

(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2006-30181

(P2006-30181A)

(43) 公開日 平成18年2月2日(2006.2.2)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 B 11/00 (2006.01)	GO 1 B 11/00 B	2 F 0 6 5
HO 1 S 5/14 (2006.01)	HO 1 S 5/14	5 F 1 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 28 O L (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2005-196526 (P2005-196526)	(71) 出願人	000137694 株式会社ミットヨ 神奈川県川崎市高津区坂戸一丁目20番1号
(22) 出願日	平成17年7月5日(2005.7.5)	(74) 代理人	100079083 弁理士 木下 實三
(31) 優先権主張番号	10/891, 138	(74) 代理人	100094075 弁理士 中山 寛二
(32) 優先日	平成16年7月15日(2004.7.15)	(74) 代理人	100106390 弁理士 石崎 剛
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(72) 発明者	デイビッド ダブリュー セスコ アメリカ合衆国 ワシントン州 ウッドインビル 206番 アベニュー エヌ・イー 15123

最終頁に続く

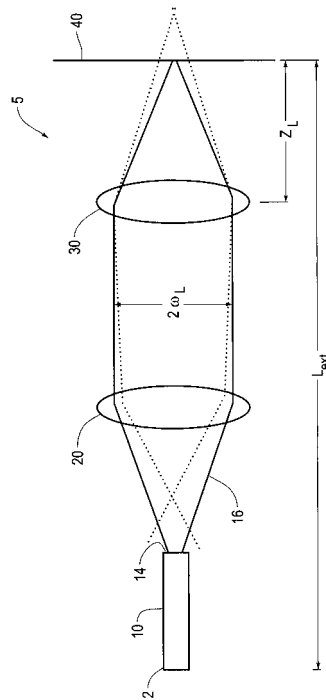
(54) 【発明の名称】 距離測定装置および距離測定方法

(57) 【要約】

【課題】 簡便かつ安価であり、温度変化に対して測定精度を維持する距離測定装置を提供する。

【解決手段】 色分散合焦素子30は、共鳴型外部共振器の中の半導体レーザー発振媒体10とターゲット面40との間に配置される。共鳴型外部共振器の一端はターゲット面40であり、もう一方の端は半導体発振媒体の遠位面12である。多重波長の要素を有してもよい光の合焦に色分散合焦素子30を使用し、光の単独波長要素をターゲット面40に正確に合焦する。ターゲット面40に合焦された光の波長は、レーザー発振媒体10の導波路へのフィードバック信号として、もっとも効果的に結合又は反射される。誘導放出プロセスを通じて、レーザーの出力の波長が色分散合焦素子30とターゲット面40の間の絶対距離に対応し、それによってターゲット面40と色分散合焦素子30の間の絶対距離の測定値を提供する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

距離測定装置であって、
焦点面に光を合焦させる合焦素子を備え、
焦点面と合焦素子との距離である個別距離は光束中の各光の各波長に応じて決定され、
ターゲット面が前記個別距離に位置する際に前記ターゲット面上の焦点位置にて光束中の各波長の光が反射され、
さらに、ターゲット面上の焦点位置にて反射された光束中の各波長の光を増幅させるように配置された発振媒体を備える
ことを特徴とする距離測定装置。

10

【請求項 2】

請求項 1 に記載の距離測定装置において、
さらに、前記発振媒体の共振器内面及び裏面と、
前記裏面と前記ターゲット面との間に形成された共鳴共振器と、を備えた
ことを特徴とした距離測定装置。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の距離測定装置において、
さらに、前記発振媒体によって増幅された光束中の各波長の光を検出して、前記各波長に対応する信号を提供するように配置された波長検出器を備え、
前記各波長は前記個別距離に対応し、
前記信号は個別距離の指標となる
ことを特徴とする距離測定装置。

20

【請求項 4】

請求項 3 に記載の距離測定装置において、
さらに、共鳴共振器内で循環する光を前記波長検出器の中に導くビームスプリッタを備えた
ことを特徴とした距離測定装置。

【請求項 5】

請求項 3 に記載の距離測定装置において、
前記波長検出器が発振媒体の裏面の後ろに配置されている
ことを特徴とした距離測定装置。

30

【請求項 6】

請求項 3 に記載の距離測定装置において、
さらに、コリメータレンズと結像レンズとを備え、
前記コリメータレンズおよび結像レンズは、検出対象である波長の光を受光し、この光を前記波長検出器の入力に集中させる
ことを特徴とする距離測定装置。

【請求項 7】

請求項 3 に記載の距離測定装置において、
前記波長検出器が、分光計、検波計、及び波長感応性フォトダイオードのいずれかである
ことを特徴とした距離測定装置。

40

【請求項 8】

請求項 3 に記載の距離測定装置において、
前記波長検出器が、半導体光学増幅器を備え、
前記半導体光学増幅器の透過電流はレーザー出力波長に依存する
ことを特徴とした距離測定装置。

【請求項 9】

請求項 2 に記載の距離測定装置において、
さらに、前記共鳴共振器内に配置されたエタロンを備えた

50

ことを特徴とした距離測定装置。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の距離測定装置において、
前記エタロンが、前記共鳴共振器によって規定された光軸に対して非垂直の角度で配置されている

ことを特徴とした距離測定装置。

【請求項 11】

請求項 2 に記載の距離測定装置において、
前記発振媒体の前記共振器内面が反射防止膜でコーティングされている

ことを特徴とした距離測定装置。

10

【請求項 12】

請求項 2 に記載の距離測定装置において、
前記レーザー発振媒体の前記共振器内面の反射率が、前記ターゲット面の反射率の 10 分の 1 以下であることを特徴とした距離測定装置。

【請求項 13】

請求項 1 に記載の距離測定装置において、
さらに、前記発振媒体と前記合焦素子の間に配置され、前記発振媒体によって増幅されて前記ターゲット面に向けて発光された光の非環状ビーム形状を修正する光学素子を備えた

ことを特徴とした距離測定装置。

20

【請求項 14】

請求項 1 に記載の距離測定装置において、
さらに、前記発振媒体と前記合焦素子との間に配置されたコリメータレンズを備えたことを特徴とした距離測定装置。

【請求項 15】

請求項 1 に記載の距離測定装置において、
前記合焦素子が回折光学素子であることを特徴とした距離測定装置。

【請求項 16】

請求項 15 に記載の距離測定装置において、
前記回折光学素子がゾンプレートであることを特徴とした距離測定装置。

30

【請求項 17】

請求項 1 に記載の距離測定装置において、
前記発振媒体が約 -7 より大きい線幅強化係数を有することを特徴とした距離測定装置

。

【請求項 18】

距離測定装置であって、
焦点面までの距離である個別距離が光束中の光の各波長に応じて決定され前記焦点面に光を合焦させる合焦素子を備え、

40

ターゲット面が前記個別距離に位置する際に前記ターゲット面上の焦点位置にて光束中の各波長の光が反射され、その光は、前記個別距離に対応する個別優勢波長を有し、
焦点位置にて反射された光の個別優勢波長を受光する位置に配設された発振媒体を備え

、
発振媒体は、個別優勢波長の光を増幅して、十分明瞭に区分される光の波長を提供し、前記十分に明瞭に区分される光の波長は、合焦素子とターゲット面との距離の指標となる

ことを特徴とする距離測定装置。

【請求項 19】

距離測定装置であって、

50

光を放出する光増幅発振媒体と

前記発振媒体からの光を受光するとともに、対応する個別距離で各波長の光をそれぞれ合焦させる合焦素子と、を備え

前記合焦素子からの個別距離に位置するターゲット面は、対応する合焦した各波長の光を発振媒体に向けて再帰させて、その再帰光は発振媒体にて受光される優勢波長となり、

発振媒体は、前記受光した光の優勢波長を優先的に増幅及び発射して、明瞭に区分された波長の光を提供し、

前記明瞭に区分された波長の光は合焦素子からターゲット面までの指標となる

ことを特徴とする距離測定装置。

【請求項 20】

10

距離測定装置であって、

光の波長に応じて位置が決定される焦点面に光を合焦させる手段であって、

ターゲット面が対応する各焦点面に位置する際にターゲット面上の各焦点位置にて光束中の各波長の光が反射され、

前記ターゲット面の前記焦点位置から反射された光束中の各波長の光を増幅する手段と、を備えた

ことを特徴とした距離測定装置。

【請求項 21】

請求項 20 に記載の距離測定装置において、

さらに、増幅された光の波長を測定する手段と、

20

増幅された光を平行光にする手段と、

増幅された光の非環状ビーム形状を修正する手段と、

増幅された光の単独縦モードを選択する手段と、を備えた

ことを特徴とした距離測定装置。

【請求項 22】

距離測定方法であって、

1 つ以上の波長を有する光のうちの一つの波長に対応して各位置が決まる各焦点面のうちの少なくとも一つの焦点面に一つ以上の波長を有する光を合焦させるステップと、

光の各波長に対応する各焦点面にターゲット面が位置するときターゲット面の焦点位置から各波長の光を反射させるステップと、

30

発振媒体を使用して、前記ターゲット面の前記焦点位置から反射された光束の各波長の光を増幅させるステップと、を備えた

ことを特徴とした距離測定方法。

【請求項 23】

請求項 22 に記載の距離測定方法において、

さらに、円錐状アドミタンス内だけで前記ターゲット面からの前記反射光を受光するステップと、

レーザー発振媒体内で受光した光を増幅させるステップと；

レーザー発振媒体からの前記増幅光を抽出するステップと、

前記抽出光の波長を測定するステップと、を備えた

40

ことを特徴とした距離測定方法。

【請求項 24】

請求項 22 に記載の距離測定方法において、

さらに、発振媒体からの光を平行光にするステップを備えた

ことを特徴とした距離測定方法。

【請求項 25】

請求項 22 に記載の距離測定方法において、

さらに、ターゲット面と発振媒体との間にエタロンを設けるステップを備えた

ことを特徴とした距離測定方法。

【請求項 26】

50

請求項 2 2 に記載の距離測定方法において、
光を合焦させるステップは、さらに、ターゲット面と発振媒体との間に回折光学素子を設けるステップを備えたことを特徴とした距離測定方法。

【請求項 2 7】

請求項 2 2 に記載の距離測定方法において、
さらに、反射防止膜を有する前記発振媒体の共振器内面を使用するステップを備えたことを特徴とした距離測定方法。

【請求項 2 8】

請求項 2 2 に記載の距離測定方法において、
さらに、部分的に透過性のある反射コーティングを有する前記発振媒体の共振器内面裏面を使用するステップを備えたことを特徴とした距離測定方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、距離測定装置および距離測定方法に関する。

例えば、本発明は、レーザーダイオードの波長依存型外部共振器フィードバック制御を用いた絶対距離測定装置および距離測定方法に関する。

【背景技術】

20

【0 0 0 2】

可変外部共振器ダイオードレーザー (E C D L) は、光を利用した試験及び測定装置に広く使用され、波長分割多重 (W D M) 光学音声及びデータ通信装置での使用が増加している。

波長変調は、波長をフィルタにかけることと、外部共振器の範囲を規定する 2 つのエンドリフレクタの間の光路長を変更することの組み合わせによって実行される。

外部共振器は、外部フィードバックリフレクタと、外部リフレクタに対して遠位側のレーザーチップ面によって形成される。

【0 0 0 3】

ダイオードレーザーはまた、測定ターゲット面にて反射または後方へ散乱された光がダイオードレーザーに再入射するのを許容して、ダイオードレーザーから出力される波長と振幅とが測定ターゲット面までの距離に応じて変調されるようにすることにより干渉計として使用されている。

30

この場合、レーザーは自己光混合状態で作動され、通常は単独のレーザーダイオード内で生じるレーザーダイオード面反射が生じるところ、外部測定ターゲット面から反射されたフィードバックがレーザーダイオード面反射の動作に干渉する。

これは、しばしば自己光混合と呼ばれる。

その結果発生する信号は、レーザー媒体によって増幅され、外部共振器の長さに応じて周期的に変化する信号を提供する。

【0 0 0 4】

40

絶対距離測定装置は、自己光混合原理に基づいて作られており、すなわち、レーザーダイオードの波長を変調させるか、又はレーザーダイオードから外部測定ターゲット面までの距離を変調させるかしたうえで、自己光混合信号と前記変調の関係解析して絶対距離測定値を決定する。

【0 0 0 5】

自己光混合原則に基づく絶対距離測定装置は、レーザーダイオードから出力される波長を、例えば、三角波 (triangular function) を描くように変化させることが一例として挙げられる。

ターゲット内部反射光と外部反射光との間の自己光混合干渉効果による変調されたレーザー波長の機能によりターゲット面から後方散乱された光はレーザー出力に大きな変動を

50

生じさせる。

レーザー波長の関数として、レーザー出力信号の干渉ピークの発生を測定することにより、ターゲットまでの距離を推測することができる。

【0006】

あるいは、たとえば圧電アクチュエータやラウドスピーカーなどの上にレーザーダイオード又はターゲットを配置することによってターゲットまでの距離を振動させることにより、絶対距離を得ることができる。

この場合も、ターゲットまでの距離と既知の波長の関数として、レーザー出力信号の干渉ピークを測定することによって、ターゲットまでの絶対距離を推測することができる。

【発明の開示】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、ターゲットまでの距離、又はレーザー波長は、絶対距離測定値を得るために変調されなければならない。

ターゲットまでの距離、又はレーザー波長を変調するのに必要な追加要素はレーザーダイオード自己光混合効果に基づく絶対距離測定装置のコストを上昇させ、複雑性を高める。

さらに、これら自己光混合型距離計は、レーザーの公称波長の変移によって精度が低下するが、これは周囲温度、自己発熱などの変化によってもたらされる可能性がある。

温度の変化は、モードホップを引き起こす場合もあり、これによっても測定精度が低下する。

20

【課題を解決するための手段】

【0008】

色分散合焦素子を備えた共鳴型外部共振器レーザーを使用して、測定ターゲット面までの絶対距離を判定する装置と方法を説明する。

色分散合焦素子は、光の波長に応じて色分散合焦素子からの距離が異なる焦点に、光を合焦させる。色分散素子は、共鳴型外部共振器の中の、半導体レーザー発振媒体とターゲット面との間に配置される。共鳴型外部共振器の一端はターゲット面によって形成され、もう一方の端は半導体発振媒体の遠位面によって形成される。

多重波長の要素を有してもよい光の合焦に色分散合焦素子を使用して、光の単独波長要素をターゲット面に正確に合焦する。ターゲット面に合焦されたこの光の波長は、レーザー発振媒体の導波路へのフィードバック信号として、もっとも効果的に結合又は反射される波長である。

30

従って、フィードバック信号は主に、ターゲット面の色分散素子によって正確に合焦された波長の光を含む。自己入射光の優勢な波長におけるレーザーのゲイン閾値を下げることにより、このフィードバック信号は、レーザー発振媒体の出力波長に強力な影響を与え、あるいは制御する。

誘導放出プロセスを通じて、発振媒体の高ゲインと強力モードの競合が、レーザーの出力の波長を色分散素子とターゲット面との間の絶対距離に対応させ、それによってターゲット面と色分散素子の間の絶対距離の測定値を提供する。

40

【0009】

ターゲット面に最も近いレーザーダイオード面は、本明細書では、同義的に近位面又は共振器内面と称する。

半導体レーザー発振媒体は、共鳴型外部共振器と光結合した近位面を被覆する反射防止(AR)膜を有してもよい。

反射防止膜の反射率は、例えば、約 3×10^{-3} 未満、約 1×10^{-3} 未満、約 5×10^{-4} 未満とすることが例として挙げられる。

これによって単独のレーザー共振器内の近接面フィードバックを抑制またはほぼ除去するが、さもなければ望ましい外部共振器フィードバックと競合し、スペクトルモードが不安定になる。

50

ターゲット面から最も遠いレーザーダイオード面は、本明細書では、同義的に遠位面又は裏面と称する。

レーザー発振媒体の遠位面には、部分的に透過可能な反射膜が提供されてもよく、ターゲット面までの絶対距離を判定するために、検出器によって放射波長が測定可能な共鳴型共振器からの十分な放射を発光またはリークする。

【0010】

外部共振器レーザーは、外部共振器内において潜在的に存在する多重モードから単独縦モードを選択するエタロンを含んでいてもよい。

ガウス焦点深度が十分に長い場合、1つ以上の縦モードがガウス焦点深度において十分に合焦してもよい。

エタロンは、レーザー発振媒体による増幅の縦軸光モードから1つを選択するように設計されている。

【0011】

エタロンは、レーザー発振媒体の光軸と相対的な非垂直配列で配置されてもよい。

【発明を実施するための最良の形態】

【0012】

図1は、レーザー発振媒体10を含む、自己光入射レーザーダイオード絶対距離測定装置(測定装置)5の第1の実施の形態の波長判定部を図解する。

レーザー発振媒体10は、遠位末端面12と近位共振器内面14によって規定される範囲を有する。レーザー発振媒体10は、分岐ビームパターンで放射する。

分岐ビームパターンは、コリメータレンズ20によってほぼ平行な光線にコリメートされ、その後、色分散合焦素子30によってターゲット面40上の1点に合焦させられる。色分散合焦素子は、波長が異なる光を異なる焦点面に合焦させる特性を持ち、その合焦位置は光の波長に依存するという特性を有する。

ターゲット面は、レーザーダイオードのゲインバンド幅の内側の少なくとも1つの波長の正確な焦点深度に位置する。

【0013】

レーザー発振媒体10は、レーザーの導波路構造によって決定される円錐状アドミタンス16を定義し、その中でターゲット面40から反射された光が近位面を経由してレーザー発振媒体10に再入射又は結合する。

ターゲット面40上の焦点位置からの反射(後方散乱)光は、円錐状アドミタンス16に入る。反射光結合が十分な強度を有するためにレーザーのゲイン閾値が実質的に下がる場合、発振媒体10は、誘導放出を通して反射光又は後方散乱光を増幅させる。

前述のように、共振器内面14の表面のARコーティングは、単独レーザー共振器の中で内部反射フィードバックを抑制、又はほぼ除去する。

従って、レーザーダイオードの出力波長は、外部共振器からもっとも効果的に反射又は結合された波長によって異なり、ターゲット面40の平面に合焦された波長である。

このように、レーザーダイオードの出力波長は、色分散合焦素子30とターゲット面40の間の絶対距離に対応する。

【0014】

図1に示す測定装置5は、レーザー発振媒体10と色分散合焦素子30の軸によって定義された光軸上に配置された素子を有する。長さ L_{e,x_t} の外部共振器は、レーザー発振媒体10の遠位面12と、ターゲット面40と、によって形成される。

従って、共振器は $\lambda = 2 / 2 L_{e,x_t}$ に従って間隔を空けた縦モード を支持することができる。光路長が約10ミリメートル(mm)、波長が約1550nmの共振器では、縦モード間の間隔は、約0.12nmである。

ゲイン閾値が最低(損失が最少)のモードは、発振媒体でのモード競合が強いため、レーザー波長を優勢に制御する。

【0015】

測定装置5は、例えば(A1, Ga)InP、AlGaAs、又はInGaAs多重量

10

20

30

40

50

子井戸あるいは量子ドット・ヘテロ構造などの、いずれか便利なタイプのレーザー発振媒体10を使用してよい。

レーザー発振媒体10は、例えば600 - 1500 nmの波長領域で発光するファブリー・ペロー式、エッジ発光、又はVCSEL単独空間モード半導体増幅器であってもよい。

New Mexico州AlbuquerqueのZia Laser, Incorporatedは、1200 nmを中心としたゲインバンド幅で、幅200 nmを超えるゲイン曲線を示すInGaAs量子ドット外部共振レーザーダイオードを製造している。

これらのパラメータは、この装置の様々なアプリケーションに適しているが、このデバイスはこれに限られない。

10

他にも多くの公称波長やゲイン曲線幅が、様々なアプリケーションで使用可能である。

当然のことながら、色分散合焦素子30の色分散特性を含む、光学系設計と組み合わせ、波長検出分解能は、装置の測定分解能を概ね決定し、レーザーゲイン曲線の幅は、装置の絶対測定範囲を決定する。

【0016】

ダイオードレーザーの導波路は一般的に、約10度から40度のいずれかの分岐角で、高分岐出力ビームを発生させる。

さらに、出力ビームは、非環状又は楕円形で、1つの軸に沿った分岐角と、別の軸に沿った分岐角とを有してもよい。

このような楕円ビームの結果、非点収差となり、楕円ビームは2つの異なる深度に合焦し、数ミクロン(μm)の深度不確実性の原因となる。

20

レーザー発振媒体10とコリメータレンズ20の間に配置された、非球面レンズ、弱円柱レンズ、又はアナモルフィックプリズムペア、あるいはその他いずれかの好適な現在周知又は今後開発される方法を用いて、このようなビーム非点収差を好適なレベルまで減少させてもよい。

【0017】

色分散合焦素子30は、光の波長に依存する距離に位置する焦点面に光を合焦させるいずれの光学素子であってもよい。

色分散屈折レンズ素子、及び回折光学素子は、そのような色分散合焦素子の例であって、色分散合焦素子30と焦点位置の間の距離は、放射波長の関数である。

30

この関係は分散定数 K_L を特徴とし、これは色分散合焦素子30の波長の変化で焦点距離の変化を割ったものと等しい。

K_L は、例えばおおよそ5 - 10 $\mu\text{m}/\text{nm}$ であるが、本装置は特定の分散定数値の範囲にも限定されない。

さらに、色分散合焦素子30として屈折レンズを採用する場合、 K_L は正の数でもよく、色分散合焦素子30として回折光学素子を採用する場合、 K_L は負の数でもよい。

【0018】

回折光学素子は、光軸に沿ったそれぞれの特定の位置で個別波長の光線を積極的に干渉させることによって合焦させる色分散素子である。

このような回折光学素子のよく知られた例の1つは、フレネルゾーンプレートである。

40

フレネルゾーンプレートは、放射対称光学素子であって、光不透過性の領域を有し、光透過性の領域と共に変化する。

代表的なフレネルゾーンプレートの中央リングの例示的模式図を図2に示す。

【0019】

フレネルゾーンプレートの光透過性及び光不透過性領域の半径は、ゾーンプレートを透過してきた光がフレネルゾーンプレートの光軸31上のある位置で積極的に干渉するように、幾何学及び三角関数要素によって決定される。

図3では、代表的なフレネルゾーンプレートの透過性中央領域と光不透過性周辺領域を示すが、平面波の光線32は、フレネルゾーンプレート33の不透明リングの外縁の位置34で回折され、光軸31上の位置36までの距離を移動する。

50

平面波の別の光線は、フレネルゾーンプレートまで光軸 3 1 に沿って移動し、フレネルゾーンプレートの平面から同じ位置 3 6 までの距離 ρ_0 を移動する。

2つの異なった経路を移動する光線は、両者の間の位相差が、点光源から放射される光の波長の整数である場合に、積極的に干渉する。

数学的には、この状態を以下のように表現できる。

【 0 0 2 0 】

【 数 1 】

$$\rho - \rho_0 = m\lambda \quad (1)$$

【 0 0 2 1 】

ここで、 $m = 1, 2, \dots$ は整数である。

【 0 0 2 2 】

半径 a_1 の中央絞りで、明領域と暗領域の間の連続する各 n 番目の環状境界の半径は、 $r_n = n^{1/2} a_1$ で求められる。通常、フレネルゾーンプレートのリングの数が大きいほど、焦点位置の光度は高くなり、領域の深度は浅くなる。

このように、いくつかのリングからなるフレネルゾーンプレートは一般的に、多くのアプリケーションに適しており、リングの理想的な数は、シミュレーション又は実験によって決定及び/又は確認される。

そのようなフレネルゾーンプレート 3 3 からの光線は、焦点位置 f_m () で合焦するが、この位置は以下の式で求められる。

【 0 0 2 3 】

【 数 2 】

$$f_m(\lambda) = a_1^2 / (m\lambda) \quad (2)$$

【 0 0 2 4 】

このように、フレネルゾーンプレート 3 3 の焦点距離は、放射波長 に依存する。従って、適切なフレネルゾーンプレートは、色分散素子 3 0 として使用可能な 1 種類の素子である。

【 0 0 2 5 】

自己光入射レーザーダイオード絶対距離測定装置 5 において色分散素子として使用可能なゾーンプレートは、いずれかの好適な現在周知又は今後開発される方法によって製造することができる。1つの経済的なタイプの回折ゾーンプレートは、従来のガラス上薄膜クロム技術などによって製造される。別の回折ゾーンプレートは、自己入射レーザーダイオード絶対距離測定装置 5 の色分散素子として使用可能であるが、“*Diffraction lenses for chromatic confocal imaging*” by Dobson et al., *Applied Optics*, Vol. 36, No. 20, 10 July 1997, pp. 4744 - 4748 に記載されており、本明細書に参照して援用する。この参照文献によれば、この回折ゾーンプレートは 4 位相レベル回折レンズであって、電子ビームリソグラフィを使用して水晶ウェハからパターン転写され、その後フッ酸槽で化学的にエッチングされる。

【 0 0 2 6 】

別のタイプの回折光学素子も知られており、例えば多重レンズでは、異なった光学特性を有する材料層が積層されている。カスタム設計及び製造された回折光学レンズ及び/又はレンズアレイは多くのメーカーから入手可能で、例えば *Digital Optics Corporation*, 9815 David Taylor Drive, Charlotte, North Carolina, USA がある。回折光学レンズ設計技術は、1970年 Hans Peter Herzig, Taylor & Francis, London 編集の *MICRO-OPTICS: Elements, Systems and Applications*, 及び 2002年 Victor A. Soifer, John Wiley and Sons, Inc., New York 編集の *Me*

10

20

30

40

50

thods for Computer of Diffractive Optical Elementsにも記載されている。

【0027】

色分散合焦素子30によって作られた焦点は、ガウス焦点深度(GDOF)を特徴とすることができ、それを越えると干渉性波面の位相が放射波長の4分の1以上の差にならない距離として定義される。ガウス焦点深度を図4に示す。

【0028】

図4は、図2及び図3に示すフレネルゾーンプレート33などの色分散合焦素子30を通して透過した結果として合焦する光束を図解する。明確にするために、焦点領域は高倍率で拡大され、色分散合焦素子30は図4に示さない。図4に図示したビームには、 λ_1 と λ_2 の2つの波長要素がある。第1波長要素 λ_1 のエンベロープ42は、色分散合焦素子30からの距離 z_1 において、最適に合焦する。

ガウス焦点深度の中心におけるビーム幅は、式(3)に従って波長 λ_1 及びガウス深度と関係するビームウェストすなわちスポットサイズ w_L を特徴とし、ここで w_L は色分散合焦素子30でのビーム半径であり(図1に示す)、NAは色分散合焦素子30の開口数であって、焦点距離で分割された絞り径として定義される。最少焦点位置 z_1 は、色分散合焦素子30からの距離 z_1 に生じ、定位相46の表面は、図4では垂直(平面)である。

【0029】

【数3】

$$GDOF = 2\pi\omega_1^2 / \lambda_1 = \frac{2\lambda_1}{\pi} \left(\frac{z_1(\lambda_1)}{\omega_L(z_1(\lambda_1))} \right)^2 \approx \frac{\lambda_1}{NA} \quad (3)$$

【0030】

ビームの第2波長要素のエンベロープ44は、図4に点線で示される。波長 λ_2 を有する第2波長要素は、色分散合焦素子30からの距離 $z_2 = z_1 + z$ と、第1波長 λ_1 の最適焦点からの距離 z において、最適に合焦する。最適焦点位置間の距離 z は、上記式(2)によるビーム要素の波長 λ_1 と λ_2 と、色分散合焦素子30の分散定数とに依存する。

【0031】

色分散合焦素子30は、異なる焦点面で異なる波長の光線を集束するため、公称ガウス焦点深度は、図4の実線及び点線で概略的に示されるように、 λ_1 及び λ_2 などの異なった波長のスペクトルの最適焦点を含むことになる。従って、焦点深度は、装置の深度分解能(測定分解能)一次経路に貢献する。特に、分散定数 K_L と焦点深度の組み合わせは、波長の不確かさ、別名、分解能バンド幅 $\Delta\lambda_{CD}$ 、と関連する可能性があり、ターゲット面40から反射して、レーザー導波路発振媒体10と再結合する光の半値全幅(FWHM)バンド幅に、名目的に対応する。この関係を簡単に示すと次のようになる。

【0032】

【数4】

$$\Delta\lambda_{CD} = GDOF/K_L \quad (4)$$

【0033】

式(4)によると、ターゲット面40から反射して、レーザー導波路発振媒体10と再結合する光の分解能バンド幅は、ガウス焦点深度に比例し、分散定数 K_L に反比例する。従って、装置の分解能を可能な限り高く(波長の不確かさを低く)するためには、最も狭い反射バンド幅が好適で、これは大きい分散定数 K_L と、小さいガウス焦点深度GDOFを意味する。ガウス焦点深度は、式(3)によると、開口数に関係しているので、ガウス焦点深度を小さくすると、開口数NAは必然的に大きくなる。

いくつかの多層回折光学素子(DOE)では、達成可能な開口数が干渉効果によって制限され、つまり光路に沿って後に発生する回折光学素子の経路の突出が、光路に沿って先

10

20

30

40

50

に発生するDOEの特性によって回折した光線の経路をさえぎり、素子の透過を減少させるとともに、焦点をぼかす。

屈折型の色分散合焦素子30を使用することによって、又は1つ以上の従来レンズと組み合わせて「複合」色分散合焦素子30を形成することによって、色分散回折光学素子からのビーム又はスポットを受光し、それを再拡大して開口数を大きくし、開口数の増大を達成する。このような多重レンズを用いた「複合」色分散合焦素子を提供する1つの可能な構成は、Dobson et al.による前述の記事に記載されている。

【0034】

下記の表1に、自己入射絶対距離測定装置の設計に使用される可能性のある一連のパラメータをまとめる。

【0035】

【表1】

パラメータ	値	内容
$\Delta \lambda_{\text{GAIN}}$	100 nm	レーザー・ゲイン・バンド幅
K_L	10 ミクロン/nm	縦方向色分散係数
L_{EXT}	10 nm	外部共振器長さ (公称値)
λ	1550 nm	レーザー波長 (公称値)
Range	1 mm	測定距離
$Z_L (\lambda)$	5 mm	ガウス焦点長さ
$\omega_L (z_L (\lambda))$	1 mm	色分散合焦素子のビーム半径
GDOF	25 ミクロン	ガウス焦点深度
$\Delta \lambda_{\text{CD}}$	2.5 nm	分解能バンド幅
$\Delta \lambda_{\text{EXT}} = \lambda^2 / 2 L_{\text{EXT}}$	0.12 nm	外部共振器モード間隔

【0036】

ターゲット面40で合焦する波長は、ターゲット面40によって反射され、光学系を通り、共振器内面14を通過して横断し、レーザー発振媒体10まで戻ってくる。発振媒体は、円錐状アドミタンス16の中にあり、かつ発振媒体の導波路絞りの中にある光だけを受光する。このように、導波路構造は、ターゲット面から戻ってくる最適な合焦光線を優勢に許可する傾向のある間隔フィルタの役割を果たす。円錐状アドミタンス16の外側では、光線は、厳しすぎてレーザー発振媒体10に入れない軸外軌道を有する。円錐状アドミタンス16を、図1に図式的に示す。

【0037】

外部共振器レーザーのゲイン閾値は、円錐状アドミタンス内に戻る波長分布で下がり、発振媒体10ともっとも効果的に再結合する波長でレーザー発振が起こるようになっていく。この時、レーザー発振媒体10によって光が増幅され、色分散素子30によってターゲット面40に最適に合焦される波長に対応する優勢波長の干渉性波動を、レーザーから放射させる。この放射の波長は、いずれか都合のよい現在周知又は今後開発される技術を用いて測定することができる。

【0038】

上記の説明に従って、絶対距離測定装置6から発せられた放射の波長を測定する、波長測定装置60の例を、図5に示す。

波長測定装置60は、絶対距離測定装置6の外部共振器内に配置されたビームスプリッタ50から回折された光を受光する。

ビームスプリッタ50は、波長測定装置60の入力絞りに光線を集中させる焦点レンズ55 (オプション) に、平行光線を導く。

波長測定装置60は、例えば、検波計、分光計、又は波長感応性フォトダイオードであ

10

20

30

40

50

ってもよい。好適な波長感应性フォトダイオードは、Pacific Silicon Sensors, Inc., 5700 Corsica Ave. Westlake Village, CAより購入可能である。次に波長測定装置60は、検出光の波長を示す信号を出力し、色分散合焦素子30とターゲット面40の間の距離を順次表示する。

しかし、ビームスプリッタ50は、外部共振器からレーザー発振媒体10にフィードバックされた光の光出力を減少させるので、潜在的なSN比と、結果的に絶対距離測定装置6の測定性能を下げる可能性がある。

【0039】

図6は、レーザー発振媒体10の裏面12からの光を受光するために設けられた波長測定装置90を示す。上記と同様、波長測定装置90は、例えば、検波計、分光計、又は波長感应性フォトダイオードであってもよい。裏面12上の反射膜は、検出可能な放射量を発光するため、部分的に透過性であってもよい。

裏面12からの発散光(放射)は、コリメータレンズ70によって視準され、入力焦点レンズ80によって、波長測定装置90の入力に合焦されてもよい。この構成には、発振媒体を横断する前に外部共振器から光を抽出するというより、発振媒体を横断した後にレーザー外部共振器から発光された光を標本抽出できるという長所があり、波長判定外部共振器からレーザー発振媒体にフィードバックされた一次測定信号光の光出力を減少させないようにしている。

【0040】

別の方法として、所定のアプリケーションに好適な精度を提供する、現在周知又は今後開発される別の波長測定手段が用いられてもよい。

例えば、半導体光学増幅器(SOA)と一体化した広範可変レーザーの発光波長を監視する方法が、“Wavelength Monitoring in Widely Tunable Sampled-Grating DBR Lasers Integrated with Semiconductor Optical Amplifiers” by L. Majewski, J. Barton, L. A. Coldren, Y. Akulova, and G. Fish, Proc. CLEO/QELS 2002, paper no. CWK4, Long Beach, CA, (May 19-24, 2002) (c) Optical Society of Americaの記事に記載されており、これを本明細書に参照して援用する。

先に公開された波長測定方法より精度が劣るものの、この方法は、その代わりにいくつかのアプリケーションでは有利なコストパフォーマンスを提供する。論文記載のIC構造を使用して、ICのSOA部での透過電流がICのレーザー部のレーザー発光波長に依存することを利用する。

透過電流は、レーザー波長のほぼ線形機能であるが、精密ラボ用波長計を使用したキャリブレーションセットアップで精密に測定される多くの波長に対応する高次の命令機能又は参照表を使用して、精密外部波長検出器に対して比較的精密に較正することもできる。

その後、動作中に、様々な周知の精密流れ測定回路を、望ましければICに組み込んで、使用して、透過電流を測定でき、測定された透過電流から波長をデコードすることができる。温度の影響による潜在的な不具合をなくすため、周知のレーザーダイオード温度安定化技術を使用してもよい。

又は、波長対透過電流の関係の温度依存補正に装置の温度を関連づける較正表と連動して、温度検出素子を使用してもよい。波長監視にこのような手段を用いる場合、先に公開された構成とは対照的に、外部検波計、又は関連する光学部品は不要で、コストの削減と装置の小型化が達成される。

【0041】

測定装置5の動作に関連して上に述べたように、色分散素子30は、装置がガウス焦点深度内で合焦する波長に対応する2つ以上の縦モードを支持するような振幅の色分散定数 K_L を有する。

例えば、表1記載のパラメータを使うと、ガウス焦点深度は25nmで、式(4)によ

10

20

30

40

50

れば、分解能バンド幅は 2.5 nm となり、それに対してモード間隔は 0.12 nm しかない。従って、分解能バンド幅には、潜在的に複数の縦モードが含まれる。

しかし、ダイオードレーザーゲインは非常に高いので、モード競合は最低のゲイン閾値、すなわちターゲット面で最適に合焦する波長を有するモードに非常に有利で、そのため外部共振器からレーザー発振媒体 10 に戻って結合する最少損失及び/又は最大光出力を有する。

理想的には、このため、最適合焦波長はレーザー発振波長を優勢、又は完全に判定し、代わって対応する焦点距離、つまりターゲット面までの測定距離を高い分解能と精度で表示する。

一般的に、ダイオードレーザーゲインは非常に高いので、その結果得られるレーザー発振の線幅は、分解能バンド幅よりも非常に小さく、縦モード間隔よりも小さい。 10

このような場合、測定精度は、外部共振器レーザー装置の内在的要因よりも、波長検出方法や、ターゲット面の粗さなどの別の要因によって主に制限される可能性がある。

【0042】

多くの場合、波長検出方法は、ある時間帯にわたる波長関連信号の統合を含む。そのような場合、明らかな検出レーザー波長は、モードホップや、振動及び/又はターゲット面のばらつきなどによる共振器長さのばらつき、などの様々は潜在的原因からの異なる信号の統合のため、広がったバンド幅を有してもよい。

原因にかかわらず、多くの場合、結果的な「広い」波長検出信号は、ターゲット面のもっとも代表的な位置で最適に合焦する波長に集中する。 20

中心波長、又は検出レーザー波長出力スペクトルの「重心」又は平均を事実上決定する信号取得及び解析技術を使用することによって、明らかな波長検出信号のバンド幅よりも細かいレベルでも、まだ測定分解能を決定することができる。

例えば、測定分解能は、レーザー共振器モード間隔に、例えば前述の設計パラメータの一式の例に対する波長変化の約 0.12 nm に、対応するレベルで達成できる。

これは、 $K_L = 10 \text{ um/nm}$ の時に約 1.2 um の絶対距離測定装置分解能と一致する。

【0043】

ある程度予測不可能なモードホップを支持し得るレーザー測定装置の代替品として、エタロンを測定装置の外部共振器に挿入してもよい。 30

エタロンは、装置の測定範囲内で発生する波長に合焦する分解能バンド幅 $\Delta\lambda$ に収まる複数の潜在モードから、1つだけを実際に選択するため、デバイスが離散波長の櫛歯パターンの発振だけをするような、特定の波長だけを通過させる。

図7は、下記の方法で望ましくないモードを抑制するために、エタロン 100 を組み込んだ測定装置 8 を示す。

エタロン 100 は、コリメータレンズ 20 と色分散素子 30 の間の外部共振器に位置する。

エタロン 100 は、わずかな入射角を提供するために設けられ、測定装置 8 のレーザー発振媒体 10 の望ましい動作を中断させる再帰光を防止する。

【0044】

例えば表1記載のパラメータを使って、測定装置 5 - 7 の動作を図8に定性的に図解する。 40

図8は、外部共振レーザーの支持縦共振モード波長 λ のスペクトル上に重ねられたレーザー発振媒体 10 のゲインスペクトル 110 を示す。

符号 121 は、2つの隣接する縦モードを示す。

支持縦共振モード波長 λ は、議論の目的にとって理想的であることが、好ましい。一般的に、操作上の外部長さに多少の変化をもたらす表面粗さ、及び/又は振動のため、実際の装置には、付加的な支持波長が存在するのが普通である。符号 130 は、既述の動作原則に従ってレーザー発振媒体と再結合した光フィードバックスペクトルを示す。光フィードバックスペクトル 130 は、既述の通り、式(4)に従って、分散定数 K_L とガウス焦 50

点深度によって決定された分解能バンド幅 c_D を有する。エタロンによって通過させられた離散波長の代表的な櫛歯パターン 135 も、図 8 に示される。

例えば図 8 の例では、エタロンがなくても、約 6 力以上の潜在的縦モードが、分解能バンド幅 c_D 内に収まっている。

【0045】

2つの外部共振器モードが、図 8 に示す 1 組のモード 122 のように近似のフィードバックレベルを有する状態では、複数の挙動が観察される。

しかし、必要な場合や望ましい場合には、共振器内エタロン 100 を使って多重モード挙動を抑制してもよい。

これにより、離散波長の波長でレーザー発振させるだけで、予測不可能な多重モード挙動を効果的に抑制又は除去することができる。

フィネス f のエタロン及び自由スペクトラル範囲 (FSR) を挿入することで、フィードバック光信号の選択性が向上する。単独縦モードを選択するため、自由スペクトラル範囲とエタロンの手法は式 (5) となるように選択され、ここで自由スペクトラル範囲は式 (6) によって計算され、 t は光線の方向に沿った有効な厚みであり、 n はエタロンの屈折率である。

【0046】

【数 5】

$$\frac{FSR}{f} \leq 2 \cdot \Delta\lambda_{EXT} \quad (5)$$

20

【0047】

【数 6】

$$FSR = \frac{\lambda^2}{2nt} \geq \frac{1}{2} \Delta\lambda_{CD} \quad (6)$$

【0048】

エタロンの厚み t は、式 (6) で表されるように、自由スペクトラル範囲が光フィードバックスペクトル 130 の分解能バンド幅 c_D の半分よりも大きくなるように、選択される。

30

表 1 記載のパラメータのため、これは約 1 mm 未満の光学的厚さに対応する。

表面からの反射がレーザー発振媒体 10 と再結合しないように、エタロンは、レーザービームに対して 1 - 2 度の角度で傾いてもよい。

式 (5) で表されるように、エタロンスペクトラル通過帯域は、光フィードバックスペクトル 130 内で支持される波長を通過させられるほど十分に広く、そして光フィードバックスペクトル 130 内の他の外部共振器側モードを抑制できるほど十分に狭く、設計されている。

エタロンフィネス f 、は、エタロンの好適な透過線幅で分割されたエタロンの自由スペクトラル範囲によって与えられる。

隣接する外部共振器モードがフィルタにかけられる状態では、エタロンフィネスの限界が低くなる。

40

【0049】

式 (5) の因数 2 は、エタロン 100 を通過するダブルパスを意味する。

レーザーが単独モードで動作するため、エタロン 100 の通過域が、外部共振器モード間隔の 2 倍、つまり本明細書で使用される設計パラメータの例では 0.24 nm、と同等又はそれより小さくなければならない、という条件がある。

式 (6) で計算される $FSR = 1, 25 \text{ nm}$ を使うと、手法は少なくとも $f > 5$ でなければならない。

従って、エタロン 100 を使うと、レーザーは、エタロンによって透過され、光フィードバック曲線 130 のピークに最も近い波長を有するモードを発振するだけでよい。

50

エタロン 100 を使用する時は、値 E_T (図 8 に定性的に示す) によって分離されたディスクリット波長のみがエタロンによって変えられるので、 E_T の波長変化に対応する蓄積量によってターゲット面までの距離が変化する時だけ、測定装置 8 の測定距離は、あるディスクリット測定値から別の値に変化するのが好ましく、これは一般的な意味では、縦共振器モード間隔の少なくとも数倍になる。

このように、一般的に、測定装置 8 の潜在的測定分解能と精度は、測定装置 5, 6 及び 7 の潜在的測定分解能と精度よりも劣る。

しかし、測定装置 8 は、多くのアプリケーションに十分な分解能と精度と同時に、より安定した、又は予測可能な、動作も提供する。

【0050】

絶対距離測定装置 5 において重要な設計の検討事項は、レーザー発振媒体 10 の共振器内面 14 の反射率である。

一般的に、レーザー発振媒体 10 の面 12 と 14 の間だけを循環する光に対して、外部レーザー共振器内で循環する光の効果を最大限に引き出すために、この反射率をできるだけ低くすべきである。共振器内面 14 の反射率が、ターゲット面 40 の反射率に関連する特定の臨界値よりも大きい場合、外部共振器は発振波長を制御できなくなり、装置は動作しない。

共振器内面 14 対ターゲット面 40 の反射率の安定基準の詳しい処理は、"Bistability in Grating-Tuned External-Cavity Semiconductor Lasers," by Zorabedian et al., IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. QE-23, No. 11, November 1987 に記載されており、これを本明細書に参照して援用する。

【0051】

r_0 はレーザー共振器の裏面 12 の振幅反射率で、 r_{eff} は共振器内面 14 とターゲット面 40 によって形成された複合外部共振器の前面の効果的反射率であるとする、外部共振器レーザーの発振条件は式 (7) で表され、ここで g はレーザーゲイン、 α_m はモード損失、 l_D はレーザーダイオード長さ、 ω はレーザー周波数、 $\tau_D = 2nl_D/c$ はレーザーダイオード往復移動時間、 r_0 はレーザーダイオードの裏面 12 の振幅反射率、そして r_{eff} は、外部共振器ターゲット面 40 とレーザーダイオードの内部共振器内面 14 の有効な振幅反射率である。

【0052】

【数 7】

$$r_0 e^{(g-\alpha_m)l_D} e^{i\omega\tau} r_{eff} = 1 \quad (7)$$

【0053】

r_{eff} は式 (8) として定義することができ、ここで r_i と r_e は、内部レーザー共振器内面 14 と外部共振器ターゲット面 40 の振幅反射率、 τ_e はレーザーダイオードに戻る外部共振器の輝度結合係数、そして $\tau_e = 2L_{ext}/c$ は、外部共振器の往復移動時間である。

【0054】

【数 8】

$$r_{eff} = \frac{r_i + \sqrt{\eta} r_e e^{i\omega\tau_e}}{1 + r_i \sqrt{\eta} r_e e^{i\omega\tau_e}} \quad (8)$$

【0055】

1 に等しい式 (7) で、往復ゲインの振幅を設定することにより、閾値ゲインが求められる。

この状態では、次の式による。

【0056】

10

20

30

40

50

【数 9】

$$g = \alpha_m - \frac{1}{l_D} \ln(r_0 | r_{eff} |) \quad (9)$$

【0057】

フィードバックのある最大閾値ゲインがゼロの閾値ゲインよりも大きい場合、レーザーは外部共振器ではもはや制御できない。

g を、外部フィードバック g_{ext} を含むゲイン閾値と外部フィードバック g_i を含まないゲイン閾値との差と定義すると、次の式になる。

【0058】

【数 10】

$$\Delta g = g_{ext} - g_i = -\ln(|r_{eff}|/r_i) \quad (10)$$

【0059】

モード損失は単独レーザーダイオード及び外部共振器レーザーダイオードと等しいと仮定すると、式(10)より、有効外部共振器反射率 r_{eff} がレーザー発振媒体10の内部共振器内面14の反射率 r_i よりも小さい時、外部共振器はレーザー発振を制御できなくなることがわかる。

従って、外部共振器がレーザー発振を制御できなくなる条件は、 $g > 0$ の時である。

【0060】

外部フィードバック g_{ext} を含むゲイン閾値と外部フィードバック g_i を含まないゲイン閾値との間のゲイン閾値差、 g は、反射率の指数を通じて半導体キャリア密度とも関係している。キャリア密度は周波数の機能とともに変化するので、反射率の指数を通じて、周波数の機能とともにゲイン変化に影響を及ぼす。

この関係は式(11)で表すことができ、ここで n_0 は閾値での単独レーザーの反射指数で、 n は反射指数における架空の変化に対する現実の比率として定義される。

キャリア密度の変化によるレーザー線幅上の拡張効果のため、 n はしばしば線幅強化係数と呼ばれる。

【0061】

【数 11】

$$n = n_0 + \alpha(c/2\omega)\Delta g \quad (11)$$

【0062】

ターゲット面40までの距離は、レーザー導波路に再結合する光フィードバックスペクトルの中心波長を決定する。上に述べたとおり、光フィードバックスペクトルのバンド幅の中には、多くの外部共振器が存在してもよい。最も低いゲイン閾値を有するモードの波長で発振するが、これはターゲット反射から発生する光フィードバックスペクトルのピークに近い。これはモード競合によって発生する。しかし、近接レーザー面の残留反射を伴う外部共振器の干渉のため、等式(8)に従って、 r_{eff} の値は、反射光の周波数に応じて変化する。従って、等式(10)で示されるゲイン曲線は、発振挙動を表し、フィードバック周波数としての1組の最大値と最小値を通過する。この挙動は図9に図解されており、外部共振器波長の安定性と、従って本明細書に開示される測定装置の操作性とに関連する、重要な関係を示している。

【0063】

図9は、波長の変化に伴う閾値ゲインの計算された挙動を示し、ここでゲイン閾値は、単独レーザーダイオードチップ自由スペクトル範囲に対応する単位で、波長と対比して、グラフ表示されている。x軸に沿って6.28単位毎にゲインが1周するように、x軸の単位はラジアンである。曲線の最小値(すなわち最少閾値ゲイン)は、外部共振器によって形成された位相(ターゲット面40)が、レーザー発振媒体10の近位共振器内面14

10

20

30

40

50

によって反射された波の位相を含む発振媒体に、積極的に干渉するような波長を示す。図 9 に示される 3 本の曲線は、絶対距離測定装置 5 と共に使われるターゲット面 40 の有効反射率 R_{ts} の 3 つの異なる値に対応する。一番下の曲線の値は 1×10^{-2} 、中央の曲線の値は 4×10^{-3} 、そして一番上の曲線の値は 1×10^{-3} である。発振媒体 10 の共振器内面 14 の反射率は、いずれの場合も、 1.5×10^{-4} であった。

【0064】

$\gamma = 0$ では、上に述べたとおり、次に発生する内部反射波への外部反射波の干渉の最大値と最小値を通じてフィードバック周波数が同調すると、ゲインは正弦波に変調される。この結果、波長に対するゲイン閾値の変化に応じて、対称的で完全な正弦波信号（図示せず）が発生する。しかし、線幅強化係数の非ゼロの値では、異なる挙動が見られる。図 9 に示される 3 本の曲線では、線幅強化係数の値は、 $\gamma = -5$ である。このような非ゼロでは、それぞれの解の周波数は、式 (11) で求められる屈折指数への変化によって発生するゲイン依存半導体位相変化による $\gamma = 0$ 値に関して、不均等に「引っ張られる」。最大の引きは、外部フィードバックがない時、共鳴外部フィードバックの周波数（最少閾値）と、単独レーザーダイオードの縦モードとの間で発生する。最少の引きは、外部フィードバックがない時、非共鳴外部フィードバックの周波数（最大閾値）と、単独レーザーダイオードの縦モードの中間にある周波数との間で発生する。この引き効果の結果、図 9 記載のゲイン閾値特性に歪みを生じ、完全に対称的な正弦波パターンではなくなる。

【0065】

フィードバック振幅の値がターゲット面の反射 R_{ts} を増加させることによって増加すると、式 (9) に従って閾値ゲインが減少し、歪みがあまり目立たなくなる。

ターゲット反射率 1×10^{-2} に対応する図 9 の一番下の曲線では、歪みは比較的小さく、最大閾値と最少閾値の間に縦線を引く位置に近づくだけである。

ターゲット反射がこの値の時、レーザーは安定した、単独モード動作を示す。 $R_{ts} = 4 \times 10^{-3}$ に対応する次の曲線では、任意の周波数に対して 2 つ以上のゲイン閾値が存在するように、歪みは縦線を越えている。従って、共振器内面 14 から反射された波の、ターゲット面 40 から反射された波への干渉による、ゲインの比較的大きな変動のため、ゲイン特性が再入し、複数の閾値を有する周波数領域を作る。最低ターゲット反射率 1×10^{-3} に対応する一番上の曲線では、ゲイン特性がゼロ上にあり、ターゲット反射率の値がこれほど低い時、外部共振器は発信を制御できなくなる。

【0066】

図 9 に見られるように、 $\gamma = -5$ の線幅強化係数と 1.5×10^{-4} の共振器内面 14 反射率が基礎パラメータと見なすと、ゲインプロファイルは、約 1×10^{-2} より小さいターゲット面 40 の反射率 R_{ts} の値のため、再入する。

このように、レーザーダイオード絶対距離測定装置 5 が単安定状態で動作するためには、 1×10^{-2} は、この仮定の 1 組のパラメータにとって、ターゲット面の反射率 R_{ts} の臨界値である。

ゲインプロファイルが再入するターゲット反射率の値は、共振器内面反射率に依存する。

任意の 1 組の設計パラメータでは、ターゲット反射率の臨界値は、通常、共振器内面反射率の値に対応する。このように、レーザーダイオード絶対距離測定装置 5 の安定動作を維持しながら、低いターゲット反射率にする 1 つの方法は、共振器内面反射率を減少させることである。

【0067】

図 10 は、ターゲット面 40 の反射率 R_{ts} と比較した共振器内面 14 の反射率 R_i の臨界値のグラフである。

式 (10) によれば、ゲイン閾値は、レーザー発振媒体 10 の共振器内面 14 の反射率と比較した、ターゲット面 40 を含む外部共振器の有効反射率の割合に依存する。図 10 は、絶対距離測定装置が安定した単独モード出力を操作する値を示す。図の 3 本の線は、線強化要素の異なる値に対応する。線は、レーザー発振媒体 10 の共振器内面 14 の反

10

20

30

40

50

射率 R_i と比較したターゲット面の反射率 R_{ts} の割合に基づいて、図 9 で図解した再入拳動などの不安定な拳動の領域から、安定拳動の領域を分離する。図に見られるように、安定拳動の最大の領域は、線強化係数 の最少絶対値に対応する。

【0068】

有限線幅強化係数 のケースを参照して上に述べた処理は、共振器内面 14 の反射率に関連して、ターゲット面 40 の反射率として容認できる値に、いくつかの限界を設定する。

例えば、図 10 によれば、レーザー発振媒体 10 の共振器内面 14 の反射率が 5×10^{-4} の時、絶対距離測定装置が安定状態で動作するために、線幅強化係数が -7 の場合、ターゲット面の反射率は約 5% を超える必要がある。線幅強化係数が -5 の場合、ターゲット反射率は 2.5% と低く、絶対距離測定装置 5 は依然安定モードで動作する。線幅係数が -3 しかない場合、ターゲット反射率は 1% と低く、絶対距離測定装置はまだ安定モードで動作する。線幅強化係数 の値は、レーザーダイオードの構造に大きく依存し、レーザーゲインバンド幅のエッジ付近のレーザー入射の流れや動作からも影響を受ける。実際問題として、動作可能な線幅強化係数 を提供するレーザーダイオードは入手または製造可能であり、測定装置 5 の動作安定性を保証するため、容易に指定及び/又は変更、又は制御可能な一次要素は、共振器内面 14 の反射率である。

【0069】

5×10^{-4} 以下の共振器内面反射は、Sacher Lasertechnik, LLC, 5765 Equador Way, Buena Park, CA 90620, U.S.S 及び Sacher Lasertechnik GmbH, Hannah Arendt Strasse 3-7, D-35037 Marburg, Germany より、市販で入手可能な装置として提供されている。このような反射率の共振器内面の製造方法は、Sacher の米国特許番号 No. 6,297,066 に公開されており、これを本明細書に参照して援用する。さらに、本明細書に全文を参照して引用される "Broadband multilayer antireflection coating for semiconductor laser facets" by Braun et al. (Optics Letters, vol. 20, no. 10, May 15, 1995) では、 Al_2O_3 , Si 及び SiO_2 の 3 層反射防止膜を既述しており、1550nm で動作するレーザーのバンド幅上に 1×10^{-6} の反射率しかないレーザーダイオード面を提供する。1310nm 発光 InGaAsP レーザーでは、 3×10^{-6} の面反射と 30nm のバンド幅になる。3 つの材料の反射指数は、1.57、3.54、及び 1.44 である。3 層の膜厚は、0.278、0.099、及び 0.054 である。多層コーティングは、1550nm InGaAsP ダイオードレーザーに適用される。このような反射防止膜は、絶対距離測定装置 5 の構成に適切な性能を提供する。

【0070】

一般的に、図 9 及び 10 に示されるデータによれば、共振器内面 14 の反射率よりも 10 倍から 100 倍広い範囲の有効ターゲット面 40 の反射率は、レーザーダイオード絶対距離測定装置を安定動作させるのに適している。多くの未仕上げ圧延シート金属の自然反射率は、0.3 - 0.8 の範囲、すなわち 1×10^{-3} の範囲の共振器内面 14 の反射率よりも 300 倍大きい有効ターゲット面 40 の反射率と共振器内面 14 の反射率の間の約 100 倍の比率を達成するためには、約 3×10^{-3} 以下の共振器内面 14 反射率が好適である。ターゲット面の変動が比較的大きい状態で安定動作が望まれる場合は、約 1×10^{-3} 以下の共振器内面 14 反射率が好適であり、ターゲット面の変動がより大きい状態で、さらに安定した動作が望まれる場合は、約 5×10^{-4} 以下の共振器内面 14 反射率が好適である。仕上げ及び/又は研磨仕上げ面の反射率は、さらに高い。このように、外部共振器で他の様々な光出力損失を許しても、安定動作に多種多様なターゲット面を提供する測定装置 5, 6, 7 又は 8 を提供することができる。

【0071】

10

20

30

40

50

本発明は、上に概要説明された例示的实施の形態に関連して説明したが、多くの代替、改造、及び変形が当業者にとって明らかであることは自明である。従って、上記本発明の例示的实施の形態は、説明を意図したもので、これらに限定されない。本発明の精神と範囲から逸脱することなく、様々な変更がなされてもよい。

【産業上の利用可能性】

【0072】

本発明は、距離測定装置および距離測定方法に利用できる。

【図面の簡単な説明】

【0073】

【図1】色分散素子を有する外部共振器を使用した絶対距離測定装置の波長判定部を示す図。 10

【図2】フレネルゾーンプレートの形式で色分散素子の例を示す図。

【図3】図2のフレネルゾーンプレートに関するパラメータを示す図。

【図4】色分散素子によって合焦されたガウスビームのビームウェスト (beam waist) と、ガウス焦点深度を示す図。

【図5】ビームスプリッタからの測定信号取得の例示的模式図。

【図6】レーザー発振媒体の裏面からの測定信号取得の例示的模式図。

【図7】単独縦モードを選択するためのエタロンの使用を示す例示的模式図。

【図8】反射光のスペクトルをエタロンのフィネスと比較する例示的模式図。

【図9】外部ターゲット反射率の様々な値について、単独レーザーダイオードと波長の関係に関連した外部共振器のゲイン閾値の例示的挙動を示す図。 20

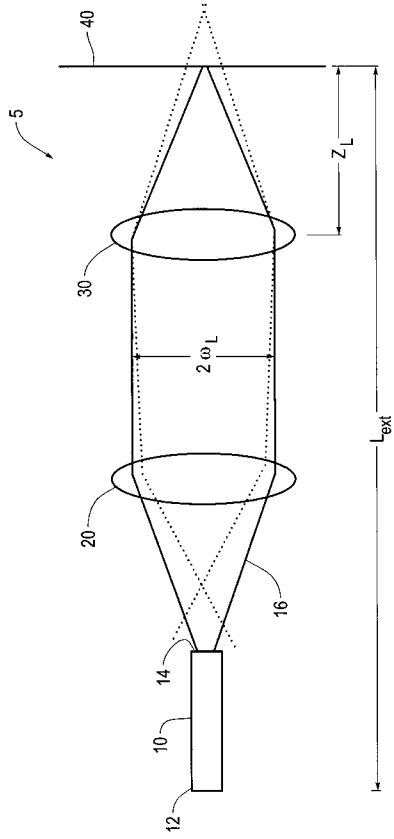
【図10】絶対距離測定装置の安定した単独モード操作の達成におけるレーザー発振媒体の共振器内面の反射率と比較して、ターゲット面に要求される反射率の例示的範囲を示す図。

【符号の説明】

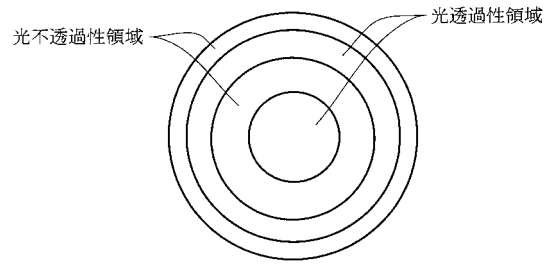
【0074】

5、6、8 ... 絶対距離測定装置、10 ... レーザー発振媒体、12 ... 遠位末端面、14 ... 共振器内面、16 ... 円錐状アドミタンス、20 ... コリメータレンズ、30 ... 色分散合焦素子、31 ... 光軸、32 ... 光線、33 ... フレネルゾーンプレート、40 ... ターゲット面、42、44 ... エンベロープ、50 ... ビームスプリッタ、55 ... 焦点レンズ、60 ... 波長測定装置、70 ... コリメータレンズ、80 ... 入力焦点レンズ、90 ... 波長測定装置、100 ... エタロン、110 ... ゲインスペクトル、120 ... 支持縦共振モード波長、130 ... 光フィードバックスペクトル、135 ... 櫛歯パターン。 30

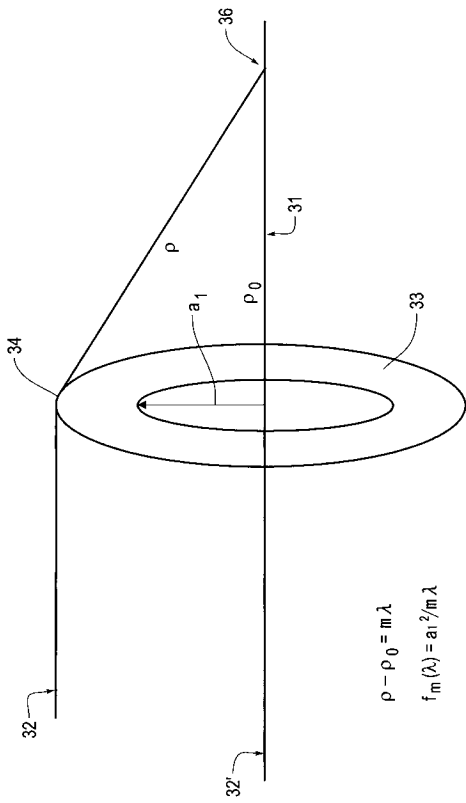
【 図 1 】



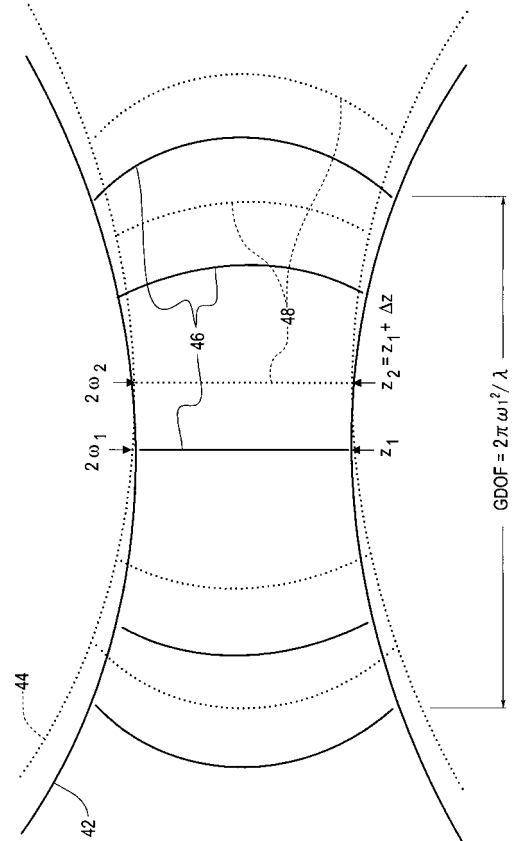
【 図 2 】



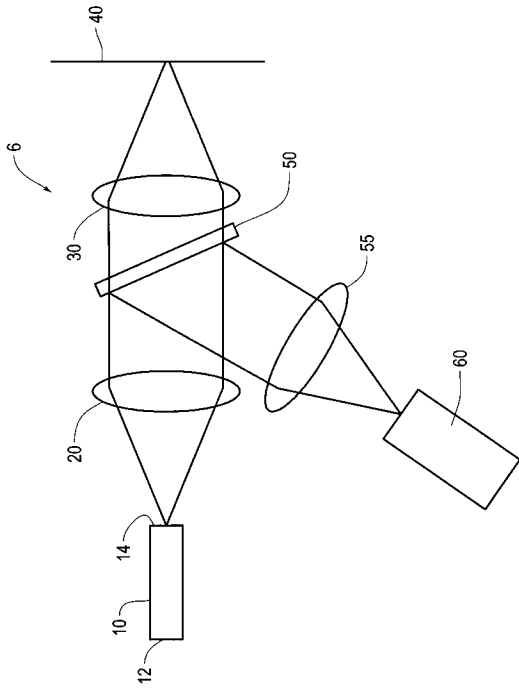
【 図 3 】



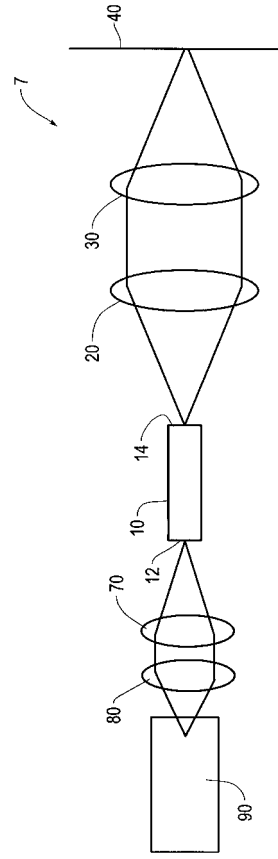
【 図 4 】



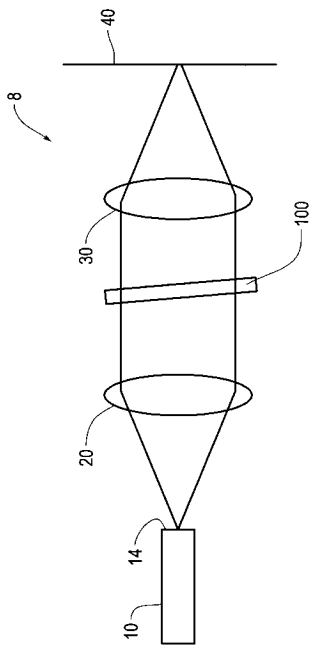
【 図 5 】



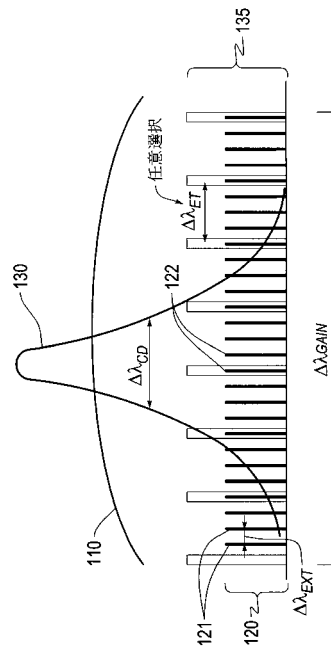
【 図 6 】



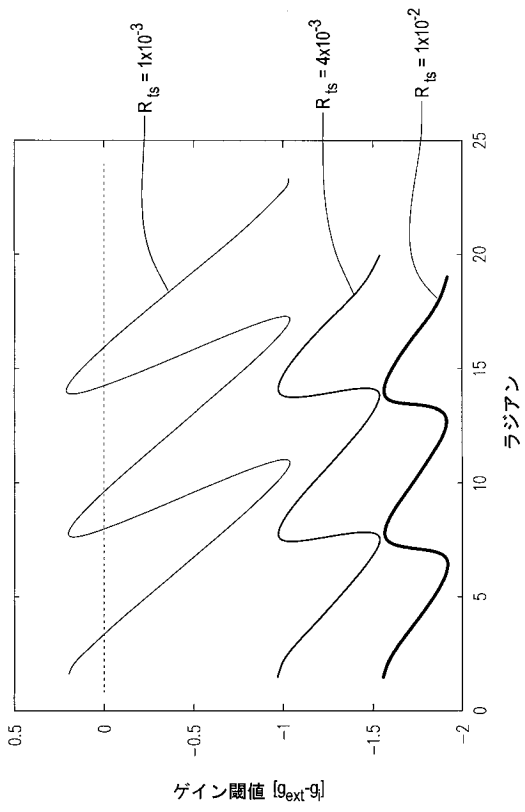
【 図 7 】



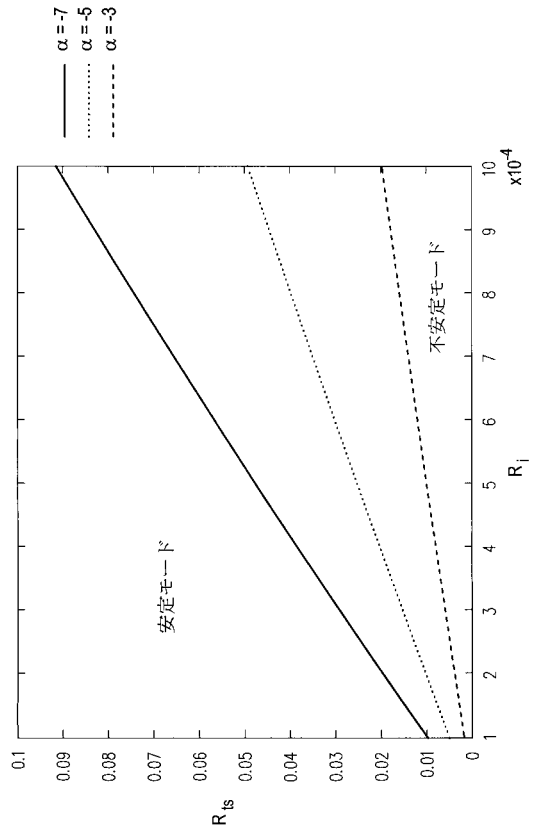
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2F065 AA06 AA09 AA20 CC21 CC25 DD03 DD04 DD11 EE01 FF10
FF41 FF51 GG06 GG25 HH03 HH04 JJ17 LL00 LL04 LL08
LL10 LL11 LL23 LL30 LL42 LL43 LL47 LL67 NN06
5F173 AB33 AB43 AR94 AR99 MA10