(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3594335号
(P3594335)
(45)発行日　平成16年11月24日(2004.11.24)　(24)登録日　平成16年9月10日(2004.9.10)

(51)Int.Cl.[7]	F I
G01B 9/02	G01B 9/02
G01J 9/02	G01J 9/02

請求項の数 3　(全 13 頁)

(21)出願番号	特願平6-189835
(22)出願日	平成6年7月20日(1994.7.20)
(65)公開番号	特開平7-77404
(43)公開日	平成7年3月20日(1995.3.20)
審査請求日	平成13年7月11日(2001.7.11)
(31)優先権主張番号	095,630
(32)優先日	平成5年7月21日(1993.7.21)
(33)優先権主張国	米国(US)

(73)特許権者　399117121
アジレント・テクノロジーズ・インク
AGILENT TECHNOLOGIES, INC.
アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアルト　ページ・ミル・ロード　３９５
３９５ Page Mill Road Palo Alto, California U.S.A.
(74)代理人　100105913
弁理士　加藤　公久
(72)発明者　グレゴリー・エム・カトラー
アメリカ合衆国カリフォルニア州クーパーティノ、カルタブランカストリート　２２３４５

最終頁に続く

(54)【発明の名称】干渉計及び光波長測定方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

波長が未知である被測定光ビームの波長を測定するための干渉計であって、既知の波長の基準光ビームを発生させるために使用される基準レーザと、前記被測定光ビーム及び前記基準光ビームのそれぞれについて別個の第１及び第２の光学経路を構成するよう分割するビームスプリッタと、回転プラットフォーム上に設けられ、前記ビームスプリッタから入射される分割されたそれぞれ光の前記第１及び第２の光学経路を回転プラットフォームの回転角によって変化させる光学経路変更装置と、該光学経路変更装置からの出射光を逆向きに反射させて再度前記光学経路変更装置内を通過させる逆反射手段と、前記第１及び第２の光学経路を成す前記被測定光ビーム及び前記基準光ビームのそれぞれを干渉信号の形にする再会合手段と、前記被測定光ビーム及び前記基準光ビームの前記干渉信号を検出する検出手段と、検出信号を処理する信号処理手段を含む干渉計において、

前記光学経路変更装置は、前記回転プラットフォーム上に空気層を挟んで固定され該回転プラットフォームと共に回転可能とされる対向反射器を備えた回転ペリスコープ構造を有し、少なくとも該回転ペリスコープ構造における前記被測定光ビームの前記第１及び第２の光学経路と前記基準光ビームの前記第１及び第２の光学経路とを高さ方向に並べて設定し、

前記対向反射器とは別個に、前記回転プラットフォームの方向を検出して前記信号処理手段に方向検出信号を送信する方向検出手段を更に有することを特徴とする干渉計。

【請求項２】

前記回転プラットフォームの前記ビームスプリッタ側に、前記光学経路変更装置から戻る方向に出射された光を、再び前記光学経路変更装置を通過させるようにする追加の反射器手段を更に有することを特徴とする、請求項１に記載の干渉計。
【請求項３】
前記追加の反射器は、２方向反射器の一部とされ、前記ビームスプリッタは２つ設けられることを特徴とする、請求項２に記載の干渉計。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、波長が未知である信号の波長を測定するために使用される、又は、可動要素の位置を測定するために使用される、動的干渉計（ｄｙｎａｍｉｃ　ｉｎｔｅｒｆｅｒｏｍｅｔｅｒ）に係わる。
【０００２】
【従来の技術】
米国特許第４，３２９，０５５号（Ｓｃｈａｅｆｅｒ他）は、回転する透明平行六面体（ｒｏｔａｔｉｎｇ　ｐａｒａｌｌｅｌｅｐｉｐｅｄｉｃ　ｔｒａｎｓｐａｒｅｎｔ　ｂｏｄｙ）を使用する干渉計を説明する。図１に示されるように、Ｓｃｈａｅｆｅｒは、ビームスプリッタ４に入力ビームを送るレーザ源２の使用を開示する。ビームスプリッタ４は、位置４ａにおいて、入射光ビームを２つの分枝ビームに分割する。これらの２つの分枝ビームは、回転する透明平行六面体５を通過し、鏡６、７によって反射される。この後で、これらの２つの分枝ビームは、ビームスプリッタ４内の位置４ａに戻り、干渉信号ビームの形に再会合させられ、検出器８に送られる。検出器８で検出された干渉信号は、入力ビームの波長と、上記分枝ビーム相互間の光学経路長の差とに応じて決まる強度を有する。この光学経路長の差は、回転する透明平行六面体５内において生じさせられ、平行六面体透明体５の回転に応じて変化する。
【０００３】
図１には、単一の入力信号が示されているだけであるが、Ｓｃｈａｅｆｅｒ他は、基準分枝ビームに分割された既知の波長の入力信号と、未知の波長の分枝ビームに分割された未知の波長の入力信号との両方を使用することを開示している。既知の波長の入力信号の使用は、未知の波長の測定精度を向上させる。既知の波長の入力信号と未知の波長の入力信号とが、別々の光学経路に沿って平行に装置の中に送り込まれる。基準分枝ビームが、未知の波長の分枝ビームとは異なった光学経路を有するので、基準分枝ビームと未知の波長の分枝ビームは、平行六面体透明体５の反射表面に対して互いに異なった接触点を有し、この干渉計は、これらの反射表面の平面性の欠陥に対して敏感である。Ｓｃｈａｅｆｅｒ他によって開示された干渉計の別の欠点は、回転する透明平行六面体５の屈折率が波長に依存しており、従って、異なった波長を有するビームは上記回転体内において異なった角度で屈折するということである。
【０００４】
【発明が解決しようとする課題】
本発明の目的は、精度が改善された波長計を提供することである。
【０００５】
【課題を解決するための手段】
本発明の原理によって、上記の目的とその他の目的とが、未知の波長の入力光ビームを使用する干渉計を用いることによって実現される。この干渉計は、既知の波長の入力光ビームを発生させるために使用される基準レーザと、入力光ビームを第１と第２の光学経路に沿った２つのビームに分割し且つ既知の波長の入力光ビームを第１の基準光学経路と第２の基準光学経路に沿った２つのビームに分割するために使用されるビームスプリッタとを含む。更に、この干渉計は、少なくとも第１の光学経路の長さと、第２の基準光学経路の長さとを変化させるための回転ペリスコープを含む。この回転ペリスコープは、回転プラットフォーム上に第１の反射器と第２の反射器とを有する。これらの第１の反射器と第２

の反射器は互いに概ね平行である。上記干渉計は、更に、少なくとも第１の光学経路内の光と第２の基準光学経路内の光を逆向きに反射して上記回転ペリスコープの中を再び通過させるための逆反射器手段を含み、更には、第１の光学経路からの光と第２の光学経路からの光とを干渉信号の形に再会合させ、且つ第１の基準光学経路からの光と第２の基準光学経路からの光とを基準干渉信号の形に再会合させるための手段を含む。これに加えて、上記干渉計は、上記干渉信号を検出するための検出器と、上記干渉基準信号を検出するための第２の干渉計とを有する。

【０００６】

更に、本発明の原理によって、既知の波長の第２の光ビームを用いて、光源からの光ビームの波長を測定するための方法を使用することによって、上記の目的とその他の目的とが実現される。この方法は、

入力光ビームを第１と第２の光学経路に沿った２つのビームに分割し、及び、既知の波長の入力光ビームを第１の基準光学経路と第２の基準光学経路に沿った２つのビームに分割する段階と、

上記２つの光学経路内の光と上記２つの基準光学経路内の光とを１対の平行反射器から反射させる段階と、

第１の光学経路内の光が第１の基準光学経路内の光とは反対方向に伝播し、且つ第２の光学経路内の光が第２の基準光学経路内の光とは反対方向に伝播することを可能にするために、第１の光学経路と第１の基準光学経路とが概ね同一であり且つ第２の光学経路と第２の基準光学経路とが概ね同一であるように、第１の光ビームと第２の光ビームとを配置する段階と、

上記反射器を回転させることによって、第１の光学経路の長さと第２の光学経路の長さを変化させ、且つ第１の基準光学経路の長さと第２の基準光学経路の長さを変化させる段階と、

第１の光学経路からの光と第２の光学経路からの光とを干渉信号の形に再会合させる段階と、

第１の基準光学経路からの光と第２の基準光学経路からの光とを基準干渉信号の形に再会合させる段階と、

上記干渉信号と上記基準干渉信号とを検出する段階と、

上記干渉信号と上記基準干渉信号とから上記光ビームの波長を測定する段階とを含む。

【０００７】

添付図面では、各図間において同等の構造物は、同一の参照符号で示されている。

【０００８】

【実施例】

図２は、平行反射器の中に送り込まれた光ビームに生じる横方向ずれ（ｓｈｅａｒｉｎｇ）と時間的ずれとを示す図である。光ビーム２０は平行反射器２２、２４から反射される。光ビーム２０は、そのビームが平行反射器２２、２４に入った時と同一の方向に平行反射器２２、２４を出ていくが、横方向のずれと時間的なずれとを伴っている。反射器２２、２４は距離ｄだけ互いに離れており、光ビーム２０は、反射器２４への法線に対して角度ψをなして反射器２４上に入射する。横方向のずれは線分ＢＣによって与えられ、時間的ずれは、線分ＣＡと線分ＡＢとによって与えられる。

【０００９】

【数１】

$$\text{横方向のずれ}\ (LS)=\overline{BC}=\frac{\sin 2\psi}{\cos\psi}d=2d\sin\psi$$

$$\text{時間的ずれ}\ (TS)=\overline{AB}+\overline{AC}=\frac{(1+\cos 2\psi)}{\cos\psi}d=2d\cos\psi$$

【００１０】

図３の（ａ）、図３の（ｂ）、図３の（ｃ）は、各々にペリスコープ方向θ＝－８°、０°、８°における、本発明のビームスプリッタ３０と回転ペリスコープ３２と逆反射器３４、３６とを示す略図である。この回転ペリスコープ３２は、回転プラットフォーム上に取り付けられた概ね平行な反射器３２ａ、３２ｂを有する。これらの平行な反射器３２ａ、３２ｂは、空気によって互いに隔てられている。

【００１１】

光源４０からの光は、ビームスプリッタ３０によって経路Ａと経路Ｂとに沿って分割される。これらの経路内の光は、平行な反射器３２ａ、３２ｂによって反射され、更に逆反射器３４、３６によって反射される。経路Ａ、Ｂ内の光が、逆反射器３４、３６によって逆向きに反射されて回転ペリスコープ３２の中を再び通過させられるので、光ビームの横方向ずれが取り除かれる。図３の（ａ）、図３の（ｂ）、図３の（ｃ）で各々にθ＝－８°、０°、８°において示されているように、経路Ａ、Ｂ内の光がビームスプリッタ３０に戻る時の出射方向は、回転ペリスコープ３２の個々の方向θの範囲に関して概ね同一のままである。光学経路Ａ、Ｂからの光が、ビームスプリッタ３０において干渉信号の形に再会合させられる。この干渉信号は、検出器４２に送られる。

【００１２】

経路Ａと経路Ｂとの間の経路長の差は、２（TS_A-TS_B）に等しく、前式中のTS_Aは経路Ａの場合の時間的ずれであり、TS_Bは経路Ｂの場合の時間的ずれである。αは、図３の（ｂ）に示すように、入力光ビームとビームスプリッタ法線と間の角度であり、θは、図３の（ｃ）に示すように、ペリスコープ反射器法線とビームスプリッタ法線との間の角度として与えられる回転ペリスコープの方向である。経路長の差に関する方程式は、次式によって与えられる。

$$TS_A = 2d\cos(\alpha+\theta)$$

$$TS_B = 2d\cos(\alpha-\theta)$$

$$\text{経路長の差}\ (PD)=2(TS_A-TS_B)$$

$$=4d(\cos(\alpha+\theta)-\cos(\alpha-\theta))$$

$$=-8d\sin\alpha\sin\theta$$

回転ペリスコープ３２は、回転ペリスコープ方向θに応じて変化する経路長差を形成するように、第１の光学経路の長さと第２の光学経路の長さを変化させるために使用される。

【００１３】

検出される干渉信号の強度は、次式で与えられ、

【００１４】

【数２】

$$I_d=2RTI_0(1+\cos(\frac{2\pi n}{\lambda_0}PD))=$$
$$2RTI_0(1+\cos\frac{-16\pi ndsin\alpha sin\theta}{\lambda_0})$$

【００１５】
前式中で、Ｒはビームスプリッタの反射率であり、Ｔはビームスプリッタ透過であり、Ｉ$_0$は光源強度であり、λ$_0$は真空中の光源波長であり、ｎは空気の屈折率であり、ＰＤは光学経路長の差である。上記ペリスコープが方向θ$_{min}$から方向θ$_{max}$に回転する時の、光源の干渉信号のサイクル数のカウントＣＣ$_0$は、次式によって与えられる。Δは変比分を示す。
【００１６】
【数３】

$$サイクル数のカウント=CC_0=\frac{n\Delta PD}{\lambda_0}$$
$$=\frac{8ndsin\alpha(\sin\theta_{max}-\sin\theta_{min})}{\lambda_0}$$

【００１７】
既知の波長の光源光ビームが上記干渉計に入力される時には、検出された基準干渉信号のサイクルをカウントするために取り付けられたカウンタが、回転ペリスコープの方向θの正確な表示を与えるだろう。
【００１８】
未知の光ビームの波長の正確な測定は、基準レーザの使用を必要とする。図４は、本発明の角度マイケルソン干渉計（ａｎｇｕｌａｒ Ｍｉｃｈｅｌｓｏｎ ｉｎｔｅｒｆｅｒｏｍｅｔｅｒ）を示す３次元図である。未知の波長を有するレーザ４６からの光が、反射器３４、３６、３２ａ、３２ｂに対して垂直な平面に関して上向きの角度βで、干渉計の中に送られる。ビームスプリッタ３０は、入力光を経路Ｃと経路Ｄとに沿った２つの光に分割する。第１の光学経路内の光は、ビームスプリッタ３０を通過して経路Ｃに沿って進み、中継反射器（ｒｅｌａｙ ｒｅｆｌｅｃｔｏｒ）５０で反射し、回転プラットフォーム３２ｃ上の反射器３２ａで反射し、回転プラットフォーム３２ｃ上の反射器３２ｂで反射し、逆反射器３４で反射する。この後で、第１の光学経路内の光は、経路Ａを通ってビームスプリッタ３０に戻る。
【００１９】
同様に、第２の光学経路内の光は、ビームスプリッタ３０で反射されて経路Ｄに沿って進み、リレー反射器５２で反射し、回転プラットフォーム３２ｃ上の平行反射器３２ｂ、３２ａで反射し、逆反射器３６で反射する。この後で、第２の光学経路内の光は、経路Ｂを通ってビームスプリッタ３０に戻る。
【００２０】
ビームスプリッタ３０上の点３０ａにおいて、第１の光学経路からの光と第２の光学経路からの光とが干渉信号へと再会合させられる。この干渉信号は、検出器レンズ５４を通過させられ、この検出器レンズは、未知の干渉信号を検出するための検出器５６の上に干渉信号を集束させる。好ましい実施例では、干渉信号は、レンズ５４によって集束される前には数ミリメートルの直径であり、検出器５６においては、数１００ミクロンの直径の回折限界スポットを形成する。検出器５６は、検出器レンズ５４の焦点面内に位置する。レンズ５４の焦点面は、レンズ５４から距離ｆ$_d$＝ｄ$_d$／２βである。距離ｄ$_d$は、後で説

明する未知干渉信号検出器５６と基準干渉信号検出器５８との間の距離である。こうして、レンズ５４は、後で説明するように干渉信号と基準干渉信号とを集束させることが可能である。

【００２１】

基準レーザ４４が、入力信号の波長を更に正確に測定するために使用される。未知の入力ビームと基準レーザ信号とが、反射器３２ｂ、３２ａ、３４、３６に垂直な平面に対して角度βで送られる。基準レーザ信号は、この平面の上方に入力され、未知の入力ビームはこの平面の下方に入力される。基準ビームは、ビームスプリッタ３０において、第１と第２の基準光学経路に沿った２つのビームに分割される。第１の基準光学経路内のビームは、第１の光学経路内のビームとは反対方向に伝播する（即ち、第１の基準光学経路内の光は、第１の光学経路内の未知の光信号とは反対の方向に伝播する）。第１の基準光学経路内の光は、経路Ａに沿って逆反射器３４に進み、経路Ｃに沿ってビームスプリッタ３０に戻る。第２の基準光学経路内のビームは、第２の光学経路内のビームとは反対方向に伝播する（即ち、第２の基準光学経路内の光は、第２の光学経路内の未知の光信号とは反対の方向に伝播する）。第２の基準光学経路内の光は、経路Ｂに沿って逆反射器３６に進み、経路Ｄに沿ってビームスプリッタ３０に戻る。第１の基準光学経路からの光と第２の基準光学経路からの光とが、ビームスプリッタ３０上の点３０ｂにおいて、基準干渉信号へと再会合させられる。基準干渉信号は検出器レンズ５４によって基準干渉信号検出器５８上に集束させられる。これに加えて、ビームスプリッタ３０は、干渉信号を基準レーザ４４に送ると共に基準干渉信号をレーザ４６に送るが、これらの信号は、レーザ４４、４６に悪影響を与えない。

【００２２】

基準レーザ４４は、基準光学経路が未知の信号の光学経路と概ね同一であるように、未知の波長の入力ビームに対して相対的に配置される。基準光学経路内のビームが未知の信号の光学経路内のビームとは反対方向に伝播するので、基準光学経路間の光学経路長の差は、未知の信号の光学経路間の長さの差に等しい。この理由から、基準干渉信号は、干渉計の光学経路長の差の変化率の正確な表示として働く。これは、ペリスコープの高精度の動きの必要性を不要にする。基準レーザと未知のレーザとの上記の配置が、基準光学経路と未知の信号の光学経路とが互いに平行ではあるが相違している場合に比べて、未知の波長のより正確な表示を生じさせる。これに加えて、基準光学経路が未知の信号の光学経路と概ね同一であるので、これらの光学経路と鏡３２ａ、３２ｂとの接触点は、概ね同一である。この理由から、上記干渉計では、鏡３２ａ、３２ｂの平面性の欠如による影響を受ける度合いが、従来の干渉計よりも低い。

【００２３】

角度βが固定され且つ光学経路長が変化するので、基準光学経路と未知の信号の光学経路との間に僅かな相違が生じる可能性がある。しかし、この相違は、光学経路長の差に大きな悪影響を与えない。

【００２４】

更に、回転ペリスコープ３２の反射器３２ａ、３２ｂの間に適切な平行関係がある場合には、干渉計の角度位置合せは、ペリスコープの方向の影響を受けない。この理由から、ペリスコープの動揺、軸受けの遊び、又は、回転軸の位置合せ不良は、干渉計の方向又は位置合せに悪影響を与えない。

【００２５】

上記検出器からの光電流は次式の形式を有する。

【００２６】

【数４】

$$I_{ref}=\frac{1}{2}I_{0_r}(1+\cos(\frac{2\pi n}{\lambda_{ref}}PD))$$
$$I_?=\frac{1}{2}I_{0_?}(1+\cos(\frac{2\pi n}{\lambda_?}PD))$$

【００２７】
前式中のλｒｅｆは既知の基準レーザの波長であり、λ？は未知の波長の入力ビームの波長である。Ｉｒｅｆは、基準干渉信号の強度であり、Ｉ？は干渉信号の波長である。Ｉ０ｒとＩ０？は強度定数である。
【００２８】
ペリスコープが一定の角速度Ωで均一に回転させられる場合には、検出器信号の周波数は次式で与えられる。
【００２９】
【数５】

$$f_{ref}=(\frac{8nd}{\lambda_{ref}})\Omega\sin\alpha\cos\theta$$
$$f_?=(\frac{8nd}{\lambda_?})\Omega\sin\alpha\cos\theta$$

【００３０】
「未知の入力波長」対「既知の基準波長」の比率は、検出器信号の周波数の比率に反比例する。即ち、
【００３１】
【数６】

$$\frac{\lambda_?}{\lambda_{ref}}=\frac{f_{ref}}{f_?}=\frac{CC_{ref}}{CC_?}$$

【００３２】
基準干渉信号ｆｒｅｆの周波数と干渉信号ｆ？の周波数とが回転ペリスコープの方向θに基づいて変化するとしても、ｆｒｅｆとｆ？の両方は比例的に変化する。従って、未知の入力信号の波長は、カウンタを用いて測定されることが可能である。「未知の信号の波長」対「基準信号の波長」の比率は、「干渉信号のサイクル数ＣＣ？」対「基準干渉信号のサイクル数ＣＣｒｅｆ」の比率に比例する。更に、フェーズロックループ方式により、フルサイクル（ｆｕｌｌ　ｃｙｃｌｅ）よりも小さい分数サイクル数を測定することが可能である。
【００３３】
その一方のタブ５７が図に示されている１対の同期タブが、回転ペリスコープ３２上に互いに１８０°の間隔を置いて配置される。回転ペリスコープ３２の方向を検出し、且つ、干渉信号と基準干渉信号とが有効である方向範囲内に回転ペリスコープ３２がある時に回路６０にゲート信号（ｇａｔｉｎｇ　ｓｉｇｎａｌ）を与えるために、スロット付きのゲ

ート検出器５９が上記タブを使用する。

【００３４】

任意に、回転プラットフォームの方向を正確に測定するための回路６１が、基準干渉検出器５８からの検出基準干渉信号を受信するために接続される。この回路６１は、間隔ｄと角度αと波長λ_{ref}とが正確に知られている場合に、回転ペリスコープの方向θの正確な表示を与える。回路６１は、単純なサイクルカウンタであることが可能である。

【００３５】

回転ペリスコープ３２内で光学経路の１つだけが変化させられる場合は、上記干渉計は依然として動作するが、光学経路長の差はより一層小さい。反射器５２が位置５２’に移動させられる場合には、第２の光学経路の長さは回転ペリスコープ３２によって変化させられない。第２の光学経路内の光は、経路Ｄ’に沿って位置５２’の反射器に進み、経路Ｂ’に沿ってビームスプリッタ３０に戻る。干渉信号は依然としてビームスプリッタ３０上の位置３０ａに形成される。この干渉信号は検出器５６に送られる。

【００３６】

約１００万分の１の精度で未知の信号の波長を測定するために使用される干渉計の実施例の１つでは、その波長計の実際上の寸法は、

ペリスコープ間隔　ｄ　＝　３８ｍｍ

ペリスコープ角度範囲　$-\theta_{max} < \theta < \theta_{max}$、$\theta_{max}$　＝　８°

ビーム分離角　β　＝　１０ｍｒａｄ

ビームスプリッタ入射角　α　＝　４５°

ペリスコープ回転速度　Ω　＝　２π　×　５Ｈｚ

基準ＨｅＮｅレーザの波長　λ_{ref}　＝　０．６３２９９０８８　μ　（真空）

PD_{max}　＝　８ｄ　ｓｉｎαｓｉｎθ_{max}　＝　３０ｍｍ

τ_{max}　＝　１００　ｐｓｅｃ

f_{ref}　＝　（８ｄｎ／λ_{ref}）Ωｓｉｎαｃｏｓθ　＝　１０．６７　ＭＨｚ

【００３７】

－３０ｍｍから３０ｍｍという光学経路差の範囲は、約９５，０００の基準サイクルを与える。１００万分の１の分解能を得るためには、周波数比カウンタ（ｒａｔｉｏｉｎｇ　ｆｒｅｑｕｅｎｃｙ　ｃｏｕｎｔｅｒ）は、繰り返しカウント方式又はフェーズロックループ方式のどちらかによって、１サイクルの約１１分の１を補間しなければならない。５Ｈｚの回転速度は、１秒当たり１０回の測定を可能にする。

【００３８】

未知の信号の波長を測定するための回路６０は、図７に示されるような単純なサイクルカウンタ１００、１０２であってよい。カウンタ１０２、１００は、図４に示される検出器５６から検出干渉信号を受け取るために、及び、図４に示される検出器５８から検出基準干渉信号を受け取るために、接続される。カウンタ１０２、１００は、図４に示されるゲート検出器５９からのゲート信号によってゲートされる。更に、１サイクルより小さいサイクルカウント精度を得るために任意に使用されることが可能である（周波数逓倍をおこなう）フェーズロックループ回路１０４ａ、１０４ｂが、図７に示されている。

【００３９】

或いは、回路６０は、図６に示されるようなディジタル複素ダウンコンバータ（ｄｉｇｉｔａｌ　ｃｏｍｐｌｅｘ　ｄｏｗｎ　ｃｏｎｖｅｒｔｅｒ）であってもよい。ライン６１上の検出干渉信号がＫｅｓｔｒｅｌチップ６２に送られる。このＫｅｓｔｒｅｌチップ６２は、干渉信号の周波数を２つのより低周波数の方形信号にダウンシフトするために局部発振器（複素ＬＯ）６４を使用する。これらの２つの信号はＯｓｐｒｅｙチップ６６、６８に送られ、これらのＯｓｐｒｅｙチップ６６、６８において、上記２つの信号がフィルタ６７、６８内で濾波され、サンプリング回路７１、７３内でディジタル方式でサブサンプリング（ｓｕｂ－ｓａｍｐｌｅｄ）される。これらの２つの信号が検出干渉信号よりも低い周波数を有するので、小域複素高速フーリエ変換のために必要な標本の数は、より少ない。この後で、Ｏｓｐｒｅｙチップ６６、６８の２つのディジタル出力信号が、小域複

素高速フーリエ変換回路７０に送られる。小域複素高速フーリエ変換回路の出力は、フィルタ６７、６９内での通過帯域低下を補償するために、イコライザ７２に送られる。更に、ポート７４におけるスペクトルが、未知の干渉信号の波長の何らかの表示を与える。

【００４０】

Ｋｅｓｔｒｅｌチップ６２と、Ｏｓｐｒｅｙチップ６６、６８と、小域複素高速フーリエ変換回路７０との全てが、基準干渉信号の周波数の２倍のクロック速度でクロック制御されるということに留意されたい。クロック発振回路７６は、図４に示される基準干渉信号検出器５８からライン６３を介して検出基準干渉信号を入力され、図６のライン７７上にクロック信号を供給する。クロック信号の周波数が、検出干渉信号の周波数の変化に比例して変化するので、ポート７４におけるスペクトルは、回転ペリスコープの様々な方向θにおける干渉信号周波数の変化によっては影響を受けない。

【００４１】

或いは、ＫｅｓｔｒｅｌチップとＯｓｐｒｅｙチップ６６、６８は、米国Ｈａｒｒｉｓ ＣｏｒｐｏｒａｔｉｏｎのＨａｒｒｉｓ Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ Ｄｉｖｉｓｉｏｎから入手可能なＨＳＰ５００１６ ＤＤＣのような信号ディジタルダウンコンバータチップで置き換えられることが可能である。このチップは、Ｄ．Ｂ．Ｃｈｅｓｔｅｒ及びＧ．Ｐｈｉｌｌｉｐｓの論文「Ｓｉｎｇｌｅ Ｃｈｉｐ Ｄｉｇｉｔａｌ Ｄｏｗｎ Ｃｏｎｖｅｒｔｅｒ Ｓｉｍｐｌｉｆｉｅｓ ＲＦ ＤＳＰ Ａｐｐｌｉｃａｔｉｏｎｓ」（ＲＦ Ｄｅｓｉｇｎ， Ｎｏｖ．９２， ｐｐ．３９－４６）に説明されている。

【００４２】

図５は、２方向反射器８０、８２と２つのビームスプリッタ８４、８６とを示す干渉計の別の実施例の３次元図である。これらの２方向反射器８０、８２と２つのビームスプリッタ８４、８６は、単に図解上の目的から、一緒に示されている。２方向反射器を有する干渉計の好ましい実施例は、１つのビームスプリッタだけを使用する。２方向反射器８０、８２の使用は、第１の光学経路内の光と第２の光学経路内の光とが回転ペリスコープ３２を通して４回反射されるので、光学経路長の差を拡大する。反射器３２ａ、３２ｂ、３４、３６に対して垂直な平面に対して角度βの光源８８からの光が、第１のビームスプリッタ８６に送られ、このビームスプリッタ８６は、その光を第１の光学経路と第２の光学経路とに沿った２つのビームに分割する。光が下向きに角度βで入るので、２方向反射器８０は、下記のように、第２の光学経路内の光を反射して戻し、回転ペリスコープの３回目と４回目の通過のために回転ペリスコープの中にその光を送り込む。第２の光学経路内の光は、２方向反射器８０の区域８０ａで反射する。この区域８０ａは、第２の光学経路内の光が回転ペリスコープの中に送り込まれるような第１の方向を有する反射器である。第２の光学経路は２方向反射器８０に戻り、区域８０ｂで反射する。区域８０ｂは、第２の光学経路内の光が回転ペリスコープの中に３回目に戻るように方向付けられる。第２の光学経路内の光は、光が第２のビームスプリッタ８４に反射されるような第１の方向を有する区域８０ｃにおいて２方向反射器８０に戻る。

【００４３】

説明を分かり易くするために、第１の光学経路は図５に示されていない。第１の光学経路内の光も、回転ペリスコープ３２を４回通過する。第１の光学経路内の光と第２の光学経路内の光とが、第２のビームスプリッタ８４内で干渉信号の形に再会合させられる。２つのビームスプリッタ８６、８４の使用は、この干渉計をマッハ・ツェンダー干渉計にする。干渉信号は検出器９０で検出される。上記で説明されたのと同様に、基準レーザ８１が、第２の検出器９１において検出される干渉信号を発生させるために使用される。

【００４４】

第１の光学経路内の光と第２の光学経路内の光とが回転ペリスコープ３２を４回通過するので、光学経路長の差は－１６ｄｓｉｎαｓｉｎθに等しい。光学経路長の差の増大によって、所与のペリスコープ角度範囲に関する検出干渉信号サイクル数が２倍になり、それによって、干渉計の周波数分解能が増大する。２方向反射器８０、８２の使用上の欠点は、各々の光学経路内の光が、図４に示される干渉計では反射器での反射が７回であるのに

対して、この干渉計では１３回の反射が生じるということである。これは、図５に示される反射器が、有効な干渉信号が得られるように反射器表面に起因する波面収差を±λ／４の範囲内に保つために、より一層高い平面性を持たなければならないということを意味する。

【００４５】

上記の実施と方法の様々な詳細は、単に本発明を例示するためのものである。本発明の範囲内に様々な詳細部分の変更が含まれることが可能であり、本発明の範囲は添付クレームによってのみ限定されなければならない。

【００４６】

【発明の効果】

以上詳述したように、本発明を実施した干渉計出は、光学経路を変化させても光学経路が空気であるので、波長依存性を持たず、かつ、基準光ビームと未知光ビームの光学経路が実質的に同じになるので、基準光ビームと未知光ビームの波長比の測定が高精度でおこなえる。また、干渉計自身も波長依存性が少ないという特長を備える。

【図面の簡単な説明】

【図１】従来技術の干渉計の概略的な説明図である。

【図２】平行な反射器の中に送り込まれる光ビームに生じる横方向のずれと時間的ずれとを説明する説明図である。

【図３】（ａ）は、ペリスコープ方向θ＝－８°の場合の本発明のビームスプリッタと回転ペリスコープと逆反射器とを示す概略的な説明図である。

（ｂ）は、ペリスコープ方向θ＝０°の場合の本発明のビームスプリッタと回転ペリスコープと逆反射器とを示す概略的な説明図である。

（ｃ）は、ペリスコープ方向θ＝８°の場合の本発明のビームスプリッタと回転ペリスコープと逆反射器とを示す概略的な説明図である。

【図４】本発明の角度マイケルソン干渉計を示す３次元図である。

【図５】２方向反射器と２つのビームスプリッタとを示す、本発明の干渉計の別の実施例を示す３次元図である。

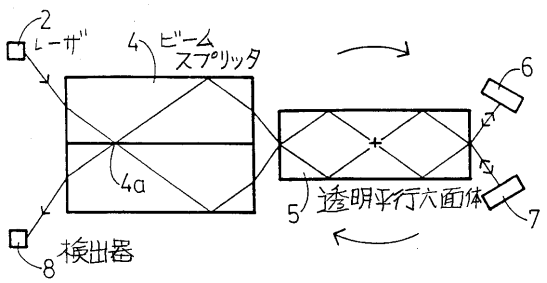
【図６】本発明の１つの実施例に使用するためのダウンコンバータ回路の説明図である。

【図７】本発明の１つの実施例で使用するための、カウンタを用いる波長測定回路の説明図である。

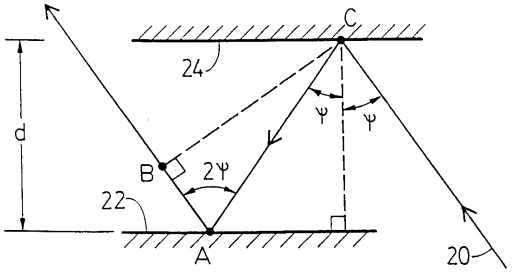
【符号の説明】

２０　光ビーム
２２、２４、３２ａ、３２ｂ　平行反射器
３０　ビームスプリッタ
３２　回転ペリスコープ
３４、３６　逆反射器
４０　光源
５０、５２　リレー反射器
５４　検出器レンズ
５６　未知干渉信号検出器
５８　基準干渉信号検出器

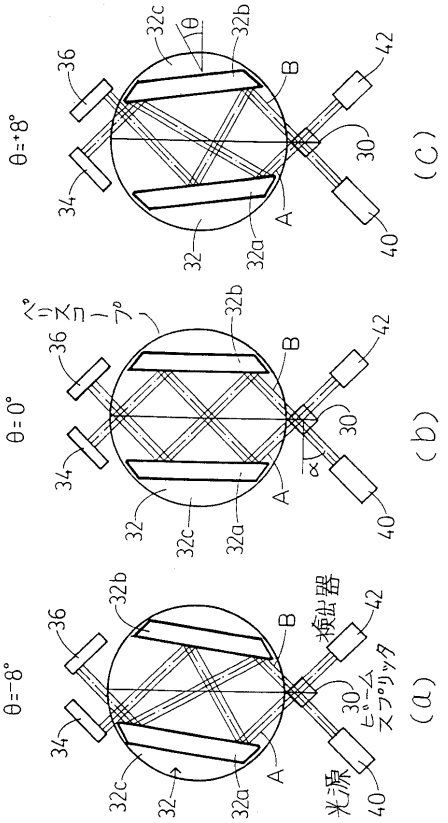
【図１】


2
レーザ
4
ビーム
スプリッタ
4a
5
透明平行六面体
6
7
8
検出器

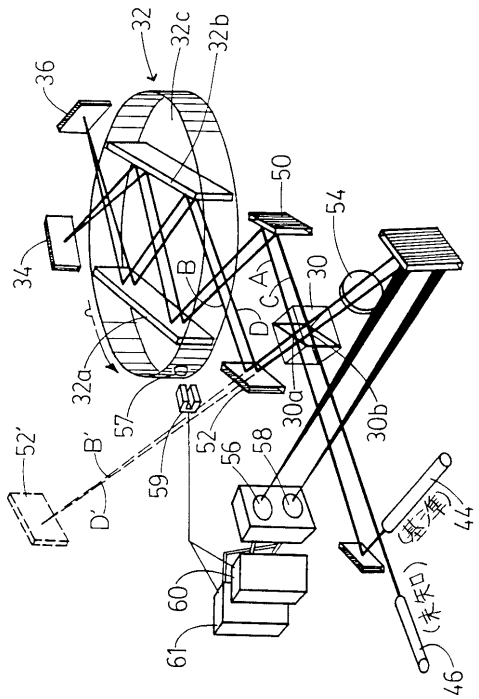
【図２】


C
24
a
B
2φ
φ
φ
22
A
20

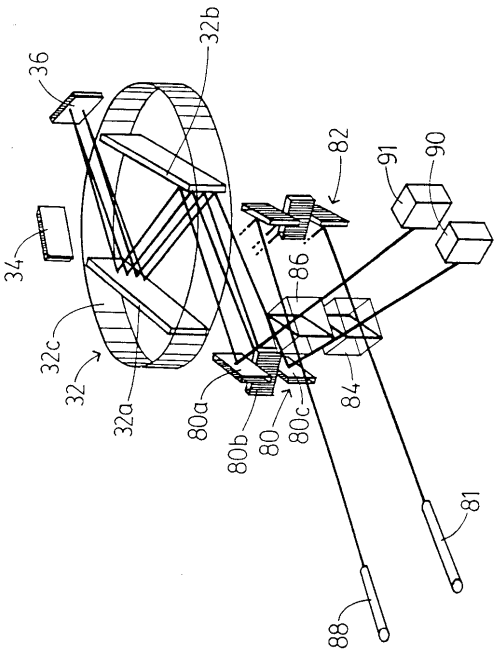
【図３】


θ=+8°
(c)
θ=0°
ベリスコープ
(b)
θ=-8°
(a)
検出器
ビームスプリッタ
光源
32
32a
32b
32c
34
36
40
42
A
B
30
θ
α

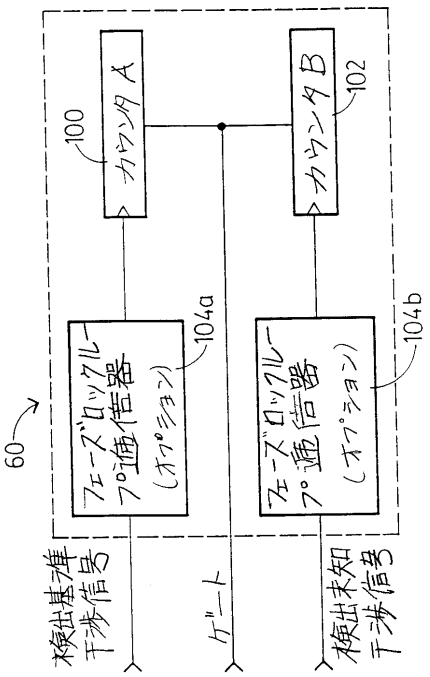
【図４】


32
32c
32b
36
34
50
54
30
A
B
C
D
32a
30a
30b
57
52
56
58
59
52'
B'
D'
60
61
(基準)
44
(未知)
46

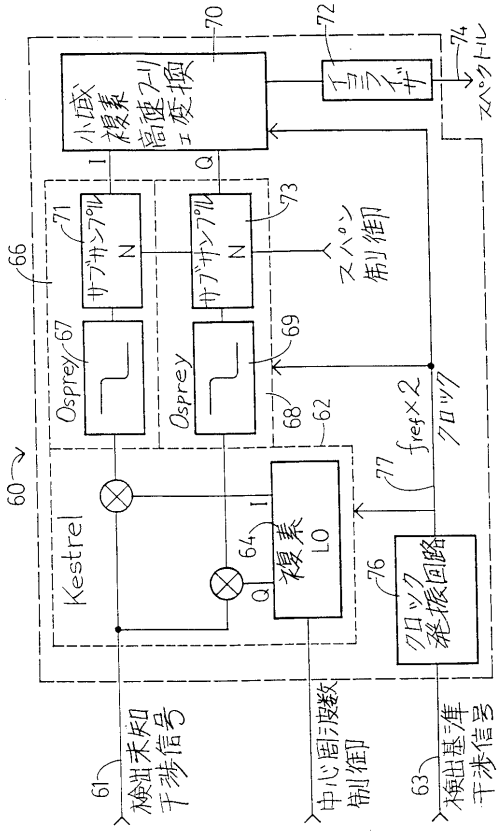
【図５】


32b
36
82
91
90
34
86
32c
32
32a
80a
80b
80
80c
84
81
88

【図６】


60
フェーズロックループ通信器（オプション）
104a
フェーズロックループ通信器（オプション）
104b
カウンタA
100
カウンタB
102
検出基準干渉信号
ゲート
検出未知干渉信号

【図７】


60
Kestrel
Osprey
67
Osprey
68
62
64
複素LO
I
Q
66
71
サブサンプル
N
73
サブサンプル
N
69
70
小域複素高速フーリエ変換
72
イコライザ
74
スペクトル
スパン制御
77
fref×2
クロック
76
クロック発振回路
61
検出未知干渉信号
中心周波数制御
63
検出基準干渉信号

フロントページの続き

審査官　山下　雅人

(56)参考文献　米国特許第０４３２９０５５（ＵＳ，Ａ）
特公平０４－０６４５６７（ＪＰ，Ｂ２）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G01B 9/00 - 11/30
G01J 9/02