(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B1)

(11)特許番号
特許第7254259号
(P7254259)

(45)発行日　令和5年4月7日(2023.4.7)

(24)登録日　令和5年3月30日(2023.3.30)

(51)国際特許分類

		FI		
H01S 5/14 (2006.01)		H01S	5/14	
G02B 6/12 (2006.01)		G02B	6/12	301
G02B 6/125(2006.01)		G02B	6/125	301
G02B 6/122(2006.01)		G02B	6/122	311

請求項の数　21　（全26頁）

(21)出願番号　特願2022-568379(P2022-568379)
(86)(22)出願日　令和4年7月4日(2022.7.4)
(86)国際出願番号　PCT/JP2022/026538
審査請求日　令和4年11月9日(2022.11.9)
早期審査対象出願

(73)特許権者　000006013
三菱電機株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目７番３号
(74)代理人　110003166
弁理士法人山王内外特許事務所
(72)発明者　大畠 伸夫
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
(72)発明者　西山 伸彦
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
審査官　淺見 一喜

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　マルチモードレーザ

(57)【特許請求の範囲】

【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り、

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

ことを特徴とするマルチモードレーザ。

【請求項２】

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り、

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
ことを特徴とするマルチモードレーザ。
【請求項３】
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または請求項２に記載のマルチモードレーザ。
【請求項４】
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２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２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狭い導波路幅を有し、他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、
前記非結合導波路における一方の導波路と接続する前記第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、
前記非結合導波路における一方の導波路と接続する前記第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し、
前記非結合導波路における他方の導波路と接続する前記第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、
前記非結合導波路における他方の導波路と接続する前記第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２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に記載のマルチモードレーザ。
【請求項１３】
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、他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、
前記非結合導波路における一方の導波路と接続する前記第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、
前記非結合導波路における一方の導波路と接続する前記第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し、
前記非結合導波路における他方の導波路と接続する前記第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、
前記非結合導波路における他方の導波路と接続する前記第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、
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１４に記載のマルチモードレーザ。
【請求項１６】
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１４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１６に記載のマルチモードレーザ。
【請求項１８】
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１６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、他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、
前記非結合導波路における一方の導波路と接続する前記第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、
前記非結合導波路における一方の導波路と接続する前記第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し、
前記非結合導波路における他方の導波路と接続する前記第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、
前記非結合導波路における他方の導波路と接続する前記第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１６に記載のマルチモードレーザ。
【請求項２０】
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１５に記載のマルチモードレーザ。
【請求項２１】
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１６から請求項１８のいずれか１項に記載のマルチモードレーザ。
【発明の詳細な説明】
【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】
【文献】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。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、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、第１の方向性結合器と第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、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。
【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、

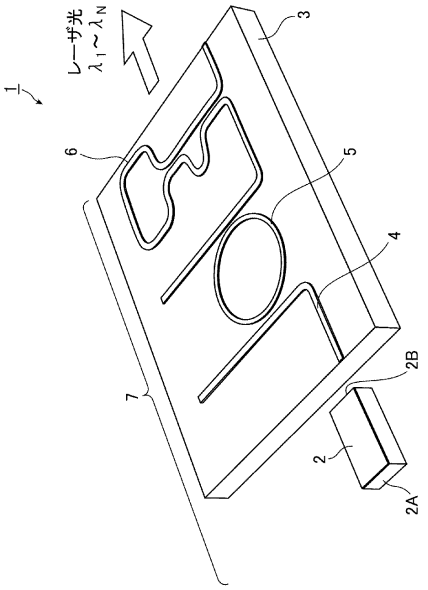
互いに隣り合った導波路である第１の方向性結合器と、
前記第１の方向性結合器と同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器と、
前記第１の方向性結合器と前記第２の方向性結合器との間に設けられ、一方の導波路が曲げ導波路である導波路対と、
前記第２の方向性結合器と光学的に結合されたループ導波路と、を有する
ことを特徴とする付記７または付記８に記載のマルチモードレーザ。
（付記１０）
前記第１のループミラーは、
互いに隣り合った導波路である第１の方向性結合器と、
前記第１の方向性結合器と同じ導波路幅を有した第２の方向性結合器と、
少なくとも一方の導波路が前記第１の方向性結合器および前記第２の方向性結合器とは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。

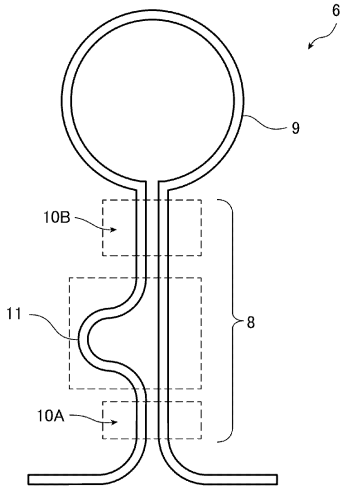
【要約】
マルチモードレーザ（１）は、半導体増幅器（２）と、半導体基板（３）に形成された導波路により構成されたループミラー（６）と、半導体増幅器（２）との間に構成されるレーザ共振器（７）とを備え、ループミラー（６）の反射率の特性形状が発振波長範囲において凸形状であることを特徴とする。

【図面】

【図１】



【図２】



【図３】

図3A

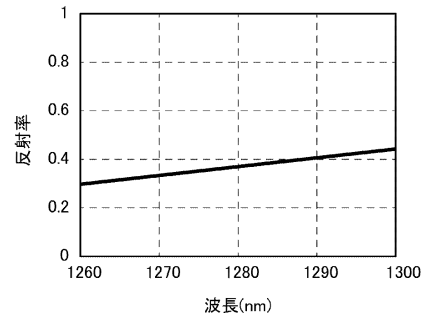
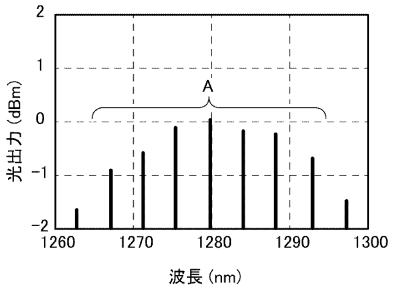


図3B



【図４】

図4A

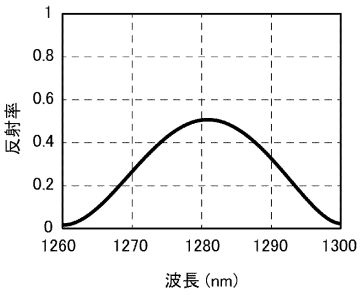
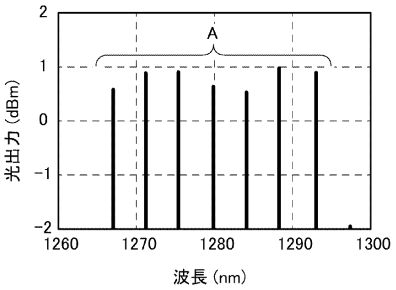
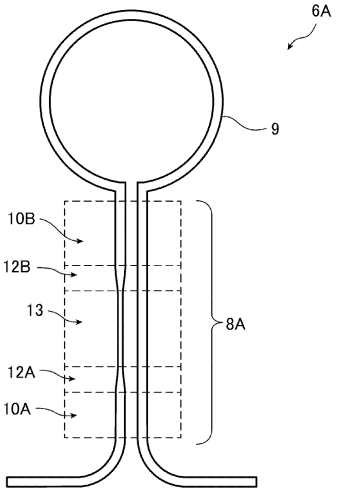


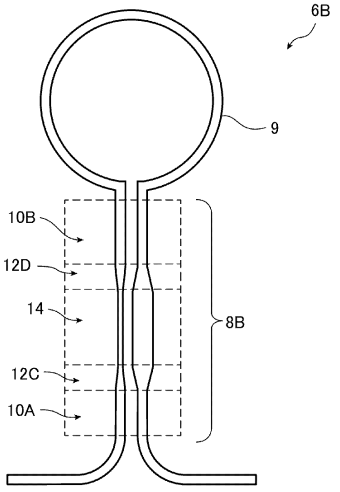
図4B



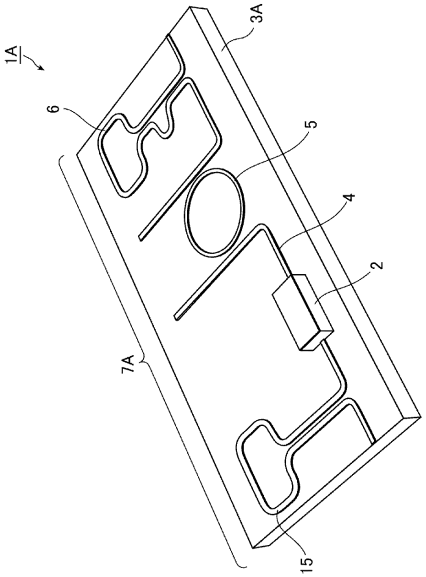
【図５】



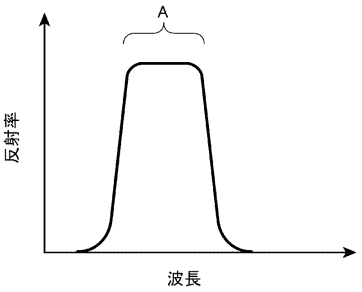
【図６】



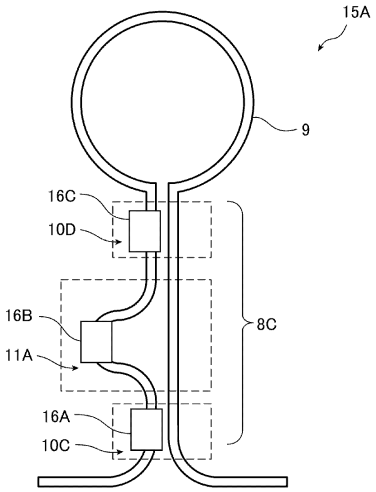
【図７】


1A
3A
6
5
4
2
7A
15

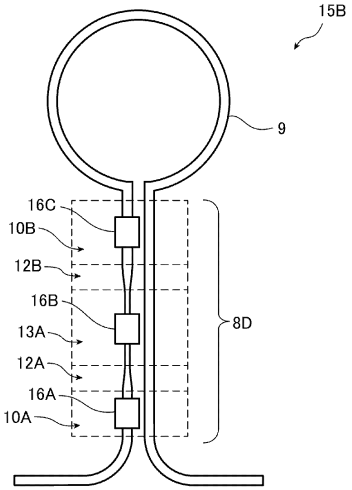
【図８】


A
反射率
波長

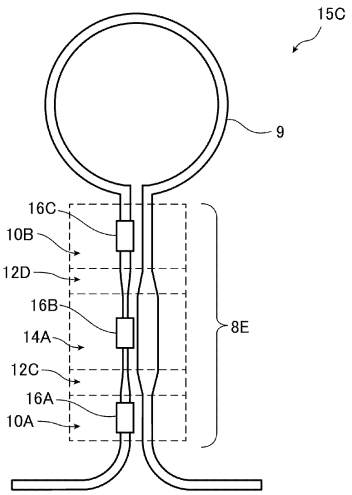
【図９】


15A
9
16C
10D
16B
11A
16A
10C
8C

【図１０】


15B
9
16C
10B
12B
16B
13A
12A
16A
10A
8D

【図１１】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開２０１７－０９８３６２（ＪＰ，Ａ）
特開２０２１－１３５３６７（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－２０６１２７（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２０１６／０１７０２８６（ＵＳ，Ａ１）
中国特許出願公開第１１３６４４５４３（ＣＮ，Ａ）
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，日本，2018年09月05日，18a-212A-4，03-029
Hisayasu Morino, Takeo Maruyama, and Koichi Iiyama，Reduction of Wavelength Dependence of Coupling Characteristics Using Si Optical Waveguide Curved Directional Coupler，Journal of Lightwave Technology，2014年05月01日，Vol.32, No.12，pp.2188-2192

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０１Ｓ　５／００－５／５０
Ｇ０２Ｂ　６／１２－６／１３８
Ｓｃｉｅｎｃｅ Ｄｉｒｅｃｔ
ＩＥＥＥ Ｘｐｌｏｒｅ
Ｗｉｌｅｙ Ｏｎｌｉｎｅ Ｌｉｂｒａｒｙ
ＳＰＩＥ Ｄｉｇｉｔａｌ Ｌｉｂｒａｒｙ