

(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2010-91737

(P2010-91737A)

(43) 公開日 平成22年4月22日(2010.4.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G 0 2 F 1/03 (2006.01)	G 0 2 F 1/03 5 0 5	2 H 0 7 9
G 0 2 B 6/12 (2006.01)	G 0 2 B 6/12 J	2 H 1 4 7
G 0 2 B 6/122 (2006.01)	G 0 2 B 6/12 C	
	G 0 2 B 6/12 H	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2008-260896 (P2008-260896)	(71) 出願人	000000295
(22) 出願日	平成20年10月7日 (2008. 10. 7)		沖電気工業株式会社
			東京都港区西新橋三丁目16番11号
		(74) 代理人	100085419
			弁理士 大垣 孝
		(74) 代理人	100141955
			弁理士 岡田 宏之
		(72) 発明者	岡山 秀彰
			東京都港区西新橋三丁目16番11号 沖
			電気工業株式会社内
		Fターム(参考)	2H079 AA02 AA06 AA12 BA03 BA04
			CA09 DA02 DA17 EA05 EB04
			KA20

最終頁に続く

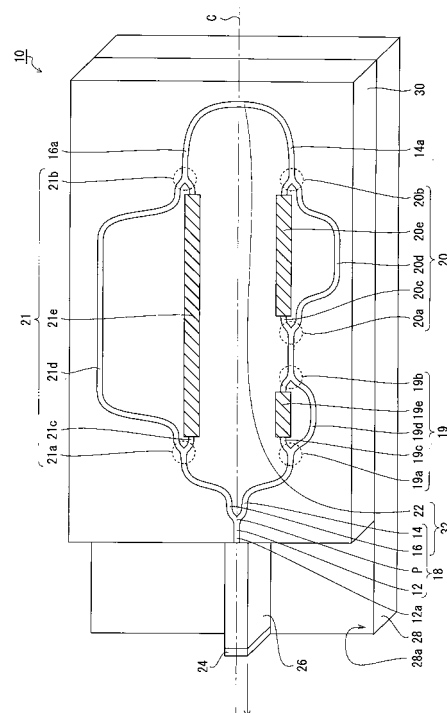
(54) 【発明の名称】 光共振器及び波長可変レーザ

(57) 【要約】

【課題】 波長の制御をより簡単にし、かつ、従来技術よりも、より小型な光共振器及び波長可変レーザを提供すること。

【解決手段】 第1、第2及び第3光導波路12、14及び16が交差点Pで接続されたY分岐光導波路18を用いた光共振器10であって、第1光導波路の終端部12aに高反射膜24が設けられていて、第2及び第3光導波路の双方又はいずれか一方に、波長選択手段19、20及び21を備えており、第2光導波路及び第3光導波路の終端部14a及び16aの間を光結合可能に接続する光結合導波路22が設けられている。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1、第 2 及び第 3 光導波路が交差点で接続された Y 分岐光導波路を用いた光共振器であって、

前記第 1 光導波路の終端部に高反射膜が設けられていて、前記第 2 及び第 3 光導波路の双方又はいずれか一方に、波長選択手段を備えており、

前記第 2 光導波路及び前記第 3 光導波路の終端部間を光結合可能に接続する光結合導波路が設けられていることを特徴とする光共振器。

【請求項 2】

前記光結合導波路が、前記第 2 光導波路の終端部と、前記第 3 光導波路の終端部とを接続する曲がり光導波路であり、

該曲がり光導波路と、前記第 2 及び第 3 光導波路とで第 1 周回型光導波路が形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の光共振器。

【請求項 3】

前記光結合導波路が、第 2 周回型光導波路であり、前記第 2 及び第 3 光導波路の終端部のそれぞれが、当該第 2 周回型光導波路と光結合可能に配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の光共振器。

【請求項 4】

前記第 2 周回型光導波路と前記第 2 及び第 3 光導波路の終端部との間の光の結合領域に、近接配置された前記第 2 周回型光導波路と前記第 2 及び第 3 光導波路とを備えた方向性結合器が設けられていることを特徴とする請求項 3 に記載の光共振器。

【請求項 5】

前記波長選択手段がマッハツェンダ干渉器であることを特徴とする請求項 1～4 のいずれか一項に記載の光共振器。

【請求項 6】

第 1～第 n マッハツェンダ干渉器 (n は 2 以上の整数) が設けられており、

第 1 マッハツェンダ干渉器を構成する 2 本の光路の間の光路長差を ΔL_1 とし、該第 1 マッハツェンダ干渉器に設けられた電極の電極長を L_{e1} としたときに、

第 i マッハツェンダ干渉器 (i は、 $1 \leq i \leq n$ の整数) を構成する 2 本の光路の間の光路長差 ΔL_i 、及び、該第 i マッハツェンダ干渉器に設けられた電極長 L_{ei} が、下記式で与えられることを特徴とする請求項 5 に記載の光共振器。

$$\Delta L_i = \Delta L_1 \times 2^{i-1}$$

$$L_{ei} = L_{e1} \times 2^{i-1}$$

【請求項 7】

前記第 1～第 $n-1$ マッハツェンダ干渉器が前記第 2 光導波路に設けられており、及び前記第 n マッハツェンダ干渉器が前記第 3 光導波路に設けられていることを特徴とする請求項 6 に記載の光共振器。

【請求項 8】

請求項 1～7 のいずれか一項に記載の光共振器を用いた波長可変レーザであって、

前記第 1 光導波路の終端部と、前記高反射膜との間に、光増幅器が介在されていることを特徴とする波長可変レーザ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、選択波長を変更することができる光共振器及び波長可変レーザに関する。

【背景技術】

【0002】

光波長多重通信システムにおいては、種々の波長の光を発生させる波長可変レーザが多

10

20

30

40

50

く使用されている。これは、1個の素子で複数の波長に対応することが可能だからである。

【0003】

この波長可変レーザに関しては従来から種々の構造のものが提案されている（例えば、特許文献1～9、及び非特許文献1参照。）。

【0004】

これらの文献に記載された波長可変レーザに共通した特徴点は、半導体光増幅器と、波長可変フィルタとを光共振器の中に組み込んだことである。

【0005】

近年、波長可変レーザには、（1）小型であること、（2）部品点数が少ないこと、（3）光軸合わせが容易であることなどの特徴が要求され始めている。 10

【0006】

このような観点から、非特許文献1に開示されたような光導波路構造を用いた波長可変レーザが注目されている。

【特許文献1】特開平10-261837号公報

【特許文献2】特開2000-261086号公報

【特許文献3】特開2000-223744号公報

【特許文献4】特開2005-327881号公報

【特許文献5】特開2002-6352号公報

【特許文献6】特開2004-71809号公報 20

【特許文献7】特開2006-196554号公報

【特許文献8】特開2007-115900号公報

【特許文献9】特開2007-234786号公報

【非特許文献1】M. Takahashi, et. al., “Tunable Lasers Based on Silica Waveguide Ring Resonators”, OFC2008論文予稿集OWJ1

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

非特許文献1に開示された波長可変半導体レーザは、FSR（Free Spectral Range）の異なる2個のリング共振器を使用することで、波長透過ピークのバーニア効果で波長を調整することを可能としている。さらに、基準波長を与えるためのリング共振器を組み込み、これとバーニア効果とを利用することで、僅かな屈折率変化で選択される光の波長帯域を約50nmという広い範囲で変更することが可能である。また、この波長可変レーザは、屈折率差の大きな材料で作成されており、その結果光導波路の曲率を小さくし、約5mm角のサイズに収めることを可能とした。 30

【0008】

しかし、非特許文献1に開示された波長可変レーザは、2個のリング共振器の波長を精密に制御する必要があり、制御回路が複雑になるという問題点が存在した。さらに、非特許文献1に開示された波長可変レーザよりも、より小型な光共振器の実現が望まれていた。 40

【0009】

この発明は上述したような問題に鑑みなされたものである。従って、この発明の目的は、屈折率という単独のパラメータを用いて、波長の制御をより簡単にし、かつ、従来技術よりも、より小型な光共振器及び波長可変レーザを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

上述した目的の達成を図るために、この発明の発明者は、第1、第2及び第3光導波路が接続されたY分岐光導波路を利用して、この第1光導波路の終端部に高反射膜を設け、第2及び第3光導波路の双方又はいずれか一方に、波長選択手段を設け、これら第2及び 50

第 3 光導波路の終端部間を光結合可能に接続する光結合導波路が設けられた光共振器により上述した目的を達成できることに想到した。

【0011】

したがって、この発明の光共振器は、第 1、第 2 及び第 3 光導波路が交差点で接続された Y 分岐光導波路を用いた光共振器であって、第 1 光導波路の終端部に高反射膜が設けられていて、第 2 及び第 3 光導波路の双方又はいずれか一方に、波長選択手段を備えている。そして、第 2 光導波路及び第 3 光導波路の終端部間を光結合可能に接続する光結合導波路が設けられている。

【0012】

この光共振器の好適な一実施態様として、光結合導波路が、第 2 光導波路の終端部と、第 3 光導波路の終端部とを接続する曲がり光導波路であり、曲がり光導波路と、第 2 及び第 3 光導波路とで第 1 周回型光導波路が形成されていることが好ましい。

10

【0013】

また、この光共振器の好適な一実施態様として、光結合導波路が、第 2 周回型光導波路であり、第 2 及び第 3 光導波路の終端部のそれぞれが、第 2 周回型光導波路と光結合可能に配置されていることが好ましい。

【0014】

また、この光共振器の好適な一実施態様として、第 2 周回型光導波路と第 2 及び第 3 光導波路の終端部との間の光の結合領域に、近接配置された第 2 周回型光導波路と第 2 及び第 3 光導波路とを備えた方向性結合器が設けられていることが好ましい。

20

【0015】

また、この光共振器の好適な一実施態様として、波長選択手段がマッハツェンダ干渉器であることが好ましい。

【0016】

また、この光共振器の好適な一実施態様として、第 1～第 n マッハツェンダ干渉器 (n は 2 以上の整数) が設けられており、第 1 マッハツェンダ干渉器を構成する 2 本の光路の間の光路長差を ΔL_1 とし、第 1 マッハツェンダ干渉器に設けられた電極の電極長を L_{e1} としたときに、第 i マッハツェンダ干渉器 (i は、 $1 \leq i \leq n$ の整数) を構成する 2 本の光路の間の光路長差 ΔL_i 、及び、第 i マッハツェンダ干渉器に設けられた電極長 L_{ei} が、 $\Delta L_i = \Delta L_1 \times 2^{i-1}$ 及び $L_{ei} = L_{e1} \times 2^{i-1}$ で与えられることが好ましい。

30

【0017】

また、この光共振器の好適な一実施態様として、第 1～第 $n-1$ マッハツェンダ干渉器が第 2 光導波路に設けられており、及び第 n マッハツェンダ干渉器が前記第 3 光導波路に設けられていることが好ましい。

【0018】

また、この発明の波長可変レーザは、上述した光共振器を用いていて、第 1 光導波路の終端部と、高反射膜との間に、光増幅器が介在されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0019】

この発明は上述のように構成しているので、屈折率という単独のパラメータを用いて、波長の制御をより簡単にし、かつ、従来技術よりも、より小型な光共振器及び波長可変レーザを提供することができる。

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0020】

以下、図面を参照して、この発明の実施の形態について説明する。なお、各図は、各構成要素の形状、大きさ及び配置関係について、この発明が理解できる程度に概略的に示したものにすぎない。また、以下、この発明の好適な構成例について説明するが、各構成要素の材質及び数値的条件などは、単なる好適例にすぎない。従って、この発明は、以下の実施の形態に何ら限定されない。また、各図において、共通する構成要素には同符号を付

50

し、その説明を省略することもある。

【0021】

(実施の形態1)

図1～図5を参照して、実施の形態1の光共振器について説明する。図1は、光共振器の構成を概略的に示す斜視図である。

【0022】

(構造)

まず、光共振器10の構造を概略的に説明する。

【0023】

光共振器10は、第1、第2及び第3光導波路12、14及び16が交差点Pで接続されたY分岐光導波路18を構成要素として備えている。

10

【0024】

また、光共振器10は、第2及び第3光導波路14及び16の双方又はいずれか一方に、第1～第3マッハツェンダ干渉器19、20及び21を波長選択手段として備えている。そして、光共振器10には、第2光導波路14及び第3光導波路16の終端部14a及び16a間を光結合可能に接続する曲がり光導波路22が光結合導波路として設けられている。

【0025】

また、光共振器10は、第1光導波路12と高反射膜24との間には、半導体光増幅器26を光増幅器として備えている。

20

【0026】

光共振器10は、基板28上に集積されている。より詳細には、高反射膜24及び半導体光増幅器26は、基板28の第1主面28a上に形成されている。高反射膜24及び半導体光増幅器26以外の構成要素、すなわちY分岐光導波路18、第1～第3マッハツェンダ干渉器19、20及び21、及び曲がり光導波路22は、基板28の第1主面28a上に積層されたSiO₂膜30の内部に作り込まれている。

【0027】

なお、図1において、Y分岐光導波路18、第1～第3マッハツェンダ干渉器19、20及び21、及び曲がり光導波路22は、SiO₂膜30中に埋め込まれて延在しているが、発明の理解を助けるために実線で示してある。

30

【0028】

また、この実施の形態では、マッハツェンダ干渉器19、20及び21が3個の場合、つまりn=3の場合について説明するが、マッハツェンダ干渉器の個数nは2個以上であれば、特に限定されず、設計に応じて任意好適な個数を選択することができる。

【0029】

続いて、光共振器10の構成要素の詳細を順に説明する。

【0030】

基板28は、好ましくは、例えば矩形状の平行平板とする。基板28を構成する材料は、好ましくは例えば、Siとする。

【0031】

高反射膜24は、従来公知の誘電体多層膜から形成されており、入射した光を90%以上の反射率で反射する機能を有している。高反射膜24としては、好ましくは、例えば、SiN/SiO₂の積層構造を多層にわたって積層した膜を用いる。高反射膜24は、半導体光増幅器26の、光を出射する一方の端面に配置されている。

40

【0032】

半導体光増幅器26は、従来公知の半導体レーザ光源であり、図示しない、光が出射される活性層を導電型がp型のクラッド層と導電型がn型のクラッド層とで挟み込んだ構造を有している。なお、この実施の形態においては、活性層の材料は、好ましくは、例えば波長1.55μm付近の光を発生する、InGaAsPとする。

【0033】

50

半導体光増幅器 26 は、基板 28 の第 1 主面 28 a 上に配置されている。上述したように、半導体光増幅器 26 の、光を外部に向けて出射する一方の端面には高反射膜 24 が配置されている。半導体光増幅器 26 の、光を SiO_2 膜 30 側に向けて出射する他方の端面は、Y 分岐光導波路 18 の第 1 光導波路 12 の終端部 12 a と光結合可能に対向して配置されている。

【0034】

SiO_2 膜 30 は、基板 28 の第 1 主面 28 a 上に積層されている。 SiO_2 膜 30 は、基板 28 よりも小サイズの矩形状の平行平板である。 SiO_2 膜 30 には、膜中に Y 分岐光導波路 18、マッハツェンダ干渉器 19、20 及び 21、並びに曲がり光導波路 22 が作り込まれている。 SiO_2 膜 30 は、これらの光を伝播する構成要素に対してクラッドとして機能する。

10

【0035】

Y 分岐光導波路 18 は、第 1～第 3 光導波路 12、14 及び 16 を備えている。これら第 1～第 3 光導波路 12、14 及び 16 の一方の端部は、交差点 P で光結合可能に接続されている。なお、この交差点 P で互いに接続されている第 1～第 3 光導波路 12、14 及び 16 の端部のことを、「始端部」と称する。また、始端部とは反対側の端部のことを「終端部 12 a、14 a 及び 16 a」と称する。

【0036】

Y 分岐光導波路 18 は、好ましくは例えば、Si を材料として形成されており、Y 分岐光導波路 18 を構成する第 1～第 3 光導波路 12、14 及び 16 は、 SiO_2 膜 30 中に埋め込まれている。光伝播方向に直交する平面で切断した Y 分岐光導波路 18 の横断面形状は、好ましくは例えば、略正形状とする。また、その寸法は、高さ（第 1 主面 28 a に垂直に測った長さ）が、好ましくは例えば約 $0.3 \mu\text{m}$ とし、幅（光伝播方向に垂直であり、かつ、第 1 主面 28 a に平行な方向に測った長さ）が、好ましくは例えば約 $0.3 \mu\text{m}$ とする。

20

【0037】

次に、Y 分岐光導波路 18 を構成する各光導波路 12、14 及び 16 について詳細に説明する。

【0038】

第 1 光導波路 12 は、交差点 P と、半導体光増幅器 26 との間を接続する光導波路である。この実施の形態では、第 1 光導波路 12 は、直線的に延在している。第 1 光導波路 12 の終端部 12 a は、半導体光増幅器 26 の活性層と、光界分布の位置が一致するように配置されている。つまり、第 1 光導波路 12 の終端部 12 a は、光結合可能な数 μm 程度の間隔を空けて、半導体光増幅器 26 の活性層に対向配置されている。

30

【0039】

第 2 及び第 3 光導波路 14 及び 16 は、交差点 P において、第 1 光導波路 12 から対称的に分岐して延在している。ここで、図 2 を参照して、交差点 P 付近における第 2 及び第 3 光導波路 14 及び 16 の配置について説明する。図 2 は、Y 分岐光導波路 18 の要部拡大平面図である。

【0040】

図 2 に示すように、第 1～第 3 光導波路 12、14 及び 16 の中心軸のなす角度をそれぞれ α 、 β 、 γ とする。このとき、好ましくは例えば、 $\alpha = \beta = 0.5^\circ$ であり、 $\gamma = 0.5^\circ$ とする。第 1～第 3 光導波路 12、14 及び 16 をこのような角度配置にすることにより、第 2 光導波路 14（第 3 光導波路 16）を交差点 P に向かって伝播する光を、第 3 光導波路 16（第 2 光導波路 14）に回り込ませることなく、第 1 光導波路 12 へと伝播させることができる。

40

【0041】

再び、図 1 に戻って、第 2 及び第 3 光導波路 14 及び 16 について説明する。

【0042】

第 2 及び第 3 光導波路 14 及び 16 は、第 1 光導波路 12 の中心軸の延長線 C に対して

50

、線対称に形成されている。従って、第 2 及び第 3 光導波路 1 4 及び 1 6 の光路長は、同一である。

【0043】

より詳細には、第 2 及び第 3 光導波路 1 4 及び 1 6 は、交差点 P 付近の略 S 字形に屈曲した屈曲領域と、この屈曲領域に接続され互いに平行な 2 本の直線領域とを有している。この直線領域に、後述する第 1～第 3 マッハツェンダ干渉器 1 9、2 0 及び 2 1 が設けられている。より詳細には、第 2 光導波路 1 4 の直線領域に第 1 及び第 2 マッハツェンダ干渉器 1 9 及び 2 0 が設けられている。そして、第 3 光導波路 1 6 の直線領域に第 3 マッハツェンダ干渉器 2 1 が設けられている。

【0044】

また、第 2 及び第 3 光導波路 1 4 及び 1 6 の終端部 1 4 a 及び 1 6 a 間は、曲がり導波路 2 2 で光結合可能に接続されている。その結果、第 2 及び第 3 光導波路 1 4 及び 1 6 と曲がり光導波路 2 2 とで第 1 周回型光導波路 3 2 が形成されている。

【0045】

曲がり光導波路 2 2 は、上述したように、第 2 及び第 3 光導波路 1 4 及び 1 6 の終端部 1 4 a 及び 1 6 a 間を接続する湾曲した光導波路である。曲がり光導波路 2 2 は、第 2 及び第 3 光導波路 1 4 及び 1 6 と一体的に形成されている。

【0046】

従って、曲がり光導波路 2 2 を構成する材料は、第 2 及び第 3 光導波路 1 4 及び 1 6 と同様に Si である。また、曲がり光導波路 2 2 の光伝播方向に垂直な面で切断した横断面の形状及び寸法も第 2 及び第 3 光導波路 1 4 及び 1 6 と同様である。

【0047】

曲がり光導波路 2 2 は、基板 2 8 の外側に向かって凸に湾曲している。曲がり光導波路 2 2 の平面形状は、この実施の形態では、好ましくは例えば半円状とする。曲がり光導波路 2 2 の曲率半径は、伝播する光のロスが実用上許容できるレベルに抑えられる大きさとする。この実施の形態のようにクラッドとして SiO_2 を用い、曲がり光導波路 2 2 として Si を用いた場合には、曲率半径は、好ましくは例えば、約 0.3 mm とする。

【0048】

続いて、第 1～第 3 マッハツェンダ干渉器 1 9、2 0 及び 2 1 について説明する。

【0049】

まず始めに、図 3 を参照して、第 1～第 3 マッハツェンダ干渉器 1 9、2 0 及び 2 1 に共通した構造について、第 1 マッハツェンダ干渉器 1 9 を代表として説明する。図 3 は、第 1 マッハツェンダ干渉器 1 9 の拡大平面図である。

【0050】

なお、以下の説明を第 2 及び第 3 マッハツェンダ干渉器 2 0 及び 2 1 に当てはめる場合には、「1 9」との符合を「2 0」（第 2 マッハツェンダ干渉器）又は「2 1」（第 3 マッハツェンダ干渉器）と置き換えればよい。

【0051】

第 1 マッハツェンダ干渉器 1 9 は、2 個の Y 分岐光導波路 1 9 a 及び 1 9 b と、これらの Y 分岐光導波路 1 9 a 及び 1 9 b の間を接続する 2 本の光路 1 9 c 及び 1 9 d と、光路 1 9 c に設けられた電極 1 9 e とを備えている。

【0052】

2 本の光路 1 9 c 及び 1 9 d は、それぞれの光路長が異なっている。ここで、光路 1 9 c 及び 1 9 d の光路長をそれぞれ L_{19c} 及び L_{19d} とする。この例では、光路長に關していえば、 $L_{19d} > L_{19c}$ という大小關係が成り立っている。さらに、光路 1 9 c と 1 9 d との間の光路長差を $\Delta L_{19} (= L_{19d} - L_{19c})$ とする。

【0053】

電極 1 9 e は、光路 1 9 c の上面に設けられている。ここで、電極 1 9 e の光伝播方向に沿った長さ（電極長）を L_{e19} とする。電極 1 9 e に、電圧を印加することにより、熱光学効果や電気光学効果に基づいて、光路 1 9 c の屈折率を変化させる。これにより、

10

20

30

40

50

光路 19c の光路長 L_{19c} を制御する。詳細は（波長チューニングについて）の項で説明するが、電極 19e は、光共振器 10 の選択波長を変化させる場合に使用する。

【0054】

従来周知の通り第 1 マッハツェンダ干渉器 19 は、光路長 L_{19c} 及び L_{19d} が異なる 2 本の光路 19c 及び 19d に Y 分岐光導波路 19a を介して光を等分配して伝播させる。これにより、光路 19c 及び 19d をそれぞれ伝播する光には、光路長差 ΔL_{19} に対応する位相差が生じる。

【0055】

これらの光を Y 分岐光導波路 19b において合波すると、生じた位相差に応じて、光同士が打ち消し合う場合と、強め合う場合とが生じる。第 1 マッハツェンダ干渉器 19 は、この現象を利用して、Y 分岐光導波路 19a から入力された光の波長選択を行う波長選択手段として機能する。

【0056】

続いて、第 1 ～ 第 3 マッハツェンダ干渉器 19, 20 及び 21 の相互の関係、特に、光路長及び電極の長さの関係について説明する。

【0057】

まず始めに、最も一般的な場合、つまり、第 2 及び第 3 光導波路 14 及び 16 に、 n 個のマッハツェンダ干渉器、すなわち第 1 ～ 第 n マッハツェンダ干渉器が設けられている場合について説明する。なお、一般的な説明における「第 1 マッハツェンダ干渉器」は、「第 1 マッハツェンダ干渉器 19」とは異なる概念であることに留意いただきたい。

【0058】

今、光路長が最も短い第 1 マッハツェンダ干渉器を構成する 2 本の光路の間の光路長差を ΔL_1 とし、この第 1 マッハツェンダ干渉器に設けられた電極の電極長を L_{e1} とする。

【0059】

このとき、第 i マッハツェンダ干渉器 (i は、 $1 \leq i \leq n$ の整数) を構成する 2 本の光路の間の光路長差 ΔL_i は、 $\Delta L_i = \Delta L_1 \times 2^{i-1}$ で与えられ、及び、第 i マッハツェンダ干渉器に設けられた電極長 L_{ei} は、 $L_{ei} = L_{e1} \times 2^{i-1}$ で与えられるように、第 1 ～ 第 n マッハツェンダ干渉器はそれぞれ設計されている。

【0060】

上述した一般的な説明を、この実施の形態に当てはめて、より詳細に説明する。

【0061】

ここで、第 2 マッハツェンダ干渉器 20 の 2 本の光路 20c 及び 20d の間の光路長差を ΔL_{20} とし、及び光路 20c に設けられる電極 20e の電極長を L_{e20} とする。同様に、第 3 マッハツェンダ干渉器 21 の 2 本の光路 21c 及び 21d の間の光路長差を ΔL_{21} とし、及び光路 21c に設けられる電極 21e の電極長を L_{e21} とする。

【0062】

このとき、上述した式 ($\Delta L_i = \Delta L_1 \times 2^{i-1}$) を用いると、 ΔL_{20} は、 ΔL_{19} から、 $\Delta L_{20} = \Delta L_{19} \times 2^{2-1} = 2 \Delta L_{19}$ で与えられる。同様に、 ΔL_{21} は、 $\Delta L_{21} = \Delta L_{19} \times 2^{3-1} = 4 \Delta L_{19}$ で与えられる。

【0063】

つまり第 2 マッハツェンダ干渉器 20 の光路長差 ΔL_{20} は、第 1 マッハツェンダ干渉器 19 の光路長差 ΔL_{19} の 2 倍 (2^1 倍) の大きさであり、及び第 3 マッハツェンダ干渉器 21 の光路長差 ΔL_{21} は、第 1 マッハツェンダ干渉器 19 の光路長差 ΔL_{19} の 4 倍 (2^2 倍) の大きさである。

【0064】

光路長差と同様にして電極長についても、上述した式 ($L_{ei} = L_{e1} \times 2^{i-1}$) を用いて計算すると、第 2 マッハツェンダ干渉器 20 の電極長 L_{e20} は、第 1 マッハツェンダ干渉器 19 の電極長 L_{e19} の 2 倍の長さとなる。また、第 3 マッハツェンダ干渉器 21 の電極長 L_{e21} は、第 1 マッハツェンダ干渉器 19 の電極長 L_{e19} の 4 倍の長さ

10

20

30

40

50

でとなる。

【0065】

なお、第1～第3マッハツェンダ干渉器19、20及び21の作用については、（波長選択のメカニズム）の項でさらに詳しく説明する。

【0066】

（動作）

次に、図1を参照して光共振器10の動作について説明する。

【0067】

半導体光増幅器26から放射された光は、第1光導波路12を伝播して、Y分岐光導波路18の分岐点Pに至る。分岐点Pにおいて、光は、第2光導波路14と第3光導波路16とに等分配される。

10

【0068】

まず、分岐点Pから第2光導波路14に分配された光は、第1マッハツェンダ干渉器19及び第2マッハツェンダ干渉器20を伝播することで波長選択される。ここで、波長選択されなかった光は、クラッドであるSiO₂膜30中に放射される。

【0069】

第1及び第2マッハツェンダ干渉器19及び20を伝播した光は、曲がり光導波路22を伝播し、180°進行方向を変えられ、第3光導波路16に至る。そして、第3光導波路16に設けられた第3マッハツェンダ干渉器21でさらに波長選択をされて、分岐点Pに戻ってくる。なお、第1～第3マッハツェンダ干渉器19、20及び21の波長選択のメカニズムについては後述する。

20

【0070】

一方、分岐点Pから第3光導波路16に分配された光は、第3光導波路に設けられた第3マッハツェンダ干渉器21により波長選択される。そして、波長選択された光は曲がり光導波路22を経て180°進行方向を変えられて第2光導波路14へと至る。そして、第2光導波路14に設けられた第2及び第1マッハツェンダ干渉器20及び19でさらに波長選択を受けた後に、交差点Pに戻る。

【0071】

その結果、交差点Pには、第2光導波路14→曲がり光導波路22→第3光導波路16と反時計回りに各光導波路を周回した光（「反時計回り光」と称する。）と、第3光導波路16→曲がり光導波路22→第2光導波路14と時計回りに各光導波路を周回した光（「時計回り光」と称する。）とが戻ってくる。ここで、反時計回り光と時計回り光は、伝播方向が異なるだけで、共通の経路を伝播する。従って、交差点Pに戻って来た段階で、反時計回り光と時計回り光とは同一の位相を持つ。その結果、交差点Pで合流した反時計回り光と時計回り光とは、打ち消し合うことなく、足し合わされて合波される。

30

【0072】

このようにして分岐点Pで合波された光は、第1光導波路12、及び半導体光増幅器26を経て、高反射膜24で反射され、再び上述の経路を伝播する。

【0073】

つまり、高反射膜24と、第1周回型光導波路32との間で光を往復させながら増幅する光共振器10が形成される。増幅された光が所定の強度を超えると、高反射膜24を透過して、外部に出射される。

40

【0074】

（波長選択のメカニズム）

ここで、主に図4（A）～（C）を参照して、第1～第3マッハツェンダ干渉器19、20及び21の波長選択のメカニズムについて説明する。

【0075】

図4（A）は、第1～第3マッハツェンダ干渉器19、20及び21のそれぞれの波長選択特性を示す模式図である。図4（B）は、第1～第3マッハツェンダ干渉器19、20及び21の合成波長選択特性を示す模式図である。図4（C）は、図4（B）に、さら

50

に、光共振器 10 のファブリペロ共振波長を描き加えて示す模式図である。図 4 (A) ~ (C) のいずれも縦軸は光強度 (任意単位) を示し、横軸は波長 (任意単位) を示す。

【0076】

図 4 (A) には、3 本の曲線が描かれている。曲線 I, II 及び III のそれぞれは、第 1 ~ 第 3 マッハツェンダ干渉器 19, 20 及び 21 の Y 分岐光導波路 19a, 20a 及び 21a に全ての波長を含む白色光を入射させたときの、Y 分岐光導波路 19b, 20b 及び 21b から出力される光の波長と強度との関係、つまり、第 1 ~ 第 3 マッハツェンダ干渉器 19, 20 及び 21 の波長選択特性を示している。

【0077】

曲線 I ~ III のいずれも、一定の波長間隔でピークが繰り返されている。ただし、ピークが繰り返される波長間隔は、曲線 I ~ III で異なっており、曲線 I → 曲線 II → 曲線 III の順番でピークの波長間隔が短くなっている。

10

【0078】

このピークの波長間隔のことを一般に、既に説明した従来公知の FSR と称する。ここで、曲線 I で示した第 1 マッハツェンダ干渉器 19 の FSR を FSR 19 と称する。曲線 II で示した第 2 マッハツェンダ干渉器 20 の FSR を FSR 20 と称する。曲線 III で示した第 3 マッハツェンダ干渉器 21 の FSR を FSR 21 と称する。

【0079】

ところで、マッハツェンダ干渉器の FSR は、従来周知の下記式 (1) で与えられることが知られている。

20

【0080】

$$FSR = \lambda^2 / (2ns\Delta L) \cdots (1)$$

ここで、 λ は、マッハツェンダ干渉器から出力される光の波長を表わす。また、 ns はマッハツェンダ干渉器を構成する材料の屈折率を表わす。さらに ΔL は、マッハツェンダ干渉器の 2 本の光路の光路長差を表わす。

【0081】

式 (1) から明らかなように、他の条件が一定の場合、マッハツェンダ干渉器の光路長差 ΔL が 2 倍となると、FSR が半分 ($1/2$) になることが分かる。

【0082】

この関係を、光路長差 $\Delta L 19$, $\Delta L 20$ 及び $\Delta L 21$ を有する第 1 ~ 第 3 マッハツェンダ干渉器 19, 20 及び 21 に当てはめると、第 1 ~ 第 3 マッハツェンダ干渉器 19, 20 及び 21 は、光路長差 $\Delta L 19$, $\Delta L 20$ 及び $\Delta L 21$ が、この順序で 2 倍ずつ増加していく。

30

【0083】

従って、図 4 (A) に示すように、FSR 19, FSR 20 及び FSR 21 は、この順序で $1/2$ ずつ減少していく。つまり、 $FSR 19 / 4 = FSR 20 / 2 = FSR 21$ との関係が成り立つ。

【0084】

この実施の形態の光共振器 10 では、3 個のマッハツェンダ干渉器 19, 20 及び 21 に順に光を伝播させるので、図 4 (A) に示した 3 本の曲線 I ~ III を合成した波長が選択されることになる。

40

【0085】

第 1 ~ 第 3 マッハツェンダ干渉器 19, 20 及び 21 は、光路長差 $\Delta L 19$, $\Delta L 20$ 及び $\Delta L 21$ と、光路長 $L 19c$, $L 20c$ 及び $L 21c$ とが上述したように、この順序で 2 倍ずつ増加している。その結果、図 4 (A) に示すように、曲線 I ~ III の 3 個のピークは、ある波長 λS で一致することとなる。

【0086】

その結果、図 4 (B) に示すように、この 3 個のピークが一致した波長 λS が波長選択される。つまり、第 1 ~ 第 3 マッハツェンダ干渉器 19, 20 及び 21 に光を伝播させることで、光共振器 10 では、波長 λS の光が選択されることになる。

50

【0087】

次に、図4（C）を参照して、さらに詳細に、光共振器10における選択波長について説明する。

【0088】

上述したように、光共振器10では、高反射膜24と第1周回型光導波路32との間で光共振器、すなわちファブリペロ光共振器が形成されている。従って、光共振器10から実際に出力される光は、このファブリペロ光共振器で許される縦モード波長を有する光に限定される。

【0089】

図4（C）には、図4（B）に重ねて、ファブリペロ光共振器の縦モード波長を示した。図4（C）に示すように、光共振器10からは、図4（B）の第1～第3マッハツェンダ干渉器19、20及び21による選択波長 λ_S に最も近く、それゆえ、光共振器10における損失が最も少ない波長 λ_{SS} の光が出力されることとなる。

【0090】

次に、図5を参照して、この光共振器10におけるサイドモード抑制比Rについて説明する。図5は、光共振器10のサイドモード抑制比Rの説明に供する図である。

【0091】

サイドモード抑制比Rとは、図4（C）に示すように、光共振器10の選択波長 λ_{SS} の光強度に対する、この選択波長 λ_{SS} に隣接する縦モード波長 λ' の光強度の比率を表わす量である。サイドモード抑制比Rは、光共振器10の波長選択の急峻さを表わしている。

【0092】

図5の縦軸は、サイドモード抑制比R（dB）を示し、横軸は、半導体光増幅器26の発光の閾値電流密度 J_{th} で規格化した、半導体光増幅器26に対する電流密度（ J/J_{th} ）（無次元）を示している。

【0093】

図5には、光共振器10に設けるマッハツェンダ干渉器の段数n、及び半導体光増幅器26の自然放出結合係数Csを変えた4本の曲線I～IVが描かれている。ここで、自然放出結合係数Csとは、半導体光増幅器26の構造及び組成により定まる係数である。なお、図5の計算を行うに当たり、半導体光増幅器26の光伝播方向に沿った長さは0.3mmと仮定している。

【0094】

図5を参照すると、同じ自然放出係数Cs同士で比較した場合、すなわち、曲線Iと曲線III、及び曲線IIと曲線IVとを比較したとき、マッハツェンダ干渉器の段数nが増加すると、サイドモード抑制比Rが向上していることが分かる。

【0095】

通常、マッハツェンダ干渉器の段数nが増加すると、光共振器10の光路長が増加することになるので、縦モードの波長間隔が狭まり、サイドモード抑制比Rは悪化することが知られている。しかし、図5から明らかなように、この実施の形態の光共振器10の場合には、これとは逆に、サイドモード抑制比が向上する傾向を示している。

【0096】

これは、マッハツェンダ干渉器の段数が増加したことにより生じる縦モード間隔が狭まる効果よりも、マッハツェンダ干渉器の段数が増加したことにより生じる選択波長帯域が狭まる効果が上回っていることを示している。

【0097】

通常、サイドモード抑制比Rは、30dB以上が好ましいことが知られている。図5から明らかなように、曲線IV、すなわち自然放出計数 $Cs = 10^{-5}$ かつマッハツェンダ干渉器の段数が5段の場合に、計算を行ったほぼ全ての（ J/J_{th} ）の範囲でサイドモード抑制比Rが30dB以上の良好な結果を示している。

【0098】

10

20

30

40

50

(波長チューニングについて)

続いて、光共振器 10 の波長チューニング、すなわち選択波長を変化させることについて説明する。

【0099】

一般に、マッハツェンダ干渉器を用いた波長チューニングを行う場合、波長チューニング量 $\Delta\lambda$ は、下記式 (2) で与えられることが知られている。

【0100】

$$\Delta\lambda = \lambda \Delta n_s L_e / (-n_s \Delta L) \cdots (2)$$

ここで、 L_e は、マッハツェンダ干渉器に設けられる電極の光伝播方向に沿った長さを示す。

10

【0101】

式 (2) から、この実施の形態に示すような多段のマッハツェンダ干渉器 19, 20 及び 21 を備えた光共振器 10 では、各電極 19e, 20e 及び 21e を用いて光路 19c, 20c 及び 21c に共通した等しい屈折率変化 Δn_s を生じることができれば、各マッハツェンダ干渉器 19, 20 及び 21 で、等しい波長変化 $\Delta\lambda$ を得ることができる。すなわち、波長チューニングを行うことができることが分かる。

【0102】

また、式 (1) 及び式 (2) から、この実施の形態の光共振器 10 の寸法を概算することができる。

【0103】

20

例えば、波長チューニング量 $\Delta\lambda$ を 50 nm とする場合には、この範囲に他の選択波長ピークが存在すると実質的な波長チューニング量が減少してしまうために、FSR を 50 nm 以上と設定する必要がある。

【0104】

この条件に加えて、Y 分岐光導波路 18、第 1～第 3 マッハツェンダ干渉器 19, 20 及び 21、並びに曲がり光導波路 22 が Si で形成されており、 $n_s = 3$ と仮定すると、式 (1) より、 $\Delta L = 8\lambda$ が得られる。

【0105】

さらに、 Δn_s を、Si での一般的な値である $\Delta n_s = 0.01$ と仮定すると、式 (2) より、 $L_e = 50\lambda$ が得られる。ここで、 λ を、光通信分野で一般的な $1.55 \mu\text{m}$ とした場合、第 1 周回型光導波路 32 の寸法は約 1.5 mm 程度に収まる。

30

【0106】

(効果)

(1) この実施の形態の光共振器 10 は、第 1～第 3 マッハツェンダ干渉器 19, 20 及び 21 に設けられた電極 19e, 20e 及び 21e に印加する電圧を変化させることで、光路 19c, 20c 及び 21c の屈折率を変化させ、これにより、選択波長のチューニングを行う。つまり、光路 19c, 20c 及び 21c の屈折率という単独のパラメータを変化させることで波長の制御を簡単に行うことができる。

【0107】

(2) また、この実施の形態の光共振器 10 は、非特許文献 1 に開示された技術に比べて、より小型に形成することができる。

40

【0108】

(3) また、この実施の形態では、第 2 光導波路 14 に、第 1 及び第 2 マッハツェンダ干渉器 19 及び 20 を設け、第 3 光導波路 16 に、光伝播方向に沿った長さが最も長い第 3 マッハツェンダ干渉器 21 を設けている。このような配置でマッハツェンダ干渉器 19, 20 及び 21 を配置することにより、第 2 又は第 3 光導波路 14 又は 16 の一方のみに全てのマッハツェンダ干渉器 19, 20 及び 21 を設ける場合に比較して、光共振器 10 の全長を大幅に短くすることができる。

【0109】

なお、マッハツェンダ干渉器が n 個の場合についても同様である。第 1～第 n マッハツ

50

ェンダ干渉器は、この順序で全長が2倍ずつ大きくなっている。従って、第1～第n-1マッハツェンダ干渉器の全長の総和は、第nマッハツェンダ干渉器の全長とほぼ等しくなる。従って、第1～第n-1マッハツェンダ干渉器を第2光導波路14に設け、及び第nマッハツェンダ干渉器を第3光導波路16に設けることにより、第1～第nマッハツェンダ干渉器を、第2又は第3光導波路のいずれか一方のみに設ける場合に比較して、光共振器の全長を約半分に抑えることができる。

【0110】

(変形例等)

この実施の形態においては、第1～第3マッハツェンダ干渉器19、20及び21にY分岐光導波路19a、19b、20a、20b、21a及び21bを用いた場合を説明した。

10

【0111】

しかし、第1～第3マッハツェンダ干渉器19、20及び21において、各光路に光を分岐させる手段はY分岐光導波路には限定されない。

【0112】

例えば、図6に示すように、Y分岐光導波路の代わりに、2×2カプラ34a、34b、36a、36b、38a及び38bを用いてもよい。この場合2×2カプラ34a、34b、36a、36b、38a及び38bとしては、多モード干渉光カプラ又は方向性結合器を用いることができる。

【0113】

この場合、2×2カプラ34b、36b及び38aに接続された2本の出力導波路のうち、片方は、基板28の外部に不要な光を捨てるための排出用光導波路34c、36c及び38cとなる。

20

【0114】

このような構成にした場合、排出用光導波路34c、36c及び38cから排出される光の波長をモニターすることにより、第1～第3マッハツェンダ干渉器19、20及び21で選択されている波長を知ることが可能となる。

【0115】

(実施の形態2)

続いて、図7～図9を参照して、実施の形態2の光共振器40について説明する。

30

【0116】

なお、図7において、図1と同様の構成要素には同符号を付し、その説明を省略することもある。

【0117】

図7を参照すると、光共振器40は、曲がり光導波路22(図1)が、第2周回型光導波路42に変更されている以外は、実施の形態1の光共振器10と同様の構成を有している。従って、以下の説明では、主にこの相違点について説明する。

【0118】

光共振器40は、第2光導波路14及び第3光導波路16の終端部14a及び16aの間を光結合可能に接続する光結合導波路として第2周回型光導波路42を用いている。そして、第2周回型光導波路42と、第2及び第3光導波路14及び16の終端部14a及び16aとの間の光の結合領域に、近接配置された第2周回型光導波路42と、第2及び第3光導波路14及び16とを備えた方向性結合器44及び46が設けられている。

40

【0119】

第2周回型光導波路42は、無終端で略円形のリング共振器である。第2周回型光導波路42は、第2及び第3光導波路14及び16の終端部14a及び16aの間のSiO₂膜30中に埋め込まれて延在している。第2周回型光導波路42は、好ましくは例えば、Siを材料として形成されている。第2周回型光導波路42の光伝播方向に垂直な横断面の形状は、第1～第3光導波路12、14及び16と同様とする。また、第2周回型光導波路42の曲率半径は、光共振器40の選択波長により任意好適な大きさに設定できるが

50

、この例では、好ましくは例えば約 0.3 mm とする。

【0120】

方向性結合器 44 は、終端部 14a 付近において、光結合可能に近接配置された第 2 光導波路 14 及び第 2 周回型光導波路 42 から構成されている。方向性結合器 44 は、(1) 第 2 光導波路 14 を伝播する光を第 2 周回型光導波路 42 に結合する機能と、(2) 第 2 周回型光導波路 42 を伝播する光を第 2 光導波路 14 に結合する機能とを有している。

【0121】

方向性結合器 46 は、終端部 16a 付近において、光結合可能に近接配置された第 3 光導波路 16 及び第 2 周回型光導波路 42 から構成されている。方向性結合器 46 は、(1) 第 2 光導波路 16 を伝播する光を第 2 周回型光導波路 42 に結合する機能と、(2) 第 2 周回型光導波路 42 を伝播する光を第 2 光導波路 16 に結合する機能とを有している。

【0122】

(動作)

半導体光増幅器 26 から放射された光は、第 1 光導波路 12 を伝播して、分岐点 P に至る。分岐点 P において、光は、第 2 光導波路 14 と第 3 光導波路 16 とに等分配される。

【0123】

まず、第 2 光導波路 14 に分配された光は、第 1 マッハツェンダ干渉器 19 及び第 2 マッハツェンダ干渉器 20 を伝播することで波長選択される。ここで、波長選択されなかった光は、クラッドである SiO_2 膜 30 中に放射される。

【0124】

第 1 及び第 2 マッハツェンダ干渉器 19 及び 20 を伝播した光は、方向性結合器 44 により、第 2 周回型光導波路 42 に結合される。第 2 周回型光導波路 42 に結合された光の中で、リングを 1 周したときに位相が揃う波長の光のみが第 2 周回型光導波路 42 の共振条件を満たし、強度が増加していく。それ以外の光は、クラッドとしての SiO_2 膜 30 に捨てられる。

【0125】

第 2 周回型光導波路 42 の共振条件を満たした光は、方向性結合器 46 において、第 3 光導波路 16 に結合される。そして、第 3 光導波路 16 に設けられた第 3 マッハツェンダ干渉器 21 でさらに波長選択をされて、分岐点 P に戻ってくる。

【0126】

一方、第 3 光導波路 16 に分配された光は、第 3 光導波路に設けられた第 3 マッハツェンダ干渉器 21 により波長選択される。そして、方向性結合器 46 により、第 2 周回型光導波路 42 に結合される。第 2 周回型光導波路 42 に結合された光の中で、リングを 1 周したときに位相が揃う波長の光のみが第 2 周回型光導波路 42 の共振条件を満たし、強度が増加していく。それ以外の光は、クラッドとしての SiO_2 膜 30 に捨てられる。

【0127】

第 2 周回型光導波路 42 の共振条件を満たした光は、方向性結合器 44 において、第 2 光導波路 14 に結合される。そして、第 2 光導波路 14 に設けられた第 2 及び第 1 マッハツェンダ干渉器 20 及び 19 でさらに波長選択を受けた後に、交差点 P に戻る。

【0128】

交差点 P には、第 2 光導波路 14 → 第 2 周回型光導波路 42 → 第 3 光導波路 16 と反時計回りに各光導波路を周回した光(「反時計回り光」と称する。)と、第 3 光導波路 16 → 第 2 周回型光導波路 42 → 第 2 光導波路 14 と時計回りに各光導波路を周回した光(「時計回り光」と称する。)とが戻ってくる。ここで、反時計回り光と時計回り光は、共通の経路を伝播する。従って、交差点 P に戻って来た段階で、反時計回り光と時計回り光とは同一の位相を持つ。その結果、交差点 P で合流した反時計回り光と時計回り光とは、打ち消し合うことなく、足し合わされて合波される。

【0129】

このようにして分岐点 P で合波された光は、第 1 光導波路 12、及び半導体光増幅器 26 を経て、高反射膜 24 で反射され、再び上述の経路を伝播する。

【0130】

つまり、高反射膜24→第2光導波路14（第3光導波路16）→第2周回型光導波路42→第3光導波路16（第2光導波路14）→高反射膜24との経路で光を往復させながら増幅する光共振器40が形成される。増幅された光が所定の強度を超えると、高反射膜24を透過して、外部に出射される。

【0131】

（波長選択のメカニズム）

光共振器40は、第2周回型光導波路42をリング共振器として備えている。その結果、波長選択手段として、第1～第3マッハツェンダ共振器19、20及び21のみを備えていた光共振器10と比較して、より波長選択性が向上する。

10

【0132】

以下この点について、図8（A）～（C）を参照して説明する。

【0133】

図8（A）は、図4（B）と同様の図であり、光共振器10の波長選択特性、すなわち第1～第3マッハツェンダ干渉器19、20及び21の合成波長選択特性を示す模式図である。図8（B）は、第2周回型光導波路42の波長選択特性を示す模式図である。図8（C）は、第1～第3マッハツェンダ干渉器19、20及び21と第2周回型光導波路42の合成波長選択特性を示す模式図である。図8（A）～（C）のいずれも縦軸は光強度（任意単位）を示し、横軸は波長（任意単位）を示す。

20

【0134】

図8（B）を参照すると、第2周回型光導波路42の波長選択特性は、従来周知のリング共振器の波長選択特性と同様であり、等波長間隔で鋭いピークを有している。

【0135】

光共振器40全体としての波長選択特性は、図8（A）と図8（B）とを合成した図8（C）で与えられる。これを、実施の形態1の光共振器10の波長選択特性（図8（A））と比較すると、明らかに光共振器40の波長選択特性が向上していることが分かる。

【0136】

光共振器40において、波長選択特性が向上していることについて、図9を参照してさらに説明する。

【0137】

図9は、光共振器40のサイドモード抑制比Rを示す模式図である。縦軸は、サイドモード抑制比R（dB）を示し、横軸は、半導体光増幅器26の発光の閾値電流密度 J_{th} で規格化した、半導体光増幅器26に対する電流密度（ J/J_{th} ）（無次元）を示している。

30

【0138】

図9には、図5と同じ条件で描かれた4本の曲線A～Dが描かれている。すなわち、曲線Aは図5の曲線Iと同じ n 及び Cs であり、曲線Bは図5の曲線IIと同じ n 及び Cs であり、曲線Cは図5の曲線IIIと同じ n 及び Cs であり、並びに曲線Dは図5の曲線IVと同じ n 及び Cs である。

【0139】

図9及び図5を比較すると、図8ではサイドモード抑制比Rが、図5に比較して全体に10～15 dB向上していることがわかる。つまり、第2周回型光導波路42を設けることで、光共振器10に比較して光共振器40の波長選択特性が向上していることが確認できる。

40

【0140】

（効果）

この実施の形態の光共振器40は、実施の形態1の光共振器10と同様の効果を奏するとともに、第2周回型光導波路42を備えているので、実施の形態1の光共振器10よりも、さらに優れた波長選択特性を示す。

【0141】

50

(変形例)

この実施の形態の光共振器 40 は、実施の形態 1 の光共振器 10 と同様の変形が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0142】

【図 1】実施の形態 1 の光共振器の構成を概略的に示す斜視図である。

【図 2】実施の形態 1 の Y 分岐光導波路の要部拡大平面図である。

【図 3】実施の形態 1 の第 1 マッハツェンダ干渉器の拡大平面図である。

【図 4】(A) は、第 1～第 3 マッハツェンダ干渉器のそれぞれの波長選択特性を示す模式図である。(B) は、第 1～第 3 マッハツェンダ干渉器の合成波長選択特性を示す模式図である。(C) は、(B) に、さらに、光共振器のファブリペロ共振波長を描き加えて示す模式図である。

10

【図 5】実施の形態 1 の光共振器のサイドモード抑制比 R の説明に供する図である。

【図 6】実施の形態 1 の光共振器の変形例を示す斜視図である。

【図 7】実施の形態 2 の光共振器の構成を概略的に示す斜視図である。

【図 8】(A) は、実施の形態 1 の光共振器の波長選択特性を示す模式図である。(B) は、第 2 周回型光導波路の波長選択特性を示す模式図である。(C) は、第 1～第 3 マッハツェンダ干渉器と第 2 周回型光導波路の合成波長選択特性を示す模式図である。

【図 9】実施の形態 2 の光共振器のサイドモード抑制比 R を示す模式図である。

20

【符号の説明】

【0143】

10, 40 光共振器

12 第 1 光導波路

12a, 14a, 16a 終端部

14 第 2 光導波路

16 第 3 光導波路

18, 19a, 19b, 20a, 20b, 21a, 21b Y 分岐光導波路

19 第 1 マッハツェンダ干渉器

19c, 19d, 20c, 20d, 21c, 21d 光路

19e, 20e, 21e 電極

30

20 第 2 マッハツェンダ干渉器

21 第 3 マッハツェンダ干渉器

22 曲がり光導波路

24 高反射膜

26 半導体光増幅器

28 基板

28a 第 1 主面

30 SiO₂ 膜

32 第 1 周回型光導波路

34a, 34b, 36a, 36b, 38a, 38b 2×2 カブラ

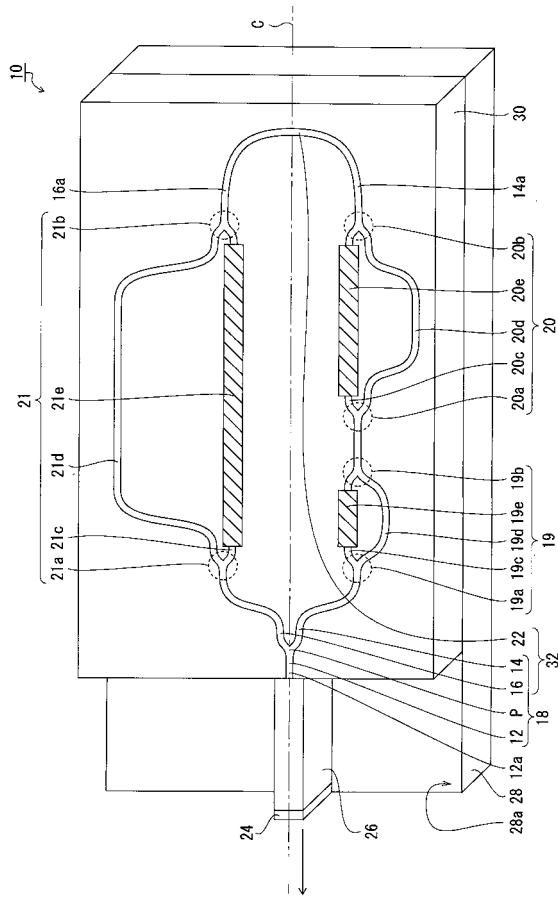
40

34c, 36c, 38c 排出用光導波路

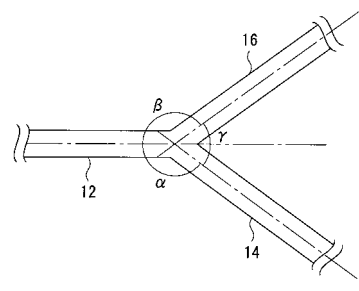
42 第 2 周回型光導波路

44, 46 方向性結合器

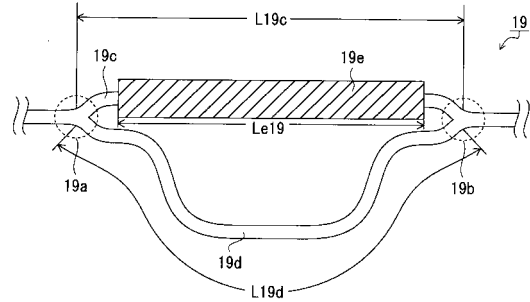
【図 1】



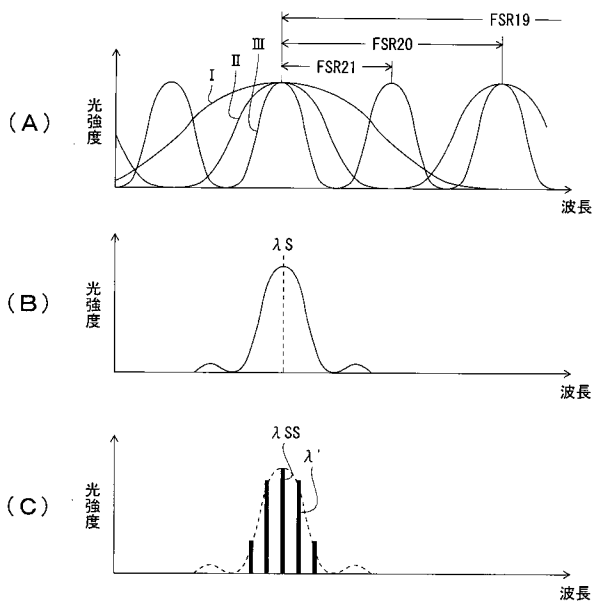
【図 2】



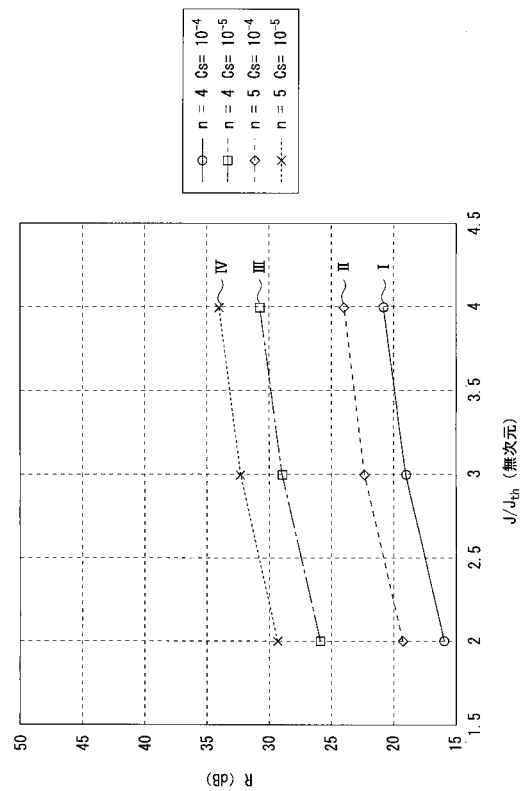
【図 3】



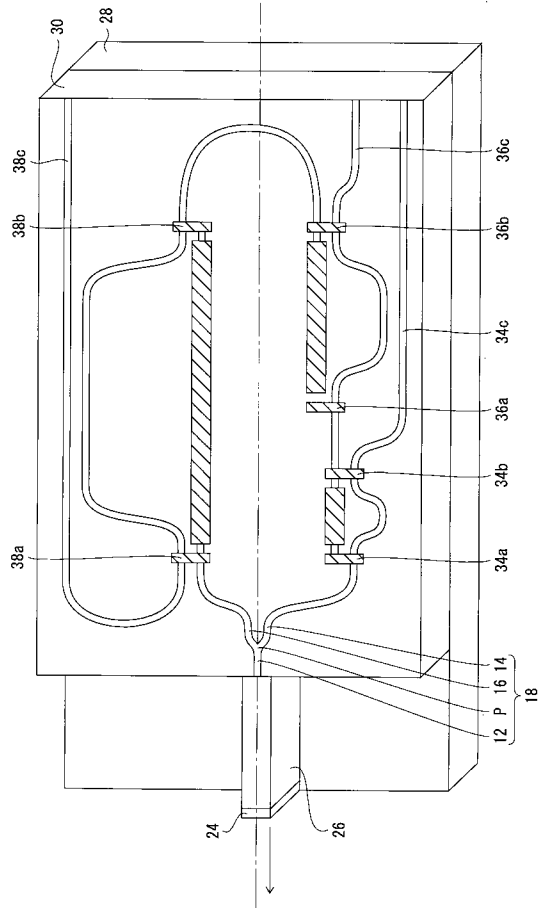
【図 4】



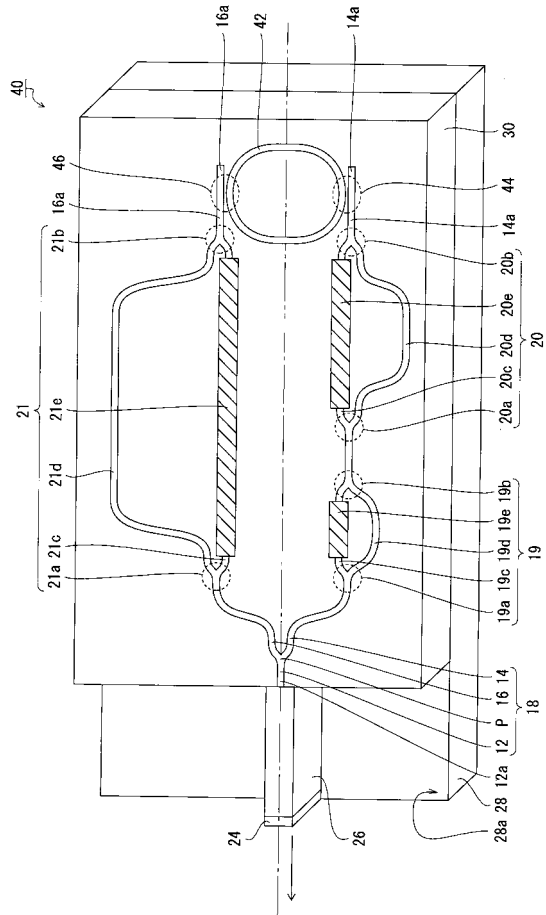
【図 5】



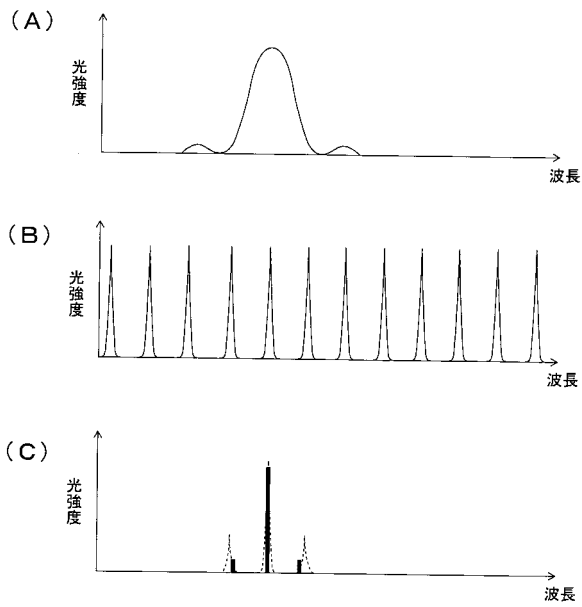
【図 6】



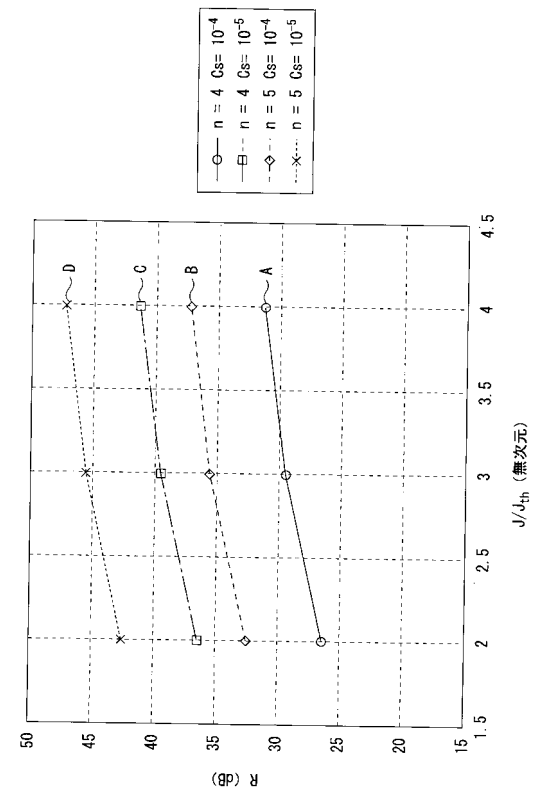
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H147 AB03 AB11 AB15 AC05 BD01 BE03 BE13 CA13 CD01 CD02
EA02D EA12D EA13A EA13C EA14A EA14B EA14D