(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7291723号
(P7291723)

(45)発行日　令和5年6月15日(2023.6.15)

(24)登録日　令和5年6月7日(2023.6.7)

(51)国際特許分類
Ｇ０１Ｂ　11/06　(2006.01)

ＦＩ
Ｇ０１Ｂ　11/06　Ｚ

請求項の数　10　（全23頁）

(21)出願番号　特願2020-556858(P2020-556858)
(86)(22)出願日　平成31年4月19日(2019.4.19)
(65)公表番号　特表2021-521453(P2021-521453A)
(43)公表日　令和3年8月26日(2021.8.26)
(86)国際出願番号　PCT/FR2019/050936
(87)国際公開番号　WO2019/202275
(87)国際公開日　令和1年10月24日(2019.10.24)
審査請求日　令和4年2月16日(2022.2.16)
(31)優先権主張番号　1853422
(32)優先日　平成30年4月19日(2018.4.19)
(33)優先権主張国・地域又は機関
フランス(FR)

(73)特許権者　311009022
ルノー エス．アー．エス．
フランス国 Ｆ－９２５１３ブーローニュ ビヤンクール セデクス ケー アルフォンスル ガロ １３－１５
(73)特許権者　520396670
エノヴァセンス エス．アー．エス．
フランス共和国 アルクイユ ９４１１０ １０ リュ ドゥ ジェネラール ド ゴール
(74)代理人　100152984
弁理士　伊東 秀明
(74)代理人　100148080
弁理士　三橋 史生
(74)代理人　100168985
弁理士　蜂谷 浩久

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　材料層の厚さを決定するための測定装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

材料層（２）の厚さ（ｄ）を決定するための測定装置（１００）であって、

－変調周波数ｆ$_{m}$と制御位相Φ$_{com}$とを有する正弦波制御信号（１１）を送るように構成された電気制御手段（１１０）と、

－前記制御信号（１１）の変調周波数ｆ$_{m}$に正弦波で変調された光電力（２１）を光ビーム（１２１Ａ）が有するように前記電気制御手段（１１０）により電気的に制御され、前記光ビーム（１２１Ａ）が第１の伝送経路に沿って前記材料層（２）まで伝送される、光ビーム（１２１Ａ）の送信手段（１２０）と、

－前記光ビーム（１２１Ａ）により加熱された前記材料層（２）により放射された放射熱フロー（１３１Ａ）を検知して、前記材料層（２）による前記放射熱フロー（１３１Ａ）を示す測定信号（１３３Ａ）を送るように構成され、前記放射熱フロー（１３１Ａ）が第２の伝送経路に沿って光熱検知手段（１３０）まで伝送される、光熱検知手段（１３０）と、

－制御信号（１１）の前記変調周波数ｆ$_{m}$に変調された正弦波成分（３１Ａ）を前記測定信号（１３３Ａ）からサンプリングして、前記測定信号（１３３Ａ）のこの正弦波成分（３１Ａ）の測定位相Φ$_{mes}$を決定するように構成された、デジタルフィルタリング手段（１４１）と、

－制御信号（１１）の前記変調周波数ｆ$_{m}$に対して、前記放射熱フロー（１３１Ａ）の正弦波成分（３１）と前記光ビーム（１２１Ａ）の前記変調された光電力（２１）との間の

位相差ΔΦｔｈ／ｏｐｔを計算するために、また、
－前記放射熱フロー（１３１Ａ）の正弦波成分（３１）と前記光ビーム（１２１Ａ）の前記変調された光電力（２１）との間の位相差ΔΦｔｈ／ｏｐｔに応じて前記材料層（２）の厚さ（ｄ）を決定するために、プログラムされた計算手段（１４２）と、を含み、
前記測定装置（１００）は、前記光ビーム（１２１Ａ）を偏向させ、偏向素子（１８１）と前記材料層（２）との間で光ビーム（１２１Ａ）の第１の伝送経路が放射熱フロー（１３１Ａ）の第２の伝送経路と重なるように構成された、光ビーム（１２１Ａ）の偏向素子（１８１）を同様に含み、
前記測定装置（１００）は、可動部分（２５５）が他方の部分（２５４）に対して回転する２つの部分（２５４，２５５）を備えた、前記送信手段（１２０）から離れて配置されたオフセットされた測定ヘッド（２５０）を含み、その前記可動部分（２５５）が少なくとも１つの反射素子（１８２）を収容し、前記測定ヘッド（２５０）の他方の部分（２５４）が前記偏向素子（１８１）を収容し、前記反射素子（１８２）は、光ビーム（１２１Ａ）を反射して、前記偏向素子（１８１）から前記反射素子（１８２）に延びる前記光ビーム（１２１Ａ）の第１の伝送波経路の第１の部分と、前記反射素子（１８２）から前記材料層（２）に延びる前記光ビーム（１２１Ａ）の第１の伝送経路の第２の部分とがゼロでない角度をなすように構成されることを特徴とする測定装置。
【請求項２】
前記送信手段（１２０）は、波長１００～１８００ナノメートル、周波数１～１０００００ヘルツ、光電力１～５００ワットの光源を含み、前記光ビーム（１２１Ａ）の直径が１５００～２００００マイクロメートルである、請求項１に記載の測定装置（１００）。
【請求項３】
前記偏向素子（１８１）が、第２の伝送経路に沿って前記光熱検知手段（１３０）まで前記放射熱フロー（１３１Ａ）を偏向せずに伝送するように構成されている、請求項２に記載の測定装置（１００）。
【請求項４】
前記偏向素子（１８１）が菱面体プリズムまたは互いに平行に配置された少なくとも２個の平面ミラーの組み合わせを含む、請求項１から３のいずれか一項に記載の測定装置（１００）。
【請求項５】
前記反射素子（１８２）が前記放射熱フロー（１３１Ａ）を反射して、前記材料層（２）から前記反射素子（１８２）に延びる前記放射熱フロー（１３１Ａ）の第２の伝送経路の第１の部分が前記光ビーム（１２１Ａ）の第１の伝送経路の前記第２の部分に重なるように、また、前記反射素子（１８２）から前記偏向素子（１８１）まで延びる前記放射熱フロー（１３１Ａ）の第２の伝送経路の第２の部分が前記光ビーム（１２１Ａ）の第１の伝送経路の前記第１の部分に重なるように同様に構成される、請求項１から４のいずれか一項に記載の測定装置（１００）。
【請求項６】
前記反射素子（１８２）に前記放射熱フロー（１３１Ａ）を集束させるように構成された光学収集手段（１３２）を同様に含み、前記光学収集手段（１３２）が、前記反射素子（１８２）と前記材料層（２）との間に配置される、請求項１から５のいずれか一項に記載の測定装置（１００）。
【請求項７】
前記光学収集手段（１３２）が、前記光ビーム（１２１Ａ）を通過可能にする少なくとも１つの貫通穴（１３２Ａ）を含む、請求項６に記載の測定装置（１００）。
【請求項８】
前記測定ヘッド（２５０）の可動部分（２５５）が、前記光ビーム（１２１Ａ）の第１の伝送経路の第１の部分にほぼ平行な軸を中心として回転移動する、請求項１から７のいずれか一項に記載の測定装置（１００）。
【請求項９】

前記測定ヘッド（２５０）が、この測定ヘッド（２５０）の可動部分（２５５）を前記測定ヘッド（２５０）の他方の部分（２５４）に対して回転させるように構成された作動装置（３００）を同様に含む、請求項１から８のいずれか一項に記載の測定装置（１００）。

【請求項１０】

複数の材料層の各材料層の厚さを同時に測定するアセンブリであって、各材料層が、エンジンの複数のシリンダのうちの１つのシリンダの内部に配置され、請求項１から９のいずれか一項に記載の測定装置を含んでおり、

－前記送信手段は、前記電気制御手段により電気的に制御される複数の光ビームを送って、制御信号の前記変調周波数f_mに正弦波で変調された光電力を各光ビームが有するように構成され、各光ビームが、この光ビームに組み合わされる前記材料層のうちの１つの材料層まで第１の伝送経路に沿って伝送され、

－前記光熱検知手段は、この材料層が組み合わされる光ビームにより加熱される各材料層による放射熱フローを検知して複数の測定信号を送るように構成され、各測定信号が、対応する前記材料層による放射熱フローを示し、各放射熱フローが、前記光熱検知手段まで第２の伝送経路に沿って伝送され、

－複数の偏向素子が設けられ、各偏向素子が、複数の光ビームのうちの１つの光ビームを偏向させて、各光ビームの第１の伝送経路が、この光ビームを偏向させる偏向素子とこの光ビームに組み合わされる材料層との間で、対応する放射熱フローの第２の伝送経路と重なるように構成され、

－前記デジタルフィルタリング手段は、前記制御信号の前記変調周波数f_mに変調された正弦波成分を各測定信号からサンプリングして、この正弦波成分の測定位相Φ_{mes}を決定するように構成され、

－前記計算手段は、前記制御信号の前記変調周波数f_mに対して、各材料層による放射熱フローの前記正弦波成分と、この材料層が組み合わされる光ビームの前記変調光電力との間の位相差$\Delta\Phi_{th/opt}$を計算するために、また、

－この材料層による前記放射熱フローの前記正弦波成分と、この材料層が組み合わされる光ビームの前記変調光電力との間の位相差$\Delta\Phi_{th/opt}$に応じて各材料層の厚さを決定するために、プログラムされている、同時測定アセンブリ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、一般に、コーティングの厚さの測定に関する。

特に有利には、本発明は、自動車エンジンのシリンダ内のコーティングの厚さの測定に用いられる。

【０００２】

本発明は、特に、材料層の厚さを決定するための測定装置に関する。測定装置は、

－変調周波数と制御位相とを有する正弦波制御信号を送るように構成された電気制御手段と、

－制御信号の上記変調周波数に正弦波で変調された光電力を光ビームが有するように上記電気制御手段により電気的に制御される光ビームの送信手段であって、上記光ビームが第１の伝送経路に沿って上記材料層まで伝送される、光ビームの送信手段と、

－上記光ビームにより加熱された上記材料層による放射熱フローを検知して、上記材料層により放射された上記放射熱フローを示す測定信号を送るように構成された光熱検知手段であって、上記放射熱フローが第２の伝送経路に沿って光熱検知手段まで伝送される、光熱検知手段と、

－制御信号の上記変調周波数に変調された正弦波成分を上記測定信号からサンプリングして、上記測定信号の正弦波成分の測定位相を決定するように構成された、デジタルフィルタリング手段と、

－制御信号の変調周波数に対して、上記放射熱フローの正弦波成分と上記光ビームの変

調された光電力との間の位相差を計算するために、また、
－上記放射熱フローの上記正弦波成分と光ビームの変調された上記光電力との間の位相差に応じて上記材料層の厚さを決定するためにプログラムされた計算手段とを含む。
【０００３】
本発明は、同様に、エンジンの複数のシリンダのうちの１つのシリンダの内部にそれぞれが配置された複数の材料層の各材料層の厚さを同時に測定するアセンブリに関する。
【背景技術】
【０００４】
今日では、たとえば自動車のエンジン内にある鋳鉄製のシリンダケース（またはエンジンブロック）の代わりにアルミニウム製のシリンダケースがしばしば用いられ、その場合、シリンダケースのボア（またはシリンダ）は、熱による吹き付けまたは電気化学手段（使用されているオリジナルの英語表現では「Ｂｏｒｅ　Ｓｐｒａｙ　Ｃｏａｔｉｎｇ」という名称でも知られる）により堆積される鋼コーティングで被覆することができる。熱による吹き付け処理を実施するためのシリンダボアの調製方法はたとえば仏国特許第２８７３９４６号明細書から知られている。
【０００５】
しかしながら、エンジンの耐久性を保証するには、鋼コーティングの厚さが、（特にすり合わせ加工によるシリンダの仕上げ段階の後で）たとえば閾値よりも約１０マイクロメートル大きくなければならない。したがって、このコーティングの厚さは、特に製造プロセス中のドリフトを検知するために定期的にチェックできるようにすることが必要である。
現在、鋼コーティングの厚さは試験所での破壊分析により検査されている。この分析は時間がかかり、費用も高く、有効な品質検査を実施することができない（なぜなら、この分析では製造プロセス中の異常を検知できないので、この異常をリアルタイムで修正できないからである）。
【０００６】
仏国特許出願第１３５６４０４号明細書は、基板に堆積された材料層の厚さを決定可能なレーザによる熱放射測定方法が知られている。この方法では、検討される材料層を加熱するように光ビームが送信され、それにより放射熱フローが発生する。このような放射熱フローの研究により材料層の厚さを薄くすることができる。その場合、この方法は、厚さ測定をすみやかに提供しながら非破壊的でかつ無接触であるという長所を有する。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００７】
【文献】仏国特許第２８７３９４６号明細書
仏国特許出願第１３５６４０４号明細書
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００８】
しかし、仏国特許出願第１３５６４０４号明細書に記載された装置は特に大型であって、エンジンのシリンダ内部の測定をすることができない。
従来技術の上記の不都合を解消するために、本発明は、たとえば自動車エンジンのシリンダケースのシリンダのような機械部品で、これらの機械部品の内部に面した表面についての測定を実施できるように、小型化した厚さ測定装置を提案する。
【課題を解決するための手段】
【０００９】
特に、本発明によれば、冒頭で定義したような材料層の厚さを決定するための測定装置を提案し、この測定装置は、光ビームを偏向させ、偏向素子と上記材料層との間で光ビームの第１の伝送経路が放射熱フローの第２の伝送経路と重なるように構成された、光ビームの偏向素子と、可動部分が他方の部分に対して回転する２つの部分を備えた、オフセットされた測定ヘッドを含み、この可動部分が少なくとも１つの反射素子を収容し、測定ヘ

ッドの他方の部分が偏向素子を収容し、上記反射素子は、光ビームを反射して、偏向素子から反射素子に延びる上記光ビームの第１の伝送経路の第１の部分と、反射素子から材料層に延びる上記光ビームの第１の伝送経路の第２の部分とがゼロでない角度をなすように構成される。

【００１０】

そのため、本発明によれば偏向素子の存在によって、材料層を加熱可能な光ビームと材料層により放射される放射熱フローとが装置の一部分で重なるので、この部分の外形寸法が小さくなる。実際、装置のこの部分に存在する素子の構成は一段とコンパクトである。測定装置の一部分の外形寸法を小さくすることによって、シリンダの内部コーティングの厚さ測定のためにエンジンのシリンダ内部に装置を導入できる。

【００１１】

個々にまたは技術的に可能なあらゆる組み合わせに従った、本発明による測定装置の限定的ではない他の特徴および長所は以下の通りである。

－送信手段は、波長１００～１８００ナノメートル、周波数１～１００００ヘルツ、光電力１～５００ワットの光源を含み、光ビームの直径が１５００～２００００マイクロメートルである。

－偏向素子が、第２の伝送経路に沿って光熱検知手段まで放射熱フローを偏向せずに伝送するように構成されている。

－偏向素子が、菱面体プリズムまたは互いに平行に配置された少なくとも２個の平面ミラーの組み合わせを含む。

【００１２】

－反射素子は、放射熱フローを反射して、材料層からこの反射素子に延びる放射熱フローの第２の伝送経路の第１の部分が光ビームの第１の伝送経路の上記第２の部分に重なるように、また、反射素子から偏向素子まで延びる放射熱フローの第２の伝送経路の第２の部分が光ビームの第１の伝送経路の上記第１の部分に重なるように同様に構成される。

－反射素子に放射熱フローを集束させるように構成された光学収集手段が同様に設けられ、上記光学収集手段が、反射素子と材料層との間に配置される。

－光学収集手段が、光ビームを通過可能にする少なくとも１つの貫通穴を含む。

【００１３】

－貫通穴は、開放されたままにすることもできるし、あるいは光ビームの波長に対して透過性の閉塞手段によって塞ぐこともできる。

－測定ヘッドの可動部分が、光ビームの第１の伝送経路の第１の部分にほぼ平行な軸を中心として回転移動する。

－測定ヘッドが、この測定ヘッドの可動部分を、測定ヘッドの他方の部分に対して回転させるように構成された作動装置を同様に含む。

【００１４】

本発明は、同様に、上記測定装置の使用に関する。この使用によれば、測定ヘッドは、測定ヘッドからの光ビームの出力と材料層との間の距離が４センチメートル未満になるように配置される。

【００１５】

本発明は、同様に、複数の材料層の各材料層の厚さを同時に測定するアセンブリを提案し、各材料層が、エンジンの複数のシリンダのうちの１つのシリンダの内部に配置され、上記のような測定装置を含んでおり、

－上記送信手段は、電気制御手段により電気的に制御される複数の光ビームを送信して、制御信号の上記変調周波数に正弦波で変調された光電力を各光ビームが有するように構成され、各光ビームが、この光ビームに組み合わされる上記材料層のうちの１つの材料層まで第１の伝送経路に沿って伝送され、

－光熱検知手段は、この材料層が組み合わされる光ビームにより加熱される各材料層による放射熱フローを検知して複数の測定信号を送るように構成され、各測定信号が、対応する上記材料層による放射熱フローを示し、各放射熱フローが、光熱検知手段まで第２の

伝送経路に沿って伝送され、
－複数の偏向素子が設けられ、各偏向素子が、複数の光ビームのうちの１つの光ビームを偏向させて、各光ビームの第１の伝送経路が、この光ビームを偏向させる偏向素子とこの光ビームに組み合わされる材料層との間で、対応する放射熱フローの第２の伝送経路と重なるように構成され、
－デジタルフィルタリング手段は、制御信号の上記変調周波数に変調された正弦波成分を各測定信号からサンプリングして、この正弦波成分の測定位相を決定するように構成され、
－計算手段は、制御信号の上記変調周波数に対して、各材料層による放射熱フローの上記正弦波成分と、この材料層が組み合わされる光ビームの上記変調光電力との間の位相差を計算するために、また、
－この材料層による上記放射熱フローの上記正弦波成分と、この材料層が組み合わされる光ビームの上記変調光電力との間の位相差に応じて各材料層の厚さを決定するために、プログラムされている。
【００１６】
添付図面に関して限定的ではなく例として挙げられた以下の説明から、本発明の構成内容と実施方式がよりよく理解されるであろう。
【図面の簡単な説明】
【００１７】
添付図において、
【図１】本発明による測定装置の概略図である。
【図２】本発明によるオフセットされた測定ヘッドの概略図である。
【図３】本発明による測定方法を示す概略的なフローチャートである。
【図４】制御信号、変調光電力、および放射熱フローの正弦波成分の各曲線を示すグラフである。
【図５】測定パラメータの調整後に得られた変調周波数に応じた、放射熱フローの正弦波成分と光ビームの変調光電力との間の位相差の理論上の曲線を示すグラフである。
【発明を実施するための形態】
【００１８】
図１では、材料層２の厚さを測定するための測定装置１００の１つの実施形態を示した。
図１に示した実施形態では、材料層２は基板１を被覆している。
変形実施形態では、プレートまたは薄膜の形状を呈して単独であるような材料層の厚さを測定するために本発明の測定装置１００を使用可能である。ここで、プレートまたは薄膜とは、その長さおよび幅をずっと下回る厚さを有するプレートまたはフィルムを意味する。
ここで詳しく述べる実施例では、材料層２がたとえば、アルミニウム製の金属基板１に堆積された鋼の層である。基板１は、特に自動車エンジンのシリンダケース内のシリンダの壁から構成可能である。層２は、たとえばこのシリンダの内面に堆積される。
【００１９】
図１に示したように、測定装置１００は、
－変調周波数ｆｍと制御位相Φｃｏｍとを有する正弦波制御信号１１を送ることが可能な電気制御手段１１０と、
－上記電気制御手段１１０により電気的に制御される、光ビーム１２１Ａの送信手段１２０と、
－上記光ビーム１２１Ａにより加熱された上記材料層２による放射熱フロー１３１Ａを検知し、上記材料層２による放射熱フロー１３１Ａを示す測定信号１３３Ａを送るように構成された光熱検知手段１３０と、
－デジタルフィルタリング手段１４１と、
－計算手段１４２と、を含む。
【００２０】

電気制御手段１１０は制御信号１１１Ａを送る。
電気制御手段１１０は、ここでは、低周波数電流発生器１１１に接続された電源１１２を含む（図１参照）。この低周波数電流発生器１１１は、ここでは、低周波数正弦波電圧源と、正弦波電圧の変動を電流変動に変換する電流調整器とを含む。
そのため、電流発生器１１１は、電流強度（アンペア（符号Ａ）で表す）が経時的に変調される電流を周波数設定値に応じて発生する。
【００２１】
ここでは特に、電流発生器１１１は、変調周波数f_mの正弦波電流を時間ｔに応じて発生する。
電流発生器１１１が発生する正弦波電流は、電気制御手段１１０により送られる制御信号を形成する。
一般に、この制御信号（以下$i_{com}(t)$と記す）は、$i_{com}(t)=i_0*\cos(2*\pi*f_m*t+\Phi_{com})$の形で表され、ここで、$i_0$および$\Phi_{com}$は、それぞれ、制御信号の制御振幅（単位：アンペア（Ａ））と制御位相（単位：ラジアン（ｒａｄ））を示す。
【００２２】
図４では、変調周波数f_mが１０００Ｈｚ、制御振幅が１アンペア、制御位相Φ_{com}が０ラジアンの場合の制御信号を経時的に示す曲線１１の１例を示した。
送信手段１２０は、ここではレーザダイオードである光源１２１を含む。
ここで使用されるレーザダイオードは、送信波長λ_Lの光を送信するダイオードである。波長λ_Lは、１００～１８００ナノメートル（ｎｍ）である。レーザダイオードの周波数は１～１００００ヘルツ（Ｈｚ）である。レーザダイオードの最大光電力P_{max}は１～５００ワット（Ｗ）である。
変形実施形態では、送信手段１２０の光源は、たとえばガスレーザ、固体レーザまたはドープファイバレーザ等のレーザとすることができる。
【００２３】
電気制御手段１１０による制御のもと、レーザダイオードは送信波長λ_Lの光ビーム１２１Ａを送信する。
光ビーム１２１Ａの直径（ここでは「スポット径とも呼ばれる」は、光ビーム１２１Ａと、測定されるコーティング部品の外面に接する面（ここでは基板１と材料層２）との交点にある面の直径として定義される。光ビーム１２１Ａの直径は１５００～２００００マイクロメートル（μｍ）である。
励起時間は、１点で測定を実施するために光ビーム１２１Ａが材料層２を加熱する持続時間に対応する。この励起時間は、測定の実現可能性を左右しない。その値は、所望の精度と、個別の各測定に必要な受入時間との釣り合いに基づいて決定しなければならない（特に工業生産速度の場合）。
【００２４】
図１に示した実施形態では、レーザダイオードは、制御信号１１１Ａを送る電流発生器１１１によって直接電流制御される。
このように制御されることによって、レーザダイオードから送信される光ビーム１２１Ａは、時間ｔの関数として光電力$P_{opt}(t)$（単位ワット（Ｗ））を有し、光電力は、制御信号１１１Ａの変調周波数f_mに正弦波で変調される。
一般に、光源１２１から送信される光ビーム１２１Ａの光電力$P_{opt}(t)$は次のような形で表すことができる：$P_{opt}(t)=P_0*\cos(2*\pi*f_m*t+\Phi_{opt})$。ここで、$P_0$および$\Phi_{opt}$は、それぞれ、最大変調光電力（単位：ワット（Ｗ））と光ビーム１２１Ａの位相（単位：ラジアン（ｒａｄ））である。以下、光ビーム１２１Ａのこの位相Φ_{opt}を「光学位相」と呼ぶ。
【００２５】
図４では、曲線２１によって、時間ｔの関数として光ビーム１２１Ａの変調光電力$P_{opt}(t)$の１例を示した。

この図４では、変調光電力Ｐｏｐｔ（ｔ）を示す曲線２１と制御信号ｉｃｏｍ（ｔ）を示す曲線１１とは、変調周波数ｆｍに対して互いに時間的なずれを有する。

以下、制御信号と変調光電力を一般に参照符号１１と２１とによってそれぞれ示す。

こうした時間的なずれは、光源１２１の応答時間によるものであり、光源は、電流発生器１１１による電気的な制御のもと、光ビーム１２１Ａを送信する際に制御信号１１１Ａにすぐには反応しない。

【００２６】

換言すれば、変調光電力Ｐｏｐｔ（ｔ）と制御信号ｉｃｏｍ（ｔ）は、変調周波数ｆｍにおいて相対的に位相差がある：これらの２つの物理的な値は、互いに位相差ΔΦｏｐｔ／ｃｏｍを有する。

この位相差ΔΦｏｐｔ／ｃｏｍは、変調光電力２１の光学位相Φｏｐｔと制御信号１１の制御位相Φｃｏｍとの差に等しく（図４参照）、すなわちΔΦｏｐｔ／ｃｏｍ＝Φｏｐｔ－Φｃｏｍに等しい。

以下の説明では、本発明による測定方法のキャリブレーション工程の際に、変調周波数ｆｍにおいてキャリブレーション位相差ΔΦｃａｌが決定され、このキャリブレーション位相差ΔΦｃａｌが、光ビーム１２１Ａの変調光電力Ｐｏｐｔと制御信号１１との位相差ΔΦｏｐｔ／ｃｏｍによって決定される。

【００２７】

送信手段１２０は、光ビーム１２１Ａにより材料層２を照射するように構成され、該光ビームは、加熱点２Ａでこの材料層２に入射される（図１参照）。

有利には、ここでは送信手段１２０が材料層２から離れて配置されている。実際には、たとえば、送信手段は、試験対象のシリンダから離れて配置される。

これは、好ましくは、上記電気制御手段１１０ならびにデジタルフィルタリング手段１４１および計算手段１４２に対しても該当する。

【００２８】

ここで図示した実施例では、測定装置１００が、有利には、オフセットされた小型の測定ヘッド２５０を含む。オフセットされた測定ヘッド２５０は、上記送信手段１２０から離れて配置される。

特に、この測定ヘッド２５０は、シリンダ内部に配置された材料層の厚さを測定するために、エンジンのシリンダ内部に導入されるように構成される。この距離は、測定ヘッド２５０の外形寸法を考慮してシリンダケースの大部分のシリンダ内で使用可能であり、特にシリンダの内部に入れるようにされる。

【００２９】

測定装置１００の使用に応じて、測定ヘッド２５０は、測定ヘッド２５０からの光ビーム１２１Ａの出力と材料層２との間の距離が４センチメートル（ｃｍ）未満となるように配置される。

この測定ヘッド２５０は、特に、測定装置１００の様々な光学的および機械的構成要素を収容する本体を含む。

【００３０】

オフセットされたこの測定ヘッド２５０は、第１の光ファイバ２５２Ａを用いて送信手段１２０に接続される。上記送信手段１２０から測定ヘッド２５０に向けて送信される光ビーム１２１Ａは、この第１の光ファイバ２５２Ａを介して前進する。

第１の光ファイバ２５２Ａは、レーザダイオードから送信された光ビーム１２１Ａが第１の光ファイバ２５２Ａの内部に結合されて、オフセット測定ヘッド２５０まで搬送されるように、レーザダイオードの出力に接続される（図１参照）。

第１の光ファイバ２５２Ａは、測定ヘッド２５０の本体の内部に通じる。

【００３１】

図２は、測定ヘッド２５０と、この測定ヘッドが含む様々な構成要素を示す。

オフセットされた測定ヘッド２５０は、まず、光ビーム１２１Ａを第１の光ファイバ２５２Ａの出力にコリメートするための光学コリメーション手段１２２を含む。

実際、レーザダイオードから送信された光ビーム１２１Ａは、第１の光ファイバ２５２Ａの出力で、たとえば１０°～４０°の大きい開口角度を有する。

【００３２】

光学コリメーション手段１２２は、ここでは、レーザダイオードの送信波長範囲における光学収差を補正されるダブレットレンズから形成される。

変形実施形態では、光学コリメーション手段１２２は、たとえば非球面レンズを含むことができる。

光ビーム１２１Ａの行程に光学コリメーション手段１２２を挿入することによって、光ビームの発散角はいっそう小さくなり、一般には５°未満である。そのため、光ビーム１２１Ａがより細くなり、すなわちその半径r_0が１／ｅ（単位：メートル（ｍ）またはミリメートル（ｍｍ））が小さく、たとえば０．５ｍｍ～３ｍｍである。

【００３３】

このようにして、材料層２により吸収される光ビーム１２１Ａによって堆積される表面エネルギー量がより大きくなり、特定された加熱点２Ａにおける温度上昇が一段と大きくなる。

発散角がいっそう小さい光ビーム１２１Ａは、測定ヘッド２５０内で第１の伝送経路に沿って伝送される。この第１の伝送経路は、コリメーション手段１２２から材料層２まで延びる。

本説明において、「伝送経路」とは、信号が、この信号のあらかじめ決められた送信領域と受信領域との間で伝送されるスペースの領域を意味する。たとえば、第１の伝送経路は、光ビーム１２１Ａが通過する進路に対応する。

【００３４】

意外なことに、測定装置１００は、図２に示したように、光ビーム１２１Ａの偏向素子１８１を同様に含む。偏向素子１８１は、光ビーム１２１Ａを偏向させるように構成される。

より詳しくは、ここでは、偏向素子１８１が、光ファイバの外に伝送される光ビーム１２１Ａを偏向させるように構成される。この偏向素子１８１は、光ファイバとは異なる。

より詳しくは、この偏向素子１８１は測定ヘッド２５０内に配置され、上記光学コリメーション手段１２２の出力で光ビーム１２１Ａを偏向させるように構成される。

【００３５】

ここで、光ビーム１２１Ａの偏向とは、光ビーム１２１Ａの伝送軸の変更を意味する。光ビームは、あらゆる光ファイバまたは他の光学素子の外で、１つの伝送方向を有する伝送軸に沿って全体として直線状に伝送される。

偏向素子１８１は、光ビーム１２１Ａの第１の伝送経路に少なくとも１つの方向変換を導入する。

実際、ここでは、偏向素子１８１は、光ビーム１２１Ａの第１の伝送経路に２つの方向変換を導入し、その結果、光ビーム１２１Ａの伝送軸は、この偏向素子１８１を介して通路からずらされている：偏向素子１８１の出力における光ビーム１２１Ａの伝送軸は、この偏向素子１８１の入力における光ビーム１２１Ａの伝送軸に平行に延びている。伝送方向は偏向素子１８１によって修正されない。ここでは、伝送軸の位置だけが修正されている。

【００３６】

そのため、偏向素子１８１は、この偏向素子１８１の上流に延びているために偏向素子１８１への入射光ビーム１２１Ａの経路に対応する、光ビーム１２１Ａの第１の伝送経路の第１の部分と、偏向素子１８１の下流に延びているために偏向素子１８１から出る光ビーム１２１Ａの経路に対応する、第１の伝送経路の第２の部分との間にオフセットを導入している。

光ビーム１２１Ａの伝送経路の第１の部分は、ここでは、光学コリメーション手段１２２と偏向素子１８１との間に延びている。

【００３７】

図２に示したように、光ビーム１２１Ａの第１の伝送経路の第１の部分と第２の部分とはここでは平行である。

変形実施形態では、偏向素子１８１内の通過によって光ビーム１２１Ａの伝送方向を修正することも検討可能である。

この偏向を可能にするために、偏向素子１８１は、光ビーム１２１Ａの波長λ_Lを反射する少なくとも１つの反射面、好ましくは、光ビーム１２１Ａの波長λ_Lを反射する少なくとも２つの反射面を含む。

【００３８】

実際には、偏向素子１８１は、内面が光ビーム１２１Ａの波長λ_Lを反射する菱面体プリズムである。

変形実施形態では、偏向素子１８１は、互いに平行に配置された２個の平面ミラーを平行に組み合わせて形成可能である。この場合、ミラーの反射面は、光ビーム１２１Ａの波長λ_Lを反射するために処理される。

【００３９】

図２に示したように、測定ヘッド２５０は反射素子１８２を同様に含む。反射素子１８２は、光ビーム１２１Ａを反射して、光ビーム１２１Ａの第１の伝送経路に１つの方向変換を導入するように構成される。

反射素子１８２は、偏向素子１８１の出力で光ビーム１２１Ａの行程に配置される。

その場合、光ビーム１２１Ａの第１の伝送経路の第２の部分は、偏向素子１８１と反射素子１８２との間に延びる。

【００４０】

光ビーム１２１Ａのこの第１の伝送経路の第３の部分は、反射素子１８２と材料層２との間に延びる。

その場合、反射素子１８２は、光ビーム１２１Ａの第１の伝送経路を、この光ビーム１２１Ａの第１の伝送経路の第２の部分と第３の部分が互いにゼロでない角度をなすように、配向することができる。

実際には、この角度を４５°～１００°とすることができる。必要に応じて、この角度を１８０°の値に近づけることが可能である。たとえば、エンジンの円筒形のシリンダ内部のコーティングの厚さ測定の場合、この角度は通常９０°である。

【００４１】

ここで記載した実施例では、光ビーム１２１Ａは、試験されるシリンダの軸にほぼ平行な入力方向に沿って測定ヘッド２５０内に入る。そのため、測定ヘッド２５０内の偏向素子１８１と反射素子１８２との上記構成によって、光ビーム１２１Ａは、入力方向と上記角度を形成しながら、測定ヘッド２５０から出る。

有利には、ここでは、光ビーム１２１Ａが入射角度９０°で材料層２に入射する。

【００４２】

図２に示したように、その場合、反射素子１８２は、光ビーム１２１Ａを材料層２に向けて配向可能である。実際には、反射素子１８２は、光ビーム１２１Ａの波長λ_Lを反射する平面ミラーである。

光ビーム１２１Ａによる材料層２の照射の結果、材料層２の加熱点２Ａの位置とその周囲で光ビーム１２１Ａが吸収されて材料層２が温められたことで、材料層２が加熱される。

この加熱の結果、加熱点２Ａの位置で材料層２の温度が変化していき、局部的に加熱された材料層２は、その場合、スペース全体への熱放射によって放射熱フロー１３１Ａを放射する（図１および図２参照）。

【００４３】

この放射熱フロー１３１Ａ（単位：ワット（Ｗ））は、特に加熱点２Ａで材料層２が到達する局部的な温度に関係する。

一般に、局部的な温度に到達すると、赤外線波長範囲で放射熱フロー１３１Ａが放射される。

光ビーム１２１Ａの光電力２１が変調されるので、材料層２により吸収される光電力の

部分が経時的に同様に変化し、加熱点２Ａの位置におけるこの材料層２の局部的な加熱は同様に経時的に変動する。

【００４４】

その結果、加熱点２Ａにおける材料層２の温度は、光ビーム１２１Ａと同じ変調周波数で同様に経時的に変動する。

そのため、材料層２による放射熱フロー１３１Ａは経時的に変化する。測定装置１００によるこの放射熱フロー１３１Ａの変動測定によって、材料層２の厚さを決定することができる。

【００４５】

図１と図２に示したように、材料層２による放射熱フロー１３１Ａは、第２の伝送経路に沿って測定ヘッド２５０に向けて伝送され、また測定ヘッド内で伝送される。

第２の伝送経路は、材料層２と上記光熱検知手段１３０との間で放射熱フロー１３１Ａが通る進路に対応する。

測定ヘッド２５０は光学収集手段１３２を含む。これらの光学収集手段１３２は、放射熱フロー１３１Ａの行程において材料層２と反射素子１８２との間に配置される。光学収集手段は、放射熱フロー１３１Ａを収集して、これを反射素子１８２に集束させるように構成される。

【００４６】

光学収集手段１３２は、ここでは貫通穴１３２Ａを含む。この貫通穴１３２Ａは、反射素子１８２から材料層２までの光ビーム１２１Ａの伝送時に、光ビーム１２１Ａを通過可能にする。

変形実施形態（図示せず）では、貫通穴１３２Ａが、少なくとも光ビーム１２１Ａの波長λ_Lに対して透過性の閉塞手段により塞がれる。これにより、特に、埃、湿気または他の異物の侵入から測定ヘッド２５０を保護することができる。

貫通穴１３２Ａは、たとえば、光ビーム１２１Ａを集束させることが可能な凸レンズで塞ぐことができ、それによって、たとえば０．１～１ミリメートル（ｍｍ）の非常に小径の光ビーム１２１Ａを得られる。

【００４７】

別の実施形態によれば、貫通穴１３２Ａは発散レンズで塞がれる。これにより、たとえば直径１～１５ｍｍの、より大径の光ビーム１２１Ａを材料層２の表面に得られる。

さらに別の変形実施形態によれば、貫通穴１３２Ａは、光ビーム１２１Ａの波長λ_Lを少なくとも通す窓によって塞がれる。この窓は、たとえばフッ化カルシウム（CaF_2）から形成可能である。

【００４８】

材料層２への光ビーム１２１Ａの入射角度が９０°であるので、放射熱フロー１３１Ａの大部分が、材料層２から９０°に配向された方向に測定ヘッド２５０に向かって放射される。

さらに、光学収集手段１３２は、好ましくは、光ビーム１２１Ａの第１の伝送経路の第３の部分にセンタリングされる。

そのため、材料層２から放射されて反射素子１８２まで進む放射熱フロー１３１Ａの全体的な方向は、ここでは、材料層２への光ビーム１２１Ａの入射方向と同じである。放射熱フロー１３１Ａと、対応する光ビーム１２１Ａとの伝送軸は一致する。

【００４９】

換言すれば、ここでは、光ビーム１２１Ａの第１の伝送経路の第３の部分は、材料層２と反射素子１８２との間に延びる、放射熱フロー１３１Ａの第２の伝送経路の第１の部分に重なる。

反射素子１８２は、放射熱フロー１３１Ａを反射するように同様に構成される。したがって、実際には、反射素子１８２の反射面は、光ビーム１２１Ａと放射熱フロー１３１Ａとを反射するように処理される。

放射熱フロー１３１Ａの第２の伝送経路の第２の部分は、反射素子１８２と偏向素子１

８１との間に延びる。
【００５０】
その場合、反射素子１８２は、放射熱フロー１３１Ａのこの第２の伝送経路の第１の部分と第２の部分とが互いにゼロでない角度をなすように、放射熱フロー１３１Ａの第２の伝送経路を配向することができる。この角度は、光ビーム１２１Ａの第１の伝送経路の第２の部分と第３の部分との間に反射素子１８２により導入される角度と明らかに同じである。
実際には、先に述べたように、この角度は４５°～１００°とすることができる（さらに、特定の場合には１８０°よりやや狭くすることができる）。たとえば、エンジンのシリンダ内部のコーティングの厚さ測定の場合、角度は通常９０°である。
そのため、放射熱フロー１３１Ａの第２の伝送経路の第２の部分と光ビーム１２１Ａの第１の伝送経路の第２の部分とが同様に重なる。
【００５１】
図２に示したように、放射熱フロー１３１Ａは、その後、偏向素子１８１に向かって伝送される。偏向素子１８１は、放射熱フロー１３１Ａの第２の伝送経路に沿って放射熱フロー１３１Ａを偏向せずに伝送するように構成される。実際には、偏向素子１８１の表面は光ビーム１２１Ａを反射するが、放射熱フロー１３１Ａを反射することはない。したがって、放射熱フロー１３１Ａの伝送方向は、偏向素子１８１を介した通過によって修正されない。
偏向素子１８１の存在によって、偏向素子１８１と材料層２との間で光ビーム１２１Ａの第１の伝送経路と放射熱フロー１３１Ａの第２の伝送経路とを重ねることができる。その結果、測定ヘッド２５０はいっそうコンパクトになる。
【００５２】
より詳しくは、ここでは、偏向素子１８１と材料層２との間で光ビーム１２１Ａの第１の伝送経路と放射熱フロー１３１Ａの第２の伝送経路とが完全に重なる。
偏向素子１８１の下流すなわち、この偏向素子１８１からの放射熱フロー１３１Ａの出力で、放射熱フロー１３１Ａの第２の伝送経路は、測定ヘッド２５０の光熱検知手段１３０まで延びる第３の部分を含む。
同様に測定ヘッド２５０に含まれる光学フィルタ１３５は、放射熱フロー１３１Ａの行程において放射熱フロー１３１Ａの第２の伝送経路のこの第３の部分に沿って配置される。光学フィルタ１３５は、偏向素子１８１と光熱検知手段１３０との間に配置される。
【００５３】
これらの光熱検知手段１３０は、光ビーム１２１Ａにより加熱される材料層２による放射熱フロー１３１Ａを検知するように構成される。
特にここでは、これらの光熱検知手段１３０が、材料層２による放射熱フロー１３１Ａを集めるための赤外線光熱検知器１３１を含む。
光学フィルタ１３５は、光源１２１の放射波長λ_Lに近い波長に対して光透過率が低くなるように構成される。
【００５４】
このような光学フィルタ１３５は、たとえば１０以上、好ましくは２０以上の光学密度を有するゲルマニウム製のフィルタとすることができる。
この光学フィルタ１３５は、材料層２の表面で反射される光ビーム（図示せず）による光熱検知器１３１の照射を阻止することができる。
その反対に、光学フィルタ１３５は、赤外線領域で光透過率が高く、光熱検知器１３１に向かって放射熱フロー１３１Ａの大部分を透過する。
【００５５】
光学フィルタ１３５による透過後、放射熱フロー１３１Ａは、光熱検知手段１３０に含まれる光熱検知器１３１により収集される。実際には、他の光学集束手段（図示せず）が、放射熱フロー１３１Ａを集束可能である。これらの他の集束手段は、たとえば、ゲルマニウム製のレンズタイプである。

その場合、これらの光熱検知手段１３０は放射熱フロー１３１Ａを検知可能である。
光熱検知器１３１は、たとえば、セレン化鉛セルや、アンチモン化インジウムＣ．Ｉ．Ｄすなわち「Ｃｈａｒｇｅ－Ｉｎｊｅｃｔｉｏｎ Ｄｅｖｉｃｅ（電荷注入装置）」タイプの冷却型センサ、またはテルル化カドミウム水銀の冷却型センサ等の単一の赤外線検知器とすることができる。

【００５６】

光熱検知器１３１は、光ビーム１２１Ａにより照射される材料層２の局部的な加熱点２Ａによる放射熱フロー１３１Ａに応じて決定されるアナログ電気信号１３１Ｂを発生する（図２参照）。
検知手段１３０は、アナログ信号１３１Ｂが伝達されるアナログ／デジタル変換器１３３を同様に含む。
このアナログ／デジタル変換器１３３は、その場合、材料層２による放射熱フロー１３１Ａを示すデジタル信号の測定信号１３３Ａを送る（図２参照）。

【００５７】

図１に示したように、測定装置１００は、さらに、電子情報処理ユニット１４０（以下、ＵＥＩと示す）を含む。このＵＥＩ１４０は、測定ヘッド２５０から離れて配置される。
測定ヘッド２５０は、第２の光ファイバ２５２ＢによってこのＵＥＩ１４０に接続される。放射熱フロー１３１Ａを示す測定信号１３３Ａは、この第２の光ファイバ２５２Ｂを介して光熱検知手段１３０からＵＥＩ１４０まで進む。
変形実施形態では、第２の光ファイバ２５２Ｂの代わりに、測定信号１３３Ａの伝送ケーブルを用いることができる。

【００５８】

第１の光ファイバ２５２Ａと第２の光ファイバ２５２Ｂとからなる光ファイバビーム２５２により送信手段１２０とＵＥＩ１４０に接続される測定ヘッド２５０の存在によって、送信手段１２０とＵＥＩ１４０は、厚さを決定すべき材料層２から離れて配置可能である。
これは、この材料層２が小型の半閉鎖システムの内部にある場合に特に有利である。
たとえば長さが数メートルを上回り、さらには数十メートルを上回る適切な長さの光ファイバ（および／またはケーブル）を用いることによって、利用可能なスペースがどちらかといえば狭くても測定を実施することができる。このような構成は、たとえば、エンジンのシリンダケース内で直径約数センチメートルのシリンダの内部コーティングの厚さを測定するのに特に適している。

【００５９】

さらに、図２に示したように、測定ヘッド２５０は、好ましくは、第１の部分２５４と第２の部分２５５との２つの部分を含む。
第２の部分２５５は、第１の部分２５４に対して回転移動する。実際、測定ヘッド２５０は、第２の部分２５５を回転させるように構成された作動装置３００を含む。作動装置３００は専用モータを含む。回転は、光ビーム１２１Ａの第１の伝送経路の第１の部分にほぼ平行な回転軸３０５を中心として実施される。

【００６０】

測定ヘッド２５０の第１の部分２５４は、少なくとも偏向素子１８１を含む。図２に示した実施例によれば、測定ヘッド２５０の第１の部分２５４が、光学コリメーション手段１２２、光学フィルタ１３５、および光熱検知手段１３０を同様に含む。
測定ヘッド２５０の第２の部分２５５は、少なくとも反射素子１８２を含む。図２に示した実施例では、測定ヘッド２５０の第２の部分２５５が、光学収集手段１３２を同様に含む。

【００６１】

反射素子１８２の回転によって、新たに調整を実施する必要なしに、コーティングの厚さを知りたい表面の内部の掃引が可能になる。エンジンのシリンダの場合、回転軸３０５を中心とする第２の部分２５５の回転によってシリンダ内部を掃引し、それによって、シ

リンダの断面の周囲の様々な場所でこのシリンダの内部コーティングの厚さを簡単かつ迅速に測定できる。

【００６２】

変形実施形態では、測定ヘッド２５０全体の移動システムを、測定ヘッド２５０の第２の部分２５５の回転軸３０５に平行な方向に沿って測定装置１００に設けることを同様に検討してもよい。その場合、測定ヘッド２５０は、回転軸３０５に沿って並進移動するように構成され、これによりシリンダの軸に沿って様々な高さで材料層２の厚さを容易かつ迅速に制御することができる。

変形実施形態では、光熱検知手段１３０を測定ヘッド２５０の外に配置してもよい。この場合、第２の光ファイバ２５２Ｂは、オフセットされた測定ヘッド２５０から光熱検知手段１３０に向けて放射熱フロー１３１Ａを前進することができる。これにより、測定ヘッド２５０の外形寸法をさらに小型化できる。

【００６３】

図１に示したように、上記で導入されたＵＥＩ１４０は、まず、検知手段１３０のアナログ／デジタル変換器１３３によりデジタル化された測定信号１３３Ａを入力で受信するデジタルフィルタリング手段１４１を含む。

先に説明したように、材料層２による放射熱フロー１３１Ａは、光電力２１が経時的に変化する光ビーム１２１Ａを吸収する材料層２の温度変動に関連する揺れ幅を有する（図４参照）。

【００６４】

図４では、放射熱フロー１３１Ａの正弦波成分を経時的に示す曲線３１の１例を示した。

材料層２の放射熱フロー１３１Ａに応じて決められる測定信号１３３Ａは、変調周波数f_mに変調される正弦波成分を同様に含む。

測定信号１３３Ａのこの正弦波成分は、制御信号を示す曲線１１に対して位相をずらされている。測定信号１３３Ａのこの正弦波成分の位相を測定位相Φ_{mes}と呼ぶ。

測定信号１３３Ａは光検知器１３１により検知された材料層２による放射熱フロー１３１Ａを示すので、この測定位相Φ_{mes}は、放射熱フロー１３１Ａの正弦波成分３１に対応する「熱」位相Φ_{th}と、光検知器１３１およびデータ収集装置の電子手段の内部位相Φ_{int}との和であり、すなわち$\Phi_{mes}=\Phi_{th}+\Phi_{int}$である。

【００６５】

以下、一般に、測定信号１３３Ａの正弦波成分を参照符号３１Ａで示す。

ＵＥＩ１４０のデジタルフィルタリング手段１４１は、測定信号１３３Ａの正弦波成分３１Ａをサンプリングして、制御手段１１の変調周波数f_mにおける当該正弦波成分３１Ａの測定位相Φ_{mes}を決定するようにプログラムされている。

より詳しくは、デジタルフィルタリング手段１４１は、ここでは、次のような従来の演算を実施する：

ｉ）測定信号１３３Ａをフーリエ変換により計算する。

ｉｉ）たとえば変調周波数f_mを中心とする帯域幅１０ヘルツの非常に狭くかつ非常に選択的なバンドパスフィルタを用いて、測定信号１３３Ａの正弦波成分３１Ａをフーリエ領域でサンプリングする。

【００６６】

変形実施形態では、上記演算ｉｉ）の後に、フィルタリングされた測定信号のフーリエ変換の逆フーリエ変換を計算し、次いで、制御信号１１との比較により測定位相を直接決定することによって、測定位相を決定することができる。

変形実施形態ではさらに、デジタルフィルタリング手段が、測定信号と制御信号との間で交差共分散とも呼ばれる交差相関を計算し、これにより、フーリエ領域で、これらの２つの信号間の類似ピークをサンプリングすることができる。この類似ピークは、複雑な表れ方をし、それについては２つの信号間の位相差のところで説明する。

【００６７】

ＵＥＩ１４０は、測定位相Φ_{mes}を決定するために正弦波成分３１Ａの実部と虚部とを

分離する計算手段１４２を同様に含む。
より詳しくは、これらの計算手段１４２は、測定信号１３３Ａの正弦波成分３１Ａをフーリエ変換の逆フーリエ変換により実部と虚部とに分離するが、このフーリエ変換は複雑な関数である。
その後、計算手段１４２は、制御信号１１の変調周波数f_mに対して、放射熱フロー１３１Ａの正弦波成分３１と光ビーム１２１Ａの変調光電力２１との間で位相差$\Delta\Phi_{th/opt}$を計算する。
【００６８】
そのため、計算手段１４２は、以下すなわち：
－測定信号１３３Ａのデジタルフィルタリング後に得られる測定位相Φ_{mes}を計算手段１４２に伝達するデジタルフィルタリング手段１４１と、
－制御信号１１の制御位相Φ_{com}を結合線１１１Ｂを介して計算手段１４１に伝達する電流発生器１１１と、
－本発明による測定方法のキャリブレーション工程の際に変調周波数f_mにおける所定のキャリブレーション位相差$\Delta\Phi_{cal}$をあらかじめ記録された記憶手段１４３と、
に接続される。
【００６９】
計算手段１４２は、放射熱フロー１３１Ａの正弦波成分３１と、光ビーム１２１Ａの変調光電力２１との間で位相差$\Delta\Phi_{th/opt}$を計算するようにプログラムされ、これは以下すなわち：
－測定位相Φ_{mes}と制御位相Φ_{com}との間の測定位相差$\Delta\Phi_{mes}$（したがって、この測定位相差$\Delta\Phi_{mes}$は：$\Delta\Phi_{mes}=\Phi_{mes}-\Phi_{com}$である）と、
－記憶手段１４３にあらかじめ記録されたキャリブレーション位相差$\Delta\Phi_{cal}$と、
に基づいて行われる。
計算手段１４２は、材料層２による放射熱フロー１３１Ａの正弦波成分３１と光ビーム１２１Ａの変調光電力２１との間の位相差$\Delta\Phi_{th/opt}$に応じて材料層２の厚さを決定するように同様にプログラムされる。
【００７０】
以下の説明では、この決定を実施するために、これらの測定手段が本発明による測定方法でどのように使用されるかについて述べる。
図１と図２に示した測定装置１００の実施形態では、ＵＥＩ１４０は、電流発生器１１１の変調周波数f_mを調整するために結合線１１１Ｂによって制御手段１１０を同様に制御可能である。
有利には、測定装置１００は、複数の材料層のうちの各材料層の厚さを同時に測定するアセンブリに組み込み可能であり、各材料層は、エンジンの複数のシリンダのうちの１つのシリンダの内部に配置される。
【００７１】
この測定アセンブリでは、
－上記送信手段は、上記電気制御手段により電気的に制御される複数の光ビームを送信して、制御信号の上記変調周波数f_mに正弦波で変調された光電力を各光ビームが有するように構成され、各光ビームが、この光ビームに組み合わされる上記材料層のうちの１つの材料層まで第１の伝送経路に沿って伝送され、
－光熱検知手段は、この材料層が組み合わされる光ビームにより加熱される各材料層による放射熱フローを検知して複数の測定信号を送るように構成され、各測定信号が、対応する上記材料層による放射熱フローを示し、各放射熱フローが、光熱検知手段まで第２の伝送経路に沿って伝送され、
－複数の偏向素子が設けられ、各偏向素子が、複数の光ビームのうちの１つの光ビームを偏向させて、各光ビームの第１の伝送経路が、この光ビームを偏向させる偏向素子とこの光ビームに組み合わされる材料層との間で、対応する放射熱フローの第２の伝送経路と重なるように構成され、

－デジタルフィルタリング手段は、上記制御信号の変調周波数f_mに変調された正弦波成分を各測定信号からサンプリングして、この正弦波成分の測定位相Φ_{mes}を決定するように構成され、

－計算手段は、制御信号の上記変調周波数f_mに対して、各材料層による放射熱フローの正弦波成分と、この材料層が組み合わされる上記光ビームの変調光電力との間の位相差$\Delta\Phi_{th/opt}$を計算するために、また、

－この材料層による上記放射熱フローの正弦波成分と、この材料層が組み合わされる光ビームの変調光電力との間の位相差$\Delta\Phi_{th/opt}$に応じて各材料層の厚さを決定するために、プログラムされている。

【００７２】

上記複数のシリンダにおけるシリンダは、たとえばアラインメントしておくことができる。

測定アセンブリは、たとえば、上記のような複数の制御手段と複数の送信手段とを含む。各制御手段は、１つの送信手段に組み合わされる。これにより、上記複数の光ビームを発生可能である。実際には、エンジン内のシリンダと同数の光ビームが発生される。したがって、好ましくは、同時制御されるシリンダと同数の制御手段および送信手段が設けられる。

測定アセンブリは同様に、すべてのシリンダにおいて同時に厚さ測定できるようにするために、制御されるシリンダと同数の、先に述べたような測定ヘッドを含む。各測定ヘッドは、上記複数の送信手段のうちの１つの送信手段から送られる単一の放射ビームを受け取る。

【００７３】

オフセットされた各測定ヘッドは、その後、対応するシリンダ内で実施される測定に対応する測定信号を発生する。したがって、複数の測定信号が生まれる。そのため、実際には、エンジン内に含まれるシリンダと同数の測定信号がある。

測定アセンブリは、さらに、好ましくは、すべてのシリンダに対して発生した測定信号全体を分析し、したがって、エンジンのシリンダケースの各シリンダの内部でコーティングの厚さを同時に決定可能な、単一のＵＥＩを含む。

【００７４】

以下、図３を参照しながら、図１と図２に示した測定装置１００を用いた本発明による材料層２の厚さ測定方法について説明する。

ここで記載した実施例では、それぞれ$f_{m,1}$、$f_{m,2}$、・・・$f_{m,22}$まで示した２２個の変調周波数の集合を使用し、これらの変調周波数$f_{m,1}$、$f_{m,2}$・・、$f_{m,22}$はすべて互いに異なっている。

【００７５】

この特定の実施形態によれば、測定方法は、ここでは次の３つの連続期間を含む：

－使用される各変調周波数$f_{m,1}$、$f_{m,2}$・・、$f_{m,22}$で電気制御手段１１０に対して送信手段１２０をキャリブレーションする手段（図３のブロックＡ）を含む第１の期間（Ｐ１）（図３参照）、

－各変調周波数$f_{m,1}$、$f_{m,2}$・・、$f_{m,22}$に対して、以下すなわち：

－光ビーム１２１Ａを用いた材料層２の加熱工程（図３のブロックＢ）

－光熱検知器１３１による放射熱フロー１３１Ａの検知工程（図３のブロックＣ）

－ＵＥＩ１４０による測定信号１３３Ａのデジタルフィルタリング工程（図３のブロックＤ）、および

－ＵＥＩ１４０による測定位相差$\Delta\Phi_{mes}$の計算工程（図３のブロックＥ）

を含む第２の期間Ｐ２（図３参照）、

－ＵＥＩ１４０による材料層２の厚さ決定（図３のブロックＦ）を含む第３の期間Ｐ３（図３参照）。

【００７６】

次に、これらの各位相について説明する。

第１の期間Ｐ１

この第１の期間Ｐ１のとき、各変調周波数$f_{m,1}$、$f_{m,2}$・・、$f_{m,22}$に対して送信手段１２０のキャリブレーション工程（図３のブロックＡ参照）を実施し、考慮された変調周波数$f_{m,1}$、$f_{m,2}$・・、$f_{m,22}$で、光熱検知手段１３０により変調光電力２１と制御信号１１との間のキャリブレーション位相差$\Delta\Phi_{cal,1}$、$\Delta\Phi_{cal,2}$、・・・、$\Delta\Phi_{cal,22}$を決定する（図４参照）。

【００７７】

このキャリブレーション工程は、材料層２と基板１に代わって配置かつ配向された平面ミラーを用い、また、光熱検知手段１３０によってミラーにより反射される光ビームを測定するために毎回光学フィルタ１３５を除去しさえすれば、図１と図２に示した測定装置１００により簡単に実施可能である。

この構成では、検知手段１３０から送られる測定信号１３３Ａが正弦波であり、この測定信号１３３Ａのデジタルフィルタリングが一切不要である。その場合、ＵＥＩ１４０は、各変調周波数$f_{m,1}$、$f_{m,2}$・・、$f_{m,22}$に対して、レーザダイオードと電流発生器１１１との間でキャリブレーション位相差$\Delta\Phi_{cal,1}$、$\Delta\Phi_{cal,2}$、・・・、$\Delta\Phi_{cal,22}$を決定し、これをＵＥＩ１４０の記憶手段１４３に記録する。

【００７８】

光検知器１３１により測定されたこのキャリブレーション位相差$\Delta\Phi_{cal}$,は、変調光電力２１と制御信号１１との間の位相差$\Delta\Phi_{opt/com}$に応じて決定される。より詳しくは、ここでは、キャリブレーション位相差$\Delta\Phi_{cal}$は、光検知器１３１の内部位相Φ_{int}に関連して必ずバイアスを含むので、キャリブレーション位相差$\Delta\Phi_{cal}$は、位相差$\Delta\Phi_{opt/com}$と、光検知器１３１およびデータ収集装置の電子手段の内部位相Φ_{int}との和である。そのため、以下の関係式が得られる：

$\Delta\Phi_{cal}=\Delta\Phi_{opt/com}+\Phi_{int}=(\Phi_{opt}-\Phi_{com})+\Phi_{int}=(\Phi_{opt}+\Phi_{int})-\Phi_{com}$。

第１の期間Ｐ１の終わりに、２２個の変調周波数$f_{m,1}$、$f_{m,2}$・・、$f_{m,22}$の集合に対してそれぞれ決定された様々なキャリブレーション位相差$\Delta\Phi_{cal,1}$、$\Delta\Phi_{cal,2}$、・・・、$\Delta\Phi_{cal,22}$が決定され、ＵＥＩ１４０の記憶手段１４３に記録される。

【００７９】

好ましくは、この第１の位相が、第２の位相Ｐ２、第３の位相Ｐ３の前に実施される。

第２の期間Ｐ２

測定方法の第２の期間Ｐ２は、測定装置１００の送信手段１２０からの光ビーム１２１Ａによる材料層２の照射によって材料層２を加熱する工程（図３のブロックＢ）から開始される（図１および図２参照）。

第１の加熱工程は、たとえば第１の変調周波数$f_{m,1}$に対して実施される。

【００８０】

次に、光ビーム１２１Ａにより加熱された材料層２による放射熱フロー１３１Ａを光熱検知手段１３０によって検知する第１の検知工程（図３のブロックＣ）が実施され、したがって、光ビームの光電力２１は第１の変調周波数$f_{m,1}$に正弦波で変調される。

放射熱フロー１３１Ａは、光熱検知器１３１によって収集され、その場合、光熱検知手段１３０は、材料層２による放射熱フロー１３１Ａを示す第１の測定信号１３３Ａを送る。

【００８１】

その後、第１のデジタルフィルタリング工程（図３のブロックＣ）の際に、この第１の測定信号１３３ＡがＵＥＩ１４０のデジタルフィルタリング手段１４１によりデジタル的にフィルタリングされ、第１の変調周波数$f_{m,1}$に変調された第１の正弦波成分３１Ａをそこからサンプリングする。

第１の正弦波成分３１Ａは、この第１の正弦波成分３１Ａの第１の測定位相$\Phi_{mes,1}$を決定するＵＥＩ１４０の計算手段１４２に伝送される。

【００８２】

さらに、第１の計算工程（図３のブロックＥ）の際に、計算手段１４２は、第１の変調周波数$f_{m,1}$に対して、放射熱フロー１３１Ａの第１の正弦波成分３１と光ビーム１２１Ａの変調光電力２１との間の第１の位相差$\Delta\Phi_{th/opt,1}$を計算する。

この第１の位相差$\Delta\Phi_{th/opt,1}$は、第１の正弦波成分３１Ａの第１の測定位相$\Phi_{mes,1}$と制御信号１１の第１の制御位相$\Phi_{com,1}$との間の第１の測定位相差$\Delta\Phi_{mes,1}$と、第１の期間Ｐ１の第１のキャリブレーション工程の際にあらかじめ決定された第１のキャリブレーション位相差$\Delta\Phi_{cal,1}$とに基づいて計算される（図３のブロックＡとブロックＥとの間の実線の矢印参照）。

【００８３】

特に以下の関係式が得られる：

$\Delta\Phi_{th/opt,1}=\Delta\Phi_{mes,1}-\Delta\Phi_{cal,1}$、ここで$\Delta\Phi_{mes,1}=\Phi_{mes}-\Phi_{com}$および$\Delta\Phi_{cal,1}=(\Phi_{opt}+\Phi_{int})-\Phi_{com}$、

したがって、$\Delta\Phi_{th/opt,1}=(\Phi_{mes}-\Phi_{com})-[(\Phi_{opt}+\Phi_{int})-\Phi_{com}]$

すなわち$\Delta\Phi_{th/opt,1}=[(\Phi_{th}+\Phi_{int})-\Phi_{com}]-[(\Phi_{opt}+\Phi_{int})-\Phi_{com}]$、次のように表せる。

$\Delta\Phi_{th/opt,1}=(\Phi_{th}+\Phi_{int})-(\Phi_{opt}+\Phi_{int})$。

これにより最終的に以下が得られる：$\Delta\Phi_{th/opt,1}=\Delta_{th}-\Delta_{opt}$

そのため、キャリブレーション工程と検知工程との両方に光熱検知手段１３０を用いることによって、制御信号１１の変調周波数f_mがどうであろうと光熱検知器１３１の内部位相の問題を乗り越え、本発明による測定方法により放射熱フロー１３１Ａと光ビーム１２１Ａとの位相差$\Delta\Phi_{th/opt}$の非常に正確な測定が得られる。

【００８４】

ここで説明した測定方法の実施例では２２個の変調周波数が用いられている。

しかし、本発明による測定方法は、制御信号の変調周波数がたった１つだけでも、あるいは、１つ以上のあらゆる数の変調周波数に対しても実施可能である。

複数の変調周波数を用いる場合、測定方法の精度がよくなる。

第２の期間Ｐ２では、他の変調周波数$f_{m,2}$・・、$f_{m,22}$の各々に対してキャリブレーション工程、加熱工程、検知工程を繰り返す。

【００８５】

他の計算工程では、これらの他の変調周波数$f_{m,2}$・・、$f_{m,22}$に対して、放射熱フロー１３１Ａの他の変調周波数$f_{m,2}$・・、$f_{m,22}$における他の正弦波成分と、これらの変調周波数$f_{m,2}$・・、$f_{m,22}$における光ビーム１２１Ａの変調光電力２１との間の他の位相差$\Delta\Phi_{th/opt,2}$、・・・$\Delta\Phi_{th/opt,22}$を同様に計算する。

有利には、連続して検討される２つの個々の変調周波数f_mとf'_mに対して、後で検討される変調周波数f'_mに対して実施される加熱工程（図３のブロックＢ）と検知工程（図３のブロックＣ）が、直前に検討された変調周波数f_mに対して実施されるデジタルフィルタリング工程（図３のブロックＤ）と計算工程（図３のブロックＥ）と並行して実施される（図３のブロックＣとブロックＢとの間の破線の矢印Ｇ参照）。

【００８６】

このようにして、第２の期間Ｐ２の持続時間が短縮され、各変調周波数$f_{m,1}$、$f_{m,2}$・・、$f_{m,22}$に対して計算される位相差$\Delta\Phi_{th/opt,1}$、$\Delta\Phi_{th/opt,2}$、・・・$\Delta\Phi_{th/opt,22}$の集合をより迅速に得られる。

そのため、第２の期間Ｐ２の終わりには、放射熱フロー１３１Ａの正弦波成分３１と光ビーム１２１Ａの変調光電力２１との間の様々な変調周波数$f_{m,1}$、$f_{m,2}$・・、$f_{m,22}$において、測定された位相差の実験値$\Delta\Phi_{th/opt,1}$、$\Delta\Phi_{th/opt,2}$・・・$\Delta\Phi_{th/opt,22}$の集合が得られる。

【００８７】

第３の期間Ｐ３

第３の期間Ｐ３では、材料層２による放射熱フロー１３１Ａの正弦波成分３１と光ビー

ム１２１Ａの変調光電力２１との間で各変調周波数ｆｍ，１、ｆｍ，２・・、ｆｍ，２２に対して計算された位相差ΔΦｔｈ／ｏｐｔ，１、ΔΦｔｈ／ｏｐｔ，２・・・ΔΦｔｈ／ｏｐｔ，２２に応じて材料層２の厚さの決定工程（図３のブロックＦ）を実施する。

このため、測定された位相差の実験値ΔΦｔｈ／ｏｐｔ，１、ΔΦｔｈ／ｏｐｔ，２・・・ΔΦｔｈ／ｏｐｔ，２２について統計的回帰を用いて処理することができる。

【００８８】

より詳しくは、第２の期間Ｐ２の際に計算された位相差ΔΦｔｈ／ｏｐｔ，１、ΔΦｔｈ／ｏｐｔ，２・・・ΔΦｔｈ／ｏｐｔ，２２の実験値と、正弦波成分３１と変調周波数に応じて変調される光電力２１との間の理論上の位相差ΔΦｔｈ／ｏｐｔ，ｔｈｅｏを示す理論上の曲線を用いて得られた理論上の値とを比較することによって曲線を調整する。

実際、特定の変調周波数ｆｍに対して、理論上の位相差ΔΦｔｈ／ｏｐｔ，ｔｈｅｏは、材料層２の厚さｄにおいて、たとえば数学的な関係式（関係式Ｒ１）により次のように表されることを示す。：

【００８９】

【数１】

$$\Delta\varphi t_{h/opt}(f_m) = \arg\left(\int_0^{+\infty} \frac{\frac{1}{2}x \times \exp\left(-\frac{x^2}{4}\right)}{\kappa_1^2 - \alpha_c^2} \times \left\{\frac{e^{-\kappa_1 d}}{\kappa_1 D}\left[\left(e^{-\alpha_c d} - e^{-\kappa_1 d}\right)(1 + k_s\kappa_2 R_{cont}) + \left(e^{-\kappa_1 d} - \frac{\kappa_1}{\alpha_c}e^{-\alpha_c d}\right)\frac{k_s\kappa_2}{k_c\kappa_1}\right] + \left(1 - \frac{\alpha_c}{\kappa_1}\right)\right\} dx\right)$$

ここで

【００９０】

【数２】

$$D = \left(1 + e^{-2\kappa_1 d}\right)\frac{k_s\kappa_2}{k_c\kappa_1} + (1 - k_s\kappa_2 R_{cont})$$

および

【００９１】

【数３】

$$\kappa_1 = \sqrt{x^2/{r_0}^2 - 2\pi i f \rho_c C_c/k_c}\ et\ \ \kappa_2 = \sqrt{x^2/r_0^2 - 2\pi i f \rho_s C_s/k_s}$$

【００９２】

上記の式では、材料に依存する様々な物理的定数と複数の幾何学的パラメータとが介在する。特に：

－ρｃＣｃおよびρｓＣｓは、それぞれ、材料層２と基板１の単位体積当たりの熱容量（単位：ジュール毎ケルビンおよびジュール毎立方メートル（Ｊ．Ｋ$^{-1}$．ｍ^{3}）、

－ｋｃおよびｋｓは、それぞれ、材料層２と基板１の熱伝導率（単位：ワット毎メートルおよびワット毎ケルビン（Ｗ．ｍ$^{-1}$．Ｋ$^{-1}$））、

－ｄは、材料層２の厚さ（単位：メートル（ｍ））、

－ｒ$_0$は、レーザの光ビーム１２１Ａの１／ｅにおける半径（単位メートル）（ｅは、ｅｘｐが指数関数であるときｅ^{1}＝ｅｘｐ（１）に等しい定数である）、

－R_{cont}は、材料層２と基板１の間の境界における熱抵抗（単位：平方メートルケルビン毎ワット（$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$）、
－α_cは、光源１２１から送信された光ビーム１２１Ａの放射波長λ_Lにおける材料層２の吸収計数（単位：メートル（m^{-1}）である。

【００９３】

そのため、理論上の位相差$\Delta\Phi_{th/opt,theo}$を示す曲線は、一方では材料層２の厚さｄに、他方ではこれらの物理的な定数（図３のブロックＦ１）に依存し、厚さｄとこれらの物理的な定数は、曲線を調整するための調整パラメータとみなされる。
換言すれば、決定工程（図３のブロックＦ）では、検討された上記変調周波数f_m、f'_mに対して計算された上記位相差$\Delta\Phi_{th/opt}$、、$\Delta\Phi'_{th/opt}$を考慮しながら、変調光電力２１と正弦波成分３１との間の理論上の位相差$\Delta\Phi_{th/opt,theo}$を変調周波数に応じて示す曲線をこれらの調整パラメータに応じて調整し、それによって、理論上の位相差$\Delta\Phi_{th/opt,theo}$を示す曲線が、決定された位相差の実験値$\Delta\Phi_{th/opt,1}$、$\Delta\Phi_{th/opt,2}$・・・$\Delta\Phi_{th/opt,22}$を最もよく描くようにする。

【００９４】

このような回帰は、たとえばレーベンバーグ・マルカート法を用いて実施可能である。
こうした調整を図５に示し、この図では：
－横座標：対数スケールによる変調周波数f_m（単位：ヘルツ（Ｈｚ））
－縦座標：放射熱フロー１３１Ａの正弦波成分３１と光ビーム１２１Ａの変調光電力２１との間の位相差
を示した。

【００９５】

上記の図５には、
－第２の期間Ｐ２の際に計算された、位相差$\Delta\Phi_{th/opt}$の２２個の実験値と、
－レーベンバーグ・マルカートタイプの逆の方法を用いて得られた変調周波数に応じた、放射熱フロー１３１Ａの正弦波成分３１と光ビーム１２１Ａの変調光電力２１との間の理論上の位相差$\Delta\Phi_{th/opt,theo}$の曲線と、
を記した。
レーベンバーグ・マルカート法の意味で最適なこの曲線は、調整パラメータの集合に対して得られる。
その場合、調整された代表的なこの理論上の最適曲線のこれらの調整パラメータの１つとして、材料層２の厚さｄを決定する。
１つの変形実施形態によれば、測定方法は、制御信号の単一の変調周波数を用いて実施される。

【００９６】

材料層２の厚さは、上記と同じ関係式Ｒ１を用いて、放射熱フロー１３１Ａの正弦波成分と光ビームの変調光電力２１との間の位相差$\Delta\Phi_{th/opt}$に応じて決定される。
この関係式では、材料層２の材料の種類、基板１の種類および、たとえば温度等の実験条件に応じてあらかじめ決められた値を様々な熱的－物理的値に割り当てる。
変形実施形態では、公知の様々な厚さのコーティング層を有する複数のコーティングサンプルを同様に使用可能である（他の技術によりあらかじめ測定を実施されている）。これにより、放射熱フロー１３１Ａの正弦波成分と光ビーム１２１Ａの変調光電力２１との位相差$\Delta\Phi_{th/opt}$と、材料層の厚さｄとの間の関係を経験に基づいて再構築することができる。
割当てに際しては、様々な熱的－物理的値に対して考えられる値の範囲を決定可能である。

【００９７】

上記のような測定装置１００によって、たとえば多孔質巣またはコーティングの凝集力不足等の、コーティングに存在する欠陥を同様に測定可能である。
以上、測定装置の全体の外形寸法を小さくできる偏向素子を、測定装置の諸素子の一部

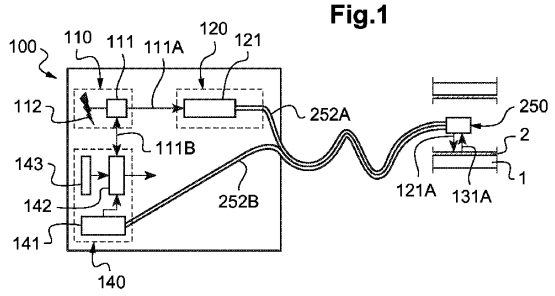
分を遠隔化可能なオフセット測定ヘッドと組み合わせて使用することで狭いスペース内の材料層の厚さを測定可能な、本発明による測定装置の特に有利な実施形態について説明した。

さらに、オフセット測定ヘッドを使用せずに本発明による測定装置を用いることも同様に可能である。この別の実施形態を実施するには、記載した各素子を維持し、測定装置の他の部分に測定ヘッドを接続する光ファイバ（および／またはケーブル）だけを除去する。

【図面】

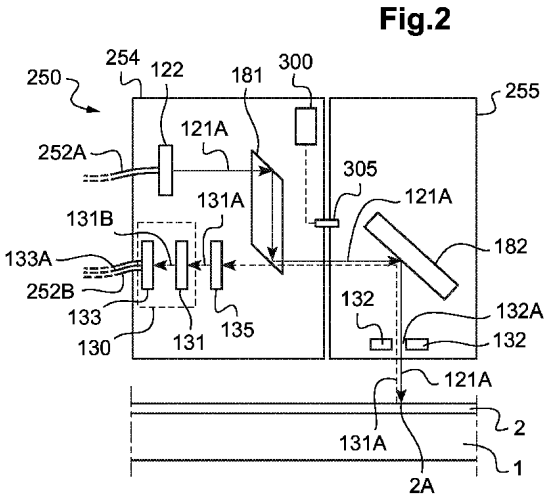
【図１】

Fig.1



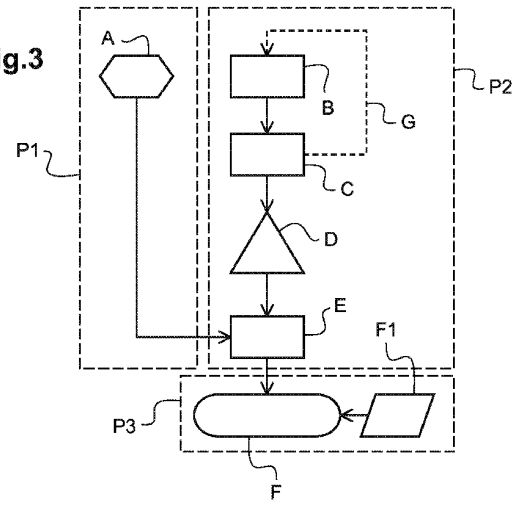
【図２】

Fig.2



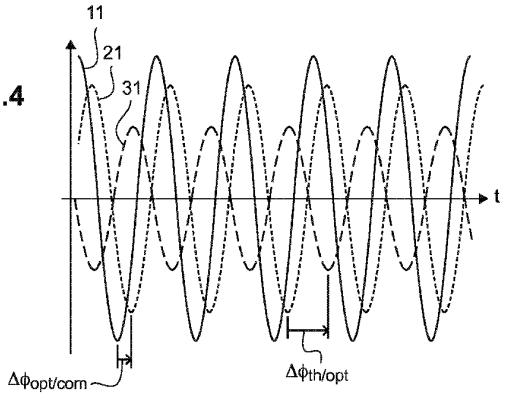
【図３】

Fig.3



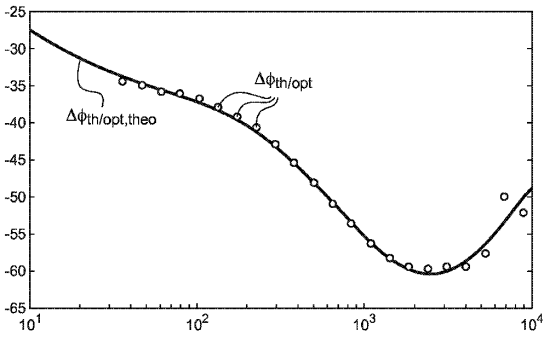
【図４】

Fig.4



【図５】

Fig.5


-25
-30
-35
-40
-45
-50
-55
-60
-65
10^1
10^2
10^3
10^4
$\Delta\phi_{th/opt}$
$\Delta\phi_{th/opt,theo}$

フロントページの続き

(74)代理人　100149401
弁理士　上西 浩史
(72)発明者　オウバネル， ローラン
フランス共和国 パリ ７５０１４ リュ ド ラ ギエテ ３７
(72)発明者　ドゥルネ， デヴィド
フランス共和国 マロム ７６１５０ ジョルジュ シュダン アンパス ６
(72)発明者　イナーシャルヴァン， ジョン
フランス共和国 ヴァンセンヌ ９４３００ リュ ロバー ジロディノー １５
(72)発明者　ブルノ， ジョフレ
フランス共和国 パリ ７５０１４ リュ ド ラ ソンテ ５４
審査官　眞岩 久恵
(56)参考文献　米国特許出願公開第２０１６／０１６１２４７（ＵＳ，Ａ１）
(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｂ　１１／００－１１／３０