

(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2018-9856

(P2018-9856A)

(43) 公開日 平成30年1月18日(2018.1.18)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)		
<b>GO 1 M</b>	<b>11/02</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>GO 1 M</b>	<b>11/02</b>	<b>B</b>	<b>2 F 0 6 4</b>
<b>GO 1 B</b>	<b>9/02</b>	<b>(2006.01)</b>	<b>GO 1 B</b>	<b>9/02</b>		<b>2 G 0 8 6</b>

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2016-138207 (P2016-138207)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成28年7月13日 (2016.7.13)		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	100110412
			弁理士 藤元 亮輔
		(74) 代理人	100104628
			弁理士 水本 敦也
		(74) 代理人	100121614
			弁理士 平山 倫也
		(72) 発明者	鎌田 美智子
			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
		(72) 発明者	加藤 正磨
			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

最終頁に続く

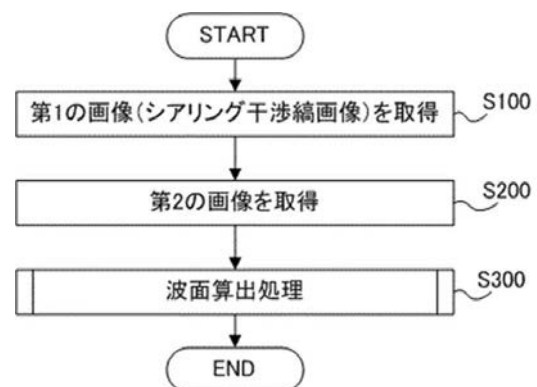
(54) 【発明の名称】 波面計測方法、波面計測装置、プログラムおよび記録媒体

## (57) 【要約】

【課題】回折格子を用いるシアリング干渉計測において、高精度に傾斜成分を補正した波面を取得可能な波面計測方法、波面計測装置、プログラムおよび記録媒体を提供すること。

【解決手段】被検光の波面をシアリング干渉によって計測する波面計測方法であって、回折格子パターンを透過し、検出面で検出された光に基づいて、第1の画像を取得する第1取得ステップと、回折格子パターンおよび回折格子パターンとは異なる光学パターンを透過し、検出面で検出された光に基づいて、第2の画像を取得する第2取得ステップと、第1および第2の画像、ならびに回折格子パターン、光学パターン、および検出面の位置関係に関する情報に基づいて、被検光の波面の傾斜成分を補正した波面を算出する算出ステップと、を有する。

【選択図】図3



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

被検光の波面をシアリング干渉によって計測する波面計測方法であって、

回折格子パターンを透過し、検出面で検出された光に基づいて、第 1 の画像を取得する第 1 取得ステップと、

前記回折格子パターンおよび前記回折格子パターンとは異なる光学パターンを透過し、前記検出面で検出された光に基づいて、第 2 の画像を取得する第 2 取得ステップと、

前記第 1 および第 2 の画像、ならびに前記回折格子パターン、前記光学パターン、および前記検出面の位置関係に関する情報に基づいて、前記被検光の波面の傾斜成分を補正した波面を算出する算出ステップと、を有することを特徴とする波面計測方法。

10

**【請求項 2】**

前記算出ステップは、

前記第 1 の画像に基づいて、前記検出面で検出された光の波面の勾配または波面を算出するステップと、

前記第 2 の画像に基づいて、前記光学パターンの基準位置が前記検出面に投影された投影位置を算出するステップと、

前記投影位置、ならびに前記回折格子パターン、前記光学パターン、および前記検出面の位置関係に関する情報に基づいて算出される前記投影位置を通る光の傾きに対応する第 1 の傾きを算出するステップと、

前記検出面で検出された光の波面の勾配または波面に基づいて算出される前記投影位置を通る光の傾きに対応する第 2 の傾きを算出するステップと、

20

前記第 1 および第 2 の傾きに基づいて、前記被検光の波面の傾斜成分を補正した波面を算出するステップと、を有することを特徴とする請求項 1 に記載の波面計測方法。

**【請求項 3】**

前記第 1 の傾きは、前記投影位置、ならびに前記回折格子パターン、前記光学パターン、および前記検出面の位置関係に関する情報に基づいて算出された前記投影位置を通る光の傾きのうち、前記回折格子パターンの格子周期の整数倍の格子像シフトに対応する傾きであり、

前記第 2 の傾きは、前記検出面で検出された光の波面の勾配または波面に基づいて算出された前記投影位置を通る光の傾きのうち、前記格子周期の整数倍の格子像シフトに対応する傾きであることを特徴とする請求項 2 に記載の波面計測方法。

30

**【請求項 4】**

前記算出ステップは、

前記被検光の波面、および前記投影位置にそれぞれ、第 1 波面、および第 1 の投影位置を設定するステップと、

前記第 1 波面を用いて、前記光学パターンが前記被検光の光路内に位置する状態で、前記検出面に形成される光学像に基づいて第 3 の画像を算出するステップと、

前記第 3 の画像に基づいて、前記光学パターンの基準位置が前記検出面に投影された第 2 の投影位置を算出するステップと、

前記第 1 および第 2 の投影位置の差分が所定値より大きい場合、前記第 2 の投影位置を用いて前記第 1 波面の傾斜成分を補正した第 2 波面を算出するとともに、前記第 2 波面、および前記第 2 の投影位置をそれぞれ、前記第 1 波面、および前記第 1 の投影位置として設定するステップと、を有することを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の波面計測方法。

40

**【請求項 5】**

前記第 1 の画像は、シアリング干渉縞画像であることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の波面計測方法。

**【請求項 6】**

前記光学パターンは、前記第 1 の画像が取得される場合、前記被検光の光路外に位置し、前記第 2 の画像が取得される場合、前記被検光の光路内に位置することを特徴とする請

50

求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の波面計測方法。

【請求項 7】

被検光の波面をシアリング干渉によって計測する波面計測装置であって、  
回折格子パターンが形成され、前記被検光の光路内に位置する回折格子と、  
前記回折格子パターンとは異なる光学パターンが形成され、前記光路外に位置する第 1  
の状態と前記光路内に位置する第 2 の状態の間を移動する基板と、  
前記回折格子から所定の距離だけ離れて位置し、前記基板が前記第 1 の状態である場合  
に前記回折格子パターンを透過した光に基づいて第 1 の画像を取得し、前記基板が前記第  
2 の状態である場合に前記回折格子パターンおよび前記光学パターンを透過した光に基づ  
いて第 2 の画像を取得する検出手段と、

10

前記第 1 および第 2 の画像、ならびに前記回折格子、前記基板、および前記検出手段の  
位置関係に関する情報に基づいて、前記被検光の波面の傾斜成分を補正した波面を算出す  
る制御手段と、を有することを特徴とする波面計測装置。

【請求項 8】

被検光の波面をシアリング干渉によって計測する波面計測装置であって、  
前記被検光の光路内に位置する回折格子パターンが形成された領域と、前記回折格子パ  
ターンとは異なる光学パターンが形成された領域を備え、前記光学パターンが前記光路外  
に位置する第 1 の状態と、前記光学パターンが前記光路内に位置する第 2 の状態の間を移  
動する基板と、

20

前記基板から所定の距離だけ離れて位置し、前記基板が前記第 1 の状態である場合に前  
記回折格子パターンを透過した光に基づいて第 1 の画像を取得し、前記基板が前記第 2 の  
状態である場合に前記回折格子パターンおよび前記光学パターンを透過した光に基づいて  
第 2 の画像を取得する検出手段と、

前記第 1 および第 2 の画像、ならびに前記基板および前記検出手段の位置関係に関する  
情報に基づいて、前記被検光の波面の傾斜成分を補正した波面を算出する制御手段と、を  
有することを特徴とする波面計測装置。

【請求項 9】

コンピュータに、請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の方法の各ステップを実行させ  
るプログラム。

【請求項 10】

30

請求項 9 に記載のプログラムを記録したコンピュータが読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波面計測方法、波面計測装置、プログラムおよび記録媒体に関する。

【背景技術】

【0002】

回折格子を用いるシアリング干渉計は、大収差の波面を計測可能な干渉計として利用さ  
れている。特許文献 1 には、回折格子を用いるシアリング干渉計として、ツールボット干  
渉計の例が開示されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特許 4 3 2 3 9 5 5 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

回折格子を用いるシアリング干渉計では、撮像素子に形成された回折格子の像から波面  
の勾配の分布を求め、求められた勾配の分布から波面を決定する。以後、平行に配置され

50

た回折格子と撮像素子で構成されるユニットをセンサという。センサに入射する波面がセンサに対して全体的に傾いている場合、撮像素子に形成された回折格子の像は、波面の傾きの方向と量に応じて撮像素子面内で全体的にシフトする。以後、センサに入射する波面のうちセンサに対して全体的に傾いている成分を、波面の傾斜成分という。例えば、平面波がセンサに入射する場合、平面波の撮像素子面における位相分布を平面でフィットした成分を、波面の傾斜成分とする。しかしながら、特許文献１のように回折格子を用いるシアリング干渉計では、回折格子パターンの格子周期の整数倍の像シフトを識別できないため、高精度に傾斜成分を補正した波面を取得することができない。

【０００５】

このような課題に鑑みて、本発明は、回折格子を用いるシアリング干渉計測において、高精度に傾斜成分を補正した波面を取得可能な波面計測方法、波面計測装置、プログラムおよび記録媒体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】

本発明の一側面としての波面計測方法は、被検光の波面をシアリング干渉によって計測する波面計測方法であって、回折格子パターンを透過し、検出面で検出された光に基づいて、第１の画像を取得する第１取得ステップと、前記回折格子パターンおよび前記回折格子パターンとは異なる光学パターンを透過し、前記検出面で検出された光に基づいて、第２の画像を取得する第２取得ステップと、前記第１および第２の画像、ならびに前記回折格子パターン、前記光学パターン、および前記検出面の位置関係に関する情報に基づいて、前記被検光の波面の傾斜成分を補正した波面を算出する算出ステップと、を有することを特徴とする。

【０００７】

また、本発明の一側面としての波面計測装置は、被検光の波面をシアリング干渉によって計測する波面計測装置であって、回折格子パターンが形成され、前記被検光の光路内に位置する回折格子と、前記回折格子パターンとは異なる光学パターンが形成され、前記光路外に位置する第１の状態と前記光路内に位置する第２の状態の間を移動する基板と、前記回折格子から所定の距離だけ離れて位置し、前記基板が前記第１の状態である場合に前記回折格子パターンを透過した光に基づいて第１の画像を取得し、前記基板が前記第２の状態である場合に前記回折格子パターンおよび前記光学パターンを透過した光に基づいて第２の画像を取得する検出手段と、前記第１および第２の画像、ならびに前記回折格子、前記基板、および前記検出手段の位置関係に関する情報に基づいて、前記被検光の波面の傾斜成分を補正した波面を算出する制御手段と、を有することを特徴とする。

【０００８】

また、本発明の一側面としての波面計測装置は、被検光の波面をシアリング干渉によって計測する波面計測装置であって、前記被検光の光路内に位置する回折格子パターンが形成された領域と、前記回折格子パターンとは異なる光学パターンが形成された領域を備え、前記光学パターンが前記光路外に位置する第１の状態と、前記光学パターンが前記光路内に位置する第２の状態の間を移動する基板と、前記基板から所定の距離だけ離れて位置し、前記基板が前記第１の状態である場合に前記回折格子パターンを透過した光に基づいて第１の画像を取得し、前記基板が前記第２の状態である場合に前記回折格子パターンおよび前記光学パターンを透過した光に基づいて第２の画像を取得する検出手段と、前記第１および第２の画像、ならびに前記基板および前記検出手段の位置関係に関する情報に基づいて、前記被検光の波面の傾斜成分を補正した波面を算出する制御手段と、を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【０００９】

本発明によれば、本発明は、回折格子を用いるシアリング干渉計測において、高精度に傾斜成分を補正した波面を取得可能な波面計測方法、波面計測装置、プログラムおよび記録媒体を提供することができる。

10

20

30

40

50

## 【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 0 】

【図 1】波面計測装置の構成図である（実施例 1、2）。

【図 2】遮光マスクの例を示す図である。

【図 3】波面計測方法を示すフローチャートである（実施例 1）。

【図 4】第 2 の画像の例を示す図である。

【図 5】波面算出処理を示すフローチャートである（実施例 1）。

【図 6】投影位置の算出方法を示すフローチャートである（実施例 1）。

【図 7】ローパスフィルター処理後の第 2 の画像の例を示す図である。

【図 8】第 2 の画像取得時の投影位置を通る光線の傾きを示す図である。

【図 9】遮光マスクの別の例を示す図である。

【図 10】第 2 の画像の別の例を示す図である。

【図 11】別の光学パターンを有する基板の例を示す図である。

【図 12】第 2 の画像の別の例を示す図である。

【図 13】波面計測方法を示すフローチャートである（実施例 2）。

【図 14】波面計測装置の構成図である（実施例 3）。

【図 15】基板の例を示す図である（実施例 3）。

## 【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 1 】

以下、本発明の実施例について、図面を参照しながら詳細に説明する。各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

## 【実施例 1】

【 0 0 1 2 】

図 1 を参照して、本実施例の波面計測装置 30 の構成について説明する。図 1 ( a ) は、本実施例の波面計測装置 30 の構成図である。波面計測装置 30 は、光源 31、光学部材 34、ステージ（保持駆動機構）36、回折格子 15、CCD（検出手段）16、およびコンピュータ（演算部）17を備える。

【 0 0 1 3 】

光源 31 は、本実施例では、波長が  $0.6328\mu\text{m}$  の HeNe レーザである。光学部材 34 は、ピンホール 32 およびコリメートレンズ 33 を備え、光源 31 から射出された光から所望の広がりや曲率を有する基準波面 11 を生成する。基準波面 11 は、被検物 12 を透過した後、被検物の波面 13 となる。被検物 12 は、光学的なシステムや素子、具体的には望遠鏡の光学系や単レンズなどである。ステージ 36 は、回折格子 15 上に形成された回折格子パターンとは異なる光学パターンが形成された遮光マスク（基板）14 を、被検物の光路内外に移動可能に保持する。遮光マスク 14 は、図 2 に示されるように、被検物を遮蔽する遮光部 50A および被検物を透過させる透過部 51A を備える。なお、本実施例では、ステージ 36 は波面 13 が回折格子 15 に到達するまでの光路内に配置されているが、回折格子 15 と CCD 16 の間に配置されてもよい。回折格子 15 は、例えば、ロンキー格子やグリッド・パターンであり、被検物の光路内に配置される。回折格子 15 を通過した光は、CCD 16 上に光学像として形成される。CCD 16 は、光学像を光電変換し、電子データである画像を取得する。CCD 16 は、遮光マスク 14 が被検物の光路外に位置する第 1 の状態である場合、回折格子 15 の回折格子パターンを透過した光に基づいて第 1 の画像を取得する。また、CCD 16 は、遮光マスク 14 が被検物の光路内に位置する場合、遮光マスク 14 の光学パターンおよび回折格子 15 の回折格子パターンを透過した光に基づいて、第 2 の画像を取得する。CCD 16 は、取得した画像をコンピュータ 17 に出力する。コンピュータ 17 は、プロセッサ（制御手段）18 およびディスプレイ 19 を備える。プロセッサ 18 は、ケーブル 37 を介してステージ 36 に接続され、遮光マスク 14 を被検物の光路内外に移動させるためにステージ 36 を制御する。また、プロセッサ 18 は、CCD 16 から取得した画像に基づいて、被検物の波面の傾斜成分および傾きを補正した波面を算出する。ディスプレイ 19 は、プロセッサ 18 により

算出された波面の画像や、波面を表す数値、例えば波面データのRMS (Root mean square) 値を表示する。

【0014】

波面計測装置30は、回折格子を用いたシアリング干渉計測として、トールボット干渉計測を行う。回折格子15およびCCD16は、トールボット条件を満たすように配置される。トールボット条件とは、波面13が略平面波である場合、回折格子15の回折格子パターンの格子周期を $d$ 、波面13の波長を $\lambda$ とする場合、光軸OAに平行な方向における回折格子15とCCD16間の間隔(距離)を $d^2/\lambda$ の整数倍とする条件である。回折格子15およびCCD16は、回折格子15とCCD16間の間隔がトールボット条件の約 $\pm 20\%$ 以内となるように配置することが好ましい。

10

【0015】

次に、図3のフローチャートを参照して、本実施例の波面計測方法について説明する。図3は、本実施例の波面計測方法のフローチャートである。本実施例の波面計測方法は、プロセッサ18により、コンピュータを波面計測装置として機能させるためのプログラムにしたがって実行される。なお、プログラムは、例えば、コンピュータに読み取り可能な記録媒体に記録してもよい。

【0016】

ステップS100では、プロセッサ18は、ステージ36を介して遮光マスク14を被検光の光路外に退避させた状態(第1の状態)で、CCD16に第1の画像(シアリング干渉縞画像、トールボット干渉縞画像)を取得させる。

20

【0017】

ステップS200では、プロセッサ18は、ステージ36を介して遮光マスク14を被検光の光路内に配置させた状態(第2の状態)で、CCD16に第2の画像を取得させる。本実施例では、CCD16は、図4に示される画像を第2の画像として取得する。

【0018】

ステップS300では、プロセッサ18は、第1および第2の画像、ならびに遮光マスク14、回折格子15およびCCD16の位置関係に関する情報に基づいて、波面13の傾斜成分を補正した波面を算出する波面算出処理を行う。

【0019】

次に、図5のフローチャートを参照して、本実施例の波面算出処理について説明する。図5は、本実施例の波面算出処理を示すフローチャートである。

30

【0020】

ステップS1001では、プロセッサ18は、第1の画像に基づいて、CCD16の検出面で検出された光の波面の勾配または波面を算出する。波面の勾配は、例えば、画像をフーリエ変換して周波数スペクトルを取得し、周波数スペクトルから一部の領域を抽出して逆フーリエ変換することで算出することができる。周波数スペクトルから抽出する領域は、回折格子15の回折格子パターンの格子周期 $d$ 、波面13の波長 $\lambda$ 、計測したい空間周波数、またはその他の要因によって決定される。また、波面は、勾配を所定の関数系の導関数でフィッティングを行った結果から算出することができる。

【0021】

40

ステップS1002では、プロセッサ18は、第2の画像に基づいて、遮光マスク14上の図2に示される基準位置( $x_{org}$ ,  $y_{org}$ )がCCD16に投影された投影位置( $x_0$ ,  $y_0$ )を算出する。

【0022】

ここで、図6のフローチャートを参照して、投影位置( $x_0$ ,  $y_0$ )の算出方法について説明する。図6は、本実施例の投影位置( $x_0$ ,  $y_0$ )の算出方法を示すフローチャートである。

【0023】

ステップS1002Aでは、プロセッサ18は、第2の画像に対して回折格子15の空間周波数以上の高周波成分を除去するローパスフィルタを適用する。図7は、ローパス

50

フィルタ処理後の第 2 の画像を示す図である。

【 0 0 2 4 】

ステップ S 1 0 0 2 B では、プロセッサ 1 8 は、投影位置 (  $x_0$  ,  $y_0$  ) を算出する。本実施例では、プロセッサ 1 8 は、まず、図 7 のローパスフィルタ処理後の画像を検査対象画像とし、遮光マスク 1 4 の光学パターンを参照画像として、検査対象画像に対して参照画像を移動させながら両者が最も一致する位置を探索 ( 画像マッチング ) する。そして、プロセッサ 1 8 は、参照画像の移動量を取得することで投影位置 (  $x_0$  ,  $y_0$  ) を算出する。

【 0 0 2 5 】

なお、ステップ S 1 0 0 2 A 後の画像に対して、二値化する処理やエッジを検出する処理を行ってもよい。また、ステップ S 1 0 0 2 B において、参照画像として光学パターンにローパスフィルタを適用した画像や、エッジ検出を行った画像を用いてもよい。

【 0 0 2 6 】

ステップ S 1 0 0 3 では、プロセッサ 1 8 は、投影位置 (  $x_0$  ,  $y_0$  ) 、ならびに遮光マスク 1 4 、回折格子 1 5 、および C C D 1 6 の位置関係に関する情報に基づいて、投影位置 (  $x_0$  ,  $y_0$  ) に入射する光の傾き A に対応する第 1 の傾き B を算出する。第 1 の傾き B は、傾き A のうち格子周期 d の整数倍の像シフトに相当する傾き成分である。傾き A , B はそれぞれ、例えば、2 成分 (  $A_x$  ,  $A_y$  ) 、 (  $B_x$  ,  $B_y$  ) を有する。以下の説明では、説明を簡単にするため、遮光マスク 1 4 および回折格子 1 5 の厚みは考慮しない。

【 0 0 2 7 】

傾き A は、図 8 に示されるように、遮光マスク 1 4 、と C C D 1 6 間の間隔  $L_{MC}$  、および投影位置 (  $x_0$  ,  $y_0$  ) と位置 (  $x'_{org}$  ,  $y'_{org}$  ) 間の距離に基づいて算出される。位置 (  $x'_{org}$  ,  $y'_{org}$  ) は、C C D 1 6 に対して垂直に平面波が入射した場合に基準位置 (  $x_{org}$  ,  $y_{org}$  ) が C C D 1 6 に投影される位置である。傾き A の x 方向の傾き  $A_x$  および y 方向の傾き  $A_y$  はそれぞれ、以下の式 ( 1 ) 、 ( 2 ) で表される。

【 0 0 2 8 】

【 数 1 】

$$A_x = \tan^{-1} \left( \frac{x_0 - x'_{org}}{L_{MC}} \right) \quad (1)$$

$$A_y = \tan^{-1} \left( \frac{y_0 - y'_{org}}{L_{MC}} \right) \quad (2)$$

【 0 0 2 9 】

回折格子 1 5 と C C D 1 6 間の間隔を  $L_{GC}$  とすると、回折格子 1 5 の像シフト量、および第 1 の傾き B の x 方向の成分  $B_x$  はそれぞれ、以下の式 ( 3 ) 、 ( 4 ) で表される。式 ( 4 ) の  $\text{floor} ( \quad , d )$  は、絶対値が像シフト量の絶対値 | | 以下となる格子周期 d の倍数のうち像シフト量に最も近い値を示す。

【 0 0 3 0 】

【 数 2 】

$$\alpha = \frac{L_{GC} \cdot (X_0 - X'_{org})}{L_{MC}} \quad (3)$$

$$B_x = \tan^{-1} \left( \frac{\text{floor}(\alpha, d)}{L_{GC}} \right) \quad (4)$$

10

20

30

40

50

## 【0031】

第1の傾きBのx方向の成分 $B_x$ として格子周期dの倍数が算出されればよいので、像シフト量の算出精度は $\pm d/3$ でよい。例えば、次の(ア)～(オ)の場合について考えると、 $\pm 20\mu\text{m}$ の精度で投影位置 $x_0$ を算出できれば、像シフト量の算出精度は約 $\pm 20\mu\text{m}$ 、すなわち約 $\pm d/3$ となる。

(ア) 格子周期 $d = 60\mu\text{m}$

(イ) 回折格子15とCCD16間の間隔 $L_{GC} = 5689 \pm 10\mu\text{m}$

(ウ) 遮光マスク14とCCD16間の間隔 $L_{MC} = 7689 \pm 10\mu\text{m}$

(エ) 波面が傾いていない場合の位置 $x'_{org} = 0 \pm 6\mu\text{m}$

(オ) CCD16に入射する波面の傾き = 4度(9周期分の格子像シフトに対応)

10

なお、y方向についても同様である。

## 【0032】

ステップS1004では、プロセッサ18は、ステップS1001で算出された波面の勾配または波面に基づいて、投影位置 $(x_0, y_0)$ に入射する光の傾きA'に対応する第2の傾きB'を算出する。第2の傾きB'は、傾きA'のうちの格子周期dの整数倍の像シフトに相当する傾き成分である。傾きA'、B'はそれぞれ、例えば、2成分( $A'_x$ 、 $A'_y$ )、( $B'_x$ 、 $B'_y$ )を有する。傾きA'の2成分( $A'_x$ 、 $A'_y$ )は、ステップS1001で算出された波面の勾配または波面に基づいて算出される。波面の勾配を用いる場合は投影位置 $(x_0, y_0)$ での勾配の値を読み取ればよいし、波面を用いる場合はx方向、y方向にそれぞれ微分した後に投影位置 $(x_0, y_0)$ での値を読み取ればよい。

20

## 【0033】

回折格子15の像シフト量 $x$ 、および第2の傾きB'のx方向の成分 $B'_x$ はそれぞれ、以下の式(5)、(6)で表される。式(6)の $\text{floor}(x, d)$ は、絶対値が像シフト量 $x$ の絶対値 $|x|$ 以下となる格子周期dの倍数のうち像シフト量 $x$ に最も近い値を示す。

## 【0034】

## 【数3】

$$\Delta x = L_{GC} \tan(A'_x) \quad (5)$$

30

$$B'_x = \tan^{-1} \left( \frac{\text{floor}(\Delta x, d)}{L_{GC}} \right) \quad (6)$$

## 【0035】

ステップS1005では、プロセッサ18は、第1の傾きBおよび第2の傾きB'に基づいて、波面の傾斜成分を補正した波面を算出する。具体的には、プロセッサ18は、ステップS1001で算出された波面全体の傾きを、 $B - B'$ だけ補正する。これにより、傾斜成分の補正された波面を取得できる。なお、この補正により、投影位置 $(x_0, y_0)$ での傾きA''は、 $A'' = B' + C' + (B - B') = B + C'$ となる。なお、傾きC'は、傾きA'のうちの格子周期dの端数分の像シフトに相当する傾き成分である。

40

## 【0036】

以上説明したように、本実施例の計測方法によれば、回折格子を用いるシアリング干渉計測において、高精度に波面の傾斜成分を計測できるため、傾斜成分を補正した波面を計測できる。また、本実施例の計測装置は、傾斜成分を含む波面を高精度に計測可能である。

## 【0037】

なお、本実施例では波面計測装置30が被検物12を透過した被検光の波面13を計測する場合について説明したが、本発明はこれに限定されない。波面計測装置30は、図1

50



(b)に示されるように、被検物12により反射された被検光の波面13を計測してもよい。この場合、光路22に沿って進む基準波面11は、ビームスプリッタ21を透過した後、被検物12により反射される。被検物12により反射された光は、光路23に沿って進み、ビームスプリッタ21により反射された後、光学部材24を透過する。光学部材24を透過した被検光の波面13は、回折格子15に入射する。

#### 【0038】

また、本実施例では、格子周期の端数分の像シフトに相当する傾斜成分を、第1の画像であるツールボット干渉縞画像から算出した波面から取得する。そのため、遮光マスク14を被検光の光路内に配置して取得した第2の画像から算出される格子周期の端数分の像シフトに相当する傾斜成分の精度が比較的低くてもよい。具体的には、第2の画像から格子周期の端数分の像シフトに相当する傾斜成分の算出精度は、格子周期の整数倍分の像シフトを識別できる程度でよい。

10

#### 【0039】

また、本実施例では、遮光マスク14を被検光の光路中に配置することで取得した第2の画像を用いて参照画像との画像マッチングを行い、遮光マスク14の基準位置のCCD16への投影位置を算出している。このように複数画素のデータを用いた統計処理を行うことで、回折の影響、被検光の光量ムラ、撮像素子の感度ムラ、またはノイズなどの影響を受けずに高精度に投影位置を算出することができる。

#### 【0040】

また、本実施例では、基板として、基準位置から放射状に広がる遮光領域を有する遮光マスク14を用いているが、本発明はこれに限定されない。例えば、光学パターンの分布形状は任意に設定可能であり、遮光マスク14は、図9に示されるように、基準位置を中心とする円領域の遮光部50Bと、その周囲の透過部51Bを備えてもよい。図10は、図9の遮光マスク14を用いた際に取得される第2の画像を示す図である。また、任意の透過率分布や位相分布を持つ基板を用いてもよい。図11は、基準位置から放射状に広がる位相分布を有する基板を示す図である。図11において、黒色で示した領域52は、白色で示した領域53に対して位相をだけ遅らせる作用を有する。図12は、図11の基板を用いた際に取得される第2の画像を示す図である。これらの第2の画像を用いて基準位置の投影位置を決定することで、波面の傾斜成分を算出することができる。

20

#### 【0041】

また、本実施例では、遮光マスク14と回折格子15の厚みを考慮していないが、各部材の厚みを考慮した場合でも適切な補正項を加えた計算を行うことで本実施例と同じ効果を得ることができる。

30

#### 【0042】

また、本実施例では回折格子を用いたシアリング干渉として、ツールボット干渉計測を行う例を説明したが、本発明はこれに限定されない。回折格子を用いる他のシアリング干渉として、例えば位相格子と振幅格子を組み合わせた回折格子を用いる4光束ラテラルシアリング干渉計測にも適用可能である。

#### 【実施例2】

#### 【0043】

本実施例では、基板に形成された光学パターンの歪曲が大きい場合に、高精度に被検光の波面の傾斜成分を自動補正する方法について説明する。本実施例の波面計測装置の構成は、実施例1と同様であるため、詳細な説明は省略する。

40

#### 【0044】

図13のフローチャートを参照して、本実施例の波面計測方法について説明する。図13は、本実施例の波面計測方法を示したフローチャートである。本実施例の波面計測方法は、プロセッサ18により、コンピュータを波面計測装置として機能させるためのプログラムにしたがって実行される。なお、プログラムは、例えば、コンピュータに読み取り可能な記録媒体に記録してもよい。

#### 【0045】

50

ステップS201では、プロセッサ18は、波面の初期値（第1波面）と、基準位置のCCD16への投影位置の初期値（第1の投影位置）を設定する。本実施例では、波面の初期値として実施例1で説明した計測方法により算出された傾きの補正された波面を設定し、投影位置の初期値として実施例1で説明した投影位置（ $x_0, y_0$ ）を設定する。

【0046】

ステップS202では、プロセッサ18は、波面の初期値に基づいて、遮光マスク14が被検光の光路内に配置されている場合にCCD16に形成される像を算出する。以下、像の算出方法について説明する。まず、プロセッサ18は、遮光マスク14とCCD16間の間隔 $L_{MC}$ を用いて、波面の初期値に基づいて逆伝搬計算を行うことで遮光マスク14における波面を算出する。次に、プロセッサ18は、遮光マスク14によって一部遮ら

10

【0047】

ステップS203では、プロセッサ18は、ステップS202で算出された像から画像（第3の画像）を算出し、実施例1で説明した方法を用いて基準位置（ $x_{org}, y_{org}$ ）をCCD16に投影した投影位置（第2の投影位置）（ $x'_0, y'_0$ ）を算出する。

【0048】

ステップS204では、プロセッサ18は、投影位置の初期値とステップS203で算出された投影位置の差分が所定値より大きいかどうかを判定する。所定値より大きい場合

20

【0049】

ステップS205では、プロセッサ18は、ステップS203で算出された投影位置に基づいて、波面の初期値の傾斜成分を補正した第2の波面を取得する。プロセッサ18は、例えば、実施例1で説明した図5のフローチャートのステップS1003～S1005と同様の工程を行うことで第2の波面を取得する。

【0050】

ステップS206では、プロセッサ18は、ステップS205で取得された第2の波面と、第2の投影位置を新たな初期値に設定する。

30

【0051】

ステップS202からステップS206までのステップを、投影位置の初期値とステップS203で算出された投影位置の差分が所定値より小さくなるまで繰り返すことで、波面の傾斜成分を自動補正することができる。

【0052】

以上、本実施例の計測方法によれば、回折格子を用いるシアリング干渉計測において、収差による遮光マスク投影像の歪みも考慮して投影位置を算出することができるため、さらに高精度に波面の傾斜成分を補正した波面を計測できる。

【実施例3】

【0053】

40

図14は、本実施例の波面計測装置40のブロック図である。波面計測装置40の構成は、遮光マスク14および回折格子15の代わりに基板41を備えることを除き、実施例1の波面計測装置30と同様である。そのため、波面計測装置30と同一の構成の詳細な説明は省略し、波面計測装置30と異なる部分についてのみ説明する。

【0054】

基板41は、図15に示されるように、回折格子パターンが形成された領域45と、回折格子パターンとは異なる光学パターンが形成された領域44を備える。図15の黒の部分が遮光部であり、白の部分が透過部である。なお、図15において、回折格子パターンの格子周期は、実際よりも大きく図示している。

【0055】

50

波面計測装置 40 を用いて波面計測を実行する場合、まず、第 1 の画像を取得する。このとき、領域 45 を被検光の光路内に位置させ、領域 44 を被検光の光路外に位置させる。次に、第 2 の画像を取得する。このとき、基板 41 を光軸に垂直な方向へ移動させることで、領域 44、45 の少なくとも一部（特に基準位置  $(x_{org}, y_{org})$ ）を被検光の光路内に位置させる。続いて、プロセッサ 18 は、第 1 および第 2 の画像、ならびに基板 41 および CCD 16 の位置関係に関する情報に基づいて、波面 13 の傾斜成分を補正した波面を算出する。

【 0 0 5 6 】

本実施例の波面計測装置では、回折格子パターンと、回折格子パターンと異なる光学パターンが同一基板に形成されているため、光学素子を追加挿入することなく高精度に波面の傾斜成分を補正した波面を計測できる。

10

【 0 0 5 7 】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

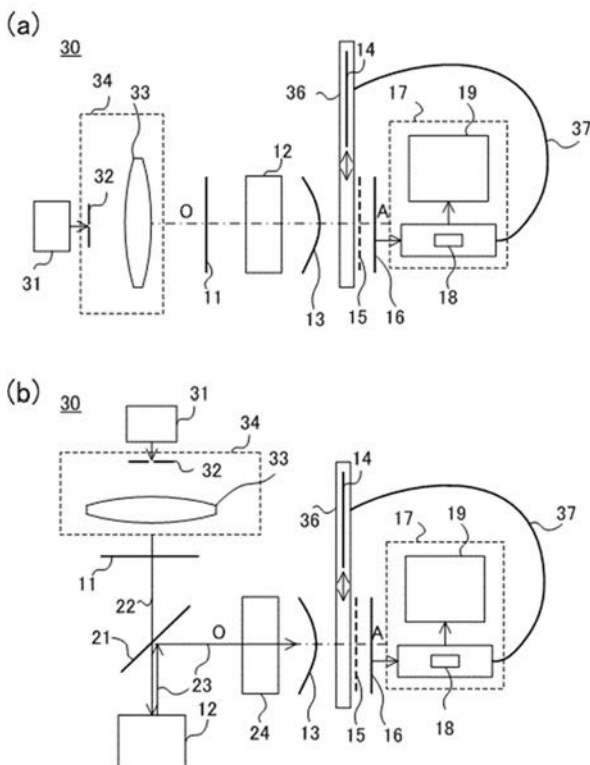
【 符号の説明 】

【 0 0 5 8 】

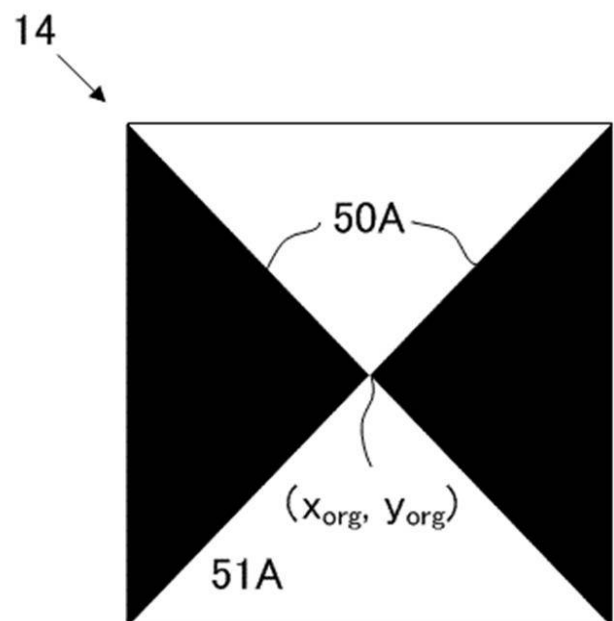
- 14 遮光マスク（基板）
- 15 回折格子
- 16 CCD（検出手段）
- 30 波面計測装置
- 40 波面計測装置
- 41 基板
- 44 領域
- 45 領域

20

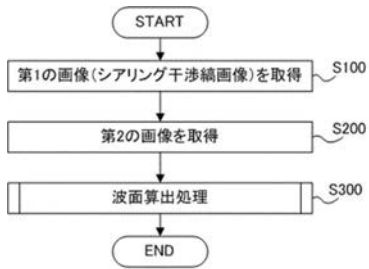
【 図 1 】



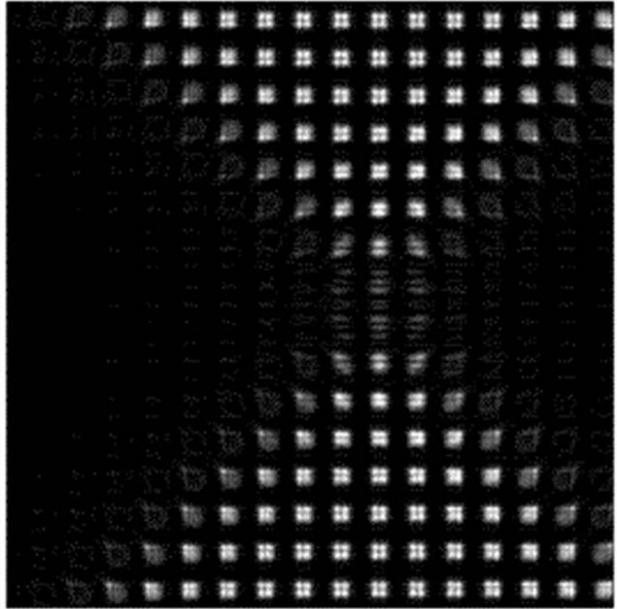
【 図 2 】



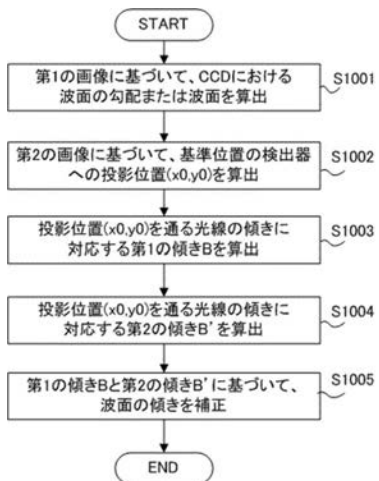
【図 3】



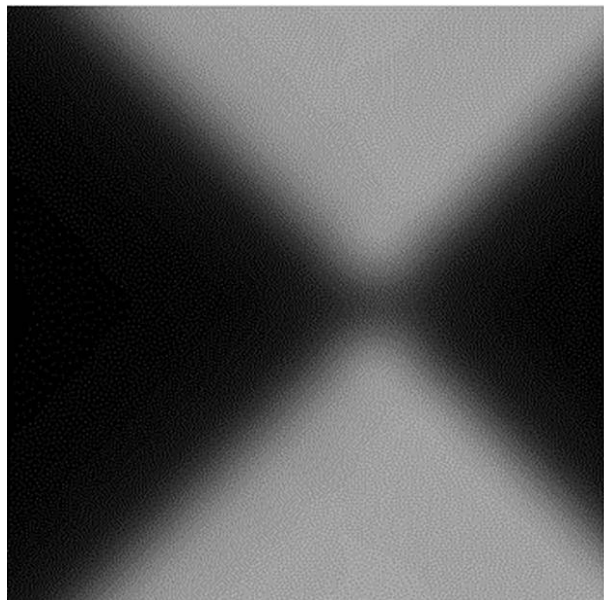
【図 4】



【図 5】



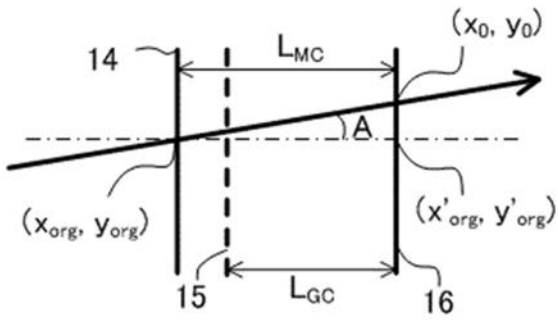
【図 7】



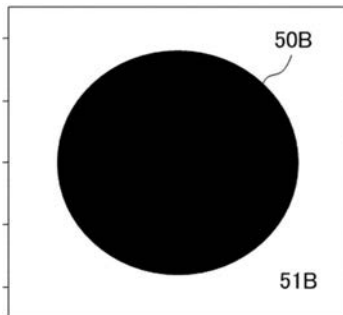
【図 6】



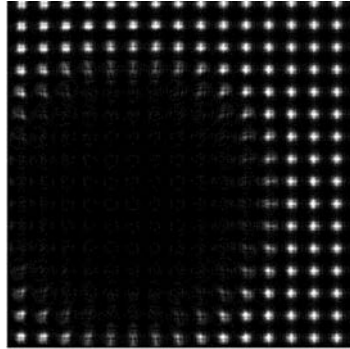
【図 8】



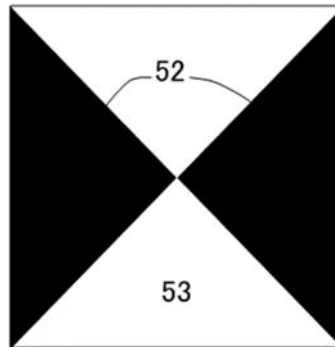
【図 9】



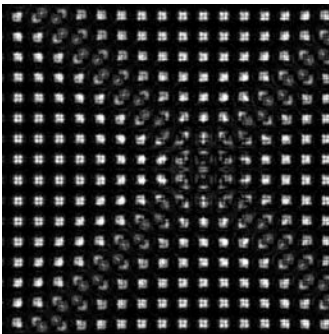
【図 10】



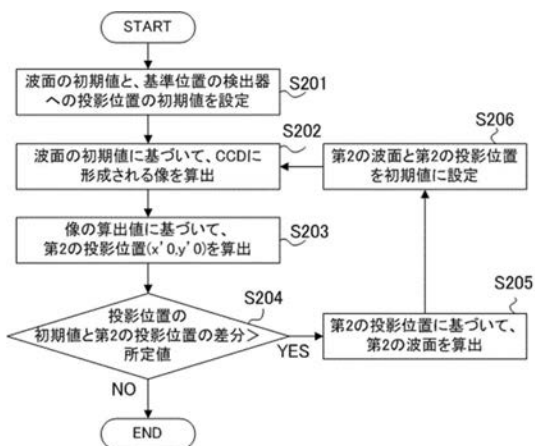
【図 11】



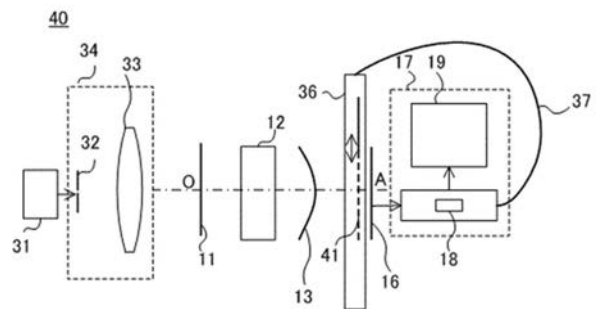
【図 12】



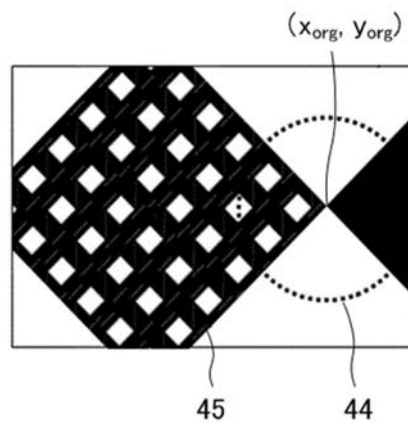
【図 13】



【図 14】



【図 15】



---

フロントページの続き

(72)発明者 直井 俊幸

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

Fターム(参考) 2F064 BB04 CC04 FF01 GG44 GG49 HH08

2G086 HH06