(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年1月11日(11.01.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/009337 A1

(51) 国際特許分類:
H01S 5/14 (2006.01) *G02B 6/125* (2006.01)
G02B 6/122 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2022/026538

(22) 国際出願日： 2022年7月4日(04.07.2022)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人:三菱電機株式会社(**MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 Tokyo (JP).

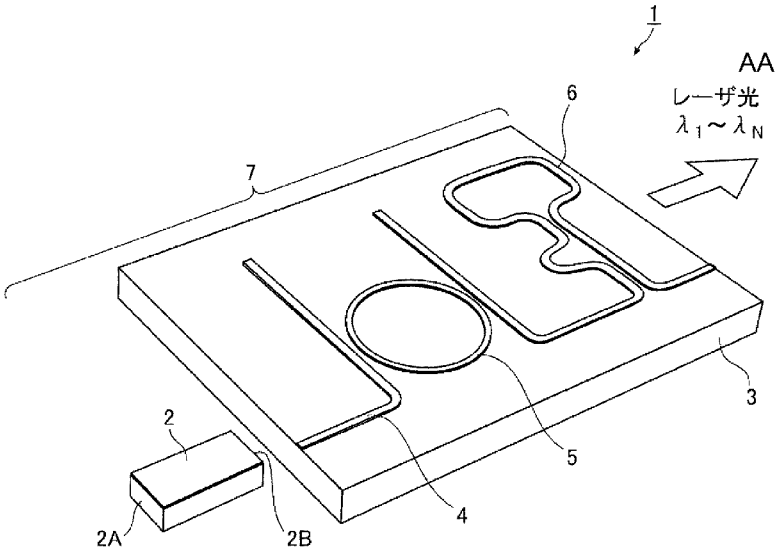
(72) 発明者:大畠 伸夫(**OHATA, Nobuo**); 〒1008310 東京都千代田区丸の内二丁目７番３号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP). 西山 伸彦(**NISHIYAMA, Nobuhiko**); 〒1528550 東京都目黒区大岡山２丁目１２番１号 国立大学法人東京工業大学内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人山王内外特許事務所(**SANNO PATENT ATTORNEYS OFFICE**); 〒1000014 東京都千代田区永田町二丁目１２番４号 赤坂山王センタービル５階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

(54) **Title:** MULTIMODE LASER

(54) 発明の名称： マルチモードレーザ



AA Laser beam λ_1 to λ_N

(57) **Abstract:** A multimode laser (1) is characterized by comprising: a semiconductor amplifier (2); and a laser resonator (7) formed between the semiconductor amplifier (2) and a loop mirror (6) that is composed of a waveguide formed on a semiconductor substrate (3). The multimode laser (1) is characterized in that the characteristic shape of the reflectivity of the loop mirror (6) is a projecting shape in an oscillation wavelength range.

WO 2024/009337 A1

[続葉有]

ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：マルチモードレーザ（１）は、半導体増幅器（２）と、半導体基板（３）に形成された導波路により構成されたループミラー（６）と、半導体増幅器（２）との間に構成されるレーザ共振器（７）とを備え、ループミラー（６）の反射率の特性形状が発振波長範囲において凸形状であることを特徴とする。

明　細　書

発明の名称 ： マルチモードレーザ

技術分野

[0001] 本開示は、マルチモードレーザに関する。

背景技術

[0002] 近年の光通信の大容量化に伴い、波長多重変調（以下ＷＤＭという。）方式を採用した光通信モジュールが普及している。光通信モジュールには、例えば、マルチモードレーザが用いられる。マルチモードレーザは、マルチモードのレーザ光を出射するレーザ装置である。例えば、非特許文献１には、光通信モジュールの小型化を実現するため、利得媒質と、シリコンフォトニクス技術により作成されたデバイス（以下、シリコンフォトニクスデバイスという。）と、を組み合わせたマルチモードレーザが記載されている。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：Ｎａｍｉ　Ｙａｓｕｏｋａ，ｅｔ　ａｌ．，“Ｅｘｔｅｒｎａｌ－Ｃａｖｉｔｙ　Ｑｕａｎｔｕｍ－Ｄｏｔ　Ｌａｓｅｒ　ｗｉｔｈ　Ｓｉｌｉｃｏｎ　Ｐｈｏｔｏｎｉｃｓ　Ｗａｖｅｇｕｉｄｅ　Ｍｉｒｒｏｒ　ｆｏｒ　Ｆｏｕｒ－Ｗａｖｅｌｅｎｇｔｈ　Ｓｉｍｕｌｔａｎｅｏｕｓ　Ｏｓｃｉｌｌａｔｉｏｎ　ｗｉｔｈ　ａｎ　８００ＧＨｚ　Ｃｈａｎｎｅｌ　Ｓｐａｃｉｎｇ，”　ＩＳＬＣ２０１６　ＴｈＡ２．

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 非特許文献１に記載されるマルチモードレーザでは、予め定められた発振波長範囲以外にもレーザ発振が発生することにより電力効率が低下するという課題があった。

[0005] 本開示は上記課題を解決するものであり、発振波長範囲以外のレーザ発振を抑制して電力効率を高めることができるマルチモードレーザを得ることを

目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 本開示に係るマルチモードレーザは、半導体増幅器と、基板に形成された導波路により構成されたループミラーと、半導体増幅器との間に構成されるレーザ共振器と、を備え、ループミラーの反射率の特性形状が発振波長範囲において凸形状である。

発明の効果

[0007] 本開示によれば、レーザ共振器が半導体増幅器とループミラーとの間に構成され、ループミラーの反射率の特性形状が発振波長範囲において凸形状である。発振波長範囲以外の波長のレーザ光の発振が抑えられるので、本開示に係るマルチモードレーザは、発振波長範囲以外のレーザ発振を抑制して電力効率を高めることができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]実施の形態１に係るマルチモードレーザを示す斜視図である。

[図2]実施の形態１におけるループミラーを示す平面図である。

[図3]図３Ａおよび図３Ｂは、従来のマルチモードレーザの特性を示す図である。

[図4]図４Ａおよび図４Ｂは、実施の形態１に係るマルチモードレーザの特性を示す図である。

[図5]実施の形態１におけるループミラーの変形例（１）を示す平面図である。

[図6]実施の形態１におけるループミラーの変形例（２）を示す平面図である。

[図7]実施の形態２に係るマルチモードレーザを示す斜視図である。

[図8]実施の形態２におけるループミラーの反射特性を示すグラフである。

[図9]実施の形態２におけるループミラーの変形例（１）を示す平面図である。

[図10]実施の形態２におけるループミラーの変形例（２）を示す平面図であ

る。

[図11]実施の形態２におけるループミラーの変形例（３）を示す平面図である。

発明を実施するための形態

[0009] 実施の形態１.

図１は、実施の形態１に係るマルチモードレーザ１を示す斜視図である。マルチモードレーザ１は、所望の発振波長範囲の波長λ_1～λ_Nのレーザ光を出射するレーザである。Ｎは２以上の整数である。図１に示すように、マルチモードレーザ１は、半導体増幅器２と半導体基板３を備える。半導体増幅器２は、レーザ光を増幅する。半導体基板３には、導波路４が形成されており、この導波路４によりリング共振フィルタ５とループミラー６が構成される。マルチモードレーザ１のレーザ共振器７は、半導体増幅器２と、半導体基板３上に設けられたループミラー６との間に構成される。

[0010] 半導体増幅器２の後方面２Ａ（レーザ光の出射面２Ｂとは反対側の面）には、ＨＲ（Ｈｉｇｈ　Ｒｅｆｌｅｃｔｉｏｎ）コートが施される。ＨＲコートが施された後方面２Ａでは、所望の発振波長範囲を含む広い波長帯で高い反射率が得られる。さらに、半導体増幅器２におけるレーザ光の出射面２Ｂには、ＡＲ（Ａｎｔｉ　Ｒｅｆｌｅｃｔｉｏｎ）コートが施される。ＡＲコートにより出射面２Ｂにおけるレーザ光の反射をほぼ０にすることができる。半導体増幅器２に電流を流すことにより、半導体増幅器２に発生した自然放出光を種として増幅する。また、半導体増幅器２の出射面２Ｂは、半導体基板３に形成された導波路４の端部と光学的に結合されている。

[0011] 半導体増幅器２には、例えば、量子ドットの活性層を有した半導体増幅器（以下、量子ドット半導体増幅器という。）が使用される。量子ドット半導体増幅器は、発振波長ごとのレーザ光に重畳されるノイズが少ない増幅器であるため、マルチモードレーザ１に好適である。なお、マルチモードレーザ１には、他の種類の半導体増幅器も使用可能である。例えば、半導体増幅器２として、量子井戸半導体増幅器を用いてもよい。

[0012] 半導体基板３は、光を伝搬させる導波路が形成された基板である。半導体基板３には、光の伝送路として機能する導波路４に加え、導波路により構成されたリング共振フィルタ５およびループミラー６が設けられる。半導体基板３は、例えば、シリコン基板であり、シリコンフォトニクス技術を用いて、導波路４、リング共振フィルタ５およびループミラー６を、シリコン導波路により構成したものである。なお、半導体基板３には、シリコンナイトライド（ＳｉＮ）基板を用いてもよい。また、導波路は、有機系の導波路であってもよい。

[0013] リング共振フィルタ５は、所望の発振波長範囲から、予め定められた波長間隔ごとの光（波長λ_1～λ_Nのレーザ光）を通過させる。例えば、リング共振フィルタ５は、光通信用の波長間隔でレーザ光を出射する。なお、リング共振フィルタ５がない場合、出力光の波長と波長との間に数万の波長の光が発生し、出力パワーが分散されてしまう。

[0014] マルチモードレーザ１において、半導体増幅器２に電流を流して発生した自然放出光を種として、ほぼ全反射するＨＲミラーとして機能する後方面２Ａと、反射率の特性形状が所望の発振波長範囲において凸形状であるループミラー６との間で、ファブリペロー共振が発生する。レーザ共振器７におけるリング共振フィルタ５により通過可能な波長の光が決定され、通過波長の光のみがレーザ発振する。

[0015] ループミラー６は、リング共振フィルタ５と同様に、半導体基板３上に形成された導波路により構成され、半導体増幅器２との間でレーザ共振器７を構成する。図２は、実施の形態１におけるループミラー６を示す平面図である。ループミラー６は、図２に示すように、マッハツェンダ干渉計（以下、ＭＺ干渉計という。）８とループ導波路９とを備えたサニャック（Ｓａｇｎａｃ）ループミラーである。

[0016] ＭＺ干渉計８は、方向性結合器１０Ａ、方向性結合器１０Ｂ、および曲げ導波路１１を含む導波路対を備える。ループ導波路９は、ループ状に形成された導波路であり、方向性結合器１０Ｂと光学的に結合されている。図２に

おいて破線で囲って示すように、方向性結合器１０Ａは、互いに隣り合った同じ幅の導波路により構成される第１の方向性結合器である。方向性結合器１０Ｂは、方向性結合器１０Ａと同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器であり、互いに隣り合った同じ幅の導波路により構成されている。また、方向性結合器１０Ａと方向性結合器１０Ｂでは、導波路の長さが互いに異なる。例えば、図２に示すように、方向性結合器１０Ａよりも方向性結合器１０Ｂが長くなるように形成されている。ただし、方向性結合器１０Ａと方向性結合器１０Ｂとで導波路の長さが互いに同じであってもよい。方向性結合器１０Ａと方向性結合器１０Ｂとの間に設けられた導波路対は、一方の導波路が曲げ導波路１１である。

[0017] 図２における上記導波路対は、紙面左側の導波路が曲げ導波路１１であるが、紙面右側の導波路が曲げ導波路であってもよい。また、図２では、曲げ部分が一つである曲げ導波路１１を示したが、曲げ部分を複数有した曲げ導波路であってもよいし、上記導波路対の両方の導波路を曲げ導波路としてもよい。例えば、紙面左側の導波路を右に曲げた曲げ導波路とし、紙面右側の導波路を右に曲げた曲げ導波路とした場合に、左右の曲げ導波路の長さが互いに異なるものであればよい。すなわち、導波路対の左右の導波路における光の伝搬特性に差分が生じ、その差分が所望の値であればよい。このようにループミラー６を構成することにより、ループミラー６の反射率の特性形状を、所望の発振波長範囲において凸形状にすることができる。

[0018] 図３Ａは、従来のマルチモードレーザにおけるループミラーの反射特性を示すグラフであり、従来の一般的なループミラーの反射特性を示している。図３Ｂは、従来のマルチモードレーザのレーザ発振特性を示すグラフであり、図３Ａの反射特性を有したループミラーと半導体増幅器との間に構成されるレーザ共振器のレーザ発振特性をシミュレーションした結果を示している。なお、レーザ共振は、半導体増幅器に対して１００ｍＡの電流を流して発生した自然放出光を種としたファブリペロー共振である。

[0019] 従来の一般的なループミラーは、図３Ａに示すように、波長に対して概ね

一定の反射率となる反射特性を有している。例えば、非特許文献１に記載されるマルチモードレーザにおいて、利得媒質である半導体増幅器とループミラーとの間で共振する光の波長間隔は、共振器フィルタによって決定される。また、レーザ共振器において、ループミラーが半導体増幅器に光を戻すと、光が増幅されてレーザ発振する。半導体増幅器に光を戻す反射率が小さい場合、ループミラーの端部から取り出すことができる光出力パワーが増加する。しかしながら、ループミラーの反射率を小さくし過ぎた場合、十分な光子密度が取れず、レーザ発振しなくなる。

[0020] 従来のループミラーは、図３Ａに示すように、共振器フィルタにより決定される全ての波長に対して概ね一定の反射率を有することで、レーザ共振器では、共振器フィルタにより決定される全ての波長の光に対して概ね一定の利得が与えられる。これにより、従来のマルチモードレーザは、共振器フィルタにより決定される波長を含む広い波長範囲の光が共振し、レーザ発振特性は、図３Ｂに示すように、半導体増幅器の利得形状に対応した発振特性となる。このため、発振波長範囲Ａから外れた波長の光も発振してしまい、電力効率が低下する。

[0021] これに対して、マルチモードレーザ１は、反射率の特性形状が、所望の発振波長範囲Ａにおいて凸形状であるループミラー６を備えることで、発振波長範囲Ａから外れた波長の光が発振することを防止する。これにより、半導体増幅器２において、発振している波長側の光増幅にキャリアが使用されるので、発振波長範囲Ａにおいて、波長間の光出力の差が小さい均一なレーザ発振を実現することができる。

[0022] 図４Ａは、実施の形態１に係るマルチモードレーザ１におけるループミラー６の反射特性を示すグラフである。図４Ｂは、マルチモードレーザ１のレーザ発振特性を示すグラフであり、図４Ａの反射特性を有したループミラー６と半導体増幅器２との間に構成されるレーザ共振器７のレーザ発振特性をシミュレーションした結果を示している。なお、レーザ共振は、半導体増幅器２に対して１００ｍＡの電流を流して発生した自然放出光を種としたファ

ブリペロー共振である。

[0023] ループミラー６が、図４Ａに示す反射特性を有する場合、１２６５ｎｍ未満の波長の光および１２９５ｎｍを超える波長の光に対する反射率が小さく、その分、ループミラー６から光が透過される割合である透過率が高くなる。このとき、レーザ共振器７において、レーザ発振が起こらなくなり、レーザ共振器７からの光出力も高くなる。

一方、所望の発振波長範囲Ａである１２６５ｎｍから１２９５ｎｍまでの範囲に対しては、ループミラー６の反射率が、図３Ａに示した同範囲の反射率以上であり、その分、ループミラー６の透過率が低くなるので、レーザ共振器７から出力されにくくなってレーザ共振が起こる。

[0024] ループミラー６の反射率が大きい波長の光は、半導体増幅器２の利得も大きく、ループミラー６の反射率が小さい波長の光は、半導体増幅器２の利得は小さい。レーザ共振器７における光の損失よりも利得が大きい場合に、その光は共振してレーザ共振器７から出力されず、損失よりも利得が小さい光は、共振せずにレーザ共振器７から出力される。

すなわち、レーザ共振器７において、半導体増幅器２の利得と全体の損失との差し引きが負になる場合は発振せず、正になるときに発振が起きる。ループミラー６の反射特性の凸形状において反射率の小さい裾部分は、利得が小さいので、発振せずに光出力が増加する。反射率が大きい頂点付近に対応する波長の光は利得が大きいので、レーザ共振器７において強く発振する。

反射率が大きい頂点付近に対応する波長の光が出力される割合は、ループミラー６の透過率で決まるため、各波長の光に対するループミラー６の透過率を調整することにより、光出力を均一にすることが可能である。なお、理想的には、透過率＝１－反射率の関係が成り立つので、反射率からループミラー６の透過率を設定できる。

[0025] また、図２に示すループミラー６は、導波路を伝搬する光の位相を変化させることで、反射率の特性形状を凸形状としている。例えば、曲げ導波路１１により紙面左右の導波路の長さを変える、つまり、光の進み量に対応する

位相を変える。さらに、方向性結合器１０Ａにある周期の波長特性を持たせ、方向性結合器１０Ｂでは、方向性結合器１０Ａとは異なる周期の波長特性を持たせる。これらを調整することで、ループミラー６の反射率の特性形状を凸形状とすることが可能である。

[0026] なお、ループミラー６において、方向性結合器１０Ａ、曲げ導波路１１および方向性結合器１０Ｂに加え、さらに、曲げ導波路および方向性結合器を追加することにより、反射特性の調整の自由度が増加する。例えば、ある波長の光は１００％反射し、別の波長の光は全く反射ない、光の波長に関するバンドパスフィルタのようなループミラーを実現することが可能である。

[0027] 図５は、実施の形態１におけるループミラー６の変形例（１）であるループミラー６Ａを示す平面図である。ループミラー６Ａは、方向性結合器１０Ａ、方向性結合器１０Ｂ、伝搬定数変換導波路１２Ａ、非結合導波路１３、および伝搬定数変換導波路１２Ｂを有する。ループ導波路９は、ループ状に形成された導波路であり、方向性結合器１０Ｂと光学的に結合されている。図５において破線で囲って示すように、方向性結合器１０Ａは、互いに隣り合った同じ幅の導波路により構成される第１の方向性結合器である。方向性結合器１０Ｂは、方向性結合器１０Ａと同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器であり、互いに隣り合った同じ幅の導波路により構成されている。また、方向性結合器１０Ａと方向性結合器１０Ｂでは、導波路の長さが互いに異なる。例えば、図５に示すように、方向性結合器１０Ａよりも方向性結合器１０Ｂが長くなるように形成されている。ただし、方向性結合器１０Ａと方向性結合器１０Ｂとで導波路の長さが互いに同じであってもよい。

[0028] 非結合導波路１３は、少なくとも一方の導波路が方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂとは異なる導波路幅を有した導波路である。例えば、図５に示すように、非結合導波路１３は、方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂよりも狭い導波路幅を有する。非結合導波路１３は、隣接した導波路の一方が狭い導波路幅となっており、導波路間の距離が光学的に結合しない、すなわちモードカップリングしない距離となっている。

[0029] 伝搬定数変換導波路１２Ａは、方向性結合器１０Ａと非結合導波路１３との間に設けられ、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１３に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第１の伝搬定数変換導波路である。

例えば、図５に示すように、伝搬定数変換導波路１２Ａは、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１３に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少するテーパ形状の導波路である。

[0030] 伝搬定数変換導波路１２Ｂは、非結合導波路１３と方向性結合器１０Ｂとの間に設けられ、非結合導波路１３に光学的に結合された端部から方向性結合器１０Ｂに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第２の伝搬定数変換導波路である。

例えば、図５に示すように、伝搬定数変換導波路１２Ｂは、非結合導波路１３に光学的に結合された端部から方向性結合器１０Ｂに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加するテーパ形状の導波路である。

[0031] 伝搬定数変換導波路１２Ａおよび伝搬定数変換導波路１２Ｂは、光の伝搬定数を断熱的に変化させる導波路である。光の伝搬定数を変化させることで、曲げ導波路１１を用いずとも、隣接する導波路との位相差を発生させることができる。これを用いて、ループミラー６Ａの反射率の特性形状を凸形状とすることが可能である。

なお、伝搬定数変換導波路１２Ａ、非結合導波路１３および伝搬定数変換導波路１２Ｂは、隣接する導波路との位相差を発生させることができればよい。このため、エネルギー損失は発生するが、ループミラー６Ａには、非断熱で伝搬定数を変化させるマルチモード干渉（ＭＭＩ）型の導波路を用いてもよい。

[0032] なお、図５における非結合導波路１３は、紙面左側の導波路の幅を狭くした構成であるが、紙面右側の導波路の幅を狭くしてもよい。このように導波路の幅を調整することにより、非結合導波路１３であっても、光の伝搬定数を変化させることができる。

また、図５における非結合導波路１３は、紙面左側または紙面右側のいずれかの導波路の幅を、方向性結合器１０Ａおよび１０Ｂよりも広くしてもよい。このように導波路の幅を調整しても、非結合導波路１３であっても、光の伝搬定数を変化させることができる。

[0033] 図６は、実施の形態１におけるループミラー６の変形例（２）であるループミラー６Ｂを示す平面図である。ループミラー６Ｂは、方向性結合器１０Ａ、方向性結合器１０Ｂ、伝搬定数変換導波路１２Ｃ、非結合導波路１４、および伝搬定数変換導波路１２Ｄを有する。ループ導波路９は、ループ状に形成された導波路であり、方向性結合器１０Ｂと光学的に結合されている。図６において破線で囲って示すように、方向性結合器１０Ａは、互いに隣り合った同じ幅の導波路により構成される第１の方向性結合器である。方向性結合器１０Ｂは、方向性結合器１０Ａと同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器であり、互いに隣り合った同じ幅の導波路により構成されている。また、方向性結合器１０Ａと方向性結合器１０Ｂでは、導波路の長さが互いに異なる。例えば、図６に示すように、方向性結合器１０Ａよりも方向性結合器１０Ｂが長くなるように形成されている。ただし、方向性結合器１０Ａと方向性結合器１０Ｂとで導波路の長さが互いに同じであってもよい。

[0034] 非結合導波路１４は、少なくとも一方の導波路が方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂとは異なる導波路幅を有した導波路である。例えば、図６に示すように、非結合導波路１４は、方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂよりも広い導波路幅を有する。非結合導波路１４は、隣接した導波路の一方が広い導波路幅となっており、もう一方が狭い導波路幅となっている。これにより、非結合導波路１４における導波路間の距離が光学的に結合しない、すなわちモードカップリングしない距離となっている。

[0035] 伝搬定数変換導波路１２Ｃは、方向性結合器１０Ａと非結合導波路１４との間に設けられ、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１４に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第１の伝搬定数変換導波路である。

例えば、図６に示すように、伝搬定数変換導波路１２Ｃを構成する一方の導波路は、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１４に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加するテーパ形状の導波路である。さらに、伝搬定数変換導波路１２Ｃを構成する他方の導波路は、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１３に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少するテーパ形状の導波路である。

[0036] 伝搬定数変換導波路１２Ｄは、非結合導波路１４と方向性結合器１０Ｂとの間に設けられ、非結合導波路１４に光学的に結合された端部から方向性結合器１０Ｂに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第２の伝搬定数変換導波路である。

例えば、図６に示すように、伝搬定数変換導波路１２Ｄを構成する一方の導波路は、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１４に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少するテーパ形状の導波路である。さらに、伝搬定数変換導波路１２Ｄを構成する他方の導波路は、非結合導波路１４に光学的に結合された端部から方向性結合器１０Ｂに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加するテーパ形状の導波路である。

[0037] 伝搬定数変換導波路１２Ｃおよび伝搬定数変換導波路１２Ｄは、光の伝搬定数を断熱的に変化させる導波路である。光の伝搬定数を変化させることで、曲げ導波路１１を用いずとも、隣接する導波路との位相差を発生させることができる。これを用いて、ループミラー６Ｂの反射率の特性形状を凸形状とすることが可能である。

なお、伝搬定数変換導波路１２Ｃ、非結合導波路１４および伝搬定数変換導波路１２Ｄは、隣接する導波路との位相差を発生させることができればよい。このため、エネルギー損失は発生するが、ループミラー６Ｂには、非断熱で伝搬定数を変化させるマルチモード干渉（ＭＭＩ）型の導波路を用いてもよい。

[0038] 以上のように、実施の形態１に係るマルチモードレーザ１は、半導体増幅器２と、半導体基板３に形成された導波路により構成されたループミラー６と、半導体増幅器２との間に構成されるレーザ共振器７を備える。ループミラー６の反射率の特性形状が発振波長範囲において凸形状である。発振波長範囲以外の波長のレーザ光の発振が抑えられるので、マルチモードレーザ１は、発振波長範囲以外のレーザ発振を抑制して電力効率を高めることができる。

[0039] 実施の形態１に係るマルチモードレーザ１において、半導体増幅器２は、量子ドットの活性層を有する。半導体増幅器２に量子ドット半導体増幅器を採用することで、発振波長ごとのレーザ光に重畳されるノイズが低減される。

[0040] 実施の形態１に係るマルチモードレーザ１において、ループミラー６は、互いに隣り合った導波路である方向性結合器１０Ａと、方向性結合器１０Ａと同じ導波路幅を有した方向性結合器１０Ｂと、方向性結合器１０Ａと方向性結合器１０Ｂとの間に設けられ、一方の導波路が曲げ導波路１１である導波路対と、方向性結合器１０Ｂと光学的に結合されたループ導波路９と、を有する。このように導波路を構成することにより、所望の発振波長範囲において凸形状である反射率の特性形状を有したループミラー６を実現できる。

[0041] 実施の形態１に係るマルチモードレーザ１において、ループミラー６Ａまたは６Ｂは、方向性結合器１０Ａと、方向性結合器１０Ｂと、非結合導波路１３または１４と、方向性結合器１０Ａと非結合導波路１３または１４との間に設けられ、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１３または１４に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する伝搬定数変換導波路１２Ａまたは１２Ｃと、非結合導波路１３または１４と方向性結合器１０Ｂとの間に設けられ、非結合導波路１３または１４に光学的に結合された端部から方向性結合器１０Ｂに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する伝搬定数変換導波路１２Ｂまたは１２Ｄと、方向性結合器１０Ｂと光学的に結合されたループ導波路９と、を

有する。このように導波路幅を調整することにより、所望の発振波長範囲において凸形状である反射率の特性形状を有したループミラー６Ａまたは６Ｂを実現できる。

[0042] 実施の形態１に係るマルチモードレーザ１において、非結合導波路１３は、方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂよりも狭い導波路幅を有する。伝搬定数変換導波路１２Ａは、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１３に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少する。伝搬定数変換導波路１２Ｂは、非結合導波路１３に光学的に結合された端部から方向性結合器１０Ｂに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加する。このように導波路幅を調整することにより、所望の発振波長範囲において凸形状である反射率の特性形状を有したループミラー６Ａを実現できる。

また、非結合導波路１３が、方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂよりも広い導波路幅を有する場合であっても同様の効果が得られる。

なお、曲げ導波路１１では導波路を曲げたときに光が放射しやすく、損失を抑えるためには導波路の曲げ半径を大きくする必要があり、設計制約がある。これに対し、上記非結合導波路１３により伝搬定数を変化させることで、曲げ導波路を用いずに、隣接する導波路との位相差を発生させることができ、設計自由度が増える。

[0043] 実施の形態１に係るマルチモードレーザ１において、非結合導波路１４は、隣接した導波路の一方が方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂよりも広い導波路幅を有し、隣接した導波路の他方が方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂよりも狭い導波路幅を有する。伝搬定数変換導波路１２Ｃを構成する一方の導波路は、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１４に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加する。さらに、伝搬定数変換導波路１２Ｃを構成する他方の導波路は、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１４に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少する。伝搬定数

変換導波路１２Ｄを構成する一方の導波路は、非結合導波路１４に光学的に結合された端部から方向性結合器１０Ｂに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少する。さらに、伝搬定数変換導波路１２Ｄを構成する他方の導波路は、非結合導波路１４に光学的に結合された端部から方向性結合器１０Ｂに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加する。

このように導波路幅を調整することにより、所望の発振波長範囲において凸形状である反射率の特性形状を有したループミラー６Ｂを実現できる。

なお、図６に示したループミラー６Ｂは、図５に示したループミラー６Ａよりも紙面左右に記載した導波路の導波路幅の差が大きくなっている。これにより、ループミラー６Ｂは、ループミラー６Ａと比べて隣接する導波路間の伝搬定数差が大きくなるため、短い導波路長で所望の位相差を与えることができ、ループミラーをより小型化することが可能である。

[0044] 実施の形態２.

図７は、実施の形態２に係るマルチモードレーザ１Ａを示す斜視図である。マルチモードレーザ１Ａは、所望の発振波長範囲の波長λ_1～λ_Nのレーザ光を出射するレーザである。Ｎは２以上の整数である。図７に示すように、マルチモードレーザ１Ａは、半導体増幅器２と半導体基板３Ａを備える。半導体基板３Ａには、導波路４が形成されており、この導波路４によりリング共振フィルタ５、ループミラー６およびループミラー１５が構成される。マルチモードレーザ１Ａのレーザ共振器７Ａは、ループミラー６とループミラー１５との間に半導体増幅器２が配置されて構成されている。なお、半導体基板３Ａにおいて、半導体増幅器２とリング共振フィルタ５の位置を入れ替えてもよい。

[0045] 半導体増幅器２における前後の面は、実施の形態１とは異なってＨＲコートおよびＡＲコートが施されておらず、導波路４と光学的に結合されて、光が入出射される面である。半導体増幅器２に電流を流すことにより、半導体増幅器２に発生した自然放出光を種として増幅する。半導体増幅器２には、

例えば、量子ドット半導体増幅器が使用される。量子ドット半導体増幅器は、発振波長ごとのレーザ光に重畳されるノイズが少ない増幅器であるため、マルチモードレーザ１Ａに好適である。なお、マルチモードレーザ１Ａには、他の種類の半導体増幅器も使用可能である。例えば、半導体増幅器２として、量子井戸半導体増幅器を用いてもよい。

[0046] 半導体基板３Ａは、光を伝搬させる導波路が形成された基板である。半導体基板３Ａには、光の伝送路として機能する導波路４に加えて、導波路により構成されたリング共振フィルタ５、ループミラー６およびループミラー１５が一体に形成される。半導体基板３Ａは、例えばシリコン基板であり、シリコンフォトニクス技術を用いて、導波路４、リング共振フィルタ５、ループミラー６およびループミラー１５を、シリコン導波路により構成したものである。なお、半導体基板３Ａには、シリコンナイトライド（ＳｉＮ）基板を用いてもよい。また、導波路は、有機系の導波路であってもよい。

[0047] ループミラー６は、反射率の特性形状が、所望の発振波長範囲Ａにおいて凸形状である第１のループミラーである。ループミラー６は、リング共振フィルタ５と同様に、半導体基板３Ａ上に形成された導波路により構成される。ループミラー６は、図２に示したように、ＭＺ干渉計８およびループ導波路９を備えたサニャックループミラーである。

[0048] ループミラー１５は、所望の発振波長範囲Ａを含む広い波長帯域で概ね全反射（１００％に近い反射率）する第２のループミラーである。ループミラー１５は、ループミラー６と同様に、半導体基板３Ａにおける導波路により構成され、ループミラー６との間でレーザ共振器７Ａを構成する。

マルチモードレーザ１Ａにおいて、半導体増幅器２に電流を流して発生した自然放出光を種としてループミラー１５とループミラー６との間でファブリペロー共振が発生する。レーザ共振器７Ａにおけるリング共振フィルタ５により通過可能な波長の光が決定され、通過波長の光のみがレーザ発振する。

[0049] なお、マルチモードレーザ１は、半導体増幅器２と半導体基板３との間を

光学的に結合するために、半導体増幅器２と半導体基板３の相対位置を精度よく実装する必要がある。すなわち、マルチモードレーザ１は、レーザ発振に必要な位置ずれトレランスが厳しい。

[0050] これに対し、マルチモードレーザ１Ａは、例えば、ウエハ接合技術による接合の後に、半導体増幅器２などの化合物半導体部分を、プロセス加工で製造することが可能である。マルチモードレーザ１Ａは、導波路間の光学的な結合を用いることにより、光学的な損失が抑えられ、より高効率なレーザ発振を実現することができる。

[0051] これまで、所望の発振波長範囲Ａを含む広い波長帯域で全反射するループミラー１５を示したが、ループミラー１５は、所望の発振波長範囲Ａにおいて凸形状の反射率の特性形状を有するものであってもよい。

図８は、実施の形態２におけるループミラー１５の反射特性を示すグラフである。図８に示すように、ループミラー１５は、図２に示したループミラー６と同じ構造であってもよい。この場合、ループミラー１５は、図５に示したループミラー６Ａと同じ構造であってもよいし、図６に示したループミラー６Ｂと同じ構造であってもよい。

[0052] マルチモードレーザ１Ａにおいて、ループミラー６およびループミラー１５の反射率の特性形状を所望の発振波長範囲Ａにおいて凸形状とする。ループミラー６およびループミラー１５の反射特性を調整することにより、レーザ共振器７Ａにおいて、発振しにくいまたは発振させたくない波長の光の発振を抑えることができる。なお、ループミラー１５の端部から半導体基板３Ａの外部に出力される光は使用しない。

[0053] 図９は、実施の形態２におけるループミラー１５の変形例（１）であるループミラー１５Ａを示す平面図である。ループミラー１５Ａは、図９に示すように、ループ導波路９、方向性結合器１０Ｃ、方向性結合器１０Ｄおよび曲げ導波路１１Ａを備える。方向性結合器１０Ｃには、位相調整部１６Ａが設けられ、曲げ導波路１１Ａには、位相調整部１６Ｂが設けられ、方向性結合器１０Ｄには、位相調整部１６Ｃが設けられる。

[0054] ループ導波路９は、ループ状に形成された導波路であり、方向性結合器１０Ｄと光学的に結合されている。図９において破線で囲って示すように、方向性結合器１０Ｃは、互いに隣り合った同じ幅の導波路により構成される第１の方向性結合器である。方向性結合器１０Ｄは、方向性結合器１０Ｃと同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器であり、互いに隣り合った同じ幅の導波路により構成されている。また、方向性結合器１０Ｃと方向性結合器１０Ｄでは導波路の長さが互いに異なる。例えば、図９に示すように、方向性結合器１０Ｃよりも方向性結合器１０Ｄが長くなるように形成されている。方向性結合器１０Ｃと方向性結合器１０Ｄとの間に設けられた導波路対は、一方の導波路が曲げ導波路１１Ａである。

[0055] 位相調整部１６Ａは、方向性結合器１０Ｃを伝搬する光の位相を調整する。位相調整部１６Ｂは、曲げ導波路１１Ａを伝搬する光の位相を調整する。位相調整部１６Ｃは、方向性結合器１０Ｄを伝搬する光の位相を調整する。これにより、ループミラー１５Ａの反射率の特性形状を所望の発振波長範囲Ａにおいて凸形状にすることができる。

[0056] 位相調整部１６Ａ、１６Ｂおよび１６Ｃは、例えば、電流を流したときに熱で光の位相を変化させる抵抗素子である。また、位相調整部１６Ａ、１６Ｂおよび１６Ｃは、キャリアの密度を変えることで屈折率が変化し、これに伴い光の位相を変化させるダイオードであってもよい。なお、位相調整部は、方向性結合器１０Ｃ、方向性結合器１０Ｄ、および曲げ導波路１１Ａのいずれかに設ければよい。さらに、ループミラー６に対して位相調整部１６Ａ、１６Ｂおよび１６Ｃを設けてもよい。

[0057] 図１０は、実施の形態２におけるループミラー１５の変形例（２）であるループミラー１５Ｂを示す平面図である。ループミラー１５Ｂは、図１０に示すように、方向性結合器１０Ａ、方向性結合器１０Ｂ、伝搬定数変換導波路１２Ａ、非結合導波路１３Ａ、および伝搬定数変換導波路１２Ｂを有する。方向性結合器１０Ａを構成する一方の導波路には、位相調整部１６Ａが設けられ、非結合導波路１３Ａを構成する一方の導波路には、位相調整部１６

Ｂが設けられ、方向性結合器１０Ｄを構成する一方の導波路には、位相調整部１６Ｃが設けられる。

なお、図１０とは異なり、方向性結合器１０Ａを構成する他方の導波路に位相調整部１６Ａを設け、非結合導波路１３Ａを構成する他方の導波路に位相調整部１６Ｂを設け、方向性結合器１０Ｄを構成する他方の導波路に位相調整部１６Ｃを設けてもよい。

[0058] ループ導波路９は、ループ状に形成された導波路であり、方向性結合器１０Ｂと光学的に結合されている。図１０において破線で囲って示すように、方向性結合器１０Ａは、互いに隣り合った同じ幅の導波路により構成される第１の方向性結合器である。方向性結合器１０Ｂは、方向性結合器１０Ａと同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器であり、互いに隣り合った同じ幅の導波路により構成されている。また、方向性結合器１０Ａと方向性結合器１０Ｂでは、導波路の長さが互いに異なる。例えば、図１０に示すように、方向性結合器１０Ａよりも方向性結合器１０Ｂが長くなるように形成されている。ただし、方向性結合器１０Ａと方向性結合器１０Ｂとで導波路の長さが互いに同じであってもよい。

[0059] 位相調整部１６Ａは、方向性結合器１０Ａを伝搬する光の位相を調整する。位相調整部１６Ｂは、非結合導波路１３Ａを伝搬する光の位相を調整する。位相調整部１６Ｃは、方向性結合器１０Ｂを伝搬する光の位相を調整する。これにより、ループミラー１５Ｂの反射率の特性形状を所望の発振波長範囲Ａにおいて凸形状にすることができる。

[0060] 非結合導波路１３Ａは、少なくとも一方の導波路が方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂとは異なる導波路幅を有した導波路である。例えば、図１０に示すように、非結合導波路１３Ａは、方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂよりも狭い導波路幅を有する。非結合導波路１３Ａは、隣接した導波路の一方が狭い導波路幅となっており、導波路間の距離が光学的に結合しない、すなわちモードカップリングしない距離となっている。

[0061] 伝搬定数変換導波路１２Ａは、方向性結合器１０Ａと非結合導波路１３Ａ

との間に設けられ、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１３Ａに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第１の伝搬定数変換導波路である。

例えば、図１０に示すように、伝搬定数変換導波路１２Ａは、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１３Ａに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少するテーパ形状の導波路である。

[0062] 伝搬定数変換導波路１２Ｂは、非結合導波路１３Ａと方向性結合器１０Ｂとの間に設けられ、非結合導波路１３Ａに光学的に結合された端部から方向性結合器１０Ｂに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第２の伝搬定数変換導波路である。

例えば、図１０に示すように、伝搬定数変換導波路１２Ｂは、非結合導波路１３Ａに光学的に結合された端部から方向性結合器１０Ｂに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加するテーパ形状の導波路である。

[0063] なお、図１０における非結合導波路１３Ａは、紙面左側の導波路の幅を狭くした構成であるが、紙面右側の導波路の幅を狭くしてもよい。このように導波路の幅を調整することにより、非結合導波路１３Ａであっても、光の伝搬定数を変化させることができる。

また、図１０における非結合導波路１３Ａは、紙面左側または紙面右側のいずれかの導波路の幅を、方向性結合器１０Ａおよび１０Ｂよりも広くしてもよい。このように導波路の幅を調整しても、非結合導波路１３であっても、光の伝搬定数を変化させることができる。

[0064] 図１１は、実施の形態２におけるループミラー１５の変形例（３）であるループミラー１５Ｃを示す平面図である。ループミラー１５Ｃは、図１１に示すように、方向性結合器１０Ａ、方向性結合器１０Ｂ、伝搬定数変換導波路１２Ｃ、非結合導波路１４Ａ、および伝搬定数変換導波路１２Ｄを有する。方向性結合器１０Ａを構成する一方の導波路には、位相調整部１６Ａが設

けられ、非結合導波路１４Ａを構成する一方の導波路には、位相調整部１６Ｂが設けられ、方向性結合器１０Ｄを構成する一方の導波路には、位相調整部１６Ｃが設けられる。

なお、図１１とは異なり、方向性結合器１０Ａを構成する他方の導波路に位相調整部１６Ａを設け、非結合導波路１４Ａを構成する他方の導波路に位相調整部１６Ｂを設け、方向性結合器１０Ｄを構成する他方の導波路に位相調整部１６Ｃを設けてもよい。

[0065] ループ導波路９は、ループ状に形成された導波路であり、方向性結合器１０Ｂと光学的に結合されている。図１１において破線で囲って示すように、方向性結合器１０Ａは、互いに隣り合った同じ幅の導波路により構成される第１の方向性結合器である。方向性結合器１０Ｂは、方向性結合器１０Ａと同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器であり、互いに隣り合った同じ幅の導波路により構成されている。また、方向性結合器１０Ａと方向性結合器１０Ｂでは、導波路の長さが互いに異なる。例えば、図１１に示すように、方向性結合器１０Ａよりも方向性結合器１０Ｂが長くなるように形成されている。ただし、方向性結合器１０Ａと方向性結合器１０Ｂとで導波路の長さが互いに同じであってもよい。

[0066] 非結合導波路１４Ａは、少なくとも一方の導波路が方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂとは異なる導波路幅を有した導波路である。例えば、図１１に示すように、非結合導波路１４Ａは、方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂよりも広い導波路幅を有する。非結合導波路１４Ａは、隣接した導波路の一方が広い導波路幅となっており、もう一方が狭い導波路幅となっている。これにより、非結合導波路１４Ａにおける導波路間の距離が光学的に結合しない、すなわちモードカップリングしない距離となっている。

[0067] 伝搬定数変換導波路１２Ｃは、方向性結合器１０Ａと非結合導波路１４Ａとの間に設けられ、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１４Ａに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化

する第１の伝搬定数変換導波路である。

例えば、図１１に示すように、伝搬定数変換導波路１２Ｃを構成する一方の導波路は、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１４Ａに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加するテーパ形状の導波路である。さらに、伝搬定数変換導波路１２Ｃを構成する他方の導波路は、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１３に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少するテーパ形状の導波路である。

[0068] 伝搬定数変換導波路１２Ｄは、非結合導波路１４Ａと方向性結合器１０Ｂとの間に設けられ、非結合導波路１４Ａに光学的に結合された端部から方向性結合器１０Ｂに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第２の伝搬定数変換導波路である。

例えば、図１１に示すように、伝搬定数変換導波路１２Ｄを構成する一方の導波路は、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１４Ａに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少するテーパ形状の導波路である。さらに、伝搬定数変換導波路１２Ｄを構成する他方の導波路は、非結合導波路１４Ａに光学的に結合された端部から方向性結合器１０Ｂに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加するテーパ形状の導波路である。

[0069] 位相調整部１６Ａは、方向性結合器１０Ａを伝搬する光の位相を調整する。位相調整部１６Ｂは、非結合導波路１４Ａを伝搬する光の位相を調整する。位相調整部１６Ｃは、方向性結合器１０Ｂを伝搬する光の位相を調整する。これにより、ループミラー１５Ｃの反射率の特性形状を所望の発振波長範囲Ａにおいて凸形状にすることができる。

[0070] 以上のように、実施の形態２に係るマルチモードレーザ１Ａは、半導体増幅器２と、半導体基板３Ａに形成された導波路によって構成されたループミラー６とループミラー１５との間に半導体増幅器２が配置されて構成されるレーザ共振器７Ａを備える。ループミラー６の反射率の特性形状は発振波長

範囲において凸形状である。発振波長範囲以外の波長のレーザ光の発振が抑えられ、マルチモードレーザ１Ａは、発振波長範囲以外のレーザ発振を抑制することができる。

[0071] 実施の形態２に係るマルチモードレーザ１Ａにおいて、半導体増幅器２は、量子ドットの活性層を有する。半導体増幅器２に量子ドット半導体増幅器を採用することで、発振波長ごとのレーザ光に重畳されるノイズが低減される。

[0072] 実施の形態２に係るマルチモードレーザ１Ａにおいて、レーザ共振器７Ａは、ループミラー６を備える。これにより、反射率の特性形状が所望の発振波長範囲において凸形状であるループミラー６を有したレーザ共振器７Ａを提供することができる。

[0073] 実施の形態２に係るマルチモードレーザ１Ａにおいて、レーザ共振器７Ａは、ループミラー６Ａまたは６Ｂを備える。これにより、反射率の特性形状が所望の発振波長範囲において凸形状であるループミラー６または６Ｂを有したレーザ共振器７Ａを提供することができる。

[0074] 実施の形態２に係るマルチモードレーザ１Ａにおいて、ループミラー１５の反射率の特性形状が発振波長範囲において凸形状である。これにより、反射率の特性形状が所望の発振波長範囲において凸形状であるループミラー１５を有したレーザ共振器７Ａを提供することができる。

[0075] 実施の形態２に係るマルチモードレーザ１Ａにおいて、ループミラー１５は、互いに隣り合った導波路である方向性結合器１０Ａと、方向性結合器１０Ａと同じ導波路幅を有した方向性結合器１０Ｂと、方向性結合器１０Ａと方向性結合器１０Ｂとの間に設けられ、一方の導波路が曲げ導波路１１である導波路対と、方向性結合器１０Ｂと光学的に結合されたループ導波路９を有する。このように導波路を構成することにより、所望の発振波長範囲において凸形状である反射率の特性形状を有したループミラー１５を実現できる。

[0076] 実施の形態２に係るマルチモードレーザ１Ａにおいて、ループミラー１５

は、互いに隣り合った導波路である方向性結合器１０Ａと、方向性結合器１０Ａと同じ導波路幅を有した方向性結合器１０Ｂと、少なくとも一方の導波路が方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂとは異なる導波路幅を有した非結合導波路１３または１４と、方向性結合器１０Ａと非結合導波路１３または１４との間に設けられ、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１３または１４に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する伝搬定数変換導波路１２Ａまたは１２Ｃと、非結合導波路１３または１４と方向性結合器１０Ｂとの間に設けられ、非結合導波路１３または１４に光学的に結合された端部から方向性結合器１０Ｂに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する伝搬定数変換導波路１２Ｂまたは１２Ｄと、方向性結合器１０Ｂと光学的に結合されたループ導波路９と、を有する。このように導波路幅を調整することにより、所望の発振波長範囲において凸形状である反射率の特性形状を有したループミラー１５を実現できる。

[0077] 実施の形態２に係るマルチモードレーザ１Ａにおいて、非結合導波路１３は、一方の導波路が方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂよりも狭い導波路幅を有する。伝搬定数変換導波路１２Ａは、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１３に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少する。伝搬定数変換導波路１２Ｂは、非結合導波路１３に光学的に結合された端部から方向性結合器１０Ｂに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加する。このように導波路幅を調整することにより、所望の発振波長範囲において凸形状である反射率の特性形状を有したループミラー１５を実現できる。

また、非結合導波路１３が、方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂよりも広い導波路幅を有する場合であっても同様の効果が得られる。

なお、曲げ導波路１１では導波路を曲げたときに光が放射しやすく、損失を抑えるためには導波路の曲げ半径を大きくする必要があり、設計制約がある。これに対し、上記非結合導波路１３により伝搬定数を変化させることで

、曲げ導波路を用いずに、隣接する導波路との位相差を発生させることができ、設計自由度が増える。

[0078] 実施の形態２に係るマルチモードレーザ１Ａにおいて、非結合導波路１４は、隣接した導波路の一方が方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂよりも広い導波路幅を有し、隣接した導波路の他方が方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂよりも狭い導波路幅を有する。伝搬定数変換導波路１２Ｃを構成する一方の導波路は、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１４に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加する。さらに、伝搬定数変換導波路１２Ｃを構成する他方の導波路は、方向性結合器１０Ａに光学的に結合された端部から非結合導波路１４に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少する。伝搬定数変換導波路１２Ｄを構成する一方の導波路は、非結合導波路１４に光学的に結合された端部から方向性結合器１０Ｂに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少する。さらに、伝搬定数変換導波路１２Ｄを構成する他方の導波路は、非結合導波路１４に光学的に結合された端部から方向性結合器１０Ｂに光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加する。

このように導波路幅を調整することにより、所望の発振波長範囲において凸形状である反射率の特性形状を有したループミラー１５を実現できる。

なお、図６に示したループミラー６Ｂと同一の構成としたループミラー１５は、図５に示したループミラー６Ａと同一の構成としたものよりも紙面左右に記載した導波路の導波路幅の差が大きくなっている。これにより、ループミラー６Ｂ同一の構成としたループミラー１５は、ループミラー６Ａと同一の構成としたものに比べて隣接する導波路間の伝搬定数差が大きくなるため、短い導波路長で所望の位相差を与えることができ、ループミラーをより小型化することが可能である。

[0079] 実施の形態２に係るマルチモードレーザ１Ａにおいて、ループミラー１５Ａは、曲げ導波路１１Ａ、曲げ導波路１１Ａと光学的に結合された方向性結

合器１０Ｃおよび曲げ導波路１１Ａと光学的に結合された方向性結合器１０Ｄの各々に設けられ、導波路を伝搬する光の位相を調整する位相調整部１６Ａ、１６Ｂおよび１６Ｃを備える。位相調整部１６Ａが方向性結合器１０Ｃを伝搬する光の位相を調整し、位相調整部１６Ｂが曲げ導波路１１Ａを伝搬する光の位相を調整し、位相調整部１６Ｃが方向性結合器１０Ｄを伝搬する光の位相を調整する。これにより、ループミラー１５Ａの反射率の特性形状を所望の発振波長範囲Ａにおいて凸形状にすることができる。

[0080] 実施の形態２に係るマルチモードレーザ１Ａにおいて、ループミラー１５Ｂまたは１５Ｃは、非結合導波路１３Ａまたは１４Ａ、方向性結合器１０Ａおよび方向性結合器１０Ｂの各々に設けられ、導波路を伝搬する光の位相を調整する位相調整部１６Ａ～１６Ｃを備える。これにより、ループミラー１５Ｂまたは１５Ｃの反射率の特性形状を所望の発振波長範囲Ａにおいて凸形状にすることができる。

[0081] なお、各実施の形態の組み合わせまたは実施の形態のそれぞれの任意の構成要素の変形もしくは実施の形態のそれぞれにおいて任意の構成要素の省略が可能である。

[0082] 以下、本開示の諸態様を付記としてまとめて記載する。

（付記１）

半導体増幅器と、

基板に形成された導波路により構成されたループミラーと、前記半導体増幅器との間に構成されるレーザ共振器と、を備え、

前記ループミラーの反射率の特性形状が発振波長範囲において凸形状である

ことを特徴とするマルチモードレーザ。

（付記２）

前記半導体増幅器は、量子ドットの活性層を有する

ことを特徴とする付記１に記載のマルチモードレーザ。

（付記３）

前記ループミラーは、

互いに隣り合った導波路である第１の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と前記第２の方向性結合器との間に設けられ、一方の導波路が曲げ導波路である導波路対と、

前記第２の方向性結合器と光学的に結合されたループ導波路と、を有することを特徴とする付記１または付記２に記載のマルチモードレーザ。

（付記４）

前記ループミラーは、

互いに隣り合った導波路である第１の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器と、

少なくとも一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器とは異なる導波路幅を有した非結合導波路と、

前記第１の方向性結合器と前記非結合導波路との間に設けられ、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第１の伝搬定数変換導波路と、

前記非結合導波路と前記第２の方向性結合器との間に設けられ、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第２の伝搬定数変換導波路と、

前記第２の方向性結合器と光学的に結合されたループ導波路と、を有することを特徴とする付記１または付記２に記載のマルチモードレーザ。

（付記５）

前記非結合導波路は、一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器よりも狭い導波路幅を有し、

前記第１の伝搬定数変換導波路は、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導

波路幅が徐々に減少し、

前記第２の伝搬定数変換導波路は、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加する

ことを特徴とする付記４に記載のマルチモードレーザ。

（付記６）

前記非結合導波路は、一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器よりも広い導波路幅を有し、

前記第１の伝搬定数変換導波路は、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加し、

前記第２の伝搬定数変換導波路は、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少する

ことを特徴とする付記４または付記５に記載のマルチモードレーザ。

（付記７）

半導体増幅器と、

基板に形成された導波路により構成された第１のループミラーと第２のループミラーとの間に前記半導体増幅器が配置されて構成されるレーザ共振器と、を備え、

前記第１のループミラーの反射率の特性形状が発振波長範囲において凸形状である

ことを特徴とするマルチモードレーザ。

（付記８）

前記半導体増幅器は、量子ドットの活性層を有する

ことを特徴とする付記７に記載のマルチモードレーザ。

（付記９）

前記第１のループミラーは、

互いに隣り合った導波路である第１の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と前記第２の方向性結合器との間に設けられ、一方の導波路が曲げ導波路である導波路対と、

前記第２の方向性結合器と光学的に結合されたループ導波路と、を有することを特徴とする付記７または付記８に記載のマルチモードレーザ。

（付記１０）

前記第１のループミラーは、

互いに隣り合った導波路である第１の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器と、

少なくとも一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器とは異なる導波路幅を有した非結合導波路と、

前記第１の方向性結合器と前記非結合導波路との間に設けられ、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第１の伝搬定数変換導波路と、

前記非結合導波路と前記第２の方向性結合器との間に設けられ、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第２の伝搬定数変換導波路と、

前記第２の方向性結合器と光学的に結合されたループ導波路と、を有することを特徴とする付記７または付記８に記載のマルチモードレーザ。

（付記１１）

前記非結合導波路は、一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器よりも狭い導波路幅を有し、

前記第１の伝搬定数変換導波路は、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少し、

前記第２の伝搬定数変換導波路は、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加する

ことを特徴とする付記１０に記載のマルチモードレーザ。

（付記１２）

前記非結合導波路は、一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器よりも広い導波路幅を有し、

前記第１の伝搬定数変換導波路は、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加し、

前記第２の伝搬定数変換導波路は、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少する

ことを特徴とする付記１０または付記１１に記載のマルチモードレーザ。

（付記１３）

前記第２のループミラーの反射率の特性形状が発振波長範囲において凸形状である

ことを特徴とする付記７から付記１２のいずれか一つに記載のマルチモードレーザ。

（付記１４）

前記第２のループミラーは、

互いに隣り合った導波路である第１の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と前記第２の方向性結合器との間に設けられ、一方の導波路が曲げ導波路である導波路対と、

前記第２の方向性結合器と光学的に結合されたループ導波路と、を有する

ことを特徴とする付記１３に記載のマルチモードレーザ。

（付記１５）

前記第２のループミラーは、

互いに隣り合った導波路である第１の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器と、

少なくとも一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器とは異なる導波路幅を有した非結合導波路と、

前記第１の方向性結合器と前記非結合導波路との間に設けられ、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第１の伝搬定数変換導波路と、

前記非結合導波路と前記第２の方向性結合器との間に設けられ、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第２の伝搬定数変換導波路と、

前記第２の方向性結合器と光学的に結合されたループ導波路と、を有する

ことを特徴とする付記１３に記載のマルチモードレーザ。

（付記１６）

前記非結合導波路は、一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器よりも狭い導波路幅を有し、

前記第１の伝搬定数変換導波路は、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少し、

前記第２の伝搬定数変換導波路は、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加する

ことを特徴とする付記１５に記載のマルチモードレーザ。

（付記１７）

前記非結合導波路は、一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器よりも広い導波路幅を有し、

前記第１の伝搬定数変換導波路は、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加し、

前記第２の伝搬定数変換導波路は、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少する

ことを特徴とする付記１５または付記１６に記載のマルチモードレーザ。

（付記１８）

前記曲げ導波路、当該曲げ導波路と光学的に結合された前記第１の方向性結合器および前記曲げ導波路と光学的に結合された前記第２の方向性結合器の各々に設けられ、導波路を伝搬する光の位相を調整する位相調整部を備えた

ことを特徴とする付記９または付記１４に記載のマルチモードレーザ。

（付記１９）

前記非結合導波路、前記第１の方向性結合器、および前記第２の方向性結合器の各々に設けられ、導波路を伝搬する光の位相を調整する位相調整部を備えた

ことを特徴とする付記１０から付記１２または付記１５から付記１７のいずれか一つに記載のマルチモードレーザ。

産業上の利用可能性

[0083] 本開示に係るマルチモードレーザは、例えば、光通信における高出力光源に利用可能である。

符号の説明

[0084] １，１Ａ　マルチモードレーザ、２　半導体増幅器、２Ａ　後方面、２Ｂ　出射面、３，３Ａ　半導体基板、４　導波路、５　リング共振フィルタ、６，６Ａ，６Ｂ，１５，１５Ａ，１５Ｂ，１５Ｃ　ループミラー、７，７Ａ　レーザ共振器、８　ＭＺ干渉計、９　ループ導波路、１０Ａ，１０Ｂ，１０Ｃ，１０Ｄ　方向性結合器、１１，１１Ａ　曲げ導波路、１２Ａ，１２Ｂ

，１２Ｃ，１２Ｄ　伝搬定数変換導波路、１３，１４　非結合導波路、１６Ａ，１６Ｂ，１６Ｃ　位相調整部。

請求の範囲

[請求項1] 半導体増幅器と、

基板に形成された導波路により構成されたループミラーと、前記半導体増幅器との間に構成されるレーザ共振器と、を備え、

前記ループミラーの反射率の特性形状が発振波長範囲において凸形状である

ことを特徴とするマルチモードレーザ。

[請求項2] 前記半導体増幅器は、量子ドットの活性層を有する

ことを特徴とする請求項１に記載のマルチモードレーザ。

[請求項3] 前記ループミラーは、

互いに隣り合った導波路である第１の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と前記第２の方向性結合器との間に設けられ、一方の導波路が曲げ導波路である導波路対と、

前記第２の方向性結合器と光学的に結合されたループ導波路と、を有する

ことを特徴とする請求項１に記載のマルチモードレーザ。

[請求項4] 前記ループミラーは、

互いに隣り合った導波路である第１の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器と、

少なくとも一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器とは異なる導波路幅を有した非結合導波路と、

前記第１の方向性結合器と前記非結合導波路との間に設けられ、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第１の伝搬定数変換導波路と、

前記非結合導波路と前記第２の方向性結合器との間に設けられ、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第２の伝搬定数変換導波路と、

前記第２の方向性結合器と光学的に結合されたループ導波路と、を有する

ことを特徴とする請求項１に記載のマルチモードレーザ。

[請求項5] 前記非結合導波路は、一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器よりも狭い導波路幅を有し、

前記第１の伝搬定数変換導波路は、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少し、

前記第２の伝搬定数変換導波路は、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加する

ことを特徴とする請求項４に記載のマルチモードレーザ。

[請求項6] 前記非結合導波路は、一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器よりも広い導波路幅を有し、

前記第１の伝搬定数変換導波路は、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加し、

前記第２の伝搬定数変換導波路は、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少する

ことを特徴とする請求項４または請求項５に記載のマルチモードレーザ。

[請求項7] 半導体増幅器と、

基板に形成された導波路により構成された第１のループミラーと第

２のループミラーとの間に前記半導体増幅器が配置されて構成されるレーザ共振器と、を備え、

前記第１のループミラーの反射率の特性形状が発振波長範囲において凸形状である

ことを特徴とするマルチモードレーザ。

[請求項8] 前記半導体増幅器は、量子ドットの活性層を有する

ことを特徴とする請求項７に記載のマルチモードレーザ。

[請求項9] 前記第１のループミラーは、

互いに隣り合った導波路である第１の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と前記第２の方向性結合器との間に設けられ、一方の導波路が曲げ導波路である導波路対と、

前記第２の方向性結合器と光学的に結合されたループ導波路と、を有する

ことを特徴とする請求項７に記載のマルチモードレーザ。

[請求項10] 前記第１のループミラーは、

互いに隣り合った導波路である第１の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器と、

少なくとも一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器とは異なる導波路幅を有した非結合導波路と、

前記第１の方向性結合器と前記非結合導波路との間に設けられ、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第１の伝搬定数変換導波路と、

前記非結合導波路と前記第２の方向性結合器との間に設けられ、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合

器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第２の伝搬定数変換導波路と、

前記第２の方向性結合器と光学的に結合されたループ導波路と、を有する

ことを特徴とする請求項７に記載のマルチモードレーザ。

[請求項11] 前記非結合導波路は、一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器よりも狭い導波路幅を有し、

前記第１の伝搬定数変換導波路は、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少し、

前記第２の伝搬定数変換導波路は、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加する

ことを特徴とする請求項１０に記載のマルチモードレーザ。

[請求項12] 前記非結合導波路は、一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器よりも広い導波路幅を有し、

前記第１の伝搬定数変換導波路は、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加し、

前記第２の伝搬定数変換導波路は、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少する

ことを特徴とする請求項１０または請求項１１に記載のマルチモードレーザ。

[請求項13] 前記第２のループミラーの反射率の特性形状が発振波長範囲において凸形状である

ことを特徴とする請求項７に記載のマルチモードレーザ。

[請求項14] 前記第２のループミラーは、

互いに隣り合った導波路である第１の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と前記第２の方向性結合器との間に設けられ、一方の導波路が曲げ導波路である導波路対と、

前記第２の方向性結合器と光学的に結合されたループ導波路と、を有する

ことを特徴とする請求項１３に記載のマルチモードレーザ。

[請求項15] 前記第２のループミラーは、

互いに隣り合った導波路である第１の方向性結合器と、

前記第１の方向性結合器と同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器と、

少なくとも一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器とは異なる導波路幅を有した非結合導波路と、

前記第１の方向性結合器と前記非結合導波路との間に設けられ、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第１の伝搬定数変換導波路と、

前記非結合導波路と前記第２の方向性結合器との間に設けられ、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に変化する第２の伝搬定数変換導波路と、

前記第２の方向性結合器と光学的に結合されたループ導波路と、を有する

ことを特徴とする請求項１３に記載のマルチモードレーザ。

[請求項16] 前記非結合導波路は、一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器よりも狭い導波路幅を有し、

前記第１の伝搬定数変換導波路は、前記第１の方向性結合器に光学

的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少し、

前記第２の伝搬定数変換導波路は、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加する

ことを特徴とする請求項１５に記載のマルチモードレーザ。

[請求項17] 前記非結合導波路は、一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器よりも広い導波路幅を有し、

前記第１の伝搬定数変換導波路は、前記第１の方向性結合器に光学的に結合された端部から前記非結合導波路に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に増加し、

前記第２の伝搬定数変換導波路は、前記非結合導波路に光学的に結合された端部から前記第２の方向性結合器に光学的に結合された端部に至るまで導波路幅が徐々に減少する

ことを特徴とする請求項１５または請求項１６に記載のマルチモードレーザ。

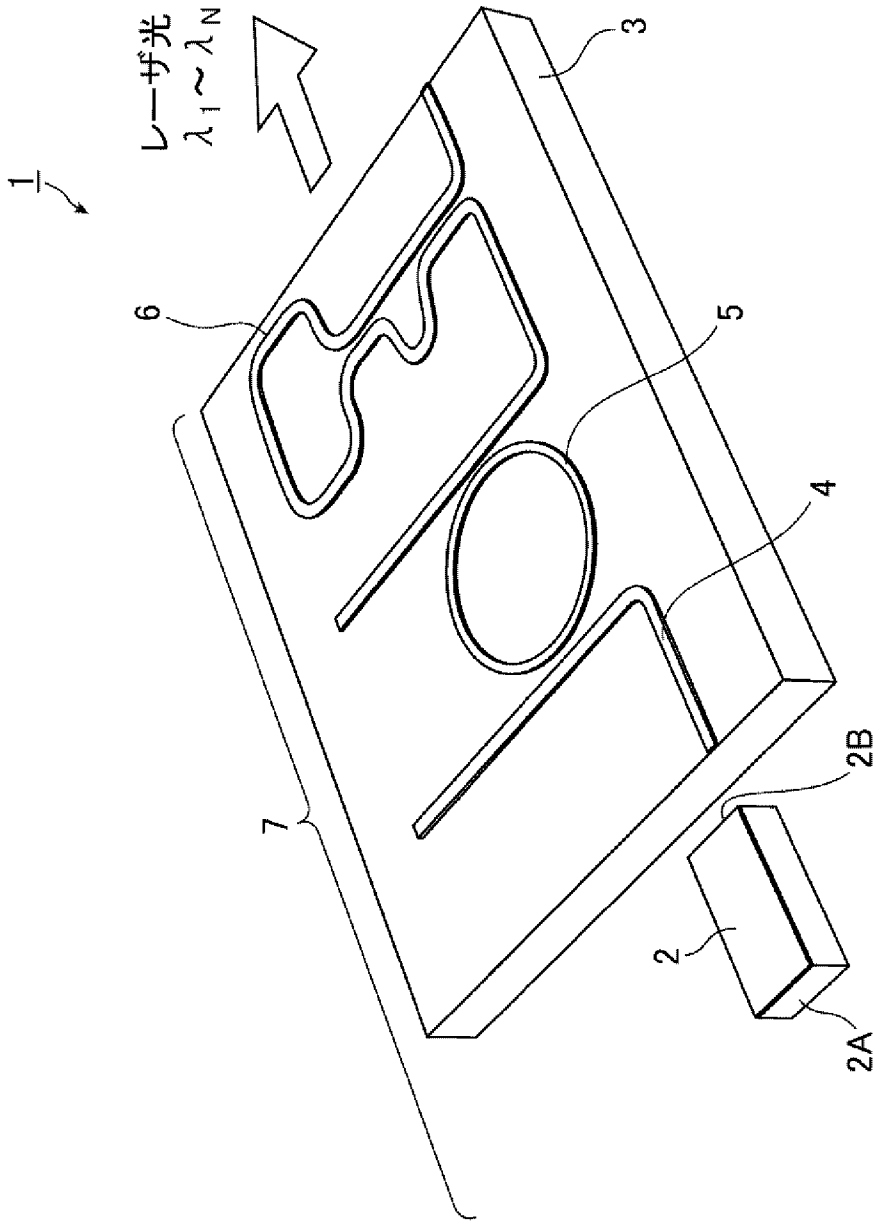
[請求項18] 前記曲げ導波路、当該曲げ導波路と光学的に結合された前記第１の方向性結合器および前記曲げ導波路と光学的に結合された前記第２の方向性結合器の各々に設けられ、導波路を伝搬する光の位相を調整する位相調整部を備えた

ことを特徴とする請求項９または請求項１４に記載のマルチモードレーザ。

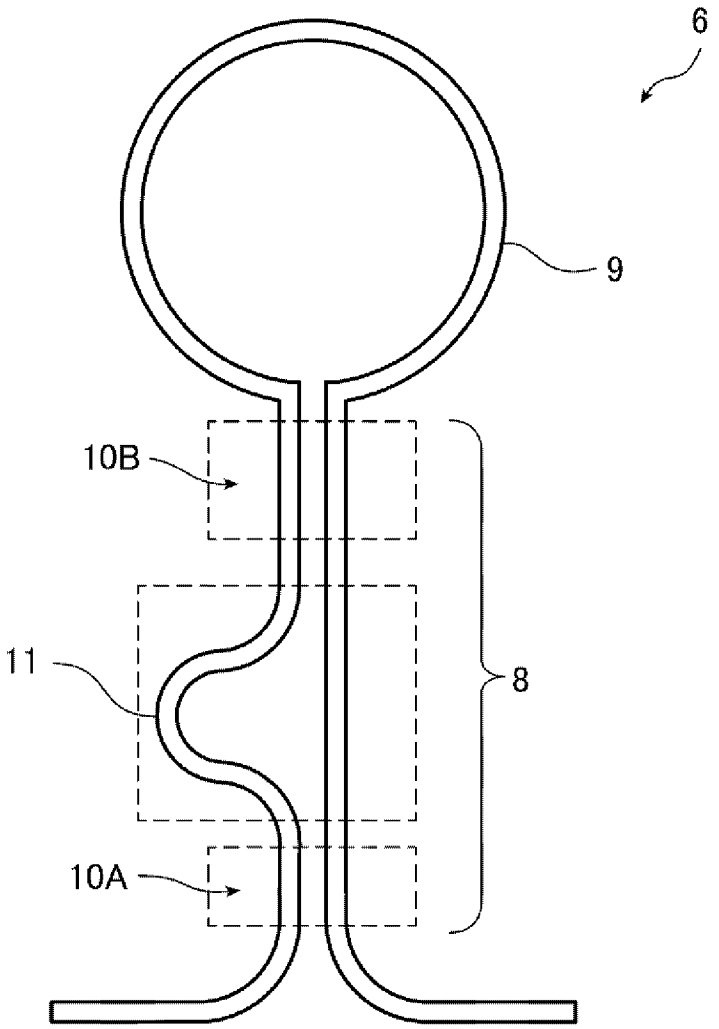
[請求項19] 前記非結合導波路、前記第１の方向性結合器、および前記第２の方向性結合器の各々に設けられ、導波路を伝搬する光の位相を調整する位相調整部を備えた

ことを特徴とする請求項１０から請求項１２または請求項１５から請求項１７のいずれか１項に記載のマルチモードレーザ。

[図1]



[図2]



[図3]

図3A

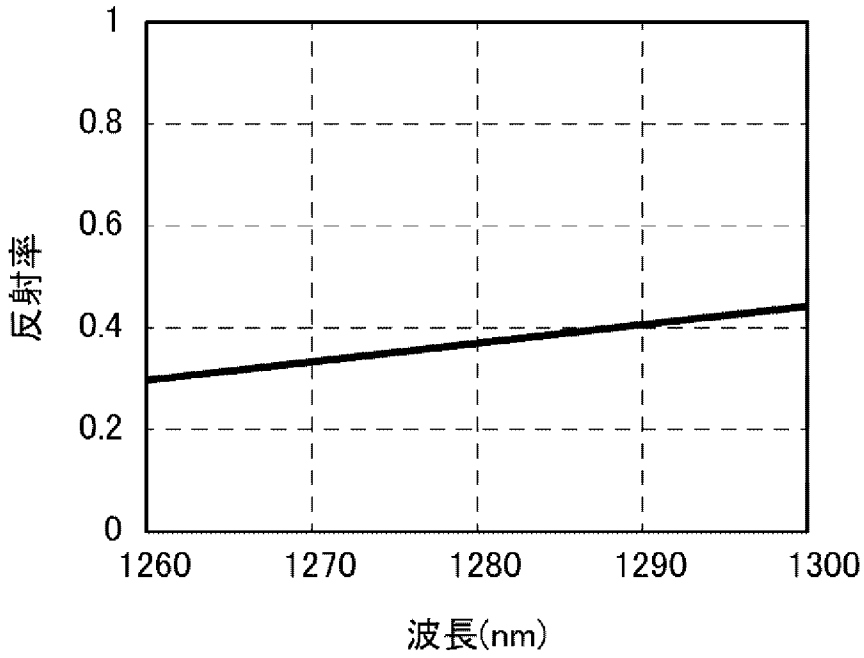
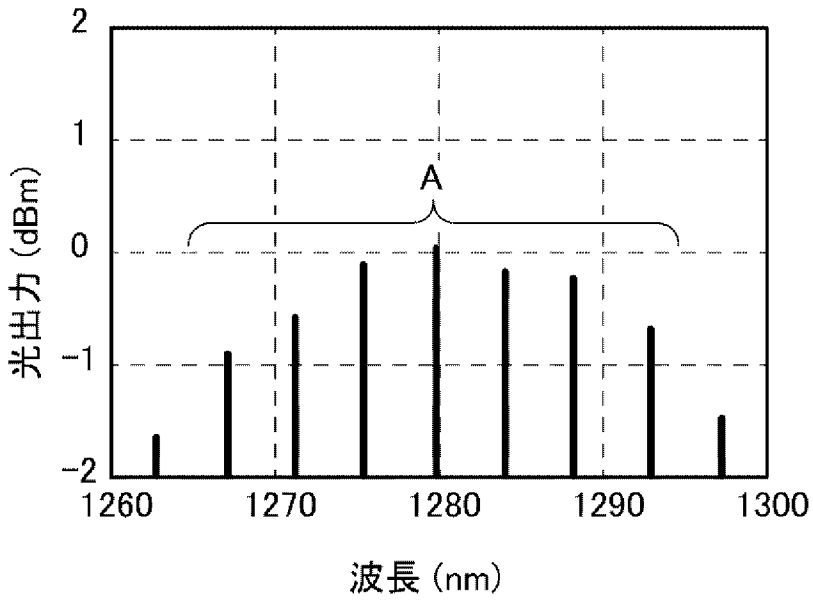

1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
反射率
1260
1270
1280
1290
1300
波長(nm)

図3B


2
1
0
−1
−2
光出力 (dBm)
A
1260
1270
1280
1290
1300
波長 (nm)

[図4]

図4A

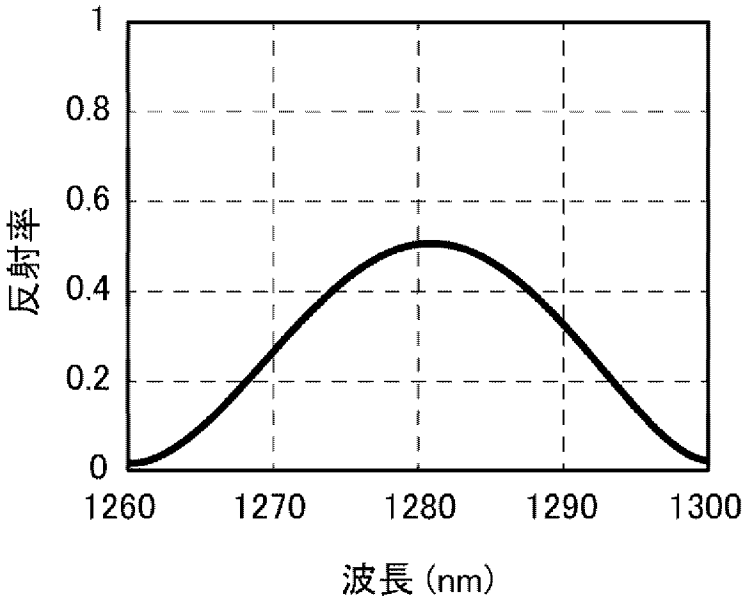
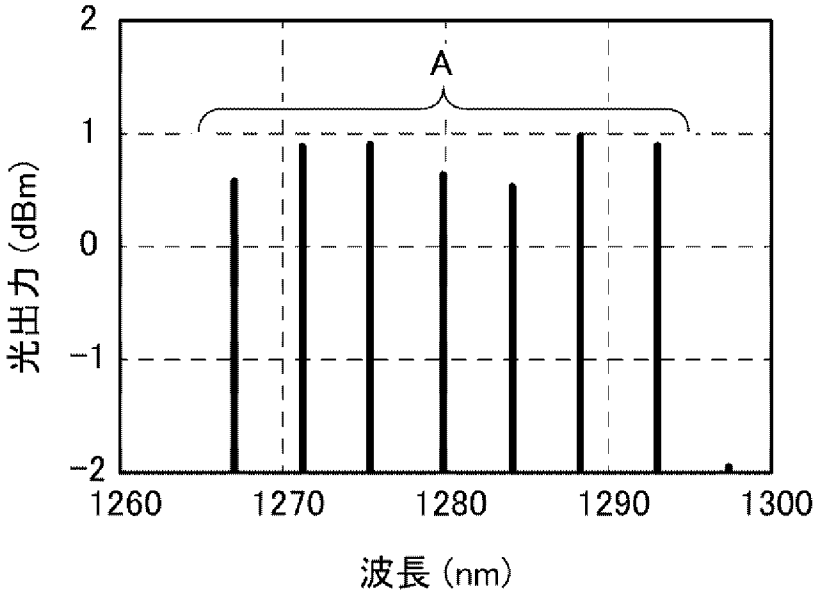
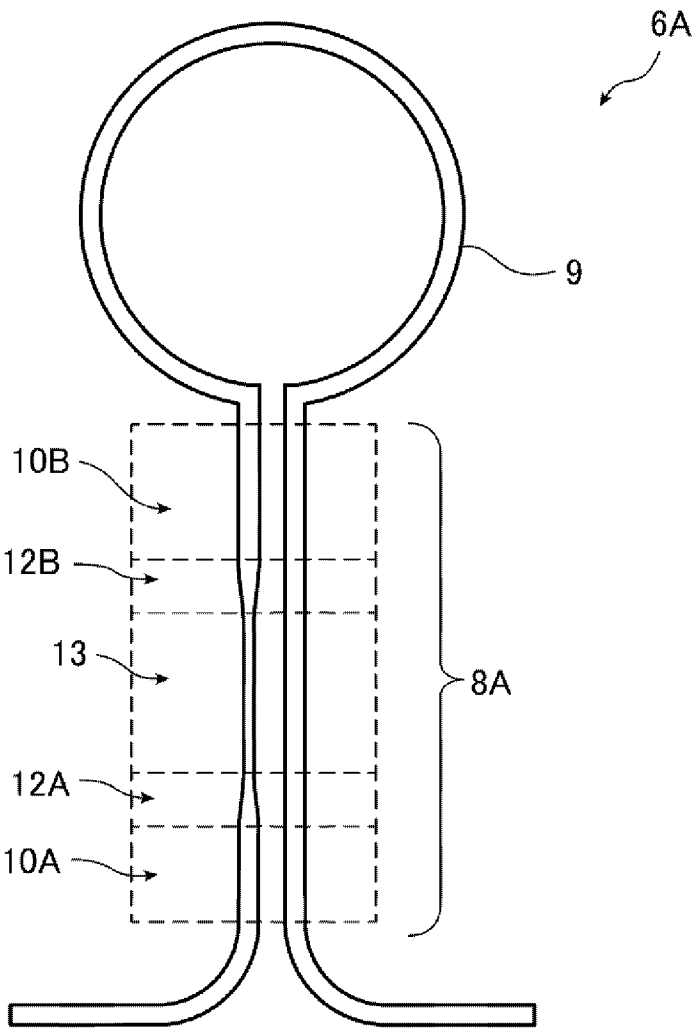

1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
反射率
1260
1270
1280
1290
1300
波長 (nm)

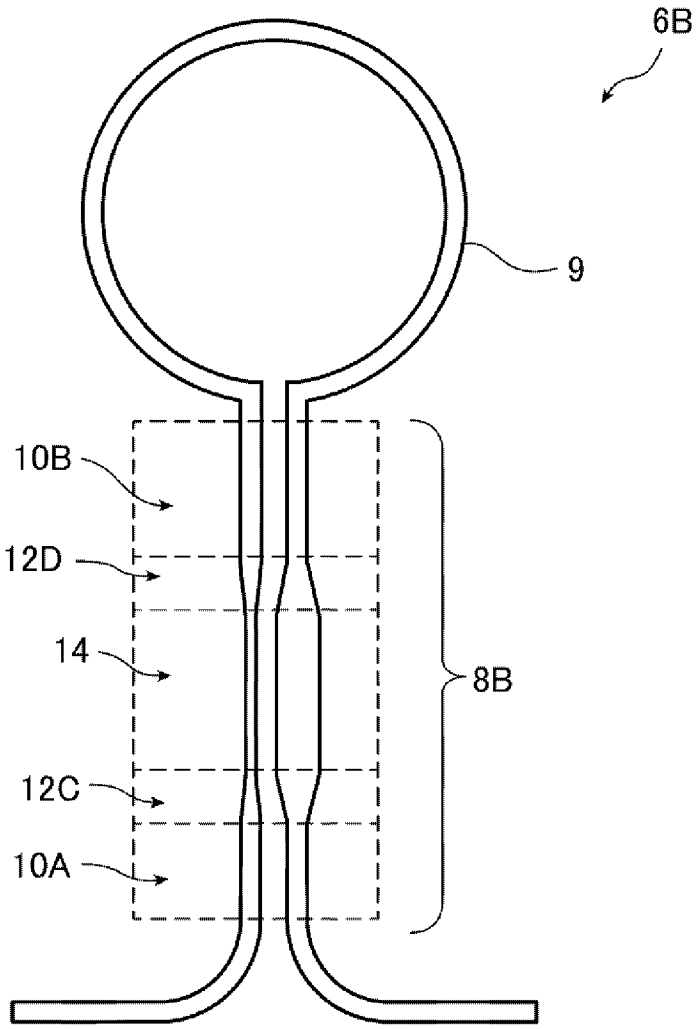
図4B


2
1
0
−1
−2
光出力 (dBm)
A
1260
1270
1280
1290
1300
波長 (nm)

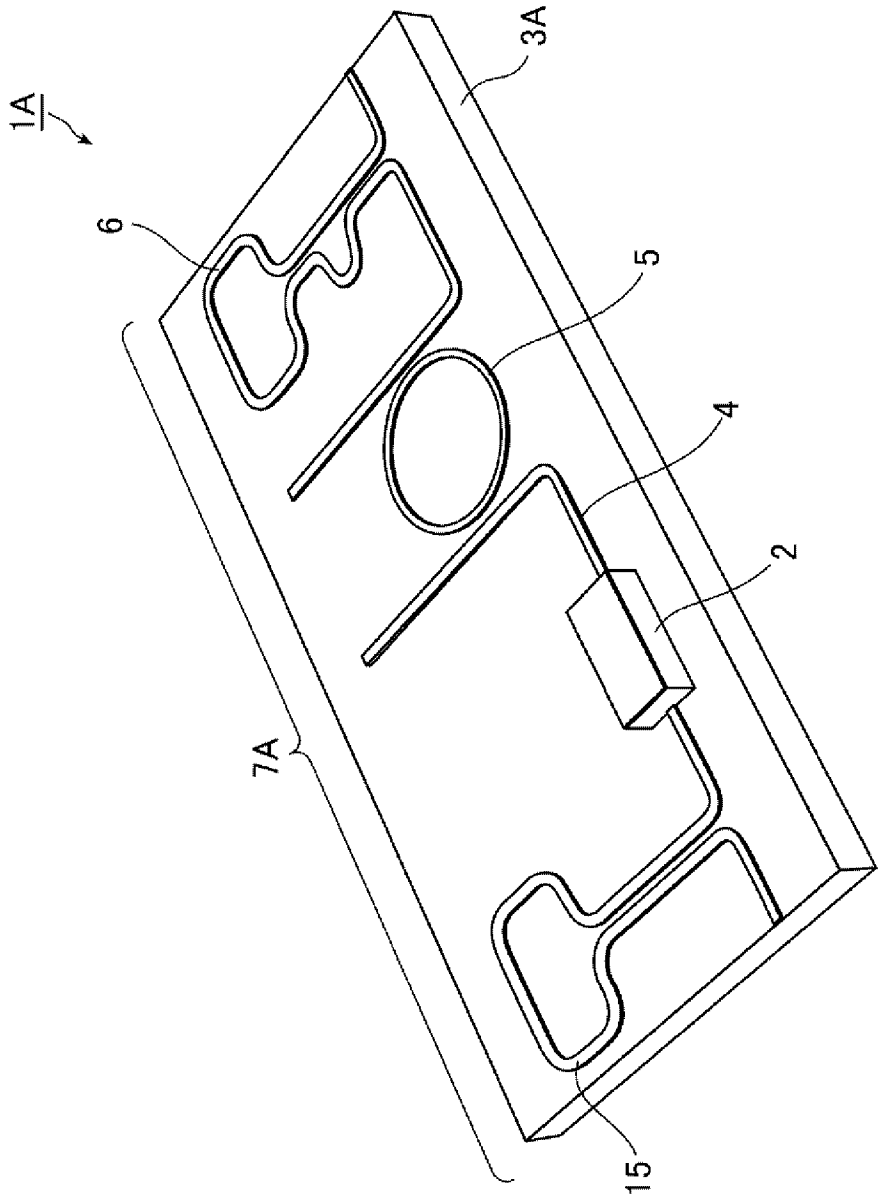
[図5]



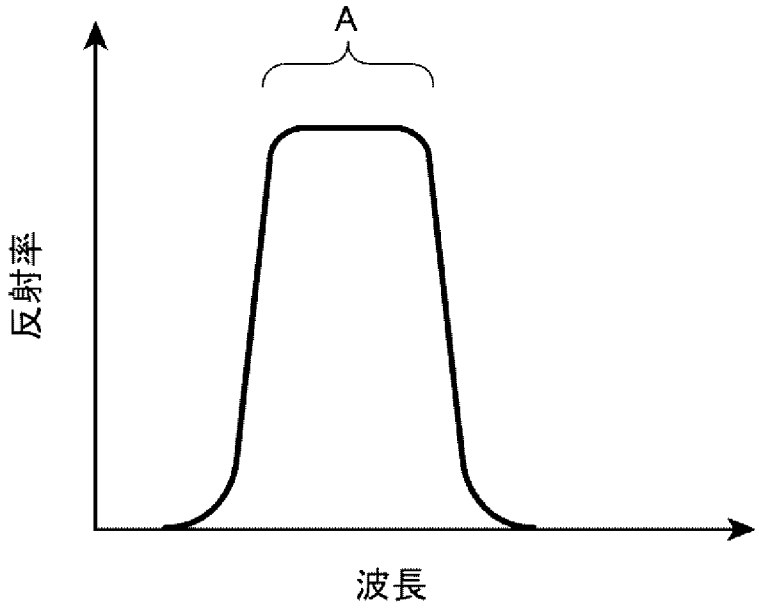
[図6]



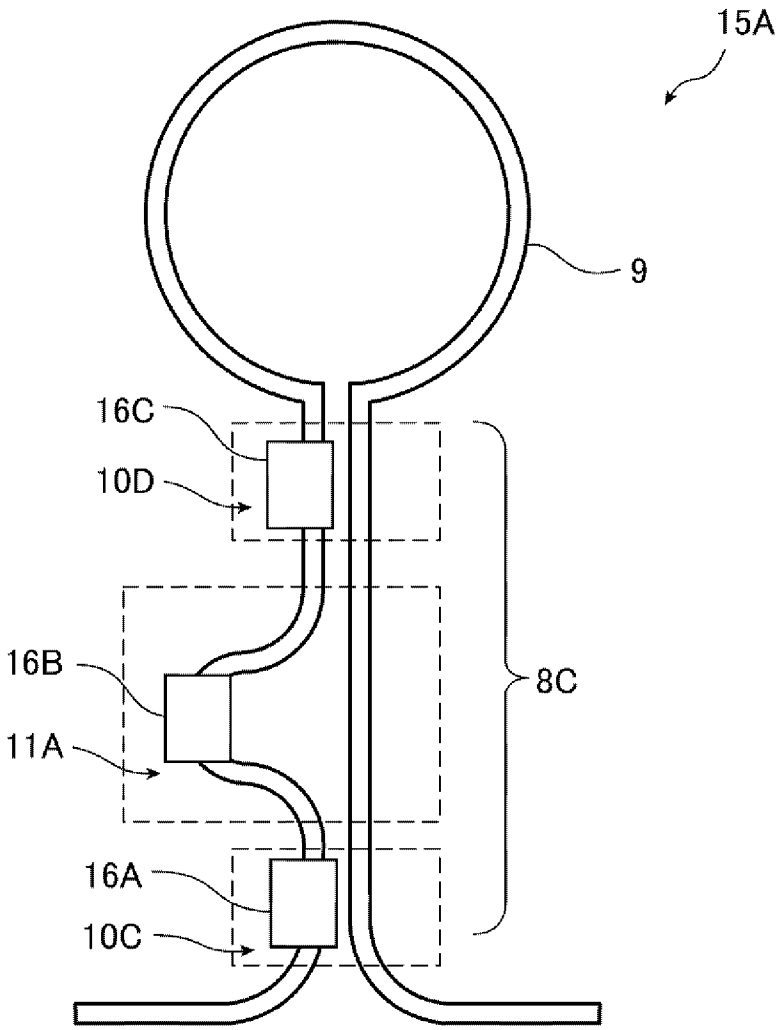
[図7]



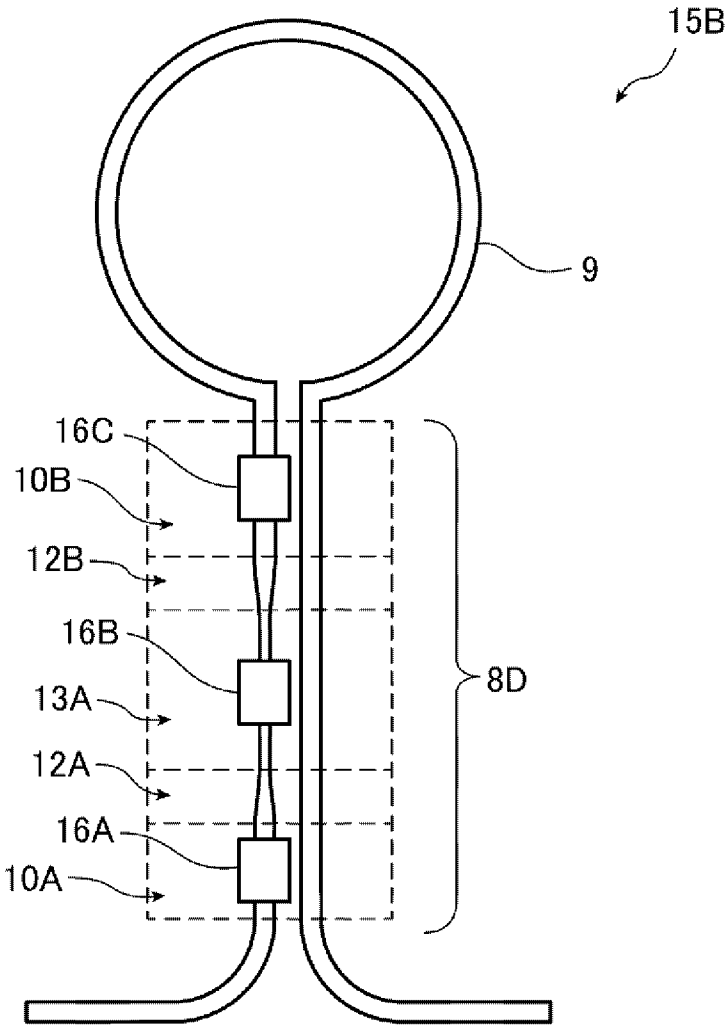
[図8]



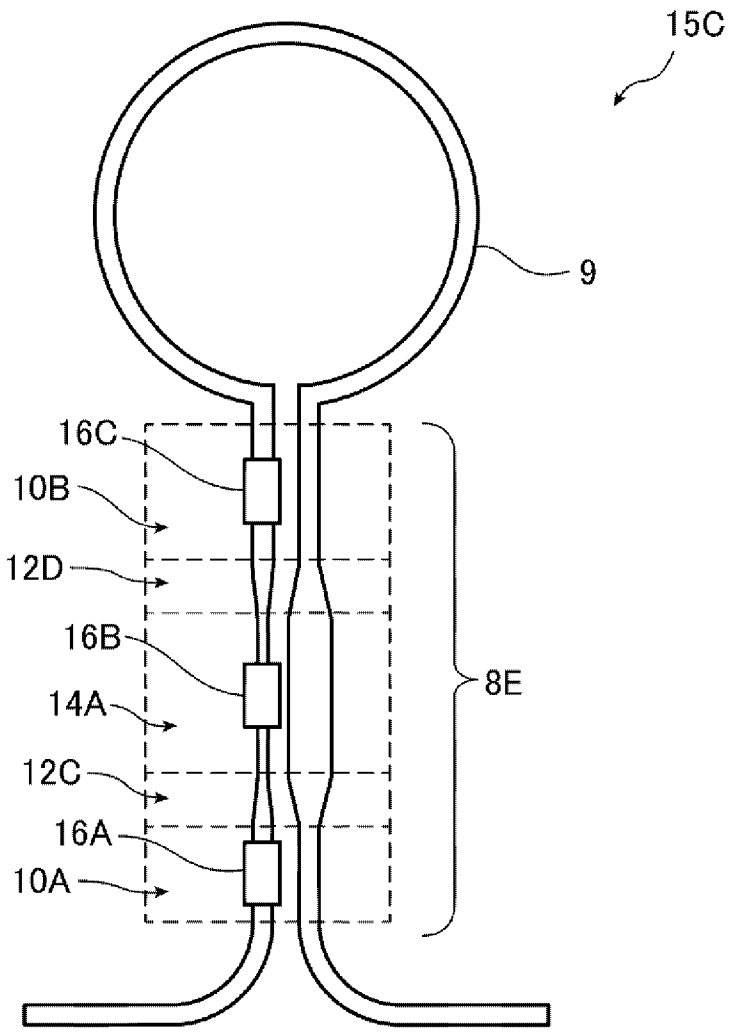
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/026538

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S 5/14(2006.01)i; ***G02B 6/122***(2006.01)i; ***G02B 6/125***(2006.01)i
FI: H01S5/14; G02B6/122 311; G02B6/125

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S5/14; G02B6/122; G02B6/125

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022
Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

Science Direct; IEEE Xplore; Wiley Online Library

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2017-98362 A (FUJITSU LTD.) 01 June 2017 (2017-06-01) paragraphs [0014]-[0066], fig. 1, 4	1-2
Y	御手洗拓矢 ほか, Si光回路におけるループミラーの波長依存性低減の検討, 第79回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿集, 05 September 2018, 18a-212A-4, 03-329, (MITARAI, Takuya et al. Study of wavelength dependence reduction of loop mirror in Si photonics circuits. The Japan Society of Applied Physics extended abstracts of the 79th meeting.) 2. 設計およびシミュレーション, fig. 1-2, non-official translation (Design and simulation)	1-2
A	JP 2021-135367 A (FUJITSU OPTICAL COMPONENTS LTD.) 13 September 2021 (2021-09-13) entire text, all drawings	1-19
A	JP 2007-206127 A (NEC CORP.) 16 August 2007 (2007-08-16) entire text, all drawings	1-19

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
12 August 2022	**30 August 2022**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2016/0170286 A1 (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES) 16 June 2016 (2016-06-16) entire text, all drawings	1-19
A	CN 113644543 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 12 November 2021 (2021-11-12) entire text, all drawings	1-19
A	UMMY, M. A. et al. Tunable multi-wavelength SOA based linear cavity dual-output port fiber laser using Lyot-Sagnac loop mirror. Optics Express. 03 February 2011, vol. 19, no. 4, pages 3202-3211 entire text, all drawings	1-19

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2022/026538

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2017-98362 A	01 June 2017	(Family: none)	
JP 2021-135367 A	13 September 2021	US 2021/0263220 A1 entire text, all drawings	
JP 2007-206127 A	16 August 2007	(Family: none)	
US 2016/0170286 A1	16 June 2016	EP 3032303 A1	
CN 113644543 A	12 November 2021	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2022/026538

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

H01S 5/14(2006.01)i; G02B 6/122(2006.01)i; G02B 6/125(2006.01)i
FI: H01S5/14; G02B6/122 311; G02B6/125

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

H01S5/14; G02B6/122; G02B6/125

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２２年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Science Direct; IEEE Xplore; Wiley Online Library

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	JP 2017-98362 A (富士通株式会社) 01.06.2017 (2017-06-01) [0014]-[0066], 図1, 4	1-2
Y	御手洗 拓矢 ほか, Ｓｉ光回路におけるループミラーの波長依存性低減の検討, 第79回応用物理学会秋季学術講演会 講演予稿集, 2018.09.05, 18a-212A-4, 03-329 2.設計およびシミュレーション, FIG.1-2	1-2
A	JP 2021-135367 A (富士通オプティカルコンポーネンツ株式会社) 13.09.2021 (2021-09-13) 全文, 全図	1-19
A	JP 2007-206127 A (日本電気株式会社) 16.08.2007 (2007-08-16) 全文, 全図	1-19
A	US 2016/0170286 A1 (COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES) 16.06.2016 (2016-06-16) 全文, 全図	1-19
A	CN 113644543 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 12.11.2021 (2021-11-12) 全文, 全図	1-19

☑ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
"&" 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
12.08.2022	30.08.2022

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
浅見　一喜 2K 4783
電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	UMMY, M.A., et al., Tunable multi-wavelength SOA based linear cavity dual-output port fiber laser using Lyot-Sagnac loop mirror, OPTICS EXPRESS, 2011.02.03, Vol. 19, No. 4, pp.3202-3211 全文, 全図	1-19

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2022/026538

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2017-98362 A	01.06.2017	（ファミリーなし）	
JP 2021-135367 A	13.09.2021	US 2021/0263220 A1 全文，全図	
JP 2007-206127 A	16.08.2007	（ファミリーなし）	
US 2016/0170286 A1	16.06.2016	EP 3032303 A1	
CN 113644543 A	12.11.2021	（ファミリーなし）	