

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第1区分

【発行日】平成18年3月9日(2006.3.9)

【公開番号】特開2000-186912(P2000-186912A)

【公開日】平成12年7月4日(2000.7.4)

【出願番号】特願平10-364352

【国際特許分類】

G 01 B	11/00	(2006.01)
G 01 B	9/02	(2006.01)
G 01 B	11/16	(2006.01)

【F I】

G 01 B	11/00	A
G 01 B	9/02	
G 01 B	11/16	G

【手続補正書】

【提出日】平成17年12月14日(2005.12.14)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】微小変位測定方法および装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光源からの光をビームスプリッタで分岐するステップと、
分岐された一方の光を被測定体に入射するステップと、
被測定体からの反射した戻り光をシングルモードまたは偏波面保持の第1の光ファイバ
に入力するステップと、
分岐された他方の光を参照光としてシングルモードまたは偏波面保持の第2の光ファイバ
に入力するステップと、
前記第1および第2の光ファイバの他端を揃えフェルールの中心孔に並行に収納固定し
た投射装置を用いて前記戻り光と参照光をセンサアレーに出射して干渉縞を発生させるス
テップと、
前記干渉縞の周期変位数と初期位相からの干渉縞の位相シフト量とから前記被測定体の
光軸方向の変位量を計測するステップと、
を有する微小変位測定方法。

【請求項2】 前記初期位相からの干渉縞の位相シフト量を求める手段としてフーリエ解析手法を用いる請求項1記載の微小変位測定方法。

【請求項3】 レーザ光源と、

前記光源より出射されたレーザ光をコリメートするコリメートレンズと、
コリメートされた光を反射および透過させるビームスプリッタと、
被測定体の位置で反射し前記ビームスプリッタを透過した戻り光を集光させる戻り光用
の集光レンズと、
前記戻り光用の集光レンズの集光位置に接続される第1の光ファイバと、
前記コリメートレンズによりコリメートされ、前記ビームスプリッタを透過した参照光
を再び集光させる参照光用の集光レンズと、
前記参照光用の集光レンズの集光位置に接続される第2の光ファイバと、
前記第1および第2の光ファイバの他端を揃えフェルールの中心孔に並行に収納固定さ

れた各光ファイバからの光を投射する投射装置と、

前記投射装置からの投射によって得られる干渉縞を電気信号に変換するセンサアレーと、

前記センサアレーの電気信号に基づき検出される前記干渉縞の周期変位数と初期位相からの干渉縞の位相シフト量により被測定体の変位量を出力する出力装置と、

を備える微小変位測定装置。

【請求項4】 前記初期位相からの干渉縞の位相シフト量を求める手段としてフーリエ解析手法を用いる請求項3記載の微小変位測定装置。

【請求項5】 前記コリメートレンズまたは集光レンズは、G R I Nレンズまたはマイクロレンズである請求項3記載の微小変位測定装置。

【請求項6】 前記ビームスプリッタは、キューブまたは半透鏡である請求項3記載の微小変位測定装置。

【請求項7】 前記被測定体の位置で反射し前記ビームスプリッタを通過した戻り光を集光させる戻り光用の集光レンズは、戻り光を反射鏡で反射させて参考光用の集光レンズと平行な方向で集光可能に配置される請求項3記載の微小変位測定装置。

【請求項8】 半導体レーザモジュールと、

前記半導体レーザモジュールからのレーザ光を分岐する第1の光カプラと、

前記第1の光カプラの一方の分岐路に分岐されたレーザ光を通過させ、その戻り光を分岐させる第2の光カプラと、

前記第2の光カプラの分岐部を通過した光をコリメートして被測定体に投射し、前記被測定体からの反射光を集光して前記第2の光カプラに接続するコリメートレンズと、

前記第2の光カプラの他方の分岐路に接続されるシングルモードまたは偏波面保持の第1の光ファイバと、

前記第1の光カプラの他方の分岐路に接続されるシングルモードまたは偏波面保持の第2の光ファイバと、

前記第1および第2の光ファイバの他端を揃えフェルールの中心孔に並行に収納固定した投射装置と、

前記投射装置からの投射によって得られる干渉縞を電気信号に変換するセンサアレーと、

前記センサアレーの電気信号に基づき検出される前記干渉縞の周期変位数と初期位相からの干渉縞の位相シフト量により被測定体の変位量を出力する出力装置と、

を備える微小変位測定装置。

【請求項9】 前記半導体レーザモジュール、光ファイバ、光カプラ、投射装置は、いずれかまたは全てが光集積回路素子で構成される請求項8記載の微小変位測定装置。

【請求項10】 被測定体は反射鏡と前記反射鏡を駆動するマイクロアクチュエータを持ち、前記マイクロアクチュエータの駆動方向は前記反射光の光軸と並行であり、前記マイクロアクチュエータの変位量を測定するものである請求項3～9記載の微小変位測定装置。

【請求項11】 前記光ファイバは、シングルモード光ファイバもしくは偏波面保持の光ファイバである請求項3記載の微小変位測定装置。

【請求項12】 前記ビームスプリッタで分岐されたレーザ光を集光させて被測定体に照射することのできる集光レンズを備える請求項3記載の微小変位測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、微小変位をレーザ光の干渉を利用して光学的に測定する測定方法およびその方法を実施するための装置に関する。この測定方法および装置は、計測制御システムにおいて、多用されている圧電素子アクチュエータ(P Z T)等の性能の厳密な評価に利用することができるものである。

【0002】

【従来の技術】

従来より、微小変位量の測定方法として干渉計を用いた方法がある。例えば、トワイマン・グリーン干渉計に2波長のレーザ光を入射させ各電圧毎の変位による干渉出力変位をヘテロダイン検波によるパルス信号とし計数することで変位量を求める評価装置がある。しかし、このヘテロダイン方式では時系列の周波数変調素子および検波回路を必要とする上、検波回路が複雑であり、光学系も大きくなる欠点がある。

【0003】

また、最近では図10に示すごとく、トワイマン・グリーン干渉計では、レーザ光源1からの光をコリメートレンズ14で平行光とし、被測定体4に出射し反射した戻り光と、参照用ミラー15で反射した参照光とを合成し直線キャリアをもつ干渉縞を投影面16に直接形成させる装置が提案されている。その初期位相からの変位を被測定体4の軸方向の変位量としてフーリエ解析により求められる。この場合、被測定体のエリアより直接得られた干渉パターンを解析するための画像処理装置が大きくなり、その干渉縞は参照用ミラーに対する被測定体の反射面の傾き角度が縞ピッチのファクタであるため、光学系のアライメントが困難で測定中も光学系の揺れに敏感で安定性に難がある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

従来の干渉計を用いた変位量測定装置では干渉光学系が複雑で筐体が大形になり、光路の調整も困難で再現性に問題があり、また出力もアナログ回路に依存するため変位分解能に限界がある等、種々の問題があった。

本発明の主たる目的は、光ファイバを用いて、微小変位に基づくレーザ光の干渉を発生させて、測定する測定方法およびその方法を実施するための装置を提供することにある。

本発明のさらに具体的な目的は、計測制御システムにおいて、多用されている圧電素子アクチュエータ(PZT)等の性能を厳密な評価に利用することができる測定方法および装置を提供することにある。

【0005】

本発明のさらに具体的な目的は、マイクロアクチュエータの変位量測定を主たる用途に定め、被測定体の微小範囲のみを出射することで光学系の小形化、測定再現性の改善、高分解能を可能とする微小変位量測定系の開発およびその測定系を構成要素とする圧電素子アクチュエータ(PZT)制御系機器の位置決め装置の開発を支援できる測定方法および装置を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】

前記目的を達成するために、本発明による測定方法の原理は、トワイマン・グリーン干渉計の光学系を利用し被測定体からの反射した戻り光と参照光をそれぞれ集光レンズにより光ファイバに入力し、光ファイバの他端より放射される光をヤング干渉計の原理により干渉縞を得てその干渉縞の横方向の変位が被測定体の微小変位に比例することにより被測定体の微小変位量を測定する。

【0007】

前記目的を達成するために、本発明による請求項1記載の微小変位測定方法は、レーザ光源からの光をビームスプリッタで分岐するステップと、分岐された一方の光を被測定体に入射するステップと、被測定体からの反射した戻り光をシングルモードまたは偏波面保持の第1の光ファイバに入力するステップと、分岐された他方の光を参照光としてシングルモードまたは偏波面保持の第2の光ファイバに入力するステップと、前記第1および第2の光ファイバの他端を揃えフェルールの中心孔に並行に収納固定した投射装置を用いて前記戻り光と参照光をセンサアレーに出射して干渉縞を発生させるステップと、前記干渉縞の周期変位数と初期位相からの干渉縞の位相シフト量とから前記被測定体の光軸方向の変位量を計測するステップと、を有するものである。

本発明による請求項2記載の微小変位測定方法は、請求項1記載の方法において、前記初期位相からの干渉縞の位相シフト量を求める手段としてフーリエ解析手法を用いるもの

である。

【 0 0 0 8 】

前記目的を達成するために、本発明による請求項3記載の微小変位測定装置は、レーザ光源と、前記光源より出射されたレーザ光をコリメートするコリメートレンズと、コリメートされた光を反射および透過させるビームスプリッタと、被測定体の位置で反射し前記ビームスプリッタを透過した戻り光を集光させる戻り光用の集光レンズと、前記戻り光用の集光レンズの集光位置に接続される第1の光ファイバと、前記コリメートレンズによりコリメートされ、前記ビームスプリッタを透過した参照光を再び集光させる参照光用の集光レンズと、前記参照光用の集光レンズの集光位置に接続される第2の光ファイバと、前記第1および第2の光ファイバの他端を揃えフェルールの中心孔に並行に収納固定された各光ファイバからの光を投射する投射装置と、前記投射装置からの投射によって得られる干渉縞を電気信号に変換するセンサアレーと、前記センサアレーの電気信号に基づき検出される前記干渉縞の周期変位数と初期位相からの干渉縞の位相シフト量により被測定体の変位量を出力する出力装置と、を備えるものである。

本発明による請求項4記載の微小変位測定装置は、請求項3記載の装置において、前記初期位相からの干渉縞の位相シフト量を求める手段としてフーリエ解析手法を用いるものである。

本発明による請求項5記載の微小変位測定装置は、請求項3記載の装置において、前記コリメートレンズまたは集光レンズは、GRINレンズまたはマイクロレンズを用いるものである。

本発明による請求項6記載の微小変位測定装置は、請求項3記載の装置において、前記ビームスプリッタは、キューブまたは半透鏡を用いるものである。

本発明による請求項7記載の微小変位測定装置は、請求項3記載の装置において、前記被測定体の位置で反射し前記ビームスプリッタを通過した戻り光を集光させる戻り光用の集光レンズは、戻り光を反射鏡で反射することで参照光用の集光レンズと平行な方向で集光可能に配置されるものである。

【 0 0 0 9 】

前記目的を達成するために、本発明による請求項8記載の微小変位測定装置は、半導体レーザモジュールと、前記半導体レーザモジュールからのレーザ光を分岐する第1の光カプラと、前記第1の光カプラの一方の分岐路に分岐されたレーザ光を通過させ、その戻り光を分岐させる第2の光カプラと、前記第2の光カプラの分岐部を通過した光をコリメートして被測定体に投射し、前記被測定体からの反射光を集光して前記第2の光カプラに接続するコリメートレンズと、前記第2の光カプラの他方の分岐路に接続されるシングルモードまたは偏波面保持の第1の光ファイバと、前記第1の光カプラの他方の分岐路に接続されるシングルモードまたは偏波面保持の第2の光ファイバと、前記第1および第2の光ファイバの他端を揃えフェルールの中心孔に並行に収納固定した投射装置と、前記投射装置からの投射によって得られる干渉縞を電気信号に変換するセンサアレーと、前記センサアレーの電気信号に基づき検出される前記干渉縞の周期変位数と初期位相からの干渉縞の位相シフト量により被測定体の変位量を出力する出力装置と、を備えるものである。

【 0 0 1 0 】

本発明による請求項9記載の微小変位測定装置は、請求項8記載の装置において、前記半導体レーザモジュール、光ファイバ、光カプラ、投射装置は、いずれかまたは全てが光集積回路素子で構成されるものである。

【 0 0 1 1 】

本発明による請求項10記載の微小変位測定装置は、請求項3～9記載の装置において、被測定体は反射鏡と前記反射鏡を駆動するマイクロアクチュエータを持ち、前記マイクロアクチュエータの駆動方向は前記反射光の光軸と並行であり、前記マイクロアクチュエータの変位量を測定するものである。

【 0 0 1 2 】

本発明による請求項11記載の微小変位測定装置は、請求項3記載の装置において、前

記光ファイバは、シングルモード光ファイバもしくは偏波面保持の光ファイバを用いるものである。

本発明による請求項12記載の微小変位測定装置は、請求項3記載の装置において、前記ビームスプリッタで分岐されたレーザ光を集光させて被測定体に照射することができる集光レンズを備えるものである。

【0013】

【作用】

図9はヤング干渉計を示し、遮光板に設けられた間隔がDである2個のピンホール P_1 、 P_2 をそれぞれ通過した同一光源の光は距離Lの位置に線分 P_1 、 P_2 に垂直な直線キャリアを持つ干渉縞を形成する。ここで干渉縞のピッチ λ は、 $\lambda = L / D$ を光源の波長とするとき次の式で示される。

$$\lambda = L / D$$

本発明はこのヤング干渉計の原理を利用し2個のピンホールに代えて2本の光ファイバから投射される光により生ずる干渉縞を利用するものである。

【0014】

ピエゾ圧電素子(PZT)を多層に重ねたスタック形マイクロアクチュエータ4に電圧を加えたときの微小変位を測定することができる。図1において、レーザ光源1からの出射光をマイクロレンズ2でコリメートしその光をビームスプリッタ3で分岐させその一方をマイクロアクチュエータ4に出射しその反射した戻り光を集光レンズ5Aで集光し光ファイバ6に入射させる。

ビームスプリッタ3で分岐された他方のコリメート光は直接集光レンズ5Bで集光し別の光ファイバ7に入射させ参照光とする。前記2本の光ファイバの他端は平行に図2に見られるフェルール8の中心孔に挿入固定される。そこより投射される2本の出射光は前記ヤング干渉計の原理に基づきセンサアレー9上に干渉縞が発生しビデオモニタ10で観察可能となる。

【0015】

このとき、マイクロアクチュエータに微小変位を与えると反射した戻り光の位相が変化し干渉縞は縞の横方向に変位する。この変位量とマイクロアクチュエータ4の微小変位量との相関は反射した戻り光を利用するトワイマン・グリーン干渉計の理論にしたがい、反射位置の微小変位(1/2)が干渉縞の変位本数に相当することとなる。したがって、干渉縞の周期変位数をカウントすることでマイクロアクチュエータの変位量を算出することができる。また、干渉縞の1周期以下の微小変位部分については、初期位相からの干渉縞位相シフト量をセンサアレー出力をフーリエ解析により処理することで求めることができる。この計測手段を用いれば被測定体の変位量を(1/200)までの分解能で求めることが可能である。

【0016】

【発明の実施の形態】

以下図面等を参照して本発明による装置の実施の形態を説明する。

図1に示した実施例は本発明の基本的構成になる微小変位測定装置を示したものである。以下に具体的な構造と動作を説明する。

まず、半導体レーザ光源1より波長 $\lambda = 0.780 \mu\text{m}$ のレーザ光が出射され、GRINレンズで構成されるコリメートレンズ2の焦点を通過したレーザ光は前記コリメートレンズにより、直径0.4mmの平行光となりキューブ形ビームスプリッタ3に導かれる。前記ビームスプリッタ3は、波長780nmの光の一部を反射させ残りを通過させるよう構成されている。前記ビームスプリッタ3に導かれた前記平行光は一部を入射光軸の直角の方向に反射直進し、前方に設置された被測定体4を平行光で出射する。

【0017】

前記被測定体4の照射面は反射機能を有すべく加工され、照射光は反射され入射光軸に沿って再び前記ビームスプリッタ3に戻り一部透過した平行光がGRINレンズで構成される集光レンズ5Aで焦点位置に集光される。その焦点位置には集光に適した形状に研磨

加工された端面を有する第1のシングルモード光ファイバ6の前記端面が配置され、集光された光は前記端面より光ファイバコア内に伝送される。

【0018】

一方、コリメートレンズ2よりビームスプリッタ3に入射し直接透過した残りの平行光は、前述の集光レンズ5Aの場合と同様にG R I Nレンズで構成される集光レンズ5Bで焦点位置に集光される。そして、そこに接続されている第2のシングルモード光ファイバ7の端面よりコア内に伝送される。

【0019】

前述した第1および第2のシングルモード光ファイバ6および7の素線径は $125\mu m$ であり、それぞれの他端は図2に示すとく光ファイバフェルール8aの中心孔、例えは、梢円または小判形の孔の内径に挿入固定される。

素線径 $125\mu m$ の光ファイバ素線部分6, 7が並行密着して挿入固定され、素線間のピッチDは素線径に等しく $125\mu m$ である。

光ファイバを接着固定した前記フェルール8aの端面は鏡面研磨され投射ピッチ $125\mu m$ の投射装置である投射手段8を構成する。

【0020】

前記投射装置8は2本の光ファイバ素線端面が水平になるよう設定され、それぞれの光ファイバ端面より放射される光は、一方は光ファイバ6の被測定体4からの反射した戻り光であり、他方は光ファイバ7のレーザ光源から直接伝送された参照光である。前記投射装置8に対面してCCDセンサアレー9が配置され、前記投射装置の2本の光ファイバ端面より放射される光は前記センサアレー上に投影され干渉縞が発生する。この干渉縞は水平に設置した2本の光ファイバ端面に対して垂直に縞模様が現れるので前記CCDセンサアレーは縞模様を横断する水平方向に配置される。発生する干渉縞のピッチは前記「作用」の欄に示した通り $= L / D$ となる。

【0021】

本実施例において、光ファイバ端面ピッチD = $125\mu m$ 、光源波長を $= 0.780\mu m$ および投影距離L = $30 \times 10^3\mu m$ で測定を行い、干渉縞ピッチ = $30 \times 10^3 \times 0.780 / 125 = 187\mu m$ となる。

また、前記CCDセンサアレーの画素ピッチは $7\mu m$ 仕様を用い、干渉縞ピッチの情報密度は約27ドット/波長である。

干渉縞はCCDセンサアレーにより出力され通常のCCD処理回路によりビデオモニタで観察可能である。

【0022】

本発明の具体的な目的は、前述したように被測定体4の微小変位の測定であり、本実施例ではP Z T素子を積層したスタック形P Z T(Piezoelectric transducer)に電圧を印加したときの積層の微小変位を計測する。

スタック形P Z Tに電圧を印加すると積層方向に数 μm ~数十 μm の微小変位が発生する。本干渉計では前記P Z Tの変位部分に入射した光が反射され、反射した戻り光の位相変位による干渉縞の変位本数と位相シフト量を算出することで前記P Z Tの変位量が求められる。

【0023】

この干渉縞の位相シフト量の整数部分についてはビデオモニタによるカウントでも可能である。しかし、自動的な計数手法として、前記センサアレー面に干渉縞位相 90° 相当の間隔でフォトダイオード等のセンサa, b 2個を配置し干渉縞のシフト時のa, b 2個の時系列的な出力変化をアナログ回路もしくはデジタル回路により比較することで、前記干渉縞のシフト方向およびシフト本数を求めることができる。

【0024】

一方、初期位相からの位相シフト量の小数部分の算出方法については、干渉縞の強度分布をフーリエ変換して位相シフト量を算出する方式を本願発明者の一人である来関明は以下の論文で発表している。

アプライドオプティクス 1994年09月01日 33巻 NO.25 5935~5940頁

「直線または等間隔フィズー干渉縞を解析するための高速フーリエ変換法の利用」

[Use of the fast fourier transform method for analzing linear and equi-spaced Fizeau fringes] (1 September 1994/Vol. 33, No. 25/APPLIED OPTICS 5935~5940)

以下前記論文を参照して、位相シフト量 の求め方を概略説明する。

【数1】

2 光束干渉による直線干渉縞の光強度分布は次の(1)式で与えられる。

$$I(x) = a(x)[1 + \gamma(x) \cos(2\pi f x + \phi)], \quad (1)$$

ここで $a(x)$; 平均光強度

$\gamma(x)$; 縞のコントラスト

f ; 空間キャリア周波数

ϕ ; 干渉縞の位相

(1)式のフーリエ変換は次の式で与えられる。

$$\begin{aligned} \hat{I}(v) &= \int_{-\infty}^{\infty} I(x) \exp(-2\pi i v x) dx \\ &= \hat{a}(v) + \hat{c}(v-f) \exp(i\phi) + \hat{c}(v+f) \exp(-i\phi), \\ \hat{a}(v) &= \int_{-\infty}^{\infty} a(x) \exp(-2\pi i v x) dx, \\ \hat{c}(v) &= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} a(x) \gamma(x) \exp(-2\pi i v x) dx, \end{aligned} \quad (2)$$

ここにおいて、干渉縞の一次回折成分である $\hat{c}(v)$ のピーク値、すなわち周波数 f が十分に高く、零次と一次の回折が分離される $\hat{c}(v-f)$ （但し $v=f$ ）に注目すると他の項が無視できるのでフーリエスペクトルの $\hat{c}(0)$ だけが残る。

$$\log [\hat{I}(f)] = \log [\hat{c}(0)] + i\phi, \quad (3)$$

ここで \log は複素数での対数を意味しており干渉計において $\hat{c}(0)$ は変わらないので、(3)式の虚数部を用いて干渉縞の位相（変位量） ϕ が求められる。

【0025】

図3は、干渉縞の強度分布をフーリエ変換したパワースペクトルの例であり、縦軸は光強度 I 、横軸は空間周波数 f を示す。干渉縞の位相（変位量）は前述したように光強度が一次回折のピークにおけるフーリエ係数から得られる。

【0026】

以上の計算方法で行った本実施例の測定結果を次に示す。

図4は、バイモルフ形圧電素子の先端の印加電圧に対する変位の測定結果を示す。干渉縞の計数法とフーリエ変換処理を組み合わせた場合、測定を印加電圧0～85Vとして0.1V刻みで行った例であり、測定レンジ40μmと広帯域の測定も可能であり、そのレンジ範囲の測定精度もプロットの連続性から信頼性の高い結果を示している。

【0027】

図5は、スタック形圧電素子を振動させたときの変位を本方法を用いて計測した結果である。PZTに印加する電圧を周波数0.2Hzの正弦波として振幅2Vで与えている。図のプロットから判断できるように本実施例における振動サイクルの変位分解能は1/100μmのオーダーを示した。本発明の干渉光学系およびシングルモード光ファイバを用いた125μmピッチ投射装置8により高い品質の干渉縞を得ることが可能となった。

【0028】

図6は、本発明による装置の第2の実施例を示す図である。前述した第1の実施例においてビームスプリッタ3を経由したレーザ光を直接被測定体に入射した。しかし、この実施例では、GRINレンズで構成される集光レンズ11により集光させ、その集光位置に被測定体を設置するようにしたものである。被測定体の表面が光軸に対して平行でない場合、特にバイモルフ等測定位置が光軸方向に旋回する場合、測定面積を微小にすることで光ファイバに伝送される位相情報の鋭敏性を高めることができる。

【0029】

図7は、第3の実施例であり、第1の実施例におけるビームスプリッタの反射した戻り光の出射部に反射鏡3bを追加して参照光の出射方向と同一方向に反射させ集光レンズ5A, 5Bを揃え一体にすることで干渉計全体をスリム化させ装置の小形化と被測定体に対する設置の容易さを特徴としている。

【0030】

次の実施例において、ビームスプリッタはキューブビームスプリッタまたは半透鏡で構成することができる。既知の技術として、干渉光学系の光路は参照光がビームスプリッタを透過する光であっても反射する光であっても差し支えない。当然計測用光は逆の光路を利用できる。また、一方の光路にNDフィルタを経由させ両者の光量を調整することができる。

【0031】

図8は、第4の実施例であり、第3の実施例におけるレーザ光源を半導体レーザモジュールに、ビームスプリッタを光ファイバカプラに置き換えビームスプリッタを経由するレーザ光の光路を光ファイバに置き換えた微小変位計測装置である。図において半導体レーザモジュール12より出射するレーザ光は直接光カプラ13Aの一端に接続され分岐される。一方の分岐路に分岐されたレーザ光はシングルモード光ファイバ6bを経由し光カプラ13Bに入る。分岐部を通過してコリメートレンズ2により平行光としてまたは図6に示すように集光してレーザ光を被測定体4に出射する。その反射した戻り光は入射時の経路を逆に辿り光カプラ13Bに戻り、分岐部で入射時の分岐路とは別の分岐路に分岐した光がシングルモード光ファイバ6に伝送される。

【0032】

一方、半導体レーザモジュール12より光カプラ13Aで他方の分岐路に分岐されたレーザ光は参照光としてシングルモード光ファイバ7に直接伝送される。前記2本の光ファイバ6, 7の他端は平行にフェルール8aに組立てられ端面を鏡面に仕上げられて投射装置8を構成する。前記投射装置の2本の光ファイバ端面より出射される2本の光による干渉縞の形成以後は第1の実施例と同様である。

【0033】

本装置に用いられる光ファイバは、光位相情報を伝送できる光ファイバであればよく、シングルモード光ファイバもしくは偏波面保持光ファイバが好適である。

【0034】

本装置の特徴は被測定体と投射部とのワークディスタンスを稼ぐために必要とするレンズ2による出射光学系以外は、レーザ光はすべてシングルモード光ファイバの中を通過さ

せるようになされている。第1の実施例にあるビームスプリッタから出射される2本の光の光軸アライメントを不要とし、ノイズ成分を減少させ、簡便でかつコンパクトな干渉光学系を構成することができる。この第4の実施例において、半導体レーザモジュール、光カプラ、シングルモード光ファイバ、投射装置からなる干渉光学系を光導波路を用いた光集積回路で構成することもできる。

【0035】

本発明による方法および装置は、バイモルフ形圧電素子の測定に利用できる。被測定体がバイモルフ形圧電素子の場合、その先端が変位するため入射角が変位前の入射角から変化する。したがって、入射光のスポット径が大きい場合は、角度変化がノイズとして加算され、測定精度を低下させる。本発明による干渉縞はヤング干渉計の原理に基づくため光入射面はピンポイントでもよく必ずしも平行光を必要としない。したがって、被測定体へのレーザ光はコリメートされた光でなくてもよい。光を集光レンズにより集光させその焦点に被測定体の反射面を設置することでノイズが低減でき、分解能の高い測定をすることができる。

これにより、またバイモルフ形圧電素子のような傾斜面が変位する被測定体に対しても測定が可能となった。また、その場合被測定体を横に一定量シフトして2回測定することで光路の軸方向と横方向の変位量より傾斜角度も容易に求めることができる。

【0036】

本発明による方法および装置は、精密NC工作機械等の位置決め装置に利用できる。また、本測定装置はピエゾ圧電素子(PZT)をマイクロアクチュエータとして用いた高精度位置決め装置における位置決め時の微小変位量の確認手段と変位量の指定値とのずれを補正するためのフィードバック情報を与える自動校正手段とすることができ、それらの手段を組み込んだ自動補正位置決め装置を構成することができる。

【0037】

【発明の効果】

以上詳しく述べたように、本発明による方法および装置によれば、従来の干渉計装置のような装置の傾き、ぶれで変位量計測が影響することのない計測方法および装置が得られる。また数ナノメートルから数ミリメートルまでの広いレンジで計測可能な測定装置ができる。干渉縞位相シフトの小数部分の算出方法に高精度フーリエ変換理論を用いれば分解能が高く被測定体の微小変位をナノメートル単位の測定精度で得られる。干渉光学系を光ファイバまたは光集積回路を用いた干渉光学系と光ファイバフェルールで構成した投射装置を組合せれば従来にない小形干渉計測装置を作ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の微小変位測定装置の第1の実施例を示す概略説明図である。

【図2】

本発明の微小変位測定装置の干渉縞投射部先端の拡大正面図である。

【図3】

本発明で得られた干渉縞のフーリエ・パワースペクトルグラフである。

【図4】

本発明の微小変位測定装置で求めた印加電圧VS変位量特性グラフである。

【図5】

本発明の微小変位測定装置で得られる正弦波変調による応答グラフである。

【図6】

本発明の微小変位測定装置の第2の実施例を示す概略説明図である。

【図7】

本発明の微小変位測定装置の第3の実施例を示す概略説明図である。

【図8】

本発明の微小変位測定装置の第4の実施例を示す概略説明図である。

【図9】

ヤング干渉計の原理を説明するための概略図である。

【図10】

従来の変位測定装置の概略図である。

【符号の説明】

- 1 レーザ光源
- 2 コリメートレンズ
- 3 ビームスプリッタ
- 3 b 反射鏡
- 4 被測定体 (P Z T)
- 5 A, 5 B 集光レンズ
- 6 第1の光ファイバ
- 6 b 光ファイバ
- 7 第2の光ファイバ
- 8 投射装置
- 8 a フェルール端面
- 9 センサアレー
- 10 ビデオモニタ
- 11 集光レンズ
- 12 半導体レーザモジュール
- 13 A, 13 B 光カプラ
- 14 コリメートレンズ
- 15 参照用ミラー
- 16 干渉投影面
- 30 半透鏡