

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2016 年 6 月 2 日(02.06.2016)



(10) 国際公開番号
WO 2016/084239 A1

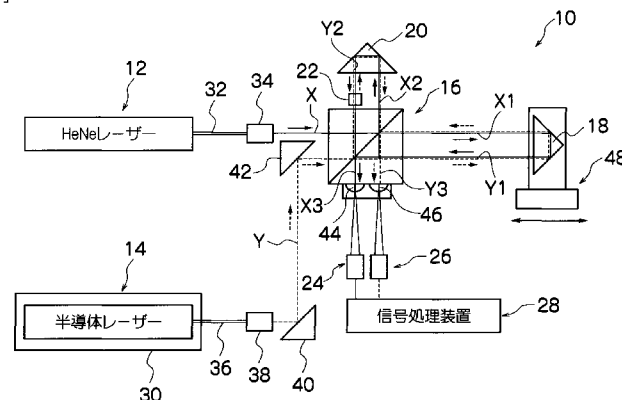
- (51) 国際特許分類:
G01B 9/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/081590
- (22) 国際出願日: 2014 年 11 月 28 日(28.11.2014)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 株式会社東京精密(TOKYO SEIMITSU CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1928515 東京都八王子市石川町 2 9 6 8 - 2 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 川田 善之(KAWATA, Yoshiyuki); 〒3000006 茨城県土浦市東中貫町 4 株式会社東京精密内 Ibaraki (JP). 青戸 智浩(AOTO, Tomohiro); 〒3000006 茨城県土浦市東中貫町 4 株式会社東京精密内 Ibaraki (JP).
- (74) 代理人: 松浦 憲三(MATSUURA, Kenzo); 〒1630223 東京都新宿区西新宿二丁目 6 番 1 号 新宿住友ビル 2 3 階 私書箱第 1 7 6 号 新都心国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: TWO-COLOR INTERFERENCE MEASUREMENT DEVICE

(54) 発明の名称: 2 色干渉計測装置

[図1]



- 12 HeNe laser
14 Semiconductor laser
28 Signal processing device

(57) Abstract: The purpose of the invention is to provide a two-color interference measurement device that is capable of highly accurate distance and angle measurement using a two-color interference method, has a low price, and is thus suitable as a practical device. The present invention is provided with two types of laser light sources (12, 14) having different wavelengths, a light splitting and combination means (16) for generating reference light and measurement light by splitting the two types of laser light toward both a fixed reflector (20) and a moving reflector (18) to which an object to be measured is attached and generating interference light by combining the measurement light reflected by the mobile reflector (18) and the reference light reflected by the fixed reflector, a wedge prism (22) for causing the wavefronts of the two types of laser light to be inclined in relation to the optical axes thereof, light detection means (24, 26) having four parts, and a signal processing device (28) for calculating the movement amount, movement direction, and fluctuation direction of the mobile reflector (18) from the interference signals of the two types of laser light detected by the light detection means (24, 26) and calculating the distance to the object being measured. The present invention is configured as a two-optical-axis-system light interference mechanism in which the two types of laser light split by the light splitting and combination means (16) have optical axes that are parallel and adjacent until the two light detection means.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2016/084239 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

2色干渉法を用いて高精度に距離や角度を計測することができ、しかも價格的にも安価であるので、実装置として好適な2色干渉計測装置を提供する。波長の異なる2種類のレーザ光源(12)、(14)と、2つのレーザ光を、固定反射体(20)及び測定対象物が取り付けられた移動反射体(18)の各々へ分割して参照光と測定光を生成すると共に、移動反射体(18)で反射された測定光と固定反射体で反射された参照光とを重ね合わせて干渉光を生成する光分割合成手段(16)と、2つのレーザ光の波面を光軸に対して傾けるウェッジプリズム(22)と、4分割の光検出手段(24)、(26)と、光検出手段(24)、(26)で検出された2つのレーザ光の干渉信号から移動反射体(18)の移動量、移動方向及び揺らぎ方向を算出して測定対象物の距離を演算する信号処理装置(28)と、を備え、光分割合成手段(16)で分割された2つのレーザ光は2つの光検出手段まで平行で近接したそれぞれの光軸を有する2光軸系の光干渉機構として構成されている。

明 細 書

発明の名称： 2色干渉計測装置

技術分野

[0001] 本発明は、2色干渉計測装置に係り、特に2つの異なる波長をもつレーザー光源を用いた2色干渉法を用いて距離（長さ）及び角度を計測する2色干渉計測装置に関する。

背景技術

[0002] 光干渉法を用いて物体の距離（長さ）を計測する計測方法としてHeNeレーザー等の単一波長を用いたホモダイン式の干渉計測装置がある。

[0003] しかし、ホモダイン式の干渉計測装置は、単一の光源から出たレーザー光を測定光と参照光とに分割し、測定対象物に取り付けられた移動反射体及び参照ミラーで反射された測定光及び参照光を重ね合わせて干渉させるため、大気中での距離計測において、気温、気圧、湿度等による大気の揺らぎの変動が屈折率の変化をもたらすため、計測誤差となる。ゼーマンレーザー等の高精度の光源にて環境センサーを用いても、大気揺らぎには分布があるため、正確に補正できないという問題があった。

[0004] 特許文献1には、2波長のレーザー光を使用した2色干渉法の原理を用いて、大気の揺らぎを自己補償するように構成された2波長の位相制御光学装置が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2009-186366号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、特許文献1のように、2色干渉法を用いて大気揺らぎを自己補償でき大気揺らぎの影響（以下「大気揺らぎの問題」という）を受け難くできるとしても、2色干渉法を用いて距離（長さ）や角度（ヨーイング、

ピッチング)を計測する計測装置を具現化するには以下の問題点(課題)を解決する必要がある。

[0007] (1) 2色干渉法は、大気揺らぎを自己補償できる反面、2つの測定光の測定光路長誤差が大きくなり易いという問題がある。即ち、計測したい距離 D は、2つのレーザの光学的距離 L_2 及び L_1 と、空気や温度や気圧に殆ど依存しない定数である A とにより、 $D = L_2 - A(L_2 - L_1)$ で表される。これにより、2色干渉法では $(L_2 - L_1)$ 測定の誤差が A 倍となり、この係数 A が数十～数百となる。したがって、測定光路長 $(L_2 - L_1)$ 誤差を如何に小さくするかが2色干渉法を用いた計測装置を具現化する上で重要となる。この対応策の1つとして、2色法のレーザ光源として、周波数安定度が安定した2つのレーザ光源が必要になる。これまでは2つのレーザ光源として、周波数安定度の高い光コムを第1の光源とし、第1の光源の2倍の周波数を生成する第二高調波発生器(SHG)を第2の光源とする組み合わせ、又はYAGレーザを第1の光源とし、SHGを第2の光源とする組み合わせが用いられてきた。しかし、これらの組み合わせは、装置が高価であるという問題や、波長(周波数)の選択性が低く、このために、特に光コムとSHGとの組み合わせでは係数 A が大きいという問題がある(以下「周波数安定度の良い2種類のレーザ光源の問題」という)。

[0008] (2) また、従来の2色干渉法ではダイクロイックミラーを使用して、2つの光源から出た2つのレーザ光を同軸で伝播させることで同一の光学系を経由し、これにより測定誤差が小さくなるように試みている。しかし、ダイクロイックミラーで2つの測定光を同軸上にアライメントすることは極めて難しく、アライメント誤差が光路長測長の誤差になるという問題がある。更にはダイクロイックミラーが温度ドリフト等により変形・変位すると光軸が変わってしまうので、ダイクロイックミラーを透過するレーザと、反射するレーザとを同軸上にアライメントすることは難しいという問題がある(以下、「光軸アライメントの問題」という)。

[0009] (3) また、距離や角度を計測する計測装置を構成するには、測定対象物

に取り付けられる移動反射体の移動量を精度良く測定することが必要になる。しかし、単純な位相計測では空気揺らぎにより、数周期分位相がずれてしまい、数周期のずれを読み取ることが実質的に困難である。更には、単純な位相計測では、干渉縞の山や谷の付近では移動反射体の移動方向や、大気の揺らぎによる光路長の伸縮方向が分からない。これにより、 L_2 と L_1 が正確に分からないので、 $D = L_2 - A(L_2 - L_1)$ の式で大きな誤差を生じる。したがって、距離や角度を計測する計測装置を構成するには、移動反射体の移動量を単に正確に計測できる以外に、移動反射体の移動方向や大気の揺らぎによる光路長の伸縮をどのように具体化するかが重要になる（以下「計測方法の具体化の問題」という）。

[0010] 以上述べた背景から、従来、2色干渉法は屈折率の補正のみに使用されており、2色干渉法を用いて距離（長さ）や角度を計測するための計測装置は未だに商品化されていないのが実状である。

[0011] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、2色干渉法を用いて高精度に距離や角度を計測することができ、しかも価格的にも安価であるので、実装置として好適な2色干渉計測装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0012] 本発明の2色干渉計測装置は、前記目的を達成するために、第1のレーザ光を出射する第1のレーザ光源と、第2のレーザ光を出射する第2のレーザ光源と、前記第1のレーザ光源から出射された第1のレーザ光を、第1の参照光及び第1の測定光に分割し、固定反射体で反射された前記第1の参照光と測定対象物に取り付けられた移動反射体で反射された前記第1の測定光とを第1の干渉位置で合成して第1の干渉光を生成し、かつ前記第2のレーザ光源から出射された前記第2のレーザ光を、第2の参照光及び第2の測定光に分割し、前記第2の参照光を前記第1の参照光の光路を逆進させるとともに、前記第2の測定光を前記第1の測定光の光路を逆進させ、前記固定反射体で反射された前記第2の参照光と前記移動反射体で反射された前記第2の測定光とを第2の干渉位置で合成して第2の干渉光を生成する光分割合成手

段と、前記第 1 の参照光と前記第 2 の参照光の光路中に配設され、又は前記第 1 の測定光と前記第 2 の測定光の光路中に配設されたウェッジプリズムと、前記第 1 の干渉光を受光して第 1 の干渉信号を検出する第 1 の光検出手段と、前記第 2 の干渉光を受光して第 2 の干渉信号を検出する第 2 の光検出手段と、を備えることを特徴とする。

[0013] 本発明の 2 色干渉計測装置は、前記第 1 及び第 2 の干渉信号から前記移動反射体の移動量、移動方向及び大気揺らぎによる光路長の伸縮方向を算出して前記測定対象物の距離を演算する信号処理装置を備えたことが好ましい。

[0014] 本発明の 2 色干渉計測装置は、前記第 1 及び第 2 の光検出手段は、前記第 1 及び第 2 の干渉光の光軸に直交し且つ干渉縞の形成方向に所定間隔に配置された複数のフォトディテクタを有し、所定角度ずつ位相のずれた複数相からなる干渉信号を検出することが好ましい。

[0015] 以下述べる「近接」とは、2 つのレーザ光がほぼ同一の大気環境を通過可能な距離を意味する。

[0016] 本発明の 2 色干渉計測装置によれば、2 色干渉法の自己補償によって大気の揺らぎの影響を受け難くできるだけでなく、周波数安定度が 10^{-8} より高精度で波長の異なるレーザ光を出射する 2 種類のレーザ光源（第 1 のレーザ光源、第 2 のレーザ光源）を用いて 2 光軸系の光干渉機構として構成するようにした。これにより、レーザ光源に起因する計測誤差及び光軸アライメントに起因する計測誤差を小さくできる。また、2 つのレーザ光をウェッジプリズムに通過させてわずかに波面を傾け（例えば波面を 1 波長分以上傾け）、光軸に直交し且つ干渉縞の形成方向に所定間隔に配置された複数のフォトディテクタを有する光検出手段（第 1 の光検出手段、第 2 の光検出手段）で検出するようにしたので、移動反射体の移動方向や揺らぎ方向を把握できる。これにより、2 色干渉法を用いた計測装置の計測方法を具体的に構築することができる。

[0017] したがって、本発明の 2 色干渉計測装置は、従来の問題点であった「大気揺らぎの問題」、「周波数安定度の良い 2 種類のレーザ光源の問題」、「光

軸アライメントの問題」、及び「計測方法の具体化の問題」を解決することができる。これにより、2色干渉法を用いて高精度に距離や角度を計測することができ、しかも価格的にも安価であるので、実装置として好適な2色干渉計測装置を提供することができる。

[0018] 本発明の2色干渉計測装置は、前記2光軸系の光干渉機構が少なくとも2系統の平行な光軸を形成するように設けられた光学系と、前記光学系のそれぞれの系統ごとに設けられ、垂直方向及び／又は水平方向に配列された前記移動反射体と、前記信号処理装置で計算されたそれぞれの系統ごとの前記移動反射体の移動量から前記測定対象物の傾き角度を演算する角度演算装置と、を備えた態様を取ることができる。

[0019] これにより、測定対象物の傾き角度（ヨーイング、ピッチング）を高精度に計測する2色干渉計測装置を低価格で構築することができる。

[0020] 本発明の2色干渉計測装置は、前記2つのレーザ光源は、波長が633nmのHeNeレーザ光源と波長が1550nm帯の半導体レーザ光源であることが好ましい。

[0021] 波長が633nmのHeNeレーザ光源と波長が1550nm帯の半導体レーザ光源との組み合わせは下記a)～f)の理由で好適である。a) 波長が離れているためA係数を小さくでき、周波数安定度が 10^{-8} より高精度でかつ容易に波長を校正できる（500nm未満の波長又は1684nmを超える波長のレーザは校正が困難である。）。b) 波長633nmと1550nm帯はそれぞれ、シリコンとインジウムガリウムヒ素の光検出器に感度を持つが、その逆には感度を持たないため、波長633nm用の光検出器が波長1550nm帯の光を検出することもなく、また、波長1550nm帯用の光検出器が波長633nmの光を検出することもないため、光検出器のクロストークによる誤差を回避できる。c) 1550nm帯の波長はアイセーフであるため、目に入ったときの危険が少ない。d) 安価に過干渉距離が長い光源を用意できる（例えば10m以上）。e) 1550nm帯は光学部品が充実しているため干渉計を安価に組むことができる。f) 1550nm帯

の波長は〔式１〕のコーシーの分散公式を見ると分かるように、波長変動による屈折率変化や屈折率の揺らぎに対してロバストであり、一方の波長による計測を揺らぎに対してロバストにできる。

[0022] 〔式１〕

$$n - 1 = k_1 \left(1 + k_2 / \lambda^2 \right) \cdots \text{式 1}$$

ここで、 n : 屈折率

k_1 : 定数

k_2 : 定数

λ : 波長

本発明の２色干渉計測装置は、前記半導体レーザ光源にはレーザ光の温度を制御する温度制御装置が設けられることが好ましい。これにより、周波数安定度の良い半導体レーザ光源を安価に構成することができる。

[0023] 本発明の２色干渉計測装置は、前記ウェッジプリズムに対して同一の光路で前記第１の参照光と前記第２の参照光とが逆進し、前記ウェッジプリズムから前記第１の干渉位置までの前記第１の参照光の光路長よりも、前記ウェッジプリズムから前記第２の干渉位置までの前記第２の参照光の光路長が長いことが好ましい。

[0024] このように、２つの参照光を共通のウェッジプリズムに逆向きの光路で逆進させることによって、２つの参照光についてウェッジプリズムから第１及び第２の光検出手段までの光路長が異なるようにできるので、ウェッジプリズムでの屈折による位置ずれを２つの参照光で合わせることができる。これにより計測精度を向上できる。

[0025] 本発明の２色干渉計測装置は、前記第１及び第２の測定光は、前記移動反射体の一方のコーナ部に入射し、直角な反射面で反射されて他方のコーナ部から出射するように構成され、前記第１及び第２の参照光は、前記固定反射体の一方のコーナ部に入射し、直角な反射面で反射されて他方のコーナ部から出射するように構成されていることが好ましい。

[0026] １光軸系のように移動反射体（例えばＣＣＰ）や固定反射体（例えばＣＣ

P)の中央部にレーザ光を入射させる場合には、中央部からの僅かなずれによって光検出手段に対して模様（例えば3本のスジ）ができてしまい、理想的な検出信号（正弦波）が得られ難い。これが計測誤差の要因になる。

[0027] しかし、本発明のように、2光軸系の光干渉機構とすることで、移動反射体（例えばCCP）や固定反射体（例えばCCP）の中央部にレーザ光を入射させる必要がないので、理想的な検出信号（正弦波）を得ることができる。

[0028] 本発明の2色干渉計測装置は、前記光分割合成手段は、移動反射体側と固定反射体側で光路長が非対称に構成され、前記ウェッジプリズム及びその他空気以外のレーザ光路の2波長の屈折率の温度係数の違いによる温度変化による誤差を補正することが好ましい。

[0029] 本発明の2色干渉計測装置は、前記光分割合成手段は、前記ウェッジプリズムと熱膨張係数が同一の材料で構成され、前記光分割合成手段のうち前記第1及び第2の測定光が通過する部分の光軸方向の厚さが、前記第1及び第2の参照光が通過する部分の光軸方向の厚さよりも、前記ウェッジプリズムの光軸方向の厚さの半分だけ厚くされていることが好ましい。

[0030] 本発明の2色干渉計測装置は、前記第1のレーザ光源と前記光分割合成手段との間に第1の強度分布成型素子が配置され、前記第1のレーザ光のガウシアンビームが、前記第1の強度分布成型素子によってフラットトップの出力ビームに変換され、前記第2のレーザ光源と前記光分割合成手段との間に第2の強度分布成型素子が配置され、前記第2のレーザ光のガウシアンビームが、前記第2の強度分布成型素子によってフラットトップの出力ビームに変換されることが好ましい。

[0031] 本発明の2色干渉計測装置は、前記2つのレーザ光のレーザ進行方向の垂直断面のレーザ強度分布を、トップフラット形状のレーザ強度分布に変換する強度分布成型素子を備えたことが好ましい。

[0032] 本発明の2色干渉計測装置は、前記第1及び第2のレーザ光が逆向きの共通光路を通るレーザ光を可視化するレーザ光可視化手段を備え、前記レーザ

光可視化手段の一方の面からレーザ光を観察することにより、第1及び第2のレーザ光のアライメントの位置ずれを確認することが好ましい。

発明の効果

[0033] 本発明の2色干渉法を用いた計測装置によれば、高精度に距離や角度を計測することができると共に価格的にも安価であり、実装置として十分な性能を有する計測装置を提供できる。

図面の簡単な説明

[0034] [図1]距離を計測する2色干渉計測装置の全体構成図

[図2]図1に示した2色干渉計測装置のHeNeレーザ光源から出射されたレーザ光の光路を示した説明図

[図3]図1に示した2色干渉計測装置の半導体レーザ光源から出射されたレーザ光の光路を示した説明図

[図4]移動反射体の移動装置の一例を示す説明図

[図5]干渉信号強度と距離との関係を示す図

[図6]ウェッジプリズムと4分割の光検出手段を用いて距離計測原理を説明する説明図

[図7]移動反射体の移動方向を説明する説明図

[図8]一方のレーザ光源として波長が633nmのHeNeレーザ光源を使用した場合における他方のレーザ光源の波長と係数Aとの関係図

[図9]ダイクロックミラーを用いて1光軸系の計測装置を構成した場合の全体図

[図10]光分割合成手段の別実施例の構成図

[図11]距離を計測する2色干渉計測装置の全体構成図の別例図

[図12]レーザの強度分布がガウシアン形状での光検出を説明する説明図

[図13]レーザの強度分布がトップフラット形状での光検出を説明する説明図

[図14]角度を計測する2色干渉計測装置の全体構成図

[図15]角度計測の演算方法を説明する説明図

発明を実施するための形態

[0035] 以下、添付図面に従って本発明に係る２色干渉計測装置の好ましい実施の形態について詳説する。

[0036] [距離（長さ）を計測する２色干渉計測装置]

図１は、２色干渉法を用いて距離（長さ）を計測する２色干渉計測装置１０の構成図である。

[0037] 図１に示すように、２色干渉計測装置１０は、主として、波長の異なる２種類のレーザ光源（第１のレーザ光源、第２のレーザ光源）１２、１４と、光分割合成手段１６と、測定対象物（図示せず）に取り付けられ測定光（第１の測定光、第２の測定光）Ｘ１、Ｙ１を反射する移動反射体１８と、参照光（第１の参照光、第２の参照光）Ｘ２、Ｙ２を反射する固定反射体２０と、参照光Ｘ２、Ｙ２が同一光路において互いに逆進して通過するウェッジプリズム２２と、レーザ光源１２、１４からの２つのレーザ光（第１の干渉光Ｘ３、第２の干渉光Ｙ３）を検出する第１及び第２の光検出手段２４、２６と、信号処理装置２８と、で構成される。

[0038] レーザ光源１２、１４は、互いに波長が異なるレーザ光（第１のレーザ光、第２のレーザ光）を出射する装置であり、レーザ光源１２、１４は周波数安定度が 10^{-8} より高精度であることが好ましい。また、レーザ光源１２、１４は、波長（周波数）の選択性が高く、波長差を４００nm以上とれることが好ましい。

[0039] このような条件を満足するレーザ光源１２、１４としては、例えば波長が６３３nmのHeNeレーザ光源１２と、波長が１５５０nm帯の半導体レーザ光源１４との組み合わせを好適に使用することができる。この場合、半導体レーザ光源１４には、半導体レーザの温度を制御して一定温度に維持する温度制御装置３０を設けることが上記の周波数安定度を得る上で好ましい。これにより、２色干渉法を用いた計測装置の２種類のレーザ光源１２、１４を、周波数安定性が高く且つ低価格で構成することができる。

[0040] 以下の説明ではHeNeレーザ光源１２と半導体レーザ光源１４との例で説明すると共に、HeNeレーザ光源１２から出射されるレーザ光をレーザ

光Xと称し、半導体レーザ光源14から出射されるレーザ光をレーザ光Yと称する。

[0041] 図1に示すように、HeNeレーザ光源12から出射されたレーザ光X（実線）は、光ファイバ32を伝播して第1のコリメータレンズ34に入射し、第1のコリメータレンズ34によって平行光に変換されて光分割合成手段16に入射する。一方、半導体レーザ光源14から出射されたレーザ光Y（点線）は、光ファイバ36を伝播して第2のコリメータレンズ38に入射し、第2のコリメータレンズ38によって平行光に変換された後、2つのミラー40、42で反射して光分割合成手段16に入射する。

[0042] 光ファイバ32、36は、光の伝送路であり、機器間で光を送受する機能を備える。光ファイバ32、36は透過率の高い石英ガラス又はプラスチック製であり、外側よりも芯の屈折率を高くすることで光を芯にだけ伝搬させることができる。

[0043] 光分割合成手段16は、レーザ光X、Yを測定光X1、Y1と参照光X2、Y2とに分割する光学素子であり、ビームスプリッタ、ハーフミラー、又はそれと同等の機能を有する手段を好適に使用することができる。

[0044] なお、ミラー40、42は、HeNeレーザ光源12から出射されたレーザ光Xと、半導体レーザ光源14から出射されたレーザ光Yとを、平行で近接した2光軸系の光干渉機構を形成し、光軸方向を調整するためのものである。したがって、HeNeレーザ光源12と半導体レーザ光源14との配置から、ミラー40、42を用いずに平行で近接した2光軸系の光干渉機構を形成できる場合には使用しなくてもよい。

[0045] 光分割合成手段16に入射したレーザ光Xは、移動反射体18へ進む測定光X1と、固定反射体20へ進む参照光X2とに分割される。そして、移動反射体18で反射された測定光X1と固定反射体20で反射された参照光X2とが再び光分割合成手段16に入射して重ね合わされ（合成され）干渉光X3として生成される。

[0046] 同様に、光分割合成手段16に入射したレーザ光Yは、移動反射体18へ

進む測定光 Y 1 と、固定反射体 2 0 へ進む参照光 Y 2 とに分割される。そして、移動反射体 1 8 で反射された測定光 Y 1 と固定反射体 2 0 で反射された参照光 Y 2 とが再び光分割合成手段に入射し重ね合わされて干渉光 Y 3 として生成される。

[0047] 図 1 から分かるように、レーザ光 X とレーザ光 Y とは、平行で近接する 2 光軸系の光干渉機構を形成すると共に、光分割合成手段 1 6 と移動反射体 1 8 との間を進む測定光 X 1 と測定光 Y 1 とは同一の光路で互いに逆進する。また同様に、光分割合成手段 1 6 と固定反射体 2 0 との間を進む参照光 X 2 と参照光 Y 2 とは同一の光路で互いに逆進する。レーザ光 X とレーザ光 Y を近接させる理由は、同じ大気環境（温度、気圧、湿度等）を通過した方が大気揺らぎの位置変化分布の影響を小さくするからである。

[0048] 固定反射体 2 0 の出射側には、ウェッジプリズム 2 2 が配設される。これにより、ウェッジプリズム 2 2 を通過する参照光 X 2、Y 2 の波面が通過前の光軸に対してわずかに傾けられる。なお、ウェッジプリズム 2 2 は固定反射体 2 0 の出射側に限定されず、固定反射体 2 0 又は移動反射体 1 8 の入射側又は出射側の光路中の何れかに配設されればよい。

[0049] 図 2 は、図 1 に示した 2 色干渉計測装置 1 0 において、H e N e レーザ光源 1 2 から出射されたレーザ光 X の光路を実線の矢印で示した説明図である。また、図 3 は、半導体レーザ光源 1 4 から出射されたレーザ光 Y の光路を破線の矢印で示した説明図である。なお、図 2、図 3 においては、図面の煩雑さを避けるため、光ファイバ 3 2、3 6、コリメータレンズ 3 4、3 8、及びミラー 4 0、4 2 の図示を省略している。

[0050] 図 2、図 3 の如く、H e N e レーザ光源 1 2 の参照光 X 2 と半導体レーザ光源 1 4 の参照光 Y 2 とは、ウェッジプリズム 2 2 を同一の光路で逆進している。

[0051] そして、ウェッジプリズム 2 2 の参照光 X 2 の出射端 2 2 a から、光分割合成手段 1 6 の干渉位置（測定光 X 1 と参照光 X 2 との干渉位置：第 1 の干渉位置）1 6 a までの参照光 X 2 の光路長が光路長 Q に設定されている。ま

た、ウェッジプリズム 22 の参照光 Y 2 の出射端 22 b から、光分割合成手段 16 の干渉位置（測定光 Y 1 と参照光 Y 2 との干渉位置：第 1 の干渉位置）16 b までの参照光 Y 2 の光路長が R ($R = R_1 + R_2 + R_3$) に設定されている。つまり、光路長 Q よりも光路長 R が長く設定されている。なお、 R_1 は、出射端 22 b から固定反射体 20 までの光路長であり、 R_2 は固定反射体 20 内での光路長であり、 R_3 は、固定反射体 20 から干渉位置 16 b までの光路長である。

[0052] ウェッジプリズム 22 を通過した参照光 X 2 の屈折角は、周波数の違いから、ウェッジプリズム 22 を通過した参照光 Y 2 の屈折角度よりも大きい。このため、ウェッジプリズム 22 から干渉位置 16 b までの参照光 Y 2 の光路長 R を、ウェッジプリズム 22 から干渉位置 16 a までの参照光 X 2 の光路長 Q よりも長くする。

[0053] 好ましくは、干渉位置 16 a に対する参照光 X 2 の位置ずれと、干渉位置 16 b での参照光 Y 2 の位置ずれとが、同程度となるように、ウェッジプリズム 22 の位置を調整して参照光 Y 2 の光路長 R を長くする。これにより、第 1 及び第 2 の光検出手段 24、26 のアライメントが容易になる。

[0054] また、2 色干渉計測装置 10 は、1 つのウェッジプリズム 22 に対し、同一の光路で参照光 X 2 と参照光 Y 2 とを逆進させた構成なので、1 つのウェッジプリズム 22 によって、光路長 Q 、 R の調整が可能となる。

[0055] 光分割合成手段 16 で生成された干渉光 X 3 は、第 1 のレンズ（例えば、シリンドリカルレンズ）44 を介して第 1 の光検出手段 24 で受光され、電気信号（アナログ）である干渉信号（第 1 の干渉信号）に変換されて信号処理装置 28 に出力される。同様に、光分割合成手段 16 で生成された干渉光 Y 3 は、第 2 のレンズ（例えば、シリンドリカルレンズ）46 を介して第 2 の光検出手段 26 で受光され、電気信号（アナログ）である干渉信号（第 2 の干渉信号）に変換されて信号処理装置 28 に出力される。

[0056] 第 1 及び第 2 のレンズ 44、46 は、光分割合成手段 16 で生成された干渉光 X 3、Y 3 を、光軸に直交し且つ干渉縞の形成方向に所定間隔に配置さ

れた複数のフォトディテクタ a、b、c、d（図6参照）で受光できるように、光検出手段24、26のサイズにレーザ光X、Yを拡げる。

[0057] 信号処理装置28としては、例えば、信号処理回路とカウンタとコンピュータとを組み合わせることで構成することができる。

[0058] 第1及び第2の光検出手段24、26は、光軸に直交し且つ干渉縞の形成方向に所定間隔に配置された複数のフォトディテクタa、b、c、d（図6参照）を有し、所定角度ずつ位相のずれた複数相の信号を検出する。そして、信号処理装置28では、光検出手段24、26で得られた干渉信号から移動反射体18の移動量及び移動反射体18の移動方向を求め、大気揺らぎによる光路長の伸縮を加味して測定対象物に取り付けられた移動反射体18の移動量を演算する。これにより、測定対象物の移動距離（長さ）を計測することができる。

[0059] 図4に示すように、移動反射体18は移動装置48に搭載される。移動装置48は、移動反射体18、直動ステージ50等から構成される。移動反射体18としては、再帰性反射可能なCCP（コーナキューブプリズム）又は直角プリズムミラー等が用いられる。これにより、移動反射体18は、光分割合成手段16から出射された測定光X1、Y1を直角に組み合わせられた面に入射させ、入射方向と平行な逆方向に反射する。この場合、移動反射体18から戻される測定光X1、Y1は2光軸系を維持していることが必要になる。したがって、測定光X1、Y1は移動反射体18の中央部に入射させるのではなく、図1及び図4から分かるように、移動反射体18の一方のコーナ部に入射させ、直角な2つの反射面で反射させて他方のコーナ部から出射させることにより、入射方向と平行で且つ逆方向に出射させる。

[0060] 直動ステージ50は、測定光X1、Y1の進行方向又は逆方向にスライド可能な移動体であり、移動させることで、測定光X1、Y1の光路長を変化させることができる。直動ステージ50の移動は、光検出手段24、26からの干渉信号に基づいて信号処理装置28が移動制御信号を生成し、直動ステージ50上の移動反射体18の移動量を求める。

[0061] また、参照光X 2、Y 2が反射する固定反射体20は、移動反射体18と同様に再帰性反射可能なCCP（コーナキューブプリズム）又は直角プリズムミラー等が用いられる。固定反射体20の場合も、移動反射体18と同様に、固定反射体20の中央に入射させるのではなく、図1及び図4から分かるように、固定反射体20の一方のコーナ部に入射させ、直角な2つの反射面で反射させて他方のコーナ部から出射させることにより、入射方向と平行で且つ逆方向に出射させる。

[0062] 次に、上記のごとく構成された2色干渉計測装置10で測定対象物の移動距離（長さ）を計測する計測方法について説明する。

[0063] 計測装置10で測定対象物の移動距離（長さ）を計測する場合、操作者は、移動反射体18を測定対象物に取り付け、測定光X 1、Y 1が移動反射体18（例えばCCP）のコーナ部に正確に入射するように、計測装置10を位置決めして固定する。準備が終了したら測定対象物を移動させて計測を開始する。

[0064] 計測が開始されると、図1に示すようにHeNeレーザ光源12から出射されたレーザ光Xは、光分割合成手段16で2つのレーザ光である測定光X 1と参照光X 2に分割される。

[0065] 次に、測定光X 1は移動反射体18に入射し、そこで逆方向に反射されて再び光分割合成手段16に入射する。参照光X 2は固定反射体20に入射し、そこで逆方向に反射された後、ウェッジプリズム22を介して再び光分割合成手段16に入射する。移動反射体18から光分割合成手段16に入射した測定光X 1と、固定反射体20から光分割合成手段16に入射した参照光X 2は、光分割合成手段16で重なり合って干渉光X 3を生成した後、第1のレンズ（例えば、シリンドリカルレンズ）44を介して第1の光検出手段24に入射する。

[0066] 同様に、半導体レーザ光源14から出射されたレーザ光Yは、光分割合成手段16で2つのレーザ光である測定光Y 1と参照光Y 2に分割される。

[0067] 次に、測定光Y 1は移動反射体18に入射し、そこで逆方向に反射されて

再び光分割合成手段 16 に入射する。参照光 Y 2 はウェッジプリズム 22 を介して固定反射体 20 に入射し、そこで逆方向に反射された後、再び光分割合成手段 16 に入射する。移動反射体 18 から光分割合成手段 16 に入射した測定光 Y 1 と、固定反射体 20 から光分割合成手段 16 に入射した参照光 Y 2 は、光分割合成手段 16 で重なり合って干渉光 Y 3 を生成した後、第 2 のレンズ（例えば、シリンドリカルレンズ）46 を介して第 2 の光検出手段 26 に入射する。

[0068] 上記レーザ光 X、Y は、光分割合成手段 16 から光検出手段 24、26 まで、それぞれの光軸を有すると共に平行で近接した 2 光軸系の光干渉機構として構成される。また、前記した 2 光軸系において、レーザ光 X とレーザ光 Y とは、同一の光路において逆進する。

[0069] 測定光 X 1、Y 1 は、それぞれ参照光 X 2、Y 2 と干渉して干渉光 X 3、Y 3 を生成し、干渉縞（干渉信号）を生じる。干渉信号の強度は、測定光 X 1 と参照光 X 2 との光路差と、測定光 Y 1 と参照光 Y 2 との光路差が、それぞれレーザ光 X、Y の波長の整数倍の時にもっとも大きくなり、光路差が波長の整数倍と $1/2$ 異なる時にもっとも小さくなる。

[0070] そして、信号処理装置 28 は、第 1 及び第 2 の光検出手段 24、26 で検出された干渉光 X 3、Y 3 の干渉信号から測定対象物の移動距離（長さ）を以下のように演算する。

[0071] 信号処理装置 28 は、それぞれの光検出手段 24、26 で受光された 2 つの干渉信号 X（波長 633 nm）、Y（波長 1550 nm 帯）を用いて、次式 2 で示される干渉信号強度関数に当てはめる。

[0072] [式 2]

$$\text{干渉信号強度} = B \times \sin(2 \times 2\pi / \lambda \times L + \phi) \cdots \text{式 2}$$

ここで、B：信号強度振幅

λ ：計測に使用する波長（633 nm、1550 nm 帯）

L：測定対象物の移動距離

ϕ ：計測における位相のずれ

これにより、例えば図5に示すように、2つの干渉信号X（波長633nm）、Y（波長1550nm帯）について、移動反射体18の移動量と、干渉信号強度との関係を示す干渉信号の正弦波が得られる。

[0073] 次に、2つの干渉信号X（波長633nm）、Y3（波長1550nm帯）について、カウンタでカウントされる干渉信号の波の数と位相とから、移動反射体18の光学的距離であるL1（波長633nm）とL2（波長1550nm帯）を求める。

[0074] そして、下記の式3から幾何学的距離Dを求めることによって、測定対象物に取り付けられた移動反射体18の移動量を求めることができる。

[0075] [式3]

$$\text{幾何学的距離 } D = L2 - A(L2 - L1) \cdots \text{式3}$$

しかし、移動反射体18の移動方向、大気揺らぎによる光路長の伸縮方向が分からないと、 $(L2 - L1)$ を求めることができない。そこで、図6に示すように、固定反射体20と光分割合成手段16との間にウェッジプリズム22を設けて、ウェッジプリズム22を通過する参照光X2、Y2の波面を、ウェッジプリズム22に入射する直前の光軸に対してわずかに傾きをもたせるようにする。例えば、波面を1波長分以上傾ける。この場合、2つの参照光X2、Y2に対して共通のウェッジプリズム22に通過させると共に、進路を逆向きにすることが好ましい。図1に示す実施の形態では、参照光Y2がウェッジプリズム22の通過後に固定反射体20から光分割合成手段16の側へ進み、参照光X2は光分割合成手段16から固定反射体20を介してウェッジプリズム22の通過後に光分割合成手段16の側に進む。

[0076] このように、2つの参照光X2、Y2を共通のウェッジプリズム22に対して逆向きに通過させることで、ウェッジプリズム22から2つの光検出手段24、26までの光路長が異なるので、ウェッジプリズム22での屈折による位置ずれを2つのレーザ光で合わせることができる。また、参照光X2、Y2に対して共通のウェッジプリズム22を使用することで部品点数を削減できる。

- [0077] ちなみに、参照光X2の光路と参照光Y2の光路とにそれぞれウェッジプリズム22を配置すると、屈折角のズレが顕著に大きくなり、計測誤差要因になる。
- [0078] また、光検出手段24、26は、光分割合成手段16で干渉し、干渉光X3、Y3の光軸に直交し且つ干渉縞の形成方向に所定間隔に配置された複数のフォトディテクタa、b、c、d（例えば4つ）を有し、所定角度（例えば90°）ずつ位相のずれた複数相（例えば4相）の信号を検出できるように構成されている。
- [0079] これにより、ウェッジプリズム22を通過した参照光X2、Y2による干渉光X3、Y3は明暗がa、b、c、dのディテクタで段々とずれて、4つのフォトディテクタa、b、c、dは順次90°の位相が異なるA⁺相、B⁺相、A⁻相、B⁻相の4相からなる正弦波信号を検出することができる。
- [0080] そして、図7に示すように、検出した正弦波信号を信号処理して矩形波に変換する。これにより、矩形波に変換されたA相とB相の立ち上がりの位相ずれ方向を検出することで移動反射体18の移動方向を把握することができ、A相とB相の膨らみ方向を検出することで大気揺らぎによる光路長の伸縮方向を把握することができる。
- [0081] 図7（A）は移動反射体18が正方向に移動したときのA相とB相との矩形波の関係を示す図であり、図7（B）は移動反射体18が逆方向に移動したときのA相とB相との関係を示す矩形波の図である。
- [0082] このように、2つの光検出手段24、26で検出された2つの干渉信号X（波長633nm）、Y（波長1550nm帯）について、4分割の光検出手段24、26でそれぞれ検出し、信号処理装置28で上記の信号処理を行うことによって、L1とL2との正負関係が分かる。
- [0083] したがって、得られた干渉信号を距離（長さ）情報に演算して移動反射体18の移動量を求めることができるので、測定対象物の移動距離を計測することができる。即ち、2色干渉法を用いた計測装置の計測方法を上記の如く構成することで、従来の問題点であった「計測方法の具体化の問題」を解決

することができる。

[0084] また、上記の如く構成された２色干渉法を用いた計測装置１０は、以下の構成を取ることによって、実装置として十分に使用可能な高さまで計測精度を向上させることができる。

[0085] ２色干渉法によって測定対象物の移動距離を計測するには、測定対象物に取り付けられる移動反射体１８の移動量である幾何学的距離Ｄを精度良く求めることが重要になる。

[0086] そして、幾何学的距離Ｄは上記したように次式３で表される。

[0087] [式３]

$$D = L_2 - A (L_2 - L_1) \cdots \text{式 3}$$

ここで $A = (n_1 - 1) / (n_2 - n_1)$ で表され、温度や気圧等にほとんど依存しない定数であり、この係数Ａが数十～数百となる。

[0088] $L_1 = n_1 \times D$ (レーザ光Ｘでの測定光路長又はレーザ光Ｙでの測定光路長)

$L_2 = n_2 \times D$ (レーザ光Ｘでの測定光路長又はレーザ光Ｙでの測定光路長)

$n_1 = f_1 (T, P, h, c, \lambda_1) \cdots$ レーザ光Ｘの大気の屈折率

$n_2 = f_2 (T, P, h, c, \lambda_2) \cdots$ レーザ光Ｙの大気の屈折率

T : 温度、P : 気圧、h : 湿度、c : CO₂濃度、 λ_1 : レーザ光Ｘの波長、 λ_2 : レーザ光Ｙの波長

上記式３から分かるように、式３の測定光路差 ($L_2 - L_1$) を小さくすることが計測装置として使用可能な計測精度まで上げる上で不可欠である。

[0089] そこで、本発明の実施の形態では、式３の測定光路差 ($L_2 - L_1$) を小さくするために、主として次の点を改良した。

[0090] <１> 本実施の形態では、周波数安定度が 10^{-8} より高精度であって、波長が異なるレーザ光を出射する２種類のレーザ光源として、波長が 633 nm の HeNe レーザ光源 １２と、波長が 1550 nm 帯の半導体レーザ光源 １４とを設けるようにした。

- [0091] 図8は、2種類のレーザ光源のうち、一方のレーザ光源を波長 λ_1 が633nmのHeNeレーザ光源12とした場合、他方のレーザ光源の波長 λ_2 と係数Aとの関係を示した図である。そして、点線がHeNeレーザ光源12の633nmの波長位置である。
- [0092] 図8から分かるように、他方のレーザ光源の波長がHeNeレーザ光源の633nmの波長位置から離れるにしたがって係数Aが小さくなる。他方のレーザ光源の波長としては、500nm以下の場合と、1000nm以上（図8では最大2000nmまで示す）の場合において、係数Aが約100以下となる。即ち、一方のレーザ光源として、従来から周波数安定度の良いレーザ光源として知られていたHeNeレーザ光源12を使用した場合には、他方のレーザ光源としては、HeNeレーザ光源の波長の633nmよりも100nm以上小さい波長のものか、もしくは400nm以上大きい波長のものを使用することで係数Aを100以下に小さくできる。
- [0093] 具体的には、波長が633nmのHeNeレーザ光源12と波長が1550nm帯の半導体レーザ光源14との2種類のレーザ光源を設けることで、係数Aを100以下にすることができる。
- [0094] また、半導体レーザ光源14に温度制御装置30を設けて周波数安定度を上げるようにしたので、価格的にも低価格で周波数安定度の高い半導体レーザ光源14を構築することができる。
- [0095] これにより、従来の課題であった「周波数安定度の良い2種類のレーザ光源の問題」を解決することができる。
- [0096] 〈2〉本実施の形態では、レーザ光が自己補償するという2色法の特徴を利用して2つのレーザ光X、Yを2光軸系として構成した。即ち、本発明は2色干渉法による干渉光学系を、1光軸系（同軸系）ではなく2光軸系にしたことによって、計測精度を向上させたことに大きな特徴がある。
- [0097] 図9は、従来から2色干渉法で使用されていたダイクロイックミラーを用いて1光軸系の計測装置100を構成した場合である。図1と同じ部材には同符号を付して説明する。

- [0098] 2つのレーザ光源12、14から出射したレーザ光X、Yは、第1のダイクロイックミラー56によって同じ光軸上にアライメントされた後、光分割合成手段16に入射する。光分割合成手段16に入射したレーザ光X+Yは、光分割合成手段16で移動反射体18への測定光X1+Y1と固定反射体20との参照光X2+Y2とに分割される。
- [0099] 移動反射体18の中央部に入射した測定光X1+Y1は、入射方向とは逆方向に反射されて光分割合成手段16に入射すると共に、固定反射体20の中央部に入射した参照光X2+Y2は、入射方向とは逆方向に反射されて光分割合成手段16に入射する。
- [0100] そして、測定光X1+Y1と参照光X2+Y2とが光分割合成手段16で重ね合わされて干渉光X3+Y3を形成する。干渉光X3+Y3は、第2のダイクロイックミラー58によって、レーザ光Xとレーザ光Yとに分離されて第1の検出器52と第2の検出器54とに受光された後、信号処理装置28に出力される。
- [0101] 図9の構成で2色干渉法を用いた計測装置100を構成する場合、ダイクロイックミラー56で2つのレーザ光X、Yを同軸上にアライメントすることは極めて難しく、アライメント誤差が測定光路長の誤差になる。更にはダイクロイックミラー56が温度ドリフト等により変形・変位すると光軸が変わってしまうので、ダイクロイックミラー56を透過するレーザと、反射するレーザとを同軸上にアライメントすることは難しい。
- [0102] これに対して、本発明の実施の形態のように、光分割合成手段16から光検出手段24、26までを2光軸系とすることによってレーザ光Xとレーザ光Yとをそれぞれの光軸に個別にアライメントすることができ、精度よくアライメントできる。したがって、ダイクロイックミラー56を使用して1光軸系（同軸系）とする場合に比べて2つのレーザ光X、Yの測定光路差（ $L_2 - L_1$ ）を顕著に小さくできる。これにより、従来の課題であった「光軸アライメントの問題」を解決することができる。
- [0103] この場合、2光軸系を近接した平行な光軸とすることで同じ大気環境を通

過させることができ、しかも２色干渉法は光軸系独自で自己補償することができるので、干渉計周囲の大気揺らぎの影響は極めて小さくすることができる。

[0104] 更には２光軸系とすることによって、上記したように、光分割合成手段１６と、移動反射体１８及び固定反射体２０との間を進むレーザ光Ｘとレーザ光Ｙとは同一の光路で逆進するので、往路と復路の相対評価として現れ、互いに打ち消しあうようにすることもでき、計測精度が向上する。

[0105] また、移動反射体１８及び固定反射体２０としてＣＣＰを使用した例で説明すると、１光軸系の場合には、同軸上に光を戻すためにＣＣＰの中心に光を当てる必要がある。そして、ＣＣＰの中心からずれると、ミラーの突き合わせ部分（直角部分）で光が戻ってこないところが出てしまう。これにより、第１の検出器５２及び第２の検出器５４に対して模様（例えば３本のスジ）ができてしまい、理想的な正弦波が得られなくなり、計測誤差になる。

[0106] これに対して、２光軸系の場合には、図１及び図４から分かるようにＣＣＰのコーナ部分の左右の２つの辺を使用して光を戻すことができるので、理想的な正弦波を得ることができる。これにより、１光軸系におけるような上記問題を解消でき、高い計測精度を得ることができる。

[0107] 距離計測のシミュレーションの一例として、気温 $20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、気圧 $101250 \pm 50\text{Pa}$ の大気（空気）条件で、１ｍの空間距離を以下の２つの計測方法で計測した場合である。

[0108] １つの計測方法は、周波数安定度に優れたＨｅＮｅレーザ光源（周波数安定度 10^{-9} ）の１色干渉法で計測装置を構築した場合であり、その計測精度は 6.106×10^{-7} となった。

[0109] これに対して、図１で示した本発明の実施の形態のようにＨｅＮｅレーザ光源１２と半導体レーザ光源１４の２色干渉法で計測装置を構築した場合の計測精度は $\pm 4.332 \times 10^{-8}$ （係数 $A = 84.145$ ）となった。

[0110] 一方、図１に示した光分割合成手段１６は、図１０に示すような形態でもよい。

- [0111] すなわち、図 1 に示した光分割合成手段 16 は、図 10 に示すようにレーザ光を透過する光透過材料 80L と光透過材料 80R とレーザ光を分割する光分割材料 80M とを構成要素として含む光分割合成手段でもよい。図 10 の光分割合成手段 16 は、固定反射体 20 と光分割合成手段 16 の間の挿入されているウェッジプリズム 22 のレーザ光 X（参照光 X2）とレーザ光 Y（参照光 Y2）の屈折率の温度係数の異なることでの温度変化による誤差を補正するため、移動反射体 18 の方向に光透過材料 80R の厚さをウェッジプリズム 22 の厚さ（ t ）の、例えば半分（ $t/2$ ）だけ厚くしている。
- [0112] この方法はウェッジプリズム 22 だけでなく、ガラス材料等の空気以外のレーザ光路の温度による屈折率変化やレーザ光 X とレーザ光 Y に対する屈折率の温度係数の違いによる誤差を補正するのに有効である。
- [0113] すなわち、ウェッジプリズム 22 の温度変化に起因する参照光 X2、Y2 の屈折率変化を、光分割合成手段 16 の温度変化に起因する測定光の屈折率変化によって相殺できる。よって、温度変化に起因する測定誤差の発生を防止できる。
- [0114] なお、光透過材料 80R を固定反射体 20 の方へ厚くしたり、大きくしたりするのではなく、光透過材料 80L と光透過材料 80R の向かい合う面をスライドさせたり、光透過材料 80L を小さくしたりして、レーザ光が移動反射体 18 へ向かう側とレーザ光が固定反射体 20 へ向かう側への透過材料を通過する長さを調整する方法でもよい。これに対して、ウェッジプリズム 22 に使用している光透過材料とほぼ同等の光透過材料を別途設置して補正することも考えられるが、この場合は、光分割合成手段 16 と前記光透過材料との間で多重反射が起こり、誤差となるので好ましくない。
- [0115] つまり、ウェッジプリズム 22 と熱膨張係数が同一（同一材料：石英、硼珪酸ガラス（BK7））の透過型の光学部材であって、ウェッジプリズム 22 の厚さの半分の厚さの光学部材を、光分割合成手段 16 の測定光出射面（入射面）に取り付ける方法もある。しかしながら、この相殺方法の場合には、前記光学部材によって測定光に迷光、散乱光が発生し、測定誤差が大きく

なるという問題がある。これに対して、本態様は、光分割合成手段 16 の厚さで対応したので、測定光に迷光、散乱光は発生せず、ウェッジプリズム 22 の温度変化に起因する参照光の屈折率変化を合理的に相殺できる。

[0116] 一方、図 1 に示した 2 色干渉計測装置 10 は、図 11 に示すように、強度分布成型素子（第 1 の強度分布成型素子、及び第 2 の強度分布成型素子）83、83 を含めた構成が好ましい。これは、レーザ光 X、Y は光ファイバ 32、36 やコリメータレンズ 34、38 からの出力後、レーザ光進行方向に対する垂直断面において、強度の分布がガウシアン分布になり（図 12 参照）、光検出手段 24、26 において干渉光 X3、Y3 の干渉縞の強度が理想的な正弦波からずれてしまうために、誤差となる。ところが、強度分布成型素子 83 により、レーザ光進行方向に対する垂直断面において、トップフラットな強度分布にすることにより、光検出手段 24、26 において干渉光 X3、Y3 の干渉縞の強度がほぼ理想的な正弦波となり、誤差を低減できる（図 13 参照）。

[0117] また、ガウシアン分布では、光検出手段 24、26 の置く位置をガウシアンのピーク位置で何とか調整しなければいけないのに対し、強度分布成型素子 83 により、トップフラットな強度分布にすることにより光検出手段 24、26 の置く位置に余裕ができるためアライメントが極めて容易になる。

[0118] 光分割合成手段 16 と移動反射体 18 との間及び、光分割合成手段 16 と固定反射体 20 との間のレーザ光 X とレーザ光 Y のアライメントは前記レーザ光可視化装置にてレーザ光を可視化しながら、調整するので、レーザ光の中心が判別しやすいガウシアン分布で観察できるよう強度分布成型素子 83 は取り外し可能なことが望ましい。

[0119] 次に、本発明の応用例として、角度を計測する 2 色干渉計測装置 200 について説明する。

[0120] [角度を計測する 2 色干渉計測装置]

図 14 は、2 色干渉法を用いて角度（ヨーイング、ピッチング）を計測する計測装置 200 を構成した実施の形態である。

[0121] 角度を計測する２色干渉計測装置２００は、図１で示した２光軸系の光干渉機構を少なくとも２系統設け、それぞれの系統ごとに設けられた移動反射体を、垂直方向及び／又は水平方向に配列させて測定対象物に設け、信号処理装置で計算された移動反射体の移動量から、角度演算装置によって測定対象物の傾き角度を演算するように構成したものである。なお、図１で示したものと同一部材には、同じ符号を付して説明するが、第１系統は数字の後にＡを付し、第２系統は数字の後にＢを付して区別する。

[0122] 図１５は、移動装置４８の直動ステージ５０に垂直方向に間隔を置いて２つの移動反射体１８Ａ、１８Ｂ（例えばＣＣＰ）を並設し、測定対象物（図示せず）の垂直方向の傾き角度を計測するようにした例である。

[0123] なお、直動ステージ５０に垂直方向に２つの移動反射体１８Ａ、１８Ｂを設け、水平方向に１つの移動反射体（図示せず）を設ければ、測定対象物の垂直方向及び水平方向の傾き角度を計測することができる。

[0124] 図１５に示すように、ＨｅＮｅレーザ光源１２から出射されたレーザ光Ｘは、光ファイバ３２及び第１のコリメータレンズ３４を介して進み、第１光分割合成手段６０で第１系統Ａと第２系統Ｂとに分割される。同様に、半導体レーザ光源１４から出射されたレーザ光Ｙは、光ファイバ３６及び第２のコリメータレンズ３８を介して進み、第２光分割合成手段６２で第１系統Ａと第２系統Ｂに分割される。

[0125] なお、レーザ光Ｘのうち第１系統Ａをレーザ光 X_A と言い、第２系統Ｂをレーザ光 X_B と言う。同様に、レーザ光Ｙのうち第１系統Ａをレーザ光 Y_A と言い、第２系統Ｂをレーザ光 Y_B と言う。そして、第１系統Ａのレーザ光 X_A 、 Y_A と第２系統Ｂのレーザ光 X_B 、 Y_B とは、平行な２系統の光学系を形成する。

[0126] （第１系統の構成）

第１系統Ａにおけるレーザ光 X_A は、ミラー６４で反射した後、光分割合成手段１６Ａに入射し、光分割合成手段１６Ａで２つのレーザ光である測定光 X_{A1} と参照光 X_{A2} に分けられる。

[0127] 次に、測定光 $X_A 1$ は移動反射体 $18 A$ に入射し、そこで逆方向に反射されて再び光分割合成手段 $16 A$ に入射する。参照光 $X_A 2$ は固定反射体 $20 A$ に入射し、そこで逆方向に反射されて後、ウェッジプリズム $22 A$ を介して再び光分割合成手段 $16 A$ に入射する。移動反射体 $18 A$ から光分割合成手段 $16 A$ に入射した測定光 $X_A 1$ と、固定反射体 $20 A$ から光分割合成手段 $16 A$ に入射した参照光 $X_A 2$ は、光分割合成手段 $16 A$ で重なり合って干渉光 $X_A 3$ を生成した後、レンズ（例えば、シリンドリカルレンズ） $44 A$ を介して第1の光検出手段 $24 A$ に入射する。

[0128] 同様に、第1系統 A におけるレーザ光 Y_A は、ミラー 66 で反射した後、光分割合成手段 $16 A$ に入射し、光分割合成手段 $16 A$ で2つのレーザ光である測定光 $Y_A 1$ と参照光 $Y_A 2$ に分けられる。

[0129] 次に、測定光 $Y_A 1$ は移動反射体 $18 A$ に入射し、そこで逆方向に反射されて再び光分割合成手段 $16 A$ に入射する。参照光 $Y_A 2$ は、ウェッジプリズム $22 A$ を介して固定反射体 $20 A$ に入射し、そこで逆方向に反射された後、再び光分割合成手段 $16 A$ に入射する。移動反射体 $18 A$ から光分割合成手段 $16 A$ に入射した測定光 $Y_A 1$ と、固定反射体 $20 A$ から光分割合成手段 $16 A$ に入射した参照光 $Y_A 2$ は、光分割合成手段 $16 A$ で重なり合って干渉光 $Y_A 3$ を生成した後、レンズ（例えば、シリンドリカルレンズ） $46 A$ を介して第2の光検出手段 $26 A$ に入射する。

[0130] 上記2つのレーザ光 X_A 、 Y_A は、光分割合成手段 $16 A$ から2つの光検出手段 $24 A$ 、 $26 A$ まで、それぞれの光軸を有すると共に平行で近接した2光軸系の光干渉機構として構成される。また、前記した2光軸系の光干渉機構において、レーザ光 X_A とレーザ光 Y_A とは、逆向きの光路を形成する。

[0131] そして、第1系統 A の信号処理装置 $28 A$ は、第1及び第2の光検出手段 $24 A$ 、 $26 A$ で検出された干渉光 $X_A 3$ 、 $Y_A 3$ の干渉縞から測定対象物の移動距離（長さ）を演算する。演算する方法は、図1の移動距離（長さ）計測する計測装置10の場合と同様であるので説明は省略する。

[0132] （第2系統の構成）

第2系統におけるレーザ光 X_B は、光学系光分割合成手段16Bで2つのレーザ光である測定光 X_{B1} と参照光 X_{B2} に分けられる。

[0133] 次に、測定光 X_{B1} は移動反射体18Bに入射し、そこで逆方向に反射されて再び光分割合成手段16Bに入射する。参照光 X_{B2} は固定反射体20Bに入射し、そこで逆方向に反射されて後、ウェッジプリズム22Bを介して再び光分割合成手段16Bに入射する。移動反射体18Bから光分割合成手段16Bに入射した測定光 X_{B1} と、固定反射体20Bから光分割合成手段16Bに入射した参照光 X_{B2} は、光分割合成手段16Bで重なり合って干渉光 X_{B3} を生成した後、レンズ（例えば、シリンドリカルレンズ）44Bを介して第1の光検出手段24Bに入射する。

[0134] 同様に、第2系統におけるレーザ光 Y_B は、2つのミラー68、70を介して光分割合成手段16Bで2つのレーザ光である測定光 Y_{B1} と参照光 Y_{B2} に分けられる。

[0135] 次に、測定光 Y_{B1} は移動反射体18Bに入射し、そこで逆方向に反射されて再び光分割合成手段16Bに入射する。参照光 Y_{B2} は、ウェッジプリズム22Bを介して固定反射体20Bに入射し、そこで逆方向に反射された後、再び光分割合成手段16Bに入射する。移動反射体18Bから光分割合成手段16Bに入射した測定光 Y_{B1} と、固定反射体20Bから光分割合成手段16Bに入射した参照光 Y_{B2} は、光分割合成手段16Bで重なり合って干渉光 Y_{B3} を生成した後、レンズ（例えば、シリンドリカルレンズ）46Bを介して第2の光検出手段26Bに入射する。

[0136] 上記2つのレーザ光 X_B 、 Y_B は、光分割合成手段16Bから光検出手段24B、26Bまで、それぞれの光軸を有すると共に平行で近接した2光軸系の光干渉機構として構成される。また、前記した2光軸系の光干渉機構において、レーザ光 X_B とレーザ光 Y_B とは、逆向きの光路を形成する。

[0137] そして、第2系統Bの信号処理装置28Bは、第1及び第2の光検出手段24B、26Bで検出された干渉光 X_{B3} 、 Y_{B3} の干渉縞から測定対象物の移動距離（長さ）を演算する。演算する方法は、図1の移動距離（長さ）計

測する計測装置 10 の場合と同様であるので説明は省略する。

[0138] 次に、角度演算装置 72 は、第 1 系統 A の信号処理装置 28 A で得られた移動反射体 18 A の移動量と、第 2 系統 B の信号処理装置 28 B で得られた移動反射体 18 B の移動量とから、以下の式 3 を用いて測定対象物の傾き角度を演算する。

[0139] 図 16 は、測定対象物に取り付けられた移動反射体 18 A、18 B の面と垂直軸との間で角度 θ 傾いている場合であり、式 4 に、 D_A 、 D_B 、 D_M を代入することによって、測定対象物の傾き角度 θ を演算できる。

[0140] [式 4]

$$\theta = \tan^{-1} \times [(D_A - D_B) / D_M] \cdots \text{式 4}$$

ここで、 θ : 傾き角度

D_A : 第 1 系統 A の移動反射体 18 A の移動量

D_B : 第 2 系統 B の移動反射体 18 B の移動量

D_M : 平行な光軸を形成する第 1 系統 A のレーザ光と第 2 系統 B のレーザ光の中心軸間の距離

このように、本実施の形態のように構成された角度を計測する 2 色干渉計測装置 200 によれば、測定対象物の傾き角度（ヨーイング、ピッチング）を高精度に計測することができる。また、2 色干渉法では大気の揺らぎの影響を補償できるので、第 1 系統 A のレーザ光と第 2 系統 B のレーザ光の中心軸間の距離（移動反射体 A と移動反射体 B の間隔）を拡げて、角度分解能を上げることも可能である。ちなみに、1 色（1 つのレーザ光）の距離計測装置を 2 台並べた角度計測装置の場合や、1 色で移動反射体 18 A に光分割合成手段で 2 つに分岐した一方のレーザ光を、移動反射体 18 B にもう一方のレーザ光を当てるような角度計測装置などの場合には、移動反射体 A と移動反射体 B の間隔を広げると移動反射体 A の側と移動反射体 B の側で、レーザ光の大気に対する揺らぎ方が異なってくるため計測誤差が大きくなる。

[0141] 角度計測のシミュレーションとして、気温 $20 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、気圧 $101250 \pm 50\text{ Pa}$ の大気（空気）条件で且つ 2 つのレーザ光の中心軸間の距離

を30mm、第1系統の光分割合成手段16Aから固定反射体20Aまでの空間距離と、移動反射体18Aまでの空間距離の差が1mで、第2系統の光分割合成手段16Bから固定反射体20Bまでの空間距離と、移動反射体18Bとの空間距離の差が1mとした条件で、上記した1色（1つのレーザ光）の距離計測装置を2台並べた従来の角度計測装置と、図15の本実施の形態の2色干渉計測装置の場合とで、角度計測の精度がどのように異なるかを比較した。

[0142] その結果、角度計測装置は、距離精度が $\pm 6.106 \times 10^{-7}$ 、角度精度が $\pm 2.33 \times 10^{-3}^\circ$ となった。

[0143] これに対して、本発明の実施の形態の2色干渉計測装置の場合には、距離精度が $\pm 4.332 \times 10^{-8}$ 、角度精度が $\pm 1.65 \times 10^{-4}^\circ$ （係数A=84.145）となった。

[0144] 以上説明したように、2色干渉法を用いて距離（長さ）や角度計測する本実施の形態の計測装置によれば、従来の問題点（課題）であった「大気揺らぎの問題」、「波長の選択性及び高価格の問題」、「光軸アライメントの問題」、及び「計測方法の具体化の問題」の全て解決することができる。

[0145] これにより、低コストで高い計測精度を得ることができ、実装置として十分に満足する2色干渉法を用いた計測装置を提供することができる。

[0146] また、本実施の形態の計測装置によれば、大気揺らぎ（温度、気圧、湿度等）の影響を補償できるので、野外のような環境外乱の大きい場所でも高精度な計測が可能である。

[0147] また、図15のように構成された計測装置であれば、距離、角度、真直度を計測することができる。

符号の説明

[0148] 10、200…2色干渉計測装置、12…HeNeレーザ光源、14…半導体レーザ光源、16、16A、16B…光分割合成手段、18、18A、18B…移動反射体、20、20A、20B…固定反射体、22、22A、22B…ウェッジプリズム、24、24A、24B…第1の光検出手段、2

6、26A、26B…第2の光検出手段、28、28A、28B…信号処理装置、30…温度制御装置、32…光ファイバ、34…第1のコリメータレンズ、36…光ファイバ、38…第2のコリメータレンズ、40、42…ミラー、44、44A、44B、46、46A、46B…レンズ、48…移動装置、50…直動ステージ、52…第1の検出器、54…第2の検出器、56、58…ダイクロイックミラー、60、62…光分割合成手段、64、66、68、70…ミラー、80L、80R…光透過材料、80M…光分割材料、81…光可視化膜、82…光透過材料、83…強度分布成型素子、84…逆進レーザ光可視化装置

請求の範囲

[請求項1]

第1のレーザ光を出射する第1のレーザ光源と、

第2のレーザ光を出射する第2のレーザ光源と、

前記第1のレーザ光源から出射された第1のレーザ光を、第1の参照光及び第1の測定光に分割し、固定反射体で反射された前記第1の参照光と測定対象物に取り付けられた移動反射体で反射された前記第1の測定光とを第1の干渉位置で合成して第1の干渉光を生成し、かつ前記第2のレーザ光源から出射された前記第2のレーザ光を、第2の参照光及び第2の測定光に分割し、前記第2の参照光を前記第1の参照光の光路を逆進させるとともに、前記第2の測定光を前記第1の測定光の光路を逆進させ、前記固定反射体で反射された前記第2の参照光と前記移動反射体で反射された前記第2の測定光とを第2の干渉位置で合成して第2の干渉光を生成する光分割合成手段と、

前記第1の参照光と前記第2の参照光の光路中に配設され、又は前記第1の測定光と前記第2の測定光の光路中に配設されたウェッジプリズムと、

前記第1の干渉光を受光して第1の干渉信号を検出する第1の光検出手段と、

前記第2の干渉光を受光して第2の干渉信号を検出する第2の光検出手段と、

を備えることを特徴とする2色干渉計測装置。

[請求項2]

前記第1及び第2の干渉信号から前記移動反射体の移動量、移動方向及び大気揺らぎによる光路長の伸縮方向を算出して前記測定対象物の距離を演算する信号処理装置を備えた請求項1に記載の2色干渉計測装置。

[請求項3]

前記第1及び第2の光検出手段は、前記第1及び第2の干渉光の光軸に直交し且つ干渉縞の形成方向に所定間隔に配置された複数のフォトディテクタを有し、所定角度ずつ位相のずれた複数相からなる干渉

信号を検出する請求項 2 に記載の 2 色干渉計測装置。

[請求項4] 前記 2 光軸系の光干渉機構が少なくとも 2 系統平行な光軸を形成するように設けられた光学系と、

前記光学系のそれぞれの系統ごとに設けられ、垂直方向及び／又は水平方向に配列された前記移動反射体と、

前記信号処理装置で計算されたそれぞれの系統ごとの前記移動反射体の移動量から前記測定対象物の傾き角度を演算する角度演算装置と、を備えた請求項 2 又は 3 に記載の 2 色干渉計測装置。

[請求項5] 前記第 1 のレーザ光源は、波長が 633 nm の HeNe レーザ光源であり、前記第 2 のレーザ光源は、波長が 1550 nm 帯の半導体レーザ光源である請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の 2 色干渉計測装置。

[請求項6] 前記半導体レーザ光源にはレーザ光源の温度を制御する温度制御装置が設けられる請求項 5 に記載の 2 色干渉計測装置。

[請求項7] 前記ウェッジプリズムに対して同一の光路で前記第 1 の参照光と前記第 2 の参照光とが逆進し、

前記ウェッジプリズムから前記第 1 の干渉位置までの前記第 1 の参照光の光路長よりも、前記ウェッジプリズムから前記第 2 の干渉位置までの前記第 2 の参照光の光路長が長い請求項 5 又は 6 に記載の 2 色干渉計測装置。

[請求項8] 前記第 1 及び第 2 の測定光は、前記移動反射体の一方のコーナ部に入射し、直角な反射面で反射されて他方のコーナ部から出射するように構成され、前記第 1 及び第 2 の参照光は、前記固定反射体の一方のコーナ部に入射し、直角な反射面で反射されて他方のコーナ部から出射するように構成されている請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の 2 色干渉計測装置。

[請求項9] 前記光分割合成手段は、移動反射体側と固定反射体側で光路長が非対称に構成され、前記ウェッジプリズム及びその他空気以外のレーザ

光路の2波長の屈折率の温度係数の違いによる温度変化による誤差を補正する請求項1～6のいずれか1項に記載の2色干渉計測装置。

[請求項10] 前記光分割合成手段は、前記ウェッジプリズムと熱膨張係数が同一の材料で構成され、

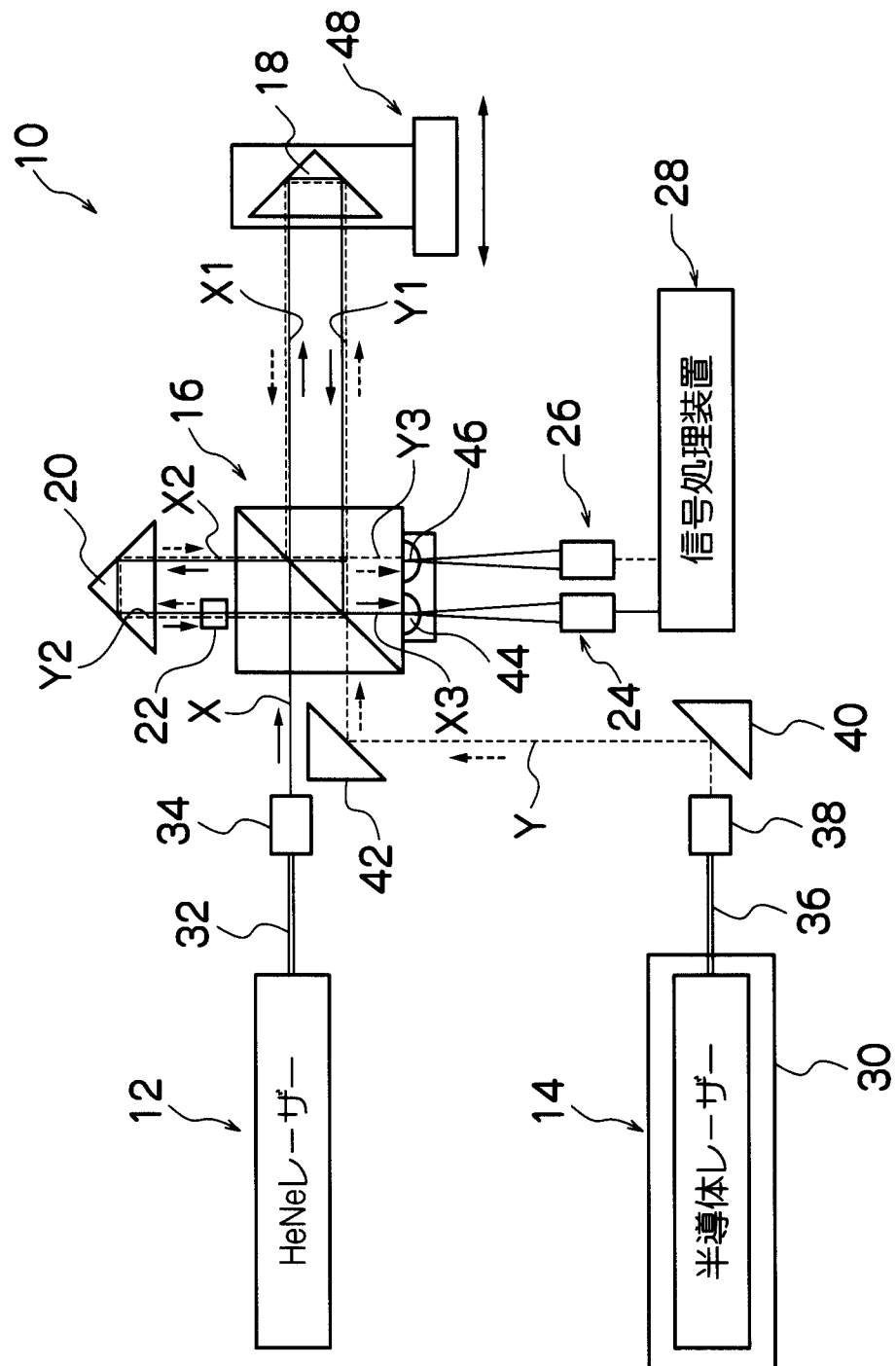
前記光分割合成手段のうち前記第1及び第2の測定光が通過する部分の光軸方向の厚さが、前記第1及び第2の参照光が通過する部分の光軸方向の厚さよりも、前記ウェッジプリズムの光軸方向の厚さの半分だけ厚くされている請求項9に記載の2色干渉計測装置。

[請求項11] 前記第1のレーザ光源と前記光分割合成手段との間に第1の強度分布成型素子が配置され、前記第1のレーザ光のガウシアンビームが、前記第1の強度分布成型素子によってフラットトップの出力ビームに変換され、

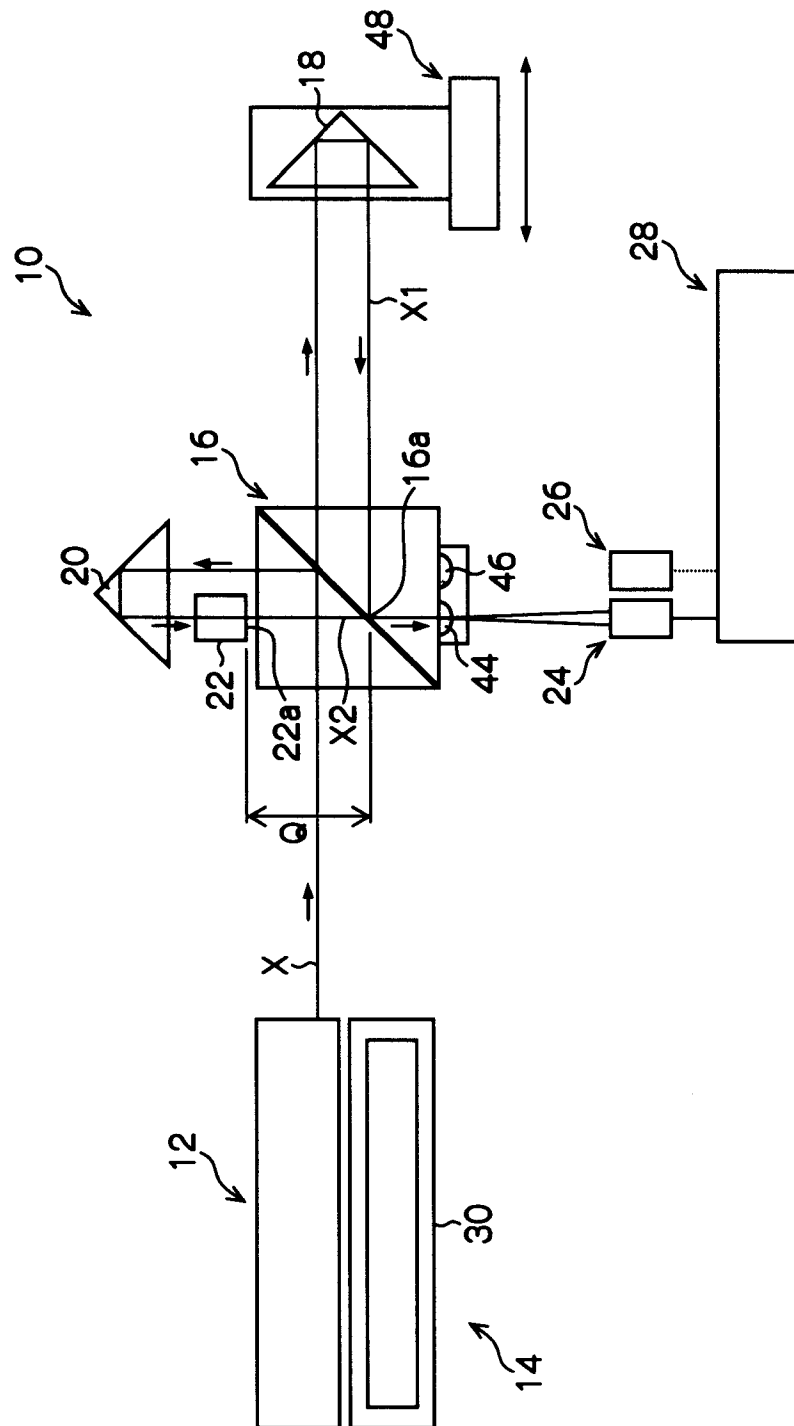
前記第2のレーザ光源と前記光分割合成手段との間に第2の強度分布成型素子が配置され、前記第2のレーザ光のガウシアンビームが、前記第2の強度分布成型素子によってフラットトップの出力ビームに変換される請求項1～10のいずれか1項に記載の2色干渉計測装置。

[請求項12] 前記2つのレーザ光のレーザ進行方向の垂直断面のレーザ強度分布を、トップフラット形状のレーザ強度分布に変換する強度分布成型素子を備えた請求項1～10のいずれか1項に記載の2色干渉計測装置。

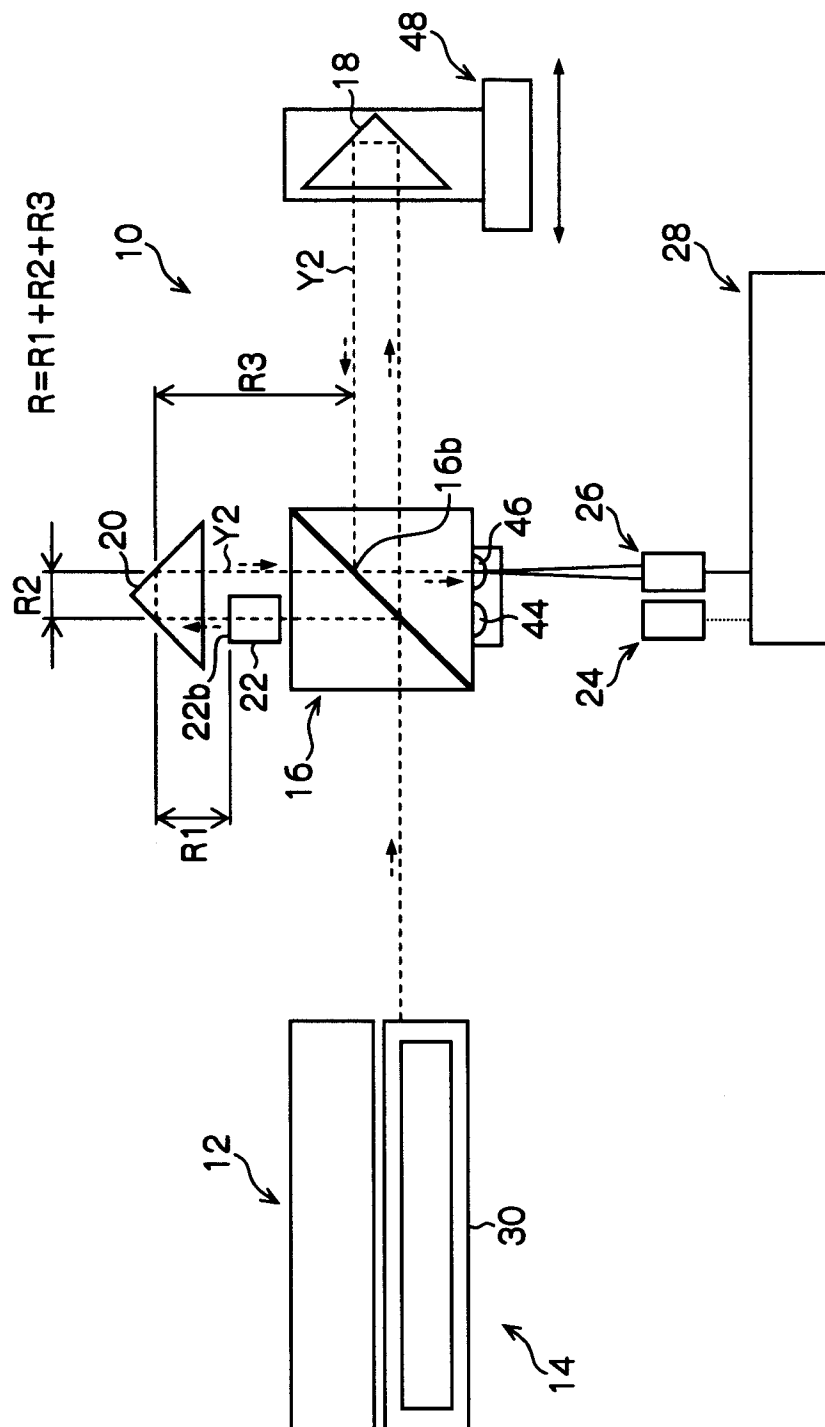
[図1]



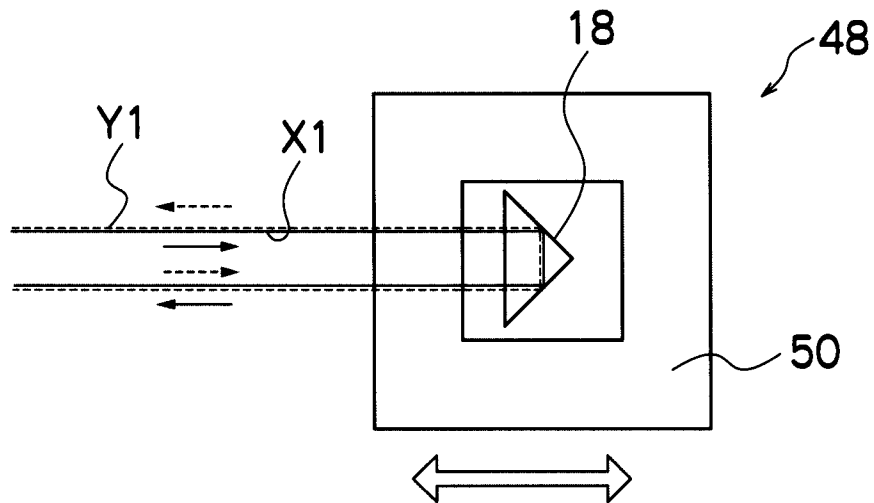
[図2]



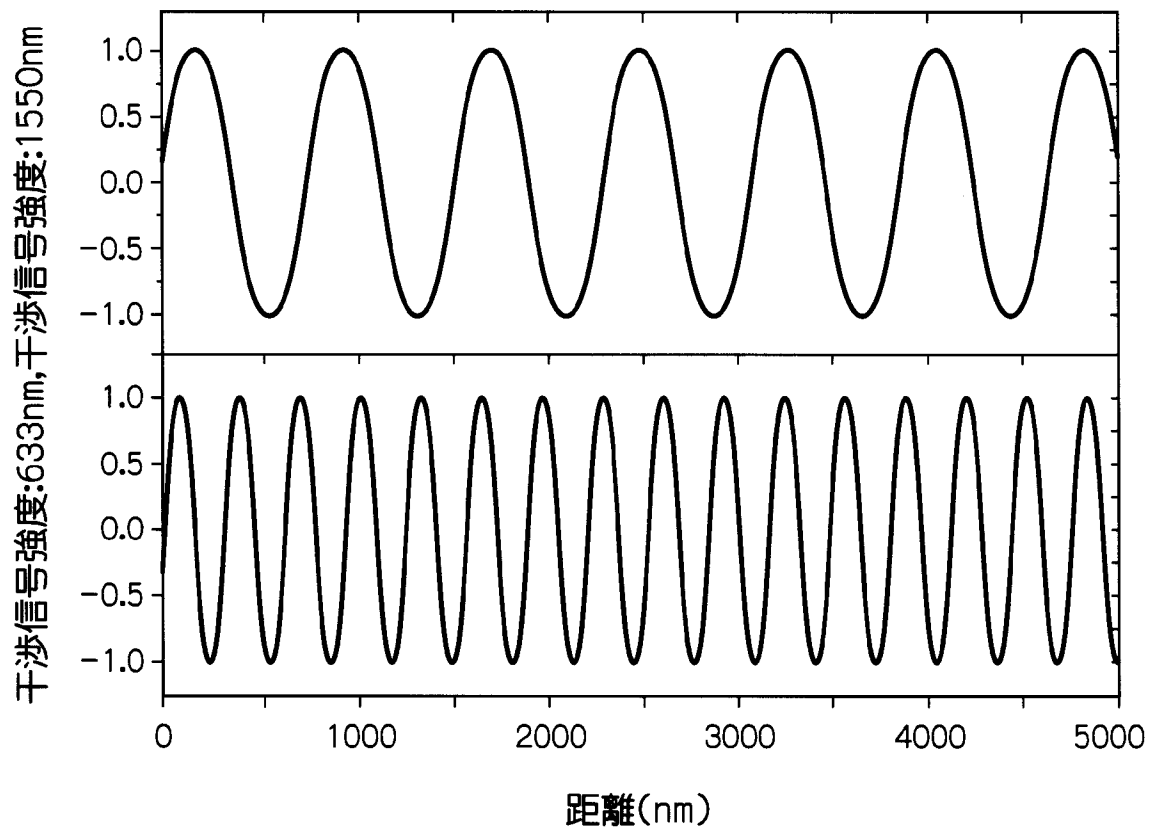
[図3]



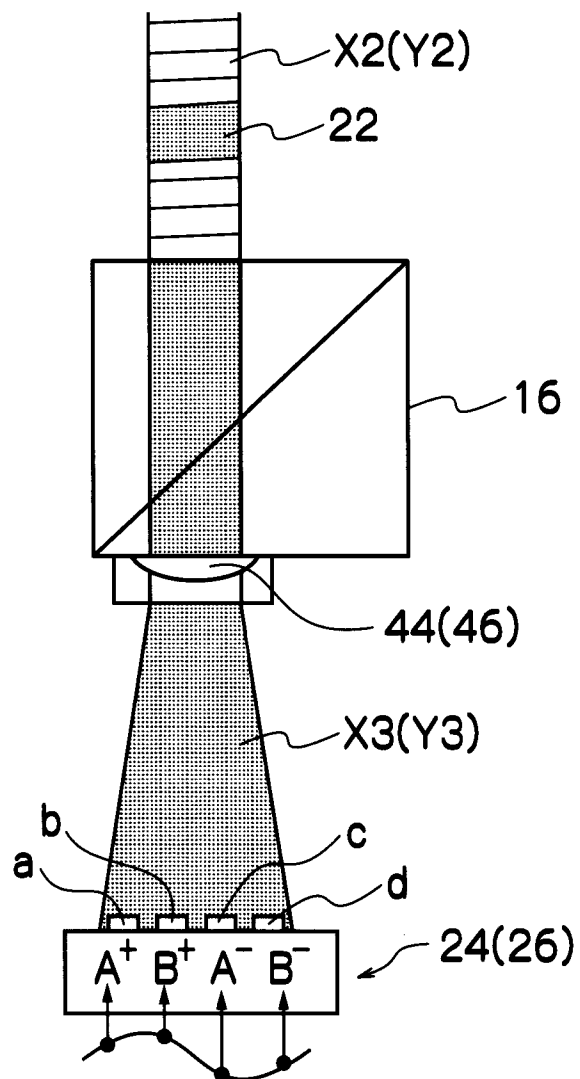
[圖4]



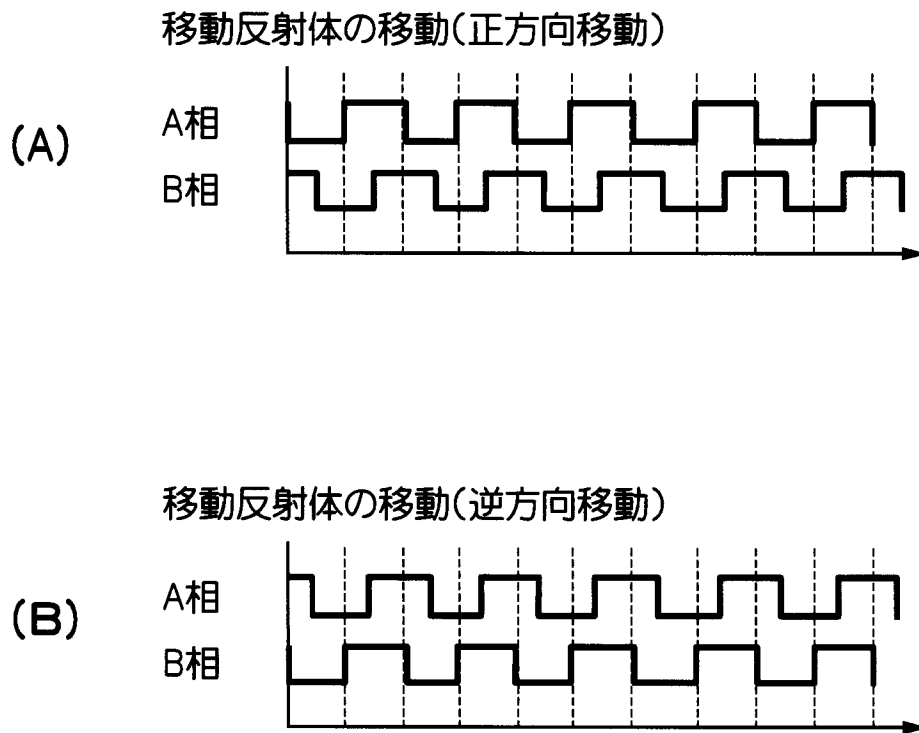
[圖5]



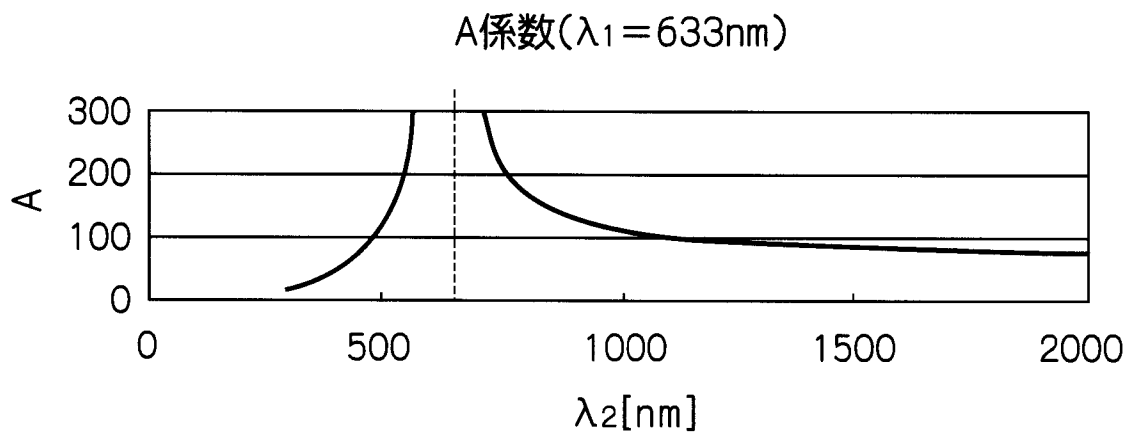
[図6]



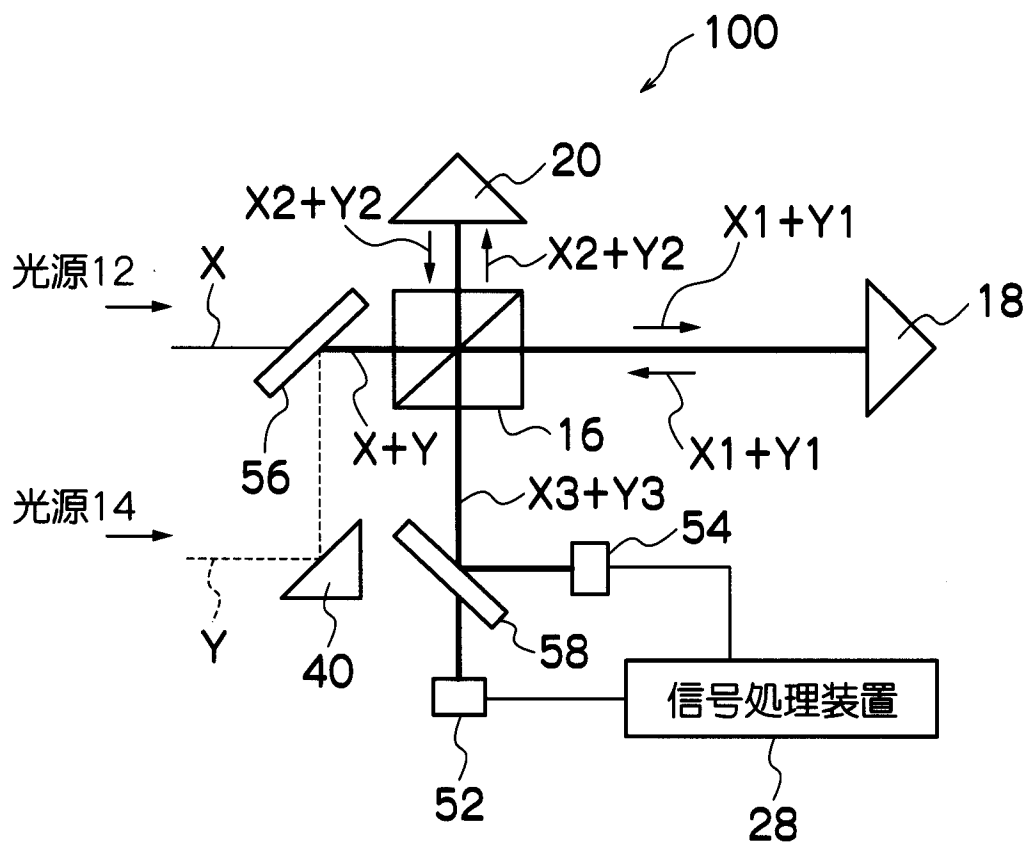
[図7]



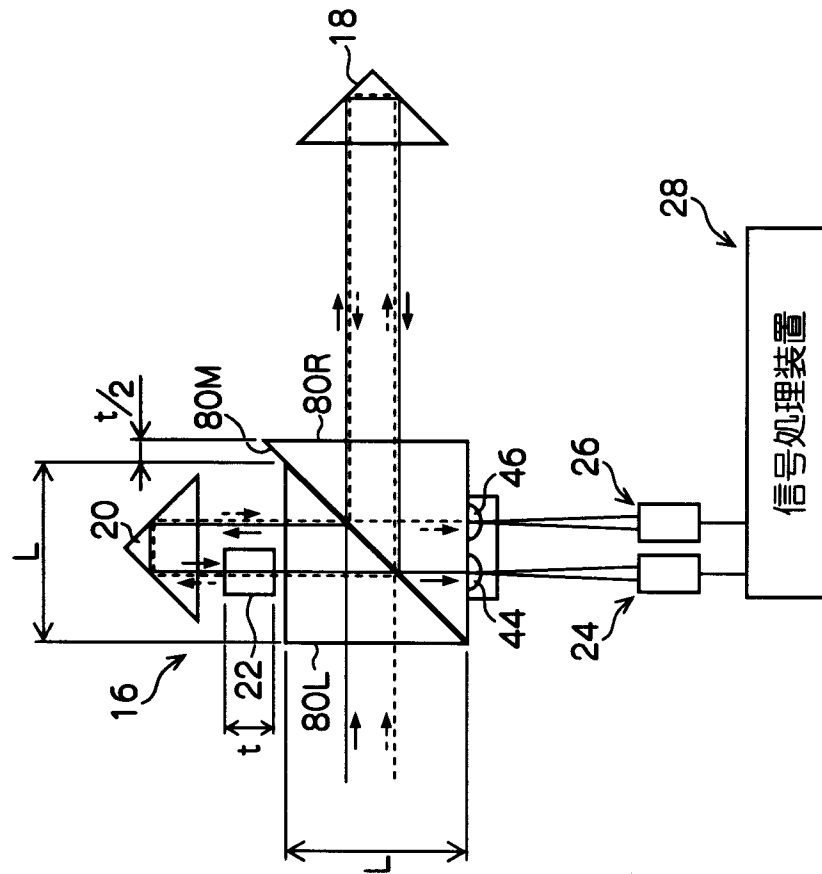
[図8]



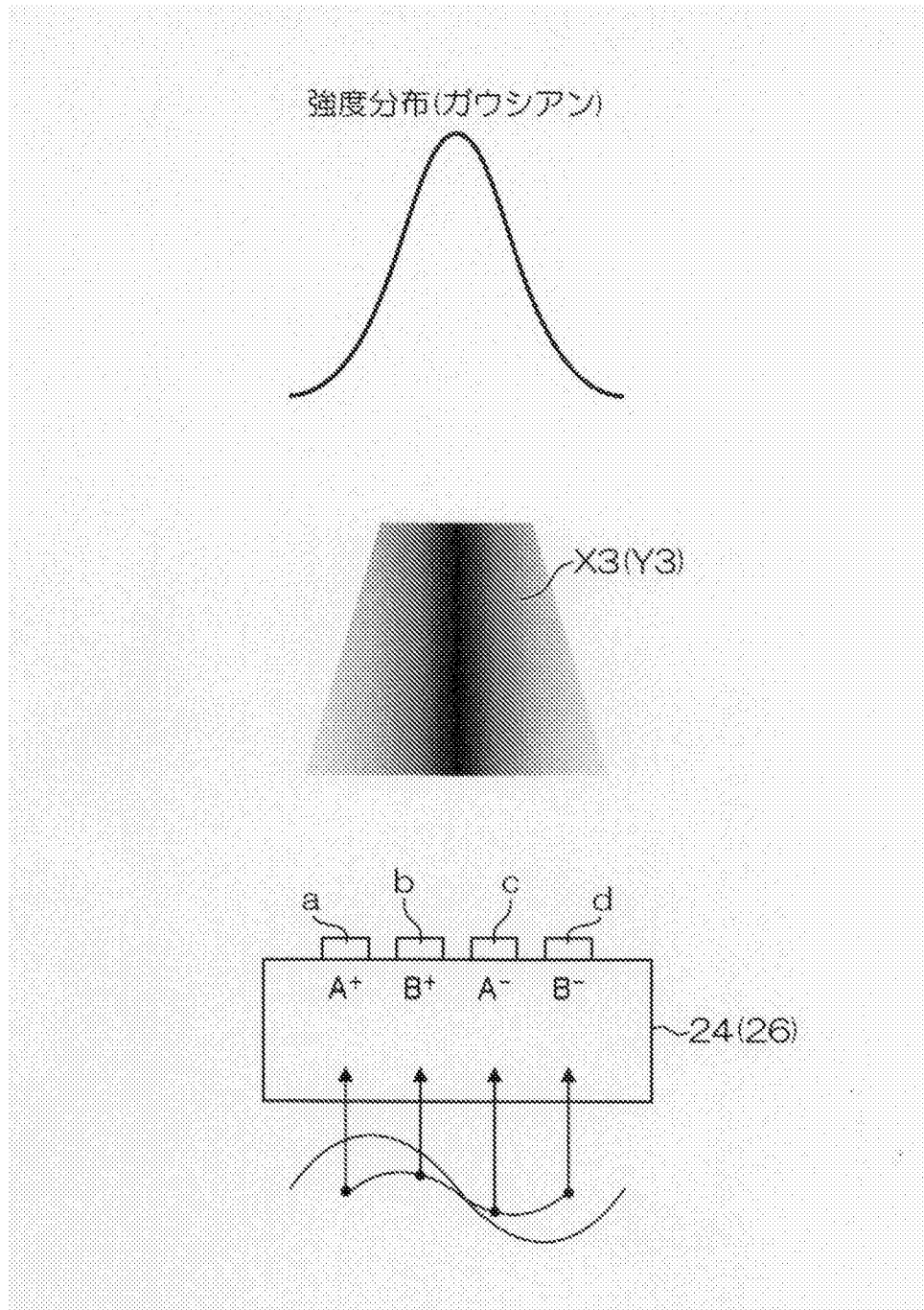
[図9]



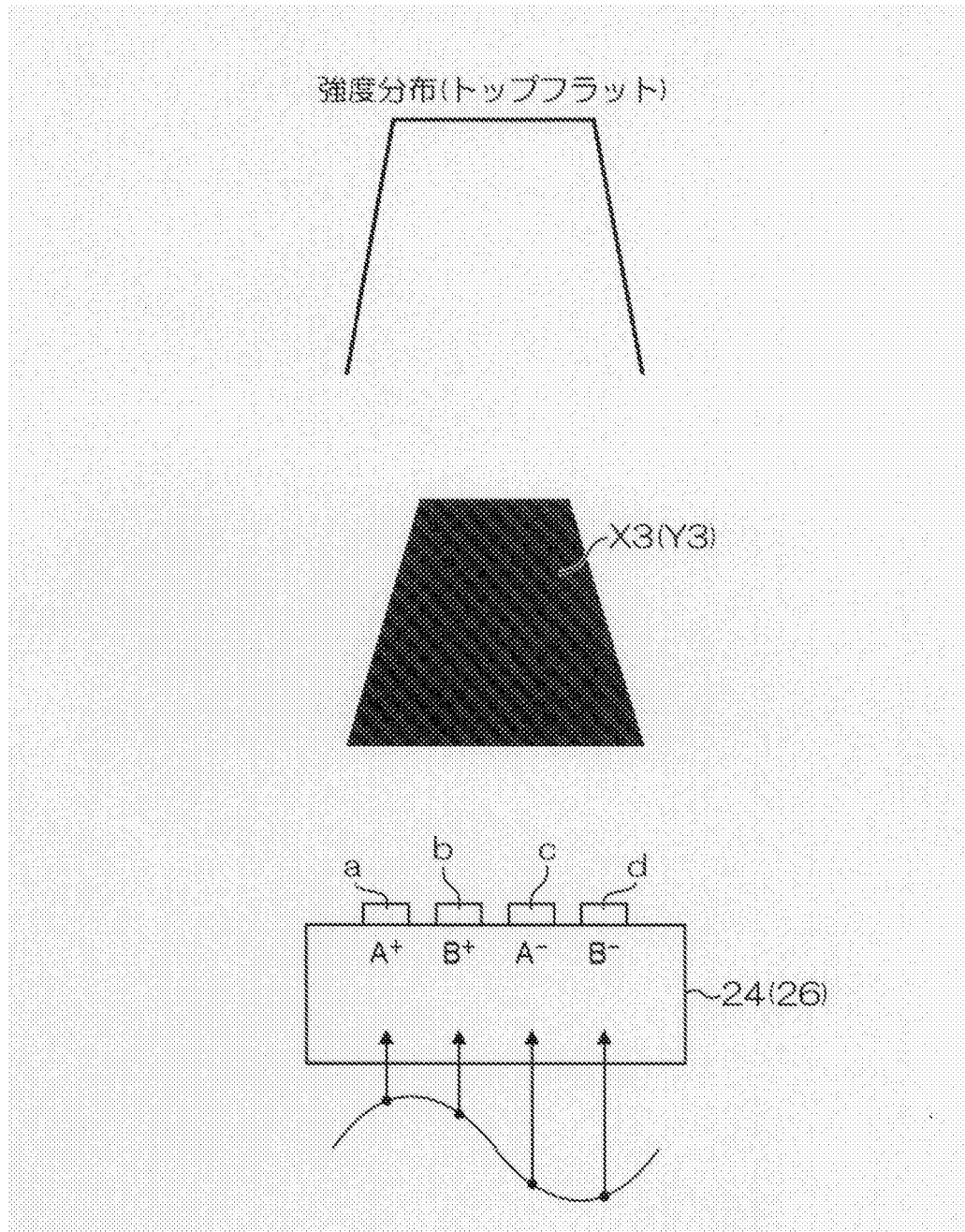
[図10]



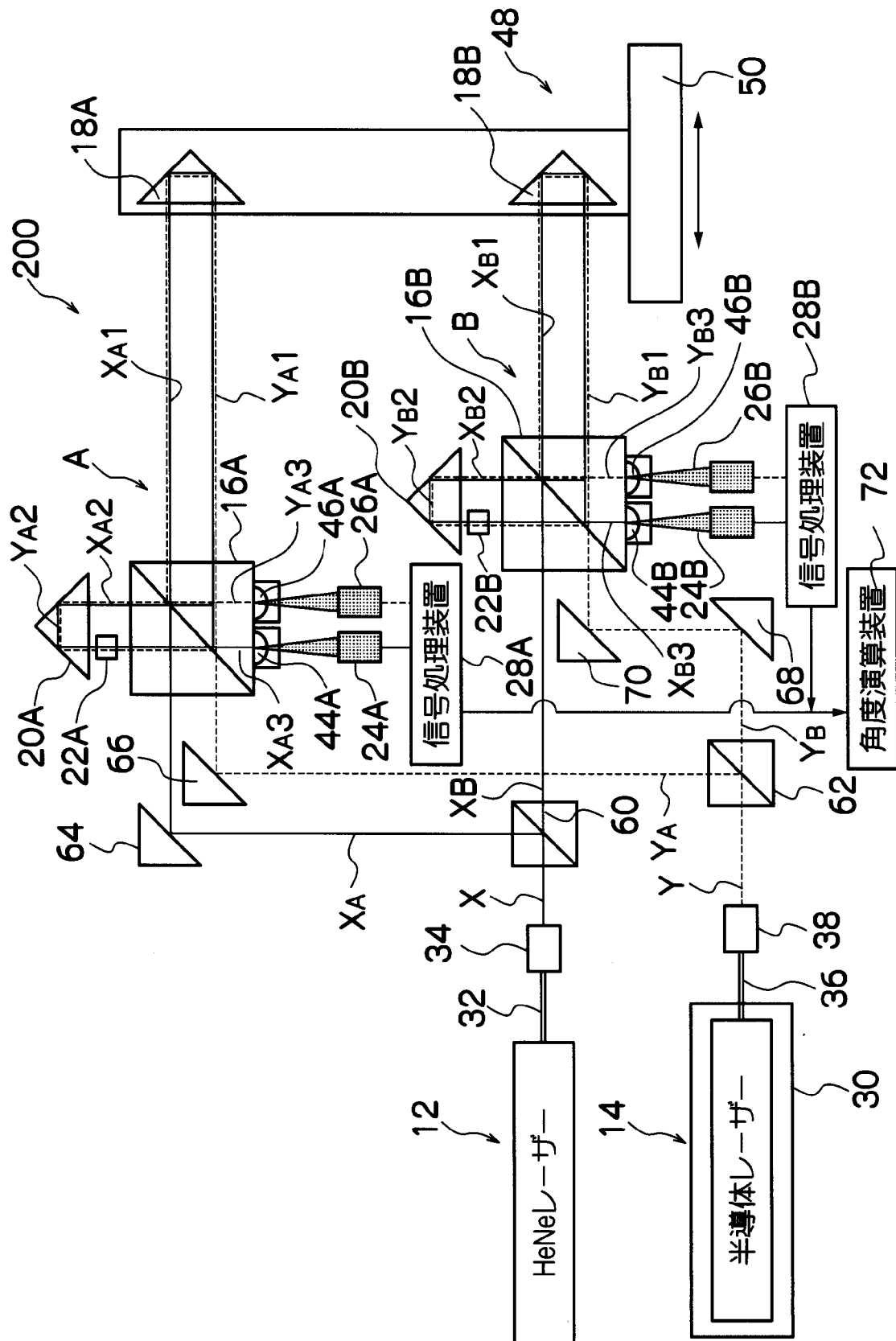
[図12]



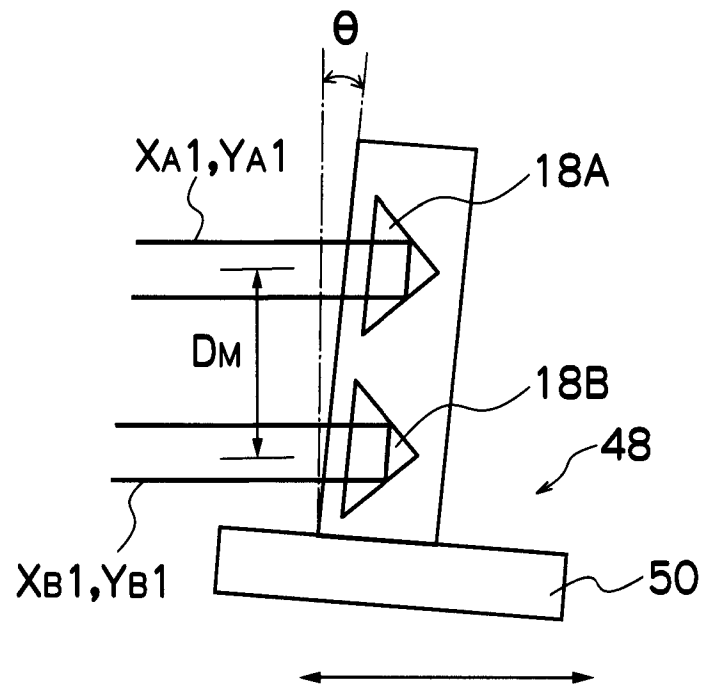
[図13]



[図14]



[図15]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/081590

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01B9/02(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01B9/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2014-196999 A (Tokyo Seimitsu Co., Ltd.), 16 October 2014 (16.10.2014), entire text; all drawings (Family: none)	1-12
Y	JP 1-250804 A (Tokyo Seimitsu Co., Ltd.), 05 October 1989 (05.10.1989), page 3, upper left column, line 1 to page 4, upper right column, line 11; fig. 1 to 5 (Family: none)	1-12
Y	JP 64-28504 A (Yokogawa Electric Corp.), 31 January 1989 (31.01.1989), page 2, lower left column, line 2 to page 3, lower left column, line 11; fig. 1 to 2 (Family: none)	1-12

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
16 December 2014 (16.12.14)

Date of mailing of the international search report
10 February 2015 (10.02.15)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/081590

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2009-300263 A (Mitsutoyo Corp.), 24 December 2009 (24.12.2009), paragraphs [0026] to [0031]; fig. 1 & US 2009/0310141 A1 & EP 2133658 A1	1-12
Y	JP 5-500864 A (Renishaw PLC), 18 February 1993 (18.02.1993), fig. 2 & US 5237390 A & GB 9013390 A & EP 487681 A1 & WO 1991/019958 A1	4-12
Y	JP 2007-333469 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 27 December 2007 (27.12.2007), paragraphs [0017], [0049]; fig. 1 (Family: none)	5-12
Y	JP 4-54407 A (Toyoda Automatic Loom Works, Ltd.), 21 February 1992 (21.02.1992), page 1, lower right column, line 19 to page 2, upper right column, line 7; fig. 3 (Family: none)	6-12
Y	JP 2006-501463 A (Renishaw PLC), 12 January 2006 (12.01.2006), paragraph [0022]; fig. 1 & US 2005/0225770 A1 & EP 1546647 A1 & WO 2004/031686 A1 & CN 1703609 A & AU 2003271920 A	9-12
Y	JP 2011-197534 A (Nikon Corp.), 06 October 2011 (06.10.2011), paragraphs [0015] to [0023]; fig. 1 to 3 (Family: none)	9-12
Y	JP 2011-523711 A (JEONG, Hwan, J.), 18 August 2011 (18.08.2011), paragraph [0429]; fig. 44a & US 2009/0296096 A1 & US 2011/0075151 A1 & EP 2286175 A1 & WO 2009/149103 A1 & KR 10-2011-0031306 A	11-12

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01B9/02(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01B9/02

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2014年
日本国実用新案登録公報	1996-2014年
日本国登録実用新案公報	1994-2014年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2014-196999 A（株式会社東京精密）2014. 10. 16, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-12
Y	JP 1-250804 A（株式会社東京精密）1989. 10. 05, 第3頁左上欄第1行-第4頁右上欄第11行, 第1-5図（ファミ リーなし）	1-12
Y	JP 64-28504 A（横河電機株式会社）1989. 01. 31, 第2頁左下欄第2行-第3頁左下欄第11行, 第1-2図（ファミ	1-12

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

16. 12. 2014

国際調査報告の発送日

10. 02. 2015

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A/J P）
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

眞岩 久恵

2 S

4067

電話番号 03-3581-1101 内線 3258

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
	リーなし)	
Y	JP 2009-300263 A (株式会社ミットヨ) 2009. 12. 24, 段落【0026】－【0031】, 図1 & US 2009/0310141 A1 & EP 2133658 A1	1-12
Y	JP 5-500864 A (レニショウ パブリック リミテッド カンパニー) 1993. 02. 18, F i g . 2 & US 5237390 A & GB 9013390 A & EP 487681 A1 & WO 1991/019958 A1	4-12
Y	JP 2007-333469 A (浜松ホトニクス株式会社) 2007. 12. 27, 段落【0017】, 【0049】, 図1 (ファミリーなし)	5-12
Y	JP 4-54407 A (株式会社豊田自動織機製作所) 1992. 02. 21, 第1頁右下欄第19行－第2頁右上欄第7行, 第3図 (ファミリー なし)	6-12
Y	JP 2006-501463 A (レニショウ パブリック リミテッド カンパ ニー) 2006. 01. 12, 段落【0022】, 図1 & US 2005/0225770 A1 & EP 1546647 A1 & WO 2004/031686 A1 & CN 1703609 A & AU 2003271920 A	9-12
Y	JP 2011-197534 A (株式会社ニコン) 2011. 10. 06, 段落【0015】－【0023】, 図1－3 (ファミリーなし)	9-12
Y	JP 2011-523711 A (ジーオン, ファン ジェイ.) 2011. 08. 18, 段落【0429】, 図44a & US 2009/0296096 A1 & US 2011/0075151 A1 & EP 2286175 A1 & WO 2009/149103 A1 & KR 10-2011-0031306 A	11-12