部分的に光を遮断するライン状の複数の遮光部と、前記物体に光を照射するように前記複数の遮光部のうちの一部の遮光部に対して重なるように配置されたライン状の複数の光照射部と、を含み、前記複数の光照射部は、前記複数の遮光部の前記中心間隔の2倍以上の周期で周期的に配置された複数の周期要素を含む。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、光学評価装置の小型化に有利な技術が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本発明の一実施形態の光照射装置の構成を示す図。

【図2】本発明の一実施形態の光学評価装置の構成を示す図。

【図3】光照射装置を走査しながら撮像装置の露光を行うことの効果を説明するための図。

【図4】本発明の一実施形態の光学評価装置の動作を示す図。

【図5】複数の周期要素の中心間隔 P_o と複数の遮光部の中心間隔 P_m との比(P_o/P_m)と画像の強度の不均一性との関係を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、添付図面を参照しながら本発明をその例示的な実施形態を通して説明する。

【0010】

図1には、本発明の一実施形態の光照射装置10の構成が模式的に示されている。光照射装置10は、物体11に光を照射するように構成される。図1(a)は、光照射装置10によって光が照射される物体11の側から光照射装置10を見た図であり、図1(b)は、光照射装置10の断面図ないし側面図である。

【0011】

10

20

30

40

50

光照射装置 10 は、複数の遮光部 101 と、複数の光照射部 102 とを含む。複数の遮光部 101 は、少なくとも部分的に光を遮断するように構成される。換言すると、複数の遮光部 101 の光の透過率は、100%未満である。好ましくは、複数の遮光部 101 の光の透過率は、10%未満である。複数の遮光部 101 は、X 方向に一定の中心間隔 P_m で配置されたライン状の複数の遮光部である。各遮光部 101 は、その長さ方向が X 方向に交差する方向、例えば Y 方向である。なお、Y 方向は、X 方向に直交する方向である。複数の光照射部 102 は、物体 11 に光を照射するように、複数の遮光部 101 のうちの一部の遮光部 101 に対して重なるように配置されたライン状の複数の光照射部である。各光照射部 102 の幅（X 方向における幅） W_{LI} は、各遮光部 101 の幅（X 方向における幅） W_{LB} 以下である。

10

【0012】

複数の遮光部 101 における互いに隣り合う遮光部 101 の間には、光を透過する光透過部としての開口部 107 が設けられている。複数の開口部 107 は、中心間隔 P_m で配置されている。後述する撮像部は、複数の開口部 107 を通して物体 11 を撮像することができる。遮光部 101 と開口部 107 とは、交互に配置されている。

【0013】

上記のように、X 方向における複数の遮光部 101 の中心間隔は P_m である。これは、複数の遮光部 101 が X 方向に周期 P_m を形成するように配置されていることと等価である。複数の光照射部 102 は、複数の遮光部 101 の中心間隔 P_m の 2 倍以上の周期 P_0 を X 方向に形成するように配置されている。複数の光照射部 102 は、例えば、周期 P_0 を中心間隔とするように配置された複数の周期要素 103 を形成する。ここで、複数の周期要素 103 の各々は、同じ個数の光照射部 102 で構成される。各周期要素 103 を構成する光照射部 102 の個数が 2 以上である場合、複数の周期要素 103 の各々における光照射部 102 の中心間隔は、複数の遮光部 101 の中心間隔 P_m と等しい。

20

【0014】

周期要素 103 の幅（X 方向における幅） W_0 を、周期要素 103 に含まれる最も外側の 2 つの光照射部 102（1 つの周期要素 103 において互いに最も離隔した 2 つの光照射部 102）の外側に隣接する 2 つの開口部 107 の中心間隔として定義する。各周期要素 103 を構成する光照射部 102 の個数を n 、複数の遮光部 101 の中心間隔を P_m とすると、 $W_0 = n \times P_m$ が成り立つ。

30

【0015】

図 1 の例では、複数の周期要素 103 の各々は、2 個の光照射部 102 で構成される。また、図 1 の例では、複数の周期要素 103 における互いに隣り合う周期要素 103 の間に 2 個の遮光部 101 が配置されている。また、図 1 の例では、複数の周期要素 103 の中心間隔あるいは周期 P_0 は、複数の遮光部 101 の中心間隔ないし周期 P_m の 4 倍、各周期要素 103 の幅 W_0 は、複数の遮光部 101 の中心間隔ないし周期 P_m の 2 倍である。

【0016】

光照射装置 10 は、光を透過する板部材 104 を更に含み、複数の遮光部 101 および複数の光照射部 102 は、板部材 104 の主面 PS の上に配置されうる。複数の光照射部 102 は、複数の遮光部 101 のうち複数の光照射部 102 が重なるように配置された遮光部 101 と主面 PS との間に配置されうる。主面 PS への正射影（平面視）において、光照射部 102 は、それが重なった遮光部 101 から食み出さないように配置されうる。換言すると、複数の光照射部 102 の各々の幅は、複数の遮光部 101 の各々幅以下でありうる。

40

【0017】

一例において、複数の光照射部 102 は白色の顔料で構成され、複数の遮光部 101 は黒色の顔料で構成されうる。板部材 104 の上に白色の顔料をライン状に塗布することによって複数の光照射部 102 を形成し、また、黒色の顔料をライン状に塗装することによって複数の光照射部 102 を形成することができる。顔料の塗布には、例えば、シルク印刷またはインクジェット印刷など公知の技術を採用することができる。

50

【0018】

あるいは、複数の光照射部102が印刷された板部材104と、複数の遮光部101が印刷された基板とを準備し、板部材104と該基板とを光照射部102と遮光部101とが重なるように重ね合わせることによって光照射装置10が製造されてもよい。あるいは、遮光部101および光照射部102を透明な他の板部材の上に印刷し、当該他の板部材を板部材104の上に配置することによって光照射装置10が製造されてもよい。あるいは、透明な有機ELディスプレイなどにより形成された複数の光照射部102と、複数のライン状の開口部107を設けた金属板などにより形成された複数の遮光部101とを重ね合わせることによって光照射装置10が製造されてもよい。

【0019】

複数の遮光部101および複数の光照射部102は、顔料を用いる方法以外の方法で形成されてもよい。例えば、複数の遮光部101は、アルミニウムまたはクロムなどの金属蒸着膜で形成されうる。また、光照射部102は、例えば、レーザー加工またはプラスト加工などにより、板部材104の主面PSに凹凸構造または梨地構造が加工されたものであってもよい。

【0020】

光照射装置10は、板部材104の端面（側面）に対して光を照射する光源106を更に含まう。一例において、板部材104は、保持枠105によって保持され、保持枠105に光源106が組み込まれうる。光源106は、例えば、発光ダイオード（LED）、レーザダイオード（LD）またはハロゲンランプを含みうる。光源106から射出された光は、板部材104の端面を通して板部材104に内部に入り、板部材104の内部を全反射しながら伝搬する。つまり、板部材104は、導光板として機能する。

【0021】

板部材104の内部を伝搬する光の一部は、板部材104に設けられた複数の光照射部102によって散乱される。板部材104から見て物体11とは反対方向（Z軸のプラス方向）に散乱した光は、遮光部101によって吸収または反射されることにより遮断される。これによって、板部材104から見て物体11とは反対方向に配置される撮像部に光が照射されることが防止される。このような機能を実現するために、各光照射部102の幅（X方向における幅） W_{LI} は、各遮光部101の幅（X方向における幅） W_{LB} 以下であることが好ましく、 W_{LB} 未満であることが更に好ましい。あるいは、各光照射部の幅は、各遮光部の幅の80%以上95%以下であってもよい。

【0022】

複数の光照射部102で散乱されて板部材104から物体11に向けて射出された光が物体11に照射される。これにより、物体11の表面には、複数の光照射部102に配置に応じた光強度分布あるいは像が形成される。

【0023】

光照射部102が顔料で形成される場合、物体11に十分な強度の光を照射するために、光照射部102の厚さは、数ミクロン以上とされうる。一方で、光照射部102の厚さが大きすぎると、光照射部102に重なる遮光部101の位置が板部材104から遠ざかる。したがって、光照射部102の上に配置された遮光部101の高さと、光照射部102がない部分に配置された遮光部101の高さ（主面PSからの距離）との差が大きくなり過ぎる。この場合、撮像部から見える複数の遮光部101の幅が不均一になる。そこで、複数の光照射部102の厚さは、複数の遮光部101の中心間隔 P_m よりも小さいことが好ましい。

【0024】

図2には、本発明の一実施形態の光学評価装置1の構成が示されている。光学評価装置1は、光照射装置10を構成部品（光照射器）として備え、物体11を光学的に評価する。物体11は、例えば、光沢を有する表面を有する。物体11は、例えば、表面が研磨された金属部品または樹脂部品でありうる。物体11の表面またはその近傍には、例えば、傷、色抜け、打痕等のように、多様な欠陥が存在しうる。

10

20

30

40

50

【0025】

光学評価装置1は、物体11の被検査領域の画像を取得し、その画像を処理して得られる処理画像を評価することにより、物体11の表面上の欠陥を検出する。また、光学評価装置1は、欠陥の検出結果に基づいて、例えば、物体11を良品または不良品に分類する。光学評価装置1は、図示されていないが、物体11を所定の位置に搬送する不図示の搬送装置（例えば、コンベアやロボット、スライダ、手動ステージなど）を備える。

【0026】

光学評価装置1は、物体11に光を照射することによって物体11を照明する光照射装置10と、光照射装置10を介して物体11を撮像する撮影部（カメラ）12とを備える。撮影部12は、複数の遮光部101の間の複数の開口部107を介して物体11を撮像する。撮影部12は、例えばCCDイメージセンサまたはCMOSイメージセンサ等のように、複数の画素が2次元状に配置されたイメージセンサ（エリアセンサ）と、物体11の像をイメージセンサの撮像面に形成する光学系とを含みうる。エリアセンサを採用することにより、ラインセンサを採用する場合よりも、物体11の広い範囲について高速に評価を行うことができる。

【0027】

光学評価装置1は、駆動部13を備えている。駆動部13は、光照射装置10（複数の遮光部101および複数の光照射部102）を複数の遮光部101の各々の長さ方向（Y方向）と交差する方向（典型的には、X方向）に移動させる。図2に示された例では、駆動部13は、光照射装置10の全体を移動させるが、複数の遮光部101および複数の光照射部102が可動体に設けられている場合には、駆動部13は、該可動体だけを移動させてもよい。

【0028】

光学評価装置1は、更に、制御部14を備える。制御部14は、例えば、FPGA（Field Programmable Gate Arrayの略。）などのPLD（Programmable Logic Deviceの略。）、又は、ASIC（Application Specific Integrated Circuitの略。）、又は、プログラムが組み込まれた汎用又は専用のコンピュータ、又は、これらの全部または一部の組み合わせによって構成される。制御部14は、例えば、光照射装置10、撮影部12および駆動部13を相互に同期させて動作させる。制御部14は、例えば、光照射装置10が一定の速度で移動するように駆動部13を制御しながら、撮影部12に一定の時間間隔でトリガー信号を送信し、N枚の画像（ $N \geq 3$ ）を撮像させる。ただし、このような構成に限定されるものではなく、例えば、手動で駆動部13を操作して光照射装置10を移動させた後、マニュアルトリガーで撮影部12に撮像を実行させてもよい。

【0029】

光学評価装置1は、更に、画像処理部15およびディスプレイ16を備える。画像処理部15は、撮影部12によって撮像された複数（N枚）の画像に基づいて物体11を評価する。画像処理部15と制御部14は、一体化されてもよい。画像処理部15は、例えば、プログラムが組み込まれた汎用又は専用のコンピュータによって構成される。撮影部12によって撮像された画像は、ケーブル等の不図示の転送路または通信路を介して画像処理部15に転送される。

【0030】

撮影部12が撮像を行う撮像期間（露光期間）は、駆動部13が光照射装置10を移動させている移動期間内に設定される。換言すると、駆動部13が光照射装置10を移動させている状態で撮影部12が撮像を行う。露光期間は、撮影部12が光電変換によって発生した電荷を蓄積する期間、即ち電荷蓄積期間である。このような動作は、複数の遮光部101および複数の周期要素103によって形成される周波数成分のうち複数の周期要素103の周期 P_0 よりも短い周期を有する周波数成分（高次の周波数成分）を低減するために有利である。以下、図3を参照しながら、この理由を説明する。

【0031】

図3 (a) には、光照射装置10が静止した状態において撮像部12によって観察される複数の遮光部101の透過率分布が示されている。横軸がX座標、縦軸が透過率（撮像部12の露光期間における光量（輝度の時間積分値）と等価）を表す。ライン状の複数の遮光部101が中心間隔（周期） P_m で配置されていることから、透過率分布は矩形波状となる。

【0032】

図3 (b) には、光照射装置10が P_m だけ走査されている間に撮像部12が露光を続けた場合に撮像部12によって観察される複数の遮光部101の透過率分布（実線）が示されている。横軸がX座標、縦軸が透過率（撮像部12の露光期間における光量（輝度の時間積分値）と等価）を表す。図3 (b) には、比較のため、図3 (a) の透過率分布が破線で示されている。光照射装置10が P_m だけ走査されている間に撮像部12が露光を続けることで、撮像部12によって観察される複数の遮光部101の透過率分布が平滑化され、上辺が略均一透過率を有する台形状の分布となる。

【0033】

図3 (c) には、光照射装置10が静止した状態において撮像部12によって観察される複数の光照射部102の輝度分布が示されている。横軸がX座標、縦軸が輝度（撮像部12の露光期間における光量（輝度の時間積分値）と等価）を表す。ライン状の複数の光照射部102が周期 P_o を形成するように配置されていることから、輝度分布は、間隔が一定でない矩形波状となる。

【0034】

図3 (d) には、光照射装置10が P_m だけ走査されている間に撮像部12が露光を続けた場合に撮像部12によって観察される複数の光照射部102の輝度分布（実線）が示されている。横軸がX座標、縦軸が輝度（撮像部12の露光期間における光量（輝度の時間積分値）と等価）を表す。図3 (d) には、比較のため、図3 (c) の透過率分布が破線で示されている。光照射装置10が P_m だけ走査されている間に撮像部が露光を続けることで、撮像部12によって観察される複数の光照射部102の輝度分布も平滑化される。ただし、複数の遮光部101の間隔 P_m よりも複数の光照射部102（複数の周期要素103）が形成する周期 P_o が大きい（この例では、 P_o が P_m の4倍）ため、輝度分布は単一の台形ではなく台形波状となる。

【0035】

以上のように、光照射装置10を静止させて撮像部12によって撮像を行った場合、撮像部12によって観察される複数の遮光部101の透過率分布および複数の光照射部102（複数の周期要素103）の輝度分布には周期 P_m の周波数成分が含まれる。一方、光照射装置10を走査させながら撮像部12によって撮像を行った場合、周期 P_m の周波数成分、即ち高次の周波数成分を低減することができる。高次の周波数成分を低減することで、後ほど説明する処理画像における輝度（画素値）の均一性を改善することができる。

【0036】

図3 には、光照射装置10が P_m だけ走査されている間に撮像部12が露光を続けた場合において撮像部12によって観察される複数の遮光部101の透過率分布および複数の光照射部102の輝度分布が示されている。しかし、これは一例に過ぎず、撮像部12の撮像期間（露光期間）中の光照射装置10の移動量を P_m と同じにすることは必須ではない。ただし、撮像期間（露光期間）中の光照射装置10の移動量は、複数の周期要素103の中心間隔 P_o と幅 W_o との差 $P_o - W_o$ （即ち、 $P_o - (n \times P_m)$ ）よりも小さくすることが望ましい。これは、撮像期間中の光照射装置10の移動量が $P_o - W_o$ よりも大きいと、複数の光照射部102（複数の周期要素103）の輝度分布においてコントラストが高い画像（波形）が得られないためである。

【0037】

高次の周波数成分をより低減するためには、撮像部12が撮像（露光）と画像の転送とを並行して実行できる機能（オーバーラップ機能）を有していることが有利である。オーバーラップ機能がある撮像部12であれば、画像の転送に要する時間にも撮像を行うことが

10

20

30

40

50

可能であり、より高い平滑化効果が得られる。

【0038】

複数の周期要素103の各々を構成する光照射部102の個数が2以上である場合、各周期要素103では、それを構成する光照射部102が周期 P_m で配置されていることが望ましい。つまり、各周期要素103は、周期 P_m で連続的に配置された n 個の光照射部102で構成されていることが望ましい。これは、光照射装置10を走査させながら撮像部12の露光を続けた場合に、光照射部102の輝度分布に望ましくない周波数成分（周期 P_o 以外の周波数成分）が生じることを避けるためである。望ましくない周波数成分は、以下で説明する処理画像に悪影響を及ぼす可能性がある。

【0039】

また、複数の周期要素103の幅 W_o （即ち、 $n \times P_m$ ）と周期 P_o との比（ W_o / P_o ）（デューティ比）は、 $1/4$ 以上かつ $3/4$ 以下であることが好ましい。即ち、 $1/4 \leq (n \times P_m) / P_o \leq 3/4$ という条件を満たすことが好ましい。これは、この条件を満たす場合、撮像部12によって観察される複数の光照射部102の輝度分布に生じる望ましくない周波数成分（周期 P_o 以外の周波数成分）が十分に小さいためである。また、同様の観点から、複数の遮光部101のデューティ比（ W_{LB} / P_m ）および光照射部102のデューティ比（ W_{LI} / P_m ）は、40%以下または60%以上であることが好ましい。ただし、デューティ比を大きくすると、遮光部101によって撮像部12の光学系の瞳の一部が遮光されることにより、解像度が低下する可能性がある。それを考慮すると、複数の遮光部101のデューティ比（ W_{LB} / P_m ）および光照射部102のデューティ比（ W_{LI} / P_m ）は、40%以下であることが好ましい。

【0040】

図4には、光学評価装置1によって実行される検査方法の流れが示されている。この検査方法は、制御部14によって制御される。図4は、参照しながら物体11の表面の欠陥の検査する例を説明する。まず、工程S11では、制御部14は、駆動部13に、光照射装置10の走査（移動）を開始させる。工程S12では、制御部14は、駆動部13によって走査されている状態で、光照射装置10を発光させ（物体11に光を照射させ）、撮像部12が撮像を行わせる。これにより、撮像部12によって i 番目の画像 $I_i(x, y)$ が撮像される。この動作は、 $i = 1 \sim N$ まで繰り返され、その結果、合計の N 枚 N 枚（ $N \geq 3$ ）の画像が撮像される。（ x, y ）は、画像における画素の位置（座標値）を示す。

【0041】

工程S14では、制御部14は、駆動部13に光照射装置10の走査を停止させる。工程S15では、画像処理部15に、工程S12の繰り返しのによって得られた N 枚の画像を処理させ、欠陥の検出のために用いる処理画像を生成させる。工程S16では、制御部14は、工程S15で得られた処理画像に基づいて、物体11の表面上の欠陥を検出する。

【0042】

処理画像の一例は、位相が $2\pi \Delta X_i / P_o$ ラジアンでシフトする周波数成分の振幅画像である。ここで、 ΔX_i （ $i = 1, 2, \dots, N$ ）は、 i 番目の画像を撮像する際の、基準位置に対する光照射装置10の位置である。光照射装置10の位置が ΔX_i の場合、複数の周期要素103の位相は、 $2\pi \Delta X_i / P_o$ ラジアンで表される。光照射装置10を走査させながら一定の光量で発光させ、撮像部12で撮像（露光）を行った場合、 ΔX_i は、露光期間中の光照射装置10の平均位置である。 ΔX_i は、既知であれば任意の大きさに設定することができる。ただし、 2π の整数倍だけ互いに異なる位相は同値であることから、 $\Delta X_n \neq \Delta X_m + n P_o$ となるような光照射装置10の位置で撮像が行われうる。

【0043】

光照射装置10の位置が P_o / N の間隔となる条件で、 N 枚の画像を撮像した場合、 ΔX_i は、式（1）で表される（ここでは、1番目の画像を撮像した位置を基準位置とする）。

【0044】

$$\Delta X_i = (P_o / N) \times (i - 1)$$

・・・（1）

この場合、振幅画像 $A(x, y)$ は、式 (2) により算出できる。

【0045】

【数2】

$$A(x, y) = \sqrt{I_{sin}^2(x, y) + I_{cos}^2(x, y)}$$

$$I_{sin}(x, y) = \sum_{n=0}^{N-1} I_{n+1}(x, y) \sin\left(\frac{2\pi n}{N}\right)$$

$$I_{cos}(x, y) = \sum_{n=0}^{N-1} I_{n+1}(x, y) \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right)$$

10

・・・ (2)

【0046】

光照射装置 10 を移動させると、光沢を有する物体 11 の表面上に写り込んだ複数の光照射部 102 の像が移動することにより、撮像部 12 の各画素では、入射光の輝度に変化する。物体 11 の表面のうち正常な光沢を有する部分では、光照射装置 10 の移動により輝度が大きく変化するため、輝度の振幅の値は大きくなる。一方、傷および表面荒れなど、散乱性の欠陥がある部分では、鏡面反射光以外にも散乱光が発生する。物体 11 の表面で光が散乱されると、表面上に写り込んだ複数の光照射部 102 の像がぼやけるため、強度の明暗の差が小さくなり、振幅の値も小さくなる。例えば、完全拡散面では光の散乱角度分布は入射光の角度に依存しなくなるため、複数の光照射部 102 で台形波状のパターンを物体 11 に投影しても、光照射装置 10 の位置によらず輝度は常に一定となり、振幅はゼロとなる。このため、振幅画像では正常部は明るく、欠陥部は暗く可視化される。したがって、振幅画像では表面性状として散乱性の度合いを評価することができ、傷および表面荒れなど、散乱性の欠陥の情報を得ることができる。

20

30

【0047】

処理画像の別の例は位相画像である。位相画像 $\theta(x, y)$ は、式 (3) により算出できる。

【0048】

【数3】

$$\theta(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{I_{sin}(x, y)}{I_{cos}(x, y)} \right)$$

40

・・・ (3)

【0049】

式 (3) では、位相は $-\pi \sim \pi$ の値で算出されるため、それ以上に位相が変化する場合は、位相画像では非連続な位相の飛びが発生する。このような場合には、位相接続（位相アンラップ）が必要となる。

【0050】

50

位相画像では、表面性状として物体 1 1 の表面の傾きを評価することができる。したがって、位相画像では、打痕、面倒れ、表面の凹みのような緩やかな形状変化に起因する欠陥の情報を得ることができる。

【 0 0 5 1 】

位相接続（位相アンラップ）には、種々のアルゴリズムが提案されているが、画像のノイズが大きい場合には、位相接続に失敗する場合がある。位相接続を回避するための手法として、位相の代わりに位相差（位相の微分に相当）を算出してもよい。位相差 $\Delta \theta_x(x, y)$ 及び $\Delta \theta_y(x, y)$ は、式（４）により算出できる。

【 0 0 5 2 】

【数 4】

$$\begin{aligned} \Delta \theta_x(x, y) &= \tan^{-1} \left(\frac{I_{\cos}(x, y) I_{\cos}(x-1, y) + I_{\sin}(x, y) I_{\sin}(x-1, y)}{I_{\sin}(x, y) I_{\cos}(x-1, y) - I_{\cos}(x, y) I_{\sin}(x-1, y)} \right) \\ \Delta \theta_y(x, y) &= \tan^{-1} \left(\frac{I_{\cos}(x, y) I_{\cos}(x, y-1) + I_{\sin}(x, y) I_{\sin}(x, y-1)}{I_{\sin}(x, y) I_{\cos}(x, y-1) - I_{\cos}(x, y) I_{\sin}(x, y-1)} \right) \end{aligned}$$

・・・（４）

【 0 0 5 3 】

更なる処理画像の例は、平均画像である。平均画像 $I_{ave}(x, y)$ は、式（５）により算出できる。

【 0 0 5 4 】

【数 5】

$$I_{ave}(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N I_n(x, y)$$

・・・（５）

【 0 0 5 5 】

平均画像では、表面性状として反射率の分布を評価できる。したがって、平均画像では、色抜け、汚れ、吸収性の異物など、正常な部分に対して反射率に違いがある欠陥の情報を得ることができる。

【 0 0 5 6 】

以上のように、処理画像によって、光学的に評価可能な表面性状が異なる。したがって、各処理画像で可視化される欠陥も異なるため、これらの処理画像を組み合わせることによって、多様な欠陥を画像上に可視化することができる。

【 0 0 5 7 】

ところで、図 3（b）、（d）では、光照射装置 1 0 を走査しながら撮像部 1 2 が露光を続けた場合に撮像部 1 2 によって観察される複数の遮光部 1 0 1 の透過率分布、複数の光照射部 1 0 2 の輝度分布が示された。しかし、複数の遮光部 1 0 1 の位置と複数の光照射部 1 0 2 の位置とは互いに独立してはいない。よって、光照射装置 1 0 を走査させながら

露光した場合の画像は、厳密には図 3 (b) の複数の光照射部 102 の透過率分布と図 3 (d) の複数の光照射部 102 の輝度分布との積とはならない。結果として、画像には高次の周波数成分が含まれ、物体 11 の正常な領域でも、平均画像、振幅画像、位相画像に周期的な強度の不均一性が生じうる。これらの画像の強度（画素値）に不均一性が存在すると、物体 11 の表面上の欠陥の検出精度を低下させる可能性がある。

【0058】

図 5 には、複数の周期要素 103 の中心間隔 P_o と複数の遮光部 101 の中心間隔 P_m との比 (P_o/P_m) に対して、画像上に生じる強度（画素値）の不均一性を計算した結果を示す。両対数プロットにおいて、 P_o/P_m が大きくなると、強度の不均一性が直線的に低下することが分かる。したがって、すべての遮光部 101 に対して光照射部 102 が設けられた場合 ($P_o = P_m$) では、画像上に大きな強度の不均一が発生すること分かる。また、画像の均一性を向上させるためにはできるだけ P_o/P_m を大きくした方がよいことが分かる。このため、複数の周期要素 103 の中心間隔 P_o は、複数の遮光部 101 の中心間隔 P_m の 2 倍以上、できれば 8 倍以上とすることが好ましい。

【0059】

一方で、複数の遮光部 101 の中心間隔 P_m を小さくし過ぎると、光の回折作用によって像がぼやけ、解像力の低下を招く。光照射装置 10 によって照射される光の波長を λ としたとき、遮光部 101 による 1 次回折光の角度 θ は、式 (6) で表される。

【0060】

【数 6】

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{\lambda}{P_m} \right)$$

・・・ (6)

【0061】

複数の遮光部 101 が配置された面と物体 11 の表面との間の距離を D とすると、1 次回折光によって物体 11 の表面上で $2D \tan \theta$ のボケが発生する。許容されるボケの量を B としたとき、複数の遮光部 101 の中心間隔 P_m は、 $(2D\lambda/B)$ よりも大きくすることすることが必要である。

【0062】

一方で、 P_o/P_m が大きく、 P_m の値も大きいと、複数の周期要素 103 の中心間隔 P_o も大きな値となる。この場合、駆動部 13 によって光照射装置 10 を移動させる距離が大きくなるので、光学評価装置 1 の大型化を招きうる。また、複数の周期要素 103 の中心間隔 P_o が大きいと、振幅画像において散乱の程度が低い（指向性が高い）散乱性の欠陥を位相画像において検出しづらくなる。 P_o/P_m を過度に大きくしても画像の強度の不均一性はノイズなどに埋もれて改善しないことから、複数の周期要素 103 の中心間隔 P_o は、複数の遮光部 101 の中心間隔 P_m の 2.56 倍以下とすることが好ましい。

【実施例 1】

【0063】

実施例 1 の光学評価装置 1 では、複数の遮光部 101 の中心間隔 P_m が 0.5 mm、複数の周期要素 103 の中心間隔 P_o が 8 mm、各周期要素 103 の幅 W_o が 4 mm である。したがって、 P_m/W_o は 16、周期要素 103 のデューティ比 (W_o/P_o) は 5.0 % である。また、遮光部 101 の幅 W_{LB} は 0.2 mm（デューティ比 (W_{LB}/P_m) は 40 %）、光照射部 102 の幅 W_{LI} は 0.1 mm（デューティ比 (W_{LI}/P_m) は 20 %）である。

【0064】

光学評価装置1は、複数の周期要素103の位相が互いに異なる位置で16枚の画像を撮像する。駆動部13は、10mm/秒の速度で光照射装置10を走査し、撮像部12は、50msの露光期間および撮像間隔で撮像を行う。この条件では、各画像の露光期間における光照射装置10の移動量は、0.5mmである。また、駆動部13による光照射装置10の加減速に要する時間などを除き、16枚の画像の撮像のための動作は0.8秒で完了する。

【実施例2】

【0065】

実施例2の光学評価装置では、複数の遮光部101の中心間隔 P_m が1mm、複数の周期要素103の中心間隔 P_o が12mm、各周期要素103の幅 W_o は6mmである。したがって、 P_m/W_o は12、周期要素103のデューティ比(W_o/P_o)は50%である。また、遮光部101の幅 W_{LB} は0.3mm(デューティ比(W_{LB}/P_m)は30%)、光照射部102の幅 W_{LI} は0.2mm(デューティ比(W_{LI}/P_m)は20%)である。

【0066】

光学評価装置1は、複数の周期要素103の位相が互いに異なる位置で9枚の画像を撮像する。駆動部13は、22.2mm/秒の速度で光照射装置10を走査し、撮像部12は、60msの露光期間および撮像間隔で画像を行う。この条件では、角井画像の露光期間における光照射装置10の移動量は、1.33mmである。また、駆動部13による光照射装置10の加減速に要する時間などを除き、9枚の画像の撮像のための動作は0.54秒で完了する。

【0067】

本実施形態の光照射装置10は、撮像部12は、光照射装置10の複数の開口部107を介して物体11を撮像することができる。したがって、光照射装置10と撮像部12とを同軸上に配置すること、換言すると、物体11と撮像部12との間に光照射装置10を配置することができる。このため、光照射装置10を物体11の近傍に配置することができ、小型の光照射装置10を使う場合においても、物体11の表面の広い範囲から撮像部12への正反射光が得られる。したがって、本実施形態の光照射装置10を用いた光学評価装置1によれば、物体11の表面の広い範囲を一括で光学的に評価することができる。特に、物体の表面が曲面である場合には、非透過型の光照射装置においては、物体から光照射装置が遠いと、物体の広い範囲から撮像部への正反射光を得るためには光照射装置が巨大になる。したがって、本実施形態による光照射装置10は、物体の表面が曲面である場合に特に有効である。また、本実施形態の光照射装置10によれば、複数の周期要素103の中心間隔 P_o を遮光部101の中心間隔 P_m の2倍以上とすることで、物体11の表面の評価に悪影響を及ぼす画像上の強度の不均一性を低減することができる。

【0068】

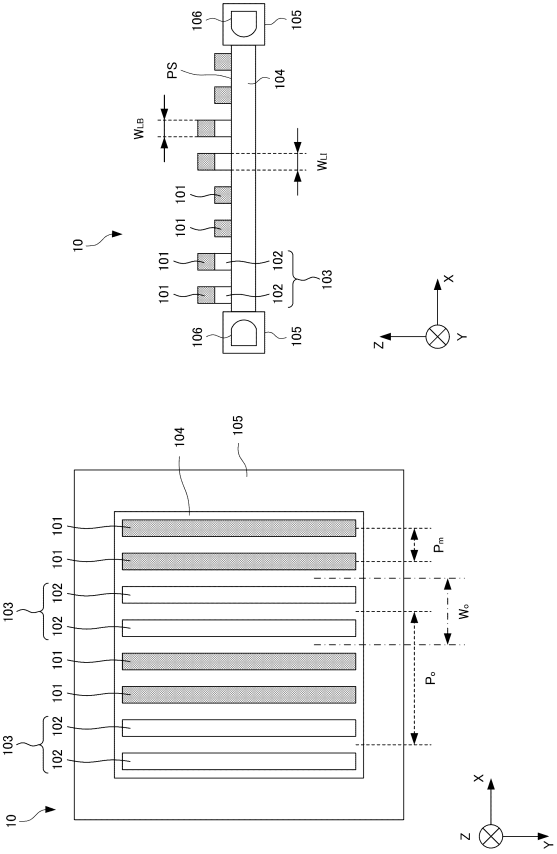
また、本実施形態の光照射装置10を用いた光学評価装置1は、物品製造方法(加工方法)の一工程として行う光学評価(光学検査)に用いることができる。例えば、加工されたワーク(被加工物)の表面を本実施形態の光学評価装置1を用いて光学的に評価し、その評価結果が閾値よりも良い結果であれば次の工程(を行う装置)に搬送し、閾値以下の悪い結果であれば再加工程(を行う装置)に搬送しても良い。つまり、本実施形態の光学評価装置1は、光学評価結果に応じて互いに異なる処理(次工程装置への搬送、再加工程装置への搬送)を行う物品の製造方法に適用可能である。そして、本実施形態の光学評価装置1を用いれば、製造装置(加工装置)内部に大きな空間を必要とすることなく、光学評価工程を組み入れる(光学評価装置を組み込む)ことが可能となる。

【符号の説明】

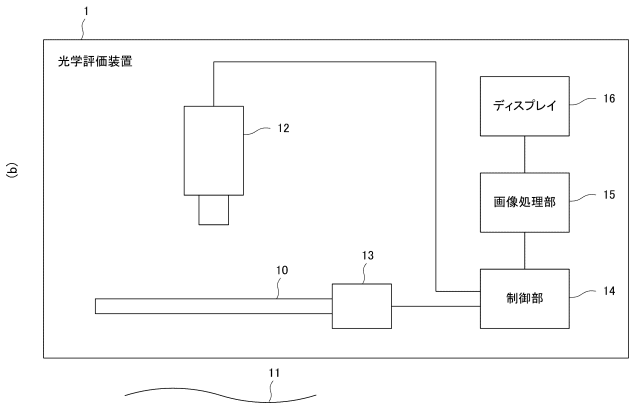
【0069】

1：光学評価装置、10：光照射装置、101：遮光部、102：光照射部、103：周期要素、11：物体、12：撮影部、13：駆動部、14：制御部、15：画像処理部

【図面】
【図 1】



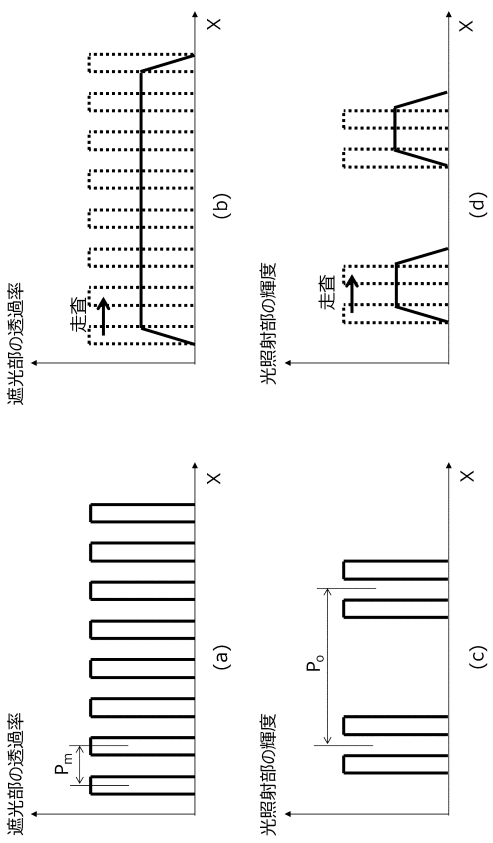
【図 2】



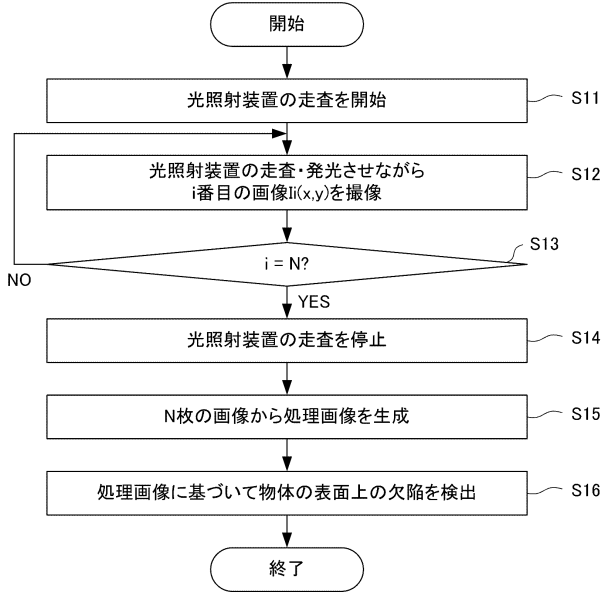
10

20

【図 3】



【図 4】

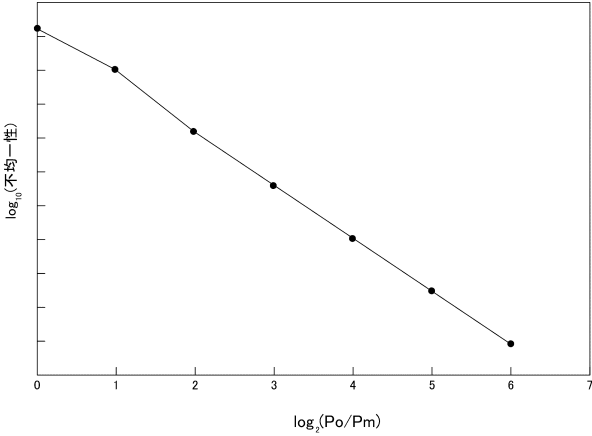


30

40

50

【図 5】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2003-098093 (JP, A)
 特開 2014-002125 (JP, A)
 特開 2002-109513 (JP, A)
 特開 2002-258763 (JP, A)
 特開 2014-059164 (JP, A)
 欧州特許出願公開第 2272417 (EP, A1)
 FORTE, Paulo M.F. 外 6 名, “ Exploring combined dark and bright field illumination to improve the detection of defects on specular surfaces ”, OPTICS AND LASERS IN ENGINEERING, 2016年08月26日, Volume 88, Pages 120-128, 〈URL: <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2016.08.002>〉
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
 G01N 21/84 - G01N 21/958
 G01B 11/00 - G01B 11/30