

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5511162号
(P5511162)

(45) 発行日 平成26年6月4日(2014.6.4)

(24) 登録日 平成26年4月4日(2014.4.4)

| | | | |
|---------------|--------------|------------------|----------------|
| (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 |
| GO 1 J | 9/02 | (2006.01) | GO 1 J 9/02 |

請求項の数 14 (全 11 頁)

| | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|-----------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2008-198185 (P2008-198185) | (73) 特許権者 | 000137694 |
| (22) 出願日 | 平成20年7月31日 (2008.7.31) | | 株式会社ミットヨ |
| (65) 公開番号 | 特開2010-38552 (P2010-38552A) | | 神奈川県川崎市高津区坂戸一丁目20番1号 |
| (43) 公開日 | 平成22年2月18日 (2010.2.18) | (74) 代理人 | 100080458 |
| 審査請求日 | 平成23年6月1日 (2011.6.1) | | 弁理士 高矢 諭 |
| | | (74) 代理人 | 100076129 |
| | | | 弁理士 松山 圭佑 |
| | | (74) 代理人 | 100089015 |
| | | | 弁理士 牧野 剛博 |
| | | (72) 発明者 | 川▲崎▼ 和彦 |
| | | | 茨城県つくば市上横場430番地の1 株式会社ミットヨ内 |
| | | 審査官 | 有家 秀郎 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多波長干渉変位測定方法及び装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の波長のレーザー光により、各波長で測定される干渉測定値を得て、各波長の組み合わせからレーザー光の波長よりも等価的に長い合成波長で測定レンジを拡大して、干渉計本体から対象物までの距離または変位を干渉測定する際に、

前記複数のレーザー光の波長を、光コムを用いて測定すると共に、3つ以上の波長から2つずつの組み合わせの合成波長での位相差を算出し、前記合成波長毎の分解能の違いを利用して距離を決定することを特徴とする多波長干渉変位測定方法。

【請求項2】

前記光コムを用いて波長可変レーザーの発振波長を測定してフィードバック制御をかけることにより、所定の複数の波長のレーザー光を得ることを特徴とする請求項1に記載の多波長干渉変位測定方法。

【請求項3】

波長可変レーザーを任意の波長で発振させて、複数の波長での干渉測定値を得て、各干渉測定値を得た際のレーザー光の波長(周波数)を光コムで測定して、干渉計本体から対象物までの距離を算出することを特徴とする請求項1に記載の多波長干渉変位測定方法。

【請求項4】

複数のレーザーを用いて、各レーザーから発振されるレーザー光の波長を光コムで測定しながら干渉測定を行い、干渉計本体から対象物までの距離を算出することを特徴とする請求項1に記載の多波長干渉変位測定方法。

【請求項 5】

前記光コムを含む一つの周波数測定系で、前記複数の波長を測定することを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の多波長干渉変位測定方法。

【請求項 6】

複数の波長で干渉測定値を得る際、一つの波長を基準として相対的に波長差を正確に与える制御を行って干渉測定を行うか、あるいは、各波長での測定値を得た時の波長差を、一つの波長を基準として相対的な差として測定することを特徴とする、請求項 1 及至 5 のいずれかに記載の多波長干渉変位測定方法。

【請求項 7】

一方の波長と光コムによって発生するビート周波数と、他方の波長と光コムによって発生するビート周波数に対して、光コムの次数分を加味して周波数差を算出し、この周波数差を波長差に換算することを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の多波長干渉変位測定方法。

10

【請求項 8】

複数の波長のレーザ光により、各波長で測定される干渉測定値を得て、各波長の組み合わせからレーザ光の波長よりも等価的に長い合成波長で測定レンジを拡大して、干渉計本体から対象物までの距離または変位を干渉測定する多波長干渉変位測定装置において、

前記複数のレーザ光の波長を測定するために光コムと、

3 つ以上の波長から 2 つずつの組み合わせの合成波長での位相差を算出する手段と、

前記合成波長毎の分解能の違いを利用して距離を決定する手段と、

を備えたことを特徴とする多波長干渉変位測定装置。

20

【請求項 9】

前記光コムを用いて波長可変レーザの発振波長を測定してフィードバック制御をかける手段を備えることにより、所定の複数の波長を得ることを特徴とする請求項 8 に記載の多波長干渉変位測定装置。

【請求項 10】

波長可変レーザを任意の波長で発振させて、複数の波長での干渉測定値を得る手段と、各干渉測定値を得た際のレーザ光の波長（周波数）を光コムで測定して、干渉計本体から対象物までの距離の算出に用いる手段とを備えたことを特徴とする請求項 8 に記載の多波長干渉変位測定装置。

30

【請求項 11】

複数のレーザと、各レーザから発振されるレーザ光の波長を光コムで測定しながら干渉測定を行い、干渉計本体から対象物までの距離の算出に用いる手段とを備えたことを特徴とする請求項 8 に記載の多波長干渉変位測定装置。

【請求項 12】

前記複数の波長を測定するための、前記光コムを含む一つの周波数測定系を備えたことを特徴とする請求項 8 乃至 11 のいずれかに記載の多波長干渉変位測定装置。

【請求項 13】

複数の波長で干渉測定値を得る際、一つの波長を基準として相対的に波長差を正確に与える制御を行って干渉測定を行う手段か、あるいは、各波長での測定値を得た時の波長差を、一つの波長を基準として相対的な差として測定する手段を備えたことを特徴とする、請求項 8 及至 12 のいずれかに記載の多波長干渉変位測定装置。

40

【請求項 14】

一方の波長と光コムによって発生するビート周波数と、他方の波長と光コムによって発生するビート周波数に対して、光コムの次数分を加味して周波数差を算出し、この周波数差を波長差に換算する手段を備えたことを特徴とする請求項 8 乃至 13 のいずれかに記載の多波長干渉変位測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

50

本発明は、多波長干渉変位測定方法及び装置に係り、特に、複数の波長のレーザ光により、各波長で測定される干渉測定値を得て、各波長の組み合わせからレーザ光の波長よりも等価的に長い合成波長で測定レンジを拡大して、干渉計本体から対象物までの距離または変位を干渉測定する多波長干渉変位測定方法及び装置の改良に関する。

【背景技術】

【0002】

対象物（ターゲットとも称する）までの距離または対象物の変位を高精度に測定する方法の一つに、光波干渉を利用した距離の測定がある。

【0003】

この光波干渉を利用した距離（変位）の測定は、数百 nm の波長をものさしとした高精度な距離（変位）の測定方法である（特許文献 1 参照）。 10

【0004】

しかしながら、光波干渉計をセンサとして対象物の変位や形状を測定する場合に、波長の半分の長さ以上の急激な変位や、段差の形状は測定できないという欠点がある。

【0005】

これに対して、複数波長での測定結果を組み合わせた、合成波長により測定レンジを拡大する方法が、非特許文献 1 などで示されている。この方法は、次式（1）に示す如く、波長 λ_1 で得られる位相 ϕ_1 と波長 λ_2 によって得られる位相 ϕ_2 の差 ϕ_s をとると、次式（2）で示す合成波長 λ_s で干渉測定したものと等価な結果が得られることを利用している。 20

【0006】

$$\phi_s = \phi_2 - \phi_1 \quad \dots (1)$$

$$\lambda_s = \lambda_1 / | \phi_2 - \phi_1 | \quad \dots (2)$$

【0007】

2 波長の合成波長によって測定レンジを拡大する場合には、式（2）で示した、差の波長（周波数）を正確に作り出すことが重要である。特に、2 波長の差を小さくして波長を大きく拡大して合成するときほど、正確さが求められる。差の波長 λ_s の誤差 $\Delta \lambda_s$ に対する合成波長の誤差 $\Delta \lambda_s$ は、近似的に次式（3）で示される。

【0008】

$$\lambda_s = \lambda_1 / | \phi_2 - \phi_1 | \sim \lambda_1^2 / \dots (2)'$$

$$\Delta \lambda_s \sim (\lambda_1^2 / \dots) * \dots (3)$$

【0009】

例えば、 $\lambda_1 = 1 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_2 = 0.001 \mu\text{m}$ として、1 mm の合成波長 λ_s を生成する場合、誤差が $\Delta \lambda_s$ に対して 6 桁に相当する $0.000001 \mu\text{m}$ のわずかな誤差が発生した場合、合成波長 λ_s の誤差 $\Delta \lambda_s$ は、 $1 \mu\text{m}$ にもなる。

【0010】

つまり、合成波長方式によって測定レンジを拡大しようとする時は、所望の波長差で発生する波長の安定度が極めて高い 2 台のレーザを使用するか、あるいは、極めて高い精度で波長走査が可能な、高価なレーザが必要であった。

【0011】

【特許文献 1】特開 2000 - 146517 号公報

【特許文献 2】特開 2004 - 340690 号公報

【非特許文献 1】J. E. Greivenkamp and J. H. Bruning : “Phase Shifting Interferometry” In Optical Shop Testing 2ed. page 560 , Daniel Malacara, ed: John Wiley & Sons, Inc.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

しかしながら、周波数が正確に値付けされたレーザはあまり多くなく、現状で手軽に入手できるものとなると更に限られてしまう。従って、測定原理上、より好ましいと判断さ 50

10

20

30

40

50

れるレーザの波長に対して、入手できるレーザに限られてしまっていることが、合成波長を効果的に、あるいは手軽に、実現することを阻害してしまっている。

【0013】

本発明は、前記従来の問題点を解消するべくなされたもので、安定度の高い高価なレーザや高精度に波長を可変できるレーザを使用しないで、安価な広いレンジの干渉変位測定を実現することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明は、複数の波長のレーザ光により、各波長で測定される干渉測定値（参照光と測定光による干渉の位相）を得て、各波長の組み合わせからレーザ光の波長よりも等価的に長い合成波長で測定レンジを拡大して、干渉計本体から対象物までの距離または変位を干渉測定する際に、前記複数のレーザ光の波長を、光コムを用いて測定すると共に、3つ以上の波長から2つずつの組み合わせの合成波長での位相差を算出し、前記合成波長毎の分解能の違いを利用して距離を決定するようにして、前記課題を解決したものである。

10

【0015】

ここで、前記光コムを用いて波長可変レーザの発振波長を測定してフィードバック制御をかけることにより、所定の複数の波長のレーザ光を得ることができる。

【0016】

また、波長可変レーザを任意の波長で発振させて、複数の波長での干渉測定値を得て、各干渉測定値を得た際のレーザ光の波長（周波数）を光コムで測定して、干渉計本体から対象物までの距離を算出することができる。

20

【0017】

また、複数のレーザを用いて、各レーザから発振されるレーザ光の波長を光コムで測定しながら干渉測定を行い、干渉計本体から対象物までの距離を算出することができる。

【0018】

また、前記光コムを含む一つの周波数測定系で、前記複数の波長を測定することができる。

【0019】

また、複数の波長で干渉測定値を得る際、一つの波長を基準として相対的に波長差を正確に与える制御を行って干渉測定を行うか、あるいは、各波長での測定値を得た時の波長差を、一つの波長を基準として相対的な差として測定することができる。

30

【0020】

また、一方の波長と光コムによって発生するビート周波数と、他方の波長と光コムによって発生するビート周波数に対して、光コムの次数分を加味して周波数差を算出し、この周波数差を波長差に換算することができる。

【0022】

本発明は、また、複数の波長のレーザ光により、各波長で測定される干渉測定値を得て、各波長の組み合わせからレーザ光の波長よりも等価的に長い合成波長で測定レンジを拡大して、干渉計本体から対象物までの距離または変位を干渉測定する多波長干渉変位測定装置において、前記複数のレーザ光の波長を測定するために光コムと、3つ以上の波長から2つずつの組み合わせの合成波長での位相差を算出する手段と、前記合成波長毎の分解能の違いを利用して距離を決定する手段と、を備えたことを特徴とする多波長干渉変位測定装置を提供するものである。

40

【0023】

ここで、前記光コムを用いて波長可変レーザの発振波長を測定してフィードバック制御を行う手段を備えることにより、所定の複数の波長を得ることができる。

【0024】

また、波長可変レーザを任意の波長で発振させて、複数の波長での干渉測定値を得る手段と、各干渉測定値を得た際のレーザ光の波長（周波数）を光コムで測定して、干渉計本体から対象物までの距離の算出に用いる手段とを備えることにより、干渉計本体から対象

50

物までの距離を算出することができる。

【0025】

また、複数のレーザと、各レーザから発振されるレーザ光の波長を光コムで測定しながら干渉測定を行い、干渉計本体から対象物までの距離の算出に用いる手段とを備えることができる。

【0026】

また、前記複数の波長を測定するための、前記光コムを含む一つの周波数測定系を備えることができる。

【0027】

また、複数の波長で干渉測定値を得る際、一つの波長を基準として相対的に波長差を正確に与える制御を行って干渉測定を行う手段か、あるいは、各波長での測定値を得た時の波長差を、一つの波長を基準として相対的な差として測定する手段を備えることができる。

10

【0028】

また、一方の波長と光コムによって発生するビート周波数と、他方の波長と光コムによって発生するビート周波数に対して、光コムの次数分を加味して周波数差を算出し、この周波数差を波長差に換算する手段を備えることができる。

【発明の効果】

【0030】

本発明によれば、安定度の高い高価なレーザや、高精度に波長を可変できる高価なレーザを使用せずに、安価なレーザで多波長干渉変位測定を実現できるため、装置の低価格化をはかることができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0031】

以下、図面を参照して、参考形態及び本発明の実施形態を詳細に説明する。

【0032】

先ず、第1の参考形態にかかる変位測定装置の構成を図2に示す。

【0033】

本参考形態では、波長（周波数）可変レーザ101の出力光をビームスプリッタ106で分割する。一方の光をビームスプリッタ108で分割し、一方は、例えば平面鏡でなる参照鏡109で反射させて参照光とする。他方は、距離（変位）の測定対象である対象物110を照射し、そこからの反射光である測定光と、前記参照光をビームスプリッタ108で重ね合わせる。参照光と測定光の信号を検出器111によって受光し、干渉強度信号により、干渉計本体から対象物110までの距離（対象物110の変位）を測定する。

30

【0034】

又、ビームスプリッタ106からの反射光を、ビームスプリッタ107を介して光コム104と重ね合わせて、検出器105で受光する。光コム104と波長可変レーザ101のビート信号を周波数測定装置103で周波数解析して、コントローラ102により、レーザ101の発振波長（周波数）をフィードバック制御する。

【0035】

本参考形態においては、波長可変レーザ101を所定の波長 λ_1 で発振させて、得られた干渉信号から位相 ϕ_1 を算出する。波長 λ_1 は、波長可変レーザ101の周波数を光コム104とのビート周波数によって正確に測定して、所定の波長 λ_1 になるように波長可変レーザ101を制御することによって得られる。図3に波長を可変した時のビート信号の周波数変化の様子を模式的に示す。

40

【0036】

次に、光コム104とのビート信号によって波長（周波数）を測定しながら、合成波長 λ_s を実現するために必要な、波長 λ_1 とは異なる所定の波長 λ_2 で波長可変レーザ101を発振させる。そして、参照光と測定光の反射光による干渉信号を取得し、位相 ϕ_2 の解析値を得る。ここで、得られた2つの位相 ϕ_1 と ϕ_2 の差 ϕ_s （ $= \phi_1 - \phi_2$ ）から、合成波

50

長 s を使った長さに換算して、次式 (4) に示す如く、 $s/2$ の範囲内で参照光と測定光の光路長差の形で対象物 110 までの距離 (変位) L を得ることが出来る。

【0037】

$$L = (s/2) * (s/2) \dots (4)$$

【0038】

光コム 104 は、セシウムの原子時計を基準にして光の周波数を 15 桁以上の精度で測定できる装置である。従って、所定の波長 λ_1 と λ_2 は、最大で 15 桁の精度で制御可能である。よって、波長 λ_1 と λ_2 を元に合成した波長 s は、十分に高い精度で実現できる。

【0039】

第 1 の参考形態の測定手順をまとめると、次のようになる。

10

(1) レーザ 101 の波長を設計波長 λ_1 に制御する。

(2) 干渉測定し、位相 ϕ_1 を得る。

(3) レーザ 101 の波長を設計波長 λ_2 に制御する。

(4) 干渉測定し、位相 ϕ_2 を得る。

(5) 予め設計した位相 ϕ_1 と ϕ_2 の差 s を式 (4) に代入し、距離 L を算出する。

【0040】

図 2 では、一つのレーザ 101 を所定の波長 λ_1 と λ_2 に可変し、それぞれ順次測定する方法を示しているが、図 4 に示す第 2 の参考形態のように、2 波長以上を同時に出力するレーザ 201 を使って、波長 λ_1 と λ_2 による干渉信号を分割して同時に取る光学系 (ビームスプリッタ 210、バンドパスフィルタ 214、215) を設けても良い。この場合、検出器 105 や周波数測定装置 103 からなる波長可変レーザ 201 の周波数 (波長) 測定系を波長 λ_1 と λ_2 用にそれぞれ別々に用意しても構わないし、図 4 に示したように、一つの周波数測定系で、両方の周波数 (波長) λ_1 、 λ_2 を測定して制御することも可能である。

20

【0041】

図 5 は、レーザの発振スペクトルと、その時に得られる干渉ビート信号の例を模式的に示している。図 5 (a₁) に示す如く、波長 λ_1 と λ_2 と光コム 104 の干渉のビート信号を、光コム 104 の周波数間隔 f_{rep} の $1/2$ までの範囲で観察した場合には、図 5 (b₁) に示す如く、それぞれの差の組み合わせの数の周波数のビート信号 f_1 、 f_2 、 f_{12} が観測される。一方、図 5 (a₂) に示す如く、波長 λ_1 と λ_2 が、光コム 104 の異なる周波数 (次数) との間で干渉している場合には、図 5 (b₂) に示す如く、波長 λ_1 と λ_2 は、それぞれの近隣の光との差の周波数のビート信号 f_1 、 f_2 が検出される。このような状況で、図 5 (a₃) に示す如く、いずれかの波長 (図では λ_2) を変化させると、変化させた分だけビート信号の周波数の変化が生じる。この現象を活用すれば、1 つの周波数測定系で、波長 λ_1 と λ_2 を区別することが可能である。

30

【0042】

又、本技術を利用すれば、図 6 に示す第 3 の参考形態のような構成での干渉測定への応用も可能である。

【0043】

本参考形態では、波長可変レーザ 101 を任意の波長 λ_1' で発振させて、位相 ϕ_1 を測定する。次に、 λ_1' とは異なる波長 λ_2' で発振させて、位相 ϕ_2 を測定する。位相 ϕ_1 と ϕ_2 を測定した際の正確な波長を、検出器 105 や周波数測定装置 103 などからなる周波数測定系で測定し、その結果を式 (2) に代入して合成波長 s を算出し、位相 ϕ_1 と ϕ_2 から得られる合成位相 s と共に式 (4) に代入することで、対象物 110 までの距離 L を算出することができる。

40

【0044】

このとき、波長 λ_1' と λ_2' の値によって合成波長 s の値は変わるが、実測値によって得た合成波長 s で長さに変換するだけであるため、測定結果には何ら影響を及ぼさない。

【0045】

50

本参考形態では、レーザ101の波長を制御するための特別な装置も不要で、例えば半導体レーザのように電流可変で簡単に波長を変えられるようなレーザが使用できるために、測定装置を極めて簡素化することが出来る。

【0046】

本参考形態の測定手順をまとめると次のようになる。

- (1) レーザ101を任意の波長 λ_1 'で発振させる。
- (2) 干渉測定し、位相 ϕ_1 を得ると同時に、そのときの正確な発振波長 λ_1 を測定する。
- (3) レーザ101を別の波長 λ_2 'に変え発振させる。
- (4) 干渉測定し、位相 ϕ_2 を得ると同時に、そのときの正確な発振波長 λ_2 を測定する。
- (5) 式(1)(2)(4)に代入して、対象物110までの距離Lを算出する。

10

【0047】

又、本技術の手法を応用すれば、図7に示す第4の参考形態の如く、発振波長の安定度が低く安価なレーザを使っても、合成波長により広いレンジの干渉測定が実現できる。

【0048】

本参考形態では、波長 λ_1 を発振するレーザ416と波長 λ_2 を発振するレーザ417を同軸に重ね合わせ、参照鏡109と対象物110からなる干渉光学系に入射する。波長 λ_1 と λ_2 によって干渉測定を行ない、それぞれの位相 ϕ_1 と ϕ_2 を得て、その差 ϕ_s を算出する。その際の波長 λ_s の正確な値は、検出器105や周波数測定装置103からなる周波数測定系によって得られた λ_1 と λ_2 を使用して正確に算出する。そして得られた合成位相 ϕ_s と合成波長 λ_s から、対象物110までの距離Lを得ることができる。位相 ϕ_1 と ϕ_2 のそれぞれを測定した瞬間の波長 λ_1 と λ_2 が得られる本参考形態においては、たとえ、レーザ416、417の周波数が不安定であったとしても、距離(変位)Lの測定には大きな影響は及ぼさない。

20

【0049】

2波長の合成波長によって測定レンジを拡大する干渉測定では、測定分解能は合成波長 λ_s と合成位相 ϕ_s の分割数によって決まる。例えば、 $\lambda_s = 10 \text{ mm}$ とし、 λ_2 と λ_1 の差で得られる λ_s の分割数が500だとすると、このときの測定分解能は $10 \mu\text{m}$ 程度になってしまう。これに対して、測定に使用する波長の数を増やして組み合わせによって出来る合成波長の種類を増やすことで、広いレンジを確保しつつかつ高い分解能の測定を簡単に実現できる。図8に示す本発明の実施形態のように、波長可変レーザ101の波長を

30

λ_1 、 λ_2 、 λ_3 に切り替えて、それぞれの波長で参照光と測定光の位相差 ϕ_1 、 ϕ_2 、 ϕ_3 を得る。そして、各波長の組み合わせによって作り出される、合成波長 $\lambda_{s_{i,j}}$ での位相差 $\phi_{i,j}$ から対象物110の位置や変位を広い範囲でかつ高い分解能で測定できる。

【0050】

本実施形態の測定手順をまとめると、次の通りである。

- (1) レーザ101の波長を設計波長 λ_1 に制御する。
- (2) 干渉測定し、位相 ϕ_1 を得る。
- (3) レーザ101の波長を設計波長 λ_2 に制御する。
- (4) 干渉測定し、位相 ϕ_2 を得る。
- (5) レーザ101の波長を設計波長 λ_3 に制御する。
- (6) 干渉測定し、位相 ϕ_3 を得る。
- (7) 位相 ϕ_1 と ϕ_2 と ϕ_3 の差の組み合わせで位相差 $\phi_{i,j}$ を算出し、対象物110までの距離Lを算出する。

40

【0051】

例えば、 $\lambda_1 = 1 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_2 = 0.9999 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_3 = 0.98 \mu\text{m}$ とする。この場合、 λ_1 と λ_2 の組み合わせの合成波長 $\lambda_{s_{21}}$ は $9999 \mu\text{m}$ 、 λ_3 と λ_1 の組み合わせによる合成波長 $\lambda_{s_{31}}$ は $49 \mu\text{m}$ となる。それぞれの合成波長のもと導き出される、 $\lambda_{s_{21}}$ 、 $\lambda_{s_{31}}$ の分割数を、先に述べた例と同じ500分割だとすると、 $\lambda_{s_{21}}$ では約 $10 \mu\text{m}$ 分解能の測定が、 $\lambda_{s_{31}}$ では 50 nm 分解能の測定ができることになる。更に λ_1 、 λ_2 、 λ_3 いずれかの短波長での測定結果も併用すれば、 10 mm のレンジを 1 nm 分解能で測定することも可能となる。

50

【0052】

本発明で実現する場合には、例えば、図1や図4では、可変させる波長を3つにすることで容易に実現できる。図4の場合には3波長を発振するレーザを使用する。図6では、3種類のレーザを使用することにより容易に実施することが出来る。4波長以上の場合、同様に簡単に実現できることは明らかである。

【0053】

それぞれの参考形態及び実施形態の中で、光の周波数を測定する装置として示した光コム104は、コムのスペクトル間隔内の限られた周波数領域ごとを高い分解能できることが基本となっている。そのため、光コム104のどの周波数の光との干渉によって生じたビート信号なのか、別途、次数Nを決定する必要がある。レーザの発振周波数の予備値やレーザ周波数の可変時の分解能などによって、次数Nを決定できない場合には、図9に示す第5の参考形態のように、波長計601などの波長を測定できる手段と併用して、次数Nを決定し、波長可変レーザ101の波長 λ_1 、 λ_2 の測定や、発振周波数の制御に使用しても良い。

10

【0054】

λ_1 と λ_2 といった多波長での測定値を得る際に、 λ_1 の波長を基準として、相対的に波長差 $\Delta\lambda$ をつけた λ_2 を使って測定を行い、 λ_1 と λ_2 の合成波長によって対象物への距離Lを測定しても良い。

【0055】

通常、光周波数を測定する場合には、『産総研TODAY Vol. 8 No.1 モード同期ファイバレーザを用いた広帯域光コムhttp://www.aist.go.jp/aist_j/aistinfo/aist_today/vol08_01/p29.html』に示されているように、 f_{CEO} を正確に値付けされた、光コムが必要である。そのためには、 f_{CEO} を決められるだけの十分に周波数帯域の広い光コムが必要である。

20

【0056】

一方で、合成波長による測定の場合には、式(3)により、 λ_1 と λ_2 の相対的な波長差の正確さが測定精度に大きく影響するため、絶対値があいまいな光コムを使って、 λ_1 を値付けして合成波長 λ_s を決めても、実用的に十分高い精度で測定可能である。この決定には、 λ_1 と光コムによって発生するビート周波数 f_1 と λ_2 と光コムによって発生するビート周波数 f_2 を次数N分を加味して周波数差 f_{12} を算出し、 f_{12} から λ_s を換算すればよい。これにより、提案する光波干渉計に使用する周波数測定に使用する光コムは、測定に使用する波長域をカバーする最低限のものであれば良いために、より低価格に実現することが可能となる。

30

【0057】

なお、前記実施形態においては、参照鏡109として平面鏡が用いられていたが、代わりに、光軸が合わせ易く、調整が容易なレトロリフレクタを用いても良い。又、対象物110の表面にレトロリフレクタを取付けても良い。

【図面の簡単な説明】

【0058】

【図1】本発明で用いる光コムの説明図

【図2】第1の参考形態の構成を示すブロック図

【図3】参考形態で波長を可変した時のビート信号の周波数変化の様子を模式的に示す図

【図4】第2の参考形態の構成を示すブロック図

【図5】参考形態で用いるレーザのスペクトルとビート信号の周波数の例を示す図

【図6】第3の参考形態の構成を示すブロック図

【図7】第4の参考形態の構成を示すブロック図

【図8】本発明の実施形態の構成を示すブロック図

【図9】第5の参考形態の構成を示すブロック図

【符号の説明】

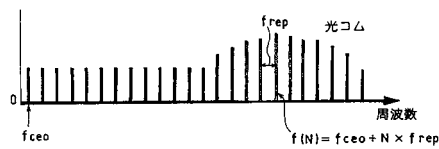
【0059】

101、201...波長可変レーザ

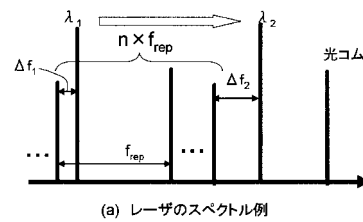
50

- 1 0 2 ... コントローラ
- 1 0 3 ... 周波数測定装置
- 1 0 4 ... 光コム
- 1 0 5、1 1 1、2 1 3 ... 検出器
- 1 0 6、1 0 7、1 0 8、2 1 0 ... ビームスプリッタ
- 1 0 9 ... 参照鏡
- 1 1 0 ... 対象物
- 1 1 2 ... 解析装置
- 2 1 4、2 1 5 ... バンドパスフィルタ
- 4 1 6、4 1 7 ... レーザ
- 6 0 1 ... 波長計

【図1】

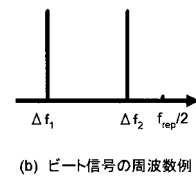
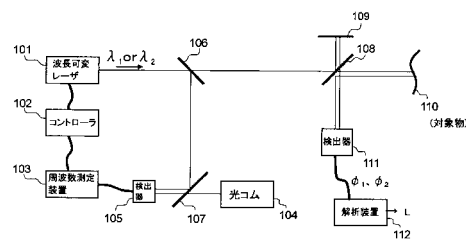


【図3】



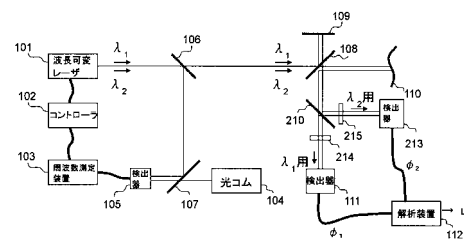
(a) レーザのスペクトル例

【図2】

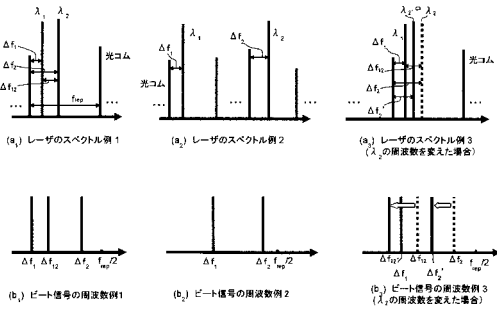


(b) ビート信号の周波数例

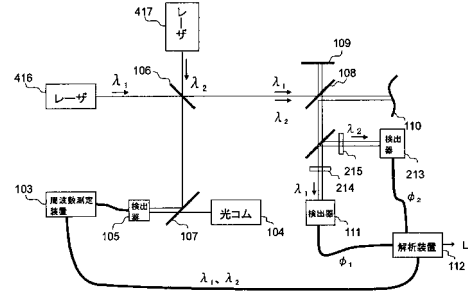
【図4】



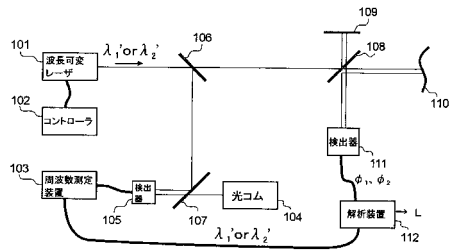
【図5】



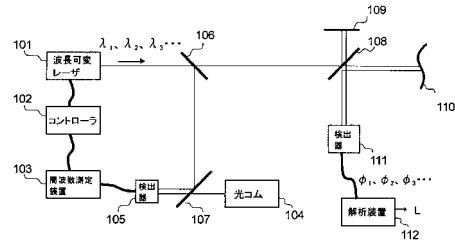
【図7】



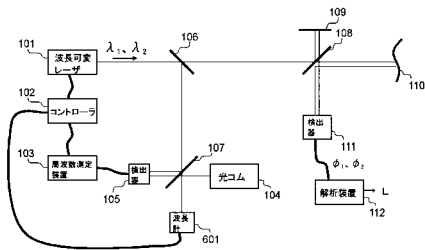
【図6】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平04 - 299203 (JP, A)

特許第2553276 (JP, B2)

特開2008 - 051674 (JP, A)

特開2007 - 333428 (JP, A)

特開2004 - 340690 (JP, A)

特開2009 - 198477 (JP, A)

特開2007 - 040994 (JP, A)

Jonghan Jin, Young-Jin Kim, Yunseok Kim and Seung-Woo Kim, "Absolute length calibration of gauge blocks using optical comb of a femtosecond pulse laser", OPTICS EXPRESS, 2006年6月26日, Vol.14, No.13, pages 5968-5974

Nicolas Schuler, Yves Salvade, Samuel Leveque, Rene Dandliker, Ronald Holzwarth, "Frequency-comb-referenced two-wavelength source for absolute distance measurement", OPTICS LETTERS, 2006年11月, Vol.31, No.21, pages 3101-3103

Mikko Merimaa, K. Nyholm, M. Vainio, Antti Lassila, "Traceability of Laser Frequency Calibrations at MIKES", IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, 2007年4月, Vol.56, No.2, pages 500-504

Youichi Bitou, Thomas R. Schibli, Kaoru Minoshima, "Accurate wide-range displacement measurement using tunable diode laser and optical frequency comb generator", OPTICS EXPRESS, 2006年1月, Vol.14, No.2, pages 644-654

Yves Salvade, Nicolas Schuler, Samuel Leveque, Sebastien Le Floch, "High-accuracy absolute distance measurement using frequency comb referenced multiwavelength source", APPLIED OPTICS, 2008年5月10日, Vol.47, No.14, pages 2715-2720

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B 9/00 - 11/30