

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4069204号
(P4069204)

(45) 発行日 平成20年4月2日(2008.4.2)

(24) 登録日 平成20年1月25日(2008.1.25)

(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 3 H 1/10 (2006.01)		GO 3 H 1/10	
GO 3 H 1/22 (2006.01)		GO 3 H 1/22	

請求項の数 6 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2004-74444 (P2004-74444)	(73) 特許権者	504145283
(22) 出願日	平成16年3月16日(2004.3.16)		国立大学法人 和歌山大学
(65) 公開番号	特開2005-265441 (P2005-265441A)		和歌山県和歌山市栄谷930番地
(43) 公開日	平成17年9月29日(2005.9.29)	(74) 代理人	100147485
審査請求日	平成16年3月16日(2004.3.16)		弁理士 杉村 憲司
		(74) 代理人	100113745
			弁理士 藤原 英治
		(74) 代理人	100072051
			弁理士 杉村 興作
		(72) 発明者	森本 吉春
			大阪府泉南郡田尻町りんくうポート5-1
			7
		(72) 発明者	野村 孝徳
			大阪府泉南郡田尻町りんくうポート5-1
			7

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 デジタルホログラフィを利用した変位分布計測方法

(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、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方法において、

第1の状態において、参照光の位相を所定量だけ順次シフトさせながら、物体の像を、2次元撮像装置を用いて干渉縞をデジタルデータとして記録することにより、第1の状態におけるデジタルホログラムを各位相について撮像する工程と、

前記物体が第1の状態から変形又は変位した第2の状態において、参照光の位相を所定量だけ順次シフトさせながら、前記物体の像を、2次元撮像装置を用いて干渉縞をデジタルデータとして記録することにより、第2の状態におけるデジタルホログラムを各位相について撮像する工程と、

前記第1の状態のデジタルホログラムに、複数の空間的な窓領域を規定する所定の複数の窓関数を乗算することにより、第1の状態の画素群の強度分布及び位相分布を、当該複数の窓領域の各々について再生する工程と、

前記第2の状態のデジタルホログラムに、前記所定の複数の窓関数を乗算することにより、第2の状態の画素群の強度分布及び位相分布を、当該複数の窓関数が規定する前記複数の窓領域の各々について再生する工程と、

それぞれ同じ窓関数を乗算することにより再生した、前記第1の状態の画素群の位相分布と、前記第2の状態の画素群の位相分布との間の対応する画素の位相差を、前記複数の

10

20

窓領域の各々について求める工程と、

前記複数の窓領域の各々についての、前記第1の状態の画素群の強度分布、及び/又は前記第2の状態の画素群の強度分布に基づいて、前記位相差を規定する窓領域を各画素毎に選択する工程と、

前記選択された窓領域が規定する前記位相差を各画素に用いて、当該画素で構成される新たな位相差の分布を生成する工程と、

を具えることを特徴とする変位分布計測方法。

【請求項2】

請求項1に記載の変位分布計測方法において、

前記位相差を規定する窓領域を各画素毎に選択する工程は、前記複数の窓領域の各々についての、前記第1の状態の画素群の強度分布と前記第2の状態の画素群の強度分布との間の対応する画素の強度和を求める工程をさらに有し、当該求めた強度和に基づいて、前記位相差を規定する窓領域を各画素毎に選択することを特徴とする変位分布計測方法。

10

【請求項3】

請求項1に記載の変位分布計測方法において、

前記位相差を規定する窓領域を各画素毎に選択する工程は、前記複数の窓領域の各々についての、前記第1の状態の画素群の強度分布又は前記第2の状態の画素群の強度分布の一方のうち、強度が上位m個(mは1以上の自然数)の強度分布に対応する窓領域を各画素毎に選択し、

前記新たな位相差の分布を生成する工程は、前記m個の窓領域が規定する前記位相差の平均値を各画素に用いて、当該画素で構成される新たな位相差の分布を生成することを特徴とする変位分布計測方法。

20

【請求項4】

請求項2に記載の変位分布計測方法において、

前記位相差を規定する窓領域を各画素毎に選択する工程は、前記複数の窓領域の各々についての、前記第1の状態の画素群の強度分布と前記第2の状態の画素群の強度分布とから求めた強度和のうち、強度が上位m個(mは1以上の自然数)の強度和を与える強度分布に対応する窓領域を各画素毎に選択し、

前記新たな位相差の分布を生成する工程は、前記m個の窓領域が規定する前記位相差の平均値を各画素に用いて、当該画素で構成される新たな位相差の分布を生成することを特徴とする変位分布計測方法。

30

【請求項5】

前記第1の状態の画素群の強度分布及び位相分布を再生する工程、並びに前記第2の状態の画素群の強度分布及び位相分布を再生する工程において、記録したデジタルホログラムから記録面における複素振幅分布を求め、求めた複素振幅分布をフレネル変換して再生面における複素振幅分布を求め、求めた再生面における複素振幅分布から強度分布及び位相分布を求めることを特徴とする、請求項1から4までのいずれか1項に記載の変位分布計測方法。

【請求項6】

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再生画像を得る画像再生方法において、

参照光の位相を所定量だけ順次シフトさせながら、物体の像を、2次元撮像装置を用いて干渉縞をデジタルデータとして記録することにより、デジタルホログラムを各位相について撮像する工程と、

40

前記デジタルホログラムに、複数の空間的な窓領域を規定する所定の複数の窓関数を乗算することにより、画素群の強度分布を、当該複数の窓領域の各々について再生する工程と、

前記複数の窓領域の各々についての、前記画素群の強度分布のうち、強度値が最大となる窓領域を各画素毎に選択する工程と、

前記選択された窓領域が規定する前記画素の強度値を各画素に用いて、当該画素で構成

50

される新たな強度分布の全体画像を再生する工程と、
を具えることを特徴とする画像再生方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、デジタルホログラフィを利用した変位分布計測方法、特にハレーションやスペックルノイズによる影響が低減され、物体表面の変位分布を位相情報として得ることができる変位分布計測方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

光学的手法を用いた画像計測は、非接触で物体の形状や変形、応力、歪み等の計測を全視野で行うことができる手法であり、情報通信、医療等の種々の分野に利用することができる。物体表面の変位分布ないし変形分布を計測する方法として、位相シフトデジタルホログラフィを利用した計測方法が既知である（例えば、非特許文献1参照）。この位相シフトデジタルホログラフィを利用した計測方法では、物体の変位前後の干渉像をCCDカメラにより撮像し、物体表面の各部位の位相分布をデジタルデータとして計測している。従って、分布表面の変形量や変位量を高速で計測することができ、物体表面の微小変位量を高速で計測する必要のある種々の用途に適用することができる。

【0003】

一方、位相シフトデジタルホログラフィでは、物体表面に向けてコヒーレント光を投射し、物体表面からの散乱光をCCDカメラで受光するため、再生面にスペックルパターンが発生し易く、計測誤差が生じ易い問題が指摘されている。特に、計測の対象が金属面や鏡面の場合、スペックルパターンによる影響を受け易いものである。この課題を解決する方法として、ホログラムを再生する際隣接する4個の画素のうち振幅値の一番大きなデジタルの位相値を4画素の位相値として用いて処理する方法が提案されている（例えば、非特許文献2参照）。

【非特許文献1】実験力学論文集, Vol.3 No2「位相シフトデジタルホログラフィを用いた面外変位計測」, 2003年6月

【非特許文献2】Opt.Eng.42(5)「Measurement of surface shape and deformation by phase-shifting image digital holography」2003年5月

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述した論文に記載されている方法では、隣接する4個の画素のうち振幅値の一番大きな画素の位相値を4個の画素の位相値としているため、スペックルパターンによるノイズを低減することができるが、逆に空間分解能が低下する不具合が発生してしまう。

【0005】

従って、本発明の目的は、上述した欠点を解消し、ハレーションやスペックルパターンが発生し易い物体表面であっても、スペックルノイズが低減され、高精度の計測が可能となる位相シフトデジタルホログラフィを利用した変位分布計測方法を実現することにある。

さらに、本発明の別の目的は、分解能が低下することなく物体表面の位相分布を計測できる変位分布計測方法を提供することにある。

さらに、本発明の別の目的は、デジタルホログラムから鮮明な画像を再生する画像再生方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明による位相シフトデジタルホログラフィを利用した変位分布計測方法は、第1の状態において、参照光の位相を所定量だけ順次シフトさせながら物体の像を2次元撮像装置により撮像し、干渉縞を記録して第1の状態におけるデジタルホログラムを作成する工

10

20

30

40

50

程と、

第1の状態から変形又は変位した第2の状態において、参照光の位相を所定量だけシフトさせながら前記物体の像を2次元撮像装置により撮像し、干渉縞を記録して第2の状態におけるデジタルホログラムを作成する工程と、

前記第1の状態のデジタルホログラムに窓関数を用いて再生し、複数の窓領域について、第1の状態の強度分布及び位相分布を画素毎に求める工程と、

前記第2の状態におけるデジタルホログラムに前記窓関数と同一の窓関数を用いて再生し、複数の窓領域について、第2の状態の強度分布及び位相分布を画素毎に求める工程と、

前記第1の状態の強度分布と第2の状態の強度分布との強度和を各画素毎に各窓領域を単位として求める工程と、

前記第1の状態の位相分布と第2の状態の位相分布との間の位相差を各画素毎に求める工程と、

前記求められた強度和が最大となる窓領域の前記第1の状態の位相と第2の状態の位相との位相差を各画素毎に求める工程とを具えることを特徴とする。

【発明の効果】

【0007】

本発明では、変形前後のデジタルホログラムを再生する際、窓関数を用いて再生し、各画素毎に強度和が最大となる窓領域の画素の変形前後の位相差を用い位相分布を作成しているため、スペckルパターンに起因するノイズによる影響が低減された変形前後の位相分布を得ることができる。再生像についても、スペckルパターンのない鮮明な再生像を形成することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

初めに、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は本発明による位相シフトデジタルホログラフィを利用した物体表面の変位分布計測方法を実施するための記録光学系の一例を示す線図である。コヒーレント光を発生するレーザ光源1から光ビームを放出する。光ビームは、エキスパンダ光学系2及びコリメータレンズ3により拡大平行光束に変換する。この光ビームは、ビームスプリッタとして機能するプリズム4に入射し、ハーフミラー4aにより分割され、反射光ビームは計測されるべき物体5に入射する。物体5の表面で反射した散乱光は、物体光として再びプリズム4に入射しハーフミラー4aを透過し、CCDカメラ6に向けて伝搬する。一方、ハーフミラー4aを透過した光ビームは、PZTステージ7に装着された全反射ミラー8に入射する。全反射ミラー8で反射した光ビームは参照光となり、再びプリズム4に入射し、ハーフミラー4aで反射し、CCDカメラ6に向けて伝搬する。物体光と参照光は互いに干渉しあい、CCDカメラ6には干渉縞が撮像される。そして、CCDカメラにより撮像された干渉縞はデジタルデジタルとして記録され、その出力データは、コンピュータに転送され、信号処理が行われる。

【0009】

PZTステージ7は、光学系の光軸方向に微小距離だけ変位し、参照光の位相をシフトさせる。参照光の位相シフト量として、例えば0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ の4つの位相シフト量を選択することができる。そして、干渉縞の記録は、参照光の位相をシフトさせながら、すなわち、初めに位相シフト量が0の状態干渉縞を撮像してデジタルデータとして記録する。次に、参照光を位相シフト量 $\pi/2$ だけシフトさせて撮像してデジタルデータとして記録する。そして、この撮像動作を各位相シフト量だけ順次繰り返す、参照光の位相が $\pi/2$ ずつシフトされた4個のデジタルホログラムをデジタルデータとして記録する。

【0010】

物体光及び参照光の振幅分布を $A_0(x, y)$ 及び $A_r(x, y)$ とすると、これら物体光及び参照光の振幅分布は次式で表すことができる。

10

20

30

40

50

$$A_o(x, y) = a_o(x, y) \exp\{i \phi_o(x, y)\} \quad (1)$$

$$A_r(x, y) = a_r(x, y) \exp[i\{\phi_r(x, y) + \theta\}] \quad (2)$$

ここで、 $a_o(x, y)$ 、 $a_r(x, y)$ は振幅分布、 $\phi_o(x, y)$ 、 $\phi_r(x, y)$ は位相分布、 θ はピエゾステージに取り付けたミラーにより変化させる参照光の位相シフト量で、 $\theta = 0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ である。

【0011】

CCDカメラ6により記録され、コンピュータに入力される干渉縞の強度は、次式で表すことができる。

$$I_a(x, y) = a_o(x, y) a_r(x, y) \cos\{\phi_o(x, y) - \phi_r(x, y) - \theta\} \quad (3)$$

参照光に平行光を用いるために記録面での振幅は一定で位相の変化はなく、式(4)より記録面での物体光のみの振幅 $a_o(x, y)$ が得られ、式(5)の関係式より位相 $\phi_o(x, y)$ を求めることができる。ここで、 x 及び y は記録面における位置座標を規定する。

【数1】

$$a_o(x, y) = \frac{1}{4} \sqrt{\{I_{3\pi/2}(x, y) - I_{\pi/2}(x, y)\}^2 + \{I_o(x, y) - I_{\pi}(x, y)\}^2} \quad (4)$$

【数2】

$$\tan \phi_o(x, y) = \frac{I_{3\pi/2}(x, y) - I_{\pi/2}(x, y)}{I_o(x, y) - I_{\pi}(x, y)} \quad (5)$$

この位相と振幅より記録面での複素振幅分布 $g(x, y)$ を求めると次式のようになる。

$$g(x, y) = a_o(x, y) \exp\{i \phi_o(x, y)\} \quad (6)$$

【0012】

記録面での物体光のみの複素振幅分布を表す式 $g(x, y)$ を物体の置かれている地点である再生面までフレネル変換して再生することで元の物体の複素振幅分布を求めることができる。フレネル変換以外の種々の近似乃至変換方法を用いて再生することも可能である。尚、図2にデジタルホログラフィ再生のための回折現象の概念図を示す。

次式にフレネル変換することにより得られ再生面における複素振幅を示す式を式(7)として示す。尚、 X 及び Y は再生面における位置座標を示す。

【数3】

$$u(X, Y) = \exp\left[\frac{ik(X^2 + Y^2)}{2R}\right] F\left\{\exp\left[\frac{ik(x^2 + y^2)}{2R}\right] g(x, y)\right\} \quad (7)$$

ここで、 $u(X, Y)$ は再生面での複素振幅分布、 R は記録面と再生面の距離、 k は波数 ($k = 2\pi/\lambda$)、 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求めることで再生像を得ることができる。式(7)の $u(X, Y)$ について絶対値をとることにより、再生面における各画素の強度を得ることができ、偏角を求めることにより各画素の位相値が求められる。本発明では、再生処理において、記録面の強度分布及び位相分布を用い変位ないし変形前後の変位分布を位相情報として求める。

【0013】

次に、ホログラフィ干渉法の原理について簡単に説明する。

ホログラフィ干渉法の概念図を図3に示す。変形ないし変位前の物体光を $A_o(x, y)$

10

20

30

40

50

)、変形後の物体光を $A'(x, y)$ とするとそれぞれ次式で表現できる。

$$A_0(x, y) = a_0(x, y) \exp\{i \phi_0(x, y)\} \quad (8)$$

$$A'(x, y) = a'(x, y) \exp\{i \phi'(x, y)\} \quad (9)$$

与えた変形が微小であれば、変形前と変形後の物体光の振幅の変化はなく、位相のみが変化するとみなすことができ、振幅と位相はそれぞれ次式で表すことができる。

$$a'(x, y) = a_0(x, y) \quad (10)$$

$$\phi'(x, y) = \phi_0(x, y) + \Delta\phi(x, y) \quad (11)$$

ここで、 $\phi_0(x, y)$ は変形前の位相分布を示し、 $\phi'(x, y)$ は変形後の位相分布を示し、 $\Delta\phi(x, y)$ は変形前後における位相変化量の分布を示す。また、物体表面の変形前後の変位量 d と位相変化との関係は次式で表すことができる。

【数4】

$$d = \frac{\lambda}{2\pi} \Delta\phi(x, y) \quad (12)$$

ここで、 λ は計測光の波長である。

【0014】

このように、変形前後の位相分布の差を各画素毎に求めることにより、物体の各部位（各画素）の変形前後における変形量ないし変位量を位相量として求めることができる。さらに、再生画像を得るには、式(7)に示す再生面における複素振幅分布の強度すなわち絶対値を各画素毎に演算することにより物体の再生画像を得ることができる。

【0015】

次に、スペックルノイズの低減方法について説明する。本発明では、スペックルノイズを低減するため、窓関数を利用する。再生面の複素振幅分布を示す式(7)において、記録面における複素振幅を示す項 $g(X, Y)$ に窓関数 $W(X, Y)$ を乗算し、複数の窓領域を規定し、各窓領域毎に強度分布及び位相分布を求める。尚、用いる窓関数として、矩形関数、ハミング関数、ハニング関数等の種々の窓関数を用いることができる。次に、各窓領域を単位として、位置 (X, Y) における変形前後の強度の和を各画素毎に演算し、全ての窓領域のうち、強度和が最大となる窓領域を選択し、選択した窓領域の変形前の位相値と変形後の位相値との位相差、 $\Delta\phi(X, Y)$ を算出し、得られた位相差を当該画素 (X, Y) の位相差とする。この位相差を求める演算を全ての画素について実行する。この処理により、スペックルノイズが低減された変位分布を得ることができる。尚、全ての窓領域のうち、強度和が最大となる窓領域の位相差を用いる理由は、強度和が最大となる窓領域のデータは、一番明るく最もノイズが小さいものとなるからである。尚、本発明の要旨は窓関数をかけて各窓領域毎に強度分布及び位相分布を求めることにある。そして、種々の実験結果に基づけば、強度和の代わりに、変形前後のどちらか一方の強度値を用いても同様の効果が得られる。その理由は、微小な変形の場合、再生されたスペックルパターンが変形前後でほぼ同様なためである。

【0016】

変形前後の位相差 $\Delta\phi(X, Y)$ の決定方法として、強度和で上位 m 個の平均を位相差として用いることができる。

【数5】

$$\Delta\phi(X, Y) = \frac{\sum_{k=1}^m \phi_{k-1}(X, Y)}{m} \quad (13)$$

また、以下に示す式に基づき、強度和を重み付けに用いて平均をとる方法を用いることもできる。

10

20

30

40

50

【数 6】

$$\Delta \phi(X, Y) = \frac{\sum_{k=1}^n P_{k-1}(X, Y) \phi_{k-1}(X, Y)}{\sum_{k=1}^n P_{k-1}(X, Y)} \quad (14)$$

【0017】

次に、位相シフトデジタルホログラフィを利用した変位計測の具体例について説明する。図4は、本発明によるデジタルホログラフィを利用した変位分布計測方法のフローチャートである。第1の工程として、図1に示す光学系を用い、変形前である第1の状態における物体を位相シフトさせながら撮像し、干渉縞をデジタルデータのデジタルホログラムとして記録する。本例では、位相シフト量として、0, $\pi/2$, π , $3\pi/2$ の4つ位相シフト量を用いる(工程1)。

10

【0018】

次に、物体を変形させた第2の状態において、同様に位相シフトさせながら物体を撮像し、第2の状態のデジタルホログラムをデジタルデータとして記録する(工程2)。

【0019】

次に、窓関数 $W(X, Y)$ を用いて再生処理を実行し、各窓領域毎に強度分布及び位相分布を求める(工程3)。本例では、窓関数として矩形関数を用い、 4×4 の16個の窓領域を規定する。

20

【0020】

次に、物体を変形させた第2の状態において、同様に位相シフトさせながら物体を撮像し、第2の状態のデジタルホログラムをデジタルデータとして記録する(工程3)。

【0021】

次に、第2の状態のデジタルホログラムから、工程2と同一の窓関数を用いて再生処理を実行し、変形後である第2の状態における強度分布及び位相分布を求める(工程4)。

【0022】

次に、第1の状態の強度分布と第2の状態の強度分布との和を画素毎に求め、強度和を算出する。そして、16個の窓領域について、強度和が最大になる窓領域の画素を選択する。次に、選択した画素における変形前後の位相差を算出し、この処理を全画素について実行し、物体の変形前後の位相差の分布を得る(工程5)。

30

【0023】

尚、物体面の変形量ないし変位量を求めるには、各画素の位相差を式(12)に代入して演算することにより求められる。

【0024】

次に、スペックルパターンやハレーションによる影響が軽減された画像再生方法について説明する。図5は本発明による画像再生方法の一例を示す線図である。前述したように、参照光の位相を所定量だけ順次シフトさせながら物体の像をCCDカメラで撮像し、干渉縞をデジタルデータとして記録してデジタルホログラムを作成する。次に、再生処理において、デジタルホログラムに窓関数をかけて複数の窓領域を作成し、窓領域を単位としてないし窓領域毎に強度分布を各画素毎に求める。次に、各画素について、強度が最大になる窓領域の強度を選択して全体画像について強度分布を求めて再生画像とする。このように、デジタルホログラムを再生する際、窓関数をかけ、各窓領域の画素について強度が最大となる値を選択して再生画像とすることにより、全体画像はノイズが最小の画素の集合として得られるので、スペックルパターン等の影響が大幅に低減された再生画像を得ることができる。

40

【0025】

次に、デジタルホログラムの撮像光学系の変形例について説明する。図6は本例の撮像光学系の原理を説明するための線図である。本例では、半導体レーザが電流値に応じて発

50

振波長が変化する特性を利用して位相シフトを行う。半導体レーザは、レーザ発振の構造上、半導体素子に印加する電流値に応じて発振波長が変化する特性を有する。光源として半導体レーザを用いた位相シフト法では、図6に示す光路差を有する光学系を利用する。干渉における波長 λ と光路差 L と干渉縞の位相 ϕ との関係は、以下の式で表すことができる

$$\phi = 2\pi L / \lambda$$

注入電流を変化させた後の波長を λ' としたときの干渉縞の位相 ϕ' は、以下の式で表すことができる。

$$\phi' = 2\pi L / (\lambda + \Delta\lambda)$$

位相 ϕ と位相 ϕ' はそれぞれ注入電流を変化させる前及び変化後の位相である。注入電流を変化させてシフトする位相量 $\Delta\phi$ は、位相 ϕ と位相 ϕ' との間の位相差であるため、

$$\Delta\phi = \phi - \phi' = 2\pi L \left[\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda + \Delta\lambda} \right]$$

と表すことができる。従って、 $\Delta\phi$ は注入電流の変化量で決定されるため、注入電流の変化により参照光を発生させる光学素子を機械的に変位させることなく位相シフトが可能になる。本発明では、半導体レーザの注入電流の変化を利用した位相シフト法により位相シフトさせながら干渉縞を記録して位相シフトデジタルホログラムを作成し、このデジタルホログラムを用い微細に変化する物体表面の画像再生或いは物体表面の微小な変位を計測する。

【0026】

図7(a)及び(b)は、光学系の具体的構成を示す。半導体レーザ10から発生したレーザ光をエキスパンダ光学系11により拡大平行光束に変換する。この平行ビームは、ガラスの楔12に入射し、その面で反射した反射光を参照光として利用する。透過光は物体13で反射して物体光となり、再び楔12を透過してCCDカメラ14に入射する。そして、物体光と参照光との干渉縞がCCDカメラにより撮像され、デジタルホログラムが形成される。次に、半導体レーザ10の注入電流値を変化させ、例えば位相が $\pi/2$ だけ変化するように入射電流を変化させて撮像する。このように、半導体レーザの注入電流を変化させるだけで位相シフトを行うことができ、機械的な構造体であるPZTステージを用いることなく位相シフトホログラムを撮像することができる。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】本発明による位相シフトデジタルホログラフィを利用した変位分布計測方法を実施するための光学系の一例を示す線図である。

【図2】ホログラムを再生する際の回折現象を示す概念図である。

【図3】ホログラフィ干渉法の原理を説明するための線図である。

【図4】一連の変位計測工程を示す線図である。

【図5】本発明による画像再生方法を説明するための線図である。

【図6】撮像光学系の変形例の原理を示す線図である。

【図7】撮像光学系の変形例の具体例を示す線図である。

【符号の説明】

【0028】

- 1 レーザ光源
- 2 エキスパンダ
- 3 コリメータレンズ
- 4 ビームスプリッタ
- 5 物体
- 6 CCDカメラ
- 7 PZTステージ
- 8 ミラー
- 10 半導体レーザ

10

20

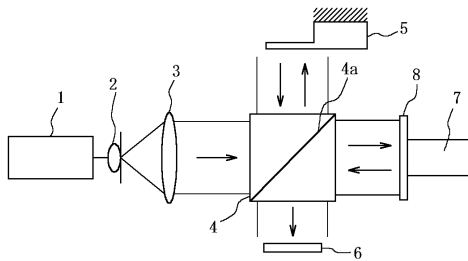
30

40

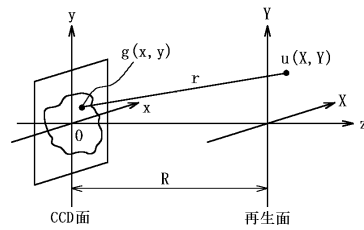
50

- 1 1 エキスパンダ光学系
- 1 2 楔
- 1 3 物体
- 1 4 C C D カメラ
- 1 5 ビームスプリッタ

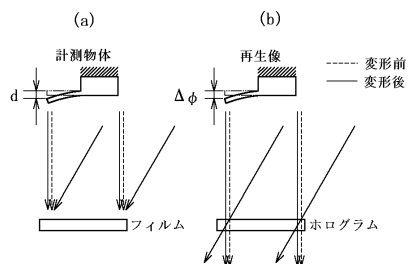
【 図 1 】



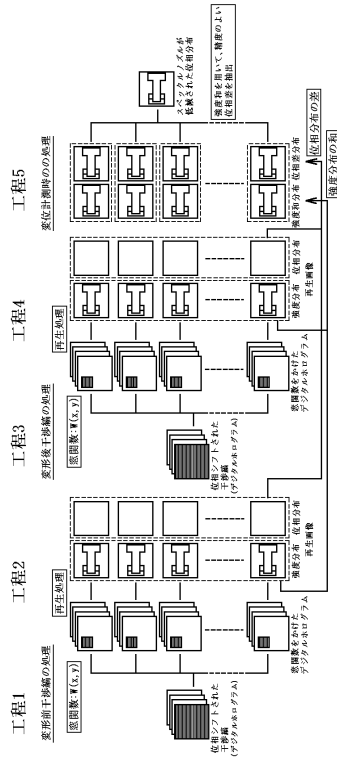
【 図 2 】



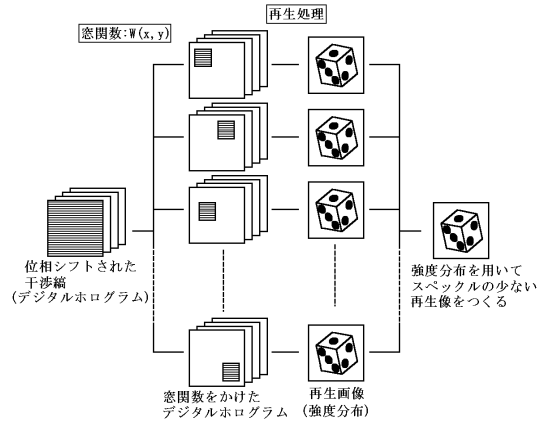
【 図 3 】



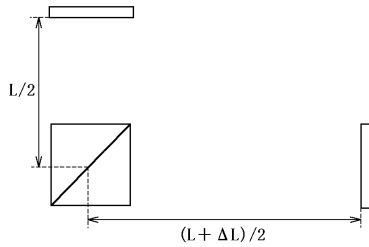
【 図 4 】



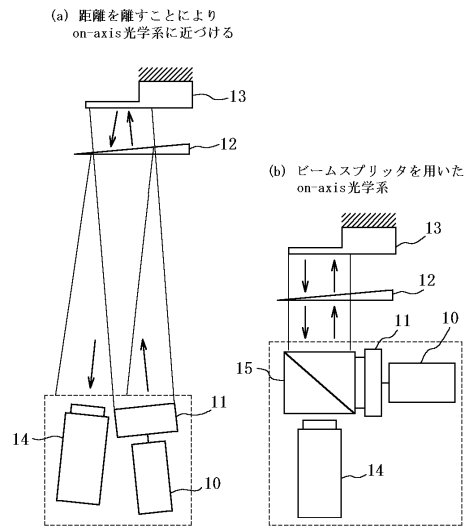
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

- (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 高橋 功
大阪府大阪市城東区森之宮1-2-104

審査官 後藤 昌夫

- (56)参考文献 特表2002-526815(JP,A)
特開平04-227590(JP,A)
特開平06-160445(JP,A)
特開平10-268740(JP,A)
奥川徹, 光波コヒーレンス関数の合成による光情報処理 - ノッチ型コヒーレンス関数の合成 - ,
電気学会研究会資料, 日本, 社団法人電気学会, 1993年11月16日, OQD-93-55
~59, 33-42頁

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 9/00 - 11/30
G03H 1/00 - 1/34