(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3618451号
(P3618451)
(45)発行日　平成17年2月9日(2005.2.9)　(24)登録日　平成16年11月19日(2004.11.19)

(51)Int.Cl.[7]　F I
G01B 11/00　G01B 11/00　B

請求項の数 7　(全 17 頁)

(21)出願番号　特願平8-74189
(22)出願日　平成8年3月28日(1996.3.28)
(65)公開番号　特開平9-264710
(43)公開日　平成9年10月7日(1997.10.7)
審査請求日　平成15年3月26日(2003.3.26)

(73)特許権者　000000376
オリンパス株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号
(74)代理人　100058479
弁理士　鈴江　武彦
(72)発明者　山本　英二
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号　オリンパス光学工業株式会社内

審査官　白石　光男

(56)参考文献　特開平０７－０５５４２３（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－０７５４１４（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G01B 11/00

(54)【発明の名称】光学式変位センサ

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
半導体レーザと、
前記半導体レーザと組み合わされて複合共振器を形成する外部反射手段と、
前記外部反射手段からの戻り光の位相によって変化する前記半導体レーザの光出力を検出する光出力検出手段と、
所定の周期で、前記半導体レーザと前記外部反射手段との間の光学的距離を所定の光学的距離の変調量だけ変化させる光学的距離変調手段と、
前記光学的距離変調手段の光学的距離の変調タイミングに同期して検出された前記光出力検出手段の出力に基づいて、前記光学的距離の変化量及びこの光学的距離の変化方向を検出する検出回路系とを備えていることを特徴とする光学式変位センサ。
【請求項２】
前記光出力検出手段は、前記半導体レーザと前記外部反射手段との間の光学的距離が所定の変化速度で変化している際に、前記外部反射手段からの戻り光の位相によって変化する前記半導体レーザの出力を検出し、前記光学的距離変調手段は、前記所定の変化速度で変化している前記光学的距離をさらに、前記所定の変化速度よりも高速であって且つ所定の周期で、前記所定の光学的距離の変調量だけ変化させることを特徴とする請求項１に記載の光学式変位センサ。
【請求項３】
前記半導体レーザは、垂直共振器型面発光レーザであることを特徴とする請求項１または

請求項２に記載の光学式変位センサ。
【請求項４】
前記光学的距離変調手段は、前記半導体レーザと前記外部反射手段との間の光学的距離を所定量だけ変化させる可動手段と、この可動手段を制御する制御回路とを備えていることを特徴とする請求項１または請求項２に記載の光学式変位センサ。
【請求項５】
前記光学的距離変調手段は、前記複合共振器内の光路上の少なくとも一部の屈折率を変化させて前記光学的距離を所定の光学的距離の変調量だけ変化させるように、前記半導体レーザと前記外部反射手段との間の光路上に配置された屈折率可変手段を備えていることを特徴とする請求項１または請求項２に記載の光学式変位センサ。
【請求項６】
前記光学的距離変調手段は、レーザ光の偏光方向によって屈折率が異なる性質を有する光学異方性部材と、前記半導体レーザに内蔵または集積され且つレーザ光の偏光方向を切換可能な偏波切換手段とを備えていることを特徴とする請求項１または請求項２に記載の光学式変位センサ。
【請求項７】
前記光学的距離の変調量Δｄは、
Δｄ＝（２ｍ－１）／８
λ；前記複合共振器内を進むレーザ光の波長
ｍ；任意の自然数
なる関係を満足することを特徴とする請求項１または請求項２に記載の光学式変位センサ。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、対象物の変位量を光学的に検出する光学式変位センサに関する。
【０００２】
【従来の技術】
従来、例えば特開平７－５５４２３号公報に開示されているように、垂直共振器型面発光レーザと外部反射手段とを組み合わせた複合共振器を備えた光学式変位センサ（以下、従来技術という）が知られており、外部反射手段から垂直共振器型面発光レーザに帰還するレーザー光の位相変化に起因するレーザ出力変化に基づいて、垂直共振器型面発光レーザと外部反射手段との間の相対的な変位量を検出することができるように構成されている。
【０００３】
この従来技術において、垂直共振器型面発光レーザと外部反射手段との間の相対的な変位量及び変位方向を検出する場合には、例えば図１３（ａ）に示すような光学的構成が必要となる。即ち、この光学的構成において、２個の垂直共振器型面発光レーザ２ａ，２ｂと１個の外部反射手段４とを組み合わせて二組の複合共振器が構成されている。そして、一方の垂直共振器型面発光レーザ２ｂの光路中には、他方の垂直共振器型面発光レーザ２ａの光路中を進むレーザー光に位相差φを与えるように、所定の厚さを有する位相膜７が設けられている。
【０００４】
この場合、外部反射手段４の変位ΔＬに対する光強度検出手段６ａ，６ｂの出力は、図１３（ｂ）に示すように、一定の位相差２φを有する周期λ／２の一組の出力信号I_1，I_2となって現れる。また、これら出力信号I_1，I_2を時間経過ｔと共にプロットした場合、外部反射手段４が垂直共振器型面発光レーザ２ａ，２ｂに接近する際の位相関係（図１４（ａ）参照）と、離間する際の位相関係（図１４（ｂ）参照）とが、逆転することが分かる。従って、この従来技術では、このような関係を利用して変位方向が検出されることになる。
【０００５】

また、上記の光学式変位センサに用いた垂直共振器型面発光レーザとしては、例えば、K．D．Choquette等により提出された論文「Appl．Phys．Lett．，vol．64，No．21（1994）pp．2767－2769」及び「Technical Digest of Conference on Lasers and Electro－Optics（1993 IEEE Technical Digest Series Volume 11）」に記載されているように、垂直共振器型面発光レーザと外部反射手段との間の光学的距離を変更可能な偏波切換機能を有する垂直共振器型面発光レーザ８が知られている（図１０参照）。

【０００６】

図１０（ａ），（ｂ）に示すように、この垂直共振器型面発光レーザ８は、ｎ型ＧａＡｓ基板８ａ上に、ｎ型半導体多層ミラー８ｂ、下部スペーサ層８ｃ、半導体活性層８ｄ、上部スペーサ層８ｅ、ｐ型半導体多層ミラー８ｆ、ｐ型コンタクト層８ｇを積層して構成されており、ｐ型コンタクト層８ｇ及びｐ型半導体多層ミラー８ｆ及び上部スペーサ層８ｅを断面十文字状の柱状に形成し、その周辺部が除去されている。なお、図１０（ｂ）に示すように、面発光レーザ上面には、直径約６μｍの円形状の電極窓１０が形成されている。

【０００７】

図１１に示すように、垂直共振器型面発光レーザ８を駆動する電流Ｉとレーザー光の光出力との関係において、$I_1 < I < I_2$ の関係にある場合には、Ｐ偏光（図中、０°方向の偏光）が支配的になり、一方、$I_2 < I < I_3$ の関係にある場合には、Ｓ偏光（図中、９０°方向の偏光）が支配的になる。従って、駆動電流Ｉを変更することによって偏光方向を適宜切り換えることが可能となる。なお、Ｐ偏光及びＳ偏光とは、互いに直交する方向に電界振幅の振動方向を有するレーザー光を表している。

【０００８】

また、偏波切換機能を有する垂直共振器型面発光レーザの他の例としては、例えば特開平４－２４２９８９号公報に開示されたものが知られている。

図１２に示すように、この垂直共振器型面発光レーザにおいて、半導体基板１２の上面には、第１及び第２のレーザー発振領域１４ａ，１４ｂを有する断面Ｌ字状の共振器１４が形成されており、上部電極１６に電流を注入した場合には、第１のレーザー発振領域１４ａからレーザー光が発振され、一方、上部電極１８に電流を注入した場合には、第２のレーザー発振領域１４ｂからレーザー光が発振される。

【０００９】

なお、レーザー光の偏光方向は、共振器１４の断面形状の短軸方向又は長軸方向のいずれかの方向に偏る傾向があるため、上部電極１６に電流を注入した場合と上部電極１８に電流を注入した場合では、レーザー光の偏光方向が互いに直交する方向に切り換わる。また、半導体基板１２の下面に設けられた下部電極２０には、第１及び第２のレーザー発振領域１４ａ，１４ｂから発振されるレーザー光の共通の出力窓２２が設けられている。

【００１０】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、上述したような従来技術（図１３及び図１４参照）において、垂直共振器型面発光レーザ２ａ，２ｂと外部反射手段４との間の相対的な変位方向を正確に判別するためには、出力信号 I_1 ，I_2 の位相差の時間的変化量を変位に対する信号周期の１／４未満に抑える必要がある。このため、垂直共振器型面発光レーザ２ａ，２ｂの基板面と外部反射手段４の反射面との成す角をθとすると、

$s \cdot \tan\theta < \lambda / 8$

なる関係を満足させる必要がある。なお、ｓは、２個の垂直共振器型面発光レーザ２ａ，２ｂから発振するレーザー光の光軸相互の間隔である。

【００１１】

なお、典型的なパラメータとしてλ＝１μｍ、ｓ＝２０μｍを例にとると、

$\theta < 0.36 deg$

となる。

【００１２】

このため、垂直共振器型面発光レーザ２ａ，２ｂと外部反射手段４との間に相対的な傾き変動が生じた場合、垂直共振器型面発光レーザ２ａ，２ｂと外部反射手段４との間の相対的な変位量及び変位方向を高精度に検出することが困難になってしまう場合がある。なお、上述の例では、垂直共振器型面発光レーザを用いた光学式変位センサについて説明したが、通常の端面出射型半導体レーザを用いた場合も、上記同様の問題が生じることが知られている。

【００１３】

本発明は、このような課題を解決するためになされており、その目的は、半導体レーザと外部反射手段との間の相対的な傾き変動に影響されること無く、半導体レーザと外部反射手段との間の光学的距離の変化量を高い分解能に且つこの光学的距離の変化方向を誤り無く検出することが可能な簡単な構成で且つコンパクトな光学式変位センサを提供することにある。

【００１４】

【課題を解決するための手段】

このような目的を達成するために、本発明の光学式変位センサは、半導体レーザと、この半導体レーザと組み合わされて複合共振器を形成する外部反射手段と、前記半導体レーザと前記外部反射手段との間の光学的距離が所定の変化速度で変化している際、前記外部反射手段からの戻り光の位相によって変化する前記半導体レーザの光出力を検出する光出力検出手段と、前記変化速度よりも高速であって且つ所定の周期で前記光学的距離を所定の光学的距離の変調量だけ変化させる光学的距離変調手段と、この光学的距離変調手段の光学的距離の変調タイミングに同期して検出された前記光出力検出手段の光出力に基づいて、前記光学的距離の変化量及びこの光学的距離の変化方向を検出する検出回路系とを備える。

【００１５】

なお、本明細書中において、「光学的距離の変調」とは、半導体レーザと外部反射手段との間の距離を幾何学的に変化（変調）させる場合、半導体レーザと外部反射手段との間の空間又は媒体の屈折率を変化（変調）させることによって前記距離を光学的に変化させる場合、或いは、光学異方性結晶及びレーザ光の偏波切換手段によって前記距離を光学的に変化（変調）させる場合を含めた上位概念を意味する。

【００１６】

また、「光学的距離の変化方向の検出」とは、「半導体レーザと外部反射手段が相対的に近づく向きに変位しているか、或いは、遠ざかる向きに変位しているかを検出」することを意味する。

【００１７】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の第１の実施の形態に係る光学式変位センサについて、図１～図４を参照して説明する。

図１（ａ），（ｂ）に示すように、本実施の形態の光学式変位センサは、端面出射型半導体レーザ２４と、この端面出射型半導体レーザ２４と組み合わされて複合共振器を形成する外部反射手段２６と、端面出射型半導体レーザ２４から出射したレーザー光を所定形状に整形して外部反射手段２６に照射するレンズ２８と、端面出射型半導体レーザ２４と外部反射手段２６との間の光学的距離が所定の変化速度で変化している際、外部反射手段２６からの戻り光の位相によって変化する端面出射型半導体レーザ２４の光出力を検出する光出力検出手段３０と、前記変化速度よりも高速であって且つ所定の周期で前記光学的距離を所定の光学的距離の変調量だけ変化させる光学的距離変調手段と、この光学的距離変調手段の光学的距離の変調タイミングに同期して検出された光出力検出手段３０の光出力に基づいて、前記光学的距離の変化量及びこの光学的距離の変化方向を検出する検出回路系とを備えている。

【００１８】
端面出射型半導体レーザ２４は、レーザー光出射部２４ａの共振器断面積が小さく且つレーザー光の放射角度が大きくなるように設定されている。なお、外部反射手段２６としては、例えば反射面２６ａを有する外部ミラーを用いることができる。
【００１９】
光学的距離変調手段は、光出力検出手段３０が取り付けられた取付台３２に装着されており且つ端面出射型半導体レーザ２４を光軸方向に移動させることによって端面出射型半導体レーザ２４と外部反射手段２６との間の光学的距離を所定の光学的距離の変調量だけ変化させる可動手段３４ａと、この可動手段３４ａを所定の制御信号Ｄａによって制御する制御回路３４ｂとを備えている。
【００２０】
なお、可動手段３４ａが前記光学的距離を変化させる際の「光学的距離の変調量」とは、光出力検出手段３０の光出力のうち、その光出力の変調周期の二分の壱の整数倍（１／２の整数倍）に相当する前記光学的距離の変化量を除外した任意の光学的距離を意味する。なぜなら、後述する一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２　（図３参照）の位相差が、光出力の変調周期の１／２の整数倍に相当する場合、一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２が、互いに同相又は逆相となるため、前記光学的距離の変化方向の検出が困難となるからである。
【００２１】
また、本実施の形態に適用した光出力検出手段３０としては、レーザー光の光出力を電流値に変換する素子例えばフォトディテクタ等が該当するが、端面出射型半導体レーザ２４に印加する電圧変化によって光出力を検出する手段等も含まれる。なお、図１（ａ）に示された光出力検出手段３０は、端面出射型半導体レーザ２４の後方に配置されているが、レーザー光の光出力を測定することが可能な位置であれば任意に配置することが可能であり、例えば、端面出射型半導体レーザ２４の前方や、複合共振器の内部又は側部であっても良い。
【００２２】
図１（ｂ）に示すように、検出回路系は、図示しない制御機構によって制御されており、端面出射型半導体レーザ２４を駆動制御するレーザー駆動電源３６と、制御信号Ｄａのタイミングに同期して制御回路３４ｂから出力されるトリガ信号Ｔ１，Ｔ２（図２参照）に同期して光出力検出手段３０の光出力信号Ｓ１，Ｓ２（図３参照）を取り込む同期検出回路３８と、この同期検出回路３８に取り込まれた一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２に所定の信号処理を施して、端面出射型半導体レーザ２４と外部反射手段２６との間の光学的距離の変化量及びこの光学的距離の変化方向を算出する信号処理回路４０と、この信号処理回路４０によって算出された前記光学的距離の変化量及びこの光学的距離の変化方向のデータを表示する表示装置４２とを備えている。
【００２３】
次に、本実施の形態の動作について説明する。
なお、この動作の説明に際し、外部反射手段２６は、取付部品４４を介して変位測定対象物（図示しない）に取り付けられているものとする。
【００２４】
端面出射型半導体レーザ２４から出射されたレーザー光は、レンズ２８によって所定形状に整形された後、複合共振器を構成する外部反射手段２６に照射される。このとき、外部反射手段２６から反射した戻り光は、再び、レンズ２８を経由して端面出射型半導体レーザ２４に帰還する。
【００２５】
端面出射型半導体レーザ２４に帰還する戻り光の位相は、端面出射型半導体レーザ２４と外部反射手段２６との間の光学的距離の変化量に対してλ／２の周期で変化する。なお、λは、端面出射型半導体レーザ２４から外部反射手段２６に亘る光路中を進むレーザー光の波長である。
【００２６】

このとき、端面出射型半導体レーザ２４の光出力は、前記戻り光の位相によって変化し、具体的には、戻り光が、端面出射型半導体レーザ２４内部のレーザー光と同位相のときは強められ、逆位相のときは弱められる。この場合、端面出射型半導体レーザ２４の光出力は、前記光学的距離の変化量に対してλ／２の周期で変化する。

【００２７】

このような状態において、制御回路３４ｂから出力される制御信号Ｄａ（図２（ａ）参照）によって可動手段３４ａを駆動させると、端面出射型半導体レーザ２４と外部反射手段２６との間の変化速度よりも高速であって且つ所定の周期で所定の光学的距離の変調量だけ端面出射型半導体レーザ２４が上下動する。この結果、端面出射型半導体レーザ２４と外部反射手段２６との間の光学的距離が所定の周期タイミングで変化することになる。具体的には、可動手段３４ａは、図２（ａ）に示すように、時刻ｔ２～ｔ５の間では特定の光学的距離の変調量Δｄ１（図示しない）に制御され、時刻ｔ６～ｔ９の間では他の特定の光学的距離の変調量Δｄ２（図示しない）に制御されている。

【００２８】

また、制御回路３４ｂは、制御信号Ｄａのタイミングに同期してトリガ信号Ｔ１，Ｔ２（図２（ｂ），（ｃ）参照）を同期検出回路３８に出力する。この場合、トリガ信号Ｔ１，Ｔ２は、各光学的距離の変調量Δｄ１，Δｄ２に制御する際の可動手段３４ａの切換タイミングに同期して同期検出回路３８に出力される。

【００２９】

本実施の形態において、同期検出回路３８には、トリガ信号Ｔ１，Ｔ２のうち、例えば時刻ｔ３，ｔ７に対応した各トリガ信号Ｔ１，Ｔ２の立上タイミングに同期して光出力検出手段３０の光出力信号Ｓ１，Ｓ２が取り込まれる。

【００３０】

このとき、同期検出回路３８に取り込まれた一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２は、図３（ａ）に示すように、前記光学的距離の変化量ｄに対して所定の位相差を有している。なお、同図において、変化量ｄは、測定すべき前記光学的距離の変化量を意味しており、光学的距離変調手段によって生じる前記光学的距離の変調分（又は、変化分）を含まないものとする。

【００３１】

そして、同期検出回路３８に取り込まれた一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２は、信号処理回路４０によって所定の信号処理が施される。

図３（ｂ），（ｃ）には、前記光学的距離が等速度で変化している際、同期検出回路３８に取り込まれた一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２が時間経過と共に変化している状態が示されている。具体的には、図３（ｂ）には、前記光学的距離が増加している状態が、また、図３（ｃ）には、前記光学的距離が減少している状態が示されている。

【００３２】

図３（ｂ），（ｃ）から明らかなように、前記光学的距離が増加している状態と減少している状態では、一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２の位相関係が逆転することが分かる。従って、この関係を利用することによって、前記光学的距離の変化方向を検出することが可能となる。

【００３３】

ここで、信号処理方法として、例えば、時間経過と共に変化する一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２を２次元座標上にプロットすることによって形成したリサージュ図形（図４参照）を用いて前記光学的距離の変化方向を検出する方法について説明する。

【００３４】

まず、可動手段３４ａの光学的距離の変調量Δｄ１，Δｄ２が一定である場合、図４に示すように、リサージュ図形は、同一の楕円軌道を描く。この場合、リサージュ図形の回転方向は、前記光学的距離が増加する場合（図中矢印Ｌ）と減少する場合（図中矢印Ｒ）とでは、逆方向になる。但し、図４に示された楕円軌道の径は、前記光学的距離が増加するに従って僅かに減少する。

【００３５】
このため、リサージュ図形上の座標値から一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２を逆算することによって、これら光出力信号Ｓ１，Ｓ２の１周期分よりも小さなオーダーで前記光学的距離の変化量とその変化方向を同時に検出することが可能となる。
【００３６】
次に、可動手段３４ａの光学的距離の変調量Δｄ１，Δｄ２が変動している場合、リサージュ図形の軌道は、時間経過と共に変形する。しかし、各光学的距離の変調量Δｄ１，Δｄ２の変動の差がλ／８未満であれば、リサージュ図形の回転方向に基づいて前記光学的距離の変化方向を検出することができる。
【００３７】
ここで、例えばＰＺＴ（チタン酸鉛ジルコニウム）膜を可動手段３４ａとして用いる場合に関して、光学的距離の変調量Δｄを$\Delta d = \lambda / 8$だけ可変する場合の試算例を示す。
【００３８】
２枚の対向電極によって挟まれたＰＺＴ膜が、複数積層されていものと仮定した場合において、その積層数をｊ、比例係数をd_{33}、対向電極に印加する電圧をＶとすると、ＰＺＴ膜の伸縮量即ち光学的距離の変調量Δｄは、
$\Delta d = j \cdot d_{33} \cdot V$
と表される。
【００３９】
ここで、光波長λをλ＝１μｍ、印加電圧ＶをＶ＝５０ｖ、ＰＺＴ膜の典型的な比例係数d_{33}を$d_{33} = 300 \times 10^{-12}$（ｍ／ｖ）とすると、可動手段３４ａの光学的距離の変調量Δｄを$\Delta d = \lambda / 8$だけ可変するためには、積層数ｊは、８～９だけ必要となる。
【００４０】
なお、上記説明中では、端面出射型半導体レーザ２４と外部反射手段２６との間の光学的距離の変化量の検出方法についての説明は省略したが、前記光学的距離が所定の変化速度で変化している際、外部反射手段２６からの戻り光の位相によって変化する端面出射型半導体レーザ２４の光出力を光出力検出手段３０によって検出し、この検出データを信号処理回路４０で信号処理することによって、前記光学的距離の変化量を高精度に検出することができる。
【００４１】
このような構成によれば、例えば図１３に示された従来技術のように二組の複合共振器を必要とすること無く、一組の複合共振器だけで端面出射型半導体レーザ２４と外部反射手段２６との間の光学的距離の変化量及びこの光学的距離の変化方向を高精度に検出することができる。しかも、端面出射型半導体レーザ２４からのレーザー光の光軸と外部反射手段２６の反射面２６ａとの成す角が僅かに変化しても、複合共振器の光軸が共通であるため、同期検出回路３８から信号処理回路４０に出力される一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２の位相差は、ほとんど変化することはない。従って、本実施の形態によれば、端面出射型半導体レーザと外部反射手段との間の相対的な傾き変動に影響されること無く、端面出射型半導体レーザと外部反射手段との間の光学的距離の変化量を高分解能に且つこの光学的距離の変化方向を誤り無く検出することが可能な簡単な構成で且つコンパクトな光学式変位センサを提供することが可能となる。
【００４２】
なお、本発明は、上記実施の形態に限定されることはなく、新規事項を追加しない範囲で種々変更することが可能である。例えば、光学的距離変調手段を図２（ａ）に示すように２値的に可変させる代わりに、例えば、正弦波状に可変させても或いは３値以上に亘って離散的に可変させても上記実施の形態と同様の作用効果を奏する。また、信号処理方法は、一組の位相差信号を利用する全ての方法を含み前述の方法に限定されることはない。
【００４３】
なお、光学的距離変調手段の光学的距離の変調量を３値以上に可変する場合は、その各々

の変調量のタイミング（時刻）に同期して、光出力検出手段３０の出力を分離して検出すれば良い。

【００４４】

また、端面出射型半導体レーザ２４の代わりに、半導体レーザからの出射光の光路を半導体レーザの内部共振器方向に対して折り曲げる機能を集積した半導体レーザ（これを表面出射型半導体レーザという）を用いることも可能である。この場合は、レーザー光の出射部の面積を大きく且つレーザー光の放射角を小さく設定することができるため、上記実施の形態で用いたレンズ２８は、必ずしも必要とされない。

【００４５】

次に、本発明の第２の実施の形態に係る光学式変位センサについて、図５を参照して説明する。なお、本実施の形態の説明に際し、第１の実施の形態と同様の構成には、同一符号を付して、その説明を省略する。

【００４６】

図５に示すように、本実施の形態の光学式変位センサは、第１の実施の形態に適用した端面出射型半導体レーザ２４（図１参照）の代わりに、垂直共振器型面発光レーザ４６を備えて構成されている。この垂直共振器型面発光レーザ４６は、端面出射型半導体レーザ２４と比較してレーザー光出射部４６ａの共振器断面積を大きく且つレーザー光の放射角度を小さくすることができるため、第１の実施の形態に適用したレンズ２８は必ずしも必要とされない。

【００４７】

次に、本実施の形態の動作について説明する。

なお、この動作の説明に際し、外部反射手段２６は、取付部品４４を介して変位測定対象物（図示しない）に取り付けられているものとする。

【００４８】

垂直共振器型面発光レーザ４６から出射されたレーザー光は、複合共振器を構成する外部反射手段２６から反射した後、再び垂直共振器型面発光レーザ４６に帰還する。このとき、垂直共振器型面発光レーザ４６の光出力は、前記戻り光の位相によって変化し、具体的には、戻り光が、垂直共振器型面発光レーザ４６内部のレーザー光と同位相のときは強められ、逆位相のときは弱められる。この場合、垂直共振器型面発光レーザ４６の光出力は、前記光学的距離の変化量に対してλ／２の周期で変化する。

【００４９】

このような状態において、制御回路３４ｂ（図１（ｂ）参照）から出力される制御信号Ｄａ（図２（ａ）参照）によって可動手段３４ａを駆動させると、垂直共振器型面発光レーザ４６と外部反射手段２６との間の変化速度よりも高速であって且つ所定の周期で所定の光学的距離の変調量だけ垂直共振器型面発光レーザ４６が上下動する。また、図１（ｂ）に示すように、制御回路３４ｂから同期検出回路３８に出力されたトリガ信号Ｔ１，Ｔ２に同期して、一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２が信号処理回路４０に出力され、所定の信号処理が施される。そして、この信号処理の結果に基づいて、前記光学的距離の変化量及び変化方向が検出されることになる。

【００５０】

なお、上記説明中では、垂直共振器型面発光レーザ４６と外部反射手段２６との間の光学的距離の変化量の検出方法についての説明は省略したが、前記光学的距離が所定の変化速度で変化している際、外部反射手段２６からの戻り光の位相によって変化する垂直共振器型面発光レーザ４６の光出力を光出力検出手段３０によって検出し、この検出データを信号処理回路４０で信号処理することによって、前記光学的距離の変化量を高精度に検出することができる。

【００５１】

本実施の形態によれば、レーザー光出射部の共振器断面積が小さく且つレーザー光の放射角度の大きな通常の端面出射型半導体レーザを用いた場合と比較して、外部反射手段２６から垂直共振器型面発光レーザ４６に帰還する戻り光の光量を増加させることができると

共に、外部反射手段２６が傾斜した場合でも戻り光の帰還量の変化を最小限に抑えることができる。

【００５２】

具体的には、垂直共振器型面発光レーザ４６と外部反射手段２６との間の光学的距離の変化量が大きい場合や、垂直共振器型面発光レーザ４６と外部反射手段２６との成す角が変化する場合でも、光学的距離の変化量に対する一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２（図３参照）の変調度の低下を最小限に抑えることができる。

【００５３】

更に、垂直共振器型面発光レーザ４６は、その発振縦モードが非常に安定している。このため、外部反射手段２６から帰還する戻り光の位相や光強度及び周辺環境の変化に起因する縦モードのホッピング（即ち、垂直共振器型面発光レーザ４６の発振波長が大きく跳ぶ現象）は、ほとんど発生することはない。この結果、縦モードのホッピングに起因する測定誤差や測定誤りを低減することが可能となる。なお、他の作用効果は、第１の実施の形態と同様であるため、その説明は省略する。

【００５４】

次に、本発明の第３の実施の形態に係る光学式変位センサについて、図６を参照して説明する。なお、本実施の形態の説明に際し、第１及び第２の実施の形態と同様の構成には、同一符号を付して、その説明を省略する。

【００５５】

図６に示すように、本実施の形態の光学式変位センサは、光学的距離変調手段の可動手段３４ａを外部反射手段２６と取付部品４４との間に配置して、外部反射手段２６をレーザー光の光軸方向に移動するように構成されている。

【００５６】

このように、可動手段３４ａを垂直共振器型面発光レーザ４６から離間して配置した場合には、可動手段３４ａの熱抵抗が高い場合や発熱量が大きい場合でも、垂直共振器型面発光レーザ４６の光学的特性を損なうこと無く、垂直共振器型面発光レーザ４６と外部反射手段２６との間の光学的距離の変化量及びこの光学的距離の変化方向を高精度に検出することが可能となる。なお、他の作用効果は、第１及び第２の実施の形態と同様であるため、その説明は省略する。この場合において、レーザー光源として通常の端面出射型半導体レーザを用いた場合でも上記同様の効果を得ることができる。

【００５７】

次に、本発明の第４の実施の形態に係る光学式変位センサについて、図７を参照して説明する。なお、本実施の形態の説明に際し、第１～第３の実施の形態と同様の構成には、同一符号を付して、その説明を省略する。

【００５８】

図７に示すように、本実施の形態の光学式変位センサは、第１～第３の実施の形態に適用した光学的距離変調手段の可動手段３４ａの代わりに、制御回路３４ｂ（図１（ｂ）参照）で制御可能な屈折率可変手段４８を備えており、この屈折率可変手段４８は、垂直共振器型面発光レーザ４６と外部反射手段２６との間の光路中に配置されている。なお、図７に示すように、屈折率可変手段４８の表面に反射面が形成されている場合には、この反射面から半導体レーザへ帰還する光を低減するために、例えば屈折率可変手段４８の表面にＡＲコートを施すと共に、前記反射面とレーザー光の光軸との成す角が垂直にならないように、屈折率可変手段４８を位置決めすることが好ましい。

【００５９】

本実施の形態に適用した屈折率可変手段４８は、複合共振器内の光路中の少なくとも一部の屈折率を変化させることができるように、例えば、電気光学効果、量子閉じ込めシュタルク効果、フランツケルディッシュ効果、バンドフィリング効果、プラズマ効果等、非常に高速な効果を奏する。このため、可動手段３４ａを光学的距離変調手段に用いた場合（第１～第３の実施の形態の説明参照）に比べて、高速の時間周期で前記光学的距離を変調させることが可能となる。

【００６０】
従って、垂直共振器型面発光レーザ４６と外部反射手段２６との間の光学的距離が高速で変化している場合でも、屈折率可変手段４８を介して光学的距離を高速の周期で所定の光学的距離の変調量だけ変化させることができるため、垂直共振器型面発光レーザ４６と外部反射手段２６との間の光学的距離の変化量を高分解能に且つこの光学的距離の変化方向を誤り無く検出することが可能となる。なお、他の作用効果は、第１～第３の実施の形態と同様であるため、その説明は省略する。
【００６１】
なお、屈折率可変手段４８としては、上述した実施の形態の他に、例えば、応答速度は遅いが光弾性効果や熱作用によって屈折率を可変する手段も含まれる。
次に、本発明の第５の実施の形態に係る光学式変位センサについて、図８及び図９を参照して説明する。なお、本実施の形態の説明に際し、第１～４の実施の形態と同様の構成には、同一符号を付して、その説明を省略する。
【００６２】
図８に示すように、本実施の形態の光学式変位センサは、レーザー光の偏光方向を切換可能な偏波切換手段５０を内蔵した垂直共振器型面発光レーザ５２と、この垂直共振器型面発光レーザ５２と外部反射手段２６との間の光路中に配置された光学異方性部材５４とを備えており、偏波切換手段５０及び光学異方性部材５４と後述する制御回路５６によって光学的距離変調手段が構成されている。
【００６３】
偏波切換手段５０を内蔵した垂直共振器型面発光レーザ５２としては、例えば図１２に示された垂直共振器型面発光レーザ（特開平４－２４２９８９号公報参照）を用いることができる。
【００６４】
光学異方性部材５４は、垂直共振器型面発光レーザ５２と外部反射手段２６との間の光学的距離を所定の光学的距離の変調量だけ変化させることができるように、レーザー光の偏光方向によって屈折率が異なる性質を有する例えば光学異方性結晶から構成されている。
【００６５】
また、図９に示すように、垂直共振器型面発光レーザ５２と外部反射手段２６との間の光学的距離の変化量及びこの光学的距離の変化方向を検出するための検出回路系は、基本的には、図１（ｂ）に示された検出回路系と同様の構成作用を有するが、制御回路５６から出力された所定の制御信号Ｄａに基づいて、レーザー駆動電源３６を駆動制御することによって、偏波切換手段５０を切換制御している点が相違する。
【００６６】
ここで、垂直共振器型面発光レーザ５２から出射されるレーザー光の偏光方向を各々ｘ軸とｙ軸に規定して、これらｘ方向又はｙ方向に沿った偏光を各々ｓ偏光又はｐ偏光と呼ぶことにする。また、光学異方性部材５４の主軸（光軸に垂直な面内において最大の屈折率を奏する偏光方向に沿った軸）は、ｘ軸又はｙ軸と平行に位置付けられることが好ましい（以下、最適位置という）。
【００６７】
次に、本実施の形態の動作について説明する。
垂直共振器型面発光レーザ５２から図８中下方に出射されたレーザー光は、光出力検出手段３０によって、光強度が検出される。
【００６８】
一方、垂直共振器型面発光レーザ５２から図８中上方に出射されたレーザー光は、光学異方性部材５４を介して外部反射手段２６に照射された後、再び光学異方性部材５４を経由して垂直共振器型面発光レーザ５２に帰還する。
【００６９】
このとき、垂直共振器型面発光レーザ５２の光出力は、戻り光の位相によって変化し、前記光学的距離の変化量に対してλ／２の周期で変化する。

ここで、光学異方性部材５４を光路中から除去した場合、垂直共振器型面発光レーザ５２と外部反射手段２６との間の光学的距離の変化量ｄに対してｐ偏光５８及びｓ偏光６０は、同位相となる（図８（ｂ）参照）。

【００７０】

一方、光学異方性部材５４を前記最適位置に位置付けた場合、偏光方向によって光学異方性部材５４の屈折率が異なるため、垂直共振器型面発光レーザ５２から図８中の上方に出射されたレーザー光の偏光方向は、図８（ｃ）に示すように、ｐ偏光及びｓ偏光が、変化量ｄに対して所定の位相差を有することになる。

【００７１】

なお、図８（ｂ），（ｃ）において、変化量ｄは、測定すべき前記光学的距離の変化量を意味しており、光学異方性部材５４によって生じる前記光学的距離の変化分（以下、光学的距離の変調量Δｄという）を含まないものとする。

【００７２】

本実施の形態において、例えば、図８（ｃ）に示された光学的距離の変調量Δｄは、レーザー光の波長をλ、任意の自然数をｍとすると、

Δｄ＝（２ｍ－１）λ／８

なる関係を満足することが好ましい。

【００７３】

ｐ偏光５８とｓ偏光６０のレーザー光は、厚さＴの光学異方性部材５４を通過するときに、屈折率差Δｎを感じるとすれば、ｐ偏光５８とｓ偏光６０との間に生じる光路差は、Δｎ・Ｔとなる。従って、この光路差が前記光学的距離の変調量Δｄに等しければ良い。従って、Δｄ＝Δｎ・Ｔとすることによって、光学異方性部材５４の最適な厚さＴが求められる。以上のことによって、光学異方性部材５４の厚さＴは、

Ｔ＝｛λ／（８・Δｎ）｝・（２ｍ－１）

Δｎ；ｐ偏光５８とｓ偏光６０に対する屈折率の差

なる関係を満足することが好ましい。

【００７４】

このような状態において、制御回路５６から出力される制御信号Ｄａによって偏波切換手段５０を切換制御すると、垂直共振器型面発光レーザ５２と外部反射手段２６との間の変化速度よりも高速であって且つ所定の周期で前記光学的距離が光学的距離の変調量Δｄだけ変化することになる。

【００７５】

また、制御回路５６は、制御信号Ｄａのタイミングに同期してトリガ信号Ｔ１，Ｔ２（図２（ｂ），（ｃ）参照）を同期検出回路３８に出力する。この場合、トリガ信号Ｔ１，Ｔ２は、前記光学的距離の変調量Δｄに制御する際の偏波切換手段５０の切換タイミングに同期して同期検出回路３８に出力される。

【００７６】

この場合、同期検出回路３８には、トリガ信号Ｔ１，Ｔ２のうち、例えば時刻ｔ３，ｔ７に対応した各トリガ信号Ｔ１，Ｔ２（図２（ｂ），（ｃ）参照）の立上タイミングに同期して光出力検出手段３０の光出力信号Ｓ１，Ｓ２が取り込まれる。

【００７７】

このとき、同期検出回路３８に取り込まれた一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２は、図８（ｃ）に示すように、前記光学的距離の変化量ｄに対して所定の位相差を有している。具体的には、垂直共振器型面発光レーザ５２と外部反射手段２６の間を往復したレーザー光は、（２ｍ－１）λ／４の光路差を生ずる。このため、前記光学的距離の変化量ｄに対する変調周期の１／４の位相差を有する一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２が同期検出回路３８に取り込まれることになる。

【００７８】

そして、同期検出回路３８に取り込まれた一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２は、信号処理回路４０によって所定の信号処理が施される。

この後、信号処理回路４０において、上記各実施の形態と同様に、一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２は、前記光学的距離の変化量及びこの光学的距離の変化方向を表す信号に変換されて表示装置４２に出力されることになる。

【００７９】

このような構成によれば、１／４周期の位相差を有する一組の光出力信号Ｓ１，Ｓ２を時間経過と共に２次元座標上にプロットすると、図４に示されたリサージュ図形は真円になる。このような真円状のリサージュ図形では、光出力信号を１周期よりも小さなオーダーで線形性良く分割することが可能となる。また、変調周期よりも小さな変位測定では、リサージュ図形の分割数が多いほど高分解能な変位検出が可能となる。更に、時間的応答の遅い機械的な可動手段を必要としないため、より高速な変位に対しても高精度な変位検出が可能となる。なお、他の作用効果は、第１～４の実施の形態と同様であるため、その説明は省略する。

【００８０】

なお、本発明は、上記実施の形態に限定されることはなく、新規事項を追加しない範囲で種々変更することが可能である。例えば、光学異方性部材５４は、必ずしも単独で光学異方性を示すものでなくてもよく、電気光学効果を示す材料に電界や外力などを印加して屈折率の異方性を実現させても良い。また、少なくとも垂直共振器型面発光レーザ５２及び光学異方性部材５４のいずれか一方をレーザー光の光軸の周りに回転させる方法を用いて同様の効果を実現させても良い。

【００８１】

なお、上述した実施の形態の内容から以下のような技術的思想が導かれる。

（１）　半導体レーザと、

この半導体レーザと組み合わされて複合共振器を形成する外部反射手段と、

前記半導体レーザと前記外部反射手段との間の光学的距離が所定の変化速度で変化している際、前記外部反射手段からの戻り光の位相によって変化する前記半導体レーザの光出力を検出する光出力検出手段と、

前記変化速度よりも高速であって且つ所定の周期で前記光学的距離を所定の光学的距離の変調量だけ変化させる光学的距離変調手段と、

この光学的距離変調手段の光学的距離の変調タイミングに同期して検出された前記光出力検出手段の光出力に基づいて、前記光学的距離の変化量及びこの光学的距離の変化方向を検出する検出回路系とを備えていることを特徴とする光学式変位センサ。

（構成）

この発明は、全ての実施の形態の上位概念が対応する。

【００８２】

なお、この発明において、半導体レーザは、端面出射型半導体レーザ２４（図１）、表面出射型半導体レーザ及び垂直共振器型面発光レーザ４６，５２（図５～図７，図８）が該当し、外部反射手段は、図１，図５～図８に示された外部反射手段２６が該当し、光出力検出手段は、図１，図５～図８に示された光出力検出手段３０が該当する。

（作用・効果）

従来技術のように二組の複合共振器を必要とすること無く、一組の複合共振器だけで半導体レーザと外部反射手段との間の光学的距離の変化量及びこの光学的距離の変化方向を高精度に検出することができる。しかも、半導体レーザからのレーザー光の光軸と外部反射手段の反射面との成す角が僅かに変化しても、複合共振器の光軸が共通であるため、同期検出回路から信号処理回路に出力される一組の光出力信号の位相差は、ほとんど変化することはない。従って、本発明によれば、半導体レーザと外部反射手段との間の相対的な傾き変動に影響されること無く、半導体レーザと外部反射手段との間の光学的距離の変化量を高分解能に且つこの光学的距離の変化方向を誤り無く検出することが可能な簡単な構成で且つコンパクトな光学式変位センサを提供することが可能となる。

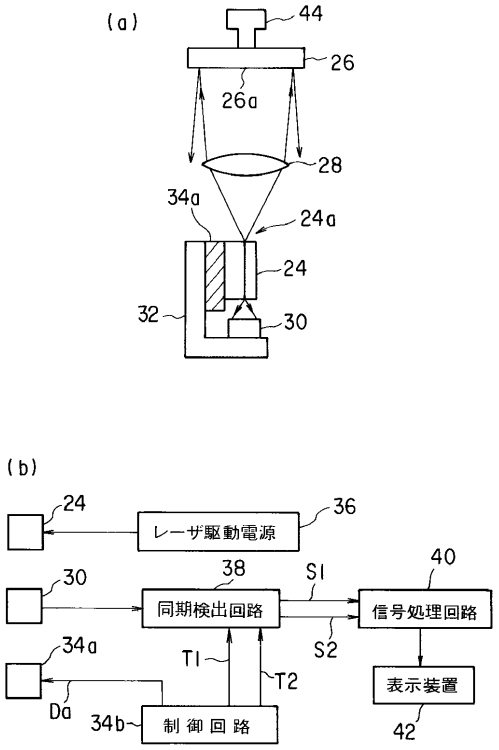
（２）　前記半導体レーザは、垂直共振器型面発光レーザであることを特徴とする上記（１）に記載の光学式変位センサ。

（構成）
この発明は、第２～第５の実施の形態が対応する。
【００８３】
この発明において、垂直共振器型面発光レーザは、図５～図７，図８に示された垂直共振器型面発光レーザ４６，５２が該当する。
（作用・効果）
本発明によれば、レーザー光出射部の共振器断面積が小さく且つレーザー光の放射角度の大きな通常の端面出射型半導体レーザを用いた場合と比較して、外部反射手段から垂直共振器型面発光レーザに帰還する戻り光の光量を増加させることができると共に、外部反射手段が傾斜した場合でも戻り光の帰還量の変化を最小限に抑えることができる。更に、垂直共振器型面発光レーザは、その発振縦モードが非常に安定している。このため、外部反射手段から帰還する戻り光の位相や光強度及び周辺環境の変化に起因する縦モードのホッピング（即ち、垂直共振器型面発光レーザの発振波長が大きく跳ぶ現象）は、ほとんど発生することはない。この結果、縦モードのホッピングに起因する測定誤差や測定誤りを低減することが可能となる。なお、他の作用効果は、上記（１）の発明と同様であるため、その説明は省略する。
（３）　前記光学的距離変調手段は、前記半導体レーザと外部反射手段との間の光学的距離を所定量だけ変化させる可動手段と、この可動手段を制御する制御回路とを備えていることを特徴とする上記（１）に記載の光学式変位センサ。
（構成）
この発明は、第１～第３の実施の形態が対応する。
【００８４】
この発明において、可動手段は、端面出射型半導体レーザ２４を光軸方向に移動させる可動手段３４ａ（図１）、光出力検出手段３０と共に垂直共振器型面発光レーザ４６を移動させる可動手段３４ａ（図５）、外部反射手段２６を光軸方向に移動させる可動手段３４ａ（図６）が該当する。
（作用・効果）
上記（１）の発明と同様の作用効果を奏する。
（４）　前記光学的距離変調手段は、前記複合共振器内の光路上の少なくとも一部の屈折率を変化させて前記光学的距離を所定の光学的距離の変調量だけ変化させるように、前記半導体レーザと外部反射手段との間の光路上に配置された屈折率可変手段を備えていることを特徴とする上記（１）に記載の光学式変位センサ。
（構成）
この発明は、第４の実施の形態が対応する。
【００８５】
この発明において、屈折率可変手段は、図７に示された屈折率可変手段４８が該当し、複合共振器内の光路上の少なくとも一部の屈折率を変化させることができるように、例えば、電気光学効果、量子閉じ込めシュタルク効果、フランツケルディッシュ効果、バンドフィリング効果、プラズマ効果等、非常に高速な効果を奏する。
（作用・効果）
本発明によれば、可動手段を光学的距離変調手段に用いた場合（第１～第３の実施の形態の説明参照）に比べて、高速の周期で所定の光学的距離の変調量だけ前記光学的距離を変化させることが可能となる。従って、半導体レーザと外部反射手段との間の光学的距離が高速で変化している場合でも、屈折率可変手段を介して光学的距離を高速の周期で所定の光学的距離の変調量だけ変化させることができるため、半導体レーザと外部反射手段との間の光学的距離の変化量を高分解能に且つこの光学的距離の変化方向を誤り無く検出することが可能となる。
（５）　前記光学的距離変調手段は、レーザー光の偏光方向によって屈折率が異なる性質を有する光学異方性部材と、前記半導体レーザに内蔵又は集積され且つレーザー光の偏光方向を切換可能な偏波切換手段とを備えていることを特徴とする上記（１）に記載の光学

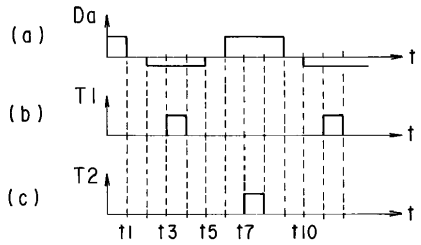
式変位センサ。
（構成）
この発明は、第５の実施の形態が対応する。
【００８６】
この発明において、光学異方性部材は、図８に示されたレーザー光の偏光方向によって屈折率が異なる性質を有する例えば光学異方性結晶から成る光学異方性部材５４が該当し、偏波切換手段は、垂直共振器型面発光レーザ５２に内蔵され且つレーザー光の偏光方向を切換可能な偏波切換手段５０が該当する。
（作用・効果）
本発明によれば、時間的応答の遅い機械的な可動手段を必要としないため、より高速な変位に対しても高精度な変位検出が可能となる。
（６）　前記光学的距離の変調量Δｄは、
Δｄ＝（２ｍ－１）λ／８
λ；前記複合共振器内を進むレーザー光の波長
ｍ；任意の自然数
なる関係を満足することを特徴とする上記（１）に記載の光学式変位センサ。
（構成）
この発明は、全ての実施の形態が対応する。
（作用・効果）
本発明によれば、１／４周期の位相差を有する一組の光出力信号が得られ、これら光出力信号を時間経過と共に２次元座標上にプロットすると、図４に示されたリサージュ図形は真円になる。このような真円状のリサージュ図形では、光出力信号を１周期よりも小さなオーダーで線形性良く分割することが可能となる。また、変調周期よりも小さな変位測定では、リサージュ図形の分割数が多いほど高分解能な変位検出が可能となる。更に、時間的応答の遅い機械的な可動手段を必要としないため、より高速な変位に対しても高精度な変位検出が可能となる。
【００８７】
【発明の効果】
本発明によれば、半導体レーザと外部反射手段との間の相対的な傾き変動に影響されること無く、半導体レーザと外部反射手段との間の光学的距離の変化量を高分解能に且つこの光学的距離の変化方向を誤り無く検出することが可能な簡単な構成で且つコンパクトな光学式変位センサを提供することができる。
【図面の簡単な説明】
【図１】（ａ）は、本発明の第１の実施の形態に係る光学式変位センサの構成を示す図、（ｂ）は、同図（ａ）の光学式変位センサに用いられた検出回路系の構成を示す図。
【図２】（ａ）は、制御回路から可動手段に出力される制御信号の周期タイミングを示すチャート図、（ｂ），（ｃ）は、制御信号に同期して制御回路から出力されるトリガ信号のタイミングチャート図。
【図３】（ａ）は、半導体レーザと外部反射手段との間の光学的距離の変化量に対して所定の位相差を有する光出力信号が光出力検出手段から出力されている状態を示す図、（ｂ），（ｃ）は、光学的距離が等速度で変化している際、同期検出回路に取り込まれた一組の光出力信号が時間経過と共に変化している状態を示す図。
【図４】時間経過と共に変化する一組の光出力信号を２次元座標上にプロットすることによって形成したリサージュ図形を示す図。
【図５】本発明の第２の実施の形態に係る光学式変位センサの構成を示す図。
【図６】本発明の第３の実施の形態に係る光学式変位センサの構成を示す図。
【図７】本発明の第４の実施の形態に係る光学式変位センサの構成を示す図。
【図８】（ａ）は、本発明の第５の実施の形態に係る光学式変位センサの構成を示す図、（ｂ）は、光学異方性部材を光路中から除去した場合、垂直共振器型面発光レーザと外部反射手段との間の光学的距離の変化量に対してｐ偏光及びｓ偏光が同位相となっている状

態を示す図、（ｃ）は、光学異方性部材を光路中に位置付けた場合、ｐ偏光とｓ偏光との間に所定の位相差が生じている状態を示す図。
【図９】図８の光学式変位センサに用いられた検出回路系の構成を示す図。
【図１０】従来の光学式変位センサに用いられた垂直共振器型面発光レーザの内部の構成を示す図。
【図１１】駆動電流を可変にすることによって、図１０に示された垂直共振器型面発光レーザの偏光方向を切り換えている状態を示す図。
【図１２】従来の光学式変位センサに用いられた偏波切換機能を有する垂直共振器型面発光レーザの構成を示す斜視図。
【図１３】（ａ）は、従来の光学式変位センサにおいて、垂直共振器型面発光レーザと外部反射手段との間の相対的な変位量及び変位方向を検出するための光学的構成を示す図、（ｂ）は、外部反射手段の変位に対する光強度検出手段の出力が、一定の位相差を有する周期λ／２の一組の出力信号となって現れた状態を示す図。
【図１４】同図（ａ）及び同図（ｂ）において、外部反射手段が垂直共振器型面発光レーザに接近する際の位相関係と、離間する際の位相関係とが、逆転している状態を示す図。
【符号の説明】
２４…端面出射型半導体レーザ、２６…外部反射手段、３０…光出力検出手段。

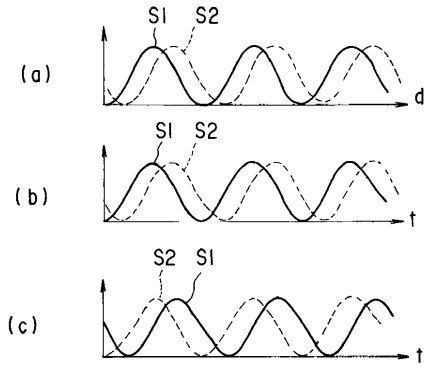
【図１】



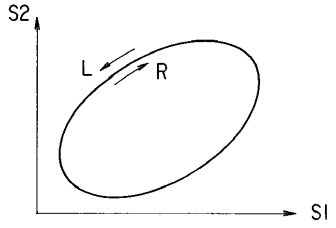
【図２】



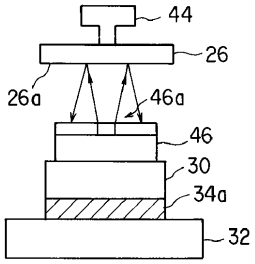
【図３】



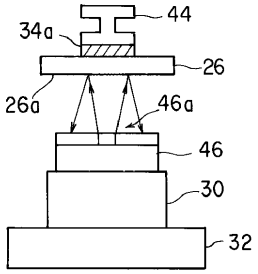
【図４】



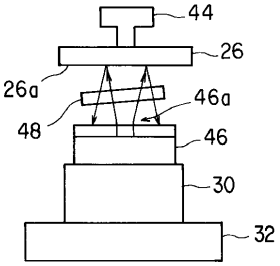
【図５】



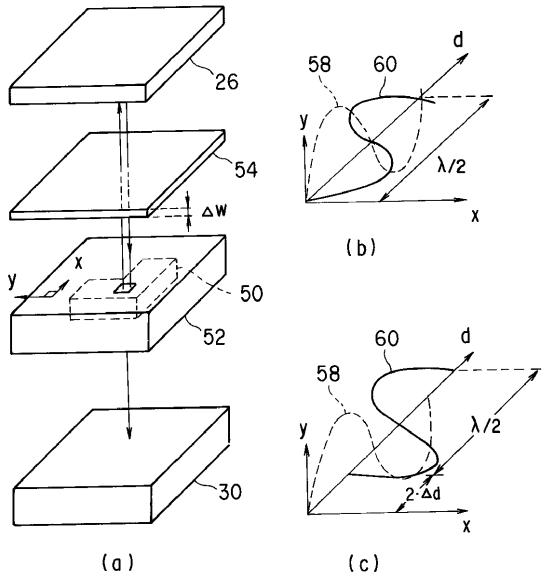
【図６】



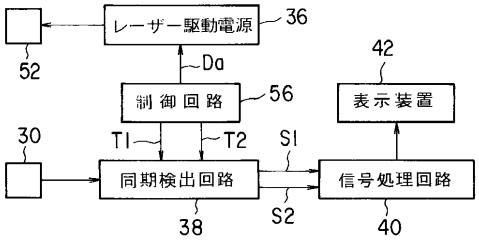
【図７】



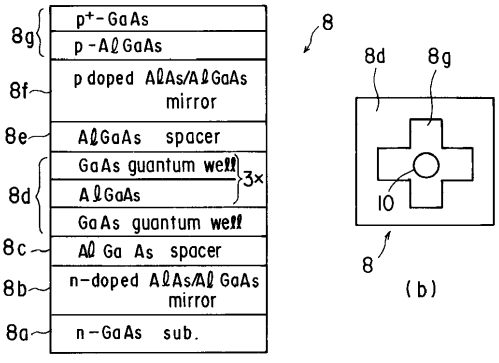
【図８】



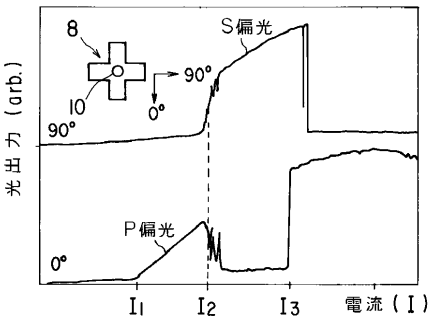
【図９】



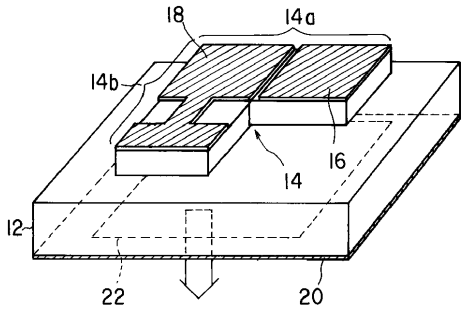
【図１０】



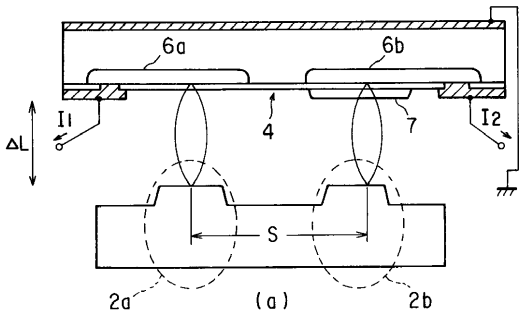
【図１１】

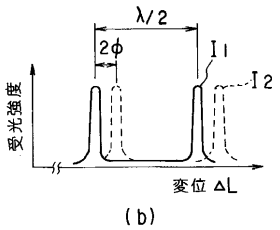


【図１２】



【図１３】





【図１４】

