

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4025878号

(P4025878)

(45) 発行日 平成19年12月26日(2007.12.26)

(24) 登録日 平成19年10月19日(2007.10.19)

(51) Int. Cl.	F I	
GO 1 B 9/021 (2006.01)	GO 1 B 9/021	
GO 1 B 11/00 (2006.01)	GO 1 B 11/00	G
GO 1 J 9/02 (2006.01)	GO 1 J 9/02	
GO 3 H 1/04 (2006.01)	GO 3 H 1/04	
GO 3 H 1/16 (2006.01)	GO 3 H 1/16	

請求項の数 6 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2005-256516 (P2005-256516)	(73) 特許権者	504145283
(22) 出願日	平成17年9月5日(2005.9.5)		国立大学法人 和歌山大学
(65) 公開番号	特開2007-71583 (P2007-71583A)		和歌山県和歌山市栄谷930番地
(43) 公開日	平成19年3月22日(2007.3.22)	(74) 代理人	100147485
審査請求日	平成17年9月5日(2005.9.5)		弁理士 杉村 憲司
特許法第30条第1項適用 平成17年3月9日 日本 実験力学会発行の「日本実験力学会講演論文集 No. 5(2005)」に発表		(74) 代理人	100072051
特許法第30条第1項適用 平成17年3月17日 社 団法人日本機械学会関西支部発行の「関西学生会 学生 員卒業研究発表講演会講演前刷集」に発表			弁理士 杉村 興作
		(74) 代理人	100101096
			弁理士 徳永 博
		(74) 代理人	100086645
			弁理士 岩佐 義幸
		(74) 代理人	100107227
			弁理士 藤谷 史朗
		(74) 代理人	100114292
			弁理士 来間 清志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 物体の再生像を得る装置、位相シフトデジタルホログラフィ変位分布計測装置及びパラメータを
同定する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体の像を位相シフトデジタルホログラフィによりデジタルホログラムとして記録し、
再生像を得る装置であって、レーザ光を発生するレーザ光源手段と、前記レーザ光源手段
が発生したレーザ光を2方向に分割するビーム分割手段と、前記ビーム分割手段によって
分割されたレーザ光の一方から参照光を形成する参照光形成手段と、撮像手段とを具え、
前記ビーム分割手段によって分割されたレーザ光の他方は、物体に反射され、物体光とし
て前記撮像手段に入射し、前記参照光も前記撮像手段に入射し、前記撮像手段は前記物体
光と前記参照光からデジタルホログラムを形成するように構成された装置において、前記
撮像手段と物体との間に、前記物体光が通過する凹レンズを配置したことを特徴とする装
置。

10

【請求項2】

請求項1に記載の装置において、前記レーザ光源手段が放射したレーザ光を平行にする
手段をさらに具えることを特徴とする装置。

【請求項3】

請求項1又は2に記載の装置における前記凹レンズの焦点距離、前記撮像手段の記録面
と前記凹レンズとの距離、前記凹レンズと前記ホログラム再生面の距離を求める方法であ
って、

基準となる物体をレンズからの距離 R' の位置に置く工程と、

前記凹レンズのない状態と前記凹レンズを設置した状態のそれぞれの場合において、位

20

相シフトデジタルホログラムを撮影する工程と、

それぞれの場合において、再生距離を微小に変えながら再生を繰り返し、再生像の強度の標準偏差を計算して計算した標準偏差が最大になる再生距離を、最もピントが合っている再生距離 R'' および R' として得る工程と、

再生された物体の再生画像内でのサイズを求める工程と、

これらの比を求めることで、再生範囲の拡大率 M を得る工程と、

再生距離 R'' および R' 、拡大率 M を凹レンズの焦点距離 f 、記録面と凹レンズとの距離 a 、凹レンズと再生面の距離 b を以下の式、

【数 1】

$$R' = a + c = a + \frac{bf}{f - b} \quad (20)$$

$$R'' = a + b \quad (21)$$

$$M = \frac{W''}{\frac{R''}{R'} W'} = \frac{R'}{R''} \cdot \frac{b}{c} = \frac{R'}{R''} \left(a + \frac{f - b}{f} \right) \quad (22)$$

10

で表す工程と、

これらの式を連立させて解くことにより、 f 、 a 、 b をそれぞれ求める工程とを具えることを特徴とする方法。

20

【請求項 4】

物体の像を位相シフトデジタルホログラフィによりデジタルホログラムとして記録し、記録したデジタルホログラムから物体の変位分布ないし変形分布を位相情報として計測する変位分布計測装置であって、レーザ光を発生するレーザ光源手段と、前記レーザ光源手段が発生したレーザ光を 2 方向に分割するビーム分割手段と、前記ビーム分割手段によって分割されたレーザ光の一方から参照光を形成する参照光形成手段と、撮像手段とを具え、前記ビーム分割手段によって分割されたレーザ光の他方は、物体に反射され、物体光として前記撮像手段に入射し、前記参照光も前記撮像手段に入射し、前記撮像手段は前記物体光と前記参照光からデジタルホログラムを形成するように構成された変位分布計測装置において、前記撮像手段と物体との間に、前記物体光が通過する凹レンズを配置したことを特徴とする変位分布計測装置。

30

【請求項 5】

請求項 1 に記載の変位分布計測装置において、前記レーザ光源手段が放射したレーザ光を平行にする手段をさらに具えることを特徴とする変位分布計測装置。

【請求項 6】

請求項 4 又は 5 に記載の変位分布計測装置における前記凹レンズの焦点距離、前記撮像手段の記録面と前記凹レンズとの距離、前記凹レンズと前記ホログラム再生面の距離を求める方法であって、

基準となる物体をレンズからの距離 R'' の位置に置く工程と、

前記凹レンズのない状態と前記凹レンズを設置した状態のそれぞれの場合において、位相シフトデジタルホログラムを撮影する工程と、

40

それぞれの場合において、再生距離を微小に変えながら再生を繰り返し、再生像の強度の標準偏差を計算して計算した標準偏差が最大になる再生距離を、最もピントが合っている再生距離 R'' および R' として得る工程と、

再生された物体の再生画像内でのサイズを求める工程と、

これらの比を求めることで、再生範囲の拡大率 M を得る工程と、

再生距離 R'' および R' 、拡大率 M を凹レンズの焦点距離 f 、記録面と凹レンズとの距離 a 、凹レンズと再生面の距離 b を以下の式、

【数 2】

$$R' = a + c = a + \frac{bf}{f-b} \quad (20)$$

$$R'' = a + b \quad (21)$$

$$M = \frac{W''}{\frac{R''}{R'} W'} = \frac{R'}{R''} \cdot \frac{b}{c} = \frac{R'}{R''} \left(a + \frac{f-b}{f} \right) \quad (22)$$

で表す工程と、

これらの式を連立させて解くことにより、 f 、 a 、 b をそれぞれ求める工程とを具えることを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、物体の像を位相シフトデジタルホログラフィによりデジタルホログラムとして記録し、再生像を得る装置に関する。本発明は、さらに、物体の像を位相シフトデジタルホログラフィによりデジタルホログラムとして記録し、記録したデジタルホログラムから物体の変位分布ないし変形分布を位相情報として計測する変位分布計測装置に関し、特に、計測範囲を拡大した変位分布計測装置に関する。本発明はさらに、これらの装置におけるパラメータを同定する方法にも関する。

【背景技術】

【0002】

構造物などの変位分布やひずみ分布を精度よく光学的に計測する変位計測法には、スペックル干渉法やモアレ干渉法、デジタル画像相関法、ホログラフィ干渉法など様々な手法がある。その中でも、ホログラフィ干渉法は記録乾板の現像処理の煩わしさがあるが、粗面物体の変位、変形、形状などを非接触、高感度、全視野で計測できるために、機械工業、自動車工業、音響機械工業などの非破壊検査や医学など様々な分野で利用されている。ホログラフィ干渉法による変位計測では、位相の異なる変位前後の2つの像を記録乾板上に二重露光することにより、物体の変位を表す干渉縞を得ることができ、この縞を解析することにより変位量を知ることができる。近年、コンピュータの処理能力の向上とCCD素子の高解像度、高画素化により、ホログラムをフィルムではなくCCDカメラに記録し、コンピュータに取り込み、光の回折式の1つであるフレネル変換により再生する位相シフトデジタルホログラフィ干渉法が考案されている。位相シフトデジタルホログラフィは、光の強度だけでなく、位相もデジタル情報として得られるという特徴があり、物体の微小変位計測へ適用する研究が活発に行われている。

【非特許文献1】位相シフトデジタルホログラフィによるたわみ分布計測，高橋功，日本実験力学会講演論文集，p122-125，No2，(2002)

【非特許文献2】Measurement of three-dimensional surface shape and deformations using phase stepping speckle interferometry, Liu-Sheng Wang, Society of Photo-Optical Instrumentation, p2333-2340, (1996)

【0003】

上記非特許文献1では、位相シフトデジタルホログラフィの再生原理が説明されている。通常再生範囲はCCDと物体の距離を離すことにより拡大することができる。しかし物体とCCD間の距離が離れてしまうと、精度の面で問題がある。上記非特許文献2に記載のようなスペックル干渉法ではCCD面に物体を結像させることにより物体の変位計測を行う。この際、計測範囲はレンズの結像公式により導かれる。よってレンズの配置、焦点距離を変えることにより計測範囲を変えることができる。その反面レンズを結像させているため物体、レンズ、CCDの位置は固定されるという問題があった。

【発明の開示】

10

20

30

40

50

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上記を鑑み、本発明は、位相シフトデジタルホログラフィ計測範囲の制約を軽減することができ、広範囲の計測を可能にし、CCDを結像面に固定する必要がない位相シフトデジタルホログラフィ変位分布計測装置を提供することを目的とする。さらに本発明は、これらの装置におけるパラメータを同定する方法も提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明による変位分布計測装置は、レーザ光を発生するレーザ光源手段と、前記レーザ光源手段が発生したレーザ光を2方向に分割するビーム分割手段と、前記ビーム分割手段によって分割されたレーザ光の一方から参照光を形成する参照光形成手段と、撮像手段とを具え、前記ビーム分割手段によって分割されたレーザ光の他方は、物体に反射され、物体光として前記撮像手段に入射し、前記参照光も前記撮像手段に入射し、前記撮像手段は前記物体光と前記参照光からデジタルホログラムを形成するように構成された変位分布計測装置において、前記撮像手段と物体との間に、前記物体光が通過する凹レンズを配置したことを特徴とする。本発明の変位分布計測装置の他の実施例は、前記レーザ光源手段が放射したレーザ光を平行にする手段をさらに具えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、凹レンズを光学系に加えることにより、位相シフトデジタルホログラフィ計測範囲の制約が軽減され、広範囲の計測が可能になり、虚像の再生を行うためにCCDを結像面に固定する必要がない位相シフトデジタルホログラフィ変位分布計測装置が提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0007】

まず、位相シフトデジタルホログラフィの原理について説明する。図1は、位相シフトデジタルホログラフィの記録再生光学系の構成の一例を示す線図である。位相シフトデジタルホログラフィは、CCDに物体光と参照光を同軸で入射させるon-axisの光学系を用いる。記録再生光学系1は、レーザ光線が発生するレーザ光源2と、レーザ光源2が発生したレーザ光の特定の空間周波数成分のみを通過させる空間フィルタ4と、空間フィルタ4を通過したレーザ光を平行にするコリメータレンズ6と、コリメータレンズ6によって平行にされたレーザ光を2方向に分割するビームスプリッタ8と、ビームスプリッタ8によって分割されたレーザ光の一方の一部のみを通過させる絞り10と、絞り10を通過したレーザ光を減光させる減光フィルタ12と、減光フィルタ12によって減光されたレーザ光を位相シフトさせながら反射するミラー付きPZTステージ14と、CCDカメラ16とを具える。ビームスプリッタ8によって分割されたレーザ光の他方は、計測対象の物体に反射され、ビームスプリッタ8を通過して物体光としてCCDカメラ16に入射する。ミラー付きPZTステージ14によって反射されたレーザ光は、再度減光フィルタ12と絞り10を通過し、ビームスプリッタ8によってCCDカメラ16の方に反射され、参照光としてCCDカメラ16に入射する。

【0008】

CCD面上の座標を (X, Y) とすると、CCDで記録される干渉縞 $I(X, Y)$ は、

【数1】

$$I(X, Y) = |A_o(X, Y) + A_r(X, Y)|^2 \\ = |a_o(X, Y)|^2 + |a_r(X, Y)|^2 + 2a_o(X, Y)a_r(X, Y)\cos[\Phi_o(X, Y) - \{\Phi_r(X, Y) + \alpha\}] \quad (1)$$

と表すことができる。ここで $a_o(X, Y)$ 、 $a_r(X, Y)$ はそれぞれ物体光と参照光

10

20

30

40

50

の振幅分布である。また $a_o(X, Y)$ 、 $a_r(X, Y)$ はそれぞれ物体光と参照光の位相分布である。 ϕ はミラー付き P Z T ステージでシフトさせる参照光の位相シフト量で、それぞれ 0 、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ である。 ϕ の値を 0 、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ だとシフトさせた 4 枚のデジタルホログラム $I_0(X, Y)$ 、 $I_1(X, Y)$ 、 $I_2(X, Y)$ 、 $I_3(X, Y)$ はそれぞれ、

【数 2】

$$\begin{aligned} I_0(X, Y) &= |A_o(X, Y) + A_r(X, Y)| \\ &= |a_o(X, Y)|^2 + |a_r(X, Y)|^2 + 2a_o(X, Y)a_r(X, Y)\cos[\Phi_o(X, Y) - \{\Phi_r(X, Y) + 0\}] \end{aligned} \quad (2) \quad 10$$

$$\begin{aligned} I_1(X, Y) &= |A_o(X, Y) + A_r(X, Y)| \\ &= |a_o(X, Y)|^2 + |a_r(X, Y)|^2 + 2a_o(X, Y)a_r(X, Y)\cos[\Phi_o(X, Y) - \{\Phi_r(X, Y) + \pi/2\}] \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} I_2(X, Y) &= |A_o(X, Y) + A_r(X, Y)| \\ &= |a_o(X, Y)|^2 + |a_r(X, Y)|^2 + 2a_o(X, Y)a_r(X, Y)\cos[\Phi_o(X, Y) - \{\Phi_r(X, Y) + \pi\}] \end{aligned} \quad (4) \quad 20$$

$$\begin{aligned} I_3(X, Y) &= |A_o(X, Y) + A_r(X, Y)| \\ &= |a_o(X, Y)|^2 + |a_r(X, Y)|^2 + 2a_o(X, Y)a_r(X, Y)\cos[\Phi_o(X, Y) - \{\Phi_r(X, Y) + 3\pi/2\}] \end{aligned} \quad (5)$$

となる。位相シフトデジタルホログラフィでは、式 (2) ~ 式 (5) を位相シフト法の計算式

【数 3】

$$\tan \Phi(X, Y) = \frac{I_3(X, Y) - I_1(X, Y)}{I_0(X, Y) - I_2(X, Y)}, \quad (6) \quad 30$$

$$a(X, Y) = \frac{\sqrt{\{I_0(X, Y) - I_2(X, Y)\}^2 + \{I_3(X, Y) - I_1(X, Y)\}^2}}{4} \quad (7)$$

に代入して計算をおこない、CCD 面における物体光の複素振幅分布を求める。ここで、参照光に平行光を用いるため、CCD 面における参照光の振幅分布と位相分布は一定で定数とすることができる。したがって、位相シフト法により求めた CCD 面における複素振幅分布 $g(X, Y)$ は

【数 4】

$$\begin{aligned} g(X, Y) &= a(X, Y)\exp i\Phi(X, Y) \\ &= a_o(X, Y)\exp i\Phi_o(X, Y) \end{aligned} \quad (8) \quad 40$$

となり、CCD 面における物体光のみの複素振幅分布を求めることができる。

【0009】

再生面上の座標を (x, y) とするとき、CCD 面における物体光のみの複素振幅分布を物体の置かれている再生面まで

【数5】

$$u(x, y) = \exp\left\{ik \frac{(x^2 + y^2)}{2R}\right\} f\left[g(X, Y) \exp\left\{ik \frac{(X^2 + Y^2)}{2R}\right\}\right] \quad (9)$$

で表せるフレネル回折積分により、元の物体の複素振幅分布 $u(x, y)$ を求める。図2は、回折現象の概念を示す線図である。ここで、 R は記録面と再生面の距離、 k は波数、 $f[\]$ はフーリエ変換を表す演算子である。この再生面の複素振幅分布の強度をもとめることで再生像を得ることができる。

【0010】

本発明による位相シフトデジタルホログラフィ変位分布計測装置について説明する。図3は、本発明による位相シフトデジタルホログラフィ変位分布計測装置の構成の一例を示す線図である。位相シフトデジタルホログラフィ変位分布計測装置21は、レーザ光源22と、空間フィルタ23と、コリメータレンズ24と、ビームスプリッタ26と、ハーフミラー28と、減光フィルタ30と、絞り32と、ミラー付きPZTステージ34と、ガラスプレート36と、CCDカメラ38と、ハーフミラー40と、凹レンズ42とを具える。レーザ光源22から放射されたレーザ光は、空間フィルタ23によって特定の空間周波数成分のみが透過し、空間フィルタ23を通過したレーザ光は、コリメータレンズ24によって平行にされ、ビームスプリッタ26に入射する。ビームスプリッタ26に入射したレーザ光は2方向に分割され、一方はハーフミラー28に、他方はハーフミラー40に向かう。ハーフミラー28を通過したレーザ光の一方の部分は、減光フィルタ30によつて減光し、絞り32によってその一部のみがミラー付きPZTステージ34に入射する。ミラー付きPZTステージ34によって位相シフトされながら反射されたレーザ光は、再び絞り32と減光フィルタ30を通過し、ハーフミラー28によってガラスプレート36の方に反射される。ガラスプレート36に入射したレーザ光は、CCDカメラ38の方に反射され、参照光としてCCDカメラ38に入射する。ハーフミラー40の方に向かったレーザ光の他の部分は、ハーフミラー40によって反射され、測定対象の物体44の方に向かう。物体44に反射されたレーザ光は、ハーフミラー40を通過し、凹レンズ42を通過し、ガラスプレート36を通過し、物体光としてCCDカメラ38に入射する。

【0011】

位相シフトデジタルホログラフィ干渉法ではフレネル変換を用いることによって、再生面上の複素振幅分布を求める。CCDと物体に間に凹レンズを置いた場合、フレネル変換による光の逆伝播はレンズによって曲げられた光路となる。図4は、物体と再生面の関係を説明する線図である。凹レンズによって曲げられた光路を図4の点線で示す。このときの再生像は凹レンズによって虚像として得られる。また再生距離はCCDと物体の距離ではなく、CCDから虚像までの距離となる。このときの虚像の位置は凹レンズの結像公式から求められる。式(10)にレンズの結像公式を示す。 F_1 はレンズと虚像までの距離、 F_2 はレンズと物体までの距離。 R_1 はレンズから結像位置までの距離。 R_2 はCCDから物体の距離とする。

【数6】

$$\frac{1}{F_1} - \frac{1}{F_2} = \frac{1}{F} \quad (10)$$

凹レンズによって結像された像は実際の物体よりも小さくなる。このときの像の倍率は F_1 / F_2 となる。よって物体が縮小した状態で再生され、限られ再生範囲内により多くの範囲を再生することが可能になる。

【0012】

位相シフトデジタルホログラフィの再生は、フレネル変換にフーリエ変換を用いることにより再生することができる。実際の再生では、CCD面の複素振幅分布が離散データであるため、フーリエ変換に高速離散フーリエ変換を用いる。ここでCCD面におけるサンプリング間隔と再生面におけるサンプリング間隔の関係について述べる。フレネル変換を

離散的に表記すると

【数 7】

$$u(m,n) = \exp \frac{ik((m\Delta x)^2 + (n\Delta y)^2)}{2R} \text{FFT} \left[g(p,q) \exp \left\{ ik \frac{((p\Delta X)^2 + (q\Delta Y)^2)}{2R} \right\} \right] \quad (11)$$

となる。ここで、FFT [] は高速離散フーリエ変換の演算子である。また、(m , n) と (p , q) はそれぞれ再生面と CCD 面の離散的な座標を表している。 X 、 Y と x 、 y はそれぞれ CCD と再生面のサンプリング間隔である。通常、 N_x 画素 × N_y 画素の画像 g (p , q) を u (m , n) に高速離散フーリエ変換したとき、空間周波数のサンプリング間隔 μ 、 ν は、それぞれ

【数 8】

$$\Delta\mu = \frac{1}{N_x\Delta X}, \quad \Delta\nu = \frac{1}{N_y\Delta Y} \quad (12)$$

となる。フレネル変換では、フーリエ変換するときの空間周波数を μ 、 ν とし、波長 λ 、再生距離 R を用いて

【数 9】

$$\mu = \frac{x}{\lambda R}, \quad \nu = \frac{y}{\lambda R} \quad (13)$$

と表す。離散的な空間周波数は

【数 10】

$$\Delta\mu = \frac{\Delta x}{\lambda R}, \quad \Delta\nu = \frac{\Delta y}{\lambda R} \quad (14)$$

となる。よって、式 (12) と式 (14) よりフレネル変換のサンプリング間隔は

【数 11】

$$\Delta x = \frac{\lambda R}{N_x\Delta X}, \quad \Delta y = \frac{\lambda R}{N_y\Delta Y} \quad (15)$$

となる。ここで図 5 に示すように、記録面と再生面の間に凹レンズを設置する場合を考える。図 5 は計測範囲の拡大を説明する線図である。記録面と凹レンズとの距離を F₀ とする。虚像の位置における再生範囲を W₁ 、物体の位置における再生範囲を W₂ とする。虚像の位置における再生範囲 W₁ 、物体の位置における再生範囲 W₂ は、CCD 面のサンプリング間隔を p としたとき式 (15) より

【数 12】

$$W_1 = \frac{\lambda R_1}{p}, \quad W_2 = \frac{\lambda R_2}{p} \quad (16)$$

と表せる。W₁ の領域にはレンズによって F₁ / F₂ 倍された像が再生される。したがって再生範囲は F₂ / F₁ 倍されることになる。よってレンズを置いたことによる再生範囲の倍率は

【数 13】

$$M = \frac{W_1 \times F_2}{W_2 \times F_1} = \frac{R_1 \times F_2}{R_2 \times F_1} \quad (17)$$

で表すことができる。M は再生範囲の倍率とする。またこのときの虚像面における再生範囲 H は

【数 1 4】

$$H = \frac{\lambda \times R_1}{p} \times \frac{F_2}{F_1} \quad (18)$$

と表すことができる。ここで再生範囲Hを求めるためには R_1 、 F_1 、 F_2 の3個の未知数を求める必要がある。この未知数を求めるための方法を示す。レンズを除いた状態での物体の再生画像とレンズを置いた状態での虚像の再生画像を得る。このときの再生距離より R_1 、 R_2 が求められる。また再生画像の対応する場所の画素数を調べ、倍率Mを求める。求めた値を式(18)に代入することにより拡大を行った再生範囲が求められる。

【数 1 5】

$$H = \frac{\lambda \times R_1}{p} \times \frac{F_2}{F_1} = \frac{\lambda \times M}{p \times R_2} \quad (19)$$

【0013】

CCDから凹レンズまでの光学的距離は精密に計測することは困難である。また、レンズの実際の焦点距離は公称値からずれている場合もある。そこで、これらの値を実際の光学系により得られた再生像から求める手法を示す。図6は、これらのパラメータを同定する方法を説明する線図である。基準となる物体を R'' の位置に置く。凹レンズのない状態と凹レンズを設置した状態のそれぞれの場合において、位相シフトデジタルホログラムを撮影する。それぞれの場合において、再生距離を微小に変えながら再生を繰り返し行うことで、最もピントが合っている再生距離 R'' および R' を見つける。最もピントが合っているかどうかは、再生像の強度の標準偏差を計算し、それが最大になる再生距離として得る。次に、再生された物体の再生画像内でのサイズを求める。それらの比を求めることで、再生範囲の拡大率Mを得ることができる。再生距離 R'' および R' 、拡大率Mを凹レンズの焦点距離 f 、記録面と凹レンズとの距離 a 、凹レンズと再生面の距離 b で表すとそれぞれ次のようになる。

【数 1 6】

$$R' = a + c = a + \frac{bf}{f-b} \quad (20)$$

$$R'' = a + b \quad (21)$$

$$M = \frac{W''}{\frac{R''}{R'} W'} = \frac{R''}{R'} \cdot \frac{b}{c} = \frac{R''}{R'} \left(a + \frac{f-b}{f} \right) \quad (22)$$

これらの式を連立させて解くことにより、パラメータ f 、 a 、 b をそれぞれ求めることができる。

【0014】

上記実施例では、物体光及び参照光として平行なレーザ光を使用した。平行でないレーザ光を用いた場合でも、同様の効果を奏することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】位相シフトデジタルホログラフィの記録再生光学系の構成の一例を示す線図である。

【図2】回折現象の概念を示す線図である。

【図3】本発明による位相シフトデジタルホログラフィ変位分布計測装置の構成の一例を示す線図である。

【図4】物体と再生面の関係を説明する線図である。

【図5】計測範囲の拡大を説明する線図である。

【図6】パラメータを同定する方法を説明する線図である。

【符号の説明】

【0016】

10

20

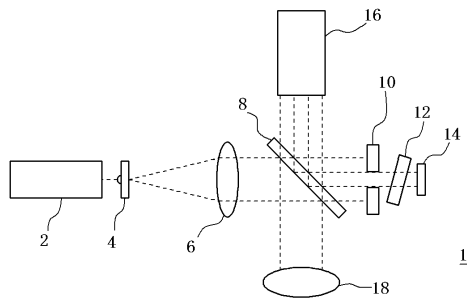
30

40

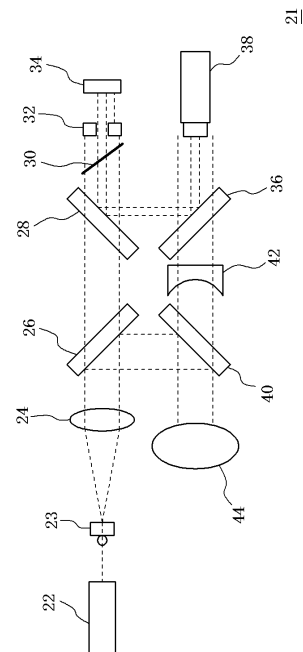
50

- 1 記録再生光学系
- 2、22 レーザ光源
- 4、23 空間フィルタ
- 6、24 コリメータレンズ
- 8、26 ビームスプリッタ
- 10、32 絞り
- 12、30 減光フィルタ
- 14、34 ミラー付きPZTステージ
- 16、38 C C Dカメラ
- 21 位相シフトデジタルホログラフィ変位分布計測装置
- 28、40 ハーフミラー
- 36 ガラスプレート
- 42 凹レンズ

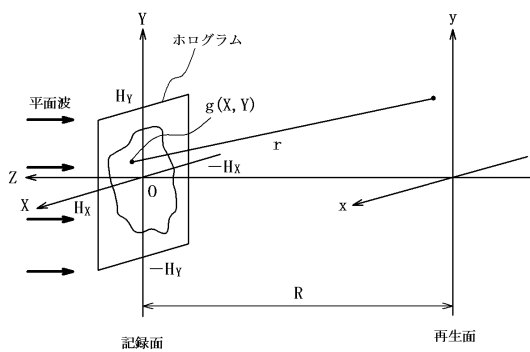
【 図 1 】



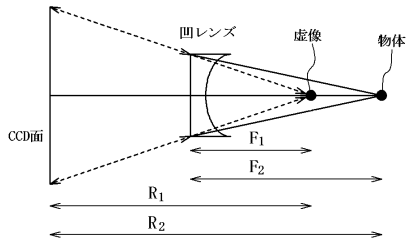
【 図 3 】



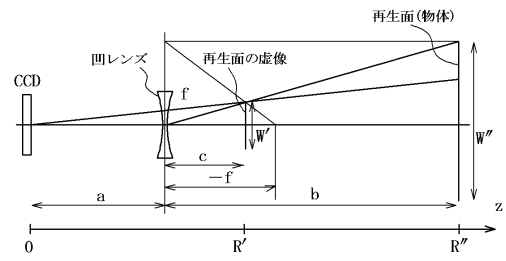
【 図 2 】



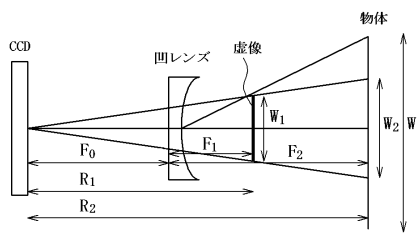
【 図 4 】



【 図 6 】



【 図 5 】



フロントページの続き

- (74)代理人 100119530
弁理士 富田 和幸
- (72)発明者 森本 吉春
大阪府泉南郡田尻町りんくうポート北5 - 17
- (72)発明者 藤垣 元治
和歌山県和歌山市木ノ本1496 - 164
- (72)発明者 松井 徹
和歌山県和歌山市木ノ本176 - 5
- (72)発明者 松井 貴男
大阪府阪南市下出57 - 1

審査官 小野寺 麻美子

- (56)参考文献 特開2005 - 265441 (JP, A)
特開2005 - 283683 (JP, A)
特開平10 - 268740 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 9/021
G01B 11/00
G01J 9/02
G03H 1/04
G03H 1/16