

(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2012-181027

(P2012-181027A)

(43) 公開日 平成24年9月20日(2012.9.20)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G O 1 B 9/02 (2006.01)	G O 1 B 9/02	2 F 0 6 4
G O 1 B 11/00 (2006.01)	G O 1 B 11/00 G	2 F 0 6 5

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2011-42235 (P2011-42235)	(71) 出願人	504145283
(22) 出願日	平成23年2月28日 (2011. 2. 28)		国立大学法人 和歌山大学
			和歌山県和歌山市栄谷930番地
特許法第30条第1項適用申請有り 平成23年2月16日発表 国立大学法人和歌山大学 平成22年度 和歌山大学大学院システム工学研究科 知的計測クラス修士論文発表会		(72) 発明者	藤垣 元治
			和歌山県和歌山市栄谷930
		(72) 発明者	西谷 陸
			和歌山県和歌山市栄谷263-12 リカ
			ハウス2-1
		Fターム(参考)	2F064 AA01 AA09 AA15 CC10 EE01
			FF01 FF03 GG12 GG22 GG52
			GG61 HH03 HH08 JJ01 KK04
			2F065 AA02 AA09 AA20 BB25 DD02
			FF52 GG04 JJ01 JJ03 JJ18
			JJ26 LL00 LL04 LL12 LL46
			MM03 PP12 QQ04

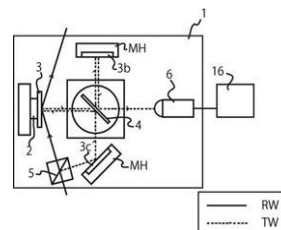
(54) 【発明の名称】 小型位相シフト装置

(57) 【要約】

【課題】 安価で小型の位相シフト機構を提供すること。

【解決手段】 従来の位相シフト機構でよく知られている、フィードバック制御機能付きピエゾステージの代わりに、(1) 参照光を位相シフトする鏡にトリガ光を反射させ、(2) 参照光よりもトリガ光が数倍多く位相シフトするように参照光とトリガ光の入射角を変え、(3) トリガ光で得られる干渉縞を検出する光センサーによってカメラのトリガ信号を作ること、従来のフィードバック制御機能付きピエゾステージを使用することなく、安価・小型の位相シフト機構を提供することができる。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射した光を、参照光とトリガ光に分ける第 1 の光学素子と、
前後に伸縮する変位素子と、
前記第 1 の光学素子により分けられた参照光を反射させる、前記変位素子に付けられた第 1 の鏡と、
前記第 1 の光学素子により分けられたトリガ光を反射および透過させる第 2 の光学素子と、
前記第 2 の光学素子を透過した前記第 1 の光学素子により分けられたトリガ光を、再度前記第 2 の光学素子の方向に反射させる第 2 の鏡と、
前記第 1 の鏡から反射されたトリガ光と、前記第 2 の鏡から反射されたトリガ光によって得られる干渉縞の明暗の信号をとらえる光センサー、
とを備えた位相シフト機構。

10

【請求項 2】

前記トリガ光の光路中に第 3 の鏡を備えることを特徴とする、請求項 1 に記載の位相シフト機構。

【請求項 3】

前記光センサーがとらえた信号をトリガ信号に変換するトリガ用電子回路を備えることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載の位相シフト機構。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザー干渉法の位相シフト法による位相解析を行う場面、例えば、変位分布計測やひずみ分布計測、三次元計測等で使用する装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

現在、構造物の変位・ひずみを計測することは、製品の設計や安全性評価、建築物の補修・長寿命化等の分野において非常に重要となっている。特に、現場で使用可能な可搬型の計測装置が必要とされてきている。

【0003】

非特許文献 1 には、アクチュエータでたわませた梁を使用し、平板ガラスを微小に傾けさせることによって、ガラスを透過する光路長が微小に変化することで位相シフトさせる方法が開示されている。

30

【0004】

特許文献 1 には、2 光束を異なった方向から同じ入射角度で変位前後の物体に投影し、参照光の位相を書定量だけシフトさせながら撮影し、それぞれの入射光で変位によって生じた位相分布を求め、それぞれ位相分布の差と和を求めることで面内・面外変位を表す位相分布を得ることができる手法が開示されている。

【0005】

特許文献 2 には、計測物体に 3 つの異なる方向から同一波長の物体光を照射し、物体光と同一波長を有する 3 つの参照光と計測物体からの反射光との干渉像を、各参照光の位相を互いに異なる速度で物体光に対して変化させつつ複数枚、2 次元撮像素子で撮影し、フーリエ変換を用いて位相変化速度の異なる干渉成分を抽出することで 3 つの物体光による干渉像を分離し、各干渉像より、各物体光の照射方向に応じた方向の計測物体の位相分布を計測することにより変位を計測する手法が開示されている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献 1】特開 2007-071584 号公報

【特許文献 2】特開 2007-240465 号公報

50

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】松川仁登美、藤垣元治、松井徹、森本吉春、はりのたわみを利用した位相シフト装置の試作、第10回知能メカトロニクスワークショップ講演論文集（2005）pp120-124

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら非特許文献1では、梁を動かすためにステッピングモーターを用いる等、大がかりな作業が必要となる。また、特許文献1と2においても、装置全体が大きく、持ち運ぶことができない。

【0009】

本発明は、上記問題点を解決するために、安価・小型の位相シフト機構を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0010】

発明者らは、上記問題を解決するために、フィードバック制御機能が付いているピエゾステージを使用する代わりに、干渉縞から発せられる明暗の信号をとらえる光センサーを付けることにより、フィードバック制御機能を用いることのないピエゾ素子を使用し、位相シフト機構を小さくすることを見出した。

【0011】

即ち、本発明の小型位相シフト機構は、入射した光を、ハーフミラーやハーフプリズムのように参照光とトリガ光に分ける第1の光学素子と、ピエゾ素子のように電圧を加えることにより、前後に伸縮する変位素子と、前記第1の光学素子により分けられた参照光を反射させる、前記変位素子に付けられた第1の鏡と、前記第1の光学素子により分けられたトリガ光を反射および透過させるハーフミラーやハーフプリズムのような第2の光学素子と、前記第2の光学素子を透過した前記第1の光学素子により分けられたトリガ光を、再度前記第2の光学素子の方向に反射させる第2の鏡と、前記第1の鏡から反射されたトリガ光と、前記第2の鏡から反射されたトリガ光によって得られる干渉縞の明暗の信号をとらえる光センサー、とを備えることを特徴とするものである。

【0012】

また、本発明の位相シフト機構において、前記トリガ光の光路中に第3の鏡を備えることを特徴とするものである。

【0013】

また、本発明の位相シフト機構において、前記光センサーがとらえた信号をトリガ信号に変換するトリガ用電子回路を備えることを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、フィードバック制御機能の付いたピエゾ素子を使用する代わりに、干渉縞の明暗の信号をとらえる光センサーを用いることにより、機構を小型化することができる。さらに光路中に鏡を備えることにより、光軸の調整を容易に行うことができ、製造を安価に行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の一実施例を示す位相シフト機構の平面図であり、装置内を通る参照光とトリガ光の光路を表す。

【図2】本発明の一実施例を示す位相シフト機構において、第3の鏡を用いる場合の平面図であり、装置内を通る参照光とトリガ光の光路を表す。

【図3】第1の鏡に入射する参照光の鏡の位相シフト前と後の光路を表す。

【図4】変位素子の変位量と、それに伴う参照光とトリガ光の位相、参照光と物体光によ

10

20

30

40

50

る干渉縞輝度、トリガ干渉縞輝度、トリガ信号、カメラの露光タイミングを表す。

【図 5】変位素子への電圧印加時に発生するヒステリシスを表す。

【図 6】位相シフト装置を含む装置全体の平面図であり、装置内を通る物体光・参照光・トリガ光の光路を表す。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下に、本発明の実施例について図面を用いて説明する。

図 1 は、本発明の位相シフト機構の一実施例の平面図である。位相シフト機構 1 は、変位素子 2 と、第 1 の鏡 3 と、第 2 の鏡 3 b と、第 1 の光学素子 5 と、第 2 の光学素子 4 と、光センサー 6 と、トリガ用電子回路 16 とを備えている。

10

【0017】

変位素子 2 は、電圧入力回路 14 によって電圧を印加することにより、素子が伸縮し、それによって第 1 の鏡 3 を前後に動かすことができる。

【0018】

第 1 の光学素子 5 は、位相シフト機構 1 の外から入射した光を、参照光 RW とトリガ光 TW に分ける。

【0019】

第 1 の鏡 3 は、変位素子 2 に取り付けられており、第 1 の光学素子 5 を透過した参照光を位相シフト装置 1 の外へ反射させる。さらに第 1 の鏡 3 は、第 2 の光学素子 4 を経て入射してきたトリガ光 TW を再度第 2 の光学素子 4 の方向に反射させる。

20

【0020】

第 2 の鏡 3 b は、第 2 の光学素子 4 を透過したトリガ光 TW を再度第 2 の光学素子 4 の方向に反射させる。

【0021】

図 2 に示すように、第 3 の鏡 3 c を用いて、第 1 の光学素子 5 で分けられたトリガ光を一度反射させることで、光路の方向を調整することができるため、第 1 の光学素子 5 と第 2 の光学素子 4 の向きの調整を容易に行うことが可能となる。

【0022】

(参照光位相シフトにおける干渉縞を用いた撮像トリガの原理)

ここで、本発明の計測方法で用いる原理について説明する。本発明では、参照光 RW の位相が 1 周期変化する時、等間隔に複数回の明暗を繰り返すトリガ光 TW の干渉縞を得ることで、参照光 RW の位相シフト量を検知することができる。図 3 は、第 1 の鏡 3 に入射する参照光 RW の位相シフト前と後の光路を示している。トリガ光 TW を第 1 の鏡 3 に対して垂直に入射し、参照光 RW は入射角 q の方向から入射する。ここでは、変位素子 2 に取り付けられた第 1 の鏡 3 を z 方向に d_z だけ変位させる場合について述べる。図 3 において第 1 の鏡 3 は変位前を 3 a とし、変位後を 3 a' とする。参照光 RW の光路は第 1 の鏡 3 の変位前 $L_R P O_R$ および変位後 $L'_R P' O'_R$ 、トリガ光 TW の光路は変位前 $L_T P O_T$ および変位後 $L_T P' O_T$ である。参照光 RW とトリガ光 TW は、共に平面波とみなすことができ、さらに、第 1 の鏡 3 の変位 d_z は、参照光 RW とトリガ光 TW の幅と比較して十分小さいため、 $L_R P$ は $L'_R P'$ に、 $P O_R$ は $P' O'_R$ にそれぞれ平行移動するとみなすことができる。また、光源の波長を λ とする。トリガ光 TW の光路長の変化 d_t は、往復で変化するため、

30

40

【数 1】

$$d_t = 2d_z$$

(1)

となり、このときのトリガ光 TW の位相変化量 Df_t は、

【数 2】

$$\Delta\phi_t = \frac{2\pi}{\lambda} d_t = 2d_z$$

50

(2)

である。また参照光 R W の光路長の変化 d_r は、入射側と反射側で変化するため、

【数 3】

$$d_r = 2d_z \cos \theta$$

(3)

となる。また、参照光 R W の位相変化量 $\Delta\phi_r$ は、

【数 4】

$$\Delta\phi_t = \frac{2\pi}{\lambda} d_r = \frac{2\pi}{\lambda} \times 2d_z \cos \theta$$

10

(4)

である。したがって、参照光の入射角 q を調整することで、参照光 R W に対するトリガ光 T W の任意の位相変化量の比

【数 5】

$$\frac{\Delta\phi_t}{\Delta\phi_r} = \frac{1}{\cos \theta}$$

(5)

を得ることができる。例えば、参照光 R W のシフト回数を k 回とする場合、参照光 R W の 20
位相が 1 周期変化する間にトリガ光 T W は k 周期変化する必要があるので、

【数 6】

$$\cos \theta = \frac{1}{k}$$

(6)

となるように入射角 q を調整すればよい。

【0 0 2 3】

図 4 は、変位素子 2 の変位量とそれに伴う参照光とトリガ光の位相、参照光 R W と物体 30
光 O W による干渉縞輝度、トリガ干渉縞輝度、トリガ信号、カメラの露光タイミングを表している。

【0 0 2 4】

以下、計測用レーザー光源 1 1 の波長を λ とし、光路長を $\lambda/4$ ずつシフトする場合について考える。

図 1 において変位素子 2 によって第 1 の鏡 3 を変位させることにより、参照光 R W およびトリガ光 T W の位相を変化させる。以下、変位素子 2 が図 4 (a) に示すように変位する場合において考える。変位素子 2 に取り付けられた第 1 の鏡 3 の変位も変位素子 2 と同じだけ変位するため、その変位も図 4 (a) に示すものとなる。また、その時の参照光 R W およびトリガ光 T W の位相の変化を図 4 (b) に示す。トリガ光 T W は第 1 の鏡 3 に入射するため、第 1 の鏡 3 を $\lambda/2$ 変位させたとき、トリガ光 T W の光路長は λ 、つまり位相では 2π 変化する。参照光 R W は変位素子 2 に取り付けられた第 1 の鏡 3 に対して入射角 $q = \cos^{-1}(\lambda/4)$ の方向から入射しているため、参照光 R W に対するトリガ光 T W の位相変化量は図 4 (b) に示す通り、参照光の位相変化量の 4 倍となる。図 4 (c) に、図 4 (b) に示す参照光 R W の位相に対する参照光 R W の輝度を表す。また、図 4 (d) に、トリガ光 T W の位相に対するトリガ光 T W の輝度を示す。光センサー 6 では、図 4 (d) に示すトリガ光 T W の輝度が観測される。この輝度変化に対して、一定の閾値（トリガ閾値）を設けることで、図 4 (e) に示すトリガ信号が得られる。トリガ信号の立ち下がりには図 4 (b) に示す参照光 R W の位相が $\pi/2$ 変化する毎に発生する。このトリガ信号の立ち下がりによってカメラの露光が開始され、別途設定しておいた一定の露光時間の経過後に露光が終了する。この露光タイミングを図 4 (f) に示す。さらにその露光時間によってカメラが撮影する光量は、図 4 (c) の 50

斜線部にそれぞれ示す輝度変化の積分値となる。

【0025】

このようにすることで、図5に示すようなヒステリシスを変位素子2が持っていたとしても、参照光RWの位相が $\pi/2$ だけ変位する毎にトリガ信号が出力されることになり、正確に $\pi/2$ ずつ位相シフトされた干渉縞の画像を撮影することが可能となる。

【0026】

(実施例)

以下、図面を用いて装置全体を説明する。なお、位相シフト機構は、図2の第3の鏡3cを用いた場合とする。また、この実施例においては、変位素子として電圧を印加することで伸縮するピエゾ素子を用い、第1の光学素子、第2の光学素子、第3の光学素子としては、それぞれハーフミラーやハーフプリズムを用いることとする。

10

【0027】

図6は本発明の位相シフト機構1を用いた装置全体の平面図である。

まず、変位素子2に電圧印加回路14、光センサー6にトリガ用電子回路16を接続する。変位素子2に接続された電圧印加回路14の電源を入れ、変位素子2に電圧を印加する。変位素子2に電圧を印加することで、変位素子2が伸縮し、第1の鏡3が前後に動くようになる。

【0028】

次に、計測用レーザー光源11からレーザーを照射する。計測用レーザー光源11から照射されたレーザー光は、第3の光学素子5bに到達する。このとき、レーザー光は物体光OWと参照光RWに分けられる。分けられた物体光OWは、スペイシャルフィルタ12aで整えられ、レンズ13a、反射鏡15aを経て計測対象物Oに照射される。計測対象物Oに照射された物体光OWは、計測対象物Oの表面で散乱し、その散乱光の一部はガラス板17を透過して撮像装置18に到達する。

20

【0029】

第3の光学素子5bによって分けられた参照光RWは、図1に示す位相シフト機構1内の第1の光学素子5に到達する。この時、第1の光学素子5によってそのまま透過する参照光RWと機構1内を移動するトリガ光TWに分けられる。第1の光学素子5を透過した参照光RWは、変位素子2に取り付けられている第1の鏡3に反射され、機構1外へ出射する。その後、機構1外へ出射された参照光は、物体光OWと同じように反射鏡15b、スペイシャルフィルタ12b、レンズ13b、反射鏡15cを経て、ガラス板17で反射され、撮像装置18に到達する。この時、計測対象物Oの表面からガラス板17を透過して撮像装置18に到達した光と干渉することで、干渉パターンが形成され、その干渉パターンの明暗が撮像装置18に記録される。なお、変位素子2に取り付けられた第1の鏡3への参照光RWの入射角度については、 $\cos^{-1}(1/4)$ の角度にしているが、特に限定はしない。

30

【0030】

第1の光学素子5によって分けられたトリガ光TWは、図1に示す位相シフト機構1内では、第2の光学素子4がないので、直接第2の光学素子4に入射する。また、図2に示す位相シフト機構1内では第3の鏡3cに反射され、第2の光学素子4に入射する。第2の光学素子4の設置角度については、図2では45度の角度に設置されているが、特に限定はしない。

40

【0031】

第2の光学素子4に入射したトリガ光TWは、2つのトリガ光TWとして装置内を移動する。1つ目のトリガ光TWは、第2の光学素子4によって第1の鏡3に入射し、第2の光学素子の方向に反射され、第2の光学素子4を透過する。2つ目のトリガ光TWは、第2の光学素子4を透過して第2の鏡3bに入射し、第2の光学素子4の方向に反射され、第2の光学素子4で再び反射される。

【0032】

1つ目のトリガ光TWと2つ目のトリガ光TWが重なり、干渉する。干渉によって得ら

50

れる明暗の信号を光センサー 6 がとらえ、トリガ信号に変換する。

【0033】

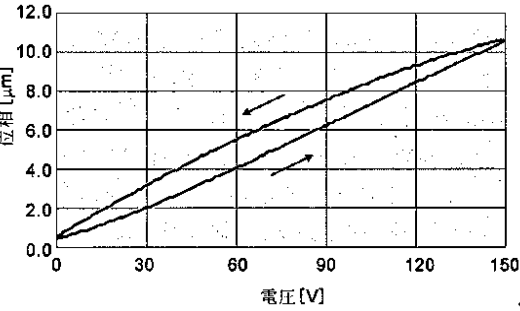
以上、具体例を挙げて本発明を詳細に説明してきたが、本発明の特許請求の範囲から逸脱しない限りにおいて、あらゆる変形や変更が可能であることは当業者に明らかである。例えば、第 1 の鏡 3 への参照光の入射角度を調整することによって、1 周期の間に位相シフトを 4 回以上行うことも可能である。また、図 6 に示した光学系とは異なる携帯の光学系にも適用は可能であり、この光学系の形態に限定されない。したがって、本発明は上記の実施形態に限定されるものではない。

【符号の説明】

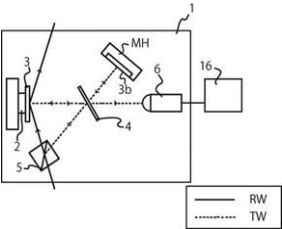
【0034】

1	位相シフト機構	10
2	変位素子	
3	第 1 の鏡	
3 a	第 1 の鏡（位相シフト前）	
3 a '	第 1 の鏡（位相シフト後）	
3 b	第 2 の鏡	
3 c	第 3 の鏡	
4	第 2 の光学素子	
5	第 1 の光学素子	
5 b	第 3 の光学素子	20
6	光センサー	
1 1	計測用レーザー光源	
1 2 a ・ 1 2 b	スペイシャルフィルタ	
1 3 a ・ 1 3 b	レンズ	
1 4	電圧印加回路	
1 5 a ・ 1 5 b ・ 1 5 c	反射鏡	
1 6	トリガ用電子回路	
1 7	ガラス板	
1 8	撮像装置	
M H	ミラーホルダー	30
O	試料	
O W	物体光	
R W	参照光	
T W	トリガ光	

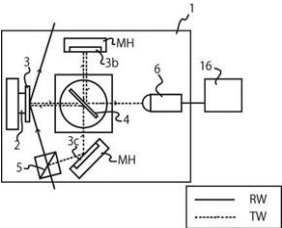
【 図 5 】



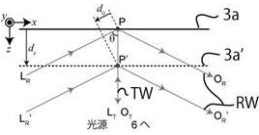
【 図 1 】



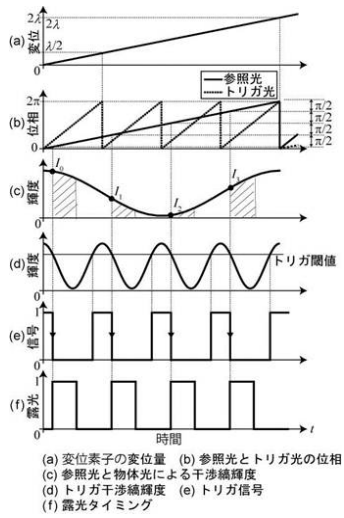
【 図 2 】



【 図 3 】



【図 4】



【図 6】

