

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4146658号
(P4146658)

(45) 発行日 平成20年9月10日 (2008.9.10)

(24) 登録日 平成20年6月27日 (2008.6.27)

(51) Int.Cl.

F I

H O 1 S 3/106 (2006.01)

H O 1 S 3/106

G O 2 B 5/28 (2006.01)

G O 2 B 5/28

請求項の数 9 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2002-84254 (P2002-84254)
 (22) 出願日 平成14年3月25日 (2002.3.25)
 (65) 公開番号 特開2003-283024 (P2003-283024A)
 (43) 公開日 平成15年10月3日 (2003.10.3)
 審査請求日 平成16年9月15日 (2004.9.15)
 審判番号 不服2006-21887 (P2006-21887/J1)
 審判請求日 平成18年9月28日 (2006.9.28)

(73) 特許権者 000005223
 富士通株式会社
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号
 (74) 代理人 100070150
 弁理士 伊東 忠彦
 (72) 発明者 バウダ マルティン
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内
 (72) 発明者 森戸 健
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内
 (72) 発明者 高林 和雅
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
 1号 富士通株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 波長可変レーザ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

2つの反射面により形成された共鳴領域を有する波長可変レーザであって、
 レーザ光を生成する利得媒体と、
 前記2つの反射面の間に配置され、前記利得媒体で生成されたレーザ光の第1の所定波長領域を透過させる第1のフィルタと、
 前記2つの反射面の間に配置され、前記第1のフィルタを透過したレーザ光の第2の所定波長領域を透過させる第2のフィルタと、を有し、
 前記第1のフィルタは、導波路中を伝搬するレーザ光の透過波長領域が調整可能な音響光学素子からなる可変フィルタであり、入力レーザ光のうち、前記第1の所定透過領域のレーザ光を第1の導波路の出力方向へ導き、第1の所定透過領域以外のレーザ光を第2の導波路の出力方向へと導く構成であり、
 前記第2のフィルタは、前記第2の所定透過領域が周期的に配列されたフィルタであることを特徴とする波長可変レーザ。

【請求項 2】

請求項1記載の前記波長可変レーザにおいて、
 前記第1のフィルタは、ドップラシフトを相殺するように2段構成となっていることを特徴とする波長可変フィルタ。

【請求項 3】

請求項1または2記載の前記波長可変レーザにおいて、

10

20

前記第2のフィルタは、前記レーザ光の導波路に対して所定角度の傾きを有することを特徴とする波長可変レーザ。

【請求項4】

請求項1から3の何れか1項に記載の前記波長可変レーザにおいて、

前記利得媒体は、エルビウムがドープされたLiNbO₃より成ることを特徴とする波長可変レーザ。

【請求項5】

請求項1から3の何れか1項に記載の前記波長可変レーザにおいて、

前記利得媒体は、半導体素子で形成されることを特徴とする波長可変レーザ。

【請求項6】

請求項5記載の前記波長可変レーザにおいて、

前記利得媒体及び/又は前記第1のフィルタは、前記レーザ光の導波路に対して所定角度の傾きを有することを特徴とする波長可変レーザ。

【請求項7】

請求項1から6の何れか1項に記載の前記波長可変レーザにおいて、

前記利得媒体と前記第1のフィルタとが同一のプラットフォーム上に形成されることを特徴とする波長可変レーザ。

【請求項8】

請求項1から7の何れか1項に記載の前記波長可変レーザにおいて、

前記2つの反射面の一方又は両方は、前記利得媒体の一方の面及び/又は前記第1のフィルタの一方の面上に形成されることを特徴とする波長可変レーザ。

【請求項9】

請求項1から8の何れか1項に記載の前記波長可変レーザにおいて、

前記利得媒体から最も離れた位置に、前記第2のフィルタと前記2つの反射面の一方を形成する第1の反射鏡とが配置され、前記波長可変レーザの出力は、前記第1の反射鏡と異なる第2の反射鏡から抽出されることを特徴とする波長可変レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、波長可変レーザに関し、特に発振周波数を要求する周波数帯域に合わせることが可能な波長可変レーザに関する。

【0002】

【従来の技術】

レーザは、利得媒体を含む光共振器で構成され、利得を増加させることで発振が得られる。波長多重光ファイバ通信システムでは、赤外線領域における50nmから100nm程度の広域な周波数帯域の中で、所望の1つの周波数で発振させる機能をもつ波長可変レーザが必要となる。

【0003】

所望する単一波長に安定的に制御しつつ波長を多重化させるような機器において、光学ファイバ通信用機器で使用される最も一般的な2つの周波数帯に相当する60nmを越えた広波長領域を効果的に選択できることは、非常に望ましいことである。

【0004】

また、発振波長を制御する速度は、実質的に上記のような機器の動作を妨げないために数ミリ秒以内であることが要求されている。

【0005】

このような制御を可能にするものとして、例えばSorinによる米国特許第6091744号公報（以下、従来技術1とする）や、Hamadaによる米国特許第5970076号公報（以下、従来技術2とする）の一部や、Inoueによる特開平11-63226号公報（以下、従来技術3とする）に開示される波長可変レーザが存在する。

【0006】

10

20

30

40

50

図1に従来技術1による波長可変レーザの構成を示す。図1を参照すると、従来技術1では、1つの利得媒体と、ファイバブラッグ格子より形成された2つ以上の反射フィルタと、バンドパスフィルタと、単一モードの光学ファイバと、を有して構成される。

【0007】

この構成において、バンドパスフィルタとファイバブラッグ格子との透過特性は制御可能である。また、レーザ発振は、バンドパス伝送のピークとファイバ格子による反射のピークとに一致する周波数で生じる。更に、広域なモード制御は異なる狭域周波数帯で相互に反射する2つ以上のファイバブラッグ格子を用いることで実現される。また、バンドパスフィルタは、ファイバブラッグ格子の反射スペクトルを1つ選択的に透過させるために用いる。ファイバ格子は、その透過特性を、伝搬チャネルへ接続できる同調範囲以内の所望の周波数に制御するための用いる。

10

【0008】

ファイバブラッグ格子を可変反射フィルタとして使用する場合の多くは、上記の方法において、複雑で高価な2つのフィルタを同時に制御しなければならないという問題が存在する。ファイバブラッグ格子特性が一定であるとする、上記の方法では、所望の波長チャネル数だけのファイバブラッグ格子が必要となるため、共振器が長くなるために装置が大型化し、且つ高価なものとなる。

【0009】

次に、従来技術2による波長可変レーザの構成を図2に示す。図2を参照すると、波長可変レーザは、1つの利得媒体と、回折格子と、を有して構成される。

20

【0010】

この構成において、波長選択は、反射格子を機械的に回転させることで達成される。即ち、回折格子を回転させることで、回折格子の反射ピーク波長を制御する。

【0011】

このような構成の問題点は、制御を実現するために大きな機械的構成が必要となることである。即ち、従来技術2を実現するためには、回折格子の回転角度をフィードバックする構成や複雑で高価な制御装置が必要となる。また、制御を機械的構成で行うと、機械的安定性と信頼性とが関係してくるため、制御に要する時間に数ミリ秒のオーダーが必要となり遅くなる。

【0012】

30

更に、上記した従来技術3による波長可変レーザは、AOTF (Acousto-Optical Tunable Filter) と利得媒体とから構成される。AOTFを透過する多くの発振モードを減じるために利得媒体の端面に反射率を持たせ、その反射リップルを利用して一つの発振モードを選択する。

【0013】

この従来技術3における問題点は、反射リップルを所望する周波数に適合させることが極端に困難であることや、AOTFがドップラー周波数シフトを生じるために、レーザ発振が不安定化することにある。

【0014】

また、上記した従来技術の他の装置としては、例えば可変フィルタとエルビウムがドープされたファイバ増幅器とを含むファイバリングレーザ等が存在するが、これらは利得の応答が遅く、波長切替えに数ミリ秒のオーダーという比較的長い時間を要してしまう。

40

【0015】

【発明が解決しようとする課題】

このような現状において、マルチモード発振がきびしく抑制された単一モードのレーザ装置における安定性が要求されている。周波数分割多重機器(上述の光ファイバ通信用機器)では、例えば30から60nmの可変帯域と数十pm程度の発振波長の精度とが要求されている。

【0016】

単一のレーザ発振波長は、広域周波数領域の中から多くの特定の周波数を、十数ミリ秒以

50

内のオーダで正確に選択できなければならない。加えて、制御機構は、コスト面を考慮して、簡単で且つできるだけ周波数制御のためのフィードバック構成を必要としないものでなければならない。

【 0 0 1 7 】

従って、本発明は、周波数制御を高速に行える、単純な構成の波長可変レーザを提供することを目的とする。

【 0 0 1 8 】

【課題を解決するための手段】

係る目的を達成するために、請求項 1 記載の発明は、2つの反射面により形成された共鳴領域を有する波長可変レーザであって、レーザ光を生成する利得媒体と、前記2つの反射面の間に配置され、前記利得媒体で生成されたレーザ光の第1の所定波長領域を透過させる第1のフィルタと、前記2つの反射面の間に配置され、前記第1のフィルタを透過したレーザ光の第2の所定波長領域を透過させる第2のフィルタと、を有し、前記第1のフィルタは、導波路中を伝搬するレーザ光の透過波長領域が調整可能な音響光学素子からなる可変フィルタであり、入力レーザ光のうち、前記第1の所定透過領域のレーザ光を第1の導波路の出力方向へ導き、第1の所定透過領域以外のレーザ光を第2の導波路の出力方向へと導く構成であり、前記第2のフィルタは、前記第2の所定透過領域が周期的に配列されたフィルタであることを特徴としている。

10

【 0 0 1 9 】

これにより、本発明では、周波数制御を高速に行える、単純な構成の波長可変レーザを提供することができる。

20

【 0 0 2 2 】

更に、請求項 2 記載の発明は、上記の波長可変フィルタにおいて、前記第1のフィルタが、ドップラーシフトを相殺するように2段構成となっていることを特徴としている。

【 0 0 2 3 】

これにより、本発明では、往復により生じるドップラーシフトを相殺することが可能となる。

【 0 0 2 4 】

更に、請求項 3 記載の発明は、上記の波長可変レーザにおいて、前記第2のフィルタが、前記レーザ光の導波路に対して所定角度の傾きを有することを特徴としている。

30

【 0 0 2 5 】

これにより、本発明では、例えばITUグリッドで規定されている波長を透過させるように第2のフィルタを調節することが可能となる。

【 0 0 2 6 】

更に、請求項 4 記載の発明は、上記の波長可変レーザにおいて、前記利得媒体が、エルビウムがドーパされたLiNbO₃より成ることを特徴としている。

【 0 0 2 7 】

これにより、本発明では、半導体素子を使用することなく利得媒体を形成することが可能となる。

【 0 0 2 8 】

40

更に、請求項 5 記載の発明は、上記の波長可変レーザにおいて、前記利得媒体が、半導体素子で形成されることを特徴としている。

【 0 0 2 9 】

これにより、本発明では、利得媒体を比較的導波路方向に関して短く構成でき、また、利得媒体のレスポンスを高速にすることが可能となる。

【 0 0 3 0 】

更に、請求項 6 記載の発明は、上記の波長可変レーザにおいて、前記利得媒体及び/又は前記第1のフィルタが、前記レーザ光の導波路に対して所定角度の傾きを有することを特徴としている。

【 0 0 3 1 】

50

これにより、本発明では、利得媒体及び／又は第１のフィルタにおいて複合共振器が形成することを防止できる。

【００３２】

更に、請求項７記載の発明は、上記の波長可変レーザにおいて、前記利得媒体と前記第１のフィルタとが同一のプラットフォーム上に形成されることを特徴としている。

【００３３】

これにより、本発明では、利得媒体と第１のフィルタとが集積される具体的構成を提供することが可能となる。

【００３４】

更に、請求項８記載の発明は、上記の波長可変レーザにおいて、前記２つの反射面の一方又は両方が、前記利得媒体の一方の面及び／又は前記第１のフィルタの一方の面上に形成されることを特徴としている。

【００３５】

これにより、本発明では、反射面と利得媒体又は第１のフィルタとを同一構成として形成することが可能となるため、キャビティ長をより縮小することが可能となる。

【００３６】

更に、請求項９記載の発明は、上記の波長可変レーザにおいて、前記利得媒体から最も離れた位置に、前記第２のフィルタと前記２つの反射面の一方を形成する第１の反射鏡とが配置され、前記波長可変レーザの出力が、前記第１の反射鏡と異なる第２の反射鏡から抽出されることを特徴としている。

【００３７】

これにより、本発明では、第２のフィルタを介した光の強度と、これを介さない光の強度との差を明確化することが可能となるため、所望するレーザ光を明確に出力させることが可能となる。

【００３８】

【発明の実施の形態】

本発明を説明するにあたり、その原理について先に述べる。

【００３９】

本発明は、光学周波数の広帯域にまたがり、レーザ共鳴装置の単一の縦光学モードを高速に選択するための波長可変レーザを提供するものである。

【００４０】

所望でない周波数での発振が強く抑制される単一モード制御は、利得媒体を用いて広域周波数にまたがった光学エネルギーを発生させ、次に、第１の光学バンドパス伝送フィルタ（以下、第１のバンドパスフィルタと略す）を用いてこの光学エネルギーをフィルタリングし、結果として得られた狭域な光学エネルギーのスペクトラムを周期的な第２の光学バンドパス伝送フィルタ（以下、第２のバンドパスフィルタと略す）を用いてフィルタリングし、更に、共鳴装置のキャビティを用いてこの光学エネルギーを共鳴させることで実現される。尚、第２のバンドパスフィルタは、所望する波長チャネル間隔と同等な自由スペクトル領域を持ち、レーザキャビティの１つの縦モードを選択するのに十分に狭い透過ピークを持つものである。また、レーザ発振は、共鳴装置のキャビティに上述した構成要素を設け、これらを光学的に結合することで実現される。尚、上記した２つのバンドパスフィルタは、ソリッドステートの可変フィルタを用いる。

【００４１】

従来のバンドパスフィルタが用いられた波長可変レーザにおける１つの縦モードの選択性は、隣接する縦モードの間隔と、そのバンドパスフィルタの透過ピークの鋭さと、に依存する。實際上、透過ピークが利用できる程度に鋭く、且つ波長可変できるバンドパスフィルタは限られている。そこで本発明では、可能な限り透過半値幅が狭い透過フィルタを第２のバンドパスフィルタとして用いることにより、鋭い透過特性を得る。また、本発明では、隣接する縦モードの間隔が増加するようにできるだけキャビティの長さを縮小し、これにより、２つの隣接する縦モード間隔を広げて損失差を増加させる。

【0042】

上述した波長可変レーザにおける利得媒体には、半導体光学増幅器（SOA：Semiconductor Optical Amplifier）等を適用することができる。また、第1のバンドパスフィルタには、音響光学素子であるAOTF（Acousto-Optical Tunable Filter）等を適用することができ、また、第2のバンドパスフィルタには、ファブリ・ペロー・エタロン・フィルタ（以下、FPエタロンフィルタという）等を適用することができる。これらの構成要素は、2つの反射面間に形成されるキャビティにおける導波路上に設けられる。尚、上記の2つの反射面の内、少なくとも一方は、出力のために半反射鏡が適用される。但し、この半透過鏡の透過率は、必要に応じて種々変形されるものである。

10

【0043】

FPエタロンフィルタにおける透過ピークの周波数は、ITU（International Telecommunications Union）グリッドの仕様で規格された特定の周波数にマッチするように設計配置される。この結果、周波数ロッカーのようなフィードバック構成を有する周波数制御回路を必要とせずに、正確な周波数のレーザ光を出力させることが可能となる。

【0044】

以上のような構成を有することで、本発明では、他の縦モードが強く抑制された単一モードを出力として得られ、且つ、出力させるレーザ光の周波数を高速に選択することが可能となる。これは、光ファイバを除去することでレーザ装置のキャビティ長が縮小された結果として、並びに、狭域の透過ピークを持つ周期的なフィルタ（FPエタロンフィルタ）を用いた結果として得られる効果である。尚、第1のバンドパスフィルタには、チューナブルであり、また、要求する周波数以外の周期的な透過ピークでの発振を抑制するものが用いられる。加えて、第2のバンドパスフィルタとして、ITUグリッドに正確にマッチする所望の周波数ピークを有するものを用いることで、ITUグリッドにおいて規格された周波数へ容易且つ高速に制御することが可能となる。

20

【0045】

以下、本発明を好適に実施した形態について、図面を用いて詳細に説明する。

【0046】

本発明の実施例について以下に図面を用いて詳細に説明する。図3は、本実施例による波長可変レーザの概略を示すブロック図である。

30

【0047】

図3を参照すると、本実施例による波長可変レーザでは、2つの反射面（半透過鏡2，反射鏡6）間にレーザ共振器となるキャビティ10が形成される。尚、この2つの反射面の内、少なくとも一方には、キャビティ10からレーザ光を取り出すための構成として、半透過鏡（2）が使用される。また、半透過鏡2の出力側には、単一モードの光ファイバが結合される。

【0048】

キャビティ10内には、光学エネルギーを発生させるための利得媒体1と、ソリッドステートのチューナブルなバンドパスフィルタ3と、が設けられる。利得媒体1内の半導体光学増幅器（SOA）において発生する光学エネルギーは、100nm程の典型的に広域な周波数領域以上に広く分布する。バンドパスフィルタ3は、上述における第1のバンドパスフィルタであり、機械的構成を必要とせずにその透過特性を制御できるものを用いる。また、バンドパスフィルタ3は、図5（b）に示すように、比較的に広い透過特性を持つものである。尚、上記の光ファイバの延長上に、レーザ光のパワーをモニタリングする構成を設け、この結果に基づいて利得媒体1の利得を制御するよう構成するとよい。

40

【0049】

更にキャビティ内には、第3の基本構成として、周期的に配列された狭域の透過ピークを数多く持つフィルタ（エタロンフィルタ5）が第2のバンドパスフィルタとして設けられる。このエタロンフィルタ5は、図5（c）に示すように、周期的に隔てられた高い透過

50

ピークを持つものである。

【0050】

また、キャビティ10内に設けられた上記全ての光学要素は、キャビティ10を構成する反射面（半透過鏡2，反射鏡6）に挟まれた領域であって、共鳴を生じさせる光路7上に位置される。

【0051】

周波数コントローラ4は、所望の発振周波数を選択するために、バンドパスフィルタ3の透過特性を制御する。また、図4に示すように、波長可変レーザの一方の端（レーザ光の出力側）に、出力されたレーザ光を変調させるための強度変調器8を設けても良い。これにより、データ信号を変調させることが可能となる。

10

【0052】

キャビティ10内でのレーザ発振は、後述する2つの条件を同時に満たす周波数でのみ生じる。第1の条件は、往復により生じる波長の位相変化量が360度の倍数となることである。これは、レーザ発振を得るために必要な条件である。

【0053】

満足すべき第2の条件は、波長を往復させることにより与えられる全損失と全利得とが、基本的に同等量となることである。レーザ発振は主に、往復による損失が最も小さい周波数の周りに生じる。

【0054】

これらの条件により許可される縦モードは、図5(d)に示すように、複数のスペクトルの重なりになる。例えば長さLのキャビティが屈折率nの均一な媒質で満たされているとすると、隣接する縦モード間の周波数間隔 f_d は、 $c / (2nL)$ となる。ここで、cは真空中での光の速さである。

20

【0055】

従って、 $f_d = c / (2nL)$ の関係から、長さLが増加するにつれて周波数間隔 f_d が狭くなるため、従来の波長可変型のバンドパスフィルタでは短い素子長で1つの縦モードを選択することが困難である。これに対し本実施例では、波長可変型バンドパスフィルタの透過帯域は比較的広くてよいいため、短い素子長でよく、キャビティ10の長さLを可能な限り短くすることが出来る。

【0056】

図5(a)は、光学的なフィードバック構成を用いていない利得媒体1での典型的な利得スペクトラムを示す図である。但し、本説明における利得媒体1には、MQW(Multiple-Quantum Well)半導体を用いられているものとする。

30

【0057】

図5(a)中、破線は、往復による損失を伴うレーザ装置において、レーザ発振のために要求される最小の利得の例を示す。また、この破線に相当する値は、レーザ発振する条件となるしきい値となる。即ち、図5(a)中、利得がしきい値以上となる周波数領域では、レーザ発振を制御することができる。

【0058】

本実施例は、上述したような2つのフィルタ（バンドパスフィルタ3，エタロンフィルタ5）を用いて縦モードの往復による損失の周波数依存性を調整することで、発振により生じるレーザ光の周波数を制御する。これにより、本実施例では、縦モードの多くが図6(a)に示すようにエネルギーを競い始めてしまうという問題が回避される。尚、キャビティ10内での損失に差を持たせる構成がない場合、通常、縦モードの多くが図6(a)に示すようにエネルギーを競い始めてしまう。

40

【0059】

利得媒体1で得られるスペクトラムにおける不要な縦モードが強く抑制されたレーザ装置に対して単一モード制御を行うためには、縦モード同士で十分大きな損失差を持たせることが要求される。これは、特に隣接する光学縦モード間に要求される。

【0060】

50

また、隣接する縦モードが抑制される程度は、副モード抑制比 (Side - Mode Suppression Ratio : SMSR) として表される。この SMSR は、縦モード間の最小の損失差に関係するものである。この理論は、McIlroy による『IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 26 no. 6』(以下、文献 1 とする) において開示されている。尚、文献 1 によれば、隣接する縦モード間の損失差が 1 dB あれば、40 dB 以上の SMSR が得られるとしている。しかしながら、縦モードが密集している場合、文献 1 に対して、例えば 100 nm の波長可変幅を有し、1 GHz のモード間隔に対して 1 dB の損失差を有する短い単一の波長可変フィルタを適用することが困難である。

【0061】

これに対し、本実施例ではフィルタへの要求を軽減するために、2つのタイプのフィルタが用いられている。1つは周期的なフィルタであるエタロンフィルタ 5 であり、この典型的な特性を図 5 (c) に示す。エタロンフィルタ 5 は、狭い透過ピークが容易に実現される狭い透過帯域幅を有する。このため、本実施例では、略 5 cm 又はそれ以下の短いキャビティ長であれば、隣接する縦モード間の損失差が 1 dB で、フィネスが約 20 の領域を持つ FP エタロンフィルタをエタロンフィルタ 5 として用いることができる。

【0062】

エタロンフィルタ 5 の自由スペクトル領域は、ITU グリッドで規定される周波数間隔に概してセットされる。尚、望ましくは、ITU グリッドで規定された周波数に完全に一致させた方がよい。周波数間隔の典型的な値としては、100 GHz 又は 50 GHz、波長に換算すると約 0.8 nm 又は約 0.4 nm である。エタロンフィルタ 5 には、エアギャップタイプのエタロンを使用できる。また、選択した周波数以外での発振を避けるためには、バンドパスフィルタ 3 が少なくとも利得媒体 1 の利得幅以上の波長可変幅を持つことが要求される。但し本実施例では、バンドパスフィルタ 3 の透過特性への要求が軽減されている。この理由は、損失差が 0.4 nm 若しくは 0.8 nm 離れた周波数間に対して要求されるためである。このバンドパスフィルタ 3 の透過特性の例を図 5 (b) に示す。

【0063】

上述のような光学的構成要素を有することで、本実施例では 1 つの縦モードを選択することが可能となる。第 2 のバンドパスフィルタであるエタロンフィルタ 5 により透過させる縦モードのスペクトラムを選択することが可能となるためである。これを図 6 (c) に示す。この結果、多くの縦モードが減じられ、このエタロンフィルタ 5 の透過ピークの間隔が広いため、バンドパスフィルタ 3 の帯域幅は、相対的に広域でもよい。また、本実施例による構成を光学的フィードバック構成を有する光学共鳴装置に適用した場合に得られる光学モードのスペクトラムを図 6 (d) に示す。

【0064】

上述において、チューナブルなバンドパスフィルタ 3 には、AOTF が適用される。但し、AOTF は、光学出力と弾性表面波 (SAW) との相互作用により透過特性を変化させる光学フィルタである。また、AOTF に印加される SAW は、LiNbO₃ のような、複屈折物質に設けられた電極にラジオ周波数 (RF) を印加することによって発生される。また、発生された SAW は、AOTF (バンドパスフィルタ 3) を導波路方向に沿って伝達する。このとき、バンドパスフィルタ 3 内部の導波路において光の偏波の回転が生じる。この偏向は、SAW の周波数に関係した周波数の中心付近において生じる。偏光分離フィルタを用いることで、周波数帯域を入力から第 1 の導波路の出力方向へ導き、また、残った出力を第 2 の導波路の出力方向へ導くことが可能となる。

【0065】

モード選択は、SAW の周波数を変えることにより高速に制御することができる。但し、周波数を # 1 から # 2 へ切り換える際の手順では、# 1 を開放する前に、AOTF の透過特性が双方の波長に合わせられる。これは、AOTF のユニークな特性の一面であり、2 つの RF 波を重ねることができることを利用している。この構成によれば、制御中に中間の波長で発光することを防止でき、更に、制御速度を向上させることができる。

10

20

30

40

50

【0066】

しかしながら、バンドパスフィルタ3としてAOTF14を使用することは、伝達するSAWの使用により生じる固有の問題を抱えている。即ち、SAWの速度は、光学的周波数におけるドップラーシフトを引き起こす。そこで本実施例では、2つの等価のAOTF素子を接続して使用することで、周波数のドップラーシフトを排除し、これにより、一定の出力制御性が得られるよう構成する。

【0067】

ここで、SAWが光波と同一の方向に伝播する場合、ドップラーシフトは、TE偏向モードからTM偏向モードへの変換の際に正方向へ生じる。これに対して、TM偏向モードからTE偏向モードへの変換の際には負方向へ生じる。また、光波とSAWとが逆の方向に伝播する場合、それぞれの変換におけるドップラーシフトは上述の逆方向となる。

10

【0068】

また、本実施例のより具体的構成を図7(a), (b)に示す。但し、本具体例において、エタロン17は可能な限り反射面(反射鏡18)の近傍に設けられる。そこで、図7(b)のように、エタロン17がAOTF14に面するように構成された場合、SOA15の一方の面には、半透過鏡23が直接設けられる。これに対し、SOA15がエタロン17とAOTF14とに挟まれるよう構成された場合、図7(a)に示すように、AOTF14の一方の面には半透過鏡13が直接設けられる。

【0069】

AOTF14のバンドパス特性の切り替え速度は、SAWが相互作用領域の端から端まで伝播する時間と関連している。この時間は、10 μ sまで短縮することができる。これにより、迅速な周波数切り換えが可能となる。

20

【0070】

反射面(反射鏡18, 半透過鏡13/23)の間に形成されるキャビティからレーザ光を出力するためには、少なくとも一方の反射面を半透過鏡(13/23)とする必要がある。

【0071】

高性能の波長可変レーザは、キャビティ全体における損失の削減が要求されるが、損失の主な要因は結合損失である。スポットサイズを一致させるために増幅器(SOA15)及びAOTF14の双方に設けられたスポットサイズ変換器は、結合損失を削減するのに適している。

30

【0072】

不要な反射が存在する場合、SOA15の利得特性に非常に大きな格差を生じさせるが、図7(a)に示す本実施例はこのような問題を解決する。SOA15の両面には、図7(a)に示すように、無反射(AR)コーティングがなされることで、無反射一面出力構成となる。

【0073】

また、図7(b)に示す例では、SOA15がエタロン17から可能な限り離れた場所に配置されている。そして、低反射コーティング又はへき開面がSOA15側の一方の面に形成され、他の一方の面にARコーティングがなされている。これにより、第2のフィルタ(エタロン17)を透過してから反射鏡18で反射して戻る光と、エタロン17から反射した光とがSOA15に混入することを防ぐことができる。

40

【0074】

SOA15又はAOTF14とこれ以外とを結合する部分に、上述のようなレンズ(コリメータ12, 16)を用いることで、キャビティ長を更に短くし、また、波長可変レーザをさらにコンパクトにすることができる。尚、SOA15又はAOTF14とこれ以外とを結合する部分とを、付け合わせ構造(Butt-Coupled構造)とすることで、コリメータレンズを省略し、キャビティ長を更に縮減することも可能である。

【0075】

また、SOA15とAOTF14との向かい合う面に所定の角度をセッティングすること

50

で、SOA15とAOTF14とをより接近させることが可能となる。この所定の角度とは、SOA15とAOTF14との間を伝播するレーザー光の導波路に対する、SOA15の出力面とAOTF14の出力面との角度が同等となる角度である。これは、図8に示すように、相互の出力面を平行とすることで解決される。

【0076】

第2のキーとなる解決課題は、キャビティにおける反射面間の不要な反射を取り除くことである。これは、SOA15の面を導波路に対して傾かせることと、エタロン17を微小に傾けることで解決される。尚、これら全ての面には、ARコーティングがなされる。

【0077】

上述した本実施例は、特にSOA15近辺における不均一な利得を減じるために、反射が最小限に抑えられたAOTF14に結合されるSOA15の一方の面を、先細とし、且つ、ARコーティングが施された窓構造とし、更に、これを導波路に対して傾きを持たせた構造としている。図9は、先が細く、窓構成を有し、SOA15の出力面の通常軌道に対して導波路が傾いている、SOA15の無反射面(26, 27)の好適な構成を示す図である。

【0078】

波長可変レーザーの安定性を向上させるためには、共通の基板等のプラットホームに全て上記の構成要素を設ける必要がある。

【0079】

更に、AOTF14の材料としても使用できる材質である微小なドープがなされたライトガイドを用いることで、より一層、波長可変レーザーを集積することが可能となる。この材質の例としては、エルビウムがドープされたLiNbO₃が挙げられる。図10にこのように構成した場合の例を示す。

【0080】

上述した実施例の具体的構成を図7(b)を用いて説明する。図7(b)において、利得媒体(SOA15)は、MQW構造を有する導波路より形成される。SOA15における導波路(アクティブライトガイド25)の詳細な構成は、図9に示す。SOA15において、一方の面は略10%の低反射(LR)コーティングがなされ、もう一方の面はARコーティングがなされる。また、ARコーティングがなされた面はAOTFに結合される。窓構成は、先端になるにつれ細くなり、略25μmの長さを持ち、また、その傾きは10度である。これにより、出力面へ延びるライトガイドの幅が縮小される。このようなコーティングされた窓構成の反射率は 10^{-6} 桁である。尚、SOA15内部での利得は、200mAの電流で30dBであった。

【0081】

AOTF14は、長さが略2cmであり、ドップラシフトを補うために、図7(b)に示すように、2ステージの構成とされている。また、SOA15とAOTF14との間には、結合部が設けられる。但し、AOTF15はコリメータを有さない。

【0082】

エタロン17には、100GHzの自由スペクトル領域とフィネスが15とを持つエタロンが用いられ、コリメータ12, 16には、焦点距離が2mmである一般的なレンズが用いられる。反射鏡18は、1400nmから1720nmの波長領域に対して98%以上の反射率を持ち、材質がTiO₂であるものを用いる。反射鏡18と半透過鏡13, 23との間に形成されるキャビティ全体の長さは5cmであり、その構成要素は導波路上に配置されている。

【0083】

図11は、本実施例の波長可変レーザーに関して、異なるレーザー波長で得られる典型的なスペクトラムを示すグラフである。尚、図11は、1480nmから1530nmの波長に関して示しており、その可変領域を50nmとしている。図11によれば、本実施例による波長可変レーザーでは、3ミリワット以上の出力が得られる。また、ノイズの相対強度(RIN)は、7.5GHzの周波数において、-140dB/Hz以下の良好な値となっ

10

20

30

40

50

た。また、副モード抑制比 (S M S R) は 4 0 d B よりも良好な値となった。

【 0 0 8 4 】

また、上記した各実施例は、本発明を好適に実施した形態の一例に過ぎず、本発明は、その主旨を逸脱しない限り、種々変形して実施することが可能なものである。

【 0 0 8 5 】

(付記 1)

2 つの反射面により形成された共鳴領域を有する波長可変レーザであって、

レーザ光を生成する利得媒体と、

該利得媒体で生成されたレーザ光の第 1 の所定波長領域を透過させる第 1 のフィルタと、

該第 1 のフィルタを透過したレーザ光の第 2 の所定波長領域を透過させる第 2 のフィルタ

10

と、を有し、

前記第 1 のフィルタは、前記第 1 の所定透過領域を調整できる可変フィルタであり、前記

第 2 のフィルタは、前記第 2 の所定透過領域が周期的に配列されたフィルタであることを

特徴とする波長可変レーザ。

【 0 0 8 6 】

(付記 2)

付記 1 記載の前記波長可変レーザにおいて、

前記第 1 のフィルタは、音響光学素子で構成されることを特徴とする波長可変レーザ。

【 0 0 8 7 】

(付記 3)

20

付記 2 記載の前記波長可変レーザにおいて、

前記第 1 のフィルタは、ドップラーシフトを相殺するように 2 段構成となっていることを

特徴とする波長可変レーザ。

【 0 0 8 8 】

(付記 4)

付記 1 から 3 の何れか 1 項に記載の前記波長可変レーザにおいて、

前記 2 つの反射面は、少なくとも前記利得媒体で生成されるレーザ光の波長を反射させる

ことを特徴とする波長可変レーザ。

【 0 0 8 9 】

(付記 5)

30

付記 1 から 4 の何れか 1 項に記載の前記波長可変レーザにおいて、

前記第 2 のフィルタは、前記レーザ光の導波路に対して所定角度の傾きを有することを特

徴とする波長可変レーザ。

【 0 0 9 0 】

(付記 6)

付記 1 から 5 の何れか 1 項に記載の前記波長可変レーザにおいて、

前記利得媒体は、エルビウムがドーピングされた LiNbO_3 より成ることを特徴とする波長

可変レーザ。

【 0 0 9 1 】

(付記 7)

40

付記 6 記載の前記波長可変レーザにおいて、

前記利得媒体は、前記第 1 のフィルタに集積されていることを特徴とする波長可変レーザ

。

【 0 0 9 2 】

(付記 8)

付記 1 から 5 の何れか 1 項に記載の前記波長可変レーザにおいて、

前記利得媒体は、半導体素子で形成されることを特徴とする波長可変レーザ。

【 0 0 9 3 】

(付記 9)

付記 8 記載の前記波長可変レーザにおいて、

50

前記利得媒体は、前記レーザ光のスポットサイズを変換する第1のスポットサイズコンバータを有することを特徴とする波長可変レーザ。

【0094】

(付記10)

付記8又は9記載の前記波長可変レーザにおいて、
前記利得媒体と前記第1のフィルタとが付け合わせ構造で接合されることを特徴とする波長可変レーザ。

【0095】

(付記11)

付記8から10の何れかに記載の前記波長可変レーザにおいて、
前記利得媒体及び/又は前記第1のフィルタは、前記レーザ光の導波路に対して所定角度の傾きを有することを特徴とする波長可変レーザ。

10

【0096】

(付記12)

付記11記載の前記波長可変レーザにおいて、
前記利得媒体の接合面と前記第1のフィルタの接合面とは、平行に配置されることを特徴とする波長可変レーザ。

【0097】

(付記13)

付記2から12の何れかに記載の前記波長可変レーザにおいて、
前記第1のフィルタは、前記レーザ光のスポットサイズを変換する第2のサイズコンバータを有することを特徴とする波長可変レーザ。

20

【0098】

(付記14)

付記2から12の何れか1項に記載の前記波長可変レーザにおいて、
前記利得媒体と前記第1のフィルタとが同一のプラットホーム上に形成されることを特徴とする波長可変レーザ。

【0099】

(付記15)

付記1から14の何れか1項に記載の前記波長可変レーザにおいて、
前記2つの反射面的一方又は両方は、前記利得媒体の一方の面及び/又は前記第1のフィルタの一方の面上に形成されることを特徴とする波長可変レーザ。

30

【0100】

(付記16)

付記8から15の何れか1項に記載の前記波長可変レーザにおいて、
前記利得媒体は、窓構造を有することを特徴とする波長可変レーザ。

【0101】

(付記17)

付記1から16の何れか1項に記載の前記波長可変レーザにおいて、
前記第2のフィルタは、前記反射面の何れか一方の近接する位置に設けられることを特徴とする波長可変レーザ。

40

【0102】

(付記18)

付記1から17の何れか1項に記載の前記波長可変レーザにおいて、
前記利得媒体から最も離れた位置に、前記第2のフィルタと前記2つの反射面的一方を形成する第1の反射鏡とが配置され、
前記波長可変レーザの出力は、前記第1の反射鏡と異なる第2の反射鏡から抽出されることを特徴とする波長可変レーザ。

【0103】

(付記19)

50

付記 1 から 18 の何れか 1 項に記載の前記波長可変レーザにおいて、
前記波長可変レーザの出力端に設けられ、該波長可変レーザのレーザ出力の強度をモニタリングする強度検出手段と、
該強度検出手段により検出された前記レーザ出力の強度に基づいて、前記利得媒体の注入電流を制御する利得制御手段と、
を有することを特徴とする波長可変レーザ。

【0104】

【発明の効果】

以上説明したように、請求項 1 記載の発明によれば、周波数制御を高速に行える、単純な構成の波長可変レーザを提供することができる。

10

【0105】

更に、請求項 2 記載の発明によれば、SAWにより透過領域が可変なフィルタを用いて構成することが可能となる。

【0106】

更に、請求項 3 記載の発明によれば、往復により生じるドップラーシフトを相殺することが可能となる。

【0107】

更に、請求項 4 記載の発明によれば、例えばITUグリッドで規定されている波長を透過させるように第 2 のフィルタを調節することが可能となる。

20

【0108】

更に、請求項 5 記載の発明によれば、半導体素子を使用することなく利得媒体を形成することが可能となる。

【0109】

更に、請求項 6 記載の発明によれば、利得媒体を比較的導波路方向に関して短く構成でき、また、利得媒体のレスポンスを高速にすることが可能となる。

【0110】

更に、請求項 7 記載の発明によれば、利得媒体及び / 又は第 1 のフィルタにおいて複合共振器が形成することを防止できる。

【0111】

更に、請求項 8 記載の発明によれば、利得媒体と第 1 のフィルタとが集積される具体的構成を提供することが可能となる。

30

【0112】

更に、請求項 9 記載の発明によれば、反射面と利得媒体又は第 1 のフィルタとを同一構成として形成することが可能となるため、キャビティ長をより縮小することが可能となる。

【0113】

更に、請求項 10 記載の発明によれば、第 2 のフィルタを介したレーザ光の強度と、これを介さないレーザ光の強度との差を明確化することが可能となるため、所望するレーザ光を明確に出力させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】従来技術 1 による波長可変レーザの構成を示すブロック図である。

40

【図 2】従来技術 2 による波長可変レーザの構成を示すブロック図である。

【図 3】本発明の実施例による波長可変レーザの構成を示すブロック図である。

【図 4】図 3 の構成例の他の構成例を示すブロック図である。

【図 5】(a) は利得媒体 1 による利得を説明するためのグラフであり、(b) はバンドパスフィルタ 3 の透過特性を示すグラフであり、(c) はエタロンフィルタ 3 の透過特性を示すグラフであり、(d) は縦モードのスペクトラムを説明するための図である。

【図 6】(a) は利得媒体 1 で増幅される縦モードのスペクトラムを説明するためのグラフであり、(b) はバンドパスフィルタ 3 を透過する縦モードのスペクトラムを説明するグラフであり、(c) はエタロンフィルタ 3 の透過する縦モードのスペクトラムを説明するグラフであり、(d) は得られるレーザ出力を説明するためのグラフである。

50

【図 7】(a) は本発明の実施例による波長可変レーザの具体的構成を示す図であり、(b) は(a)の他の具体的構成を示す図である。

【図 8】図 7(a) 又は(b)における SOA 15・AOTF 14 間の構成を説明するための拡大図である。

【図 9】SOA 15 の構成を示す図である。

【図 10】AOTF 14 の他の具体的構成を示す図である。

【図 11】本発明の実施例における具体的構成より得られる出力値を示すグラフである。

【符号の説明】

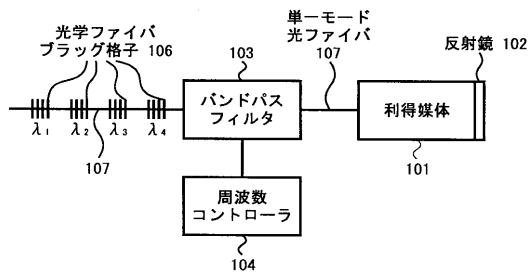
- 1 利得媒体
- 2、13、23 半透過鏡
- 3 バンドパスフィルタ
- 4 周波数コントローラ
- 5 エタロンフィルタ
- 6、18 反射鏡
- 7 導波路
- 8 周波数変調器
- 10 キャビティ
- 11 光ファイバ
- 12、16 コリメータ
- 14 AOTF
- 15 SOA
- 17 エタロン
- 25 アクティブライトガイド
- 26、27 無反射面
- 31 エルビウムドープ領域

10

20

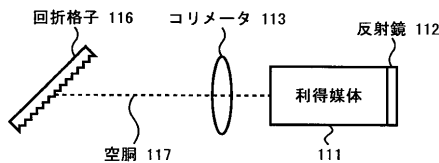
【図 1】

従来技術1による波長可変レーザの構成を示すブロック図



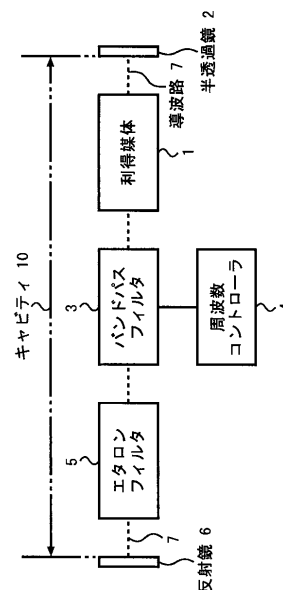
【図 2】

従来技術2による波長可変レーザの構成を示すブロック図



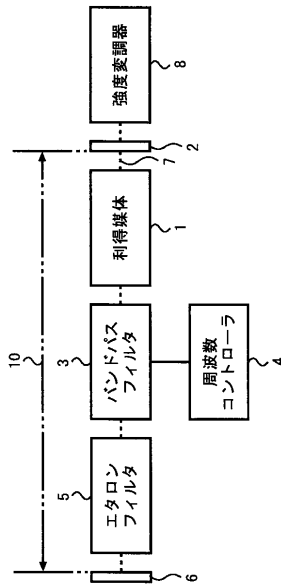
【図 3】

本発明の実施例による波長可変レーザの構成を示すブロック図



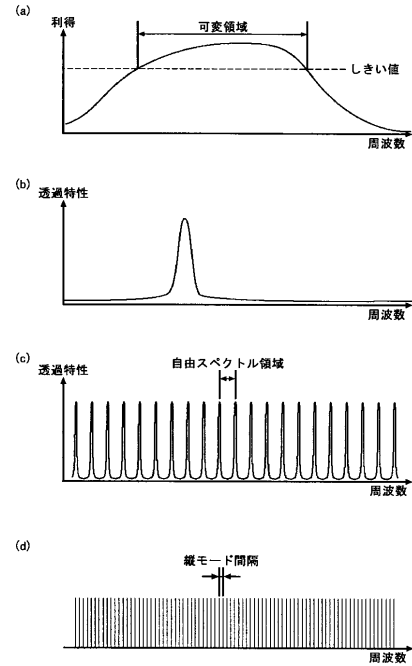
【図 4】

図3の構成の他の構成例を示すブロック図



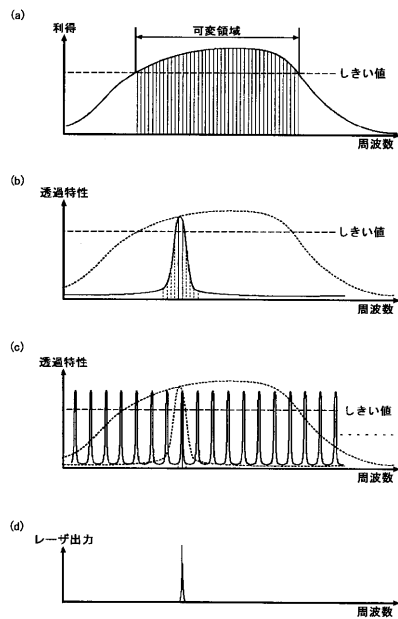
【図 5】

(a)は利得媒体11による利得を説明するためのグラフ、
(b)はバンドパスフィルタ3の透過特性を示すグラフ、
(c)はエタロンフィルタ3の透過特性を示すグラフ、
(d)は縦モードのベクトラムを説明するための図



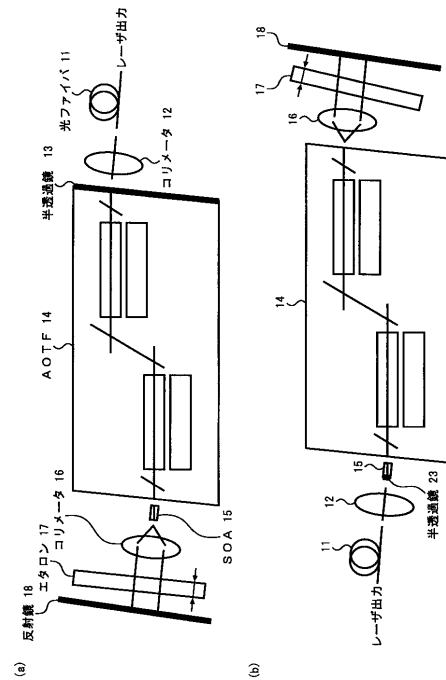
【図 6】

(a)は利得媒体1で増幅される縦モードのスペクトラムを説明するためのグラフ、(b)はバンドパスフィルタ3を透過する縦モードのスペクトラムを説明するグラフ、(c)はエタロンフィルタ3の透過する縦モードのスペクトラムを説明するグラフ、
(d)は得られるレーザ出力を説明するためのグラフ



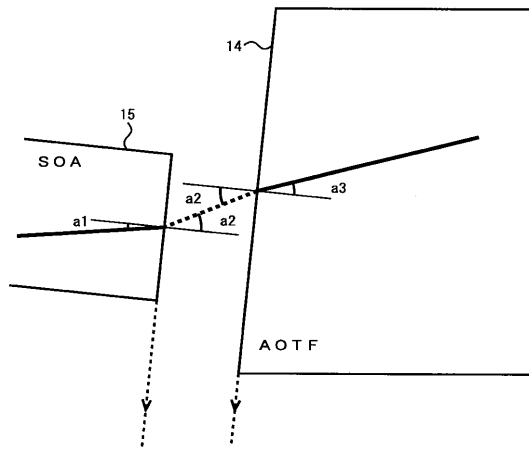
【図 7】

(a)は本発明の実施例による波長可変レーザの具体的構成を示す図、(b)は(a)の他の具体的構成を示す図



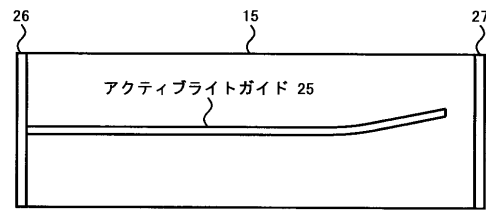
【図 8】

図7(a)又は(b)におけるSOA15・AOTF14間の構成を説明するための拡大図



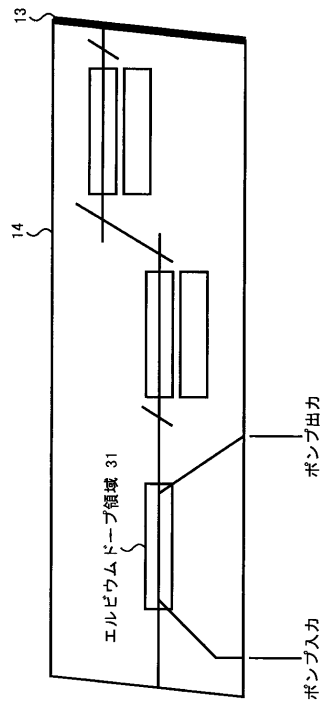
【図 9】

SOA15の構成を示す図



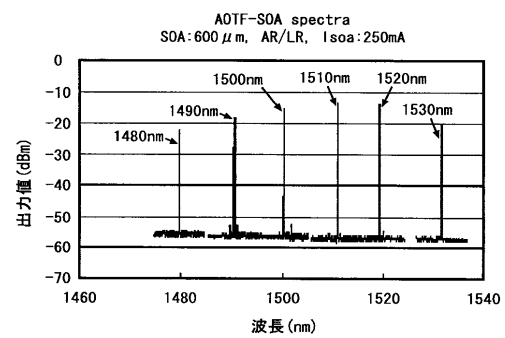
【図 10】

AOTF14の他の具体的構成を示す図



【図 11】

本発明の実施例における具体的構成より得られる出力値を示すグラフ



フロントページの続き

- (72)発明者 中澤 忠雄
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
- (72)発明者 橋本 直樹
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
- (72)発明者 尾中 寛
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
- (72)発明者 小滝 裕二
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

合議体

審判長 稲積 義登

審判官 西村 直史

審判官 吉野 公夫

- (56)参考文献 特開平8-195520(JP,A)
特開2000-261086(JP,A)
特開平5-347450(JP,A)
特開昭62-198724(JP,A)
特開平11-17286(JP,A)
特開2001-177182(JP,A)
特開平11-68206(JP,A)
特開2000-111855(JP,A)
特開平5-327107(JP,A)
特開平8-43868(JP,A)
特開平5-55680(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 3/00-4/00