

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4316691号  
(P4316691)

(45) 発行日 平成21年8月19日(2009.8.19)

(24) 登録日 平成21年5月29日(2009.5.29)

(51) Int. Cl. F I  
**GO 1 B 9/02 (2006.01)** GO 1 B 9/02  
**GO 1 B 11/00 (2006.01)** GO 1 B 11/00 G

請求項の数 6 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願平9-44069	(73) 特許権者	591009037
(22) 出願日	平成9年2月27日(1997.2.27)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公開番号	特開平9-325005		THE BOEING COMPANY
(43) 公開日	平成9年12月16日(1997.12.16)		アメリカ合衆国、98124-2207
審査請求日	平成15年10月17日(2003.10.17)		ワシントン州、シアトル、メイル・ストッ プ・13-08 ピィ・オウ・ボックス・ 3707 (番地なし)
(31) 優先権主張番号	08/610091	(74) 代理人	100064746
(32) 優先日	平成8年2月29日(1996.2.29)		弁理士 深見 久郎
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100085132
			弁理士 森田 俊雄
		(74) 代理人	100091409
			弁理士 伊藤 英彦
		(74) 代理人	100096781
			弁理士 堀井 豊

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏位を測定するための装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

偏位を測定するための装置であって、  
 2つの波長および2つの直交偏光におけるコヒーレント光源と、  
 互いに関連して形成されて、第1および第2の出力ビームを出力するヘテロダイン干渉計を形成するようにする第1の偏光ビームスプリッタ、非偏光ビームスプリッタおよび第1および第2の再帰反射器と、  
 前記コヒーレント光源から前記光を受取り、かつ前記光を前記干渉計へ向けるための手段と、

前記第1と第2の再帰反射器でそれぞれ反射され互いに分割された状態の前記第1および第2の出力ビームを受取り、かつ前記出力ビームの各々における2つの直交偏光の各々に到着する光の一部を送るように位置づけられる、第1および第2の線形偏光アナライザと、

それぞれ前記第1および第2の偏光アナライザを通して送られる光を検出するための第1および第2の光検出器とを含み、前記干渉計の前記第1と第2の出力ビームの周波数が反対の方向にシフトされるように前記第1の再帰反射器を移動可能とし、

前記ヘテロダイン干渉計が、第2の偏光ビームスプリッタと、第1および第2のミラー表面とをさらに含み、

前記干渉計が光学的に透明な材料の第1のスラブを含み、前記第1のスラブは1つの側に沿って光学的に透明な材料の第2のスラブに結合され、前記第1のスラブの前記1つの

10

20

側の光学被覆は、前記第 1 および第 2 の偏光ビームスプリッタおよび非偏光ビームスプリッタを形成するように構成され、かつ前記第 1 および第 2 のスラブの両側にある反射被覆は前記第 1 および第 2 のミラーを形成するよう構成される、装置。

【請求項 2】

偏光維持光ファイバが前記光源から前記干渉計の入力経路上に前記光を送る、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記光を受取るための手段が、前記光ファイバから出た光を前記干渉計の入力経路上に視準するように位置づけられるレンズを含む、請求項 2 に記載の装置。

【請求項 4】

前記偏光アナライザが第 1 および第 2 の偏光フィルタを含み、前記第 1 および第 2 の偏光フィルタのそれぞれの偏光軸は前記出力ビームの光の偏光に対して実質的に斜めに配向される、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】

結合された前記スラブの外側表面が反射防止膜で被覆される、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 6】

前記第 1 および第 2 の偏光アナライザから前記第 1 および第 2 の光検出器にそれぞれ光を送る第 1 および第 2 の光学ファイバをさらに含む、請求項 1 に記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の分野】

この発明は一般に偏位（物体の位置の変化）を測定するための器具であって、適切なトランスジューサに生じる偏位から決定できる力、圧力または他の物理量を測定するためのセンサを含むものに関し特に、高分解能および高精度で偏位を測定するための光学干渉計に関する。

【0002】

【先行技術の説明】

精密な精度で偏位を測定するための標準器具は光学ヘテロダイン干渉計である。このような干渉計は 2 つの周波数のコヒーレント光を用いる。したがってこれは 2 つのレーザか、2 つの周波数を放出する 1 つのレーザか、単一周波数レーザに 1 つまたは 2 つの光学周波数シフタを加えたものかを必要とする。これらのエレメントのサイズおよび熱負荷が理由となり、2 つの周波数の光源は普通は干渉偏位感知光学器械（以下センサヘッドと呼ぶ）とは別個に収められる。一般に光源は自由空間を通る平行ビームによって 1 つまたは数個のセンサヘッドに光を与える。このため各センサヘッドはその光供給ビームと整列する必要があり、かつ使用中のセンサヘッドの移動はすべてそのビーム経路に沿って行なわれなければならない。

【0003】

他の型の干渉計を用いるファイバ結合偏位センサも公知であるが、これらのセンサはヘテロダイン干渉計よりも精密度が低い。

【0004】

以下の特許は、距離または偏位を測定するためのファイバ結合干渉計の代表例である。

【0005】

コール他 (Cole et al.) の米国特許第 5,094,534 号およびアルリッチ (Ulrich) の米国特許第 4,596,466 号は干渉性の低い干渉計を例示している。偏位を測定するための従来の（干渉性の高い）干渉法の精度の利点は、極端に均一で細かい物差しとして精密な波長の光を用いることから生まれた。干渉性の低いこれらのシステムは、リモート偏位の局部的コピーを作るようにするためのみに光を用いる。これらの特許参照物が強調しているように、時間があればコピーは非常に精密に行なうことができるが、局部的偏位の測定は従来の干渉法の速度／範囲／精度のレベルをはるかに下回る。これらのシステムはファイバ長さの変化による影響を受けないが干渉性の低い光においてしか機能しな

10

20

30

40

50

い。

【0006】

以下の干渉計はすべて干渉性の高い光を利用する。

タッカー他 (Tucker et al. ) の米国特許第 5 , 1 0 6 , 1 9 2 号はこの発明に従ったシステムよりも精度レベルの低いいくつかの干渉計のシステムであり、ミラーまたは再帰反射器とは反対に光学的に粗い表面に用いられるよう意図されている。(粗い表面の干渉法では、干渉位相は2つまたはそれ以上の光波長における同じ物体上の同じスポットから測定される。波長のうちいずれか1つにおける絶対位相からではなく、レーザ波長による、この位相の変化からおよその範囲が計算される。それ自体で読取る1つの位相にはいずれも情報価値がない。なぜなら、ターゲット表面上の照明スポットは半波長のオーダの高さの変化を含み得るからである。範囲の精密さは従来の干渉法よりも典型的に100から1000倍低く、これはこの発明に従ったシステムに対する平均波長のおよその比、すなわち採用される波長の分布である。)このシステムは臨界経路にファイバを用いるが、ファイバ長さの変化は議論されない。

10

【0007】

多重化を可能にするよう光ヘテロダインが用いられる。すなわち、異なった波長のいくつかの干渉計が同じファイバ光学リンクを通して同時に動作し、この多重化はレーザ - 波長分離ではなくヘテロダイン - 周波数分離に基づく。したがって1つの物体を測定するためにここではいくつかのレーザが用いられており、この一方でこの発明によるシステムでは、1つのレーザによって数個の物体を測定することができる。

20

【0008】

以下の干渉計は粗い表面ではなく平滑な反射器に関する。

1992年10月1日のオプティクスレター第17巻 (Optics Letter, Vol.17 ) p p . 1382 ~ 1384 に記載の U . ミノーニ (U. Minoni ) の「偏位測定のためのファイバ - 応力に不感知な干渉計のセットアップ」(“Fiber-stress-insensitive interferometric setup for displacement measurement ”)を参照する。U . ミノーニは、4分の1サイクル離れた2つの位相を測定する単一周波数の干渉計を例示している。(1つの光ファイバは光源だけでなく両方の光検出器にも用いられ、3つの経路はすべて非臨界的である。)原則としてこのような2つの位相の単一周波数干渉計は実数値のバンドパス信号の代わりにそれに相当する複素値のベースバンド信号を処理して、2つの周波数の干渉計と同じ偏位情報を得ることができる。実際には複素値のベースバンド信号の処理は一般的にはより困難であり、かつノイズおよびドリフトによる影響を受けやすい(1993年の測定科学および技術第4巻 (Measurement Science and Technology, Vol.4 ) p p . 907 ~ 926 の N . ボブロフ (N. Bobroff ) の「偏位測定干渉計における最近の進歩」(“Recent advances in displacement measuring interferometry ”)参照)。なぜならこの場合、電子利得およびオフセットを較正して安定させる必要があるからである。最も高い精度は2つの周波数の干渉計のバンドパス信号によって維持するのが簡単である。

30

【0009】

残る干渉計はすべて2つの周波数の型である。(源(ソース)および信号処理の詳細は異なるが、このような標準技術は相互交換可能である。)さらにそれらはすべてある方法で、すなわち1つの偏波面保存ファイバの2つの偏光モードを介してファイバ結合されている。したがってファイバ長さの変化によりそれらはすべて影響を受け、かつそれらはすべて最後の出力においてこれらの影響を除去するようさまざまな形の二重干渉計を用いる。センサの形は異なるがそれらすべては同じ本質的な光効率(成分における超過損失を無視する)を有し、かつある程度までは多数のセンサの間でソースを共有することが可能であろうが、これは常に可能であるとは限らない。

40

【0010】

1990年12月の化学器具の論評第61巻 (Review of Scientific Instrument, Vol.61 ) p p . 753 ~ 755 の F . ファラヒ (F. Farahi ) および D . A . ジャックソン (D. A. Jackson ) の「表面分布のためのファイバ光学干渉システム」(“A fiber optic

50

interferometric system for surface profiling”)を参照する。偽ヘテロダイン技術が述べられ、この偽ヘテロダイン技術では光源において信号処理が経済的である。ここでもまたこの光源は（適切な信号処理を伴うときには）他のものと相互交換可能である。このセンサと、チェイニー（chaney）の米国特許第5,274,436号に示されているものとは似ている。米国特許第5,274,436号においてターゲットの移動は両方の干渉計ではなく1つの干渉計のみにおいて感知される。この「単一端部の」配置ではこの発明による「プッシュ・プル式」形態の感度の半分である。さらに、干渉計の臨界部分にはこの発明によるシステムよりも多くの光学部品があり、かつそれほどは左右対称でない（後に説明されるこの発明の図6および図7参照）。これにより、所与の精度まで上げるのが困難になる。位相エラーの1つの原因は波面収差と組合された、反射器の横方向の移動である。（よい光学器械にさえも0.1波長の収差があり得、この発明によるシステムにおける適用例を含むいくつかの適用例はかなりの横方向の移動を伴う。）この発明によるシステムはそのプッシュ・プル対称のおかげでこの影響を一時除去するが、チェイニーのシステムは除去しない。

10

**【0011】**

反射器から戻る光ビームは（平坦な反射器またはコーナーキューブによる円偏光の反転に基づいて）偏光を操作され、それらが空間的に重なる、外に向かうビームから分離されるようにされることに注目すべきである。この重なりは平坦なミラーまたは中央に位置づけられた再帰反射器を用いることから生ずる。この発明によるシステムではコーナーキューブは中心からずれて照明されるため、反射ビームは外に向かうビームから既に空間的に分離されている。この空間分離により、後に説明されるこの発明のシステムが偏光座標を用いて左右対称なプッシュ・プル作用を起こすようになる。これによりさらに、精度が最も高くなるようキューブコーナーのジョイントがビーム経路の外に保たれるようになる（上記のN.ボプロフ参照）。

20

**【0012】**

先行技術のさらなる参照物の代表例はコンドウ（Kondo）の米国特許第4,958,929号であり、これは後に説明される本件のシステムよりも複雑であり、かつ形がそれほど左右対称的ではないプッシュ・プル形態を示している。図6のコンドウの実施の形態はソースを共有するようにしている。これとは対照的に本件のシステムはその中に記される90°の偏光回転を用いない。本件のシステムは2つの付加的な成分を用いる。すなわち光検出器の前に斜め偏光アナライザ（後の図面に示される図6～7のA1～2）を用いる。これらの付加的な成分は干渉計の非臨界部分にはなく、さらに費用も安い。それらはさらに輝度の均衡を調節する手段を提供し、これは偏光を混合することから起こるもののようなエラーの原因となるいくつかの要素を無くすのに有用であろう（上記のN.ボプロフ参照）。

30

**【0013】**

コンドウの米国特許番号第4,958,929号のシステムでは、2つの反射器のうち1つのみにおいて、反対向きに偏光された2つのビーム成分が（円偏光反転または他の不特定的手段によって）場所を交換する。ビーム交換はいずれかの場所で必要であるが、ここに置くと少なくとも1つの付加的な光学成分が臨界経路に必要になり、かつ対称が損なわれる。提案されている方法には一方の反射器に円偏光を送り他方に直線偏光を送り、反射器および波長プレートが現実的に不完全な場合にはこれは精度に影響を及ぼすおそれがある。さらに、波長プレートを用いることにより偏光状態が温度に依存するようになる（上記のボプロフ参照）。本件のシステム（この出願の図面の図6～7を参照）では、（ビームスプリッタの遠い下流の方での）類似したビーム交換は波長プレートを必要としない。干渉計の臨界部分は単純であり、かつ先に参照した先行技術の他のシステムとは無類の左右対称性を有し、それにより成分が不完全になるのを最小限にし、かつ最良の結果をもたらすようにする。

40

**【0014】****【発明の概要】**

50

この発明はファイバ光学器械のいくつかの利点（熱分離、小さなまたは離れた場所への非妨害的なアクセスおよび整列を損なうことのない可動式ジョイントまたは柔軟性構造への接続）を（偏位または距離の精密測定に広く用いられる）ヘテロダイン干渉法の実施に加え、ヘテロダイン方法が評価される精度を保持する。ファイバ光学器械はさらに、いくつかの干渉計が1つの光源をはるかに自由に共有できるようにする。さらなる特徴には、光学ファイバにおける、環境による影響を除去するのに用いられる干渉計の形が左右対称であることにより、不確定ないくつかの他の光源へのシステムの感度がさらに減じられることが挙げられる。最後に、このシステムの偏位をリモート干渉感知することにより、小さな偏位に変換され得る力、圧力または他の量のリモート感知が可能になる。

【0015】

ファイバ光学器械の役割を明らかにするために、ヘテロダイン干渉計が（1）2つの周波数のコヒーレント光源の要件（2）測定軸を規定する感知ヘッドおよび（3）光検出システムからなるとする。（2）および（3）をファイバ光学器械リンクによって切離して、オプトメカニクスおよびオプトエレクトロニクスがさまざまな熱環境および電気ノイズ環境で動作するようにするのが直接的である。議論中のすべてのシステムはこの役割にファイバ光学器械を用いることができ、この特徴を有する器具は市場で入手可能である。しかしながらこのシステムは特定な形のヘテロダイン干渉計であって、ファイバ-光学器械リンクが（1）から（2）に光を供給できるようにして、リモートレーザから1つまたはそれ以上のセンサヘッドに動力を供給し、センサの配置がより柔軟的になるようにするものである。ファイバ光学器械の用途のうち後に述べたもののみがさらに議論されることとなる。

【0016】

ファイバ結合干渉法において設計上考慮すべきいくつかの点を挙げる。（1）2つの光学ビームが干渉する場合、両ビームが光路を横切るならば光路の一部は長さに関して非臨界的であるが、もしビームのうち1つのみが横切るならば臨界的である。（2）光ファイバは実際の長さが（たとえば温度および湾曲応力により）変わりやすく、これは臨界経路において無視できない。ヘテロダイン干渉法においてさらに考慮すべき点を挙げる。（3）センサは2つの周波数の光を必要とする。（4）各センサヘッド内で一方の周波数を他方の周波数から分けたり引出したりするのは不都合である。（5）2つの周波数に対して別個の供給経路を用いると両経路が臨界的になる。この状況においては偏光維持ファイバを考慮する必要があり、この偏光維持ファイバは別個の偏光モードにおいて2つの光波を独立して運ぶことができる。さらにこれらの2つのモードの光学長さの差は、0.01波長より小さいであろう公差より大きい長さ分だけ変化し得る。（典型的な波長は1ミクロンのオーダの可視域内か、またはその範囲付近にある。）

したがってファイバ結合ヘテロダイン干渉法は以下に詳細が説明されるこのシステムに従ってファイバ長さの変化を考慮に入れた新しい形の干渉計を必要とする。

【0017】

この発明は、以下の点において先に述べた先行技術のヘテロダイン干渉計とは異なる光学ヘテロダイン干渉法を用いる、精密偏位測定装置である。

【0018】

（1） 必要な2つの周波数のレーザ光は一般的な開放ビーム光学器械の代わりに光ファイバを通して光源から偏位感知ヘッドに運ばれる。

【0019】

（2） 干渉計は相補に対称である2つの出力を有する。すなわち、不所望な効果とは区別ができる、差動モードに現れる偏位への応答であり、これは共通モードに表われる光供給ファイバの状態を変化させるものを含む。

【0020】

この発明のさらなる特徴および利点は以下のとおりである。

（1） センサヘッドは光源と整列する必要はなく、ファイバ-光学器械がそれと接続されているだけでよい。したがってセンサヘッドは任意的に運動している物体上にか、スベ

10

20

30

40

50

ースまたはアクセスが非常に制限されている場所に置くことができる。

【0021】

(2) 光供給経路が完全に封入されるため、レーザの安全に関する心配が最小になる。

【0022】

(3) 1つの光源によって、多くのセンサヘッドの役割を都合よく果たすことができる。

【0023】

(4) 感知される偏位は所与のレーザ波長に対して普通の干渉位相変化の2倍になるため、測定感度が改善される。

【0024】

この発明のこれらおよび他の目的、特徴および利点は例示の目的のみでこの発明のいくつかの実施の形態を示す図面を参照すると理解できるだろう。

【0025】

【好ましい実施例の詳細な説明】

都合のよい光源装置が図1に示され、これは安定した1つの単一周波数レーザと、2つの周波数のシフトとを用い、これらの各々はレーザ出力のおよそ半分を受取る。周波数シフトには音響光学セルがよい選択であるが、他の型も公知である。これらは典型的に20MHzと100MHzとの間である周波数RF1およびRF2の電気信号で駆動し、これらの電気信号は周波数シフトの大きさを決定する。セルは上または下のいずれかの周波数シフトを提供するよう設計することができる。両シフトを同じ方向にすると、典型的には0.2MHzから20MHzの範囲にあるのが望ましい出力光学周波数f1とf2との差が、選ばれたRF1とRF2との差と同じになる。ファイバ-光学器械接続および、光波を分割または結合するファイバカプラはすべてPMファイバで作られる。各ファイバの両端では、ファイバ偏光軸は、光がファイバに入る際に有するか、またはファイバを出なければならないときに有する偏光によって配向される。特にカプラ2への2つの入力ファイバは光学周波数成分f1およびf2が、異なったファイバ偏光モードに入るよう配向される。その後カプラにはこれらの周波数成分の両方をその出力のNすべてにおよそ等しく分配する。各出力は必要に応じてその2つの偏光モードの各々において1つの周波数成分を受取る。

【0026】

図2はいかにしてセンサが働くかを示す。先に述べた特性を持つ光がPM型の供給ファイバFを通して到着する。このファイバの出力端部では、その偏光軸と、したがって現れる光とは紙の面に対して平行および垂直に配向される。光ビームは都合よい直径でレンズLによって視準されるまでファイバから分岐する。ビームはこのレンズを越えると、示される残りの経路にわたって実質的に視準されたままで保たれ、したがって簡単にするために中央の光線のみが描かれている。

【0027】

偏光ビームスプリッタP2は、異なったこれらの偏光によって光を2つの周波数成分に分ける。定義づけるために、f1はミラーM2に向かって反射するs偏光成分を表わすとする。さらにf1は2つの周波数のうち大きな周波数であると仮定する。ミラーはそのそれぞれのビームを(異なった方向から)非偏光ビームスプリッタNに向けて反射し、ここで各ビームは再帰反射器R1またはR2に至る、外に向かう2つの経路の間でおよそ等しくエネルギーを分割される。この最後の2つのビームはここでもまた、印がつけられた2つの周波数および偏光成分の複合物である。さて、もしR1の位置が固定され、かつR2が示された方向にvの速度で移動するとどうなるかを考える。R2から反射する各ビーム成分はvに比例する周波数シフトを経験する。(比例定数は、レーザ波長の逆数の2倍である。)最後の偏光ビームスプリッタP2はF2ビーム成分が依然としてs偏光されているため(P1と同じように)それらを再度反射し、f1ビーム成分は依然としてp偏光されているため(それらがP1を通過したように)真っ直ぐに通過する。このためP2を出て光検出器に向かう複合ビームは、入ってくるものとは異なって対にされる。各検出器はドッ

10

20

30

40

50

ブルーシフトされた1つのビーム成分をR2から受取り、かつR1からシフトされていない1つのビーム成分を受取る。

【0028】

光検出器D1およびD2の前には偏光アナライザA1およびA2がある。典型的なヘテロダイン干渉計（参照1：1993年の精密工学技術第15巻第3号pp.173~179に記載の、N.M.オールドハム（Oldham）、J.A.クレーマ（Kramar）、P.S.ヘトリック（Hetrick）およびE.C.ティーク（Teague）の「ヘテロダイン干渉計の位相メータにおける電子工学的限界」（“Electronic limitations in phase meters for heterodyne interferometry”））におけるように、これらのアナライザは対角線状に配向されて入射ビームにおける各偏光成分のおよそ半分を送るようにする。（2つの対角線のうちいずれが用いられるかによってはあまり差がない。）送られたビームの各々には依然として（異なった経路を通った）2つの周波数成分があるが、これらはこのとき同じ偏光状態にあるので光学干渉される。干渉ビーム成分の位相差である干渉位相は異なった周波数によって時間的に変化する。

10

【0029】

光検出器D1においてこの周波数の差は $(f_1 - f_2) + kv$ であり、D2では $(f_1 - f_2) - kv$ である。したがって1つの再帰反射器の仮定上の移動により干渉計の2つの出力信号の周波数が反対の方向にシフトされるのがわかる。その後もし移動している再帰反射器が静止すれば、明らかにその位置変化は初めに要求されたとおり2つの干渉位相をさらに反対の方向にシフトさせていることとなる。さらに、光学周波数 $f_1$ または $f_2$ がセンサヘッドに入る前に（実際にはビームスプリッタNより前であればどこでもよい）それらに影響を及ぼす位相ドリフトはいずれも、同じ方向の干渉位相両方に等しく影響を及ぼすことが明らかである。したがって光ファイバFに起こると予期することができるこのような位相ドリフトはいずれも、2つの干渉位相を同じ方向に等しくシフトし、かつ差動位相に影響を及ぼさない。

20

【0030】

これらの干渉計のための電気信号処理の仕事は、偏位によって変化する干渉位相が1つではなく2つあり、かつそれらの対象の量はそれらの位相差であるという点を除いては一般的なヘテロダイン干渉計のものと似ている。電気位相測定のための多くの適切な方法が公知である。（参照1）

30

一般的な光学成分によって基本的な原理を説明したが、図3にはセンサヘッドの、改良された形態が示される。そこでは図2のビームスプリッタおよびミラーの代わりに1つのカスタム光学成分が用いられ、このため光学的な整列が組込まれている。このコンポーネントは光学的に平らな2つのガラススラブから製造される。スラブが互いに組立てられる前に、NビームスプリッタおよびPビームスプリッタを形成する必要があるところに光学被覆が置かれる。同様にミラーM1およびM2は反射被覆によって形成される。好ましくは外側表面の残りの部分には反射防止膜が被覆されている。

【0031】

いくつかの種類で2つの周波数の光源が公知である。図1に示されるものは、24個のセンサを伴う特定の器具使用上の問題に対して経済的であるとして選ばれた。2つのレーザを用いて、周波数シフトを用いないこともできる。その場合レーザ周波数の差を、ある形で自動制御（参照2：たとえばLightwave Electronics series 2000 Laser Offset Locking Accessory）するのが便利であろうが、このような制御は精密でなければならない。なぜなら、電気信号周波数が信号プロセッサによって使用可能に保たれる限り、 $(f_1 - f_2)$ の徐々の変化により差動位相エラーは生じないからである。共通のビーム経路に沿って、制御された周波数分離の2つの周波数と、直交線形偏光とを放出するレーザシステムもまた公知である（参照3：たとえばヒューレットパッカード（Hewlett-Packard）モデル5517A）。このような光源をファイバ結合するためにはカプラ2の1つの入力のみが必要となり、もし1つのセンサヘッドのみが用いられるならばカプラ自体は単一ファイバで置換えることができる。これに代えて、光供給ファイバが柔軟的でなくてもよい用

40

50

途では、自由空間のビームを用いて従来の2つの周波数の光源から図2またはそれより後の図面に示される形の1つまたはそれ以上のセンサヘッドに光を運ぶこともできる。(この場合図のファイバFおよびレンズLは省略されることとなる。)プッシュ-プル対称はそのまま保たれることとなる。

【0032】

光検出器が干渉計から離れて置かれてもよいということも既にわかっている。このことにより、センサヘッドを加熱することなく増幅器を検出器に近づけることができる。この変形において、図2から図4のD1およびD2は検出器自体ではなく、リモート検出器にファイバ結合された集光器を表わす。集光器は単に検出器ファイバの端部に焦点合わせされるレンズであってもよく、図のFとLとの配置の逆の配置であってもよい。重要な違いは、検出器ファイバが供給ファイバFよりもはるかに大きなコアの直径を有するマルチモードの型であってもよいという点であり、これにより集光器の整列が簡単になる。レンズの前の開口停止部はヘテロダインの効率を上げるのに役立つであろう。

10

【0033】

さらに、感知される位置に一度以上光を送る反射器の配置によって、偏位感知干渉器の感度を高めることができることがわかっている。このような感度増加機構は、本件のファイバ結合されたセンサヘッドと同じ利点で用いることができる。

【0034】

もし光学上の不完全性によって、図面のアナライザA1またはA2の2つの偏光成分入射の輝度が等しくならないならば、弱いビームのためにアナライザの向きを調節することによって等しくすることができる。

20

【0035】

再帰反射器R1またはR2のいずれかの偏位が、またはそれらの間の差動運動が感知できる。再帰反射器のうち一方または両方に接続された光ビームは補助ミラーによって折返されて偏位に対して感度のある軸を再度方向づけることができる。

【0036】

図4は可能な変形であって、1つの干渉位相のみが偏位に対して感度があるが、前のような差動モード信号処理によって共通モードの位相ドリフトをなお除去することができ、それによりファイバ結合の利点が保持されるものを示す。

【0037】

改良点

センサヘッド光学器械の形態は図2および図3の形態と同じ、先行技術にまさる特有な特徴および利点を提供するが、少しのコンポーネントしか用いない。簡略化されたこれらの形態は図5から7の形態に示される。

30

【0038】

動作の原理

先に述べた光源は変化しないため、それに関する説明は繰返さない。

【0039】

図5のセンサの説明は視準レンズLまでで先に述べた説明と同じである。この点では視準ビームは別個の偏光モードに2つの周波数成分を含む。

40

【0040】

図5では、センサは第1に以下の態様で図2のものとは異なる。視準ビームは、非偏光ビームスプリッタNを通過する。そこでs偏光ビームおよびp偏光ビーム成分の各々は、再帰反射器R1またはR2に至る外に向かう2つの経路の間でエネルギーがおよそ等しく分割される。したがって外に出るビームは依然として、記された2つの周波数および偏光成分の複合物である。前と同じように、f1がp偏光成分であり、f2がs偏光成分であり、ここでf1は2つの周波数よりも大きいとする。ここでもまた前と同じように、もしR1の位置が固定されており、R2が速度vで移動するならば、R2から反射する各ビーム成分はvに比例する周波数シフトを経験することとなる。偏光ビームスプリッタPは、f2ビーム成分がs偏光されているためそれを反射し、f1ビーム成分はp偏光されているため

50



真っ直ぐに進む。ここでもまた各光検出器はR 2 から1つのドップラーシフトされたビーム成分を受取り、かつR 1 から1つのシフトされていないビーム成分を受取る。

【0041】

ここからは、センサの説明は先に述べたものと同じである。光検出器D 1 およびD 2 の前には再び偏光アナライザA 1 およびA 2 があり、これらは結果として生じたビームが干渉するようにする。ここでもまたD 1 における差動周波数は $(f_1 - f_2) + kv$ であり、D 2 では $(f_1 - f_2) - kv$ である。再帰反射器の運動による効果は前と同じであり、かつ結果として生じた位置の変化により、2つの干渉位相が反対の方向にシフトするようになる。ここでもまた、ビームスプリッタNよりも前に起こっている位相ドリフトはいずれも差動位相には影響を及ぼさず、電気信号処理の仕事は先に述べたものと同じである。

10

【0042】

基本的な光学成分によって基本的な原理を説明したが、図6にはセンサヘッドを構成するための改良した方法が示される。図5のビームスプリッタの代わりに1つのカスタム光学成分を用いているため、光学整列が組込まれる。この成分は光学的な平らな2つのガラススラブから製造される。スラブが互いに組立てられる前に、NおよびPビームスプリッタを形成する必要があるところに光学被覆が置かれる。図7には光学フラットの代わりにキューブビームスプリッタの半分から作られた代替物の形が示される。すべての図において、法線入射において見られる光学表面からの不所望な反射は、法線入射(図示せず)から成分をわずかに離すことによって取除くことができ、または一般的な反射防止膜によって最小にすることができる。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】先に述べたいくつかのセンサヘッドに光ファイバによって接続される2つの周波数のレーザ光源の光学概略図である。

【図2】この発明の原理を示す標準的な光学コンポーネントを用いるセンサヘッドの実施の形態の光学概略図である。

【図3】配列および安定性を改善しようカスタム光学サブアセンブリを用いる本件のセンサヘッドの好ましい形態の光学概略図である。

【図4】ファイバ結合の有利な特徴を保ったままで、感度および対称度の減じられたセンサヘッドの簡単な形態を示す光学概略図である。

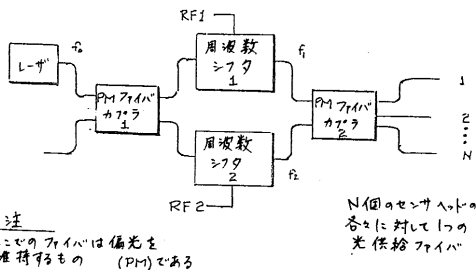
【図5】少しのコンポーネントしか用いないが特有の同じ特徴および利点を有する図2に示されるセンサヘッドを簡略化した光学概略図である。

30

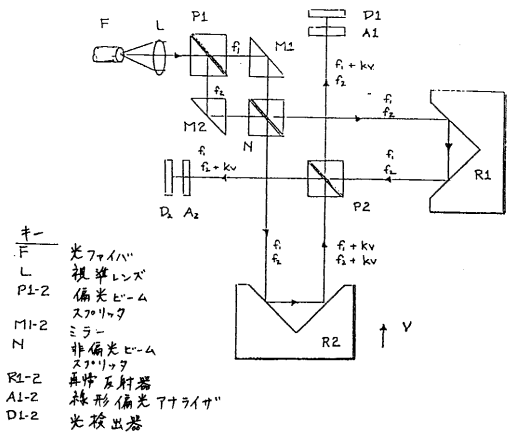
【図6】図5に示されるセンサヘッドよりも配列および安定性がよいままで、図3に示されるセンサヘッドを簡単にした変形であるカスタム光学サブアセンブリを用いる、好ましい形のセンサヘッドの光学概略図である。

【図7】光学フラットの代わりにキューブビームスプリッタの半分を用いる、図6のシステムの光学概略図である。

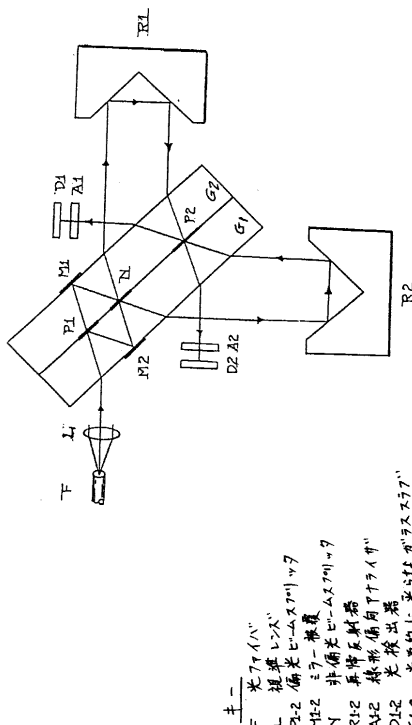
【図1】



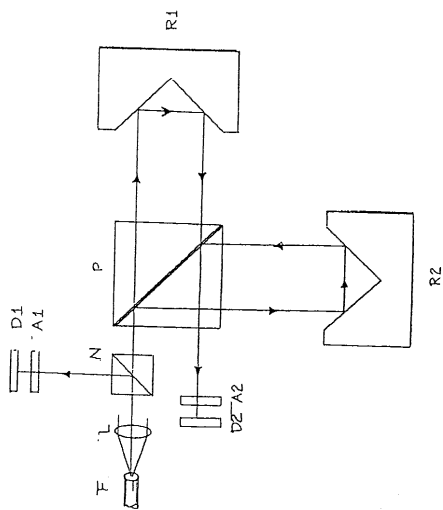
【図2】



【図3】

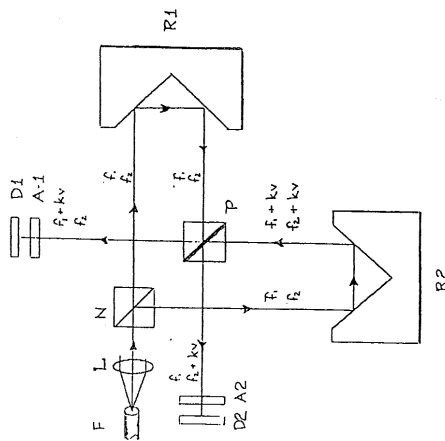


【図4】



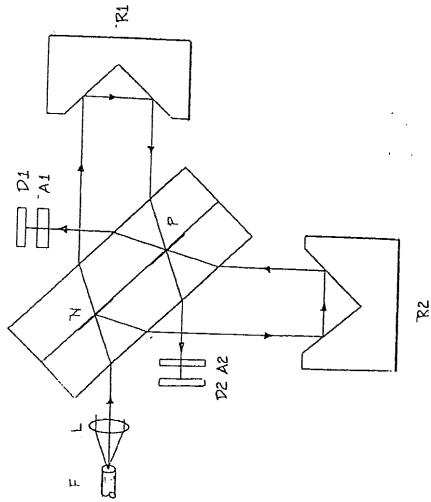
キー  
F 光ファイバ  
L 視準レンズ  
N 非偏光ビームスプリッタ  
P 偏光ビームスプリッタ  
R1-2 再帰反射器  
A1,2 楕円偏光ファイバ  
D1,2 光検出器

【図5】



キー  
F 光ファイバ  
L 視準レンズ  
N 非偏光ビームスプリッタ  
P 偏光ビームスプリッタ  
R1-2 再帰反射器  
A1,2 楕円偏光ファイバ  
D1,2 光検出器

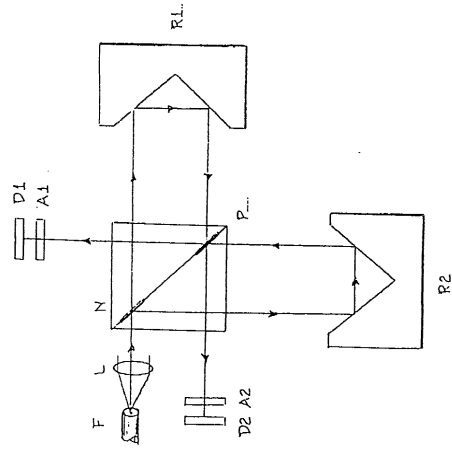
【図6】



光ファイバ  
 視準レンズ  
 非偏光ビームスプリッター  
 偏光ビームスプリッター  
 再帰反射器  
 波長変換器  
 検出器

F  
 L  
 N  
 P  
 P2  
 R1  
 R2

【図7】



光ファイバ  
 視準レンズ  
 非偏光ビームスプリッター  
 偏光ビームスプリッター  
 再帰反射器  
 波長変換器  
 検出器

F  
 L  
 N  
 P  
 P2  
 R1  
 R2

## フロントページの続き

- (72)発明者 ジョン・エイ・ベル  
アメリカ合衆国、 9 8 0 2 7 ワシントン州、 イザクア、 ドラード・ドライブ・エヌ・ダブリュ、  
2 1 5
- (72)発明者 トーマス・エス・ブレイデンバッチ  
アメリカ合衆国、 5 5 3 6 9 - 7 6 6 6 ミネソタ州、メイブル・グローブ、エヌ・イーグル・レ  
イク・ブルバード、 1 0 6 9 2
- (72)発明者 バーバラ・エイ・カプロン  
アメリカ合衆国、 9 8 0 2 9 ワシントン州、 イザクア、 エス・イー・サーティセカンド・ストリ  
ート、 2 0 1 2 9
- (72)発明者 デイビッド・エイ・リープ  
アメリカ合衆国、 9 8 1 9 8 ワシントン州、 シアトル、 フォース・プレイス・エス、 2 1 4 1 3
- (72)発明者 チャールズ・レイ・ポンド  
アメリカ合衆国、 9 8 1 9 8 ワシントン州、 デス・モイネス、 ピィ・オウ・ボックス・9 8 8 1  
1 (番地なし)

審査官 岡田 卓弥

- (56)参考文献 特開平 2 - 2 9 3 6 0 5 ( J P , A )  
特開昭 6 1 - 1 9 6 1 0 3 ( J P , A )  
特開平 2 - 1 9 0 7 0 1 ( J P , A )  
特開平 2 - 2 9 6 1 0 2 ( J P , A )  
特開昭 5 8 - 8 5 1 0 3 ( J P , A )

- (58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
G01B 9/00-11/30