

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-132859
(P2019-132859A)

(43) 公開日 令和1年8月8日(2019.8.8)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
G O 1 D 5 / 3 4 7 (2 0 0 6 . 0 1) G O 1 D 5 / 3 4 7 1 1 0 V 2 F 1 0 3

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2019-92803 (P2019-92803)
(22) 出願日 令和1年5月16日 (2019.5.16)
(62) 分割の表示 特願2015-16553 (P2015-16553)
の分割
原出願日 平成27年1月30日 (2015.1.30)

(71) 出願人 000146847
DMG森精機株式会社
奈良県大和郡山市北郡山町106番地
(74) 代理人 110000925
特許業務法人信友国際特許事務所
(72) 発明者 鈴木 光騎
神奈川県伊勢原市鈴川45 株式会社マグ
ネスケール内
(72) 発明者 新谷 真之
神奈川県伊勢原市鈴川45 株式会社マグ
ネスケール内
(72) 発明者 松下 憲司
神奈川県伊勢原市鈴川45 株式会社マグ
ネスケール内

最終頁に続く

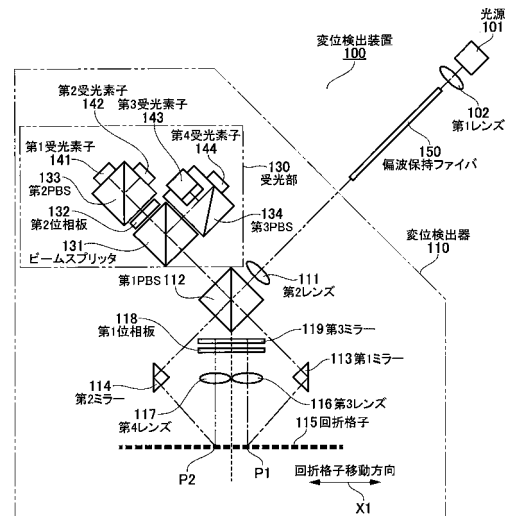
(54) 【発明の名称】 変位検出装置

(57) 【要約】

【課題】 安定した精度の高い変位量の検出ができる変位量検出装置を提供する。

【解決手段】 光源からの光を変位検出器に伝える偏波保持ファイバとして、共振器長の2倍に共振器の屈折率をかけた長さの偶数倍と2つの偏波モードの伝搬定数の差から求められるピート長の積を光源の波長で割った長さと同一となることを含まない長さが、その同一となる長さが含まれる範囲の中から選定する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光を出射する共振器長に伴う複数の発振スペクトルを持つ可干渉性の低いレーザ光源と

、前記レーザ光源からの光を集光させるレンズと、

前記共振器長の2倍に共振器の屈折率をかけた長さの整数倍と2つの偏波モードの伝搬定数の差から求められるビート長の積を光源の波長で割った長さと同じとなることを含まない長さが、その同じとなる長さが含まれる範囲の中から選定され、前記レンズで集光された光を伝送する偏波保持ファイバと、

前記偏波保持ファイバによって伝送されたビームを2分割させ、その各ビームに乗じられた位相の変化を変位量とするために、前記各ビームを干渉させることで干渉信号に変換する変位検出器とを含む

変位検出装置。

【請求項 2】

前記偏波保持ファイバは、脱着可能なコネクタで複数本が勘合されており、複数の勘合部が存在するとき、偏波保持ファイバの接続順序として、最後の偏波保持ファイバと、それを除いた偏波保持ファイバのあらゆる組み合わせとの、偏波保持ファイバの総長が、前記共振器長の2倍に共振器の屈折率をかけた長さの整数倍と前記偏波保持ファイバのX、Y偏波モードの伝搬定数の差から求められるビート長の積を光源の波長で割った長さと同じとなることを避けるようにした

請求項1に記載の変位検出装置。

【請求項 3】

光を出射する可干渉距離をもつ可干渉性の低い光源と、

前記光源からの光を集光させるレンズと、

前記可干渉距離と2つの偏波モードの伝搬定数の差から求められるビート長の積から前記光源の波長を割った長さよりも大きな長さで製作され、前記レンズで集光された光を伝送する偏波保持ファイバと、

前記偏波保持ファイバによって伝送されたビームを2分割させ、その各ビームに乗じられた位相の変化を変位量とするために、前記各ビームを干渉させることで干渉信号に変換する変位検出器とを含み、

前記偏波保持ファイバは、脱着可能なコネクタで複数本が勘合されており、各々の偏波保持ファイバの長さは、 $2^m \times L$ （但しmは0以上の整数、Lは最も短い偏波保持ファイバの長さ）で構成され、かつ各々の偏波保持ファイバの長さは同じ組合せが無いようにした

変位検出装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、光源から出射された光を用いて、被測定面の変位を検出する変位検出装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

従来から、被測定面の変位を非接触で測定する装置として光を用いた変位検出装置が広く利用されている。変位検出装置の具体的な構成については、種々の方式があり、実施の形態で後述するが、いずれの方式であっても、変位検出装置は、光源からの光を光ファイバで変位検出器に導く構成である。そして、変位検出装置は、被測定面の変位に基づいて、光源からの光の位相を変化させ、その光の位相の変化状態を検出することで、被測定面の変位量を検出する。

【先行技術文献】**【特許文献】**

10

20

30

40

50

【 0 0 0 3 】

【特許文献1】特開平7 - 3 3 2 9 5 7号公報

【特許文献2】特開2 0 0 6 - 1 9 4 8 5 5号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 4 】

変位検出装置で被測定面の変位を検出する場合、光源から変位検出器に届く光の位相が安定していることが重要である。すなわち、光源からの光を導く光ファイバの曲がり状態が変化する等のストレスの印加や、光ファイバコネクタの勘合状態や、光ファイバ同士を接続するフェールと光ファイバとの接着状態によって、不要な光の位相の変動が生じるおそれがある。不要な光の位相の変動が生じると、変位検出器での被測定面の変位の検出の安定性が低下して、変位の検出精度を低下させてしまう。

10

【 0 0 0 5 】

この光ファイバでの不要な光の位相変動が、変位検出器での変位検出精度に影響を与えない方法としては、例えば、光ファイバから出射した光の偏光を解消させた後、偏光子で偏光させてから、変位検出器に任意の偏光を取りだして入射させる方法がある（特許文献1参照）。

また、別の方法としては、光ファイバとして偏波保持ファイバを使用し、その偏波保持ファイバに入射する光として、消光比を上げて、不要な偏光成分の光を減少させる方法がある（特許文献2参照）。

20

【 0 0 0 6 】

光ファイバから出射した光の偏光を解消させた後、偏光子で偏光させる方法では、一度偏光を解消させてから任意の偏光を取りだして変位検出器に入射させるため、変位検出器に入射される光量が減少してしまうという問題がある。

また、偏波保持ファイバに入射する光の消光比を上げる方法では、光量の減少は起こらないが、光コネクタ等を追加する際、各勘合部分での光学軸の合わせ込を精密に行う必要があり、製造コストがかかるという問題があった。

また、近年変位検出装が備えるA/Dコンバータの分解能が上がるにつれ、偏波保持ファイバの光学軸に直交する成分の偏光ビームの漏れが問題視されるようになっており、不要光による干渉の振幅は、A/Dコンバータの量子化誤差以内にする必要が生じている。

30

【 0 0 0 7 】

本発明は、変位検出器に、今までのように高い消光比をもったビームを供給する対策を不要にすると共に、光量損失をさせることなく、不要なビームとの干渉を減衰させることで、安定した精度の高い変位量の検出ができる変位量検出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】

【 0 0 0 8 】

第1の発明の変位検出装置は、光を出射する共振器長に伴う複数の発振スペクトルを持つ可干渉性の低いレーザ光源と、レーザ光源からの光を集光させるレンズと、共振器長の2倍に共振器の屈折率をかけた長さの整数倍と2つの偏波モードの伝搬定数の差から求められるビート長の積を光源の波長で割った長さと同じとなることを含まない長さが、その同一となる長さが含まれる範囲の中から選定され、レンズで集光された光を伝送する偏波保持ファイバと、偏波保持ファイバによって伝送されたビームを2分割させ、その各ビームに乗じられた位相の変化を変位量とするために、各ビームを干渉させることで干渉信号に変換する変位検出器とを含む。

40

【 0 0 0 9 】

第2の発明の変位検出装置は、光を出射する可干渉距離をもつ可干渉性の低い光源と、光源からの光を集光させるレンズと、可干渉距離と2つの偏波モードの伝搬定数の差から求められるビート長の積から光源の波長を割った長さよりも大きな長さで製作され、レンズで集光された光を伝送する偏波保持ファイバと、偏波保持ファイバによって伝送された

50

ビームを2分割させ、その各ビームに乘じられた位相の変化を変位量とするために、各ビームを干渉させることで干渉信号に変換する変位検出器とを含む。

ここで、偏波保持ファイバは、脱着可能なコネクタで複数本が勘合されており、各々の偏波保持ファイバの長さは、 $2^m \times L$ （但し m は0以上の整数、 L は最も短い偏波保持ファイバの長さ）で構成され、かつ各々の偏波保持ファイバの長さは同じ組合せが無いようにした。

【発明の効果】

【0010】

本発明によると、光源の発振特性に合わせ偏波保持ファイバを任意の長さで構成することで、不要なビームとの干渉を減衰させることができる。これによって、変位検出装置の変位検出信号において位相変動を発生する成分を限りなく小さくし、干渉信号の振幅変動のみにとどめ、偏波保持ファイバの外部からのストレスの影響を受けにくい変位検出が可能になる。本発明によると、光量損失をさせることがないので、光源からの光の利用効率がよく、さらに、高い消光比をもったビームを変位検出器に供給する対策が不要になる。

10

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明が適用される変位検出装置の例（回析格子を変位させる例）を示す構成図である。

【図2】本発明が適用される変位検出装置の例（マイケルソン干渉計型の例）を示す構成図である。

20

【図3】本発明が適用される変位検出装置の例（ターゲットミラーとリファレンスミラーを平行に配置した例）を示す構成図である。

【図4】本発明の一実施の形態例による偏波保持ファイバの例を示す断面図である。

【図5】本発明の一実施の形態例によるマルチモードレーザの例を示す特性図である。

【図6】本発明の一実施の形態例による可干渉性が悪い帯域が広い光源の可干渉距離を測定する構成例を示す構成図である。

【図7】本発明の一実施の形態例による可干渉距離の例を示す特性図である。

【図8】本発明の一実施の形態例による複数の偏波保持ファイバを接続した例を示す構成図である。

30

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明の一実施の形態例（以下、「本例」と称する。）の変位検出装置を、添付図面を参照して説明する。まず、本発明が適用される変位検出装置の全体構成の3つの例を、図1～図3に説明する。

【0013】

[1. 変位検出装置の全体構成の例（回析格子を変位させる例）]

図1は、被測定面の変位に連動して、回析格子を変位させる変位検出装置100の構成例を示す。

変位検出装置100は、光源101を備える。光源101としては、レーザやLEDなどが使用可能である。光源101にレーザを使用する場合には、可干渉性の低いマルチモードの半導体レーザダイオードを使用してもよい。半導体レーザには、セルフパルセーションレーザダイオードやスーパーluminescenceダイオードを含む。

40

また、光源101として使用する固体レーザには、YAGレーザ、Ndレーザ、チタンサファイアレーザ、ファイバーレーザ等が含まれる。さらに、光源101として使用するレーザには、ヘリウムカドミウムレーザ（金属レーザ）、色素レーザ（液体レーザ）が含まれる。なお、光源101は、連続発振で縦モードの発振波長に幅があり、可干渉性の低いものが望ましい。

あるいは、光源101として、シングルモードの半導体レーザを高周波重畳によって可干渉性を低くしたものを使用してもよい。

【0014】

50

光源 101 から出射されるビームは、第 1 レンズ 102 により集光され、偏波保持ファイバ 150 に入射される。偏波保持ファイバ 150 は、コアの断面の垂直方向と水平方向の屈折率分布が異なる光ファイバであり、詳細は後述する。なお、光源 101 の偏光の光学軸は、偏波保持ファイバ 150 のコア断面の偏波保持が成立する光学軸に合わせて入射することが好ましいが、厳密に合わせなくてもよい。偏波保持ファイバ 150 の長さは後述する条件により定まる。

【0015】

偏波保持ファイバ 150 によって伝送されたビームは、変位検出器 110 に入射される。

変位検出器 110 に入射されたビームは、第 2 レンズ 111 を介して第 1 偏光ビームスプリッタ (PBS: Polarizing beam splitter) 112 に入射される。第 1 偏光ビームスプリッタ 112 は、ビームを S 偏光のビームと P 偏光のビームに分割する。例えば、S 偏光のビームは第 1 偏光ビームスプリッタ 112 で反射し、P 偏光のビームは第 1 偏光ビームスプリッタ 112 を透過する。

【0016】

第 1 偏光ビームスプリッタ 112 で反射した S 偏光のビームは、第 1 ミラー 113 を介して回析格子 115 に入射される。また、第 1 偏光ビームスプリッタ 112 を透過した P 偏光のビームは、第 2 ミラー 114 を介して回析格子 115 に入射される。

回析格子 115 は、被測定面の変位量を検出するスケールとして機能し、被測定面の変位に連動して、矢印 X1 で示すように移動する。

回析格子 115 に入射した各ビームの回析光は、第 3 レンズ 116 又は第 4 レンズ 117 と第 1 位相板 118 を介して第 3 ミラー 119 に入射され、第 3 ミラー 119 で反射された各ビームが回析格子 115 に戻される。第 1 位相板 118 は、例えば 1/4 波長板よりなる。

【0017】

回析格子 115 に戻ったビームの回析光が、第 1 ミラー 113 又は第 2 ミラー 114 を介して第 1 偏光ビームスプリッタ 112 に戻される。ここで、それぞれのビームは、第 1 位相板 118 を 2 回通過するために、S 偏光が P 偏光になって戻り、P 偏光が S 偏光になって戻る。

したがって、回析格子 115 から戻った 2 つのビームは、光源 101 からのビームの第 1 偏光ビームスプリッタ 112 への入射面とは異なる面から、重ね合わされた状態で出射され、受光部 130 に入射される。

【0018】

受光部 130 に入射されたビームは、ビームスプリッタ 131 に入射され、2 分割される。2 分割された一方のビームが、第 2 位相板 132 を介して第 2 偏光ビームスプリッタ 133 に入射される。第 2 偏光ビームスプリッタ 133 に入射したビームは、偏光成分ごとに分けられた後、第 1 受光素子 141 及び第 2 受光素子 142 に入射される。また、2 分割された他方のビームが第 3 偏光ビームスプリッタ 134 に入射され、偏光成分ごとに分けられた後、第 3 受光素子 143 及び第 4 受光素子 144 に入射される。

【0019】

次に、変位検出装置 100 が回析格子 115 の変位を検出する動作について説明する。光源 101 から出射されたビームは、第 1 レンズ 102 によって偏波保持ファイバ 150 の端面に集光入射される。偏波保持ファイバ 150 から出射されたビームが、第 2 レンズ 111 によってコリメートされる。コリメートされたビームは、第 1 偏光ビームスプリッタ 112 によって 1:1 に 2 分配されるような偏光状態で、第 1 偏光ビームスプリッタ 112 に入射される。第 1 偏光ビームスプリッタ 112 で分配された内の一方の S 偏光成分のビームは、第 1 ミラー 113 を通過し、回折格子 115 の位置 P1 に入射される。回折格子 115 によって垂直に回折されたビームは、第 1 位相板 118 によって円偏光となり、第 3 ミラー 119 で反射されて、回折格子 115 側に折り返される。このとき、第 1 位相板 118 を再度通過することで、P 偏光成分のビームとなり、回折格子 115 で 2 回回

10

20

30

40

50

折された光となり、第1偏光ビームスプリッタ112に向かう。

【0020】

第1偏光ビームスプリッタ112で分配されたP偏光成分のビームは、第2ミラー114を通過し、回折格子115の位置P2に入射される。回折格子115によって垂直に回折されたビームは、第1位相板118によって円偏光となり、第3ミラー119で反射されて折り返す。このとき、第1位相板118を再度通過することで、S偏光成分のビームとなり、回折格子115で2回回折された光となり、第1偏光ビームスプリッタ112に向かう。

【0021】

互いに偏光成分が入れ替わった2つのビームは、第1偏光ビームスプリッタ112によって重ね合わされ、受光部130に向かう。この重ね合わされたビームは、直線偏光のS偏光成分とP偏光成分からなる。このビームは、ビームスプリッタ131によって2分配され、一方は、第2位相板132を経て第2偏光ビームスプリッタ133に入射される。

第2位相板132を通過する際、互いに直交する直線偏光同士は、互いに逆回りの円偏光の重ね合わせとなる。そして、第2偏光ビームスプリッタ133に入射される直線偏光の偏光方向は、回折格子115が移動方向に1波長だけ移動すると2回転する。したがって、第1受光素子141と第2受光素子142では、 $A \cos(4Kx + \phi)$ の干渉信号が得られる。ここで、Aは、干渉信号の振幅であり、Kは $2/\lambda$ で示される波数である。また、xは、回折格子の移動量を示しており、 ϕ は初期位相である。 λ は、回折格子における格子の間隔である。

【0022】

また、ビームスプリッタ131で2分配されたもう一方のビームは、第3偏光ビームスプリッタ134に入射される。この際、第3偏光ビームスプリッタ134は、第2偏光ビームスプリッタ133に対し、 45° 光軸に対し回転させているため、第3受光素子143と第4受光素子144は、第1受光素子141と第2受光素子142に対し、光電変換される信号の位相が90度異なることになる。これによって、回折格子の移動方向が認識できる。

【0023】

このように、変位検出装置100によると、第1～第4受光素子141～144での受光状態から、干渉信号を回折格子115のX1方向の変位量として検出することができる。

なお、4つの受光素子141～144で得られる干渉信号には、光源101の波長に関する成分が含まれていない。よって、気圧や湿度、温度の変化による光源の波長に変動が起きても、干渉強度は影響を受けない。

【0024】

[2. 変位検出装置の全体構成の例(マイケルソン干渉計型の例)]

図2は、被測定面の変位に連動して、ターゲットミラー214を移動させるマイケルソン干渉計型の変位検出装置200の構成例を示す。

変位検出装置200は、光源201を備える。光源201として適用可能な条件は、図1に示す変位検出装置100で説明した光源101の条件と同じであり、例えば可干渉性が低い光源や、マルチモード半導体レーザなどが使用される。

【0025】

光源201から出射されたビームは、第1レンズ202により集光して、偏波保持ファイバ250に入射される。偏波保持ファイバ250は、コアの断面の垂直方向と水平方向の屈折率分布が異なる光ファイバであり、この偏波保持ファイバ250の長さは後述する条件により決定する。

【0026】

偏波保持ファイバ250によって伝送されたビームは、変位検出器210に入射される。

変位検出器210に入射されたビームは、第2レンズ211を介して第1偏光ビームス

10

20

30

40

50

プリッタ 2 1 2 に入射される。第 1 偏光ビームスプリッタ 2 1 2 を透過した P 偏光のビームは、第 1 位相板 2 1 3 を介してターゲットミラー 2 1 4 に入射される。ターゲットミラー 2 1 4 は、被測定面の変位に連動して、X 2 方向に移動する。また、第 1 偏光ビームスプリッタ 2 1 2 で反射された S 偏光のビームは、第 2 位相板 2 1 5 を介してリファレンスミラー 2 1 6 に入射される。第 1 位相板 2 1 3 及び第 2 位相板 2 1 5 は、例えば 1 / 4 波長板よりなる。

【 0 0 2 7 】

なお、ターゲットミラー 2 1 4 が基準となる位置であるとき、第 1 偏光ビームスプリッタ 2 1 2 からターゲットミラー 2 1 4 までの光路長と、第 1 偏光ビームスプリッタ 2 1 2 からリファレンスミラー 2 1 6 までの光路長は等しく設定する。

10

そして、ターゲットミラー 2 1 4 及びリファレンスミラー 2 1 6 から第 1 偏光ビームスプリッタ 2 1 2 に戻ったビームが重ね合わされた干渉信号となり、受光部 2 3 0 に入射される。

【 0 0 2 8 】

受光部 2 3 0 に入射されたビームは、ビームスプリッタ 2 3 1 に入射され、2 分割される。2 分割された一方のビームが、第 3 位相板 2 3 2 を介して第 2 偏光ビームスプリッタ 2 3 3 に入射される。第 2 偏光ビームスプリッタ 2 3 3 に入射されたビームは、偏光成分ごとに分けられた後、第 1 受光素子 2 4 1 及び第 2 受光素子 2 4 2 に入射される。また、2 分割された他方のビームが第 3 偏光ビームスプリッタ 2 3 4 に入射され、偏光成分ごとに分けられた後、第 3 受光素子 2 4 3 及び第 4 受光素子 2 4 4 に入射される。

20

【 0 0 2 9 】

このように構成したことで、第 1 偏光ビームスプリッタ 2 1 2 から受光部 2 3 0 に供給されるビームの中で、リファレンスミラー 2 1 6 で反射された成分については光路が一定になる。一方、ターゲットミラー 2 1 4 で反射された成分については、被測定面の変位に連動して、光路が変化する。

したがって、変位検出装置 2 0 0 は、第 1 ~ 第 4 受光素子 2 4 1 ~ 2 4 4 での受光状態から、干渉信号をターゲットミラー 2 1 4 の X 2 方向の変位量として検出することができる。

【 0 0 3 0 】

[3 . 変位検出装置の全体構成の例 (ターゲットミラーとリファレンスミラーを平行に配置した例)]

30

図 3 は、ターゲットミラー 3 1 5 とリファレンスミラー 3 1 6 とを平行に配置した変位検出装置 3 0 0 の構成例を示す。

変位検出装置 3 0 0 は、光源 3 0 1 を備える。光源 3 0 1 として適用可能な条件は、図 1 に示す変位検出装置 1 0 0 で説明した光源 1 0 1 の条件と同じであり、例えば可干渉性が低い光源や、マルチモード半導体レーザなどが使用される。

【 0 0 3 1 】

光源 3 0 1 から出射されたビームは、第 1 レンズ 3 0 2 により集光して、偏波保持ファイバ 3 5 0 に入射される。偏波保持ファイバ 3 5 0 は、コアの断面の垂直方向と水平方向の屈折率分布が異なる光ファイバであり、この偏波保持ファイバ 3 5 0 の長さは後述する条件により決まる。

40

【 0 0 3 2 】

偏波保持ファイバ 3 5 0 によって伝送されたビームは、変位検出器 3 1 0 に入射される。

変位検出器 3 1 0 に入射したビームは、第 2 レンズ 3 1 1 を介して第 1 偏光ビームスプリッタ 3 1 2 に入射される。第 1 偏光ビームスプリッタ 3 1 2 を透過した P 偏光のビームは、第 1 位相板 3 1 3 を介してターゲットミラー 3 1 5 に入射される。第 1 位相板 3 1 3 は、例えば 1 / 4 波長板よりなる。ここで、ターゲットミラー 3 1 5 に入射されるビームは、ターゲットミラー 3 1 5 に対して 4 5 ° の角度で入射させる。ターゲットミラー 3 1 5 は、被測定面の変位に連動して、X 3 方向に移動する。

50

【 0 0 3 3 】

ターゲットミラー 3 1 5 で反射したビームは、透過型回折格子 3 1 7 に入射され、透過型回折格子 3 1 7 を透過した回折光が、ターゲットミラー 3 1 5 に入射される。そして、ターゲットミラー 3 1 5 で反射した回折光が、ミラー 3 1 8 に入射される。ミラー 3 1 8 に対する回折光の入射角度は 90° とし、ミラー 3 1 8 は、入射した回折光を入射方向に反射させる。

【 0 0 3 4 】

第 1 偏光ビームスプリッタ 3 1 2 で反射した S 偏光のビームは、第 2 位相板 3 1 4 を介してリファレンスミラー 3 1 6 に入射される。第 2 位相板 3 1 4 は、例えば $1/4$ 波長板よりなる。ここで、リファレンスミラー 3 1 6 に入射されるビームは、リファレンスミラー 3 1 6 に対して 45° の角度で入射される。

10

【 0 0 3 5 】

リファレンスミラー 3 1 6 で反射したビームは、透過型回折格子 3 1 7 に入射され、透過型回折格子 3 1 7 を透過した回折光が、リファレンスミラー 3 1 6 に入射される。そして、リファレンスミラー 3 1 6 で反射した回折光が、ミラー 3 1 9 に入射される。ミラー 3 1 9 に対する回折光の入射角度は 90° とされ、ミラー 3 1 9 は、入射した回折光を入射方向に反射する。第 1 位相板 3 1 3 及び第 2 位相板 3 1 4 は、例えば $1/4$ 波長板よりなる。

【 0 0 3 6 】

ミラー 3 1 8 , 3 1 9 で反射したビームは、入射時とは逆の経路を辿って、第 1 偏光ビームスプリッタ 3 1 2 に入射される。そして、第 1 偏光ビームスプリッタ 3 1 2 に戻った 2 つのビームが重ね合わされた干渉信号となり、受光部 3 3 0 に入射される。

20

受光部 3 3 0 に入射されたビームは、ビームスプリッタ 3 3 1 に入射され、2 分割される。2 分割された一方のビームが、第 3 位相板 3 3 2 を介して第 2 偏光ビームスプリッタ 3 3 3 に入射される。第 2 偏光ビームスプリッタ 3 3 3 に入射されたビームは、偏光成分ごとに分けられた後、第 1 受光素子 3 4 1 及び第 2 受光素子 3 4 2 に入射される。また、2 分割された他方のビームが第 3 偏光ビームスプリッタ 3 3 4 に入射され、偏光成分ごとに分けられた後、第 3 受光素子 3 4 3 及び第 4 受光素子 3 4 4 に入射される。

【 0 0 3 7 】

このように構成したことで、第 1 偏光ビームスプリッタ 3 1 2 から受光部 3 3 0 に供給されるビームの中で、リファレンスミラー 3 1 6 で反射された成分については、透過型回折格子 3 1 7 の同じ箇所を通過したビームになる。一方、ターゲットミラー 3 1 5 で反射された成分については、ターゲットミラー 3 1 5 の X 3 方向の移動により、透過型回折格子 3 1 7 の異なる箇所を通過したビームになる。したがって、ターゲットミラー 3 1 5 の位置により、第 1 偏光ビームスプリッタ 3 1 2 で重ね合わされた干渉信号の干渉状態が変化し、変位検出装置 3 0 0 は、第 1 ~ 第 4 受光素子 3 4 1 ~ 3 4 4 での受光状態から、回折格子の位相成分を、ターゲットミラー 3 1 4 の X 3 方向の変位量として検出することができる。

30

なお、図 3 に示す構成の場合、ターゲットミラー 3 1 5 の位置が変化しても、光路長は変化しない。

40

【 0 0 3 8 】

[4 . 偏波保持ファイバの説明]

変位検出装置 1 0 0 , 2 0 0 , 3 0 0 は、いずれも光源 1 0 1 , 1 0 2 , 1 0 3 と変位検出器 1 1 0 , 2 1 0 , 3 1 0 との間のビームの伝送に、偏波保持ファイバ 1 5 0 , 2 5 0 , 3 5 0 を使用する。

図 4 は、偏波保持ファイバ 1 5 0 の構成例を断面で示す。他の偏波保持ファイバ 2 5 0 , 3 5 0 についても、偏波保持ファイバ 1 5 0 と同じ構成である。

偏波保持ファイバ 1 5 0 は、ビームを伝送するコア 1 5 1 の上と下に、応力付与材 1 5 2 , 1 5 3 を備える。そして、応力付与材 1 5 2 , 1 5 3 が、コア 1 5 1 に対して上下からストレスが加わった状態で、全体をクラッド 1 5 4 で覆う構成である。

50

この例では、コア 151 に対してストレスが加わる上下方向を X 偏波モード軸とし、その X 偏波モード軸と直交する方向を Y 偏波モード軸とする。このとき、X 偏波モード軸が偏波保持が成立する光学軸になる。

【0039】

ところで、偏波保持ファイバ 150 内を通過したビームには、偏波保持ファイバ 150 の偏波保持が成立する光学軸の成分 (X 偏波モード) と、それに直交する成分 (Y 偏波モード) が含まれる可能性がある。一般に半導体レーザの消光比は、20 dB 前後と言われており、完全な直線偏光ではない。また偏波保持ファイバ 150 に入射する際の光学軸の角度調整にもばらつきが存在する。

偏波保持ファイバ 150 を使用することで、X 偏波モード軸と Y 偏波モード軸の成分に関しては偏波が保持される。しかしながら、コア 151 内の X 偏波モード軸と Y 偏波モード軸の偏光成分の屈折率が異なるため、偏波保持ファイバ 150 にストレスが印加されると、X 偏波モード軸を経由したビームと Y 偏波モード軸を経由したビームとで、位相差が生じる。

10

【0040】

ここで、X 偏波モード軸経由のビームに対し、Y 偏波モード軸経由のビームの光量が十分に小さくないと、X 偏波モード軸経由と Y 偏波モード軸経由のビーム同士が干渉してしまう。これにより、偏波保持ファイバ 150 へのストレス印加があると、わずかな位相変化が検出されて、変位の検出精度が劣化してしまう。

そこで、本例では、光源の可干渉性と偏波保持ファイバ 150 の長さを規定し、その影響が最小になるように抑制している。

20

【0041】

[5. マルチモードレーザを光源として使う場合の例]

次に、偏波保持ファイバ 150, 250, 350 の長さを決める条件について説明する。この偏波保持ファイバ 150, 250, 350 の長さを決める条件は、光源 101, 201, 301 としてマルチモードレーザを使用する場合の条件と、光源 101, 201, 301 として可干渉性が悪い帯域が広い光源を使用する場合の条件の、2 つである。

まず、マルチモードレーザを使用する場合の条件について説明する。

【0042】

共振器長に伴う複数の発振スペクトルを持つ可干渉性の低い代表的なレーザ光源としては、マルチモードの半導体レーザや、高周波重畳をかけたシングルモードの半導体レーザが挙げられる。ここでの共振器長とは、例えば半導体レーザの場合には、一方の端面 (鏡面) と他方の端面との間の距離であり、その共振器長によりレーザ光の波長が決まる。

30

干渉を起こす距離 L_{period} は、光路長差が 0 の干渉状態から次に再び干渉強度が上昇しピークとなるまでを 1 周期とすると、[数 1] 式で与えられる。

【0043】

【数 1】

$$L_{\text{period}} = 2 \cdot n_{\text{eff}} L_{\text{cav}}$$

【0044】

40

ここで、 n_{eff} は共振器の屈折率であり、 L_{cav} は共振器長である。

つまり、ビームには、共振器長の 2 倍に共振器の屈折率をかけた長さの整数 m 倍で、干渉強度のピークが現れることを意味している。

【0045】

次に、偏波保持ファイバ 150 の中を伝搬する X 偏波モード軸と Y 偏波モード軸の成分間のファイバ出力端における光学遅延距離 D は、[数 2] 式で与えられる。

【0046】

【数 2】

$$D = \lambda \cdot \frac{L_{\text{fiber}}}{L_{\text{beat}}}$$

【0047】

ここで、 λ は光源の波長を示し、 L_{fiber} は光ファイバ長（偏波保持ファイバ長）を示し、 L_{beat} はビート長を示す。

ここでビート長は、偏波保持ファイバ中を伝搬する X 偏波モード軸と Y 偏波モード軸の光の速さを示す伝搬定数（ β_x , β_y ）の差を

$$\Delta\beta = \beta_x - \beta_y$$

とすると、[数 3] 式で表せる。

【0048】

【数 3】

$$L_{\text{beat}} = 2\pi / \Delta\beta$$

【0049】

つまり、伝搬定数差から生じる光学遅延距離 D と干渉を起こす距離が一致すると、X 偏波モード軸経由のビームと Y 偏波モード軸経由のビームが互いに干渉することになる。

よって、偏波保持ファイバ 150 の長さとして、光源の共振器長の 2 倍に共振器の屈折率かけた長さの整数倍と、偏波保持ファイバの X, Y 偏波モードの伝搬定数の差から求められるビート長の積から光源の波長を割った長さを選んだ長さとする。このようにすることで、X 偏波モード軸経由のビームと Y 偏波モード軸経由のビームとの干渉を避けることができ、偏波保持ファイバ 150 のストレスに対し安定した変位検出が可能になる。

以下の [数 4] 式は、光ファイバ長 L_{fiber} を求める式を示す。

【0050】

【数 4】

$$mL_{\text{period}} = \lambda \cdot \frac{L_{\text{fiber}}}{L_{\text{beat}}}$$

$$m \cdot 2 \cdot n_{\text{eff}} L_{\text{cav}} = \lambda \cdot \frac{L_{\text{fiber}}}{L_{\text{beat}}}$$

$$L_{\text{fiber}} = \frac{2mn_{\text{eff}}L_{\text{cav}}L_{\text{beat}}}{\lambda}$$

【0051】

マルチモードの半導体レーザの場合、X 偏波モード軸経由のビームと Y 偏波モード軸経由のビームの干渉強度は、例えば図 5 のようになり、光学遅延距離が大きくなるほど、互いに干渉しづらくなる。すなわち、光学遅延距離が 0 のとき（ピーク P 1 1 の位置）の干渉強度を 1 としたとき、光学遅延距離が 0 から一定距離離れるごとに、徐々に干渉強度が弱くなるピーク P 1 2, P 1 3, P 1 4, ... が存在し、ある程度の光学遅延距離以降は、干渉強度がほぼ 0 になる。

ここで、X 偏波モード軸経由のビームと Y 偏波モード軸経由のビームが互いに干渉することを避けた長さとするということは、例えばピーク P 1 1 とピーク P 1 2 の間の干渉強度がほぼ 0 になる光学遅延距離を持つ長さにするということである。ピーク P 1 1 とピーク P 1

10

20

30

40

50

2の間以外のその他のピークの間干渉強度がほぼ0になる光学遅延距離を持つ長さとしてもよい。

【0052】

[6. 可干渉性が悪い帯域が広い光源を使う場合の例]

可干渉距離を持つ可干渉性の低い光源には、前述した共振器長に伴う複数の発振スペクトルを持たず、特定の波長幅を持ち波長に対しプロードに強度が変化する光源もある。例えば、スーパーミネッセンスダイオードやLED（発光ダイオード）がある。あるいは、固体レーザでは、チタンサファイアレーザ等が挙げられる。

【0053】

これらの方式の光源を光源101, 201, 301として使用する場合には、事前に光源の可干渉距離 L_{low} を計測する。

図6は、光源の可干渉距離 L_{low} を計測する構成例を示す。なお、図6では、可干渉距離 L_{low} を計測する原理を示し、計測する基本的な原理を説明する上で不要な構成については省略している。

ここでは、光源401が被計測対象の光源である。光源401が出力するビームは、偏光ビームスプリッタ402に入射され、一方及び他方の偏光成分に分配される。一方の偏光成分は、固定ミラー403により反射されて偏光ビームスプリッタ402に戻り、他方の偏光成分は、可動ミラー404により反射されて偏光ビームスプリッタ402に戻る。可動ミラー404の位置は、X4方向に移動する。

そして、偏光ビームスプリッタ402に戻った2つのビームは、重ね合わせた状態で受光素子405に入射される。

【0054】

図7は、受光素子405で検出される干渉強度を示す。

ここでは、偏光ビームスプリッタ402と可動ミラー404との間の光路長（往復の長さ）を L_a とし、偏光ビームスプリッタ402と固定ミラー403との間の光路長（往復の長さ） L_b とする。そして、図7の横軸は、光路長差（ $L_a - L_b$ ）である。

【0055】

図7から判るように、光路長差（ $L_a - L_b$ ）が0のとき、干渉強度が最大値1となり、以下、光路長差が長くなるにしたがって、干渉強度がほぼ0になる。例えば、最大値1から干渉強度が $1/1000$ になった光路長差を、光源の可干渉距離 L_{low} とする。

【0056】

そして、このようにして求めた光源の可干渉距離 L_{low} と、偏波保持ファイバ150のX, Y偏波モードの伝搬定数の差から求められるビート長の積を求め、このビート長の積を、光源101の波長で割った長さより、偏波保持ファイバ150の長さを大きくとる。このような長さの偏波保持ファイバ150を使った変位検出装置100は、X偏波モード軸経由のビームとY偏波モード軸経由のビームが互いに干渉することを避けることができ、偏波保持ファイバ150のストレスに対し安定した変位検出が可能になる。

一般に、上述した可干渉性の低い光源は、マルチモードの半導体レーザより波長幅が広く、可干渉距離 L_{low} が非常に短いため、光ファイバ長 L_{fiber} が非常に長くなってしまふことは少ない。

[数5]式は、上述した偏波保持ファイバ150の長さ L_{fiber} を決める条件を数式で示すものである。

【0057】

【数5】

$$L_{low} \leq \frac{L_{fiber}}{L_{beat}} \lambda \quad \therefore L_{fiber} \geq \frac{L_{low} L_{beat}}{\lambda}$$

【0058】

以上説明したように、いずれの光源を使用する場合でも、上述した条件で偏波保持ファ

10

20

30

40

50

ファイバの長さを決めることで、X偏波モード軸経由のビームとY偏波モード軸経由のビームが互いに干渉することを避けることができる。したがって、本例の変位検出装置によれば、光ファイバに加わる曲げなどのストレスに対し安定した変位検出が可能になり、変位の検出精度が向上する。また、光源から出射したビーム偏光の光学軸は、偏波保持ファイバのコア断面の偏波保持が成立する光学軸に合わせて入射することが好ましいが、本例の場合には、偏波保持ファイバの端面の光学軸を厳密に合わせなくても、精度が保たれるようになる。

なお、ここまでの説明では、図1に示す変位検出装置100が備える偏波保持ファイバ150の長さの条件を示したが、図2，図3に示す変位検出装置200，300が備える偏波保持ファイバ250，350の長さの条件についても、同じように決めることができる。

10

【0059】

[7. 複数のファイバを組み合わせる例]

変位検出装置100，200，300が備える偏波保持ファイバ150，250，350は、複数本の偏波保持ファイバを接続するようにしてもよい。

例えば、図8に示すように、光源101からのビームを、第1レンズ102を介して、3本の偏波保持ファイバ150a，150b，150cを勘合させて接続したものに入射するようにしてもよい。その3本の偏波保持ファイバ150a，150b，150cを伝ったビームが、変位検出器110に入射される。

ここでの偏波保持ファイバ150a，150b，150cの勘合とは、各偏波保持ファイバ150a，150b，150cの端面が、隙間がない状態で接続された状態を示す。このような勘合状態は、例えば偏波保持ファイバに取り付けられたコネクタ（不図示）を使って実現することができる。

20

【0060】

それぞれの偏波保持ファイバ150a，150b，150cの長さは、既に説明した光源の種類に応じて光源の可干渉性を考慮した長さに設定する必要があるが、さらに以下の条件が加わる。すなわち、各々の偏波保持ファイバ150a，150b，150cの勘合部で発生する、X偏波モード軸とY偏波モード軸のビームの漏れから、X偏波モード軸経由のビームとY偏波モード軸経由のビームの干渉対策をとる必要がある。

例えば、同じ長さの偏波保持ファイバを勘合させてしまうと、勘合部の漏れで、X+Y偏波モード軸経由のビームとY+X偏波モード軸経由ビームが、干渉してしまう可能性がある。

30

【0061】

複数の勘合部が存在するとき、偏波保持ファイバの接続順序として、最後段の偏波保持ファイバ（例えば図8での偏波保持ファイバ150a）と、それを除いた偏波保持ファイバ（例えば図8での偏波保持ファイバ150b，150c）のあらゆる組み合わせとの、偏波保持ファイバの総長が、共振器長に共振器の屈折率をかけた長さの偶数倍と偏波保持ファイバのX，Y偏波モードの伝搬定数の差から求められるビート長の積を光源の波長で割った長さと同じとなることを避ける必要がある。このような条件にすることにより、勘合部によって生じる最後段の偏波保持ファイバから出射された異なる伝搬位相を持つ光同士の干渉において、主たる成分の干渉に対する影響の大きな干渉の組み合わせを低減させることが可能となる。また、主たる干渉に対して影響の大きな干渉の組み合わせ以外の成分におけるそれぞれの干渉は、もともと小さいため、無視することができる。

40

例えば、X偏波モードを主たる成分として光を伝搬させた偏波保持ファイバの場合、次の段の偏波保持ファイバのX偏波モードに主たる成分を勘合させると、Y偏波モードへ漏れる成分がある。ここで、複数の勘合部を有することにより、様々な漏れ成分が発生するが、Y偏波モードの同士の干渉は十分に小さいために無視できる。

【0062】

また、可干渉性が悪い帯域が広い光源を使う場合には、各々の偏波保持ファイバ150a，150b，150cの長さは、 $2m \times L$ （ m は0以上の整数、 L は最も短い偏波保持

50

ファイバの長さ)で構成し、かつ各々の偏波保持ファイバの長さは同じ組合せがないことが必要になる。

例えば各偏波保持ファイバ長は、 $L_1 = 2 \times L_3$ 、 $L_2 = 4 \times L_3$ のように、 $L_1 = L_2 = L_3$ である必要がある。

【0063】

[8.変形例]

なお、本発明が適用される変位検出装置は、図1、図2、図3に示す3つの変位検出装置100、200、300とは異なる構成や原理で、変位を検出するものでもよい。すなわち、光源からの光を偏波保持ファイバを介して変位検出器に導く構成の変位検出装置であれば、その他の構成にも適用可能である。

10

【0064】

また、複数本の偏波保持ファイバを使用する図8の例では、図1例の変位検出装置100に適用した例を示すが、図2や図3に示す変位検出装置200、300で複数本の偏波保持ファイバを使用する場合の、各々のファイバの長さの条件についても、同じことが適用可能である。さらに、図8では3本の偏波保持ファイバ150a、150b、150cを勘合させた例としたが、2本又は4本以上の偏波保持ファイバを勘合させる場合にも、上述した例と同じ条件が適用可能である。

【符号の説明】

【0065】

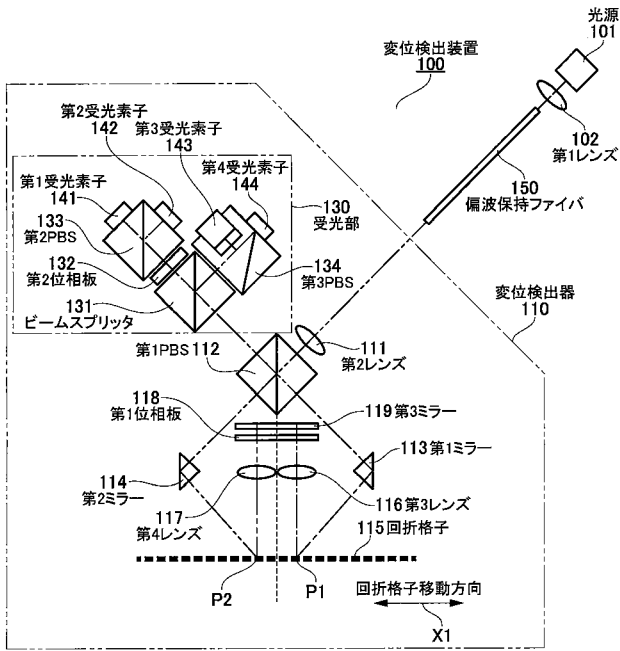
100...変位検出装置、101...光源、102...第1レンズ、110...変位検出器、111...第2レンズ、112...第1偏光ビームスプリッタ、113...第1ミラー、114...第2ミラー、115...回析格子、116...第3レンズ、117...第4レンズ、118...第1位相板、119...第3ミラー、130...受光部、131...ビームスプリッタ、132...第2位相板、133...第2偏光ビームスプリッタ、134...第3偏光ビームスプリッタ、141...第1受光素子、142...第2受光素子、143...第3受光素子、144...第4受光素子、150、150a、150b、150c...偏波保持ファイバ、151...コア、152、153...応力付与部材、154...クラッド、200...変位検出装置、201...光源、202...第1レンズ、210...変位検出器、211...第2レンズ、212...第1偏光ビームスプリッタ、213...第1位相板、214...ターゲットミラー、215...第2位相板、216...リファレンスミラー、230...受光部、231...ビームスプリッタ、232...第3位相板、233...第2偏光ビームスプリッタ、234...第3偏光ビームスプリッタ、241...第1受光素子、242...第2受光素子、243...第3受光素子、244...第4受光素子、250...偏波保持ファイバ、300...変位検出装置、301...光源、302...第1レンズ、310...変位検出器、311...第2レンズ、312...第1偏光ビームスプリッタ、313...第1位相板、314...第2位相板、315...ターゲットミラー、316...リファレンスミラー、317...透過型回析格子、318、319...ミラー、330...受光部、331...ビームスプリッタ、332...第3位相板、333...第2偏光ビームスプリッタ、334...第3偏光ビームスプリッタ、341...第1受光素子、342...第2受光素子、343...第3受光素子、344...第4受光素子、350...偏波保持ファイバ、401...光源、402...偏光ビームスプリッタ、403...固定ミラー、404...可動ミラー、405...受光素子

20

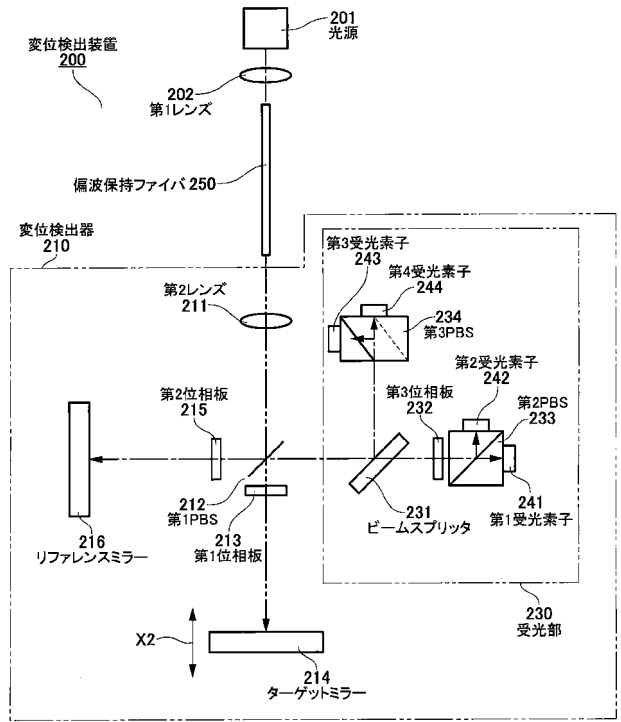
30

40

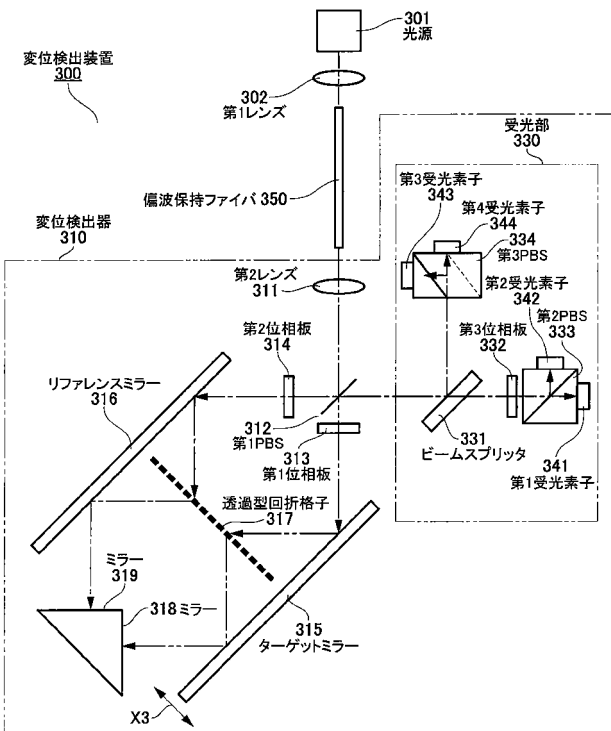
【 図 1 】



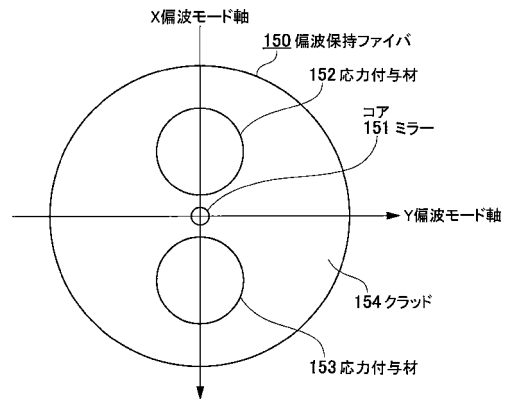
【 図 2 】



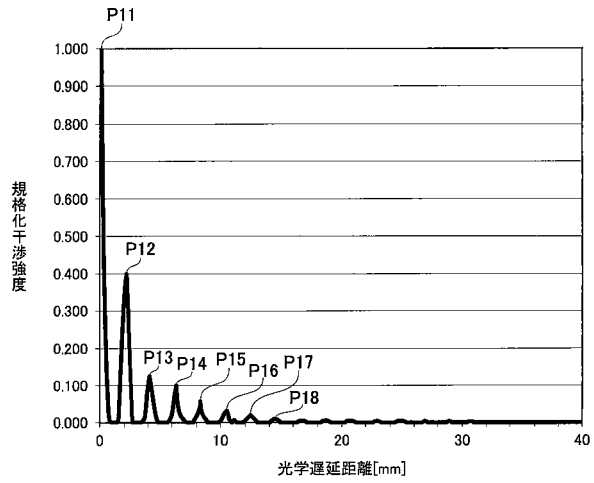
【 図 3 】



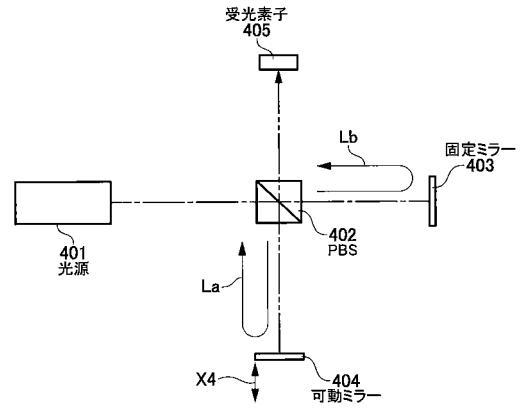
【 図 4 】



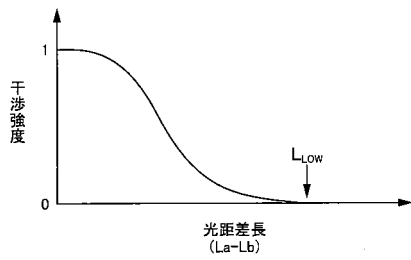
【 図 5 】



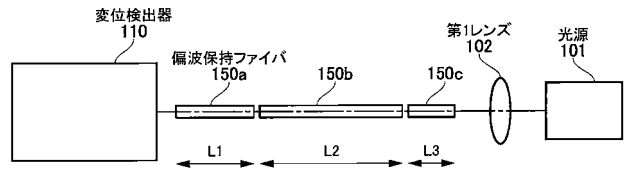
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(72)発明者 西田 瑛量

神奈川県伊勢原市鈴川4 5 株式会社マグネスケール内

(72)発明者 田宮 英明

神奈川県伊勢原市鈴川4 5 株式会社マグネスケール内

(72)発明者 谷口 佳代子

神奈川県伊勢原市鈴川4 5 株式会社マグネスケール内

Fターム(参考) 2F103 BA01 BA10 CA01 CA03 CA04 CA06 CA08 DA01 DA12 EA02
EA15 EB02 EB05 EB06 EB16 EB32 EC03 EC04 EC08 EC12
EC13 EC15 FA01 FA12