

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4678191号

(P4678191)

(45) 発行日 平成23年4月27日(2011.4.27)

(24) 登録日 平成23年2月10日(2011.2.10)

(51) Int.Cl.

H01S 3/082 (2006.01)

F I

H01S 3/082

請求項の数 1 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2005-4560 (P2005-4560)	(73) 特許権者	000004237
(22) 出願日	平成17年1月11日(2005.1.11)		日本電気株式会社
(65) 公開番号	特開2006-196554 (P2006-196554A)		東京都港区芝五丁目7番1号
(43) 公開日	平成18年7月27日(2006.7.27)	(74) 代理人	100079164
審査請求日	平成19年10月10日(2007.10.10)		弁理士 高橋 勇
		(72) 発明者	鈴木 耕一
			東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
			式会社内
		(72) 発明者	山崎 裕幸
			東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
			式会社内
		審査官	傍島 正朗

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多重共振器の設計方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

互いに異なる光路長を有する第一乃至第三の共振器が光学的結合手段を介して連結されて成る多重共振器の設計方法において、

前記第一乃至第三の共振器の各光路長のうち、最も短い光路長 L_0 を定めておき、

最も長い光路長 L_1 について、 M_1 を3以上の整数としたとき、

$$L_1 = \{M_1 / (M_1 - 1)\} L_0 \cdots \langle 1 \rangle$$

が成り立ち、

二番目に長い光路長 L_2 について、 M_2 を3以上の整数としたとき、

$$L_2 = \{M_2 / (M_2 - 1)\} L_0 \cdots \langle 2 \rangle$$

が成り立ち、かつ、

$$M_2 - 1 = (M_1 - 1)^2 \cdots \langle 3 \rangle$$

が成り立つように、前記 L_1 、 L_2 、 M_1 、 M_2 を定める、

ことを特徴とする多重共振器の設計方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えばWDM (Wavelength Division Multiplexing) 伝送システム等に用いられる波長可変光源等に関する。

【背景技術】

【0002】

ブロードバンド時代を迎え、光ファイバの効率的な活用に向け、一台で複数の光波長の通信が可能なWDM伝送システムの導入が進んでいる。最近では、数十の光波長を多重化し、より高速な伝送を可能にするDWDM装置（高密度波長分割多重装置）の活用も広がっている。これに伴い、各WDM伝送システムには光波長毎に対応した光源が必要となり、高多重化に伴いその必要数は飛躍的に増加している。更に最近では、任意波長を各ノードでAdd/DropするROADM（Reconfigurable optical add/drop multiplexers）が、商用化を目指して検討されつつある。このROADMシステムを導入すれば、波長多重による伝送容量の拡大に加え、波長を変えることによる光路切り換えが可能となるので、光ネットワークの自由度が飛躍的に高まる。

10

【0003】

WDM伝送システム用の光源としては、これまで単一軸モード発振するDFB-LD（Distributed feedback laser diode：分布帰還型半導体レーザ）がその使いやすさ及び信頼性の高さから広く使われてきた。DFB-LDは、共振器全域に深さ30nm程度の回折格子が形成されており、回折格子周期と等価屈折率の二倍との積に対応した波長で安定した単一軸モード発振が得られる。しかし、DFB-LDでは、発振波長の広範囲に渡るチューニングが不可能であるので、ITUグリッド毎に波長のみが異なった製品を用いて、WDM伝送システムを構成している。このため、波長毎に異なった製品を用いる必要があるため、棚管理コストが上昇したり、故障対応のための余剰な在庫が必要になったりしていた。更に、波長により光路を切り換えるROADMでは、通常のDFB-LDを使用

20

【0004】

これら現状のDFB-LDのもつ課題を克服し、広い波長範囲で単一軸モード発振を実現すべく、波長可変光源としての波長可変レーザの研究が精力的に行われている。以下、下記非特許文献1に詳述されている中から幾つかを例示することにより、従来の波長可変レーザについて説明する。

【0005】

波長可変レーザは、レーザ素子内に波長可変機構を設けたタイプと、レーザ素子外に波長可変機構を設けたタイプとの、二種類に大別される。

30

【0006】

前者の種類では、利得を生み出す活性領域と、回折格子による反射を生み出すDBR領域とが、同一レーザ素子内に形成されたDBR-LD（Distributed Bragg reflector laser diode）が提案されている。このDBR-LDの波長可変範囲は、最高でも10nm程度である。また、利得を生み出す活性領域とこれを前方と後方で挟むDBR領域とが同一レーザ素子内に形成された、不均一回折格子を用いたDBR-LDが提案されている。前方と後方のDBR領域は、不均一回折格子によって多数の反射ピークが発生し、かつ反射ピークの間隔が前方と後方で僅かにずれている。この構造によっていわゆる「バーニャ効果」が得られるので、極めて広い波長可変が可能となる。この不均一回折格子を用いたDBR-LDでは、100nmを越える波長可変動作及び40nmの準連続波長可変動作が実現されている。

40

【0007】

一方、後者の種類では、レーザ素子外に設けた回折格子を回転させて特定の波長の光をレーザ素子に戻す波長可変レーザが提案されている。

【0008】

【非特許文献1】小林功郎著、「光集積デバイス」，初版2刷，共立出版株式会社，2000年12月，p. 104-122

【非特許文献2】“Optical Filter Design and Analysis” C.K.Madsen, J.H.Zhao

【発明の開示】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、従来の波長可変レーザにおいては、これまで多くの構造が提案されているものの、モードジャンプと呼ばれる所望の波長から予期しない波長に切り替ってしまう問題の発生、複雑な波長制御方法、弱い振動耐性、素子増大による高価格化等の欠点があるため、実用化が困難な状況が続いている。

【0010】

DBR-LDでは、DBR領域にキャリア注入を行うことにより、この部分での屈折率を変化させて、波長可変動作を実現している。このため、電流注入により結晶欠陥が増殖すると、電流注入に対する屈折率変化の割合が著しく変動するので、長期的な使用においては一定波長でのレーザ発振を維持することが難しい。更に、現状の化合物半導体のプロセス技術では、3インチ以上のインチアップは不可能である。そのため、複雑化してサイズの大きくなったレーザ素子では、価格が大幅に上昇してしまう。

【0011】

一方、レーザ素子外に波長可変機構を設けた構成では、振動によってモードジャンプが容易に発生することから、これを避けるための大がかりな耐震機構が必要となる。そのため、モジュールサイズの大型化及び価格の上昇を招いてしまう。

【0012】

そこで、本発明の目的は、実用化に際して問題となっていた従来の波長可変レーザの課題を克服し、高信頼性、高性能かつ低価格な波長可変光源等を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明に係る多重共振器は、互いに異なる光路長を有する第一乃至第三の共振器が光学的結合手段を介して連結されて成るものである。そして、第一の共振器の光路長が L_0 、第二の共振器の光路長が L_1 、第三の共振器の光路長が L_2 であり、かつ M_1 、 M_2 が3以上の整数であるとき、次式〈1〉、〈2〉、〈3〉が全て成り立つ。

【0014】

$$L_1 = \{M_1 / (M_1 - 1)\} L_0 \quad \dots \quad \langle 1 \rangle$$

$$L_2 = \{M_2 / (M_2 - 1)\} L_0 \quad \dots \quad \langle 2 \rangle$$

$$M_2 - 1 = (M_1 - 1)^2 \quad \dots \quad \langle 3 \rangle$$

【0015】

各共振器は、後述するリング共振器の他に、例えばエタロンフィルタ、マッハツェンダ干渉計、複屈折率結晶など、共振器になり得るものであればどのようなものでもよい。多重共振器を構成する各共振器は、光路長差に起因してFSR (free spectral range) が僅かに異なっている。そのため、各共振器で発生している光透過の周期的な変化が一致した波長（共振波長）において更に大きな光透過が発生する。このように、本発明では、光路長の僅かに異なる共振器を複数直列に接続して多重共振器を構成し、これにより発生するバーニヤ効果を巧みに利用している。そして、前述の式〈1〉、〈2〉、〈3〉を満たすように設計した多重共振器を用いて波長可変光源を構成した場合に、発振チャンネルと隣接チャンネルとの透過損失の差（以下「モード利得差」という。）が最大となる。モード利得差が小さいと、光増幅器の利得の周波数特性や共振器の共振器長が微妙に変化した時に、容易に所望のモードとは違うモードの損失が最小になってしまい、望まない波長で発振してしまう。これに対して、本発明では、モード利得差を大きくすることにより、安定した波長可変動作が可能となる。

【0016】

また、式〈3〉に代えて、次式〈4〉としてもよい。

$$\sqrt{(M_2 \times 0.7 - 1) / 1.3} < M_1 - 1 < \sqrt{(M_2 \times 1.3 - 1) / 0.7} \quad \dots \quad \langle 4 \rangle$$

【0017】

このとき、 M_1 、 M_2 について±30%まで許容されることになり、後述する図3の例では最適な条件に比べてモード利得差が2dB程度悪化する。

【0018】

また、本発明に係る多重共振器は、第一乃至第三のリング共振器の一つに光学的結合手段を介して一端が接続された第一の導波路と、第一乃至第三のリング共振器の他の一つに光学的結合手段を介して一端が接続された第二の導波路と、を更に備えてもよい。このとき、リング状導波路並びに第一及び第二の導波路は、同一の基板上に形成してもよく、石英ガラス系導波路によって一体形成してもよい。また、多重共振器の共振波長を変化させる波長可変手段を更に備えてもよい。この波長可変手段は、例えば基板上に設けられた膜状ヒータである。

【0019】

第一乃至第三の共振器は、互いに異なる光路長を有するリング状導波路から成る第一乃至第三のリング共振器、とすることができる。このとき、この多重共振器と、第一乃至第三のリング共振器の一つに光学的結合手段を介して一端が接続された入出側導波路と、第一乃至第三のリング共振器の他の一つに光学的結合手段を介して一端が接続された反射側導波路と、多重共振器、入出側導波路及び反射側導波路が形成された基板と、反射側導波路の他端に設けられた光反射器と、入出側導波路の他端に無反射膜を介して光入出力端が接続された光入出力手段と、多重共振器によって当該波長可変光源の共振波長を変化させる波長可変手段と、を備えた波長可変光源を構成することができる。

【0020】

光入出力手段から出射された光は、光入出力端→無反射膜→入出側導波路→多重共振器→反射側導波路→光反射器→反射側導波路→多重共振器→入出側導波路→無反射膜→光入出力端、という経路を通過して戻ってくる。この戻り光は、多重共振器の共振波長である。その理由は、多重共振器を構成する各リング共振器はFSRが僅かに異なっているため、各リング共振器で発生している反射（透過）の周期的な変化が一致した波長（共振波長）において更に大きな反射が発生するからである。そして、周期の一致する波長は各リング共振器の円周長と導波路屈折率変化とにより大きく変わるため、効率の良い波長可変動作が得られる。この導波路屈折率は例えば熱光学効果によって変えることができる。熱光学効果とは、熱によって材料の屈折率が増加する現象であり、通常どのような材料も持っている。すなわち、複数のリング共振器の温度特性を利用して、多重共振器の共振波長を変化させることが可能である。なお、熱光学効果以外の屈折率制御方法や円周長の制御によっても、波長を変動させることができる。

【0021】

波長可変手段は、例えば膜状ヒータのようにリング共振器を加熱するものでも、リング共振器を冷却するものでもよく、また、光材料の屈折率を変化させるどのような手法でもよいし、機械的に導波路長を変化させるものでもよい。光入出力手段は、後述する半導体光増幅器（以下「SOA (Semiconductor Optical Amplifier)」という。）の他に、光ファイバ増幅器などの光増幅器でもよいし、半導体レーザ（レーザダイオード）などの光源でもよい。導波路は、石英ガラスやニオブ酸リチウムなど、どのような材料で形成してもよい。

【0022】

換言すると、本発明は次のように説明できる。エタロンフィルタやPLC型リング共振器のような光のフィードバック構成を持つ複数の周回構造を持つ外部共振器とSOAのような光増幅器とを組み合わせで作った波長可変光源において、安定した波長制御を動的な波長安定化機構を用いずに行う手法については未だ確立されていない。本発明は、安定した波長の制御が可能となるパラメータを持つ三つの共振器構造を持つ外部共振器と、それを含む光発生装置とに関するものである。三段の共振器を直列接続した多段共振器において最も共振器長の短い共振器の共振器長を L_0 とする。 L_0 以外の共振器の各々の共振器長 L について $L = M_1 / (M_1 - 1) L_0$ の関係が成り立つように、バーニヤ次数 M を定義する。このときに、共振器長の最も長い共振器の共振器長 L_1 に対応するバーニヤ次数 M_1 と二番目に共振器長の長い共振器の共振器長 L_2 に対応する M_2 との関係において、 $M_2 - 1 = (M_1 - 1)^2$ の関係が成り立つ。このようなパラメータの波長フィルタを用いること

10

20

30

40

50

により、動的な波長安定化機構を持つことなく波長可変光源のチューニング波長を安定して切り替えることが可能となる。

【発明の効果】

【0023】

本発明によれば、各共振器のバーニヤ次数の組み合わせを最適化することにより、最大のモード利得差を得ることができる。その結果、大きなモード利得差が想定外の波長への発振波長の切り替わりを防いでくれるため、安定した動作を実現でき、これにより高信頼性、高性能かつ低価格な波長可変光源を提供できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0024】

図1は、本発明に係る波長可変光源の第一実施形態を示す平面図である。以下、この図面に基づき説明する。

【0025】

本実施形態の波長可変光源10は、互いに異なる光路長を有するリング共振器21～23が方向性結合器（符号省略、以下同じ。）及び導波路24、25を介して連結されて成る多重リング共振器20と、リング共振器21に方向性結合器を介して一端が接続された入出側導波路11と、リング共振器23に方向性結合器を介して一端が接続された反射側導波路12と、多重リング共振器20、入出側導波路11及び反射側導波路12が形成されたPLC基板13と、反射側導波路12の他端に設けられた高反射膜14と、入出側導波路11の他端に無反射膜（符号省略）を介して光入出力端が接続されたSOA15と、多重共振器の共振波長を変化させる膜状ヒータとしてのTO位相シフタ16、17と、を備えている。なお、反射側導波路12中には、帯域制限用の非対称マッハツェンダ干渉計（以下「非対称MZI」という。）18が挿入されている。

【0026】

多重リング共振器20は、互いに異なる光路長を有するリング状導波路から成るリング共振器21～23が、光結合されて成る光導波路型フィルタとなっている。多重リング共振器20によれば、全てのリング共振器21～23が同時に共振するときだけ共振波長の光信号が合波及び分波され、バーニヤ効果によって大きなFSRが得られる。バーニヤ効果とは、複数の共振器長が微妙に異なる共振器を組み合わせることで波長可変範囲を大きくする手法であり、それらの共振周波数の最小公倍数の周波数でそれぞれの共振周波数が重なる。このため、見かけ上FSRが各リングの最小公倍数の周波数になったように機能する。このため、単一の共振器よりもずっと容易に広い周波数での特性の制御を行うことができる。しかし、リング共振器21～23の光路長の組み合わせによっては、モード利得差が小さいため、発振周波数がホッピングして動作が不安定になる。そこで、本実施形態における多重リング共振器20は、リング共振器21～23の各光路長を最適化することにより、モード利得差を大きくして発振動作を安定化させている。

【0027】

つまり、リング共振器21の光路長が L_0 、リング共振器22の光路長が L_1 、リング共振器23の光路長が L_2 であり、かつ M_1 、 M_2 が3以上の整数であるとき、次式〈1〉、〈2〉、〈3〉が全て成り立つ。

【0028】

$$L_1 = \{M_1 / (M_1 - 1)\} L_0 \quad \dots \langle 1 \rangle$$

$$L_2 = \{M_2 / (M_2 - 1)\} L_0 \quad \dots \langle 2 \rangle$$

$$M_2 - 1 = (M_1 - 1)^2 \quad \dots \langle 3 \rangle$$

【0029】

これらの式〈1〉、〈2〉、〈3〉を満たすように設計した多重リング共振器20を用いて波長可変光源10を構成した場合に、モード利得差が最大となるため、安定した波長可変動作が可能となる。なお、 M_1 、 M_2 はバーニヤ次数という。

【0030】

以下に、更に詳しく説明する。

10

20

30

40

50

【0031】

二重リング共振器を用いた波長可変光源では、外部共振器の発振チャンネルと隣接チャンネルの透過損失の差（モード利得差）が0.4 dB程度しか取れないため、容易にモードジャンプを起こしてしまう。このため、長期に渡って安定した波長可変動作が難しい。本実施形態では、多重リング共振器20を用いて波長可変光源10を構成し、モード利得差を最大とする最適設計を行うことにより、安定した波長可変動作を実現した。波長可変光源10は、主に、SOA15と三つのリング共振器21～23と非対称MZI18が集積されたPLC型外部共振器によって構成されている。三つのリング共振器21～23は例えばFSRが50 GHzになる周回長 L_0 を持つ基本リング共振器21と、バーニヤ次数 M_1 及び M_2 で規定される周回長 L_1 、 L_2 を持ちTO位相シフタ16、17を装荷した二つのリング共振器22、23によって構成されている。

10

【0032】

M_1 、 M_2 で規定される二つのリング共振器22、23の周回長 L_1 、 L_2 は以下の式で規定される。なお、周回長とは、前述の光路長に等しい。

$$L_i = \{M_i / (M_i - 1)\} L_0 \quad \dots \langle 5 \rangle$$

【0033】

ここで、例えばFSRが50 GHzの場合、石英ガラス導波路の屈折率を1.5前後、光の波長を1.5 μm 、光の周波数を約200 THzと仮定すると、次式より $L_0 = 4$ [mm]となる。なお、 L_1 、 L_2 については後述する。

$$L_0 = (200 [\text{THz}] / 50 [\text{GHz}]) \times (1.5 [\mu\text{m}] / 1.5)$$

20

【0034】

この二つのリング共振器22、23の位相をTO（熱光学効果）で制御することによって、所望の波長の通過損失を最低にすることができる。

【0035】

非対称MZI18は、発振波長がC帯とL帯とのどちらかに制限するためのものであり、本実施形態ではL帯において動作するように設計されている。PLC基板13の入出側導波路11及び反射側導波路12の終端には、それぞれPLC基板13にバットカップリングされたSOA15と、90%の高反射率膜14とが設けられている。SOA15の出射面と高反射率膜14の間で、レーザ共振器が構成される。なお、入出側導波路11とSOA15とは、バットカップリングの代わりに、レンズを用いて結合してもよい。

30

【0036】

図2は、波長可変光源10のSOA15側からみた光周波数応答特性を示すグラフである。以下、図1及び図2に基づき説明する。

【0037】

各リング共振器21～23のバーニヤ次数は $M_1 = 12$ 、 $M_2 = 126$ 、方向性結合器は1:1カプラーとして動作するように設定した。 $M_2 - 1$ で規定される125個の波長チャンネルが50 GHz間隔で存在しており $M_1 - 1$ で規定される11個のチャンネル毎にグループ化されている。挿入損失が最低のチャンネルと二番目に挿入損失が小さいチャンネルとの損失差であるモード利得差は、2.8 dBである。このように、二重リング共振器の0.4 dBから大幅に向上し、光源の波長安定性が大幅に改善されている。

40

【0038】

ここで、挿入損失が最低のチャンネルを含むグループを中央グループと呼び、この中央グループに隣接するグループを隣接グループと呼ぶことにすると、前述の式<1>～<3>を満たすことにより、次のことが言える。図2において二点鎖線で示すように、中央グループ内で二番目に挿入損失が小さいチャンネルと、隣接グループ内で最も挿入損失が小さいチャンネルとで、挿入損失が等しくなる。

【0039】

図3は、バーニヤ次数 M_1 、 M_2 とモード利得差との関係を示すグラフである。以下、図1及び図3に基づき説明する。

【0040】

50

図3は、バーニヤ次数 M_1 、 M_2 をそれぞれ縦軸及び横軸にとりモード利得差をマッピングした結果である。図中に、

$$M_2 - 1 = (M_1 - 1)^2 \quad \dots \langle 3 \rangle$$

の関係式を重ねてプロットしており、この関係式を満たすときに最大のモード利得差が得られることがわかる。

【0041】

また、 M_1 、 M_2 について±30%まで許容した場合の関係式も、併せてプロットしている。その関係式は、

$$\sqrt{(M_2 \times 0.7 - 1)} / 1.3 = M_1 - 1 \quad \dots \langle 6 \rangle$$

$$\sqrt{(M_2 \times 1.3 - 1)} / 0.7 = M_1 - 1 \quad \dots \langle 7 \rangle$$

で表される。式〈6〉が下限値を示し、式〈7〉が上限値を示す。

【0042】

図4は、波長可変光源10の周波数特性を示すグラフである。以下、図1及び図4に基づき説明する。

【0043】

図4は、 $M_2 = 126$ のリング共振器23に対する投入位相周期を横軸、 $M_1 = 12$ のリング共振器22に対する投入位相周期を横軸としたときの、最低損失モードの波長をマッピングしたものである。波長チャンネルが121個存在しており、 11×11 のマトリクス上に波長が配置されていることがわかる。二つのTO位相シフタ16、17に投入する電力によって、所望の波長を選択することができる。波長可変光源10によれば、6〜7

【0044】

以上のとおり、波長可変光源10によれば、各リング共振器21〜23のバーニヤ次数の組み合わせを最適化することにより、最大のモード利得差を得ることができる。これに加え、本実施形態によれば次の効果を奏する。リング共振器21〜23、入出側導波路11及び反射側導波路12がPLC基板13に一体形成されているので、小型化及び高信頼性が図れる。PLC基板13に帯域制限用の非対称MZI18が一体形成されているので、小型化を図りつつ更なる動作の安定化が図れる。非対称MZI18の効果について、詳しく説明する。バーニヤ次数によって拡大された波長可変範囲の更に外側の波長モードとの利得差が取れないため、 $M_2 = 101$ の場合は40nm程度ずれた波長で発振してしまうことがある。このモード競合を抑制するために非対称MZIを例えば160GHzのFSRを持つように設計しておけば、所望の波長の近傍のチャンネルのみモード損失を抑制でき、更なる動作の安定化が図れる。

【0045】

図5は、本発明に係る波長可変光源の第二実施形態を示す平面図である。以下、この図面に基づき説明する。ただし、図1と同じ部分は同じ符号を付すことにより説明を省略する。

【0046】

本実施形態の波長可変光源30は、互いに異なる光路長を有するリング共振器21〜23が方向性結合器のみを介して連結されて成る多重リング共振器31を備えている。他の構成は、第一実施形態と同じである。本実施形態によれば、第一実施形態と同じ効果を奏するとともに、第一実施形態と異なる光伝達関数を得ることができる。

【0047】

図6は、上記第一及び第二実施形態における各リング共振器21〜23の光路長 $L_0 \sim L_2$ の具体例を示す説明図である。以下、この図面に基づき説明する。

【0048】

$M_1 = 11$ とすると、式〈3〉から $M_2 = 101$ となる。このとき、 $L_0 = 4$ [mm]とすると、式〈1〉から $L_1 = 4.4$ [mm]となり、式〈2〉から $L_2 = 4.04$ [mm]となる。

【0049】

なお、上記第一及び第二実施形態では、三つの共振器から成る多重共振器としたが、四つ以上の共振器から成る多重共振器としてもよい。

【図面の簡単な説明】

【0050】

【図1】本発明に係る波長可変光源の第一実施形態を示す平面図である。

【図2】第一実施形態の波長可変光源のSOA側からみた光周波数応答特性を示すグラフである。

【図3】第一実施形態におけるバーニヤ次数とモード利得差との関係を示すグラフである。

【図4】第一実施形態の波長可変光源の周波数特性を示すグラフである。

10

【図5】本発明に係る波長可変光源の第二実施形態を示す平面図である。

【図6】第一及び第二実施形態における各リング共振器の光路長の具体例を示す説明図である。

【符号の説明】

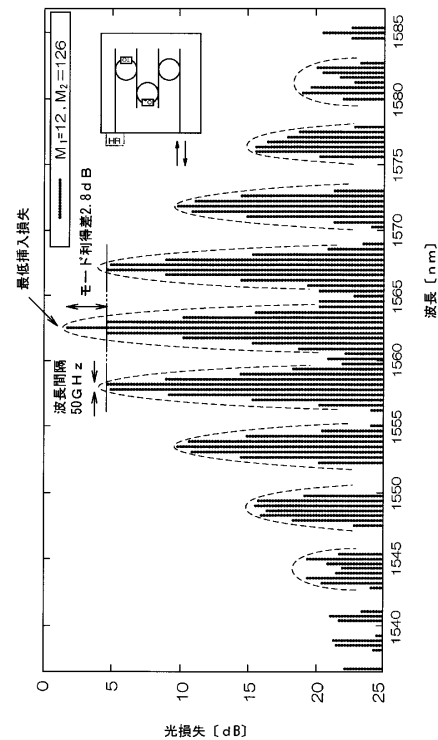
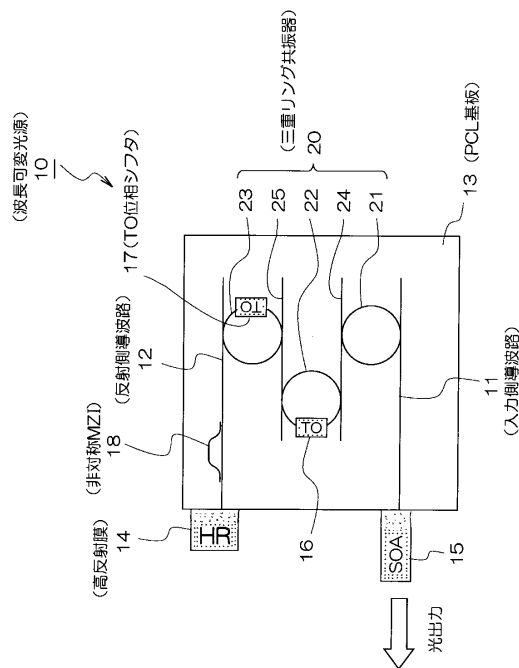
【0051】

- 10, 30 波長可変光源
- 21～23 リング共振器（共振器）
- 20, 31 多重リング共振器（多重共振器）
- 11 入出側導波路
- 12 反射側導波路
- 13 PLC基板（基板）
- 14 高反射膜（光反射器）
- 15 SOA（光入出力手段）
- 16, 17 TO位相シフタ（膜状ヒータ）
- 18 非対称MZI

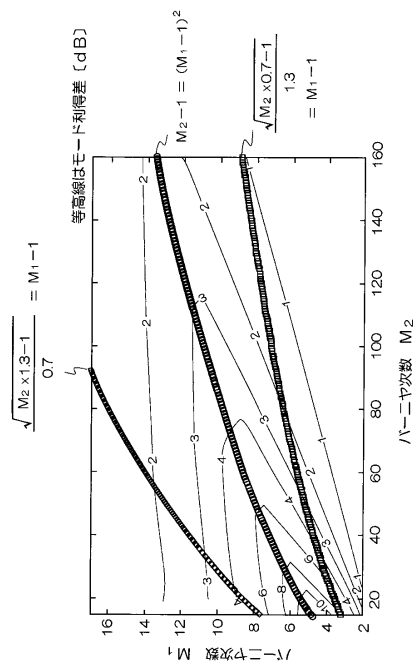
20

【図1】

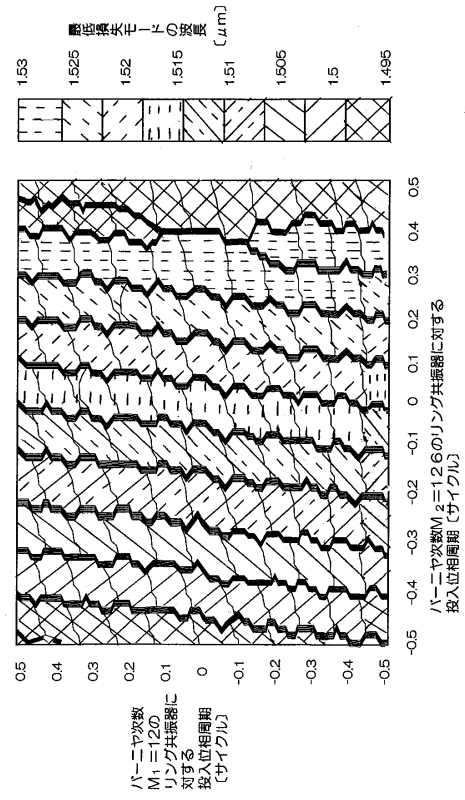
【図2】



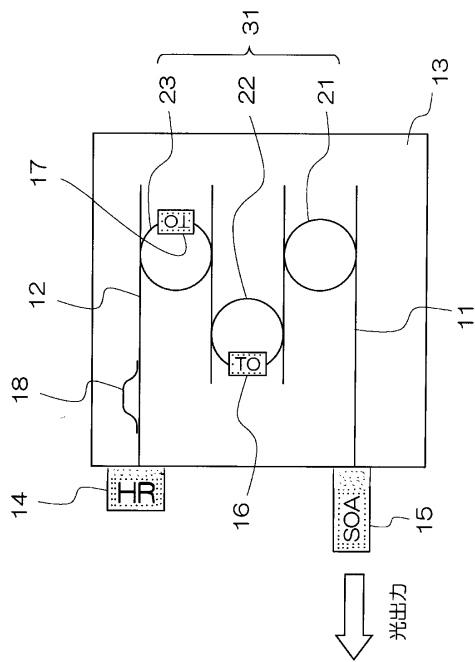
【図 3】



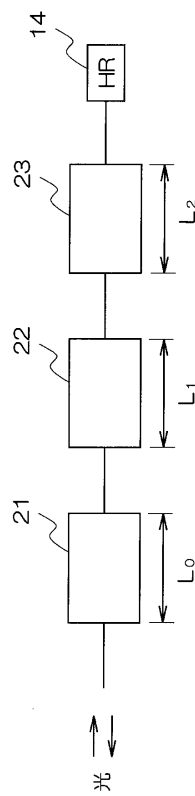
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2004/034528 (WO, A1)
米国特許出願公開第2003/0219045 (US, A1)
特表昭62-500339 (JP, A)
特開2000-298215 (JP, A)
特開平04-106533 (JP, A)
特開平05-291656 (JP, A)
特開2000-261086 (JP, A)
特開平04-165685 (JP, A)
Otto Schwelb and Istvan Frigyes, VERNIER OPERATION OF SERIES-COUPLED OPTICAL MICRORING
RESONATOR FILTERS, MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS, 2003年11月20日,
Vol.39, No.4, pp.257-261
B. E. Little, et al, Microring Resonator Channel Dropping Filters, JOURNAL OF LIGHTWAV
E TECHNOLOGY, 1997年 6月, VOL. 15, NO. 6, pp.998-1005

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01S 3/00 - 3/30