

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5877727号
(P5877727)

(45) 発行日 平成28年3月8日 (2016.3.8)

(24) 登録日 平成28年2月5日 (2016.2.5)

(51) Int. Cl.

F I

HO 1 S 5/026 (2006.01)

GO 2 F 1/025 (2006.01)

HO 1 S 5/026 6 1 6

HO 1 S 5/026 6 1 8

GO 2 F 1/025

請求項の数 12 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2012-29784 (P2012-29784)	(73) 特許権者	301005371
(22) 出願日	平成24年2月14日 (2012.2.14)		日本オクラロ株式会社
(65) 公開番号	特開2013-168440 (P2013-168440A)		神奈川県相模原市中央区小山四丁目1番5号
(43) 公開日	平成25年8月29日 (2013.8.29)	(74) 代理人	110000154
審査請求日	平成26年11月28日 (2014.11.28)		特許業務法人はるか国際特許事務所
		(72) 発明者	林 宏暁
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
			株式会社日立製作所中央研究所内
		(72) 発明者	有本 英生
			東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地
			株式会社日立製作所中央研究所内
		審査官	百瀬 正之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体光変調素子及び光モジュール

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の偏波を有する光を出力する第1の光源と、
前記第1の偏波と異なる偏波である第2の偏波を有する光を出力する第2の光源と、
前記第1の光源の出力側に光学的に接続され、前記第1の光源が出力する光を変調して光信号を出力する、第1の光変調器と、
前記第2の光源の出力側に光学的に接続され、前記第2の光源が出力する光を変調して光信号を出力する、第2の光変調器と、
前記第1の光変調器が出力する光信号と、前記第2の光変調器が出力する光信号と、を結合して結合光信号を出力する、光合波器と、
前記第1の光源及び前記第2の光源それぞれと光学的に接続するとともに、前記第1の光源及び前記第2の光源それぞれが出力する光の波長に差異があるかを検出するための、
リング共振器と、
前記リング共振器と光学的に接続するとともに、前記第1の光源及び前記第2の光源それぞれが出力する光を該素子が変換する光を検出する受光器と、
前記第1の光源に光学的に接続される第1の光導波路と、
前記第2の光源に光学的に接続される第2の光導波路と、
前記第1の光導波路と前記リング共振器を光学的に結合する、第1のマルチモード干渉型合分波器と、
前記第2の光導波路と前記リング共振器を光学的に結合する、第2のマルチモード干渉

型合分波器と、

が、半導体基板上にともに集積される、半導体光素子。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の半導体光素子であって、

前記第 1 の光源及び前記第 2 の光源の少なくとも一方は、波長可変レーザであり、

前記第 1 の光源及び前記第 2 の光源は、前記第 1 の光源又は第 2 の光源のいずれか一方の光源が出力する光の波長を、他方の光源が出力する光の波長に近づけることが可能である、

ことを特徴とする、半導体光素子。

【請求項 3】

請求項 2 に記載の半導体光素子であって、

前記波長可変レーザは、出力する光の波長を温度によって調整するための抵抗体を備える分布帰還型レーザである、

ことを特徴とする、半導体光素子。

【請求項 4】

請求項 2 に記載の半導体光素子であって、

前記波長可変レーザは、分布ブラッグ反射型レーザ又は横グレーティングアシスト横方向性結合器型レーザである、

ことを特徴とする、半導体光素子。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか に記載の半導体光素子であって、

前記第 1 のマルチモード干渉型合分波器及び前記第 2 のマルチモード干渉型合分波器は、ともに、光軸方向に沿って実効屈折率が変化する、

ことを特徴とする、半導体光素子。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の半導体光素子を、備える光モジュール。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の半導体光素子と、

前記受光器が検出する信号に基づいて、前記第 1 の光源又は第 2 の光源のいずれかの一方の光源が出力する光の波長を、他方の光源が出力する光の波長に近づけるよう、前記第 1 の光源及び / 又は前記第 2 の光源を制御する、制御部と、

を備える光モジュール。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の光モジュールであって、

前記第 2 の光源は波長可変レーザであり、

前記制御部は、前記第 1 の光源の光出力を制御する信号に、第 1 ディザ信号を重畳し、前記受光器が検出する信号を前記第 1 ディザ信号の周波数で抽出して、前記波長依存性を有する素子を前記第 1 の光源の波長に対応して所定の特性となるように制御し、

前記制御部は、前記第 2 の光源を制御する信号に、前記第 1 ディザ信号と異なる周波数を有する第 2 ディザ信号を重畳し、前記受光器が検出する信号を前記第 2 ディザ信号の周波数で抽出して、前記第 2 の光源の波長を前記波長依存性を有する素子の前記所定の特性に対応して所定の範囲となるように制御する、

ことを特徴とする、光モジュール。

【請求項 9】

請求項 7 に記載の光モジュールであって、

前記第 1 の光源及び前記第 2 の光源はともに波長可変レーザであり、

前記制御部は、前記第 1 の光源を制御する信号に、第 1 ディザ信号を重畳し、前記第 2 の光源を制御する信号に、前記第 1 ディザ信号と異なる周波数を有する第 2 ディザ信号を重畳し、前記受光器が検出する信号を、前記第 1 ディザ信号の周波数及び前記第 2 ディザ信号の周波数それぞれで抽出して、前記第 1 の光源の波長及び前記第 2 の光源の波長を前

10

20

30

40

50

記波長依存性を有する素子の所定の特性に対応して、それぞれ所定の範囲となるように制御する、

ことを特徴とする、光モジュール。

【請求項 10】

請求項 7 に記載の光モジュールであって、

前記第 2 の光源は波長可変レーザであり、

前記半導体光素子は、

前記第 1 の光源の前記第 1 の光変調器側とは反対側において、前記第 1 の光源に光学的に接続されるとともに、前記第 1 の光源が出力する光の強度を検出する第 1 光強度受光器と、

10

前記第 2 の光源の前記第 2 の光変調器とは反対側において、前記第 2 の光源に光学的に接続されるとともに、前記第 2 の光源が出力する光の強度を検出する第 2 光強度受光器と、

をさらに備え、

前記制御部は、

前記第 1 の光源に対応するタイムスロットにおいて、前記第 1 光強度受光器及び前記第 2 光強度受光器それぞれに、前記第 1 の光源の波長検出するための所定のバイアス電圧を印加し、前記受光器が検出する信号に基づいて、前記波長依存性を有する素子を前記第 1 の光源の波長に対応して所定の特性となるように制御し、

前記第 2 の光源に対応するタイムスロットにおいて、前記第 1 光強度受光器及び前記第 2 光強度受光器それぞれに、前記第 2 の光源の波長検出するための所定のバイアス電圧を印加し、前記受光器が検出する信号に基づいて、前記第 2 の光源の波長を前記波長依存性を有する素子の前記所定の特性に対応して所定の範囲となるように制御する、

20

ことを特徴とする、光モジュール。

【請求項 11】

請求項 7 に記載の光モジュールであって、

前記第 1 の光源及び前記第 2 の光源はともに波長可変レーザであり、

前記半導体光素子は、

前記第 1 の光源の前記第 1 の光変調器側とは反対側において、前記第 1 の光源に光学的に接続されるとともに、前記第 1 の光源が出力する光の強度を検出する第 1 光強度受光器と、

30

前記第 2 の光源の前記第 2 の光変調器とは反対側において、前記第 2 の光源に光学的に接続されるとともに、前記第 2 の光源が出力する光の強度を検出する第 2 光強度受光器と、

をさらに備え、

前記制御部は、

前記第 1 の光源に対応するタイムスロットにおいて、前記第 1 光強度受光器及び前記第 2 光強度受光器それぞれに、前記第 1 の光源の波長検出するための所定のバイアス電圧を印加し、前記受光器が検出する信号に基づいて、前記第 1 の光源が出力する光の波長を前記波長依存性を有する素子の特性に対応して所定の範囲内となるよう制御し、

40

前記第 2 の光源に対応するタイムスロットにおいて、前記第 1 光強度受光器及び前記第 2 光強度受光器それぞれに、前記第 2 の光源の波長検出するための所定のバイアス電圧を印加し、前記受光器が検出する信号に基づいて、前記第 2 の光源が出力する光の波長を前記波長依存性を有する素子の特性に対応して所定の範囲内となるよう制御する、

ことを特徴とする、光モジュール。

【請求項 12】

請求項 7 に記載の光モジュールであって、

前記第 1 の光源及び前記第 2 の光源はともに波長可変レーザであり、

前記制御部は、前記受光器が検出する信号より、前記第 1 の光源が出力する光と前記第 2 の光源が出力する光とが前記波長依存性を有する素子において干渉して発生するビート

50

信号を抽出して、前記第 1 の光源の波長及び前記第 2 の光源の波長を前記波長依存性を有する素子の所定の特性に対応して、それぞれ所定の範囲となるように制御する、

ことを特徴とする、光モジュール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、偏波多重方式の半導体光素子及びそれを備える光モジュールに関し、特に、偏波多重方式の半導体光集積素子の特性向上に関する。

【背景技術】

【0002】

10

近年、偏波多重方式を実現する光変調器が用いられている。従来、かかる光変調器は、主に、分波器、2 個の変調器、偏波回転子、及び、偏波合波器で構成されている。入力される光が、分波器によって同一の偏波を有する 2 つの光に分岐される。2 つの光がそれぞれ変調器に入力され、それぞれ光信号に変換される。2 つの光信号が伝搬する 2 つの導波路のうち、一方の導波路には偏波回転子が設けられ、偏波回転子によって、一方の光信号は異なる偏波を有する光信号に変換される。これら 2 つの光信号が偏波合波器で合波され、偏波多重光信号となる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

20

【特許文献 1】特許第 4 7 0 1 2 3 2 号

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献 1】IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 7, No. 8, 1995, p 893 - 895

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

偏波回転子を用いた光変調器の一例が、特許文献 1 に開示されている。図 1 4 は、従来技術に係る光変調器の一例を示す模式図である。図 1 4 に示す光変調器は、偏波多重四位相偏移変調方式 (Dual Polarization Quadrature Phase Shift Keying) の光変調器 (以下、DP-QPSK 変調器と記す) であり、DP-QPSK 変調器 1 0 1 は、分波器 1 0 2 と、変調領域 1 0 3 (2 個の QPSK 変調器) と、偏波回転子 1 0 4 と、偏波合波器 1 0 5 とを有している。ここでは、2 個の QPSK 変調器それぞれは、2 個のマッハツェンダ変調器 (MZ 変調器 1 0 6) を有しており、DP-QPSK 変調器 1 0 1 は合計で 4 個の MZ 変調器 1 0 6 を有している。

30

【0006】

図の左側より入力する連続光 (IN) は、まず分波器 1 0 2 で二分岐された後に、各分岐光は、QPSK 変調器でさらに二分岐される。各 QPSK 変調器において、変調信号によって屈折率変化を受けた導波路を導波することにより、各 QPSK 変調器において、二分岐されている光は互いに位相差を生じ、かかる光を合波することにより、位相変調信号が生成される。偏波回転子 1 0 4 によって、一方の変調光信号を、もう一方の変調光信号に対し、異なる偏波を有するように偏波回転することで、異なる偏波を有する 2 つの位相変調信号を生成する。最後に、2 つの位相変調信号を偏波合波器 1 0 5 で合波し、合波された偏波多重位相変調信号が、図の右側へ出力される (OUT)。

40

【0007】

近年、省コスト、省サイズ、省消費電力などの要請がある。それゆえ、偏波多重方式の光変調器の各光部品を同一基板上に集積される集積素子が望ましい。各光部品を同一基板上に集積した集積素子とすることで、部品の数を低減させ、結合損失を低減させることが出来る。偏波回転子を集積するための、半導体で構成される偏波回転子が非特許文献 1 に

50

開示されている。しかし、非特許文献 1 に示す通り、偏波回転子を半導体で作製すると光損失が大きくなり、偏波消光比を高くすることが困難であるという問題が生じてしまう。

【 0 0 0 8 】

また、偏波回転子の作製誤差によって、歩留りが低下するという問題もある。歩留りの低い光部品である偏波回転子を、他の光部品とともに同一基板上に集積する場合、集積素子の歩留りも低下し、低コスト化を困難にする。また、偏波回転子の偏波回転量を電気的な屈折率変化を誘起させて調整することにより、偏波回転子の歩留りを改善することが可能であるが、そのために電源をさらに 1 つ配置する必要があり、さらに、試験コストが高くなることにより、この場合も低コスト化を困難にする。

【 0 0 0 9 】

さらに、図 1 4 に示す通り、外部に設けられる光源（図示せず）より光が D P - Q P S K 変調器 1 0 1 に入力され（ I N ）、D P - Q P S K 変調器 1 0 1 は外部へ偏波多重位相変調信号を出力（ O U T ）している。外部の光源と D P - Q P S K 変調器 1 0 1 とを光学的に結合させるために、コリメートレンズといった光部品を要することとなり、省コスト化及び省サイズ化を困難にするとともに、結合箇所において光損失が生じることにより省消費電力化も妨げられてしまう。それゆえ、光源と光変調器が、同一基板上に集積された集積素子が望ましいにも関わらず、歩留りの低い光部品を含むことにより、多くの部品を集積化することをより困難にしている。

【 0 0 1 0 】

本発明は、かかる課題を鑑みてなされたものであり、本発明の目的は、特性が向上される偏波多重方式の半導体光素子及びそれを備える光モジュールの提供とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 1 】

（ 1 ）上記課題を解決するために、本発明に係る半導体光素子は、第 1 の偏波を有する光を出力する第 1 の光源と、前記第 1 の偏波と異なる偏波である第 2 の偏波を有する光を出力する第 2 の光源と、前記第 1 の光源の出力側に光学的に接続され、前記第 1 の光源が出力する光を変調して光信号を出力する、第 1 の光変調器と、前記第 2 の光源の出力側に光学的に接続され、前記第 2 の光源が出力する光を変調して光信号を出力する、第 2 の光変調器と、前記第 1 の光変調器が出力する光信号と、前記第 2 の光変調器が出力する光信号と、を結合して結合光信号を出力する、光合波器と、が、半導体基板上にともに集積される。

【 0 0 1 2 】

（ 2 ）上記（ 1 ）に記載の半導体光素子であって、前記第 1 の光源及び前記第 2 の光源の少なくとも一方は、波長可変レーザであり、前記第 1 の光源及び前記第 2 の光源は、前記第 1 の光源又は第 2 の光源のいずれか一方の光源が出力する光の波長を、他方の光源が出力する光の波長に近づけることが可能であってもよい。

【 0 0 1 3 】

（ 3 ）上記（ 2 ）に記載の半導体光素子であって、前記波長可変レーザは、出力する光の波長を温度によって調整するための抵抗体を備える分布帰還型レーザであってもよい。

【 0 0 1 4 】

（ 4 ）上記（ 2 ）に記載の半導体光素子であって、前記波長可変レーザは、分布ブラッグ反射型レーザ又は横グレーティングアシスト横方向性結合器型レーザであってもよい。

【 0 0 1 5 】

（ 5 ）上記（ 1 ）乃至（ 4 ）のいずれかに記載の半導体光素子であって、前記第 1 の光源及び前記第 2 の光源それぞれと光学的に接続するとともに、前記第 1 の光源及び前記第 2 の光源それぞれが出力する光の波長に差異があるかを検出するための、波長依存性を有する素子と、前記波長依存性を有する素子と光学的に接続するとともに、前記第 1 の光源及び前記第 2 の光源それぞれが出力する光を該素子に変換する光を検出する受光器と、をさらに備えてもよい。

【 0 0 1 6 】

(6) 上記(5)に記載の半導体光素子であって、前記波長依存性を有する素子は、リング共振器又はマッハツェンダ型遅延干渉計であってもよい。

【0017】

(7) 上記(5)に記載の半導体光素子であって、前記波長依存性を有する素子はリング共振器であり、前記第1の光源に光学的に接続される第1の光導波路と、前記第2の光源に光学的に接続される第2の光導波路と、前記第1の光導波路と前記リング共振器を光学的に結合する、第1のマルチモード干渉型合分波器と、前記第2の光導波路と前記リング共振器を光学的に結合する、第2のマルチモード干渉型合分波器と、をさらに備えてもよい。

【0018】

(8) 上記(7)に記載の半導体光素子であって、前記第1のマルチモード干渉型合分波器及び前記第2のマルチモード干渉型合分波器は、ともに、光軸方向に沿って実効屈折率が変化してもよい。

【0019】

(9) 本発明に係る光モジュールは、上記(1)乃至(8)のいずれかに記載の半導体光素子を、備えていてもよい。

【0020】

(10) 本発明に係る光モジュールは、上記(5)乃至(8)のいずれかに記載の半導体光素子と、前記受光器が検出する信号に基づいて、前記第1の光源又は第2の光源のいずれかの一方の光源が出力する光の波長を、他方の光源が出力する光の波長に近づけるよう、前記第1の光源及び/又は前記第2の光源を制御する、制御部と、を備えてもよい。

【0021】

(11) 上記(10)に記載の光モジュールであって、前記第2の光源は波長可変レーザであり、前記制御部は、前記第1の光源の光出力を制御する信号に、第1ディザ信号を重畳し、前記受光器が検出する信号を前記第1ディザ信号の周波数で抽出して、前記波長依存性を有する素子を前記第1の光源の波長に対応して所定の特性となるように制御し、前記制御部は、前記第2の光源を制御する信号に、前記第1ディザ信号と異なる周波数を有する第2ディザ信号を重畳し、前記受光器が検出する信号を前記第2ディザ信号の周波数で抽出して、前記第2の光源の波長を前記波長依存性を有する素子の前記所定の特性に対応して所定の範囲となるように制御してもよい。

【0022】

(12) 上記(10)に記載の光モジュールであって、前記第1の光源及び前記第2の光源はともに波長可変レーザであり、前記制御部は、前記第1の光源を制御する信号に、第1ディザ信号を重畳し、前記第2の光源を制御する信号に、前記第1ディザ信号と異なる周波数を有する第2ディザ信号を重畳し、前記受光器が検出する信号を、前記第1ディザ信号の周波数及び前記第2ディザ信号の周波数それぞれで抽出して、前記第1の光源の波長及び前記第2の光源の波長を前記波長依存性を有する素子の所定の特性に対応して、それぞれ所定の範囲となるように制御してもよい。

【0023】

(13) 上記(10)に記載の光モジュールであって、前記第2の光源は波長可変レーザであり、前記半導体光素子は、前記第1の光源の前記第1の光変調器側とは反対側において、前記第1の光源に光学的に接続されるとともに、前記第1の光源が出力する光の強度を検出する第1光強度受光器と、前記第2の光源の前記第2の光変調器とは反対側において、前記第2の光源に光学的に接続されるとともに、前記第2の光源が出力する光の強度を検出する第2光強度受光器と、をさらに備え、前記制御部は、前記第1の光源に対応するタイムスロットにおいて、前記第1光強度受光器及び前記第2光強度受光器それぞれに、前記第1の光源の波長検出するための所定のバイアス電圧を印加し、前記受光器が検出する信号に基づいて、前記波長依存性を有する素子を前記第1の光源の波長に対応して所定の特性となるように制御し、前記第2の光源に対応するタイムスロットにおいて、前記第1光強度受光器及び前記第2光強度受光器それぞれに、前記第2の光源の波長検出す

10

20

30

40

50

るための所定のバイアス電圧を印加し、前記受光器が検出する信号に基づいて、前記第2の光源の波長を前記波長依存性を有する素子の前記所定の特性に対応して所定の範囲となるように制御してもよい。

【0024】

(14) 上記(10)に記載の光モジュールであって、前記第1の光源及び前記第2の光源はともに波長可変レーザであり、前記半導体光素子は、前記第1の光源の前記第1の光変調器側とは反対側において、前記第1の光源に光学的に接続されるとともに、前記第1の光源が出力する光の強度を検出する第1光強度受光器と、前記第2の光源の前記第2の光変調器とは反対側において、前記第2の光源に光学的に接続されるとともに、前記第2の光源が出力する光の強度を検出する第2光強度受光器と、をさらに備え、前記制御部は、前記第1の光源に対応するタイムスロットにおいて、前記第1光強度受光器及び前記第2光強度受光器それぞれに、前記第1の光源の波長検出するための所定のバイアス電圧を印加し、前記受光器が検出する信号に基づいて、前記第1の光源が出力する光の波長を前記波長依存性を有する素子の特性に対応して所定の範囲内となるよう制御し、前記第2の光源に対応するタイムスロットにおいて、前記第1光強度受光器及び前記第2光強度受光器それぞれに、前記第2の光源の波長検出するための所定のバイアス電圧を印加し、前記受光器が検出する信号に基づいて、前記第2の光源が出力する光の波長を前記波長依存性を有する素子の特性に対応して所定の範囲内となるよう制御してもよい。

10

【0025】

(15) 上記(10)に記載の光モジュールであって、前記第1の光源及び前記第2の光源はともに波長可変レーザであり、前記制御部は、前記受光器が検出する信号より、前記第1の光源が出力する光と前記第2の光源が出力する光とが前記波長依存性を有する素子において干渉して発生するビート信号を抽出して、前記第1の光源の波長及び前記第2の光源の波長を前記波長依存性を有する素子の所定の特性に対応して、それぞれ所定の範囲となるように制御してもよい。

20

【発明の効果】

【0026】

本発明により、特性が向上される偏波多重方式の半導体光素子及びそれを備える光モジュールが提供される。

【図面の簡単な説明】

30

【0027】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る半導体光素子の上面模式図である。

【図2】本発明の第1の実施形態に係るLDの構造を示す断面図である。

【図3】波長精度に対する群遅延の計算結果である。

【図4】本発明の第1の実施形態に係る変調領域の構造を示す断面図である。

【図5】本発明の第2の実施形態に係る半導体光素子の上面模式図である。

【図6】本発明の第3の実施形態に係る半導体光素子の上面模式図である。

【図7】本発明の第4の実施形態に係る半導体光素子の上面模式図である。

【図8A】本発明の第4の実施形態に係るMMI合分波器の構造を示す模式図である。

【図8B】本発明の第4の実施形態に係るMMI合分波器の構造の他の例を示す模式図である。

40

【図8C】本発明の第4の実施形態に係るMMI合分波器の構造の他の例を示す模式図である。

【図9】本発明の第5の実施形態に係る半導体光素子の上面模式図である。

【図10】本発明の第6の実施形態に係る半導体光素子の上面模式図である。

【図11】本発明の第7の実施形態に係る半導体光素子の上面模式図である。

【図12】本発明の第8の実施形態に係る半導体光素子の上面模式図である。

【図13】本発明の第9の実施形態に係る光モジュールの上面模式図である。

【図14】従来技術に係る光変調器の一例を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

50

【 0 0 2 8 】

以下に、図面に基づき、本発明の実施形態を具体的かつ詳細に説明する。なお、実施形態を説明するための全図において、同一の機能を有する部材には同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。また、以下の実施の形態では、特に必要なときを除き、同一または同様な部分の説明を原則として繰り返さない。

【 0 0 2 9 】

なお、以下の実施例では、異なる偏波を有する光を出力する2個の光源として、2個の波長調整可能な分布帰還型(DFB)レーザダイオード(以下、LDと記す)、分布ブラッグ反射型(DBR)LD、及び横グレーティングアシスト横方向性結合器型(LGLC)LDを集積した例を挙げているが、これらに限らず、波長調整可能であって、かつ、異なる偏波を有する光を出力する2個の光源であって、同一半導体基板上に集積することが出来ればよい。また、2個の光源の波長に差異があるかを検出するための光部品として、リング共振器とMZ型遅延干渉計を例として挙げているが、共振器であれば例えばファブリペロー(FP)型共振器であってもよいし、波長依存性がある素子であれば共振器に限られるものではない。さらに、受光器は集積の簡易性から受光素子(Photo Diode: 以下、PDと記す)を用いているが、これに限られるものでもない。以下に示す材料、組成、メサストライプ寸法、膜厚及び半導体基板は、本発明の理解を容易にするための例示であって、本発明がこれに限られるものではない。理解を簡単にする目的でパッシベーション膜、電極などは、例えば可変熱源としての利用などの特別な効果があるときを除いて省略している。

【 0 0 3 0 】

[第 1 の実施形態]

図1は、本発明の第1の実施形態に係る半導体光素子の上面模式図である。当該実施形態に係る半導体光素子は、2個のLDと、2個のQPSK変調器(変調領域13)と、偏波合波器14と、3個のPD20とが、同一基板上に備えられる半導体光集積素子である。ここで、2個のLDは、TE偏波(第1の偏波)を有する光を出力する第1LD11(第1の光源)と、TM偏波(第2の偏波)を有する光を出力する第2LD12(第2の光源)であり、ともに、波長調整が可能な分布帰還型(DFB)LDである。さらに、第1LD11及び第2LD12は、LD電極15を素子表面に備え、LD電極15の上面の一部を覆って形成される薄膜抵抗16を備えている。薄膜抵抗16の両端には、電極パッド21が設けられ、2個の電極パッド21の間に電圧を印加することにより、薄膜抵抗16に電流が流れ、薄膜抵抗16は発熱する。薄膜抵抗16は、流れる電流を制御することにより発熱量が制御される可変熱源であり、2個のLDは、薄膜抵抗16によって温度制御されることによって、波長調整が可能となる波長可変LDである。すなわち、薄膜抵抗16は、LDが出力する光の波長を温度によって調整するための抵抗体である。また、各LDの変調器側とは反対側に、光出力モニタであるPD20が配置されており、対応するLDと光学的に接続される。第1の偏波と第2の偏波は、TE偏波とTM偏波のように、異なる2つの偏波であり、素子の特性上、第1の偏波と第2の偏波は互いに直交しているのが望ましいが、これに限定されることはない。

【 0 0 3 1 】

なお、光出力モニタとして用いられる2個のPD20は、光部品の低減や結合損失の低減の観点からは、2個の光源や2個の変調器と同一基板上に集積されるのが望ましい。しかし、2個のPD20は必ずしも同一基板上に集積される必要はなく、別個の素子として配置されてもよい。また、ここでは、光源と変調器の組が2組、同一基板上に集積されている場合を示しているが、これに限定されることはなく、3以上の複数組、同一基板上に集積されていてもよい。

【 0 0 3 2 】

変調領域13に、2個のQPSK変調器が備えられており、2個のQPSK変調器は、出力側に配置される偏波合波器14とともに、DP-QPSK変調器を構成している。図14に示す光変調器と異なり、分波器と偏波回転子を備えておらず、各QPSK変調器は

対応するLDと、導波路を介して光学的に接続されている。ここで、第1LD11に接続される図中上側のQPSK変調器が第1の光変調器であり、第2LD12に接続される図中下側のQPSK変調器が第2の光変調器である。

【0033】

1個のQPSK変調器は、並列に並ぶ2個のMZ変調器と、その前後に配置されるMMI合分波器17（マルチモード干渉型合分波器）とを、備えている。MZ変調器の素子表面には電極18が形成されている。また、一方のMZ変調器の出力側には位相シフタ19が配置されている。MZ変調器の電極18に印加される電圧（高周波電気信号）を制御することにより、変調領域13の2個のQPSK変調器において、TE偏波の光及びTM偏波の光が変調され、それぞれTE偏波の光信号及びTM偏波の光信号に変換され、偏波合波器14へ出力される。

10

【0034】

偏波合波器14の出力側の一方には変調光出力モニタのためにPD20が設けられている。偏波合波器14において、TE偏波の光信号（位相変調信号）及びTM偏波の光信号（位相変調信号）が合波（結合）され、出力側の他方より、合波された結合光信号（偏波多重位相変調信号）が外部（図中右側へ）出力される。

【0035】

図2は、当該実施形態に係るLDの構造を示す断面図である。当該実施形態に係るLDは、図2に示す通り、n型InPクラッド層31、InGaAsPガイド層（図示せず）、活性層32、InGaAsPガイド層（図示せず）、p型InPスペーサ層（図示せず）、回折格子層（図示せず）、p型InPクラッド層33、及びp型コンタクト層36が、順にn型InP半導体基板上に積層されている。ここで、活性層32は、InGaAsP多重量子井戸（MQW）層を含んでいる。p型InPスペーサ層、回折格子層、p型InPクラッド層33及びp型コンタクト層36は、導波路となる領域の両側が除去されておりメサ構造となっている。メサ構造の両側と、活性層32の上層のうちメサ構造が形成されていない領域と、を覆って、第1パッシベーション膜34が形成されており、さらに、第1パッシベーション膜34及びメサ構造の最上層（p型コンタクト層36）を覆って、p型電極であるLD電極15が形成されている。LD電極15はp型コンタクト層36に接することにより、LD電極15と活性層32とは電氣的に接続されている。LD電極15の上側には、第2パッシベーション膜37が形成され、第2パッシベーション膜37の上側に薄膜抵抗16が形成されている。第2パッシベーション膜37により、LD電極15と薄膜抵抗16とは電氣的に遮断されている。なお、第1パッシベーション膜34の上側であって、薄膜抵抗16の両端に接続するように、電極パッド21が形成されている。電極パッド21はLD電極15と電氣的に遮断されている。

20

30

【0036】

一般に、歪みのない井戸層はエネルギーバンドが縮退し、電子と重い正孔間の遷移が主要であるため、TE偏波の光を出力する。井戸層に歪みを導入すると重い正孔と軽い正孔の縮退が解けることにより、重い正孔と軽い正孔の遷移率が変化するため、各偏波の利得を調整できることが知られている。井戸層に圧縮歪を導入すると、TE偏波の光をより出力し、井戸層に伸張歪を導入すると、TM偏波の光をより出力することとなる。

40

【0037】

ここで、TE偏波の光を出力する第1LD11において、TE偏波の利得のために、活性層32に含まれる井戸層は、圧縮歪みか無歪みが好ましい。活性層32の井戸層の歪みの方向と歪み量を調整することにより、発振する偏波を制御することができる。

【0038】

次に、第1LD11の製造方法の概略を説明する。n型InP半導体基板上に、n型InPクラッド層31から回折格子層までを、例えば有機金属気相成長（MOVPE）法などで一括して結晶成長した後に、TE偏波に合わせた設計発振波長に合わせて、フォトリソグラフィで回折格子パターンを形成、その後、エッチングで光軸方向約0.24μm周期の回折格子を形成する。次に、再成長によりp型InPクラッド層33、p型コンタク

50

ト層 36 を形成し、所要のメサストライプ幅になるようにフォトリソグラフィとエッチングでメサストライプを形成する。その後、化学気相成長 (CVD) 法と、EB 蒸着で第 1 パッシベーション膜 34 と LD 電極 15 を成膜する。この段階までは、従来の DFB-LD と同じ方法で形成したものである。当該実施形態に係る LD では、LD 電極 15 の横に、後に形成する薄膜抵抗 16 に電流を注入するための電極パッド 21 を形成する。その後、LD 電極 15 と薄膜抵抗 16 との間に電流が流れることを防ぐために、LD 電極 15 の上に第 2 パッシベーション膜 37 を形成し、その上側に薄膜抵抗 16 を形成し、第 1 LD 11 が作製される。

【0039】

TM 偏波の光を出力する第 2 LD 12 の構造は、回折格子及び活性層を除いては、第 1 LD 11 と同じ構造とすることが出来、第 2 LD 12 の製造工程の多くを、第 1 LD 11 の製造工程と共通にすることが出来る。よって、第 2 LD 12 の製造方法を、第 1 LD 11 の製造方法と異なる点について以下に説明する。第 2 LD 12 の発振波長が、第 1 LD 11 の発振波長と一致するか所定の範囲内となるとともに、TM 偏波の光を出力するように、第 2 LD 12 の回折格子を形成する。また、TM 偏波の光を出力するために、第 2 LD 12 の活性層 32 に含まれる井戸層は、伸張歪が好ましい。作製ずれによる波長ずれを抑えるためには、偏波間で導波路の実効屈折率を出来る限り近づけることが好ましい。

【0040】

本発明に係る半導体光素子の特徴は、偏波回転素子を設ける代わりに、異なる偏波の光を出力する光源 2 個を設け、各光源が対応する変調器と光学的に接続されている点にある。かかる構成とすることにより、光源と光変調器とが同一基板上に集積される集積素子が実現される。偏波回転子を設けないことにより、偏波回転子を集積するよりも偏波消光比を大きく向上することができる。しかし、異なる偏波の光信号がそれぞれ、別個の光源が出力する光より生成されていることにより、異なる偏波の光信号がともに所定の伝送特性を得るために、2 個の光源が出力する光の波長をともに所定の範囲内になるよう高精度に制御する必要がある。ここで、2 個の光源は、一方の光源が出力する光の波長を、他方の光源が出力する光の波長に近づけることが可能である必要がある。さらに、2 個の光源は、一方の光源が出力する光の波長を、他方の光源が出力する光の波長に対して以下に述べる所定の範囲内とすることが可能であることが望ましく、2 個の光源が出力する光の波長を一致させることが可能であることがさらに望ましい。

【0041】

偏波間で必要な波長精度は、受信側での波長推定と群遅延 (Differential Group Delay) で決まる。波長制御に数十 pm 程度の精度であれば、受信側でのデジタル信号処理によって波長推定可能である。一つのチャンネル内における群遅延の遅延時間は、偏波モード分散 (PMD) に偏波間の波長差による色分散 (CD) を重畳した遅延量となる。CD は伝送距離に応じて変化し、その上限はタイムスロットによって決まるため、ボーレートによって制限される。つまり、伝送距離とボーレートによって制限される範囲内であれば、異なる偏波の光信号において、ともにほとんど等しい伝送特性が発揮される。

【0042】

図 3 は、波長精度 に対する群遅延の計算結果である。図の横軸は波長精度 [pm] であり、図の縦軸は、群遅延時間 [ps] である。図には、伝送距離が 10 km (太線)、40 km (細線)、80 km (破線) である場合がそれぞれ示されている。ここで、JIS C 6835 及び ITU-T G.652 に準拠するシングルモード光ファイバにおける群遅延時間を例にして計算しており、PMD に起因する遅延は $0.2 [ps / (km)^{1/2}]$ 、1550 nm 帯の光信号に対する CD に起因する遅延は $16 [ps / nm / km]$ としている。PMD に起因する遅延時間は、図の y 切片に示されるシンボルで表されている。すなわち、伝送距離が 10 km の場合はシンボル " "、伝送距離が 40 km の場合はシンボル " "、伝送距離が 80 km の場合はシンボル " " で表される遅延時間となっており、PMD に起因する遅延時間は波長精度 に依らず一定である。これに対して、CD に起因する遅延時間は波長精度 に比例して大きくなっており、その

10

20

30

40

50

傾きは、伝送距離が長くなるのに対して大きくなる。そして、群遅延時間は、前述の通り、PMDに起因する遅延時間とCDに起因する遅延時間の和となっているので、波長精度に対する群遅延時間は、伝送距離に応じて、PMDに起因する遅延時間をy切片と、CDに起因する起因遅延時間の傾きとを有する直線となる。

【0043】

例えばタイムスロットに対する許容遅延を0.1、許容する群遅延2.5psとすると、群遅延の10倍までのタイムスロットが許容される。25psに対応する40Gbaudまでが伝送可能なボーレートである。同様に、ボーレート25Gbaudが群遅延4psに対応している。ボーレート40Gbaudでは、許容される群遅延に対して、PMDに起因する遅延の割合が大きく、光通信においてはインターコネクトのような短距離に限られる。ボーレート25Gbaudでは、伝送距離10kmに必要な波長精度は20pm、伝送距離40kmに必要な波長精度は4pm、伝送距離80kmに必要な波長精度は2pmとなる。一方の光源が出力する光の波長を、他方の光源が出力する光の波長に対して、この波長精度の範囲とすることにより、2個の光源はそれぞれ良好な伝送特性を得ることが出来る。

【0044】

以上のように、当該実施形態に係る半導体光素子では、2個の光源が出力する光の波長を所定の範囲(精度)に制御する必要がある。当該実施形態に係る半導体光素子は当該実施形態に係るLDを備えており、薄膜抵抗への注入電流によって、半導体光素子のうち光源だけを加熱することができる。よって、素子に備えられる他の光部品の温度依存性に依らず、LDの制御をすることが出来、複雑な構成を必要とすることなく、一方の光源が出力する光の波長を、他方の光源は出力する光の波長に対して、所定の範囲となるよう制御することができる。

【0045】

当該実施形態に係るLDは、薄膜抵抗を備えるDFB-LDであり、4nm以上の波長可変幅を得ることができる。LDが出力する光の波長可変幅が4nm以上あることにより、素子の作製工程による波長ずれを考慮しても、2個の光源が出力する光の波長を前述の所定の範囲とすることが可能である。

【0046】

図4は、当該実施形態に係る変調領域13の構造を示す断面図である。変調領域13のMZ変調器では、電気光学効果により屈折率変化が誘起され、入力する光が光信号に変換される。図4には、MZ変調器の屈折率変化が誘起される領域のうち一方の断面が示されている。図4に示す通り、n型InPクラッド層31、InGaAsPガイド層(図示せず)、活性層32、InGaAsPガイド層(図示せず)、p型InPクラッド層33、及びp型コンタクト層36が、順にn型InP半導体基板上に形成されている。なお、活性層32は、InGaAsP多重量子井戸(MQW)層を含んでいる。活性層32が所望の屈折率変化を誘起するのに必要な電圧を低減するために、活性層32における光閉じ込め係数を高くするのが望ましく、当該実施形態に係るMZ変調器では、導波路の外側をエッチング加工したディープブリッジ構造をしている。ディープブリッジ構造のメサストライプの両側と、n型InPクラッド層31の上層のうちメサストライプが形成されない領域と、を覆って、パッシベーション膜38が形成されており、さらに、ディープブリッジ構造の最上層(p型コンタクト層36)の上側に、p型電極である電極18が形成されている。

【0047】

異なる偏波の2つの光信号がともに共通する変調特性となるように、2つのMZ変調器の活性層32を対応する偏波に合わせて調整してもよい。また、2個のMZ変調器の活性層32に共通する変調特性が得られれば、活性層32を異なる材料や構造で形成してもよい。2個の光源(第1LD11, 第2LD12)それぞれが出力する光は、MMI合分波器17にてそれぞれ分岐され、各QPSK変調器において最終的に四分岐される。ディープブリッジ構造のメサストライプの上側に形成される電極18に、進行波型の高周波電気信

10

20

30

40

50

号が伝搬し、電極 18 の下方に位置する活性層に電界が印加されることにより、屈折率変化が誘起される。

【0048】

QPSK変調器に設けられる各MZ変調器は、コンスタレーションマップのIチャンネルとQチャンネルに相当する変調を行う。IチャンネルとQチャンネルの間に $\pi/2$ の位相差が生じるように、IチャンネルとQチャンネルの合波前に位相シフタ19が設けられている。IチャンネルとQチャンネルの信号がMMI合分波器17で合波され、その光信号が変調領域13より偏波合波器14へ出力される。QPSK変調器と偏波合波器14との間は、光導波路を介して光学的に接続されているので、ここで生じる光損失は軽減される。

10

【0049】

図1に示す偏波合波器14について説明する。偏波合波器14は、2つの中間導波路と、その前後に配置されるMMI合分波器からなるMZ干渉計である。中間導波路は、屈折率が偏波に依存しないような構成が好ましい。2つの異なる偏波の光信号がそれぞれ入力分波器で分岐され、ともに2つの中間導波路にそれぞれ入力されるので、2つの中間導波路の間には $\pi/2$ の位相差が生じる。この2つの中間導波路の実効屈折率を偏波によって異なるように形成することにより、異なった偏波に異なった位相差を与え、同じポートに導かれるようにする。一方の偏波は位相差 $\pi/2$ を保持し、もう一方の偏波は位相差 π になるように2つの中間導波路のメサストライプ幅と中間導波路の長さを設定することで、異なった偏波が同じ出力ポートに導かれるようにすることができる。ここではメサストライプ幅を $1.5\mu\text{m}$ 、中間導波路のメサストライプ幅を $3.5\mu\text{m}$ (図中下側) と $1.0\mu\text{m}$ (図中上側)、中間導波路長を $51\mu\text{m}$ 、MMI合分波器幅を $8.8\mu\text{m}$ 、MMI合分波器長を $115.0\mu\text{m}$ としている。ここで、2つの中間導波路のメサストライプ幅を異なる値とすることにより、2つの中間導波路の実効屈折率を異なるものとしている。しかし、偏波による実効屈折率差を生じるのはメサストライプ幅を異なる値とすることに限定されず、例えば、一方の中間導波路の導波路厚を変更させたり、偏波依存性の高い屈折率変化を誘起させたりしてもよい。

20

【0050】

図1に示すPD20について説明する。PD20は、導波路型PDであり、n型InPクラッド層、InGaAsPガイド層、InGaAsPコア層、InGaAsPガイド層、InPスペーサ層、アンドープInGaAs吸収層、p型InPクラッド層、及びp型コンタクト層が、順にn型InP半導体基板に形成されている。n型クラッド層から吸収層までを、例えば有機金属気相成長(MOVPE)法などで一括してn型InP半導体基板上に結晶成長した後に、光導波路にあたる領域の吸収層をエッチングし、その後、p型クラッド層を再成長することで、導波路型PDと光導波路を同一半導体基板上に形成することができる。なお、PD20は光源と光学的に接続されている。ここでは、光変調器側とは反対側より出射されるLDの光をPD20が光源の光出力量として検出することにより、光源の注入電流量をフィードバック制御することが出来る。

30

【0051】

最後に、図1に示す光導波路について説明する。光導波路は、n型InPクラッド層、InGaAsPガイド層、InGaAsPコア層、InGaAsPガイド層、p型InPクラッド層がn型InP半導体基板上に形成されている。複雑な導波路を小さな素子サイズで実現するためには、導波路の曲げ半径を小さくする必要があるが、この場合、発生する損失が大きくなる。損失を抑制しつつ曲げ半径を小さくするためには、光閉じ込め係数を高くすることが有用であり、光閉じ込め係数を所望の高い値とするために、ガイド層とコア層を合わせた光閉じ込め領域の厚さを $0.3\mu\text{m}$ 程度、導波路の幅を $1.0\mu\text{m}$ 程度にしている。また、光閉じ込め係数の高い導波路構造として、図4に示すMZ変調器と同様に、ディープブリッジ構造とするのが好ましい。なお、ここでは、光閉じ込め係数の高い導波路構造として、ディープブリッジ構造の両側を埋め込む材料に、低屈折率ポリマであるポリイミドを用いているが、それに限定されることはなく、例えばベンゾシクロブテン

40

50

(B C B)であってもいいし、バンドギャップの大きな、もしくは半絶縁性の半導体であってもよい。

【 0 0 5 2 】

なお、隣り合う光部品の活性層が異なる構造である場合、隣り合う光部品の接続成長は公知のバットジョイント (B J) 法を用いればよい。

【 0 0 5 3 】

当該実施形態に係る半導体光素子は、イーサネット (登録商標) やインターコネクトなどのアプリケーションに適用するのに有用である。ブロードバンドサービスの普及により年々増加するインターネットコンテンツとインターネット人口の増大によって、情報通信サービスにはさらなる高速化と通信容量の増加が求められている。大容量化にはチャンネルあたりの高速化が有用であるが、高速化に伴い電気信号の処理及び増幅が、消費電力的にも、経済的にも困難になってきている。そのため、最近では通信容量の増加に伴う消費電力の増加、関連装置及び部品価格の上昇も大きな課題となっている。これらの要求を満たすため、現在の情報通信サービスでは波長分割多重 (W D M) 方式や位相多値変調方式、偏波多重方式などの方式が採用されている。 W D M 方式は、チャンネルに波長を割り当て、波長数だけ通信容量を増加する方式である。ファイバ損失及びファイバ分散の観点から波長範囲が制限されるため、チャンネル数を増やすには波長間隔を狭くする必要があり、結果として、波長制御、波長間のクロストーク、合分波に伴う光損失が課題となる。 W D M 方式では間隔の狭い W D M グリッド上に波長を高精度にロッキングする必要があるため、 W D M 方式では一般的に波長ロックが用いられる。位相多値変調方式は、分散耐力に優れた方式として、主に長距離伝送用に用いられている。変調成分を複素表示したコンスタレーションマップ上に配置する多値数を増やすことで周波数利用効率は向上するものの、位相雑音の影響から多値数を無制限に多くすることはできない。そこで位相多値変調方式に偏波多重方式を合わせることでさらなる周波数利用効率の向上を図っている。位相達変調方式に偏波多重方式を合わせた変調方式のうち、すでに実用化されているものが当該実施形態で示す D P - Q P S K である。これらの方式は伝送容量を増やすために、 W D M 方式、位相多値変調方式、偏波多重方式の順で導入され、周波数利用効率の向上を図られている。

【 0 0 5 4 】

当該実施形態に係る半導体光素子は、ボーレートを上げることなく、大容量な光素子を実現している。従来において用いられてきた偏波回転子などの実装光部品を不要とするとともに、実装工程及び光損失を低減することができている。さらに、バルク光学系での光接続を大幅に減少することで、イーサネット (登録商標) やインターコネクトなどの比較的短距離向けの小型、低コスト、低消費電力な光素子を実現できる。

【 0 0 5 5 】

なお、当該実施形態に係る半導体光素子では、2 個の光源とともに薄膜抵抗が備えられ、2 個の光源がともに波長調整可能である。素子の特性向上や素子の特性安定性の観点から、2 個の光源はともに波長調整可能である波長可変レーザであることが望ましい。しかし、一方の光源が出力する光の波長を、他方の光源が出力する光の波長に近づけるよう、すなわち、他方の光源が出力する光の波長に対して所定の範囲とするよう、制御するという観点では、少なくとも該一方の光源が波長調整可能であればよく、該他方の光源は必ずしも波長調整可能である必要はない。すなわち、他方の光源には薄膜抵抗が備えられていなくてもよい。これは、以下の実施形態に係る半導体光素子についても同様である。

【 0 0 5 6 】

また、当該実施形態に係る半導体光素子は、一方の光源が出力する光の波長を、他方の光源が出力する光の波長に近づけることが出来ればよい。2 個の光源が出力する光の波長を相対的に所定の範囲に近づければよく、波長ロックが行う波長制御のように、2 個の光源が出力する光の波長を、所定の絶対波長とともに近づける必要はない。よって、2 個の光源が出力する光の波長を絶対波長に近づける場合に比べて、低い波長精度で当該実施形態に係る半導体光素子を作製することが可能であり、低コストや低サイズ化を実現するこ

10

20

30

40

50

とが出来る。

【 0 0 5 7 】

当該実施形態に係る半導体光素子を、光通信に適用する場合、当該実施形態に係る半導体光素子の少なくとも 1 個の光源は、光通信における一般的な波長帯である C バンドの波長帯又は L バンドの波長帯の全範囲で波長調整可能であるのが望ましく、2 個の光源がともに当該全範囲で波長調整可能であればなおよい。

【 0 0 5 8 】

[第 2 の実施形態]

本発明の第 2 の実施形態に係る半導体光素子は、第 1 の実施形態に係る半導体光素子と、2 個の光源の波長に差異があるかを検出するための光部品をさらに備える点で異なっているが、それ以外は第 1 の実施形態に係る半導体光素子と同じ構造をしている。かかる光部品を備えることにより、第 1 の実施形態で説明した効果に加え、2 個の光源の波長をより高い精度で制御することが出来るというさらなる効果を奏する。

【 0 0 5 9 】

図 5 は、当該実施形態に係る半導体光素子の上面模式図である。2 個の LD それぞれの変調領域 1 3 側とは反対側において、第 1 の実施形態の PD 2 0 と同様に、LD の光出力モニタである第 1 PD 4 0 が、対応する LD に光学的に接続するよう、配置されている。さらに、各 LD から光導波路 4 4 が、第 1 PD 4 0 を貫き、さらに延伸し、その終端に、共振モニタである第 2 PD 4 1 (受光器) が配置されており、LD と光導波路 4 4 とは光学的に接続されている。ここでは、第 1 LD 1 1 より、第 1 の光導波路 4 4 A が図の左向きに延伸し、下向きへ屈曲し、さらに下向きに延伸し、終端に第 2 PD 4 1 A が配置されている。また、第 2 LD 1 2 より、第 2 の光導波路 4 4 B が図の左向きに延伸し、終端に第 2 PD 4 1 B が配置されている。光導波路 4 4 を終端付近で曲げておくことにより、端面反射が抑制されている。さらに、終端に第 2 PD 4 1 が配置されていることで、第 2 PD 4 1 にて光を吸収することにより、一方の光源より出力された光がリング共振器 4 2 を介して他方の光源へ混入する迷光が抑制される。

【 0 0 6 0 】

第 1 LD 1 1 より延伸する第 1 の光導波路 4 4 A の図中左側に、かつ、第 2 LD 1 2 より延伸する第 2 の光導波路 4 4 B の図中上側に、それぞれ隣接するよう、リング共振器 4 2 が配置されている。さらに、リング共振器 4 2 の左側に隣接して、図中上下方向に延伸する第 3 の光導波路 4 4 C が配置されている。第 3 の光導波路 4 4 C は、図中上向きに延伸し、左向きに屈曲し、さらに、右向きに延伸している。その終端に、第 2 PD 4 1 C が配置され、また、第 1 の光導波路 4 4 A 及び第 2 の光導波路 4 4 B と同様に、終端付近は曲げられている。

【 0 0 6 1 】

第 1 PD 4 0 及び第 2 PD 4 1 は、ともに導波路型 PD であり、第 1 の実施形態に係る PD 2 0 と同様の構造をしている。かかる構造とすることにより、第 1 PD 4 0 は出力する光の強度を検出する光出力モニタとして、第 2 PD 4 1 は共振器によって共振される光の強度を検出する共振モニタとして機能する。ここで、第 2 PD 4 1 は、リング共振器を透過する光を検出する検出器である。第 2 PD 4 1 のモニタ量を第 1 PD 4 0 のモニタ量で割った除算量を求めることにより、光源の出力変動の影響を除することができる。

【 0 0 6 2 】

なお、ここでは、当該実施形態に係る半導体光素子には 3 本の光導波路 4 4 が備えられているが、これに限定されることはなく、リング共振器 4 2 と光学的に結合する光導波路 4 4 の数は必要に応じて増減すればよい。また、3 本の光導波路 4 4 それぞれの終端に、第 2 PD 4 1 を配置されているが、これに限定されることはなく、一部の光導波路 4 4 のみに第 2 PD 4 1 を配置してもよい。3 個の第 2 PD 4 1 のいずれかを共振モニタとして使用すればよく、LD より直接出力される光の検出を抑制する観点では、第 3 の光導波路 4 4 C の終端に配置される第 2 の PD 4 1 C を共振モニタとして使用するのが望ましい。第 1 の光導波路 4 4 A 及び第 2 の光導波路 4 4 B の光源とは反対側の終端の形状や第 2 P

D 4 1の有無は、必要に応じて変更することが可能である。

【0063】

リング共振器42は、n型InPクラッド層、InGaAsPガイド層、InGaAsPコア層、InGaAsPガイド層、p型InPクラッド層がn型InP半導体基板上に形成されている。光導波路と同様に光閉じ込め係数を所望の高い値とするために、ガイド層とコア層を合わせた光閉じ込め領域の厚さを0.5μm程度、導波路の幅を1.0μm程度にしている。また、光閉じ込め係数の高い導波路構造として、図4に示すMZ変調器と同様に、ディープリッジ構造とするのが好ましい。リング共振器42の一部は、隣接する光導波路と、一定の間隔を維持して平行に延伸している。かかる箇所では、リング共振器42と光導波路とが光学的に結合しており、かかる箇所は、方向性結合器43として機能している。これにより、リング共振器42は、光源(LD)及び第2PD41と光学的に接続している。リング共振器42の透過率特性は媒体の屈折率がそれぞれの波長において一定であれば周期的である。を共振周波数、 F_{SR} を波長間隔、Rをリング半径、 n_{eff} をコア層の実効屈折率とすると、その変化率周期(F_{SR} :Free Spectral Range)は $F_{SR}^2 / (2 \cdot R \cdot n_{eff})$ で与えられるため、一周器長によって任意のF S Rを選択可能であり、光導波路との結合係数によってフィネスを設計できる。

10

【0064】

また、リング共振器42は異なる偏波が同時に導波する光導波路であるので、異なる偏波で出来得る限り実効屈折率を近い値に設定する必要がある。これは異なった偏波においても近いF S Rを得るためである。導波路断面で上下左右のクラッド材料が同じ場合は正方形に近づけることで、上下と左右でクラッド材料が異なる場合は屈折率差を補償するような矩形形状にすることで、偏波間の実効屈折率を近づけることができる。上記の構造では実効屈折率がTE偏波で3.246481、TM偏波で3.246371になり、屈折率をほとんど等しくすることが出来る。TE偏波及びTM偏波との間で、実効屈折率の差が0.0034%に抑えられており、偏波依存性がこのように抑制されていれば、ボーレート25Gbaudで伝送距離10kmに必要な波長精度は20pmに対応出来る。このように導波路の屈折率特性を両偏波において共通にしておくことで、両偏波においてリング共振器の動作を共通にすることが出来る。共振器の偏波依存性は抑制されているのが望ましく、一方の実効屈折率が他方の実効屈折率に対して、±0.01%の範囲内にあるのが望ましい。なお、一般に、半導体で共振器を形成すると、F S Rに波長依存性と温度依存性が生じることが知られているが、本発明の用途では透過波長のみが所定の範囲にあればよいので問題にならない。

20

30

【0065】

なお、図5に示す通り、リング共振器42に備えられるリング状に周回する光導波路の形状は、円形ではなく、矩形の頂点が丸められた形状をしている。リング共振器42が3本の光導波路44と、方向性結合器として光学的に結合するために、かかる形状としているが、これに限定されることはない。リング共振器42と光導波路44とをより近接して配置するなどすることにより、リング共振器42と光導波路44と所望の結合係数が得られれば、リング共振器42の光導波路の形状はより円形に近くてもよいし、その逆もあり得る。また、図5に示す通り、リング共振器42の周回する導波路の一部に電極が備えられ、かかる電極に所定の電圧を印加することにより、電極下の活性層の実効的な屈折率を変化させることが可能である。電極に印加する電圧を制御することにより、リング共振器42の波長依存特性を制御することが出来る。

40

【0066】

当該実施形態では、異なる偏波であっても、共通する透過波長特性で動作するのが望ましい。よって、F S Rは作製による波長ずれを考慮して設定するのが好ましい。作製による波長ずれは複数の光源において同じようにずれることと、本発明の用途では絶対波長は問題にならないことから、F S Rは1nmと設定している。

【0067】

また、波長精度は発生するF S Rの傾きで決まるので、F S Rを大きくとるにはフィネ

50

スを鋭くする必要がある。比較的大きな F S R のなかで細かい波長の制御を必要とするため、フィネスを大きくするのが望ましい。Q 値を高くするためには結合係数を低くすることが好ましいが、結合係数が低すぎると透過強度が小さくなり、P D の分解感度と共に波長制御分解能に影響を及ぼすため、適切な結合係数の設定が必要である。ここでは大きなフィネスを得るために、リング共振器と光導波路の結合部が方向性結合器となるように、リング共振器と光導波路を配置している。光導波路及びリング共振器はディープブリッジ構造が採用されており、大きな光閉じ込め係数により方向性結合器の挿入損が抑えられ、大きなフィネスを得ることができている。結合部が方向性結合器となる場合、T E 偏波と T M 偏波では電界の振動方向が異なるので、電界の浸み出しが異なり、結合長をそれぞれに合わせた長さにする必要がある。結合部における光導波路やリング共振器 4 2 のメサ幅も調整することが好ましい。

10

【 0 0 6 8 】

次に、異なる偏波の共振波長を近づける方法について説明する。偏波間の共振波長のずれを例えばボーレート 2 5 G b a u d で伝送距離 4 0 k m に必要な波長精度である 4 p m 以内にするには偏波間の実効屈折率のずれを 10^{-5} 以内にすることが必要である。作製によるメサストライプ幅のばらつきなどを考慮するとこの範囲内に制御して作製するのは困難である。このため、リング共振器の共振波長は偏波依存性の大きい屈折率変化を利用して制御するとよい。例えばポッケルス効果などの電気光学効果や光弾性効果などの音響光学効果を用いて、一方の偏波の共振波長のみを変化させることで、異なる偏波で同じ共振周波数になるように制御するのが好ましい。つまり、屈折率変化の偏波依存性を用いて、2 つ

20

【 0 0 6 9 】

なお、当該実施形態では作製による波長ずれを考慮して F S R を大きく設定しているが、F S R を小さくしてフィネスを緩やかにしてもよい。当該実施形態に係る半導体光素子は、偏波が異なる 2 個の光源が出力する光の波長を所定の絶対波長に合わせる必要は必ずしもない。当該実施形態に係る半導体光素子の特徴は、抵抗体を備えるという簡易な構成で 2 個の光源が出力する光の波長を相対的に合わせることができるところにある。これにより、高い伝送性能を有する、イーサネット（登録商標）やインターコネクトなどの比較的短距離向けの小型、低コスト、低消費電力な光素子可以实现できる。

【 0 0 7 0 】

30

なお、当該実施形態に係る半導体光素子において、2 つの光源の波長に差異があるかを検出するための光部品として、リング共振器を用いているがこれに限定されることなく、2 個の光源それぞれが出力する光の波長に差異があるかを検出するための、波長依存性を有する素子であればよい。なお、当該素子は、2 個の光源それぞれに光学的に接続していればよく、2 個の光源が出力する光が直接当該素子に入力していなくてもよい。すなわち、2 個の光源が出力する光が、受光器、光導波路、結合器などの光部品を介して、当該素子に入力していてもよい。さらに、波長依存性を有する素子とは、素子の光の透過率又は反射率に強い波長依存性があることにより、光が素子を透過又は反射する後において、所定の波長範囲にある光の強度が、それ以外の範囲にある光の強度と比較して、特異的な差が生じさせることが出来る素子である。光が素子を透過又は反射した後の光は、波長依存性を有しており、当該光が、2 つの光源それぞれが出力する光を該素子に変換する光である。第 2 P D 4 1（光検出器）は当該光を検出している。第 2 P D 4 1 が検出する信号より、当該素子や光源の特性を制御することが可能である。また、第 1 の実施形態における P D 2 0 と同様に、第 1 P D 4 0、第 2 P D 4 1 C、光導波路 4 4、及びリング共振器 4 2 の一部又は全部は、必ずしも、2 個の光源や 2 個の変調器と同一基板上に集積される必要はなく、別個の素子として配置されてもよい。さらに、第 1 の実施形態と同様に、光源と変調器の組が 3 以上の複数組、同一基板上に集積されてもよい。

40

【 0 0 7 1 】

[第 3 の実施形態]

本発明の第 3 の実施形態に係る半導体光素子は、第 2 の実施形態に係る半導体光素子と

50

、リング共振器 4 2 と光導波路とを光学的に結合する箇所が、方向性結合器ではなく、MMI 合分波器を用いている点で異なっているが、それ以外は第 2 の実施形態に係る半導体光素子と同じ構造をしている。

【0072】

図 6 は、当該実施形態に係る半導体光素子の上面模式図である。前述の通り、リング共振器 4 2 と光導波路との結合箇所に、MMI 合分波器 4 5 が配置されている。当該実施形態に係る MMI 合分波器 4 5 は、所定の幅で光軸方向に所定の長さ延伸到る矩形状をしている。なお、図 6 に示す光導波路 4 4 A、4 4 B、4 4 C がリング共振器 4 2 との結合箇所に配置される MMI 合分波器 4 5 は、それぞれ、第 1 の MMI 合分波器、第 2 の MMI 合分波器、及び第 3 の MMI 合分波器である。

10

【0073】

第 2 の実施形態に係る半導体光素子において、リング共振器と光導波路の結合部は、方向性結合器であり、2 本のメサストライプが並んで配置されている。かかる構造とするために、2 本のメサストライプを狭いメサ間隔で配置させたり、メサ側壁のラフネスが結合係数に影響するのでメサ側壁を所望の条件とするなど、高精度の加工が必要である。これに対して、当該実施形態に係る半導体光素子では、リング共振器と光導波路の結合部を MMI 結合器とすることにより、第 2 の実施形態と比較して、より簡素な加工により 2 個の光源の波長を高い精度で制御する半導体光素子を実現することが出来る。

【0074】

[第 4 の実施形態]

20

本発明の第 4 の実施形態に係る半導体光素子は、第 3 の実施形態に係る半導体光素子と、MMI 合分波器の形状が異なっているが、それ以外は第 3 の実施形態に係る半導体光素子と同じ構造をしている。

【0075】

図 7 は、当該実施形態に係る半導体光素子の上面模式図である。リング共振器 4 2 と光導波路との結合箇所に、MMI 合分波器 4 6 が配置されている。図 8 A は、当該実施形態に係る MMI 合分波器 4 6 の構造を示す模式図である。図 7 及び図 8 A に示す通り、光軸方向に沿って、MMI 合分波器 4 6 のメサ幅が一端から徐々に小さくなり（テーパ形状）、再び大きくなって他端へ至る（逆テーパ形状）形状となっている。すなわち、当該実施形態に係る MMI 合分波器 4 6 には、光軸方向に対して、くびれ（切り欠け）が設けられている。かかる形状により、図 7 に示す 3 個の MMI 合分波器 4 6 は、ともに、光軸方向に沿って、実効屈折率が変化しており、すなわち、光軸方向に沿って、MMI 合分波器 4 6 のコントラストが変化している。これにより、リング共振器と光導波路との結合係数を適切に制御し、リング共振器の共振の鋭さ（Q 値）を調整することができる。共振の鋭さの制御は波長精度の適切な設定を可能とする。

30

【0076】

MMI 合分波器 4 6 の形状は、図 8 A に示す形状に限定されることはなく、光軸方向に沿って実効屈折率が変化する形状であって、リング共振器と光導波路との結合係数を適切に制御する形状であれば広く適用される。図 8 B 及び図 8 C は、当該実施形態に係る MMI 合分波器 4 6 の構造の他の例を示す模式図である。図 8 B に示す通り、MMI 合分波器 4 6 の形状は、一端から他端にかけて、光軸方向に沿って MMI 合分波器 4 6 のメサ幅が徐々に小さくなる形状であってもよい。また、図 8 C に示す通り、MMI 合分波器 4 6 の形状は、一端側のメサ幅と、他端側のメサ幅が異なって延伸する形状であってもよい。さらに、MMI 合分波器が、光軸方向に沿って実効屈折率が変化していればよく、形状によって実現されることに限定される必要はない。例えば、光軸方向に沿って応力分布が生じないように MMI 合分波器に応力を印加してもよいし、光軸方向に沿って材料組成が変化するよう MMI 合分波器を作製してもよい。

40

【0077】

当該実施形態に係る半導体光素子は、光軸方向に沿って実効屈折率が変化する形状の MMI 合分波器を備えることにより、第 3 の実施形態と比較して、より特性が向上する半導

50

体光素子が実現される。

【 0 0 7 8 】

[第 5 の実施形態]

本発明の第 5 の実施形態に係る半導体光素子は、第 2 乃至第 4 の実施形態に係る半導体光素子と、2 個の光源の波長に差異があるかを検出するための光部品の構成が異なっているが、それ以外は第 2 乃至第 4 の実施形態に係る半導体光素子と同じ構造をしている。

【 0 0 7 9 】

図 9 は、当該実施形態に係る半導体光素子の上面模式図である。当該実施形態に係る半導体光素子では、2 個の光源の波長に差異があるかを検出するための光部品に、M Z 型遅延干渉計 5 1 を用いている。図 9 に示す通り、2 個の L D それぞれの変調領域 1 3 側とは反対側に、L D の光出力モニタである第 1 P D 4 0 が配置されている。さらに、2 個の L D それぞれから光導波路が、第 1 P D 4 0 を貫き、さらに延伸して、M Z 型遅延干渉計 5 1 と光学的に接続されている。M Z 型遅延干渉計 5 1 の L D とは反対側にそれぞれ光学的に接続される 2 本の光導波路の終端には、共振モニタである第 2 P D 4 1 がそれぞれ配置されている。

【 0 0 8 0 】

M Z 型遅延干渉計 5 1 は、偏波合波器 1 4 と同様に、2 つの中間導波路と、その前後に配置される M M I 合分波器からなる。M Z 型遅延干渉計 5 1 は、光導波路と同じ構造で形成されており、2 個の光源及び 2 個の第 2 P D 4 1 と光学的に接続している。M Z 型遅延干渉計 5 1 の F S R は、アーム（中間導波路）の全長ではなく、光路長差で決まる。光路長差が小さいほど大きな F S R を発生し、光路長差が大きいほど小さな F S R が発生する。2 つのアーム間の光路長差を L とすると、F S R は $F S R = 2 \pi / (2 \cdot n_{eff} \cdot L)$ で与えられる。

【 0 0 8 1 】

当該実施形態に係る半導体光素子は、M Z 型遅延干渉計を用いることにより、リング共振器を用いる場合に比べ、F S R をより大きくしやすく、フィネスが大きくなりやすく、さらに、結合効率が高いなどのより顕著な効果を奏する。さらに、第 2 の実施形態などに比べて、より簡素な加工により、2 個の光源の波長を高い精度で制御する半導体光素子を実現することが出来る。図 9 に示す通り、第 2 乃至第 4 の実施形態に係るリング共振器 4 2 と同様に、M Z 型遅延干渉計 5 1 の一方の中間導波路の所定の領域に電極が備えられ、かかる電極に所定の電圧を印加することにより、電極下の活性層の実効的な屈折率を変化することが可能である。電極に印加する電圧を制御することにより、M Z 型遅延干渉計 5 1 の波長依存特性を制御することが出来る。

【 0 0 8 2 】

なお、当該実施形態に係る半導体光素子において、2 個の光源の波長に差異があるかを検出するための光部品として、M Z 型遅延干渉計を用いているがこれに限定されることはなく、波長依存性を有する素子であればよい。また、第 2 乃至第 4 の実施形態におけるリング共振器 4 2 等と同様に、第 1 P D 4 0、第 2 P D 4 1、及び M Z 型遅延干渉計 5 1 の一部又は全部は、必ずしも、2 個の光源や 2 個の変調器と同一基板上に集積される必要はなく、別個の素子として配置されてもよい。さらに、第 1 乃至第 4 の実施形態と同様に、光源と変調器の組が 3 以上の複数組、同一基板上に集積されてもよい。

【 0 0 8 3 】

[第 6 の実施形態]

本発明の第 6 の実施形態に係る半導体光素子は、光源として、分布ブラッグ反射型（D B R）の波長可変 L D を用いていることを除いて、第 1 乃至第 5 の実施形態に係る半導体光素子と同じ構造をしている。光源に D B R - L D を用いることにより、第 1 乃至第 5 の実施形態と比較して、各光源の波長をより広い範囲で調整することが出来る。

【 0 0 8 4 】

図 1 0 は、当該実施形態に係る半導体光素子の上面模式図である。図 1 0 に示す通り、半導体光素子に備えられる 2 個の光源は、T E 偏波を有する光を出力する第 1 L D 5 2 と

、T M偏波を有する光を出力する第2LD53であり、ともにDBR-LDである。2個の光源以外の構成は、図1に示す第1の実施形態に係る半導体光素子と同じである。各LDは、光の出射側から順に、前方DBRミラー61、位相調整部62、利得部63、及び後方DBRミラー64を有している。利得部63の前後にそれぞれ配置されている前方DBRミラー61及び後方DBRミラー64は、多層内に回折格子を備えており、電流注入により屈折率変化が誘起され、反射波長が変化するミラーである。位相調整部62は、共振器内の位相を調整する。利得部63は、n型InPクラッド層、ガイド層、活性層、ガイド層、p型InPクラッド層、p型コンタクト層が、順にn型InP半導体基板上に形成されている。なお、活性層はInGaAsP多重量子井戸(MQW)層を含んでいる。また、前方DBRミラー61及び後方DBRミラー64(DBRミラー領域)には、n型InPクラッド層、ガイド層、コア層、ガイド層、p型InPスペーサ層、回折格子層、p型InPクラッド層、p型コンタクト層が、順にn型InP半導体基板上に形成されている。さらに、位相調整部62(位相調整領域)には、n型InPクラッド層、ガイド層、コア層、ガイド層、p型InPクラッド層、p型コンタクト層が、順にn型InP半導体基板上に形成されている。

10

【0085】

当該実施形態に係る半導体光素子は、第1乃至第5の実施形態に係る半導体光素子に用いられるDFB-LDと比較して、DBRミラー及び位相調整部への電流注入による屈折率変化を利用しているため、波長の切り替えがより速い。さらに、バーニア効果による波長選択のため、より広帯域な波長可変幅を実現可能である。

20

【0086】

さらに、第2乃至第5の実施形態に係る半導体光素子の光源を第1LD52及び第2LD53に置換することが出来ることにより、2個のLDの波長調整をさらに高精度に制御することが出来る。また、リング共振器のFSRをWDMグリッド波長に合わせることで一般的な波長ロックとしての機能を併せ持たせることもできる、というさらなる効果を奏する。すなわち、当該実施形態に係る半導体光素子では、波長精度が高いことによってWDM方式と親和性の高い、比較的短距離向けの小型、低コスト、低消費電力な光素子を実現される。ただし、半導体を用いた場合のWDMグリッドは例えばLAN-WDMのような比較的バンド(波長範囲)の狭いものが好ましい。

【0087】

なお、第1の実施形態と同様に、PD20などは、必ずしも、2個の光源や2個の変調器と同一基板上に集積される必要はなく、別個の素子として配置されてもよい。さらに、第1の実施形態と同様に、光源と変調器の組が3以上の複数組、同一基板上に集積されてもよい。

30

【0088】

[第7の実施形態]

本発明の第7の実施形態に係る半導体光素子は、光源として、LGLCを用いた波長可変LDを用いていることを除いて、第1乃至第5の実施形態に係る半導体光素子と同じ構造をしている。光源にLGLC-LDを用いることにより、第1乃至第6の実施形態と比較して、各光源の波長をさらにより広い範囲で調整することが出来る。

40

【0089】

図11は、当該実施形態に係る半導体光素子の上面模式図である。図11に示す通り、半導体光素子に備えられる2個の光源は、TE偏波を有する光を出力する第1LD54と、TM偏波を有する光を出力する第2LD55であり、ともにLGLC-LDである。2個の光源以外の構成は、図1に示す第1の実施形態に係る半導体光素子と同じである。各LDは、光の出射側から順に、DBRミラー71、利得部72、位相調整部73、及びLGLCフィルタ74を有している。利得部72の前方に配置されているDBRミラー71は、多層内に回折格子を備えており、電流注入により屈折率変化が誘起され、反射波長が変化するミラーである。利得部72の後方に配置されているLGLCフィルタ74は、同様に、屈折率変化が誘起され、透過波長が変化するフィルタである。位相調整部73は、

50

共振器内の位相を調整する。利得部 72 は、n 型 InP クラッド層、ガイド層、活性層、ガイド層、p 型 InP クラッド層、p 型コンタクト層が、順に n 型 InP 半導体基板に形成されている。なお、活性層は InGaAsP 多重量子井戸 (MQW) 層を含んでいる。また、DBR ミラー 71 は、n 型 InP クラッド層、ガイド層、コア層、ガイド層、p 型 InP スペース層、回折格子層、p 型 InP クラッド層、p 型コンタクト層が、順に n 型 InP 半導体基板に形成されている。LGLC フィルタ 74 は、導波路の横に光学遷移補助用の回折格子を設けた導波路をさらに備え、2 本の導波路は光学的に結合しており方向性結合器として機能している。LGLC フィルタ 74 は、n 型 InP クラッド層、ガイド層、コア層、ガイド層、p 型 InP スペース層、回折格子層、p 型 InP クラッド層、p 型コンタクト層が、順に n 型 InP 半導体基板に形成されている。位相調整部 73 は、n 型 InP クラッド層、ガイド層、コア層、ガイド層、p 型 InP クラッド層、p 型コンタクト層が、順に n 型 InP 半導体基板に形成されている。

【0090】

第 1 LD 54 及び第 2 LD 55 は、LGLC フィルタ、DBR ミラー、位相調整部のへの電流注入または電界印加による屈折率変化を利用して、発振する波長を変化させることができる。それにより、当該実施形態に係る半導体光素子では、光源に LGLC-LD を用いることにより、第 6 の実施形態に係る半導体光素子に用いられる DBR-LD と比較して、さらに波長の制御性をより高くすることができる。また、DBR-LD よりもさらに広範囲な波長可変幅を実現することが出来る。

【0091】

さらに、第 2 乃至第 5 の実施形態に係る半導体光素子の光源を第 1 LD 54 及び第 2 LD 55 に置換することが出来ることにより、2 個の LD の波長調整をさらに高精度に制御することが出来る。また、リング共振器の FSR を WDM グリッド波長に合わせることで一般的な波長ロックとしての機能を併せ持たせることもできる、というさらなる効果を奏する。すなわち、当該実施形態に係る半導体光素子では、波長精度が高いことによって WDM 方式と親和性の高い、比較的短距離向けの小型、低コスト、低消費電力な光素子が実現される。ただし、半導体を用いた場合の WDM グリッドは例えば LAN-WDM のような比較的バンド (波長範囲) の狭いものが好ましい。

【0092】

なお、第 1 の実施形態と同様に、PD 20 などは、必ずしも、2 個の光源や 2 個の変調器と同一基板上に集積される必要はなく、別個の素子として配置されてもよい。さらに、第 1 の実施形態と同様に、光源と変調器の組が 3 以上の複数組、同一基板上に集積されてもよい。

【0093】

[第 8 の実施形態]

本発明の第 8 の実施形態に係る半導体光素子は、第 1 乃至第 7 の実施形態に係る半導体光素子を複数、同一半導体基板上に集積したアレイ半導体光素子である。

【0094】

図 12 は、当該実施形態に係る半導体光素子の上面模式図である。図 12 に示す半導体光素子は、図 5 に示す第 2 の実施形態に係る半導体光素子 80 を複数、同一半導体基板上に集積したアレイ半導体光素子である。図 12 には、図 5 に示す第 2 の実施形態に係る半導体光素子 80 を複数集積したアレイ半導体光素子が示されているが、これに限定されることはなく、第 1 乃至第 7 のいずれかの実施形態に係る半導体光素子を複数集積したアレイ半導体光素子であってもよい。また、図 12 には、半導体光素子 80 が 4 個、同一基板上に集積されているアレイ半導体光素子が示されているが、4 個に限定されることもなく、他の数であってもよいのは、言うまでもない。

【0095】

4 個の半導体光素子 80 それぞれにおいて、光源波長及びリング共振器の共振波長を半導体光素子 80 毎に同じ波長ピッチずつずらして作製する。これにより、各半導体光素子は DP-QPSK 方式であり、それが 4 個集積され、波長分割多重 (WDM) 方式のアレ

イ半導体光素子の実現が可能となる。例えば、ボーレート 25 G b a u d であれば、ワンチップで 400 G b p s にも及ぶ大容量の半導体光素子を提供することができる。イーサネット（登録商標）やインターコネクトなどの比較的短距離向けの小型、低コスト、低消費電力で、なおかつ、大容量な光素子を実現することが出来る。

【0096】

なお、図 12 では、半導体光素子 80 毎に、出射ポートが設けられているが、これに限定されることはなく、例えば、アレイ半導体光素子上に、さらに偏波合波器を備えて、複数の半導体光素子 80 が出射する光信号を合波することにより、出射ポートの数を半導体光素子 80 の数より減じて作製することができる。特に、出射ポートを 1 つにすることにより、伝送線である光ファイバとの光学的な接続をより簡便にすることができる。

10

【0097】

[第 9 の実施形態]

本発明の第 9 の実施形態に係る光モジュールは、第 1 乃至第 8 の実施形態に係る半導体光素子を備える光モジュールである。

【0098】

図 13 は、当該実施形態に係る光モジュールの上面模式図である。図には、図 5 に示す第 2 の実施形態に係る半導体光素子 80 を備える光モジュールが示されているが、これに限定されることはなく、第 1 乃至第 8 のいずれかの実施形態に係る半導体光素子を備える光モジュールであってもよい。

【0099】

20

当該実施形態に係る光モジュールに、外部より制御信号 81 が入力される。図 5 に示す半導体光素子 80 がキャリア 90 の上に設置されている。光モジュールは、制御回路 82、波長制御ドライバ 84、LD ドライバ 85、変調ドライバ 86、TEC 87（温度調整素子）、半導体光素子 80 が設置されるキャリア 90、終端抵抗 91、2 個のコリメートレンズ 88、アイソレータ 89、及び光ファイバ 92 を備えている。ここで、半導体光素子 80 を制御する制御部は、制御回路 82、波長制御ドライバ 84、LD ドライバ 85、変調ドライバ 86、及び TEC 84 を含んでおり、少なくとも第 2 PD 41（共振モニタ）が検出する信号に基づいて、2 個の光源のいずれか一方の光源が出力する光の波長を、他方の光源が出力する光の波長に近づけるよう、2 個の光源の両方又は該一方の光源を制御する。

30

【0100】

半導体光素子 80 が設置されるキャリア 90 は、TEC 87 にて温度調整されている。2 個の光源とリング共振器との間に配置される 2 個の第 1 PD 40 からの信号（光出力信号 95）が制御回路 82 に入力される。2 つの光出力信号 95 により、制御回路 82 は各光源の光出力のずれを検出する。そして、所望の光出力になるように、制御回路 82 が制御信号を、光源の光出力を制御する LD ドライバ 85 へ出力し、LD ドライバ 85 が対応する光源をフィードバック制御する。また、リング共振器と光学的に結合している光導波路に配置される第 2 PD 41 の信号（共振信号 96）が制御回路 82 に入力される。共振信号 96 により、制御回路 82 は異なる偏波の 2 個の光源が発振する光の波長のずれを検出し、波長差が所望の範囲まで小さくなるように、制御回路 82 が制御信号を、光源に設けられる薄膜抵抗に流れる電流を制御する波長制御ドライバ 84 へ出力し、波長制御ドライバ 84 が、対応する光源をフィードバック制御する。外部より入力される制御信号 81 に基づいて、制御回路 82 が制御信号を、変調領域を制御する変調ドライバ 86 へ出力し、変調ドライバ 86 が変調領域に、伝送信号に対応する電圧（高周波電気信号）を印加する。チップ（半導体光素子 80）で生成された偏波多重光信号は、コリメートレンズ 88 でコリメートした後に、アイソレータ 89 を通し、再度、コリメートレンズ 88 にて集光され、出力側に配置される光ファイバ 92 から外部へ出射される。図 5 に示す半導体光素子 80 の変調領域 13 に備えられる 4 個の MZ 変調器の電極 18 それぞれの光の出射側の端子は、終端抵抗 91 に接続される。

40

【0101】

50

なお、図 13 に示す光モジュールに搭載される半導体光素子 80 を、第 6 又は第 7 の実施形態に係る半導体光素子に置き換えてもよい。第 6 の実施形態に係る半導体光素子が搭載される場合は、波長制御ドライバ 84 は、DBR-LD の前方 DBR ミラー 61 及び後方 DBR ミラー 64 と接続され、波長制御を行う。同様に、第 7 の実施形態に係る半導体光素子が搭載される場合は、波長制御ドライバ 84 は、LGLC-LD の DBR ミラー 71 及び LGLC フィルタ 74 と接続され、波長制御を行う。

【0102】

波長制御は以下の方法で行う。それぞれの光源の光出力を制御する信号に異なる周波数のディザ信号を重畳し、光出力信号と共振信号を周波数抽出することで、光源の波長差を検出する。検出量に応じて波長制御ドライバにフィードバックすることで、2 個の光源が出力する光の波長を近づけることが出来る。

10

【0103】

具体的には、制御回路 82 は制御信号を LD ドライバ 85 に出力し、LD ドライバ 85 は、第 1 LD 11 が出力する光出力を制御する信号に、第 1 ディザ信号を重畳する。同様に、LD ドライバ 85 は、第 2 LD 12 が出力する光出力を制御する信号に、第 2 ディザ信号を重畳する。第 1 ディザ信号の周波数と第 2 ディザ信号の周波数が異なっていることにより、第 2 PD 41 が検出する共振信号 96 を、第 1 ディザ信号及び第 2 ディザ信号の周波数それぞれで抽出することにより、第 1 LD 11 が出力する光の強度と、第 2 LD 12 が出力する光の強度を検出する。さらに、検出される第 1 LD 11 が出力する光の強度に基づいて、波長制御ドライバ 84 が第 1 LD 11 が出力する光の波長を調整する。光の波長を変化させると、検出される第 1 LD 11 が出力する光の強度が変化し、リング共振器の所定の特性に応じて、光の強度を所定の範囲とすることにより、第 1 LD 11 が出力する光の波長を所定の範囲とすることが出来る。同様に、検出される第 2 LD 12 が出力する光の強度に基づいて、第 2 LD 12 が出力する光の波長を所定の範囲とすることが出来る。このようにして、第 1 LD 11 及び第 2 LD 12 それぞれが出力する光の波長とともに制御することが出来、一方の光源が出力する光の波長を他方の光源が出力する光の波長に近づけるよう制御することが出来る。理想的には、2 個の光源が出力する光の波長が一致しているのが望ましい。なお、第 1 ディザ信号及び第 2 ディザ信号は、ともに、光伝送信号品質に影響を与えないために、変調信号のボーレートに比べて十分に低い周波数の信号が望ましい。ディザ信号の振幅を所定の値とすることで、それぞれの光源が出力する光の強度を、該強度に対して小さい範囲で変調させることが可能である。例えば、TE 偏波を有する光を出力する第 1 LD 11 の LD 電極 15 に 2 kHz の電圧信号である第 1 ディザ信号を重畳し、TM 偏波を有する光を出力する第 2 LD 12 の LD 電極 15 に 3 kHz の電圧信号である第 2 ディザ信号を重畳する。共振信号 96 を光出力信号 95 で割った除算量を周波数抽出することにより、波長差をモニタすることが可能となる。それぞれの光源の LD 電極に印加する電圧（光強度を制御する信号）を制御して、周波数抽出した信号が、それぞれの光源ごとに定めたある特定の信号値にすることにより、それぞれの光源が出力する光の波長を制御することが出来る。例えば、当該特定の信号値をピーク値とすると、周波数抽出した信号が最大となるよう、波長制御すればよい。ここで、ディザ信号が光強度を制御する信号（電圧信号）に重畳されるが、必ずしも電圧である必要はなく、光源を制御する信号であればよい。例えば、光源の薄膜提供への注入 DC 電流量（波長を制御する信号）にディザ信号を重畳してもよく、光源の波長制御方法に適した信号であればよい。

20

30

40

【0104】

なお、ここでは、2 個の光源がともに、抵抗体を備える DFB-LD であり、波長可変な光源であるが、少なくともいずれか一方が波長可変であればよい。例えば、第 2 の光源が波長可変である場合について説明する。第 1 の光源及び第 2 の光源の光出力を制御する信号に、第 1 ディザ信号及び第 2 ディザ信号をそれぞれ重畳する。受光器（第 2 PD 41）が検出する信号を、第 1 ディザ信号及び第 2 ディザ信号の周波数それぞれで抽出することにより、第 1 の光源及び第 2 の光源それぞれが出力する光の強度を検出する。検出され

50

る第1LD11が出力する光の強度に基づいて、リング共振器を第1の光源の波長に対応して所定の特性となるよう制御する。たとえば、検出される第1LD11が出力する光の強度が最大となるように、リング共振器の透過波長を制御する。そして、検出される第2LD12が出力する光の強度に基づいて、リング共振器の所定の特性に応じて、光の強度を所定の範囲とすることにより、第2LD12が出力する光の波長を所定の範囲とすることが出来る。このようにして、一方の光源が出力する光の波長を他方の光源が出力する光の波長に近づけるよう制御することが出来る。理想的には、2個の光源が出力する光の波長が一致しているのが望ましい。なお、この場合、第2ディザ信号は、光強度を制御する信号（電圧信号）に重畳されるが、必ずしも電圧である必要はなく、光源を制御する信号であればよい。例えば、光源の薄膜提供への注入DC電流量（波長を制御する信号）にディザ信号を重畳してもよく、光源の波長制御方法に適した信号であればよい。

10

【0105】

[第10の実施形態]

本発明の第10の実施形態に係る光モジュールの構成は、第9の実施形態に係る光モジュールと同じであるが、波長制御の方法が第9の実施形態と異なっている。

【0106】

波長制御は以下の方法で行う。それぞれの光源の出力制御する信号に、それぞれの光源に異なるタイムスロットを割り当てた時分割信号により、それぞれの光源が制御される。光出力信号及び共振信号を時分割信号に同期して検出することにより、光源の波長差を検出する。検出量に応じて波長制御ドライバにフィードバックすることで、一方の光源が出力する光の波長を他方の光源が出力する光の波長に近づけることが出来る。

20

【0107】

具体的には、第1LD11に対応するタイムスロットにおいて、第1LD11が出力する光の波長をリング共振器の透過波長（共振波長）と所定の範囲になるよう制御し、第2LD12に対応するタイムスロットにおいて、第2LD12が出力する光の波長をリング共振器の透過波長と所定の範囲になるよう制御することにより、2個の光源が出力する光の波長を近づける。理想的には、第1LD11が出力する光の波長をリング共振器の透過波長と一致させ、第2LD12が出力する光の波長をリング共振器の透過波長と一致させることにより、第1LD11及び第2LD12が出力する光の波長を一致させる。

【0108】

30

第1LD11に接続される第1PD40（第1光強度受光器）及び第2LD12に接続される第1PD40（第2光強度受光器）それぞれに印加するバイアス電圧を所定の電圧とすることにより、第1光強度受光器を透過してさらに第1の光導波路44Aを伝搬する光の強度、及び、第2光強度受光器を透過してさらに第2の光導波路44Bを伝搬する光の強度を制御することが出来る。これにより、それぞれの光導波路よりリング共振器へ遷移する光の強度が変化し、第2PD41において検出する光強度が変化する。

【0109】

第1LD11に対応するタイムスロットにおいて、第1光強度受光器及び第2光強度受光器である第1PD40それぞれに印加するバイアス電圧を、第1LD11の波長検出するための所定のバイアス電圧とする。例えば、当該所定のバイアス電圧として、第1光強度受光器のバイアス電圧を0Vと、第2光強度受光器のバイアス電圧を-3Vとすることにより、第2LD12の後方より出力し、第1PD40を透過してさらに第2の光導波路44Bを伝搬する光の強度を検出にあまり影響を与えない強度に維持しつつ、第1LD11の後方より出力し、第1LD11を透過してさらに第1の光導波路44Aを伝搬する光の強度を検出するのに十分な強度に高めることが出来る。なお、第1LD11が出力する光自体の強度が変化しているのではないので、第1LD11より出力し、変調領域13を導波する変調信号の出力は一定に保たれている。当該所定のバイアス電圧として、第1光強度受光器及び第2光強度受光器のバイアス電圧を、それぞれ0V及び-3Vとしたことにより、第2PD41で検出する共振信号の強度は、第1LD11からの光の信号強度が支配的になる。このため、以前のタイムスロットで検出した出力信号で第2PD41で検

40

50

出する共振信号を割った除算量により、第 1 L D 1 1 が出力する光の波長モニタが可能となる。第 1 L D 1 1 に対応するタイムスロットにおいて、第 1 L D 1 1 の薄膜抵抗 1 6 への注入電流量（波長制御する信号）を制御して、共振信号強度がそれぞれの光源ごとに定めたある特定の信号値にすることにより、第 1 L D 1 1 が出力する光の波長をリング共振器の特性に対応する所定の範囲（透過波長に対して所定の範囲内）に制御することができる。

【 0 1 1 0 】

同様に、第 2 L D 1 2 に対応するタイムスロットにおいても、第 1 光強度受光器及び第 2 光強度受光器となる第 1 P D 4 0 のバイアス電圧を、第 2 L D 1 2 の波長検出するための所定のバイアス電圧とすることにより、同様の手順で波長制御することで、第 2 L D 1 2 が出力する光の波長をリング共振器の特性に対応する所定の範囲（透過波長に対して所定の範囲内）に制御することが出来、これにより、2 個の光源が出力する光の波長を近づけることが出来る。なお、ここで、第 2 L D 1 2 の波長検出するための所定のバイアス電圧として、例えば、第 1 L D 1 1 の波長検出するための所定のバイアスとは反対に、第 1 光強度受光器のバイアス電圧を - 3 V と、第 2 光強度受光器のバイアス電圧を 0 V とすればよい。

【 0 1 1 1 】

なお、ここでは、2 個の光源がともに、抵抗体を備える D F B - L D であり、波長可変な光源であるが、少なくともいずれか一方が波長可変であればよい。例えば、第 2 の光源が波長可変である場合について説明する。第 1 の光源に対応するタイムスロットにおいて、第 1 光強度受光器及び第 2 光強度受光器それぞれに印加するバイアス電圧を、第 1 の光源の波長検出するための所定のバイアス電圧とする。受光器（第 2 P D 4 1）が検出する共振信号に基づいて、リング共振器を第 1 の光源の波長に対応して所定の特性となるよう制御する。たとえば、受光器（第 2 P D 4 1）が検出する共振信号が最大となるように、リング共振器の透過波長を制御する。そして、第 2 の光源に対応するタイムスロットにおいて、第 1 光強度受光器及び第 2 光強度受光器それぞれに印加するバイアス電圧を、第 2 の光源の波長検出するための所定のバイアス電圧とする。受光器（第 2 P D 4 1）が検出する共振信号に基づいて、第 2 の光源が出力する光の波長をリング共振器の特性に対応する所定の範囲（透過波長に対して所定の範囲内）に制御することが出来、これにより、第 2 の光源の波長を第 1 の光源の波長に対して所定の範囲内とすることが出来る。

【 0 1 1 2 】

[第 1 1 の実施形態]

本発明の第 1 1 の実施形態に係る光モジュールの構成は、第 9 及び第 1 0 の実施形態に係る光モジュールと同じであるが、波長制御の方法が第 9 及び第 1 0 の実施形態と異なっている。

【 0 1 1 3 】

波長がわずかに異なる光を干渉させると、周波数の差を周波数とするビート信号が発生する。波長制御は、受光器（第 2 P D 4 1）が検出する信号より、リング共振器において 2 個の光源が出力する光が干渉して発生するビート信号を抽出する。波長制御ドライバにビート信号をフィードバックすることでそれぞれの光源の波長差を小さくする。ビート信号のピーク強度は波長差が小さいほど大きくなる。ここでは、リング共振器の F S R ピークに全ての光源の波長が重なった時にビート信号の強度は最大になる。そのため、共振信号が最大となるように各光源の波長を制御することで波長を一致させることが可能となる。

【 0 1 1 4 】

具体的には、第 1 L D 1 1 の薄膜抵抗 1 6 への注入電流量（波長制御する信号）を共振信号強度が最大となるように制御する。このとき、リング共振器の F S R ピークと第 1 L D 1 1 が出力する光の波長とが所定の範囲となり、理想的には第 1 L D 1 1 が出力する光の波長がリング共振器の透過波長と一致する。続いて、第 2 L D 1 2 の薄膜抵抗 1 6 への注入電流量を共振信号強度が最大となるように制御する。このとき、リング共振器の F S

Rピークと第2LD12が出力する光の波長とが所定の範囲となり、理想的には第2LD12が出力する光の波長がリング共振器の透過波長と一致する。よって、第1LD11及び第2LD12それぞれが出力する光の波長とが所定の範囲となり、理想的には一致する。

【0115】

なお、ここでは、2個の光源がともに、抵抗体を備えるDFB-LDであり、波長可変な光源であるが、少なくともいずれか一方が波長可変であればよく、受光器（第2PD41）が検出する共振信号に基づいて、波長可変である光源が出力する光の波長を、他方の光源が出力する光の波長に近づけるよう、制御すればよい。

【0116】

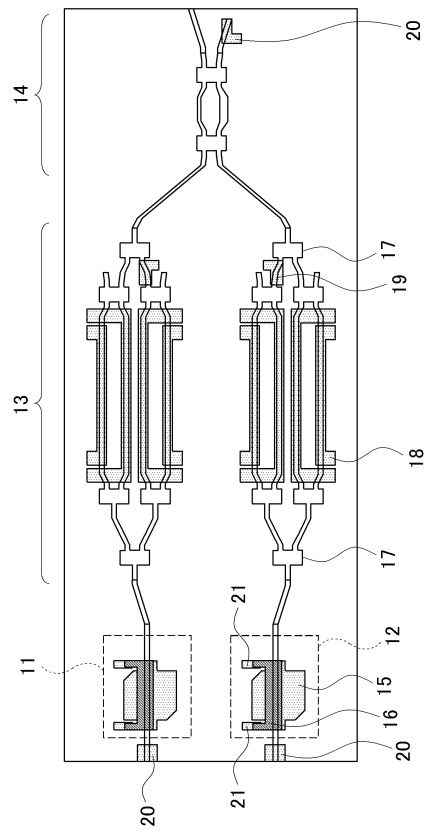
以上、第9乃至第11の実施形態に係る光モジュールについて、説明した。第9乃至第11の実施形態に係る光モジュールにより、ポーレートを上げることなく、大容量な光モジュールが提供される。第9乃至第11の実施形態に係る光モジュールは、従来において用いられてきた偏波回転子などの実装光部品を不要とするとともに、実装工程及び光損失を低減することができている。さらに、第9乃至第11の実施形態に係る光モジュールにより、安定した伝送特性をもつ、イーサネット（登録商標）やインターコネクトなどの比較的短距離向けの小型、低コスト、低消費電力、大容量な光モジュールが実現できる。なお、光モジュールは図13に示す光モジュールに限定されることなく、本発明に係る半導体光素子を備えるモジュールであれば、広く適用することが出来る。すなわち、光モジュールとは、光伝送モジュールや光送信モジュールを含んでいる。

【符号の説明】

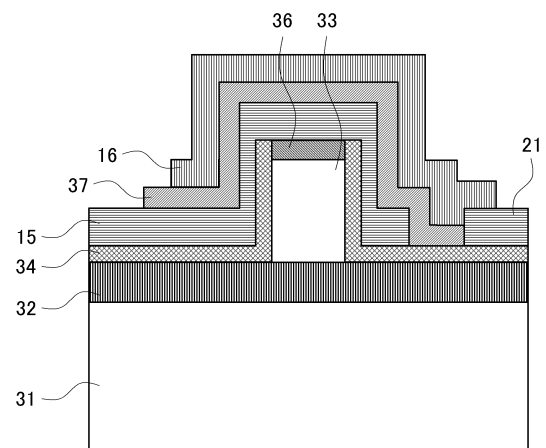
【0117】

11 第1LD、12 第2LD、13 変調領域、14 偏波合波器、15 LD電極、16 薄膜抵抗、17 MMI合分波器、18 電極、19 位相シフタ、20 PD、21 電極パッド、31 n型InPクラッド層、32 活性層、33 p型InPクラッド層、34 第1パッシベーション膜、36 p型コンタクト層、37 第2パッシベーション膜、38 パッシベーション膜、40 第1PD、41、41A、41B、41C 第2PD、42 リング共振器、43 方向性結合器、44 光導波路、44A 第1の光導波路、44B 第2の光導波路、44C 第3の光導波路、45、46 MMI合分波器、51 MZ型遅延干渉計、52 第1LD、53 第2LD、54 第1LD、55 第2LD、61 前方DBRミラー、62 位相調整部、63 利得部、64 後方DBRミラー、71 DBRミラー、72 利得部、73 位相調整部、74 LGLCフィルタ、80 半導体光素子、81 制御信号、82 制御回路、84 波長制御ドライバ、85 LDドライバ、86 変調ドライバ、87 TEC、88 コリメートレンズ、89 アイソレータ、90 キャリア、91 終端抵抗、92 光ファイバ、95 光出力信号、96 共振信号、101 DP-QPSK変調器、102 分波器、103 変調領域、104 偏波回転子、105 偏波合波器、106 MZ変調器。

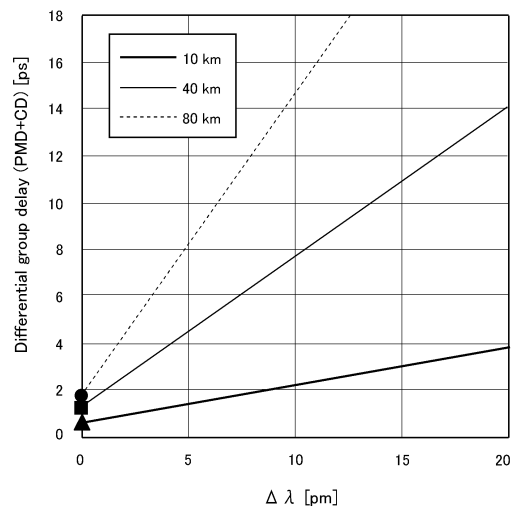
【図 1】



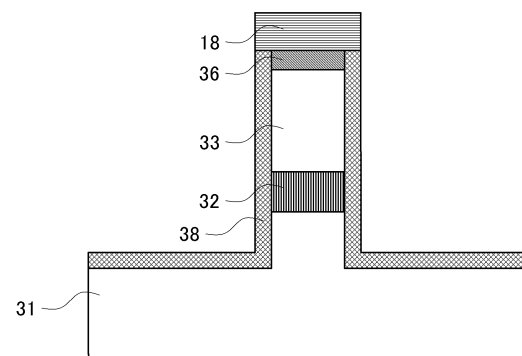
【図 2】



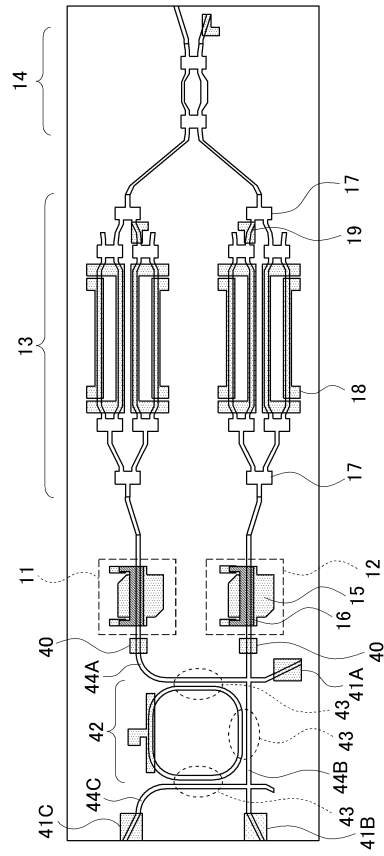
【図 3】



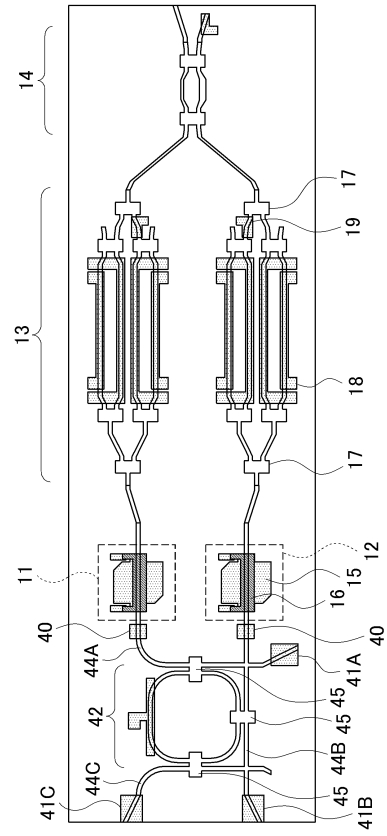
【図 4】



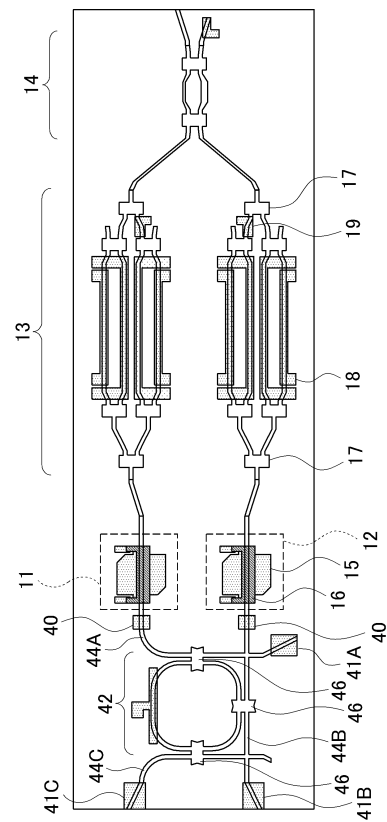
【図 5】



【図 6】



【図 7】



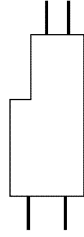
【図 8 A】



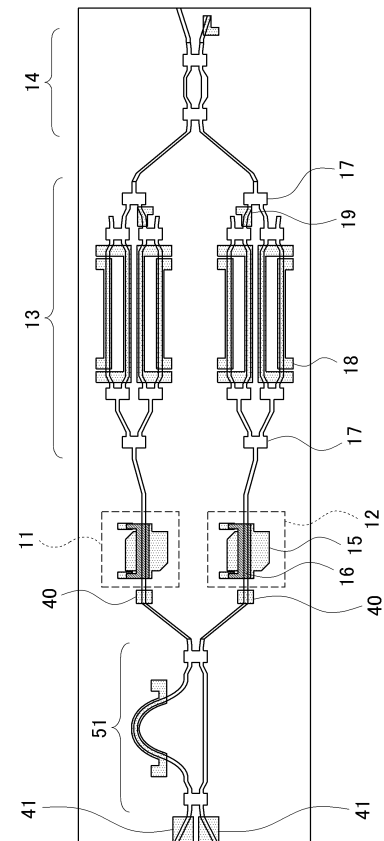
【図 8 B】



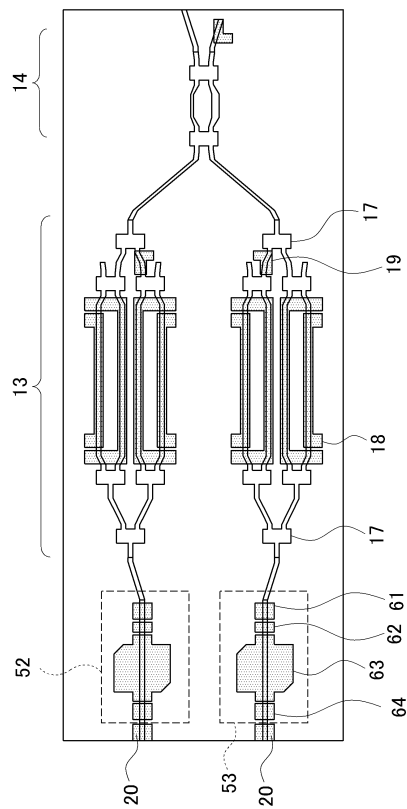
【図 8 C】



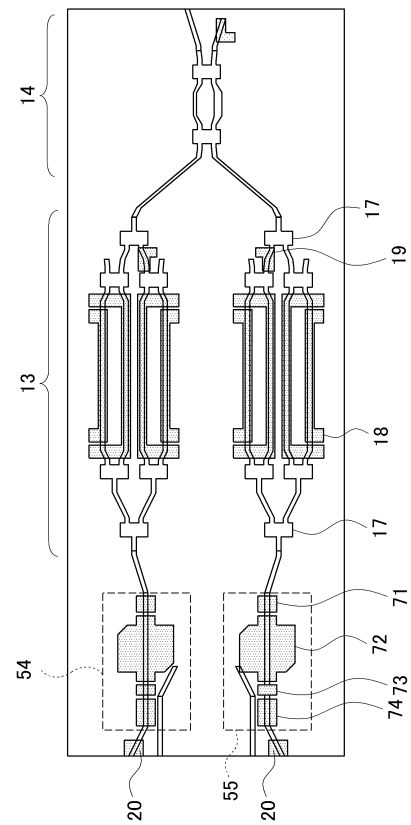
【図 9】



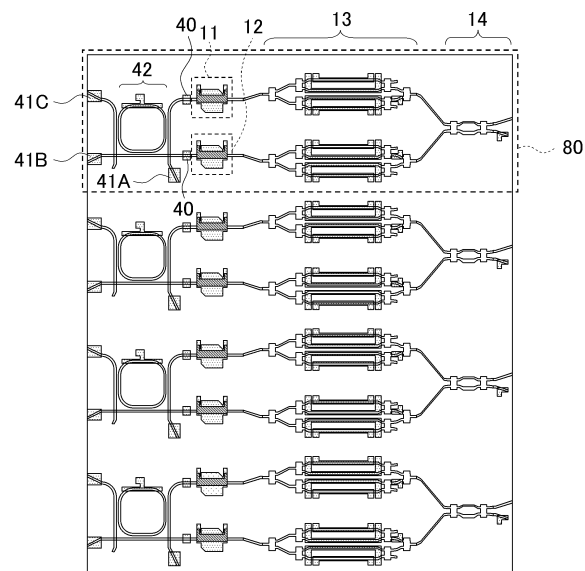
【図 10】



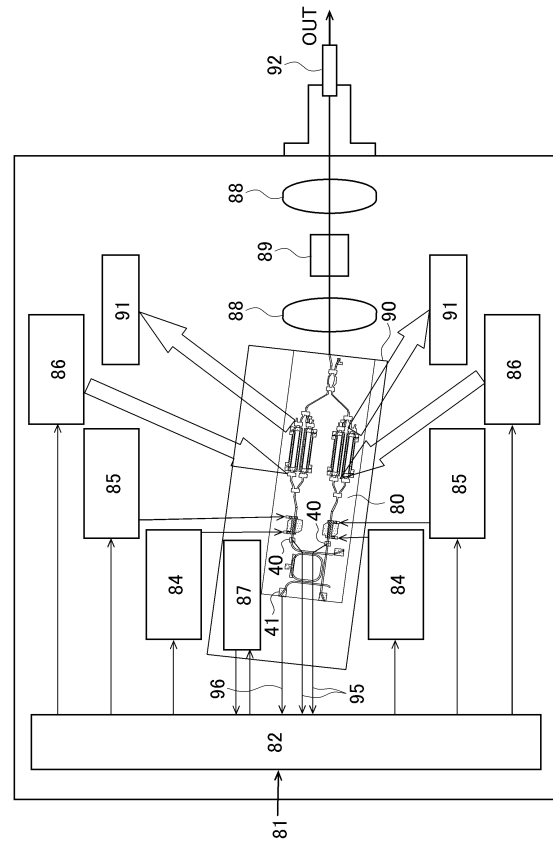
【図 11】



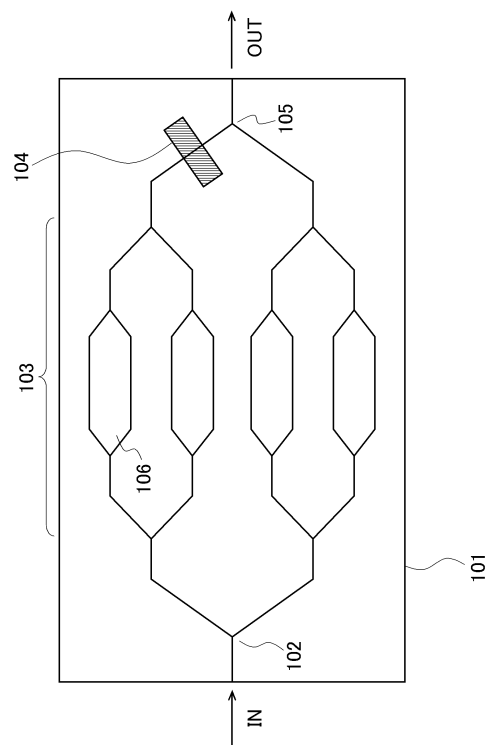
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2010-050135(JP,A)
特開2009-272694(JP,A)
国際公開第2011/027895(WO,A1)
特開2008-076752(JP,A)
特開2007-067902(JP,A)
特開2011-171472(JP,A)
特開2011-176070(JP,A)
特開2011-003591(JP,A)
特開2005-172975(JP,A)
特開昭57-086730(JP,A)
特開2003-060578(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S	5/00 - 5/50
G02F	1/00 - 1/125
G02F	1/21 - 2/00
G02B	6/12 - 6/14
H04B	10/00 - 10/69