

(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2005-291752

(P2005-291752A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005. 10. 20)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 1 N 21/17

A 6 1 B 10/00

G 0 1 B 11/00

F I

G 0 1 N 21/17

A 6 1 B 10/00

G 0 1 B 11/00

6 3 0

E

G

テーマコード (参考)

2 F 0 6 5

2 G 0 5 9

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2004-103343 (P2004-103343)

(22) 出願日 平成16年3月31日 (2004. 3. 31)

(71) 出願人 000220343

株式会社トプコン

東京都板橋区蓮沼町75番1号

(74) 代理人 100081411

弁理士 三澤 正義

(72) 発明者 チャン キンピイ

山形県山形市城西町5-27-12

(72) 発明者 秋葉 正博

山形県東村山郡中山町長崎2666-2

(72) 発明者 福間 康文

東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社

トプコン内

(72) 発明者 大塚 浩之

東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社

トプコン内

最終頁に続く

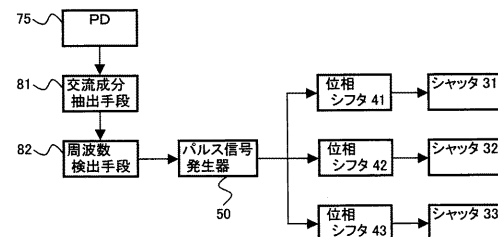
(54) 【発明の名称】 光画像計測装置

(57) 【要約】

【課題】 干渉光のサンプリングの自動化を促進する光画像計測装置を提供する。

【解決手段】 光源71からのレーザ光は、ビームスプリッタ73で二分され、一方が周波数シフトされた後ビームスプリッタ73にて重畳され干渉光を形成する。この干渉光は干渉光L、L1～L3と同じ周波数を有する。フォトディテクタ75はこの干渉光を受光し電気信号として出力する。交流成分抽出手段81はこの電気信号の交流成分を抽出する。周波数検出手段82は、この交流成分の周波数を検出する。パルス信号発生器50は、検出された周波数でパルス信号を発生して位相シフタ41～43に送信する。位相シフタ41～43は、このパルス信号の位相をシフトさせ、制御信号としてシャッタ31～33に出力する。各シャッタ31～33は、この制御信号を基に開放/遮蔽を切り換えて干渉光L1～L3をサンプリングする。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光ビームを出射する光源と、この光源からの光ビームを、被測定物体を経由する信号光と所定の参照物体を経由する参照光とに分割し、前記信号光の周波数と前記参照光の周波数とを周波数シフト手段により相対的にシフトさせた後に、前記被測定物体を経由した前記信号光と前記参照物体を経由した前記参照光とを互いに重畳させて干渉光を生成する干渉光学系とを含んでおり、前記干渉光に基づいて前記被測定物体の画像を形成する光画像計測装置であって、

前記干渉光の周波数に同期した周波数の制御信号を生成する手段と、

前記生成された前記制御信号に基づいて、前記干渉光の強度を所定の周波数にて変調する強度変調手段と、

前記強度変調された前記干渉光を受光し電気信号に変換して出力する光検出手段と、

前記光検出手段により出力された前記電気信号に基づいて、前記干渉光の強度及び位相を演算する演算手段と、

を備えていることを特徴とする光画像計測装置。

【請求項 2】

前記制御信号を生成する手段は、

前記干渉光の周波数に同期した周波数の別の干渉光を生成する光学系と、

前記別の干渉光を受光し電気信号に変換して出力する第 2 の光検出手段と、

前記第 2 の光検出手段により出力された前記電気信号を基に前記制御信号を生成する信号生成手段と、

を含んでいることを特徴とする請求項 1 に記載の光画像計測装置。

【請求項 3】

前記別の干渉光を生成する光学系は、

レーザ光を出射する第 2 の光源と、

前記第 2 の光源により出射された前記レーザ光を 2 つの光路に分割する手段と、

前記 2 つの光路をそれぞれ伝搬する前記レーザ光の周波数を、前記干渉光学系による前記シフトとほぼ同一のシフト量だけ相対的にシフトさせる手段と、

前記周波数が相対的にシフトされた前記レーザ光を重畳して前記別の干渉光を生成する手段と、

を含んでいることを特徴とする請求項 2 に記載の光画像計測装置。

【請求項 4】

前記制御信号を生成する手段は、

前記干渉光学系により生成された前記干渉光を 2 つの光路に分割する手段と、

前記分割された一方の光路を伝搬する前記干渉光を受光し電気信号に変換して出力する第 2 の光検出手段と、

前記第 2 の光検出手段により出力された前記電気信号を基に前記制御信号を生成する信号生成手段とを含み、

前記強度変調手段及び光検出手段は、前記分割された他方の光路上に配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の光画像計測装置。

【請求項 5】

前記信号生成手段は、

前記第 2 の光検出手段により出力された前記電気信号の周波数を検出する手段と、

前記検出された周波数を基に、前記同期した周波数にてパルス信号を発生するパルス信号発生手段とを含み、

前記発生されたパルス信号を基に前記制御信号を生成することを特徴とする請求項 2 ないし請求項 4 のいずれか一項に記載の光画像計測装置。

【請求項 6】

前記電気信号の周波数を検出する手段は、

前記第 2 の光検出手段により出力された前記電気信号の交流成分を抽出する交流成分抽

10

20

30

40

50

出手段と、

前記抽出された前記交流成分の周波数を検出する周波数検出手段と、
を含んでいることを特徴とする請求項 5 に記載の光画像計測装置。

【請求項 7】

前記信号生成手段は、前記パルス信号発生手段により発生されたパルス信号の位相をシフトさせて前記制御信号を生成する位相シフト手段を更に含んでいることを特徴とする請求項 5 又は請求項 6 に記載の光画像計測装置。

【請求項 8】

前記パルス信号発生手段が、前記第 2 の光検出手段により出力された前記電気信号を受け、当該電気信号と同一の周波数にて前記パルス信号を発生することにより、前記信号生成手段は、前記干渉光学系により生成される前記干渉光と同一の周波数の前記制御信号を生成することを特徴とする請求項 5 ないし請求項 7 のいずれか一項に記載の光画像計測装置。

【請求項 9】

前記パルス信号発生手段が、前記第 2 の光検出手段により出力された前記電気信号を受け、当該電気信号の n 倍又は $1/n$ 倍 (n は 2 以上の整数) の周波数にて前記パルス信号を発生することにより、前記信号生成手段は、前記干渉光学系により生成される前記干渉光と同一の周波数の前記制御信号を生成することを特徴とする請求項 5 ないし請求項 7 のいずれか一項に記載の光画像計測装置。

【請求項 10】

前記レーザ光の周波数を前記シフトさせる手段は、前記干渉光学系の前記周波数シフト手段であることを特徴とする請求項 3 に記載の光画像計測装置。

【請求項 11】

前記干渉光学系により生成された前記干渉光を複数の光路に分割する光路分割手段を更に含み、

前記強度変調手段は、前記複数の光路のうち幾つかの光路上にそれぞれ設けられており、

前記光検出手段は、前記複数の光路にそれぞれ設けられている、

ことを特徴とする請求項 1 ないし請求項 10 のいずれか一項に記載の光画像計測装置。

【請求項 12】

前記強度変調手段は、前記干渉光を前記所定の周波数にて遮断するシャッタ手段であることを特徴とする請求項 1 ないし請求項 11 のいずれか一項に記載の光画像計測装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、特に光散乱媒質の被測定物体に光ビームを照射し、その反射光もしくは透過光を用いて被測定物体の表面形態や内部形態を計測し、その画像を形成する光画像計測装置に関する。特に、光ヘテロダイン検出法を利用して被測定物体の表面形態や内部形態を計測し画像を形成する光画像計測装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、レーザ光源等を用いて被測定物体の表面や内部の画像を形成する光画像計測技術が注目を集めている。この光画像計測技術は、従来からの X 線 CT のような人体に対する有害性を持たないことから、特に医療分野における応用の展開が期待されている。

【0003】

光画像計測技術における代表的な手法の一例として低コヒーレンス干渉法(光コヒーレンス断層画像化法などとも呼ばれる)がある。この手法は、例えばスーパーluminescent diode (Super Luminescent Diode; SLD) のように広いスペクトル幅をもつ広帯域光源の低干渉性を利用して、被測定物体からの反射光や透過光を μm オーダーの優れた距離分解能で検出可能とするものである(例えば下記の非特許文

10

20

30

40

50

献 1 を参照)。

【 0 0 0 4 】

この低コヒーレンス干渉法を利用した装置の一例として、マイケルソン干渉計に基づく従来の光画像計測装置の基本構成を図 5 に示す。この光画像計測装置 1 0 0 は、広帯域光源 1 0 1、鏡 1 0 2、ビームスプリッタ 1 0 3 及び光検出器 1 0 4 を含んで構成されている。被測定物体 1 0 5 は、散乱媒質により形成されている。広帯域光源 1 0 1 からの光ビームは、ビームスプリッタ 1 0 3 により、鏡 1 0 2 に向かう参照光 R と被測定物体 1 0 5 に向かう信号光 S の 2 つに分割される。参照光 R はビームスプリッタ 1 0 3 による反射光であり、信号光 S はビームスプリッタ 1 0 3 の透過光である。

【 0 0 0 5 】

ここで、図 5 に示すように、信号光 S の進行方向を z 軸方向として定めるとともに、信号光 S の進行方向に対する直交面を x - y 面として定義する。鏡 1 0 2 は、同図中の両側矢印方向 (z - スキャン方向) に変位可能とされている。

【 0 0 0 6 】

参照光 R は、鏡 1 0 2 に反射される際にその z - スキャンによりドップラー周波数シフトを受ける。一方、信号光 S は、被測定物体 1 0 5 に照射されると、その表面及び内部層により反射される。被測定物体は散乱媒質であるので、信号光 S の反射光は多重散乱を含む乱雑な位相をもった拡散波面であると考えられる。被測定物体 1 0 5 を経由した信号光と、鏡 1 0 2 を経由し周波数シフトを受けた参照光は、ビームスプリッタ 1 0 3 によって重畳されて干渉光を生成する。

【 0 0 0 7 】

このような低コヒーレンス干渉方法を用いた画像計測では、信号光 S と参照光 R の光路長差が光源の μm オーダーのコヒーレント長 (可干渉距離) 以内でありかつ参照光 R と位相相関のある信号光 S の成分のみが参照光 R と干渉を生じる。すなわち、信号光 S のコヒーレントな信号光成分のみが選択的に参照光 R と干渉し合う。この原理から、鏡 1 0 2 の位置を z - スキャンして参照光 R の光路長を変化させることにより、被測定物体 1 0 5 の内部層の光反射プロファイルが測定される。更に、被測定物体 1 0 5 へ照射される信号光 S を x - y 面方向にも走査する。このような z 方向及び x - y 面方向のスキャンを行いながら干渉光を光検出器 1 0 4 で検出し、その検出結果として出力される電気信号 (ヘテロダイン信号) を解析することによって、被検体 1 0 5 の 2 次元断層画像が取得される (非特許文献 1 を参照)。

【 0 0 0 8 】

なお、ビームスプリッタ 1 0 3 によって重畳される参照光 R 及び信号光 S の強度をそれぞれ I_r と I_s とし、両光波の間の周波数差及び位相差をそれぞれ f_{if} 及び $\Delta\theta$ とすると、光検出器からは次式に示すようなヘテロダイン信号が出力される (例えば、非特許文献 2 を参照)。

【 0 0 0 9 】

【 数 1 】

$$i(t) \propto I_r + I_s + 2\sqrt{I_r I_s} \cos(2\pi f_{if} t + \Delta\theta) \quad (1)$$

【 0 0 1 0 】

式 (1) の右辺第 3 項は交流電気信号であり、その周波数 f_{if} は参照光 R と信号光 S が干渉されて発生するうなり (ビート) の周波数に等しい。ヘテロダイン信号の交流成分の周波数 f_{if} は、ビート周波数などと呼ばれる。また、式 (1) の右辺第 1 項及び第 2 項はヘテロダイン信号の直流成分であり、干渉光の背景光の信号強度に対応している。

【 0 0 1 1 】

しかしながら、このような従来の低コヒーレンス干渉法で 2 次元断層画像を取得するためには、被測定物体 1 0 5 に対して光ビームを走査させて、被測定物体 1 0 5 の深度方向 (z 方向) 及び断層面方向 (x - y 面方向) の各部位からの反射光波を順次 to 検出する必要がある。したがって、被測定物体 1 0 5 を計測するためには長時間を要し、また、その

10

20

30

40

50

計測原理を勘案すると計測時間の短縮を図ることは困難である。

【0012】

このような問題点に鑑み、計測時間の短縮を図るための光画像計測装置が考案されている。図6は、そのような装置の一例の基本構成が示されている。同図に示す光画像計測装置200は、広帯域光源201、鏡202、ビームスプリッタ203、光検出器としての2次元光センサレイ204、及びレンズ206、207を含んで構成されている。光源201から出射された光ビームは、レンズ206、207により平行光束にされるとともにそのビーム径が拡大され、ビームスプリッタ203によって参照光Rと信号光Sとに二分される。参照光Rには鏡202のz-スキャンによりドップラー周波数シフトが付与される。一方、信号光Sは、ビーム径が広げられているので、x-y面の広い範囲に亘って被測定物体205に入射される。よって、信号光Sは、当該入射範囲における被測定物体205の表面や内部の情報を含んだ反射光となる。参照光Rと信号光Sは、ビームスプリッタ203により重畳され、2次元光センサレイ204上に並列配置された素子(光センサ)により検出される。したがって、光ビームを走査することなく、被測定物体205の2次元断層画像をリアルタイムに取得することが可能となる。

10

【0013】

このような非走査型の光画像計測装置としては、非特許文献3に記載のものが知られている。同文献に記載の装置では、2次元光センサレイから出力される複数のヘテロサイン信号を並列配置の信号処理系に入力して、各ヘテロサイン信号の振幅と位相を検出するようになっている。

20

【0014】

しかしながら、画像の空間分解能を高めるためにはアレイの素子数を増加させなければならず、更に、その素子数に対応するチャンネル数を備えた信号処理系を用意しなければならない。したがって、高分解能の画像を必要とする医療や工業等の分野においては実用化する上で難があると思われる。

【0015】

そこで、本発明者らは、下記の特許文献1において、次のような非走査型の光画像計測装置を提案した。本提案に係る光画像計測装置は、光ビームを出射する光源と、該光源から出射された光ビームを、被検体が配置される被検体配置位置を経由する信号光と、前記被検体配置位置を経由する光路とは異なる光路を経由する参照光とに二分するとともに、前記被検体配置位置を経由した後の信号光と、前記異なる光路を経由した参照光とを互いに重畳することにより干渉光を生成する干渉光学系と、該干渉光学系が、前記信号光の周波数と前記参照光の周波数を相対的にシフトさせる周波数シフタと、前記干渉光学系が、前記干渉光を受光するために、前記干渉光を二分割して、さらに、該二分割された干渉光を周期的に遮断することにより、互いの位相差が90度である2列の干渉光パルスを生成する光遮断装置と、前記2列の干渉光パルスをそれぞれ受光する光センサと、該光センサが、空間的に配列され、それぞれが独立に受光信号を得る複数の受光素子を有するものであり、前記光センサで得られた複数の受光信号を統合して前記被検体配置位置に配置された被検体の表面もしくは内部層の、前記信号光の伝搬経路上の各関心点に対応する信号を生成する信号処理部を具備している。

30

40

【0016】

この光画像計測装置は、参照光と信号光からなる干渉光を二分して2台の光センサ(2次元光センサレイ)で受光するとともに、両センサレイの前にそれぞれ光遮断装置を配置して干渉光をサンプリングするように構成されている。そして、分割された2つの干渉光のサンプリング周期に $\pi/2$ の位相差を設けることにより、干渉光の背景光を構成する信号光と参照光の強度と、干渉光の位相の直交成分($\sin$ 成分と $\cos$ 成分)とを検出し、更に、両センサレイからの出力に含まれる背景光の強度を両センサレイの出力から差し引くことにより、干渉光の2つの位相直交成分を算出し、その算出結果を用いて干渉光の振幅を求めるようになっている。

【0017】

50

本発明者は、特許文献１に記載の光画像計測装置を再検討した結果、干渉光をサンプリングするためのシャッタの制御に関する問題点が浮かび上がってきた。まず、特許文献１に記載の光画像計測装置では、サンプリング周波数の設定が自動化されていないため、当該設定のための手間が必要であった。また、当該光画像計測装置では、ビート周波数に応じたサンプリング周波数を簡便に設定することができず、高精度のサンプリングを容易に行うことができなかった。

【００１８】

【特許文献１】特開２００１－３３０５５８号公報（請求項、明細書段落、〔００４４〕、〔００７２〕－〔００７７〕）

【非特許文献１】丹野直弘、「光学」、２８巻３号、１１６（１９９９）

10

【非特許文献２】吉沢、瀬田編、「光ヘテロダイン技術（改訂版）」、新技術コミュニケーションズ（２００３）、ｐ．２

【非特許文献３】Ｋ．Ｐ．Ｃｈａｎ、Ｋ．Ｓａｔｏｒｉ、Ｈ．Ｉｎａｂａ、「Ｅｌｅｃｔｒｏｎｉｃｓ　Ｌｅｔｔｅｒｓ」、Ｖｏｌ．３４、１１０１（１９９８）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【００１９】

本発明は、以上のような事情に鑑みてなされたもので、干渉光のサンプリング処理の自動化を促進することが可能な光画像計測装置を提供することを目的とする。

【００２０】

20

また、本発明は、高精度のサンプリングを容易に行うことが可能な光画像計測装置を提供することを他の目的としている。

【課題を解決するための手段】

【００２１】

上記目的を達成するために、請求項１に記載の発明は、光ビームを出射する光源と、この光源からの光ビームを、被測定物体を経由する信号光と所定の参照物体を経由する参照光とに分割し、前記信号光の周波数と前記参照光の周波数とを周波数シフト手段により相対的にシフトさせた後に、前記被測定物体を経由した前記信号光と前記参照物体を経由した前記参照光とを互いに重畳させて干渉光を生成する干渉光学系とを含んでおり、前記干渉光に基づいて前記被測定物体の画像を形成する光画像計測装置であって、前記干渉光の周波数に同期した周波数の制御信号を生成する手段と、前記生成された前記制御信号に基づいて、前記干渉光の強度を所定の周波数にて変調する強度変調手段と、前記強度変調された前記干渉光を受光し電気信号に変換して出力する光検出手段と、前記光検出手段により出力された前記電気信号に基づいて、前記干渉光の強度及び位相を演算する演算手段と、を備えていることを特徴とする。

30

【００２２】

ここで、「干渉光の周波数に同期した周波数の制御信号」の「同期」とは、制御信号の周波数が干渉信号の周波数と同一である場合、制御信号の周波数が干渉信号の周波数の n 倍である場合、及び $1/n$ 倍である場合を含んでいるものとする（ n は２以上の整数）。より一般に、「同期」とは、制御信号の周波数が干渉光の周波数の有理数倍（ >0 ）である場合を意味するものとする。

40

【００２３】

また、請求項２に記載の発明は、請求項１に記載の光画像計測装置であって、前記制御信号を生成する手段は、前記干渉光の周波数に同期した周波数の別の干渉光を生成する光学系と、前記別の干渉光を受光し電気信号に変換して出力する第２の光検出手段と、前記第２の光検出手段により出力された前記電気信号を基に前記制御信号を生成する信号生成手段と、を含んでいることを特徴とする。

【００２４】

また、請求項３に記載の発明は、請求項２に記載の光画像計測装置であって、前記別の干渉光を生成する光学系は、レーザ光を出射する第２の光源と、前記第２の光源により出

50

射された前記レーザ光を2つの光路に分割する手段と、前記2つの光路をそれぞれ伝搬する前記レーザ光の周波数を、前記干渉光学系による前記シフトとほぼ同一のシフト量だけ相対的にシフトさせる手段と、前記周波数が相対的にシフトされた前記レーザ光を重畳して前記別の干渉光を生成する手段と、を含んでいることを特徴とする。

【0025】

また、請求項4に記載の発明は、請求項1に記載の光画像計測装置であって、前記制御信号を生成する手段は、前記干渉光学系により生成された前記干渉光を2つの光路に分割する手段と、前記分割された一方の光路を伝搬する前記干渉光を受光し電気信号に変換して出力する第2の光検出手段と、前記第2の光検出手段により出力された前記電気信号を基に前記制御信号を生成する信号生成手段とを含み、前記強度変調手段及び光検出手段は、前記分割された他方の光路上に配置されていることを特徴とする。 10

【0026】

また、請求項5に記載の発明は、請求項2ないし請求項4のいずれか一項に記載の光画像計測装置であって、前記信号生成手段は、前記第2の光検出手段により出力された前記電気信号の周波数を検出する手段と、前記検出された周波数を基に、前記同期した周波数にてパルス信号を発生するパルス信号発生手段とを含み、前記発生されたパルス信号を基に前記制御信号を生成することを特徴とする。

【0027】

また、請求項6に記載の発明は、請求項5に記載の光画像計測装置であって、前記電気信号の周波数を検出する手段は、前記第2の光検出手段により出力された前記電気信号の交流成分を抽出する交流成分抽出手段と、前記抽出された前記交流成分の周波数を検出する周波数検出手段と、を含んでいることを特徴とする。 20

【0028】

また、請求項7に記載の発明は、請求項5又は請求項6に記載の光画像計測装置であって、前記信号生成手段は、前記パルス信号発生手段により発生されたパルス信号の位相をシフトさせて前記制御信号を生成する位相シフト手段を更に含んでいることを特徴とする。

【0029】

また、請求項8に記載の発明は、請求項5ないし請求項7のいずれか一項に記載の光画像計測装置であって、前記パルス信号発生手段が、前記第2の光検出手段により出力された前記電気信号を受け、当該電気信号と同一の周波数にて前記パルス信号を発生することにより、前記信号生成手段は、前記干渉光学系により生成される前記干渉光と同一の周波数の前記制御信号を生成することを特徴とする。 30

【0030】

また、請求項9に記載の発明は、請求項5ないし請求項7のいずれか一項に記載の光画像計測装置であって、前記パルス信号発生手段が、前記第2の光検出手段により出力された前記電気信号を受け、当該電気信号の n 倍又は $1/n$ 倍(n は2以上の整数)の周波数にて前記パルス信号を発生することにより、前記信号生成手段は、前記干渉光学系により生成される前記干渉光と同一の周波数の前記制御信号を生成することを特徴とする。

【0031】

また、請求項10に記載の発明は、請求項3に記載の光画像計測装置であって、前記レーザ光の周波数を前記シフトさせる手段は、前記干渉光学系の前記周波数シフト手段であることを特徴とする。 40

【0032】

また、請求項11に記載の発明は、請求項1ないし請求項10のいずれか一項に記載の光画像計測装置であって、前記干渉光学系により生成された前記干渉光を複数の光路に分割する光路分割手段を更に含み、前記強度変調手段は、前記複数の光路のうち幾つかの光路上にそれぞれ設けられており、前記光検出手段は、前記複数の光路にそれぞれ設けられている、ことを特徴とする。

【0033】

ここで、「幾つかの光路」とは、前記複数（ N とする）の光路のうちの任意数、すなわち $1 \sim N$ のいずれかの個数の光路を意味するものとする。

【0034】

また、請求項 12 に記載の発明は、請求項 1 ないし請求項 11 のいずれか一項に記載の光画像計測装置であって、前記強度変調手段は、前記干渉光を前記所定の周波数にて遮断するシャッタ手段であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0035】

本発明の光画像計測装置によれば、干渉光学系により生成された干渉光の周波数と同期した周波数の制御信号を基に強度変調手段が自動的に制御され、被測定物体の計測を行うことができるので、干渉光のサンプリング処理の自動化が促進される。 10

【0036】

また、制御信号の周波数は干渉光の周波数と同期されているので、高精度のサンプリング処理を容易に実行することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0037】

以下、本発明に係る光画像計測装置の実施形態の一例について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0038】

本発明に係る光画像計測装置は、ビート周波数とほぼ同一のサンプリング周波数の信号を自動生成し、この信号を基に干渉光のサンプリングを実行することにより、サンプリング処理の自動化を促進するとともに、サンプリング精度の向上を図るものである。 20

【0039】

以下、本発明に係る実施形態の一例として、干渉光の光路を 3 つに分割し、各干渉光を受光して得られるヘテロダイン信号に基づいて干渉光の信号強度及びその位相の空間分布を取得する構成を備えた光画像計測装置について説明する。ただし、本発明に係る光画像計測装置は、干渉光を 3 つの光路に分割する構成である必要はなく、適宜後述するように、干渉光の分割しない構成、2 つの光路に分割する構成、あるいは 4 つ以上の光路に分割する構成のいずれを採用してもよい。

【0040】

〔装置の構成〕

図 1 は、干渉光を 3 つの光路に分割して測定を行うように構成された光画像計測装置 1 の概略構成を示している。この光画像計測装置 1 は、例えば医療用や工業用に利用可能な装置であって、散乱媒質からなる被測定物体 0 の深さ（ z 方向）ごとの 2 次元断層画像を取得して 3 次元画像を形成するための構成を備えている。 30

【0041】

光画像計測装置 1 は、従来と同様に、低コヒーレントな連続光を出力する SLD や発光ダイオード（LED）等からなる広帯域光源 2 と、この光源 2 からの光ビームを平行光束とするとともにそのビーム径を拡大するレンズ 3、4 と、光ビームを信号光 S と参照光 R とに分割するとともに、それらを重畳して干渉光 L を生成するビームスプリッタ 5 と、全反射鏡からなる鏡 7 とを含んでいる。ちなみに、市販の近赤外域 SLD のコヒーレント長は $30 \mu\text{m}$ 程度、LED の場合には $10 \mu\text{m}$ 程度である。また、図示は省略するが、鏡 7 を参照光の進行方向に移動（ z -スキャン）させるための駆動装置が設けられている。 40

【0042】

また、鏡 7 の直前には、電気光学変調器や音響光学変調器等からなる周波数シフタ 6 が配置され、通過する参照光 R の周波数をシフトするようになっている。なお、鏡 7 を z -スキャンさせることにより参照光 R にドップラー周波数シフトを付与する構成を採用する場合には、周波数シフタ 6 は不要である。ただし、参照光 R の周波数のシフト量（つまりビート周波数）を大きくする必要がある場合などには、周波数シフタ 6 と z -スキャンとを併用可能に構成してもよい。 50

【0043】

ここで、レンズ3、4、ビームスプリッタ5、周波数シフタ6及び鏡7は、本発明にいう「干渉光学系」を構成している。また、周波数シフタ6は本発明の「周波数シフト手段」を構成し、鏡7は本発明の「参照物体」を構成するものである。なお、鏡7をz-スキャンして周波数シフトを与える場合には、この鏡7及び上記駆動装置が「周波数シフト手段」を構成する。

【0044】

また、光画像計測装置1には、ビームスプリッタ5により生成された干渉光Lを結像させる結像用レンズ群8と、この干渉光Lを2つの干渉光L1、L2、L3に分割するビームスプリッタ11、12と、干渉光検出用の蓄積型の2次元光センサアレイであるCCD（カメラ）21、22、23と、これらCCDの直前に配置され、干渉光L1、L2、L3をそれぞれ周期的に遮断する液晶シャッタ等の高速シャッタなどからなるシャッタ31、32、33とが設けられている。

10

【0045】

なお、シャッタ31、32、33は、それぞれCCD21、22、23の直前に配置されている必要はなく、ビームスプリッタ11、12による干渉光L1、L2、L3の分岐点からCCD21、22、23とを結ぶ各光路上の任意の位置に配設することが可能である。すなわち、シャッタ31、32、33は、各干渉光L1、L2、L3を遮断してCCD21、22、23による受光光量を0とすることが可能な位置に配置されていれば十分である。

20

【0046】

ここで、ビームスプリッタ11、12は、本発明にいう「光路分割手段」を構成する。また、CCD21、22、23は、本発明の「光検出手段」を構成する。更に、シャッタ31、32、33は、本発明の「強度変調手段」及び「シャッタ手段」を構成するものである。

【0047】

更に、光画像計測装置1は、パルス信号を発生させるパルス信号発生器50と、このパルス信号発生器50が発生したパルス信号の位相をシフトさせることにより、各シャッタ31、32、33の開閉タイミングをそれぞれ独立に制御するタイミング信号として出力する位相シフタ41、42、43とを備えている。

30

【0048】

各シャッタ31、32、33は、位相シフタ41、42、43からのタイミング信号に基づいて所定の周波数で干渉光L1、L2、L3をそれぞれ周期的に遮断することにより、各干渉光のサンプリングを行う。それにより、各CCD21、22、23は、対応する干渉光L1、L2、L3を周期的に受光することとなり、後述する図3（C）に示すように、干渉光を周期的なパルスの列として受光する。このとき、各シャッタ31、32、33はそれぞれ独立して開閉されるため、CCD21、22、23によりそれぞれ検出される干渉光L1、L2、L3のパルスは、所定の位相差を有するものとなる。CCD21、22、23は、各ピクセルにて受光された干渉光L1、L2、L3を光電変換し、その変換結果であるヘテロダイン信号を信号処理部60に出力する。ヘテロダイン信号は、検出された干渉光の強度及び位相を反映した電気信号である。

40

【0049】

信号処理部60は、CCD21、22、23から出力されるヘテロダイン信号に基づいて後述する演算処理を実行する本発明の「演算手段」である。更に、信号処理部60は、当該演算処理の結果を解析することにより、被測定物体Oの2次元断面画像などの各種画像を形成し、図示しないモニタ装置等の表示装置に表示させる処理を行う。このような信号処理部60は、例えば、所定の演算プログラムを格納したROM等の記憶装置と、当該演算プログラムを実行するCPUとを含んで構成されるコンピュータなどにより構成される。

【0050】

50

光源 2 から出射された光ビームは、レンズ 3 とレンズ 4 によってそのビーム径を広げられ、ビームスプリッタ 5 により信号光 S と参照光 R とに分割される。信号光 S は、被測定物体 O に入射され、その表面形態及び内部形態の情報を含む反射光波としてビームスプリッタ 5 に再び入射される。

【 0 0 5 1 】

一方、参照光 R は、周波数シフタ 6 を通過して周波数がシフトされた後、鏡 7 に伝送されて反射される。反射された参照光 R は周波数シフタ 6 を再び通過して更なる周波数シフトを受けてビームスプリッタ 5 に再び入射される。なお、前述のように鏡 7 を z - スキャンさせることにより参照光 R の周波数をシフトさせてもよい。

【 0 0 5 2 】

被測定物体 O からの信号光 S の一部はビームスプリッタ 5 により反射され、同時に、周波数シフトを受けた参照光 R の一部はビームスプリッタ 5 を透過する。それにより、信号光 S と参照光 R とはビームスプリッタ 5 により重畳されて干渉光 L が生成される。この干渉光 L は、結像用レンズ群 8 を経由してビームスプリッタ 1 1 へと伝搬される。

【 0 0 5 3 】

干渉光 L は、ビームスプリッタ 1 1 によってその光路が 2 つに分割される。ビームスプリッタ 1 1 により反射された干渉光 L 1 は、シャッタ 3 1 を介して C C D 2 1 により検出される。

【 0 0 5 4 】

また、ビームスプリッタ 1 1 を透過した干渉光は、次のビームスプリッタ 1 2 によってその光路が更に二分される。ビームスプリッタ 1 2 により反射された干渉光 L 2 は、シャッタ 3 2 を介して C C D 2 2 により検出される。

【 0 0 5 5 】

一方、ビームスプリッタ 1 2 を透過した干渉光 L 3 は、シャッタ 3 3 を介して C C D 2 3 によって検出される。

【 0 0 5 6 】

なお、ビームスプリッタ 1 1 による干渉光の分割率、つまり透過される干渉光と反射される干渉光 L 1 との強度比は 2 : 1 であることが望ましい。すなわち、ビームスプリッタ 1 1 は、入射光の 2 / 3 を透過させ、1 / 3 を反射させる特性を有していることが望ましい。また、ビームスプリッタ 1 2 により透過される干渉光 L 3 と反射される干渉光 L 2 との強度比は 1 : 1 であることが望ましい。すなわち、ビームスプリッタ 1 2 は、入射光の 1 / 2 を透過させ、1 / 2 を反射させる特性を有していることが望ましい。これにより、C C D 2 1、2 2、2 3 により検出される干渉光 L 1、L 2、L 3 は、それぞれ等しい強度レベルとされるので、後述の演算処理を行うのに好適である。ただし、分割される干渉光の強度比はこれに限定されるものではなく、適宜設定することが可能である。

【 0 0 5 7 】

更に、光画像計測装置 1 は、レーザ光を発するレーザダイオード等からなる光源 7 1 と、この光源 7 1 からのレーザ光の一部を透過させるビームスプリッタ 7 2 と、このビームスプリッタ 7 2 を透過したレーザ光を、鏡 7 に向かう光路と固定鏡 7 4 に向かう光路とに分割するとともに、両光路をそれぞれ伝搬したレーザ光を重畳させて干渉光を生成するビームスプリッタ 7 3 と、当該干渉光を受光するフォトディテクタ (P D) 7 5 とを備えている。ここで、ビームスプリッタ 7 3 と鏡 7 との間の距離と、ビームスプリッタ 7 3 と固定鏡 7 4 との間の距離とはほぼ等しく設定されている。

【 0 0 5 8 】

当該干渉光は、本発明にいう「別の干渉光」である。また、光源 7 1、ビームスプリッタ 7 3、固定鏡 7 4 及び鏡 7 は、「別の干渉光を生成する光学系」を構成する。更に、光源 7 1 は「第 2 の光源」を構成し、フォトディテクタ 7 5 は「第 2 の光検出手段」を構成している。

【 0 0 5 9 】

光源 7 1 から出力されたレーザ光は、その一部がビームスプリッタ 7 2 を透過し、次の

10

20

30

40

50

ビームスプリッタ 7 3 により鏡 7 方向の光路と固定鏡 7 4 方向の光路とに分割される。

【 0 0 6 0 】

鏡 7 方向の光路を伝搬するレーザ光は、周波数シフタ 6 を通過して周波数がシフトされた後、鏡 7 に伝送されて反射される。反射されたレーザ光は周波数シフタ 6 を再び通過して更なる周波数シフトを受けてビームスプリッタ 7 3 に再び入射される。なお、前述のように鏡 7 を z - スキャンさせて周波数シフトを付与してもよい。ここで、当該レーザ光の周波数のシフト量は、参照光 R に対する周波数シフトと（ほぼ）同一のシフト量となっている。

【 0 0 6 1 】

一方、固定鏡 7 4 方向の光路を伝搬するレーザ光は、この固定鏡 7 4 によって反射され、ビームスプリッタ 7 3 に再び入射される。

10

【 0 0 6 2 】

鏡 7 方向の光路を伝搬したレーザ光の一部は、ビームスプリッタ 7 3 により反射されてビームスプリッタ 7 2 に向かって進行する。また、固定鏡 7 4 方向の光路を伝搬したレーザ光の一部は、ビームスプリッタ 7 3 を透過してビームスプリッタ 7 2 に向かって進行する。このとき、両レーザ光は、ビームスプリッタ 7 3 により重畳されて干渉光を生成する。光源 7 1 からのレーザ光は、参照光 R と同一の周波数シフト量が与えられているので、当該レーザ光に基づく干渉光は、上記干渉光学系により生成される干渉光 L とほぼ同一のビート周波数を有している。

【 0 0 6 3 】

20

ビームスプリッタ 7 3 により生成された干渉光は、ビームスプリッタ 7 2 によりその一部が反射されてフォトディテクタ 7 5 に受光される。フォトディテクタ 7 5 は、受光した干渉光に対応する電気信号を出力する。この電気信号は、式（ 1 ）に示すヘテロダイン信号と同様に直流成分と交流成分とを有している。当該交流成分の周波数は、上述のように干渉光のビート周波数とほぼ同じである。

【 0 0 6 4 】

次に、図 2 を参照して、光画像計測装置 1 の制御系の構成について説明する。この制御系は、フォトディテクタ 7 5 が受光した干渉光に基づいてシャッタ 3 1、3 2、3 3 を制御するための構成を備えている。当該制御系は、交流成分抽出手段 8 1、周波数検出手段 8 2、パルス信号発生器 5 0 及び位相シフタ 4 1、4 2、4 3 を含んでいる。

30

【 0 0 6 5 】

交流成分抽出手段 8 1 は、フォトディテクタ 7 5 から出力された電気信号のうち、直流成分をキャンセルして交流成分のみを抽出し、電気信号として周波数検出手段 8 2 に出力する。周波数検出手段 8 2 は、交流成分抽出手段 8 1 からの電気信号を受け、上記抽出された干渉光の交流成分の周波数を検出し、パルス信号発生器 5 0 に電気信号（クロック信号）として出力する。パルス信号発生器 5 0 は、周波数検出手段 8 2 からの電気信号を受け、上記検出された干渉光の周波数でパルス信号を発生し、位相シフタ 4 1、4 2、4 3 にそれぞれ送信する。位相シフタ 4 1、4 2、4 3 は、パルス信号発生器 5 0 からのパルス信号を受け、それぞれ位相をシフトさせてシャッタ 3 1、3 2、3 3 に出力する。当該出力信号が、本発明にいう「制御信号」である。

40

【 0 0 6 6 】

ここで、光源 7 1 からのレーザ光は光源 2 からの光ビームとほぼ同じ中心波長を有すること、そして当該レーザ光に対する周波数シフト量は参照光 R に対するシフト量と同一であることから、パルス信号発生器 5 0 から出力されるパルス信号は、上記干渉光学系により生成される干渉光 L とほぼ同一の周波数を有している。

【 0 0 6 7 】

なお、交流成分抽出手段 8 1 は、フォトディテクタ 7 5 からの電気信号の直流成分をキャンセルして交流成分だけを取り出すように作用する回路によって構成されていてもよいし、フォトディテクタ 7 5 からの電気信号をデジタル的に解析して交流成分を抽出するプログラムを実行するコンピュータ装置によって構成されていてもよい。同様に、周波数検

50

出手段 8 2 は、交流成分抽出手段 8 1 からの交流電気信号の周波数を検出するように作用する回路によって構成されていてもよいし、当該交流電気信号をデジタル的に解析してその周波数を検出するプログラムを実行するコンピュータ装置によって構成されていてもよい。

【 0 0 6 8 】

また、フォトディテクタ 7 5 から出力される電気信号に基づいてその周波数を直接に検出するように作用する回路、あるいはそのような動作を行うプログラムを実行するコンピュータ装置によって構成することも可能である。

【 0 0 6 9 】

なお、交流成分抽出手段 8 1、周波数検出手段 8 2、パルス信号発生器 5 0 及び位相シフタ 4 1、4 2、4 3 は、本発明にいう「信号生成手段」を構成している。更に、交流成分抽出手段 8 1 及び周波数検出手段 8 2 は、「電気信号の周波数を検出する手段」を構成し、パルス信号発生器 5 0 は、「パルス信号発生手段」を構成し、位相シフタ 4 1、4 2、4 3 は、「位相シフト手段」を構成している。

10

【 0 0 7 0 】

また、光源 7 1、ビームスプリッタ 7 2、7 3、固定鏡 7 4、鏡 7、フォトディテクタ 7 5、交流成分抽出手段 8 1、周波数検出手段 8 2、パルス信号発生器 5 0 及び位相シフタ 4 1、4 2、4 3 は、本発明にいう「制御信号を生成する手段」を構成している。

【 0 0 7 1 】

〔測定形態〕

20

続いて、光画像計測装置 1 による干渉光 L (ヘテロダイン信号) の信号強度及びその位相の空間分布の測定形態について説明する。光画像計測装置 1 は、フォトディテクタ 7 5 による検出結果を基にシャッタ 3 1、3 2、3 3 の動作を制御することにより、サンプリング周波数の設定をしなくても干渉光のサンプリングを好適に実行可能であることを特徴としている。

【 0 0 7 2 】

まず、オペレータは、光画像計測装置 1 の電源を投入し、被測定物体 O を所定の測定位置 (図 1 に示す被測定物体 O の位置) に配置させる。測定開始のための所定の操作を行うと、光源 2 から光ビームが出射されるとともに、光源 7 1 からレーザ光が出射される。

【 0 0 7 3 】

30

光源 7 1 から出射されたレーザ光は、ビームスプリッタ 7 3 により鏡 7 方向の光路と固定鏡 7 4 方向の光路とに分割される。鏡 7 方向の光路を伝搬するレーザ光は、周波数シフタ 6 を通過して周波数がシフトされた後、鏡 7 に伝送されて反射される。反射されたレーザ光は周波数シフタ 6 を再び通過して更なる周波数シフトを受けてビームスプリッタ 7 3 に再び入射される。一方、固定鏡 7 4 方向の光路を伝搬するレーザ光は、この固定鏡 7 4 によって反射され、ビームスプリッタ 7 3 に再び入射される。両レーザ光は、ビームスプリッタ 7 3 により重畳されて干渉光を生成する。この干渉光は、ビームスプリッタ 7 2 によりその一部が反射されてフォトディテクタ 7 5 に受光される。フォトディテクタ 7 5 は、受光した干渉光に対応する電気信号を出力する。この電気信号は、上述のように、上記干渉光学系により生成される干渉光 L とほぼ同一の周波数の信号である。

40

【 0 0 7 4 】

交流成分抽出手段 8 1 は、フォトディテクタ 7 5 から出力された電気信号の直流成分をキャンセルして交流成分を抽出し、その抽出結果を電気信号として周波数検出手段 8 2 に出力する。周波数検出手段 8 2 は、交流成分抽出手段 8 1 からの電気信号に基づき、抽出された交流成分の周波数を検出し、その検出結果を電気信号としてパルス信号発生器 5 0 に出力する。

【 0 0 7 5 】

パルス信号発生器 5 0 は、周波数検出手段 8 2 からの電気信号を受け、検出された周波数にて矩形波のパルス信号を発生し、各位相シフタ 4 1、4 2、4 3 に送信する。各位相シフタ 4 1、4 2、4 3 は、パルス信号発生器 5 0 からのパルス信号の位相をシフトさせ

50

るとともに、その位相がシフトされたパルス信号列からなるサンプリング信号をシャッタ 3 1、3 2、3 3 にそれぞれ出力する。各シャッタ 3 1、3 2、3 3 は、このサンプリング信号に応じて開放 / 遮蔽を切り換えるように動作する。

【0076】

サンプリング信号は、シャッタ 3 1、3 2、3 3 の開閉タイミングを司る本発明にいう制御信号であり、その波形を定義するサンプリング関数は、パルス信号発生器 5 0 により発生されるパルス信号の波形としてあらかじめ設定されている。ここでは、上述のように矩形波が用いられている。以下、このサンプリング信号とサンプリング関数とを同一視することとする。

【0077】

図 3 は、シャッタ 3 1 による干渉光 L 1 のサンプリング動作を説明するための図である。図 3 (A) は、光センサ C C D 2 1 により受光される干渉光 L 1 の時間波形を示すものである。干渉光 L 1 によるヘテロダイン信号は、上記の式 (1) に示したように、参照光 R と信号光 S の強度に比例する背景光からなる直流成分と、干渉光 L 1 のうなりの周波数 (ビート周波数) を有する交流成分 (ビート信号などとも呼ばれる) とが重畳されたものと考えることができる。

【0078】

図 3 (B) は、シャッタ 3 1 に送信されるサンプリング関数 $m_1(t)$ の形態を示している。このサンプリング関数 $m_1(t)$ は、例えば 50 % duty の矩形波の信号列からなる。また、サンプリング関数 $m_1(t)$ の周波数 (サンプリング周波数) f_{sm} は、光源 7 1 からのレーザ光と光源 2 からの光ビームとの中心波長がほぼ同じであることから、式 (1) に示すビート周波数 f_{if} に等しいか、もしくはそれに近い値となっている (すなわち、 $f_{sm} = f_{if}$ もしくは $f_{sm} \approx f_{if}$ となっている)。シャッタ 3 1 は、このようなサンプリング関数 $m_1(t)$ にしたがって周期的に開閉 (on - off) 動作を繰り返すことにより、干渉光 L 1 のサンプリングを行う。

【0079】

図 3 (C) は、このサンプリング関数 $m_1(t)$ を用いてサンプリングを行ったときに、C C D 2 1 に入射される干渉光 L 1 の時間波形を概略的に示している。ここで、サンプリング関数 $m_1(t)$ の周波数 f_{sm} と式 (1) に示すヘテロダイン信号のビート周波数 f_{if} との差 ($\delta f = |f_{if} - f_{sm}|$) は、蓄積型光センサである C C D 2 1 の応答周波数に比べ十分に小さく設定されている。それにより、干渉光 L 1 の各周期においてほぼ同一の位相の部分がサンプリングされる。このとき、干渉光 L 1 を受光した C C D 2 1 からの出力 $i_1(t)$ は、測定時間内に C C D 2 1 に蓄積された光電荷量に比例しており、具体的には次式によって与えられる (例えば、M . A k i b a、K . P . C h a n、N . T a n n o、*「Optics Letters」*、V o l . 2 8、8 1 6 (2 0 0 3) を参照)。

【0080】

【数 2】

$$i_1(t) = \langle K_1 i(t) m_1(t) \rangle$$

$$= K_1 \left[\frac{1}{2} I_s + \frac{1}{2} I_r + \frac{2}{\pi} \sqrt{I_s I_r} \cos(2\pi \delta f t + \phi) \right] \quad (2)$$

【0081】

ここで、 $\langle - \rangle$ は C C D 2 1 の蓄積効果による時間平均を表している。また、 ϕ は測定の初期位相値を表し、 K_1 はビームスプリッタ 1 1 の反射率と C C D 2 1 の光電変換率を含めた光検出効率を表している。

【0082】

同様に、シャッタ 3 2 は、パルス信号発生器 5 0 から周波数 f_{sm} で出力されたパルス信号に基づくサンプリング関数 $m_2(t)$ にしたがって、その開閉タイミングが制御され

10

20

30

40

50

、干渉光 L 2 のサンプリングを実行する。シャッタ 3 2 によりサンプリングされた干渉光 L 2 は、CCD 2 2 により検出される。サンプリング関数 $m_2(t)$ は、干渉光 L 1 をサンプリングするサンプリング関数 $m_1(t)$ と同一の周波数 f_{sm} を有し、50% duty の矩形列の波形を有している。また、サンプリング関数 $m_2(t)$ は、サンプリング関数 $m_1(t)$ に対して位相差 $\Delta\theta_{1,2}$ を有する。この位相差 $\Delta\theta_{1,2}$ は、位相シフト 4 1、4 2 による位相のシフト量をあらかじめ設定することで生成される。以上のような条件の下に、式 (2) と同様の原理で、CCD 2 2 からは次のような出力 $i_2(t)$ が得られる。

【0083】

【数 3】

10

$$i_2 = K_2 \left[\frac{1}{2} I_s + \frac{1}{2} I_r + \frac{2}{\pi} \sqrt{I_s I_r} \cos(2\pi \delta f t + \phi + \Delta\theta_{1,2}) \right] \quad (3)$$

【0084】

ただし、 K_2 は、ビームスプリッタ 1 1 の透過率と、ビームスプリッタ 1 2 の反射率と、CCD 2 2 の光電変換率とを含めた光検出効率である。

【0085】

式 (2) と式 (3) から分かるように、CCD 2 1、2 2 からの出力には、信号光 S と参照光 R の強度 I_s 、 I_r の項とともに、干渉光 L 1、L 2 の振幅 $\sqrt{I_s I_r}$ 及び位相 $(2\pi \delta f t + \phi)$ 、 $(2\pi \delta f t + \Delta\theta_{1,2})$ に関わる項がそれぞれ含まれている。

20

【0086】

更に、シャッタ 3 3 は、パルス信号発生器 5 0 から周波数 f_{sm} で出力されたパルス信号に基づくサンプリング関数 $m_3(t)$ にしたがって、その開閉タイミングが制御され、干渉光 L 3 のサンプリングを実行する。シャッタ 3 3 によりサンプリングされた干渉光 L 3 は、CCD 2 3 により検出される。サンプリング関数 $m_3(t)$ は、サンプリング関数 $m_1(t)$ 及び $m_2(t)$ と同一の周波数 f_{sm} を有し、50% duty の矩形列の波形を有している。また、サンプリング関数 $m_3(t)$ は、サンプリング関数 $m_1(t)$ に対して位相差 $\Delta\theta_{1,3}$ を有する。この位相差 $\Delta\theta_{1,3}$ は、位相シフト 4 1、4 3 による位相のシフト量をあらかじめ設定することで生成される。このとき、式 (2) と同様の原理で、CCD 2 3 からは次のような出力 $i_3(t)$ が得られる。

30

【0087】

【数 4】

$$i_3 = K_3 \left[\frac{1}{2} I_s + \frac{1}{2} I_r + \frac{2}{\pi} \sqrt{I_s I_r} \cos(2\pi \delta f t + \phi + \Delta\theta_{1,3}) \right] \quad (4)$$

【0088】

ただし、 K_3 は、ビームスプリッタ 1 1、1 2 のそれぞれの透過率、及び CCD 2 3 の光電変換率を含めた光検出効率である。

【0089】

〔演算処理〕

40

CCD 2 1、2 2、2 3 から出力された、式 (2)、(3)、(4) に示す電気信号は、信号処理部 6 0 に送信される。信号処理部 6 0 は、これらの出力結果を用いて以下に説明するような演算を実行することにより、干渉光 L の背景光に対応する式 (1) に示すヘテロダイン信号の直流成分と、干渉光 L すなわちヘテロダイン信号の信号強度及び位相の空間分布とを算出する。

【0090】

ここで、サンプリング関数 $m_1(t)$ とサンプリング関数 $m_2(t)$ との位相差 $\Delta\theta_{1,2}$ は $-\pi/2$ に設定され、サンプリング関数 $m_1(t)$ とサンプリング関数 $m_3(t)$ との位相差 $\Delta\theta_{1,3}$ は $\pi/2$ に設定されているものとする。このとき、干渉光 L の背景光からなるヘテロダイン信号の直流成分の強度 S_1 と位相直交成分 (sin 成分と cos

50

成分) S_2 及び S_3 は、それぞれ以下の式により表される。

【 0 0 9 1 】

【 数 5 】

$$S_1 = \frac{i_2}{K_2} + \frac{i_3}{K_3} = I_s + I_r \quad (5)$$

【 0 0 9 2 】

したがって、3つのCCD 2 1、2 2、2 3のうち2台のCCD 2 2、2 3からの電気信号に基づいて、干渉光Lの背景光に対応する直流成分の強度を算出することができる。 10

【 0 0 9 3 】

【 数 6 】

$$S_2 = \frac{i_2}{K_2} - \frac{i_3}{K_3} = \frac{4}{\pi} \sqrt{I_s I_r} \sin(2\pi \delta f t + \phi) \quad (6)$$

【 0 0 9 4 】

【 数 7 】

$$S_3 = \frac{2i_1}{K_1} - S_1 = \frac{4}{\pi} \sqrt{I_s I_r} \cos(2\pi \delta f t + \phi) \quad (7) \quad 20$$

【 0 0 9 5 】

式(6)と式(7)を用いると、式(1)に示すヘテロダイン信号の振幅は次のように表される。

【 0 0 9 6 】

【 数 8 】

$$\sqrt{I_s I_r} \propto \sqrt{S_2^2 + S_3^2} \quad (8)$$

30

【 0 0 9 7 】

ここで、右辺に係る比例定数は $\pi/4$ である。したがって、式(5)により求めた直流成分を用いることにより、ヘテロダイン信号の振幅を算出することができる。したがって、上記直流成分とヘテロダイン信号の振幅とを足し合わせることで、ヘテロダイン信号の強度、すなわち干渉光Lの強度を求めることができる。

【 0 0 9 8 】

これにより、光画像計測装置1は、背景光の強度の事前測定が困難な画像計測、例えば運動物体の光断層画像計測などに有効であることを示している。また、背景光となる直流成分の強度を別途に測定しておく必要がないため、計測プロセスの簡略化を図ることができる。したがって、計測の手間が軽減され、計測時間が短縮されることとなる。 40

【 0 0 9 9 】

更に、光画像計測装置1によれば、次のような測定方法により干渉光Lの位相の空間分布を求めて画像化することができる。

【 0 1 0 0 】

ある測定時間 $t = t_1$ について、式(6)及び式(7)に示すヘテロダイン信号の干渉成分 $S_2(t_1)$ 及び $S_3(t_1)$ が取得されると、これら双方の干渉成分の比を取ることによって次式に示すような信号が得られる。

【 0 1 0 1 】

【数 9】

$$S_4 = \frac{S_2(t_1)}{S_3(t_1)} = \tan(2\pi\delta f t_1 + \phi) \quad (9)$$

【0102】

この式(9)から分かるように、信号 S_4 は干渉光 L の振幅には依存せず、その位相情報のみを含んでいる。したがって、2次元光センサアレイであるCCD21、22、23の各ピクセルにより出力されるヘテロダイン信号の位相 $\phi(x, y, t_1)$ は、次式のように表される。ここで、 (x, y) は、これらCCD上に設定された各ピクセルの位置座標を示している。

10

【0103】

【数10】

$$\phi(x, y, t_1) = \tan^{-1} \left[\frac{S_2(x, y, t_1)}{S_3(x, y, t_1)} \right] - 2\pi\delta f t_1 \quad (10)$$

【0104】

この式(10)の第2項 $2\pi\delta f t_1$ は、ゼロあるいはほぼゼロの周波数 δf を有する交流信号の測定時間 t_1 における瞬時位相値であり、CCD21、22、23のピクセルの位置(すなわち変数 x, y)によらず一定であると仮定できる。したがって、CCD21、22、23上のある座標 $x = x_1, y = y_1$ に位置するピクセルにおけるヘテロダイン信号の位相 $\phi(x_1, y_1, t_1)$ に対する、各ピクセルからのヘテロダイン信号の位相差を求めることにより、このヘテロダイン信号、すなわち干渉光 L の位相の空間分布を画像化することができる。このような干渉光の位相の空間分布測定は、その位相値を基準とする画像計測、例えばヘテロダイン干渉法による鏡状表面の高精度計測に有効であると考えられる。

20

【0105】

更に、上記の位相情報を用いると、干渉光 L の周波数情報を取得することができる。すなわち、ヘテロダイン信号の周波数 f_{if} とサンプリング周波数 f_{sm} との周波数差 δf は、ある2つの測定時間 $t = t_1$ 及び $t = t_2$ における位相の算出結果 $\phi(x, y, t_1)$ 及び $\phi(x, y, t_2)$ に基づき次式を用いて算出される。

30

【0106】

【数11】

$$\delta f = \frac{1}{2\pi} \left| \frac{\phi(x, y, t_1) - \phi(x, y, t_2)}{t_1 - t_2} \right| \quad (11)$$

【0107】

サンプリング周波数 f_{sm} は既知であるので、式(11)による算出結果からヘテロダイン信号の周波数 f_{if} 、つまり干渉光 L の周波数を算出することができる。このようなヘテロダイン周波数の測定方法は、例えば被検眼眼底の血流の状態を計測する場合など、ヘテロダイン干渉法を用いたドップラー速度計測に有効に利用可能であると考えられる。

40

【0108】

〔作用効果〕

以上のような構成の光画像計測装置1によれば、光源71からのレーザ光に基づく干渉光を受光したフォトディテクタ75からの電気信号に基づいてシャッタ31、32、33が自動的に制御されるので、装置の自動化を促進することができる。

【0109】

また、サンプリング周波数取得用の光源71からのレーザ光に付与される周波数のシフト量が、光源2からの光ビームに基づく参照光 R の周波数シフト量と同一となるように構成されていることから、サンプリング周波数取得用の干渉光の周波数は、計測用の干渉光

50

Lのビート周波数とほぼ同一であり、パルス信号発生器50が発生するパルス信号も、当該ビート周波数とほぼ同一の周波数を有することとなる。したがって、シャッタ31、32、33は、当該ビート周波数とほぼ同一のサンプリング周波数にて各干渉光L1、L2、L3をサンプリングすることとなる。それにより、光画像計測装置1によれば、シャッタ制御用の制御信号の周波数（サンプリング周波数）が自動的に好適な値に設定されるので、高精度のサンプリングを容易に行うことが可能となる。なお、制御信号の周波数と干渉光Lの周波数とはほぼ同一となるように調整されていることが好ましい。ここで、「ほぼ同一」とは、本発明の光画像計測装置による測定において無視できる程度の測定誤差が介在する場合を含んでいるものとする。

【0110】

10

〔他の実施形態〕

上述した実施形態の光画像計測装置1では、被測定物体Oを計測するための干渉光を生成する干渉光学系と、サンプリング信号を生成するための干渉光を生成する光学系とが、一部の重複（周波数シフタ6及び鏡7）を除いて、それぞれ別個に構成されている。それにより、両干渉光が互いに影響し合うことによる計測精度の低下等の悪影響を回避するとともに、両干渉光の光量を十分に確保するようになっている。一方、本発明の光画像計測装置として、計測用の干渉光とサンプリング制御用の干渉光を単一の干渉光学系により生成する構成の採用も可能である。以下、そのような光画像計測装置の一構成例について、図4を参照しながら説明する。

【0111】

20

図4に示す光画像計測装置1'は、図1にその構成を示した光画像計測装置1とほぼ同様に構成されている。すなわち、本発明にいう干渉光学系を構成する広帯域光源2、レンズ3、4、ビームスプリッタ5、周波数シフタ6及び鏡7と、結像用レンズ群8（図示省略）と、当該干渉光学系により生成された干渉光Lを分割するビームスプリッタ11、12と、光検出手段であるCCD21、22、23と、強度変調手段であるシャッタ31、32、33と、パルス信号発生器50と、位相シフタ41、42、43と、演算手段としての信号処理部60とを含んでいる。

【0112】

更に、本実施形態の光画像計測装置1'は、上記干渉光学系により生成された干渉光Lを受光するフォトディテクタ（PD）90と、干渉光Lの光路上に斜設され、干渉光Lの光路を二分しその一方をフォトディテクタ90に導くためのビームスプリッタ91とを備えている。フォトディテクタ90は、特に、干渉光Lの中心部分を受光するようになっている。

30

【0113】

また、光画像計測装置1'のシャッタ31、32、33の動作制御を行う制御系は、図2に示した構成と同様に、フォトディテクタ90と、交流成分抽出手段81と、周波数検出手段82と、パルス信号発生器50と、位相シフタ41、42、43とを備えている。すなわち、図2に示すフォトディテクタ75をフォトディテクタ90で置き換えた構成とされている。

【0114】

40

光画像計測装置1'によれば、次のような測定形態が実行される。まず、オペレータは、光画像計測装置1'の電源を投入し、被測定物体Oを所定の測定位置（図4に示す被測定物体Oの位置）に配置させる。測定開始のための所定の操作を行うと、光源2から光ビームが出射される。

【0115】

光源2から出射された光ビームは、レンズ3、4によってビーム径が拡大され、ビームスプリッタ5により鏡7方向の光路と被測定物体O方向の光路とに分割される。鏡7方向の光路を伝搬する光ビームは、周波数シフタ6を通過して周波数がシフトされた後、鏡7により反射される。反射された光ビームは周波数シフタ6を再び通過して更なる周波数シフトを受けた後、ビームスプリッタ5に再び入射される。一方、被測定物体O方向の光路

50

を伝搬する光ビームは、被測定物体 O の表面や内部にて反射され、ビームスプリッタ 5 に再び入射される。両光ビームは、ビームスプリッタ 5 により重畳されて干渉光 L を生成する。

【0116】

干渉光 L は、ビームスプリッタ 9 1 により光路が二分される。その反射光は、フォトディテクタ 9 0 に導かれる。また、透過光は、ビームスプリッタ 1 1、1 2 によって分割され、シャッタ 3 1、3 2、3 3 を介して CCD 2 1、2 2、2 3 に導かれる。

【0117】

フォトディテクタ 9 0 は、受光した干渉光 L に対応する電気信号を出力する。ここで、フォトディテクタ 9 0 は、干渉光 L の中心部分を受光するようになっているので、当該電気信号は、干渉光 L の中心波長に対応する周波数とほぼ同じ周波数を有する。すなわち、この電気信号は干渉光 L のビート周波数とほぼ同一の周波数を有している。 10

【0118】

交流成分抽出手段 8 1 は、フォトディテクタ 9 0 から出力された電気信号の直流成分をキャンセルして交流成分を抽出し、その抽出結果を電気信号として周波数検出手段 8 2 に出力する。周波数検出手段 8 2 は、交流成分抽出手段 8 1 からの電気信号に基づき、抽出された交流成分の周波数を検出し、その検出結果を電気信号としてパルス信号発生器 5 0 に出力する。

【0119】

パルス信号発生器 5 0 は、周波数検出手段 8 2 からの電気信号を受け、検出された周波数にて矩形波のパルス信号を発生し、各位相シフタ 4 1、4 2、4 3 に送信する。各位相シフタ 4 1、4 2、4 3 は、パルス信号発生器 5 0 からのパルス信号の位相をシフトさせるとともに、その位相がシフトされたパルス信号列からなるサンプリング信号をシャッタ 3 1、3 2、3 3 にそれぞれ出力する。各シャッタ 3 1、3 2、3 3 は、このサンプリング信号に応じて開放 / 遮蔽を切り換えるように動作する。 20

【0120】

このような光画像計測装置によれば、図 1 に示したようなサンプリング信号生成用の干渉光学系を別に設けなくてもよいので、シンプルな光学的構成でサンプリング制御を実行することができる。

【0121】

〔変形例〕

以下、本発明に係る光画像計測装置 1 (及び 1 ' ; 以下同様) の各種の変形例について説明する。

【0122】

上記実施形態の光画像計測装置 1 のパルス信号発生器 5 0 は、周波数検出手段 8 2 により検出された周波数でパルス信号を発生する構成、つまり、干渉光 L の周波数 (ビート周波数) と同一の周波数のサンプリング信号 (制御信号) を発生する構成となっているが、検出された周波数の n 倍又は $1/n$ 倍の周波数でパルス信号を発生し、位相シフタ 4 1、4 2、4 3 に出力するようにしてもよい (ここで、 n は 2 以上の整数) 。このとき、制御信号の周波数は、ビート周波数のそれぞれ n 倍又は $1/n$ 倍となる。 40

【0123】

パルス信号発生器 5 0 がビート周波数の n 倍の周波数でパルス信号を出力する場合、シャッタ 3 1、3 2、3 3 は、ビート周波数の n 倍の周波数で干渉光 L 1、L 2、L 3 のサンプリングを行うように制御される。すなわち、干渉光 L 1、L 2、L 3 の 1 周期のうちから n 個の区間をサンプリングする。そして、各周期において同一の位相部分がサンプリングされることとなる。したがって、より詳細なサンプリングが実行されるため、精度の高い計測を行うことができる。

【0124】

一方、パルス信号発生器 5 0 が $1/n$ 倍の周波数でパルス信号を出力すると、シャッタ 3 1、3 2、3 3 は、ビート周波数の $1/n$ 倍の周波数で干渉光 L 1、L 2、L 3 のサン 50

プリングを行う。すなわち、干渉光 L_1 、 L_2 、 L_3 は、 n 周期おきに同じ位相部分がサンプリングされる。したがって、CCD等の光検出手段の応答速度がビート周波数に追いつかないような場合であっても、好適にサンプリングを実行することができる。このように、パルス信号発生器 50 がパルス信号を発生する周波数は、検出された周波数と同期していればよい。すなわち、シャッタ 31、32、33 を制御する制御信号の周波数は、干渉光学系により生成される干渉光 L の周波数と同期されていけばよい。

【0125】

また、ビート周波数の n 倍及び $1/n$ 倍以外の周波数のサンプリング信号を適用することも可能である。具体的には、ビート周波数の有理数倍の周波数のサンプリング信号を適用することができる。サンプリング信号の周波数をビート周波数の m/n 倍 (m 、 n は 1 以上かつ互いに素な整数) とすると、干渉光 L_1 、 L_2 、 L_3 の n 周期のうちから m 個の区間がサンプリングされる。そして、 n 周期おきに同一の位相部分がサンプリングされることとなる。

10

【0126】

このようにサンプリング信号の周波数を変調するために、PLL (Phase Lock Loop; 位相同期回路) を光画像計測装置 1 の制御系に設けてもよい。PLL を適用することにより、温度変化等に左右されない安定的な周波数変調を行うことができる。なお、PLL のほかにも、回路的構成やデジタル处理的構成の各種の周波数変調手段を適用することが可能である。

【0127】

20

光画像計測装置 1 では、これら両光学系が周波数シフト 6 を共有する構成を適用しているが、これは、装置構成を簡略化するとともに、両光学系による干渉光に同一の周波数 (うなり) を付与することにより制御信号の周波数と干渉光 L の周波数との同期を精密に一致させるためである。一方、本発明の光画像計測装置としては、ほぼ同一の周波数シフト量を付与する周波数シフトを各光学系毎に配置した構成を採用することも可能である。

【0128】

光画像計測装置 1 は、高速シャッタ等のシャッタ 31、32、33 を備えているが、本発明に適用可能な強度変調手段はこれに限定されるものではない。例えば、干渉光を完全に遮断するシャッタ手段に代えて、透過率を周期的に増減させることが可能な例えば SLM (Spatial Light Modulator; 空間光変調素子) などを強度変調手段として設け、CCD等の光検出手段により受光される干渉光の強度を変調させることにより干渉光のサンプリングを行うことができる。すなわち、シャッタ手段は、光検出手段に受光される干渉光の強度を 0 と 100 (最高強度) との間で切り換えるものであるが、本発明の強度変調手段としては、干渉光の強度を例えば 10 と 80 との間で周期的に切り換えるような構成を適用することが可能である。このとき、光検出手段による検出結果に基づいて当該切り換えの時点を判別可能な程度の強度変調幅に設定することが必要である。なお、この強度変調幅は、光検出手段の検出精度等に依存する。

30

【0129】

更に、干渉光の強度変調は、2 値間での切り換えだけではなく、3 値以上の間を周期的に切り換える方式や、2 値間を周期的にかつ連続的に変化させる方式を、サンプリング態様などに応じて採用することが可能である。なお、強度変調の幅は、CCDの感度等を勘案して決定すればよい。本発明の強度変調手段としては、干渉光の強度を周期的に変調させることが可能であれば、いかなる構成を採用してもよい。また、強度変調手段と光検出手段とを一体的に構成することも可能である。

40

【0130】

ビームスプリッタ 5、11、12 としては任意の形態のものを用いることができるが、キューブ型のビームスプリッタを用いると、空気との境界面における反射光が CCD に入射してしまうおそれがあるため、プレート型やウェッジ型などのビームスプリッタを用いることが好ましい。

【0131】

50

本発明に係る光画像計測装置は、上記実施形態の光画像計測装置 1 のように、レンズ 3、4 が配置される照明系の光路と、結像用レンズ群 8 等が配置される検出系の光路とが分離して配置された光学系を採用することが好ましい。それにより、それぞれの光路上の光学素子による反射の影響が解消される。

【0132】

光画像計測装置 1 には 3 つの単体の CCD 21、22、23 が設けられているが、例えば 3 CCD タイプのカラー CCD カメラのような 3 枚式 CCD カメラ（ユニット）を使用し、各 CCD チップの前位置に強度変調手段を配設することにより外見上 1 つの CCD カメラとして構成してもよい。それにより、装置構成の簡略化や装置内の省スペース化などを図ることができる。

10

【0133】

また、1 つの CCD の受光面を複数の領域に分割し、各領域の前位置に強度変調手段を配置することにより、CCD の各領域を 1 つの CCD に見立てて干渉光を検出するように構成することもできる。このとき、CCD の当該複数の領域を覆う大きさの液晶 SLM 等からなる強度変調手段を 1 つ配置し、CCD の各領域に対応する強度変調手段の領域をそれぞれ制御することにより干渉光の検出を行うようにしてもよい。このような構成によれば、装置構成の簡略化や装置内の省スペース化を図ることができる。また、複数の CCD を互いに同期制御させてサンプリングする必要がなくなるので、制御系の簡略化を図ることも可能となる。

【0134】

CCD 等の光検出手段に蓄積された電荷の直流成分のオフセット調整や交流信号のゲイン調整を適宜行うことにより、検出される干渉光が形成する干渉縞のコントラストを向上させるように構成してもよい。

20

【0135】

本発明にいう参照物体として、2 回反射の折り返しミラーやコーナーキューブを適用することにより、z - スキャンを行う際の参照物体の移動距離を減少させることができる。それにより、装置内の省スペース化を図ることができ、また、参照物体を移動させる上記の駆動装置に掛かる負担や消費電力量を低減することが可能となる。

【0136】

本発明に係る光画像計測装置は、上記実施形態のように干渉光を 3 つの光路に分割する構成に限定されるものではなく、干渉光を分割する光路数は任意に設定することが可能である。例えば、上記の特許文献 1 に記載された光画像計測装置のように、干渉光を 2 つの光路に分割する構成を用いることができる。

30

【0137】

干渉光を複数の光路に分割する場合、各光路上に CCD 等の光検出手段を設けるとともに、1 つの光路以外の光路上にシャッタ等の強度変調手段を設ける構成とするか、又は全ての光路上に強度変調手段を設ける構成とすることが好ましい。ただし、測定方法や演算方法に応じて、分割された複数の光路のうち任意数の光路上に強度変調手段を配置した構成とすることが可能である。例えば、干渉光を 3 つの光路に分割するとともに、2 つの光路上に強度変調手段と光検出手段の双方を設け、残りの 1 つの光路上には光検出手段のみを設けた構成を採用することができる。

40

【0138】

また、本発明に係る光画像計測装置の光検出手段としては、上述した CCD 21、22、23 の他にも、積算回路を備えたラインセンサなどを適用することができる。本発明の光検出手段は、干渉光を受光して光電変換する機能と、受光した干渉光に基づく電荷を蓄積する機能との双方を備えている限り、1 次元ないし 2 次元のあらゆる構成のものを用いることが可能である。

【0139】

以上で説明した本発明の実施形態においては、マイケルソン型の干渉光学系を備えた光画像計測装置について説明したが、例えばマッハツェンダー型などその他の干渉光学系を

50

採用することも当然に可能である（例えば、本発明者らによる特許第 3 2 4 5 1 3 5 号を参照）。

【 0 1 4 0 】

また、干渉光学系の一部に光ファイバ（バンドル）を設けて導光部材として用いることにより、装置設計上の自由度を高めたり、装置のコンパクト化を図ったり、あるいは、被測定物体の配置の自由度を高めたりすることができる（例えば、本発明者らによる特許第 3 2 4 5 1 3 5 号を参照）。

【 0 1 4 1 】

本発明の光画像計測装置を例えば眼科の分野に応用すると、上述した眼底の血流状態の測定のほか、網膜や角膜の 2 次元断面像などを得ることができる。それにより、例えば角膜の内皮細胞数などを測定することが可能となる。なお、医療用や工業用などその他の分野にも各種の応用が可能であることはいうまでもない。

【 0 1 4 2 】

以上に詳述した構成は、本発明に係る光画像計測装置の実施形態の一例に過ぎないものであり、本発明の要旨の範囲内において各種の変形を施すことができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 1 4 3 】

【図 1】本発明に係る光画像計測装置の実施の形態の一構成例を示す概略図である。

【図 2】本発明に係る光画像計測装置の実施の形態の制御系の概略構成の一例を示すブロック図である。

【図 3】本発明に係る光画像計測装置による干渉光のサンプリング態様の一例を示す図である。図 3（A）は、干渉光の時間波形を示すグラフである。図 3（B）は、サンプリング関数の波形の一例を示すグラフである。図 3（C）は、サンプリングされた干渉光の波形を示すグラフである。

【図 4】本発明に係る光画像計測装置の他の実施の形態の一構成例を示す概略図である。

【図 5】従来の光画像計測装置の構成を示す概略図である。

【図 6】従来の光画像計測装置の構成を示す概略図である。

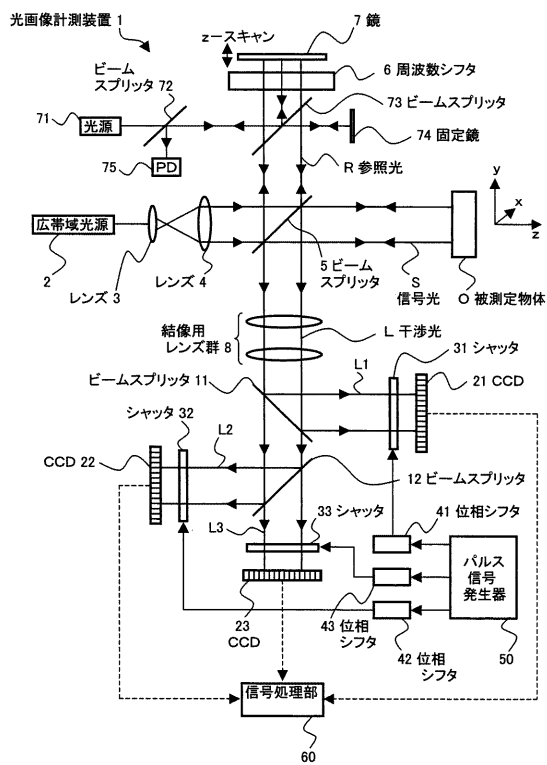
【符号の説明】

【 0 1 4 4 】

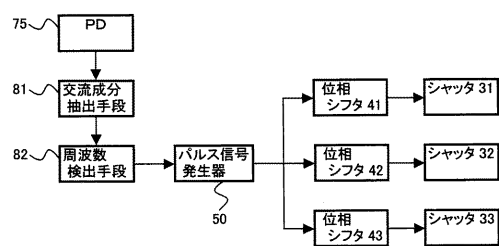
- | | | |
|------------|--------------|----|
| 1 | 光画像計測装置 | 30 |
| 2 | 広帯域光源 | |
| 3、4 | レンズ | |
| 5、11、12 | ビームスプリッタ | |
| 6 | 周波数シフタ | |
| 7、10 | 鏡 | |
| 8 | 結像用レンズ群 | |
| 21、22、23 | CCD | |
| 31、32、33 | シャッタ | |
| 41、42、43 | 位相シフタ | |
| 50 | パルス信号発生器 | 40 |
| 60 | 信号処理部 | |
| 71 | 光源 | |
| 72、73 | ビームスプリッタ | |
| 74 | 固定鏡 | |
| 75 | フォトディテクタ（PD） | |
| 81 | 交流成分抽出手段 | |
| 82 | 周波数検出手段 | |
| R | 参照光 | |
| S | 信号光 | |
| L、L1、L2、L3 | 干渉光 | 50 |

○ 被測定物体

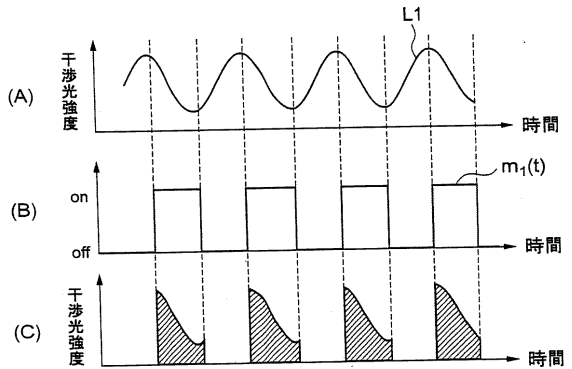
【図 1】



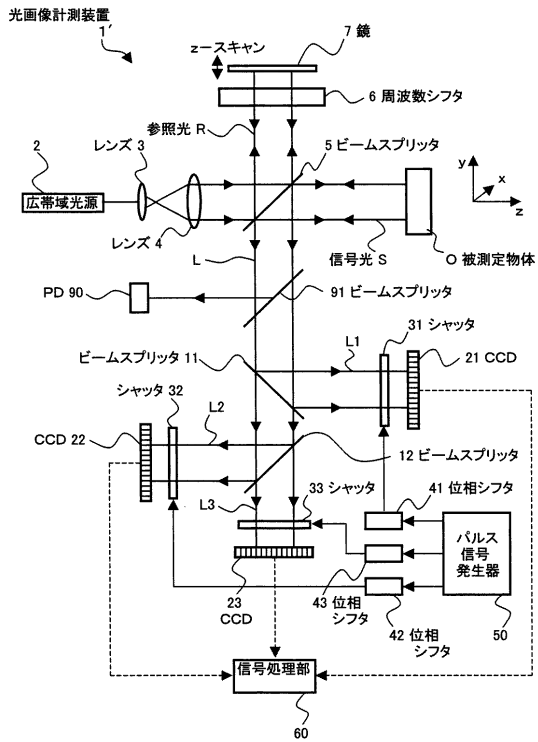
【図 2】



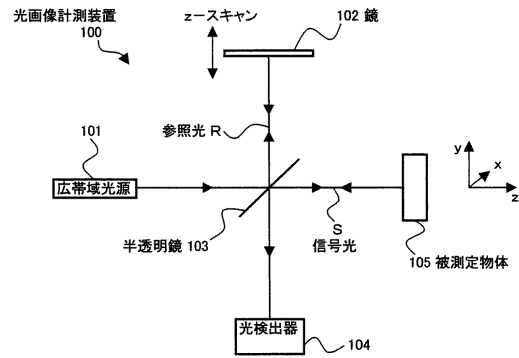
【図 3】



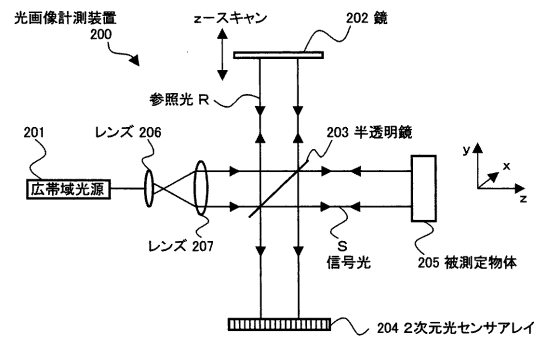
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 塚田 央

東京都板橋区蓮沼町 7 5 番 1 号 株式会社トプコン内

F ターム(参考) 2F065 BB21 DD03 FF51 GG01 GG24 HH03 JJ05 JJ19 LL04 LL12
LL57 NN08 UU05 UU07
2G059 AA05 BB12 EE09 FF01 FF02 GG01 GG02 GG03 JJ11 JJ13
JJ20 JJ22 JJ23 JJ30 KK04 MM01 MM09