

(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2004-72069

(P2004-72069A)

(43) 公開日 平成16年3月4日(2004.3.4)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
HO1S 5/14	HO1S 5/14	5F072
HO1S 3/139	HO1S 3/139	5F073
HO1S 5/06	HO1S 5/06	

審査請求 有 請求項の数 12 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2003-98344 (P2003-98344)	(71) 出願人	500213340 華上光電股▲ふん▼有限公司 台湾桃園縣大溪鎮仁和路2段349號7樓
(22) 出願日	平成15年4月1日(2003.4.1)	(74) 代理人	100070150 弁理士 伊東 忠彦
(31) 優先権主張番号	091114882	(74) 代理人	100091214 弁理士 大貫 進介
(32) 優先日	平成14年7月4日(2002.7.4)	(74) 代理人	100107766 弁理士 伊東 忠重
(33) 優先権主張国	台湾 (TW)	(72) 発明者	林 清 富 台湾台北市羅斯福路4段1號
		Fターム(参考)	5F072 AB13 JJ20 KK01 KK06 KK07 KK09 KK30 YY15 5F073 AA67 AB25 AB27 AB29 BA02 EA02 EA03 EA04 HA08

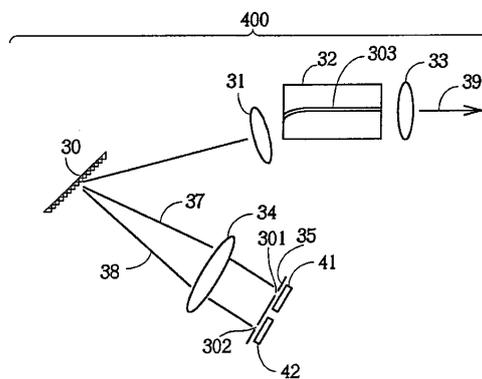
(54) 【発明の名称】 可変多波長半導体レーザーの共振空洞システム

(57) 【要約】

【課題】従来の多波長共振空洞システムの不均等共振損失の問題を解決する、複数の反射鏡を利用した可変半導体レーザーの多波長共振空洞システムを提供する。

【解決手段】共振空洞に連結する第一端面を有する半導体光増幅器と、光学格子と、凸レンズと、複数のスリットを含んでなる光調整スリットプレートと、複数の可変反射鏡とを含んでなる可変半導体レーザーの多波長共振空洞システムにおいて、該光学格子は第一端面と光調整スリットプレートとのレーザー共振経路に置かれ、複数の可変反射鏡の反射面は複数のスリットに位置合わせられ、複数のレーザー共振経路を形成し、複数の非平行の入射の多波長共振経路に対応し、それぞれ入射されたレーザービームを損失なしにもとの共振経路に反射する構造である。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光を発生させる光源と、
該光源から送られた光線を回折し、回折された光線を種々の角度で反射する光学格子と、
該光学格子から送られた光線を反射する複数の反射鏡とを含んでなり、
前記複数の反射鏡が前記光学格子から送られた光線を該光学格子に反射し、また該光学格子を
經由して前記光源に反射し、もって共振されたビームを出力することを特徴とするレ
ーザー共振空洞システム。

【請求項 2】

前記光学格子と前記複数の反射鏡との間にプレートが設けられ、更に前記プレートには、
前記複数の反射鏡に対応する複数のスリットが設けられ、特定の波長を有する光線のみを
該複数の反射鏡に送ることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザー共振空洞システム。 10

【請求項 3】

前記光学格子と前記複数の反射鏡との間に凸レンズが設けられ、該光学格子から該複数の
反射鏡に反射されたビームを集束することを特徴とする請求項 1 に記載のレーザー共振空
洞システム。

【請求項 4】

前記光源が導波路を有し、もって該光源が発生させた光線をガイドし、更に該導波路が第
一端面と第二端面を有することを特徴とする請求項 1 に記載のレーザー共振空洞システム
。 20

【請求項 5】

前記導波路が曲線状であることを特徴とする請求項 4 に記載のレーザー共振空洞システム
。

【請求項 6】

前記導波路の第一端面が反射防止層を有し、もって該導波路を經由して該第一端面に送ら
れた光線が直接に該第一端面から該導波路に反射されることを避けることを特徴とする請
求項 4 に記載のレーザー共振空洞システム。

【請求項 7】

前記導波路の片側にコリメーティングレンズが設けられ、該導波路から発散された光線を
集束することを特徴とする請求項 4 に記載のレーザー共振空洞システム。 30

【請求項 8】

前記コリメーティングレンズが前記光源と前記光学格子との間に設けられ、前記導波路か
ら発散された光線を該光学格子に集束することを特徴とする請求項 7 に記載のレーザー共
振空洞システム。

【請求項 9】

前記コリメーティングレンズが前記導波路の第二端面の片側に設けられ、前記光源からの
光線を集束して出力することを特徴とする請求項 7 に記載のレーザー共振空洞システム。

【請求項 10】

前記コリメーティングレンズが集束する光線はレーザー光線であることを特徴とする請求
項 9 に記載のレーザー共振空洞システム。 40

【請求項 11】

前記光源は半導体光増幅器であることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザー共振空洞シ
ステム。

【請求項 12】

前記光源は多重量子井戸半導体レーザーであることを特徴とする請求項 1 に記載のレー
ザー共振空洞システム。

【発明の詳細な説明】**【0001】****【発明の属する技術分野】**

この発明は一種の半導体レーザー共振空洞システムを提供し、特に複数の反射鏡でそれぞ 50

れ異なった波長を持つレーザーを反射する共振空洞システムに関する。

【0002】

【従来の技術】

情報化時代の到来により、ブロードバンドと波長分割多重方式で大量かつ迅速の情報伝送を提供することはもはや時代の趨勢になった。伝統的には、ファイバー損失と分散損失を最低限にするため、光ファイバー通信システムは1.55マイクロメートル波長と1.3マイクロメートル波長を使っていた。今日にいたって、光ファイバー技術の最新発展は1.4マイクロメートルでの水酸基吸収損失を大幅に低減させることができ、そのため、未来の光ファイバー通信には、300ナノメートルのブロードバンド通信は期待できる。よって、可変レーザー光源を提供することは目下の急務である。

10

【0003】

西暦1974年から多重量子井戸構造に関する研究が始まって以来、かかる超結晶構造を利用して設計された半導体レーザーは独特の発展を遂げ、またその高能率、低閾値電流及び可変波長などの長所により、従来レーザー光源として先端光学システムの最適選択である。近来、多重量子井戸半導体レーザーの発展は相当な広帯域光源を提供することができ、更に外部広帯域可変技術により単一周波数レーザーは選べられ、たとえば半導体光増幅器はその適例である。しかし、その半導体光増幅器の波長可変性は従来の共振空洞システムに制限されている。

【0004】

現在、波長可変レーザー技術は多数存在している。たとえばファブリペロー型可変波長フィルター、回折格子フィルター、回転式薄膜フィルター、電気光学可変波長フィルター及び可変ファイバー格子フィルターなど従来の例がある。かかる波長可変レーザー技術は通常、単波長振動に用いられ、しかも格子関連技術を利用する場合を除いて、その可変波長の範囲は100ナノメートル以内に限られる。ただし、可変波長半導体レーザーの共振空洞システムが回折格子技術を利用する場合、その可変波長の範囲は200ナノメートルに達することができる。

20

【0005】

図1に従来の可変半導体レーザーの共振空洞システム100を開示する。従来の可変半導体レーザーの共振空洞システム100は、光学格子10と、コリメーティングレンズ11と、ファブリペロー型半導体レーザーまたは半導体光増幅器13とを含んでなる。該ファブリペロー型半導体レーザーまたは半導体光増幅器13は、光線を伝搬するための導波路15と、反射防止層12が塗被された第一端面と、自然亀裂を呈する第二端面を含んでなる。かかる共振空洞システムは特定の単波長振動設計のみに適用し、レーザー光源がファブリペロー型半導体レーザーまたは半導体光増幅器13により発生された後、反射防止層12により発散され、またコリメーティングレンズ11をもって発散されたビームを平行したビームに集束し、光学格子10に入射する。光学格子10に入射されたビームの入射角 i と反射ビームの反射角 r との関係は下記の方程式で表す。

30

【0006】

【数1】

$$\sin(\theta_r) = \sin(\theta_i) + \frac{m\lambda}{\Lambda}$$

40

該 λ はレーザーの波長で、 Λ は光学格子の改行隔間、 m は整数である。選ばれたレーザーの波長が $r = -i$ に満たす条件で調整される場合、選ばれた反射ビームは入射ビームの経路にそってコリメーティングレンズ11に反射され、また反射防止層12を経てファ

50

ブリペロー型半導体レーザーまたは半導体光増幅器 13 に入る。かくて単波長レーザー共振経路を形成し、レーザービーム 14 をファブリペロー型半導体レーザーまたは半導体光増幅器 13 の第二端面から出力する。

【0007】

図 2 に他の従来の可変半導体レーザーの共振空洞システム 200 を開示する。共振空洞システム 200 は、光学格子 20 と、コリメーティングレンズ 21 と、ファブリペロー型半導体レーザーまたは半導体光増幅器 23 とを含んでなる。ファブリペロー型半導体レーザーまたは半導体光増幅器 23 は、光線を伝搬するための導波路 26 と、反射防止層 22 が塗被された第一端面と、高反射層 24 が塗被された第二端面を含んでなる。かかる共振空洞システムも特定の単波長振動設計のみに適用する。前記従来の技術と異なったところは、そのレーザービームは光学格子 20 を経て出力されることで、それ以外の作動原理はほぼ同じである。レーザー光源がファブリペロー型半導体レーザーまたは半導体光増幅器 23 により発生された後、高反射層 24 により反射され、或いは反射防止層 22 により発散され、またコリメーティングレンズ 21 をもって発散されたビームを平行したビームに集束し、光学格子 20 に入射し、更に光学格子のレーザー分光特性を利用して適当な角度から特定の波長を持つレーザービームを選出する。

10

【0008】

レーザー光源は二波長または多波長である場合、前記二種類の従来の可変半導体レーザー共振空洞システムの技術は需要を満たすことができない。そのため、図 3 に示すようなもう一つの従来の可変半導体レーザー二波長共振空洞システム 300 が現存している。かかる共振空洞システム 300 は、凸レンズ 34 の焦点に置かれる光学格子 30 と、第一コリメーティングレンズ 31 と、半導体光増幅器 32 と、第二コリメーティングレンズ 33 と、凸レンズ 34 と、第一スリット 301 と第二スリット 302 とを含んでなる光調整スリットプレート 35 と、反射鏡 36 とを含んでなる。レーザー光源が半導体光増幅器 32 により発生された後、発散されたビームはコリメーティングレンズ 31 により平行したビームに集束されて光学格子 30 に入射され、光学格子 30 により分光反射された後、短波長ビーム 37 と長波長ビーム 38 とが発生され、また凸レンズ 34 を通して平行したビームになり、それぞれ光調整スリットプレート 35 の第一スリット 301 と第二スリット 302 に入射され、更に反射鏡 36 により反射される。かくて二つのレーザー共振経路を形成し、レーザービーム 39 を第二コリメーティングレンズ 33 から出力する。よって、その出力されたレーザービームは短波長ビーム 37 と長波長ビーム 38 とからなる二波長ビームである。もし光調整スリットプレート 35 が多数のスリットを含んでいれば、これによって類推すれば、多波長ビームを発生することができる。

20

30

【0009】

しかし、前記可変半導体レーザーの二波長共振空洞システム 300 において、光学格子 30 と反射鏡 36 との間に正確に凸レンズ 34 を置くのは実務上、至難のことである。凸レンズ 34 の位置に偏差がある場合、短波長ビーム 37 と長波長ビーム 38 が凸レンズ 34 を通して平行したビームにはならず、そして光学格子 30 の理想的なポイントに入射されることができず、よって波長が異なった二つのビームを平行にすることができない。そのため、反射鏡 36 のみを利用し、平行していない二つのビームを共振経路に反射することは不可能である。かくして二波長共振空洞システムにおいての不均等共振損失をもたらし、それによって類推すれば、多波長共振空洞システムにおいての不均等共振損失の発生も考えられる。

40

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

この発明の主な目的は、前述の問題を解決するため、複数の反射鏡を利用した可変半導体レーザーの多波長共振空洞システムを提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】

この発明は、半導体光増幅器と、光学格子と、凸レンズと、複数のスリットを含んでなる

50

光調整スリットプレートと、複数の可変反射鏡とを含んでなる可変半導体レーザーの多波長共振空洞システムを提供する。該半導体光増幅器は、共振空洞に連結する第一端面と、レーザー出力端面である第二端面とを具える。該光学格子は該半導体光増幅器の該第一端面と該光調整スリットプレートとのレーザー共振経路に置かれ、該光調整スリットプレートは該複数の可変反射鏡の反射面の前に置けられ、該複数の可変反射鏡の反射面は該光調整スリットプレートにある該複数のスリットに位置合わせられ、該半導体光増幅器の該第一端面と、該光学格子と、該凸レンズと、該光調整スリットプレートにある該複数のスリットと、該複数の可変反射鏡の反射面とは複数のレーザー共振経路を形成し、該複数の可変反射鏡はそれぞれ異なった反射角度を調整されることができ、もって複数の非平行的入射の多波長共振経路に対応し、それぞれ入射されたレーザービームを損失なしにもとの共振経路に反射する構造によって課題を解決できる点に着眼し、かかる知見に基づいて本発明を完成させた。

10

【0012】

請求項1に記載するレーザー共振空洞システムは、光を発生させる光源と、光学格子と、複数の反射鏡とを含んでなり、
該光学格子は該光源から送られた光線を回折し、回折された光線を種々の角度で反射するために用いられ、
該複数の反射鏡は該光学格子から送られた光線を反射するために用いられ、
該複数の反射鏡は前記光学格子から送られた光線を該光学格子に反射し、また該光学格子を經由して該光源に反射し、共振されたビームを出力する。

20

【0013】

請求項2に記載するレーザー共振空洞システムは、請求項1における光学格子と複数の反射鏡との間にプレートが設けられ、更に該プレートには、該複数の反射鏡に対応する複数のスリットが設けられ、特定の波長を有する光線のみを該複数の反射鏡に送らせる。

【0014】

請求項3に記載するレーザー共振空洞システムは、請求項1における光学格子と複数の反射鏡との間に凸レンズが設けられ、該光学格子から該複数の反射鏡に反射されたビームを集束する。

【0015】

請求項4に記載するレーザー共振空洞システムは、請求項1における光源が導波路を有し、該光源が発生させた光線をガイドし、更に該導波路が第一端面と第二端面を有する。

30

【0016】

請求項5に記載するレーザー共振空洞システムは、請求項4における導波路が曲線状である。

【0017】

請求項6に記載するレーザー共振空洞システムは、請求項4における導波路の第一端面が反射防止層を有し、もって該導波路を經由して該第一端面に送られた光線が直接に該第一端面から該導波路に反射されることを避ける。

【0018】

請求項7に記載するレーザー共振空洞システムは、請求項4における導波路の片側にコリメーティングレンズが設けられ、該導波路から発散された光線を集束する。

40

【0019】

請求項8に記載するレーザー共振空洞システムは、請求項7におけるコリメーティングレンズが光源と光学格子との間に設けられ、導波路から発散された光線を該光学格子に集束する。

【0020】

請求項9に記載するレーザー共振空洞システムは、請求項7におけるコリメーティングレンズが導波路の第二端面の片側に設けられ、光源からの光線を集束して出力する。

【0021】

請求項10に記載するレーザー共振空洞システムは、請求項9におけるコリメーティング

50

レンズが集束する光線はレーザー光線である。

【0022】

請求項11に記載するレーザー共振空洞システムは、請求項1における光源が半導体光増幅器である。

【0023】

請求項12に記載するレーザー共振空洞システムは、請求項1における光源が多重量子井戸半導体レーザーである。

【0024】

【発明の実施の形態】

この発明は複数の反射鏡でそれぞれ異なった波長を持つレーザーを反射する半導体レーザー共振空洞システムを提供するものであって、該半導体レーザー共振空洞システムは、半導体光増幅器と、共振空洞に連結する第一端面と、レーザー出力端面である第二端面と、光学格子と、凸レンズと、複数のスリットを含んでなる光調整スリットプレートと、複数の可変反射鏡とを含んでなる。

10

【0025】

かかる半導体レーザー共振空洞システムの構造と特徴を詳述するために、具体的な実施例を挙げ、図示を参照にして以下に説明する。

【0026】

【第1の実施例】

図3と図4を参照する。図4にこの発明による可変半導体レーザー共振空洞システム400を開示する。図示によれば、この発明による可変半導体レーザーの二波長共振空洞システム400は、図3に示されたような従来の可変半導体レーザーの二波長共振空洞システム300の改良構造である。共振空洞システム400は、光学格子30と、第一コリメーティングレンズ31と、半導体光増幅器32と、第二コリメーティングレンズ33と、凸レンズ34と、光調整スリットプレート35と、第一可変反射鏡41と、第二可変反射鏡42とを含んでなる。半導体光増幅器32は多重量子井戸半導体レーザーに取り替えられることができ、該半導体レーザーの内部共振条件を形成することを防ぐために曲線状導波路303を含んでなる。光調整スリットプレート35は第一スリット301と第二スリット302とを含んでなる。光学格子30は凸レンズ34の焦点に置かれている。第一及び第二可変反射鏡41、42は光マイクロマシンの小反射鏡またはデジタル光処理技術のデジタルマイクロミラーデバイスに取り替えられることができ、二組の独立のアクチュエーター（図に示されない）で制御される。レーザー光源が半導体光増幅器32により発生された後、発散されたビームはコリメーティングレンズ31を通して平行したビームに集束されて光学格子30に入射され、光学格子30により分光反射された後、短波長ビーム37と長波長ビーム38とが発生され、また凸レンズ34を通してそれぞれ光調整スリットプレート35の第一スリット301と第二スリット302に入射され、更に第一可変反射鏡41と第二可変反射鏡42とにより反射される。かくて二つのレーザー共振経路を形成し、レーザービーム39を第二コリメーティングレンズ33から出力する。よって、その出力されたレーザービームは短波長ビーム37と長波長ビーム38とからなる二波長ビームである。もし凸レンズ34は光学格子30と第一及び第二コリメーティングレンズ41、42との間に正確に置かれることができない場合、言い換えれば凸レンズ34の位置に偏差がある場合、短波長ビーム37と長波長ビーム38が凸レンズ34を通して平行したビームにはならない。その場合は独立的に調整できる第一可変反射鏡41と第二可変反射鏡42とを利用して該二つの共振ビームを損失なしにもとの共振経路に反射し、伝統的な二波長共振空洞システムの不均等共振損失の問題を解決できる。

20

30

40

【0027】

図5を参照するに、図5に示されるのはこの発明による可変半導体レーザーの二波長共振空洞システム400の分光分析であり、横軸は出力レーザーの波長を示し、縦軸は出力レーザー分光分析の相対光度である。光調整スリットプレート35の第一スリット301と第二スリット302との位置と離隔距離とを調整すればそれぞれ異なった二つのレーザー

50

共振経路と共振波長とが得られる。図5はそれぞれスリット離隔距離が32ナノメートル、63ナノメートル、138ナノメートル、170ナノメートルになる場合に対応する四種類の出力レーザー分光分析500、502、504、506を示している。独立的に調整できる第一可変反射鏡41と第二可変反射鏡42とを利用して該二つの共振ビームを損失なしにもとの共振経路に反射することにより、図5が示す通りに、該ビームは非常に高い信号対雑音比を有し、そして選ばれた二波長レーザービームの光度はほぼ同じである。言い換えれば、この発明による二波長共振空洞システムは非常に均等な二波長共振ゲイン特性を提供できる。

【0028】

【第2の実施例】

図3と図6を参照する。図6にこの発明による半導体レーザー共振空洞システム600を開示する。図示によれば、この発明による可変半導体レーザーの四波長共振空洞システム600は、図3に示されたような従来の可変半導体レーザーの二波長共振空洞システム300の改良構造である。共振空洞システム600は、光学格子30と、第一コリメーティングレンズ31と、半導体光増幅器32と、第二コリメーティングレンズ33と、凸レンズ34と、光調整スリットプレート601と、第一可変反射鏡621と、第二可変反射鏡622と、第三可変反射鏡623と、第四可変反射鏡624とを含んでなる。半導体光増幅器32は、該半導体レーザーの内部共振条件を形成することを防ぐために曲線状導波路303を含んでなる。光調整スリットプレート601は、第一スリット611と、第二スリット612と、第三スリット613と、第四スリット614とを含んでなる。光学格子30は凸レンズ34の焦点に置かれている。四つの可変反射鏡621、622、623、624は光マイクロマシンの小反射鏡またはデジタル光処理技術のデジタルマイクロミラーデバイスに取り替えられることができ、四組の独立のアクチュエーター図に示されないで制御される。レーザー光源が半導体光増幅器32により発生された後、発散されたビームはコリメーティングレンズ31を通して平行したビームに集束されて光学格子30に入射され、光学格子30により分光反射された後、第一波長ビーム631と、第二波長ビーム632と、第三波長ビーム633と、第四波長ビーム634とが発生され、また凸レンズ34を通してそれぞれ光調整スリットプレート604にある四つのスリット611、612、613、614に入射され、更に四つの可変反射鏡621、622、623、624により反射される。かくて四つのレーザー共振経路を形成し、レーザービーム39を第二コリメーティングレンズ33から出力する。よって、その出力されたレーザービームは四つの共振ビーム631、632、633、634からなる四波長ビームである。もし凸レンズ34は光学格子30と可変反射鏡621、622、623、624との間に正確に置かれることができない場合、言い換えれば凸レンズ34の位置に偏差がある場合、四つのレーザービーム631、632、633、634が凸レンズ34を通して平行したビームにはならない。その場合は独立的に調整できる四つの可変反射鏡621、622、623、624とを利用して該四つの共振ビームを損失なしにもとの共振経路に反射し、従来の四波長共振空洞システムの不均等共振損失の問題を解決できる。それによって類推すれば、この発明による多波長共振空洞システムは成立できる。

【0029】

以上は、この発明の好ましい実施例であって、この発明の実施の範囲を限定するものではない。よって、当業者のなし得る修正、もしくは変更であって、この発明の精神の下においてなされ、この発明に対して均等の効果を有するものは、いずれもこの発明の特許請求の範囲の範囲に属するものとする。

【0030】

【発明の効果】

前述により、従来のたった一つの反射鏡を用いた可変半導体レーザーの多波長共振空洞システムと比べ、この発明による可変半導体レーザーの多波長共振空洞システムは、複数の可変反射鏡を複数のレーザー共振経路に対応させ、更に該複数の可変反射鏡はその反射角度を独立的に調整されることができ、もって入射されたレーザービームを損失なしにもと

10

20

30

40

50

の共振経路に反射することによって、従来の多波長共振空洞システムの不均等共振損失の問題を解決できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】従来の可変半導体レーザーの単波長共振空洞システムを表わす説明図である。

【図 2】もう一つの従来の可変半導体レーザーの単波長共振空洞システムを表わす説明図である。

【図 3】従来の可変半導体レーザーの二波長共振空洞システムを表わす説明図である。

【図 4】この発明の第 1 実施例による可変半導体レーザーの二波長共振空洞システムを表わす説明図である。

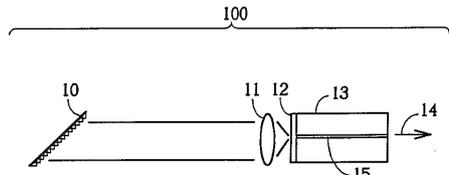
【図 5】図 4 に示されるこの発明による二波長共振空洞システムの分光分析を表わす説明図である。 10

【図 6】この発明の第 2 実施例による可変半導体レーザーの四波長共振空洞システムを表わす説明図である。

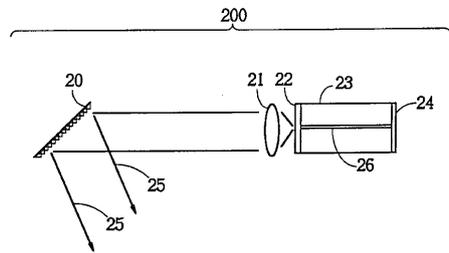
【符号の説明】

1 0、2 0、3 0	光学格子	
1 1、2 1	コリメーティングレンズ	
1 2、2 2	反射防止層	
1 3、2 3	ファブリペロー型半導体レーザーまたは半導体光増幅器	
1 4、2 5、3 9	出力されたレーザービーム	
2 4	高反射層	20
3 1	第一コリメーティングレンズ	
3 2	半導体光増幅器	
3 3	第二コリメーティングレンズ	
3 4	凸レンズ	
3 5、6 0 1	光調整スリットプレート	
3 6	反射鏡	
3 7	短波長ビーム	
3 8	長波長ビーム	
4 1、6 2 1	第一可変反射鏡	
4 2、6 2 2	第二可変反射鏡	30
1 0 0、2 0 0、3 0 0、6 0 0	共振空洞	
3 0 1、6 1 1	第一スリット	
3 0 2、6 1 2	第二スリット	
3 0 3	導波路	
6 1 3	第三スリット	
6 1 4	第四スリット	
6 2 3	第三可変反射鏡	
6 2 4	第四可変反射鏡	
6 3 1	第一波長ビーム	
6 3 2	第二波長ビーム	40
6 3 3	第三波長ビーム	
6 3 4	第四波長ビーム	

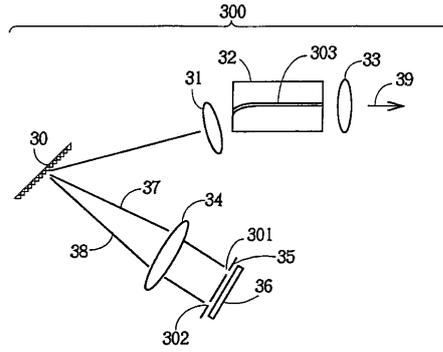
【 図 1 】



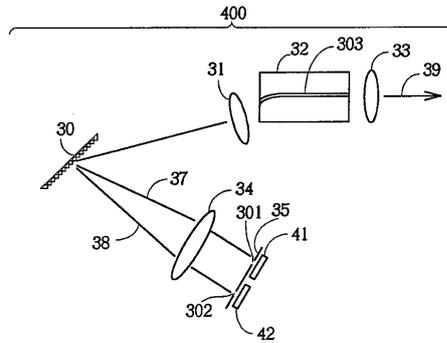
【 図 2 】



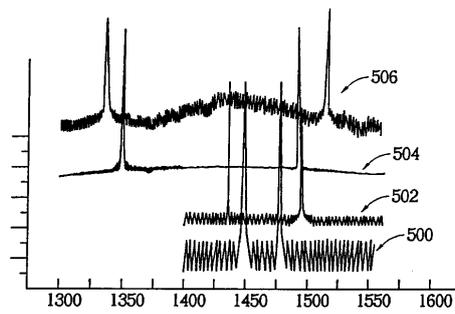
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】

