

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-19157
(P2012-19157A)

(43) 公開日 平成24年1月26日(2012.1.26)

(51) Int.Cl.
H01S 5/022 (2006.01)

F I
H01S 5/022

テーマコード(参考)
5F173

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2010-157151 (P2010-157151)
(22) 出願日 平成22年7月9日(2010.7.9)

(71) 出願人 000005290
古河電気工業株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(74) 代理人 100089118
弁理士 酒井 宏明
(74) 代理人 100142712
弁理士 田代 至男
(72) 発明者 高木 啓史
東京都千代田区丸の内2丁目2番3号 古河電気工業株式会社内
(72) 発明者 舟橋 政樹
東京都千代田区丸の内2丁目2番3号 古河電気工業株式会社内

最終頁に続く

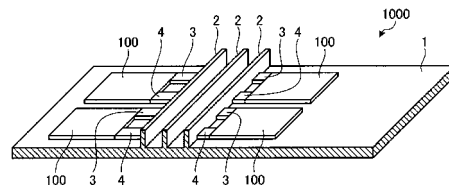
(54) 【発明の名称】 光インターコネクションシステム

(57) 【要約】

【課題】 部品点数が削減された、低コスト、低消費電力の光インターコネクションシステムを提供すること。

【解決手段】 直接変調により、互いに異なる $1.0 \sim 1.2 \mu\text{m}$ の波長のレーザ信号光を出力する複数の面発光レーザ素子を有する面発光レーザアレイ素子と、受光アレイ素子とを備える複数の半導体集積素子と、前記レーザ信号光を導波するシリコン光導波路と、前記レーザ信号光を前記シリコン光導波路に結合させる光合波器と、前記シリコン光導波路を導波する前記レーザ信号光を前記複数の半導体集積素子のうちの所定の半導体集積素子に結合させる光分波器と、を備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

直接変調により、互いに異なる $1.0 \sim 1.2 \mu\text{m}$ の波長のレーザ信号光を出力する複数の面発光レーザ素子を有する面発光レーザアレイ素子と、受光アレイ素子とを備える複数の半導体集積素子と、

前記レーザ信号光を導波するシリコン光導波路と、

前記レーザ信号光を前記シリコン光導波路に結合させる光合波器と、

前記シリコン光導波路を導波する前記レーザ信号光を前記複数の半導体集積素子のうちの所定の半導体集積素子に結合させる光分波器と、

を備えることを特徴とする光インターコネクションシステム。

10

【請求項 2】

前記面発光レーザアレイ素子は、光の周波数にして 200 GHz 以下の間隔で互いに波長が異なる前記レーザ信号光を出力することを特徴とする請求項 1 に記載の光インターコネクションシステム。

【請求項 3】

前記面発光レーザアレイ素子は、4 つ以上の前記面発光レーザ素子を有することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光インターコネクションシステム。

【請求項 4】

前記各面発光レーザ素子は、2 つの多層膜反射鏡からなる光共振器と、前記光共振器内に配置された活性層と、前記光共振器内に配置され、当該各面発光レーザ素子ごとに厚さが異なる波長調整層とを備えることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか一つに記載の光インターコネクションシステム。

20

【請求項 5】

前記波長調整層は誘電体からなることを特徴とする請求項 4 に記載の光インターコネクションシステム。

【請求項 6】

前記各面発光レーザ素子は、前記各レーザ発振波長を調整するための加熱機構を備えることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか一つに記載の光インターコネクションシステム。

【請求項 7】

前記各加熱機構は、当該各面発光レーザ素子内に設けられた高抵抗加熱部と、前記高抵抗加熱部に接続した、前記高抵抗加熱部に電流を伝えるための該高抵抗加熱部よりも電気抵抗が低い低抵抗部とを備えることを特徴とする請求項 6 に記載の光インターコネクションシステム。

30

【請求項 8】

前記各加熱機構は、前記各高抵抗加熱部が前記低抵抗部によって直列接続しており、当該各面発光レーザ素子のレーザ発振波長を一括して調整するものであることを特徴とする請求項 7 に記載の光インターコネクションシステム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

40

【0001】

本発明は、光インターコネクションシステムに関するものである。

【背景技術】**【0002】**

従来、基板上に複数の面発光レーザ素子が配列された面発光レーザアレイ素子およびこれを信号光源として用いた光インターコネクションが開示されている。この面発光レーザアレイ素子は、個々の面発光レーザ素子が異なる波長のレーザ信号光を出力するように構成されている（非特許文献 1 ~ 3、特許文献 1 参照）。これらの文献で使用されている面発光レーザアレイ素子は、レーザ信号光の波長間隔が 5 nm 程度以上の C W D M (Coarse Wavelength Division Multiplexing) 光信号を出力するものである。

50

【 0 0 0 3 】

一方、シリコンフォトニクス技術を利用して、半導体集積素子内に、演算処理装置、変調器、光合波/分波器、受光素子 (Photo Detector, P D) を集積し、複数の半導体集積素子間をシリコン光導波路で接続し、半導体集積素子間の光通信を行なう光インターコネクションシステムが開示されている (非特許文献 4 参照)。この光インターコネクションシステムでは、WDM 光信号の波長間隔がより狭い高密度な Dense-WDM (DWDM) 光信号を利用している。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 特許文献 1 】 特開 2 0 0 7 - 2 1 4 4 3 0 号 公 報

【 特許文献 2 】 特開 2 0 0 6 - 3 5 1 9 1 7 号 公 報

【 非特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 非特許文献 1 】 Padullaparthi Babu Dayal, Takahiro Sakaguchi, Akihiro Matsutani, and Fumio Koyama, "Multiple-Wavelength Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers by Grading a Spacer Layer for Short-Reach Wavelength Division Multiplexing Applications", Appl. Phys. Express 2(2009) 092501.

【 非特許文献 2 】 鈴木 貞一 他, 「高密度CWDM用モノリシック多波長VCSELの試作」, 信学技報, vol. 107, no. 198, OPE2007-86, pp. 101-106, 2007年8月.

【 非特許文献 3 】 B. E. Lemoff et al. "MAUI: Enabling fiber-to-the-process or with parallel multiwavelength optical interconnects." J. Lightwave Technol., 22(9):2043, 2004.

【 非特許文献 4 】 Kannan Raji et al. " "Macrochip" Computer Systems Enabled by Silicon Photonic Interconnects", Proceedings SPIE 7607, 760702, 2010

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 6 】

しかしながら、上記のシリコンフォトニクス技術を利用した光インターコネクションシステムにおいて利用している DWDM 光信号は、半導体集積素子の外部に配置された DWDM 光源から導入するものである。この DWDM 光源としては、たとえばモードロック型の半導体レーザや、波長可変型の DFB レーザと光増幅器とを組み合わせたものが使用されている。このため、DWDM 光源を設けるための部品点数やコストの増大、および消費電力の増大の問題がある。

【 0 0 0 7 】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、部品点数が削減された、低コスト、低消費電力の光インターコネクションシステムを提供することを目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 8 】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る光インターコネクションシステムは、直接変調により、互いに異なる $1.0 \sim 1.2 \mu\text{m}$ の波長のレーザ信号光を出力する複数の面発光レーザ素子を有する面発光レーザアレイ素子と、受光アレイ素子とを備える複数の半導体集積素子と、前記レーザ信号光を導波するシリコン光導波路と、前記レーザ信号光を前記シリコン光導波路に結合させる光合波器と、前記シリコン光導波路を導波する前記レーザ信号光を前記複数の半導体集積素子のうちの所定の半導体集積素子に結合させる光分波器と、を備えることを特徴とする。

【 0 0 0 9 】

また、本発明に係る光インターコネクションシステムは、上記の発明において、前記面発光レーザアレイ素子は、光の周波数にして 200 GHz 以下の間隔で互いに波長が異な

10

20

30

40

50

る前記レーザ信号光を出力することを特徴とする。

【0010】

また、本発明に係る光インターコネクションシステムは、上記の発明において、前記面発光レーザアレイ素子は、4つ以上の前記面発光レーザ素子を有することを特徴とする。

【0011】

また、本発明に係る光インターコネクションシステムは、上記の発明において、前記各面発光レーザ素子は、2つの多層膜反射鏡からなる光共振器と、前記光共振器内に配置された活性層と、前記光共振器内に配置され、当該各面発光レーザ素子ごとに厚さが異なる波長調整層とを備えることを特徴とする。

【0012】

また、本発明に係る光インターコネクションシステムは、上記の発明において、前記波長調整層は誘電体からなることを特徴とする。

【0013】

また、本発明に係る光インターコネクションシステムは、上記の発明において、前記各面発光レーザ素子は、前記各レーザ発振波長を調整するための加熱機構を備えることを特徴とする。

【0014】

また、本発明に係る光インターコネクションシステムは、上記の発明において、前記各加熱機構は、当該各面発光レーザ素子内に設けられた高抵抗加熱部と、前記高抵抗加熱部に接続した、前記高抵抗加熱部に電流を伝えるための該高抵抗加熱部よりも電気抵抗が低い低抵抗部とを備えることを特徴とする。

【0015】

また、本発明に係る光インターコネクションシステムは、上記の発明において、前記各加熱機構は、前記各高抵抗加熱部が前記低抵抗部によって直列接続しており、当該各面発光レーザ素子のレーザ発振波長を一括して調整するものであることを特徴とする。

【発明の効果】

【0016】

本発明によれば、部品点数が削減された、低コスト、低消費電力の光インターコネクションシステムを実現できるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】図1は、実施の形態に係る光インターコネクションシステムの模式的な構成図である。

【図2】図2は、図1に示す光集積素子の模式的な構成図である。

【図3】図3は、図2に示す面発光レーザアレイ素子および光導波路の、光導波路の長さ方向に沿った模式的な断面図である。

【図4】図4は、波長調整層の厚さとレーザ発振波長または内部損失との関係の一例を示す図である。

【図5】図5は、バイアス電流とレーザ光の光強度の関係の一例を示す図である。

【図6】図6は、各面発光レーザ素子が備える加熱機構の模式的な平面図である。

【図7】図7は、レーザ発振波長の一括調整を説明する図である。

【図8】図8は、図6に示す加熱機構の消費電力と波長シフト量との関係の一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

以下に、図面を参照して本発明に係る光インターコネクションシステムの実施の形態を詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。また、図面においては、同一または対応する要素には適宜同一符号を付している。また、図面は模式的なものであり、各層の厚さや厚さの比率などは現実のものとは異なることに留意すべきである。また、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含ま

10

20

30

40

50

れている。

【0019】

(実施の形態)

図1は、実施の形態に係る光インターコネクションシステムの模式的な構成図である。図1に示すように、この光インターコネクションシステム1000は、シリコン基板1上に形成された、複数の半導体集積素子100と、複数のシリコン光導波路2と、各半導体集積素子100と所定のシリコン光導波路2とを光学的に接続する複数の光合波器3および複数の光分波器4とを備えている。

【0020】

シリコン光導波路2は、シリコン基板1から突出するように形成されたリッジ型の光導波路である。このシリコン光導波路2は、たとえば、幅が700nm程度、高さが600nm程度のものである。また、光合波器3、光分波器4は、たとえば特許文献2に開示されるようなリング共振器を用いた光フィルタである。

【0021】

つぎに、半導体集積素子100の構成について説明する。図2は、図1に示す半導体集積素子100の模式的な構成図である。図2に示すように、半導体集積素子100は、演算処理装置110と、レーザ駆動装置120と、 n を2以上の整数として、 n 個の面発光レーザ素子を有する面発光レーザアレイ素子130と、1つの受光素子140と、光導波路150、160とを備えている。なお、 n は2以上であれば特に限定されないが、4以上であれば通信容量を大きくできるので好ましい。また、光導波路150は、面発光レーザアレイ素子130と光合波器3とを光学的に接続している。光導波路160は、受光素子140と光分波器4とを光学的に接続している。

【0022】

つぎに、面発光レーザアレイ素子130および光導波路150の構成について説明する。図3は、図2に示す面発光レーザアレイ素子130および光導波路150の、光導波路150の長さ方向に沿った模式的な断面図である。図3に示すように、面発光レーザアレイ素子130は、共通の基板S上に形成された、 n 個の面発光レーザ素子130-1~130-nを有する。なお、図3では、面発光レーザ素子130-1、130-2、130-nのみ記載している。また、光導波路150は、面発光レーザアレイ素子130の各面発光レーザ素子130-1~130-nのそれぞれの上にわたって載置されている。

【0023】

はじめに、面発光レーザ素子130-1の構成について説明する。面発光レーザ素子130-1は、基板S上に順次形成された、下部多層膜反射鏡である下部DBRミラー131と、多重量子井戸構造を有する活性層132aと中心に円形の電流注入部を有する電流狭窄層132bとを含む円形のメサポスト形状の半導体積層構造132と、を備えている。なお、半導体積層構造132の活性層132aの上部は、電流狭窄層132bが形成されたp型スペーサ層とp⁺型コンタクト層とで構成されている。

【0024】

半導体積層構造132の周囲の下部DBRミラー131表面には半円環状のn側電極133が形成されている。半導体積層構造132の最上層であるp⁺型コンタクト層上にはp側円環電極134が形成されている。p側円環電極134の開口部内には、波長調整層135-1および上部多層膜反射鏡である上部DBRミラー136が順次形成されている。この波長調整層135-1は、後述する波長調整機能を有するとともに、光共振器を構成する下部DBRミラー131と上部DBRミラー136との間に配置されることによって、光共振器の光学長を調整して光の定在波の節や腹の位置を適正にする位相調整層としての機能も有する。また、面発光レーザ素子130-1は、上部DBRミラー136内のp側円環電極134上に、加熱機構を構成している円環の一部を切り欠いた形状の高抵抗加熱部137を備えているが、これについては後に詳述する。

【0025】

他の面発光レーザ素子130-2~130-nは、面発光レーザ素子130-1の構成

10

20

30

40

50

において、波長調整層 135-1 をそれぞれ波長調整層 135-2 ~ 135-n に置き換えた構成を有している。これらの波長調整層 135-1 ~ 135-n は、互いに厚さが異なるように形成されている。波長調整層 135-1 ~ 135-n の厚さの相違は、数 nm ~ 数十 nm 程度ときわめて小さいが、これについては後で詳述する。

【0026】

なお、基板 S は、たとえばアンドープの GaAs からなる。また、下部 DBR ミラー 131 は、たとえば $Ga_{0.9}As_{0.1}$ 層の 34 ペアからなり、少なくとも最上部は、n 側電極 133 に対するコンタクト層となる n 型 GaAs が形成されている。また、活性層 132a は、たとえば波長が $1.0\ \mu m \sim 1.2\ \mu m$ レーザ光用として、層数が 3 の InGaAs 井戸層と層数が 4 の GaAs 障壁層が交互に積層した歪み多重量子井戸構造を有している。なお、最下層の GaAs 障壁層は n 型クラッド層としても機能する。また、半導体積層構造 132 の p 型スペーサ層、p⁺ 型コンタクト層は、たとえばそれぞれ炭素をドープした p 型、p⁺ 型の GaAs からなる。また、電流狭窄層 132b については、たとえば電流注入部は直径が $5 \sim 6\ \mu m$ の AlAs からなり、その周辺部は Al_2O_3 からなる。なお、各 p 型または n 型層のアクセプタまたはドナー濃度はたとえば $1 \times 10^{18}\ cm^{-3}$ 程度であり、p⁺ 型層のアクセプタ濃度はたとえば $1 \times 10^{19}\ cm^{-3}$ 以上である。また、電流狭窄層 132b の上下には、たとえば AlGaAs からなり、厚さ方向において電流狭窄層 132b に近づくにつれてその Al 組成が段階的に増加するように構成された下部傾斜組成層および上部傾斜組成層を設けても良い。

10

【0027】

また、p 側円環電極 134 は、たとえば Pt/Ti からなり、外径はメサポストの外周と一致する $30\ \mu m$ であり、開口部の内径がたとえば $11 \sim 16\ \mu m$ である。また、n 側電極 133 は、たとえば AuGeNi/Au からなり、外径が $80\ \mu m$ 、内径が $40\ \mu m$ である。

20

【0028】

また、波長調整層 135-1 ~ 135-n は、たとえば誘電体である窒化珪素 (SiN_x) からなる。また、上部 DBR ミラー 136 は、たとえば SiN_x/SiO_2 の 10 ~ 12 ペアからなるが、 $-Si/SiO_2$ または $-Si/Al_2O_3$ のペアを、その材料の屈折率に応じて 99% 程度の適切な反射率がえられるようなペア数にしたものでもよい。

30

【0029】

ここで、波長調整層 135-1 ~ 135-n の厚さが互いに異なることによって、面発光レーザ素子 130-1 ~ 130-n は互いに発振波長が異なるレーザ光を出力することができる。なお、隣接するレーザ光間の波長間隔は、光の周波数で表すと 200 GHz 以下であり、たとえば 100 GHz である。なお、周波数間隔を 100 GHz またはそれ以下に狭くすると、高密度光伝送が可能になるとともに、面発光レーザ素子 130-1 ~ 130-n 間での特性の差が小さくなるので好ましい。

【0030】

つぎに、光導波路 150 の構成について説明する。光導波路 150 は、面発光レーザアレイ素子 130 の各面発光レーザ素子 130-1 ~ 130-n に接触する基部 151 と、クラッド部 152 と、コア部 153 と、クラッド部 154 とが順次積層して構成されている。光導波路 150 の厚さはたとえば数百 nm であり、波長調整層 135-1 ~ 135-n の厚さの相違に対して十分大きい。なお、波長調整層 135-1 ~ 135-n の厚さの相違による面発光レーザ素子 130-1 ~ 130-n の高さの段差はきわめてわずかであるため、光導波路 150 は面発光レーザ素子 130-1 ~ 130-n 上に安定して載置される。

40

【0031】

基部 151、クラッド部 152、コア部 153、およびクラッド部 154 はいずれも石英系ガラスからなる。なお、屈折率については、コア部 153 が最も屈折率が高く、クラッド部 152 およびクラッド部 154、基部 151 の順に屈折率が低くなっている。なお

50

、コア部 153 の厚さと、コア部 153 とクラッド部 152 およびクラッド部 154 との屈折率差とは、この光導波路 150 が、各面発光レーザ素子 130 - 1 ~ 130 - n の出力するレーザ光をシングルモードで導波するように設定されることが好ましい。

【0032】

また、コア部 153 内には、各面発光レーザ素子 130 - 1 ~ 130 - n の上方の位置に、溝加工により形成した複数の反射部 153 a が設けられている。各反射部 153 a は、各面発光レーザ素子 130 - 1 ~ 130 - n が出力するレーザ光を反射して、コア部 153 内を導波させるように設定されている。

【0033】

なお、受光素子 140 は、たとえば Si / Ge 材料からなる PD である。また、光導波路 160 は光導波路 150 と同様に、受光素子 140 上に配置され、基部、クラッド部、コア部、およびクラッド部が順次積層して構成されており、コア部には光導波路 160 を導波してきた光を反射して受光素子 140 に入力させるための反射部を有している。

10

【0034】

つぎに、図 1 ~ 3 を用いて、この光インターコネクションシステムの動作を説明する。はじめに、或る半導体集積素子 100 において、演算処理装置 110 は、外部からの指令に従って演算を行い、演算結果の情報を含むようにたとえば ± 100 mV の振幅で変調された、n 個の差動電圧信号を含む電圧信号 S1 をレーザ駆動装置 120 に出力する。レーザ駆動装置 120 は、外部からバイアス電流 I1 を供給されて、このバイアス電流 I1 に電圧信号 S1 を重畳して、n 個の変調電流信号を含む電流信号 I2 を面発光レーザアレイ素子 130 に出力する。

20

【0035】

面発光レーザアレイ素子 130 においては、電流信号 I2 に含まれる n 個の変調電流信号は、それぞれあらかじめ割り当てられた面発光レーザ素子 130 - 1 ~ 130 - n に供給される。その結果、各面発光レーザ素子 130 - 1 ~ 130 - n は割り当てられた変調電流信号によって直接変調され、互いに波長が異なるレーザ信号光 OS1 - 1 ~ OS1 - n を出力する。光導波路 150 は、各面発光レーザ素子 130 - 1 ~ 130 - n から出力され、コア部 153 に入力された各レーザ信号光 OS1 - 1 ~ OS1 - n を、各反射部 153 a により反射させ、好ましくはシングルモードで光導波路 150 を導波させる。そして、光導波路 150 は、n 個のレーザ信号光 OS1 - 1 ~ OS1 - n を含む高密度な DWDM 信号光としてのレーザ信号光 OS1 を光合波器 3 へ出力する。光合波器 3 は、レーザ信号光 OS1 をシリコン光導波路 2 へ結合させる。シリコン光導波路 2 は、結合されたレーザ信号光 OS1 を好ましくはシングルモードで導波させる。

30

【0036】

一方、光分波器 4 は、レーザ信号光 OS1 - 1 ~ OS1 - n のうちの、あらかじめ割り当てられた特定の波長のレーザ信号光のみをシリコン光導波路 2 から分波できるように構成されている。その結果、図 2 に示すように、半導体集積素子 100 は、他のいずれかの半導体集積素子 100 から出力された、あらかじめ自己に割り当てられたレーザ信号光 (レーザ信号光 OS2 とする) を光分波器 4 から受け取る。光導波路 160 は、受け取ったレーザ信号光 OS2 を導波し、受光素子 140 に入力させる。受光素子 140 は、受光したレーザ信号光 OS2 を所定の差動電圧信号を含む変調電流信号 I3 に変換し、演算処理装置 110 に出力する。

40

【0037】

以上のようにして、各半導体集積素子 100 は、DWDM 信号光としてのレーザ信号光 OS1 を用いて、シリコン光導波路 2 を介して他の半導体集積素子 100 と演算結果の通信を行うことができるので、きわめて高速な光インターコネクションシステムが実現される。特に、本実施の形態に係る光インターコネクションシステム 1000 は、各半導体集積素子 100 が、内部に集積された面発光レーザアレイ素子 130 を直接変調して、通信光源として用いているため、部品点数が削減され、低コスト、低消費電力の光インターコネクションシステムとなる。

50

【 0 0 3 8 】

また、本実施の形態に係る光インターコネクションシステム 1 0 0 0 では、各面発光レーザ素子 1 3 0 - 1 ~ 1 3 0 - n が出力するレーザ信号光 OS 1 - 1 ~ OS 1 - n の波長が、高精度に厚さを調整できる波長調整層 1 3 5 - 1 ~ 1 3 5 - n の厚さを変えることによって互いに異なるように調整されている。その結果、レーザ信号光 OS 1 は、高精度かつ高多重密度の DWDM 信号光となる。

【 0 0 3 9 】

図 4 は、図 3 に示す構成の面発光レーザ素子における、波長調整層の厚さとレーザ発振波長または内部損失との関係の一例を示す図である。なお、波長調整層の厚さは、特定の面発光レーザ素子における波長調整層の厚さに対する相対的な厚さとして示している。図 4 に示すように、波長調整層の厚さを - 1 0 nm から 2 0 nm の合計 3 0 nm だけ変化させることによって、面発光レーザ素子のレーザ発振波長を約 1 0 6 1 nm から約 1 0 7 5 nm の間の約 1 4 nm の範囲で調整することができる。

10

【 0 0 4 0 】

なお、図 4 において、面発光レーザ素子のたとえば上部または下部 DBR ミラーを構成する各層の厚さは、特定のレーザ発振波長（図 4 においては、約 1 0 6 6 nm）に対して最適化されている。図 4 では、波長調整層の厚さだけを変化させてレーザ発振波長を調整しているので、レーザ発振波長が上記最適化された波長から遠ざかると、光共振器内の内部損失が増大する。したがって、この内部損失の増大を考慮して調整すべき波長範囲を設定することが好ましい。たとえば、図 4 においては、内部損失の最小値からの増大量を 1 5 / cm まで許容すると、調整できる波長範囲は約 1 0 6 1 nm から約 1 0 7 5 nm の約 1 4 nm である。なお、波長 1 . 1 μm 帯においては、光の周波数で 2 0 0 GHz の間隔は、波長に換算して 0 . 7 nm である。したがって、調整範囲の約 1 4 nm の間に、周波数 2 0 0 GHz 間隔で約 2 0 チャンネルのレーザ信号光を配列することができる。

20

【 0 0 4 1 】

つぎに、図 5 は、図 4 に基づいて波長調整層の相対的な厚さを 0 nm から 2 0 nm まで変化させた 5 つの面発光レーザ素子における、バイアス電流とレーザ光の光強度の関係の一例を示す図である。これらの面発光レーザ素子は、レーザ発振波長が図 4 に示すように約 1 0 nm の範囲で分布しているが、いずれの波長においても、バイアス電流に対して直線性のよい安定した強度のレーザ光を出力することができる。

30

【 0 0 4 2 】

なお、波長調整層 1 3 5 - 1 ~ 1 3 5 - n の厚さは、面発光レーザ素子 1 3 0 - 1 ~ 1 3 0 - n の製造プロセスにおいて、波長調整層 1 3 5 - 1 ~ 1 3 5 - n をエッチングする時間を調整することによって、きわめて高精度に調整できるので、レーザ信号光 OS 1 - 1 ~ OS 1 - n の波長も、所定の周波数間隔になるようにきわめて高精度に調整することができる。

【 0 0 4 3 】

つぎに、図 2 に示した面発光レーザ素子 1 3 0 - 1 ~ 1 3 0 - n が備える加熱機構について説明する。図 6 は、各面発光レーザ素子 1 3 0 - 1 ~ 1 3 0 - n が備える加熱機構の模式的な平面図である。図 6 に示すように、この加熱機構は、上部 DBR ミラー 1 3 6 内の p 側円環電極 1 3 4 上に配置された円環の一部を切り欠いた形状の高抵抗加熱部 1 3 7 と、アーム部 1 3 7 a を介して高抵抗加熱部 1 3 7 に接続した、高抵抗加熱部 1 3 7 よりも電気抵抗が低い低抵抗部 1 3 8 とを備えている。低抵抗部 1 3 8 は、隣接する面発光レーザ素子に備えられた高抵抗加熱部ともアーム部を介して接続している。

40

【 0 0 4 4 】

なお、高抵抗加熱部 1 3 7 およびアーム部 1 3 7 a は、たとえば幅 5 μm、厚さ 1 0 0 nm の白金 (Pt) の薄膜からなる。また、低抵抗部 1 3 8 は、たとえば幅 1 0 μm、厚さ 2 μm と比較的厚い金 (Au) の薄膜からなる。

【 0 0 4 5 】

この加熱機構は、各面発光レーザ素子 1 3 0 - 1 ~ 1 3 0 - n のレーザ発振波長を一括

50

して調整するためのものである。すなわち、この加熱機構の低抵抗部 138 を介して高抵抗加熱部 137 に電流を流すことによって、各面発光レーザ素子 130 - 1 ~ 130 - n の活性層 132 a が加熱され、温度上昇するため、レーザ発振波長が変化する。なお、温度上昇に対するレーザ発振波長の変化の係数は、たとえば活性層 132 a が 1.1 μm 帯のレーザ光用の半導体材料である InGaAs などの GaAs 系材料からなる場合は約 0.067 nm / $^{\circ}\text{C}$ である。

【0046】

ここで、各面発光レーザ素子 130 - 1 ~ 130 - n の高抵抗加熱部 137 は、低抵抗部 138 によって直列接続しているため、低抵抗部 138 を介して所定値の電流を流した場合に各高抵抗加熱部 137 の温度上昇は等しくなる。その結果、各面発光レーザ素子 130 - 1 ~ 130 - n のレーザ発振波長のシフト量も等しくなる。したがって、この加熱機構を用いれば、各面発光レーザ素子 130 - 1 ~ 130 - n のレーザ発振波長を一括して調整することができる。このようにレーザ発振波長を一括して調整すれば、個別に調整する場合よりも電流の制御回路構成が簡易になり好ましい。

10

【0047】

図 7 は、レーザ発振波長の一括調整を説明する図である。ここで、符号 $f_1 \sim f_n$ は、周波数軸上で等間隔に配置された周波数グリッドを示している。各面発光レーザ素子 130 - 1 ~ 130 - n のレーザ信号光 OS1 - 1 ~ OS1 - n は、上述した波長調整層の厚さの調整によって、あらかじめ周波数グリッド $f_1 \sim f_n$ の周波数間隔になるようにきわめて高精度に調整されている。そこで、図 6 に示すように加熱機構の消費電力を調整すれば、レーザ信号光 OS1 - 1 ~ OS1 - n の各波長を一括してシフトさせて、これらが周波数グリッド $f_1 \sim f_n$ に一致するように調整することができる。

20

【0048】

図 8 は、図 6 に示す加熱機構の消費電力とレーザ発振波長の波長シフトとの関係の一例を示す図である。図 8 に示すように、消費電力が 20 mW 程度でレーザ発振波長を 1.5 nm 程度だけ波長シフトさせることができる。

30

【0049】

なお、上記実施の形態において、面発光レーザ素子のレーザ発振波長が 1.0 ~ 1.2 μm であれば、1 μm 未満の波長帯に存在するシリコンの光吸収帯、および GaAs の光吸収帯である 0.85 μm 帯からはずれているため、低損失のシステムを実現できる。それとともに、特性のよい InGaAs 系歪み多重量子井戸構造を面発光レーザ素子の活性層に使用できるので、面発光レーザ素子を低消費電力化することができ好ましい。

【0050】

また、上記実施の形態における半導体集積素子、面発光レーザ素子、加熱機構等の構成は例示であって、本発明に係る光インターコネクションシステムにおいては、公知の半導体集積素子、面発光レーザ素子、加熱機構等を適宜利用することができる。たとえば、加熱機構については、上部 DBR レーザの表面にヒータパターンを形成したものでよい。

【符号の説明】

【0051】

- 1 シリコン基板
- 2 シリコン光導波路
- 3 光合波器
- 4 光分波器
- 100 半導体集積素子
- 110 演算処理装置
- 120 レーザ駆動装置
- 130 面発光レーザアレイ素子
- 130 - 1 ~ 130 - n 面発光レーザ素子
- 131 下部 DBR ミラー
- 132 半導体積層構造

40

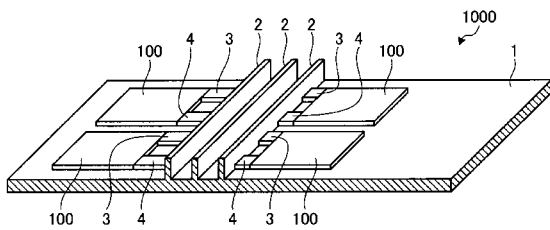
50

- 1 3 2 a 活性層
- 1 3 2 b 電流狭窄層
- 1 3 3 n 側電極
- 1 3 4 p 側円環電極
- 1 3 5 波長調整層
- 1 3 6 上部DBRミラー
- 1 3 7 高抵抗加熱部
- 1 3 7 a アーム部
- 1 3 8 低抵抗部
- 1 4 0 受光素子
- 1 5 0、1 6 0 光導波路
- 1 5 1 基部
- 1 5 2、1 5 4 クラッド部
- 1 5 3 コア部
- 1 5 3 a 反射部
- 1 0 0 0 光インターコネクションシステム
- f 1 ~ f n 周波数グリッド
- I 1 バイアス電流
- I 2 電流信号
- I 3 変調電流信号
- OS 1、OS 1 - 1 ~ OS 1 - n、OS 2 レーザ信号光
- S 基板
- S 1 電圧信号

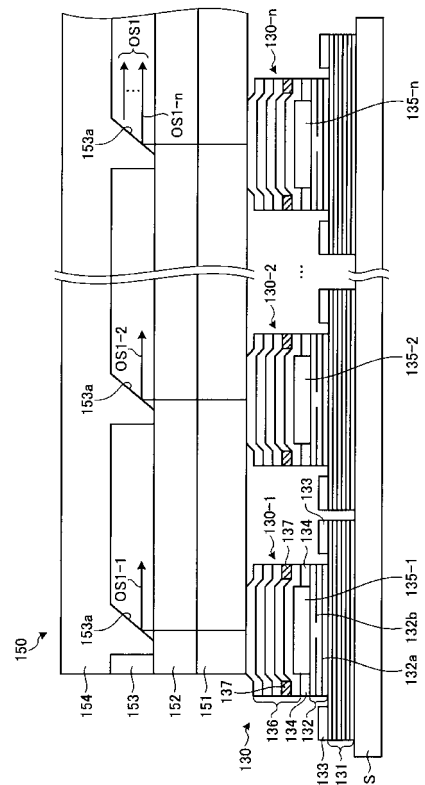
10

20

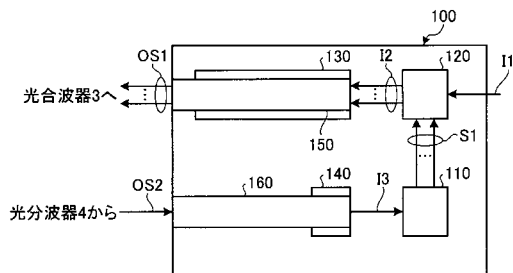
【 図 1 】



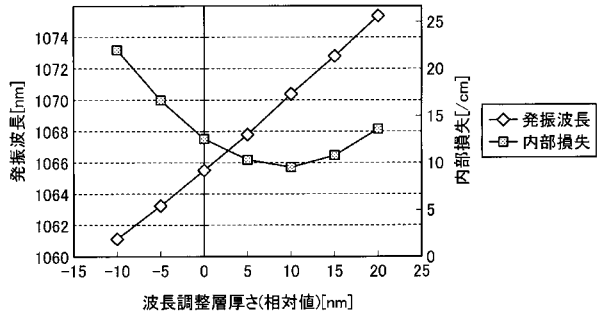
【 図 3 】



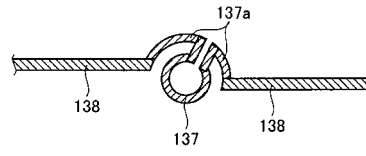
【 図 2 】



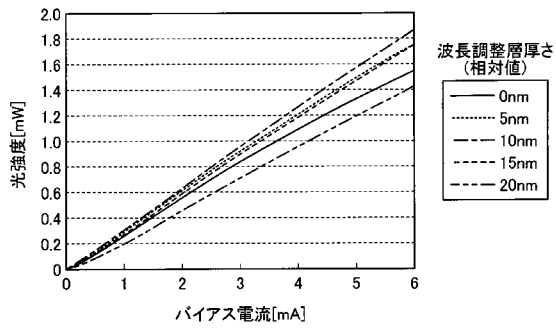
【 図 4 】



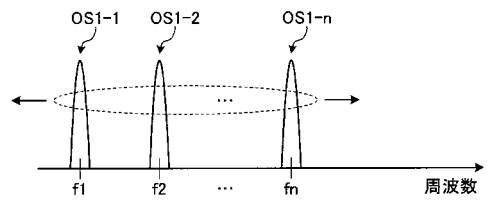
【 図 6 】



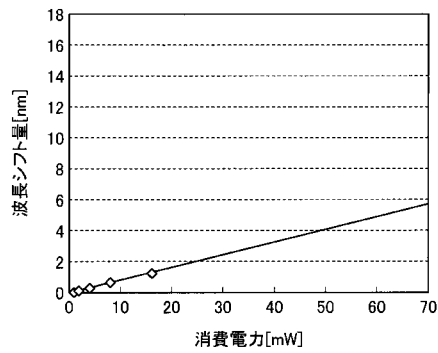
【 図 5 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(72)発明者 川北 泰雅

東京都千代田区丸の内2丁目2番3号 古河電気工業株式会社内

(72)発明者 築地 直樹

東京都千代田区丸の内2丁目2番3号 古河電気工業株式会社内

Fターム(参考) 5F173 MA02 MA10 MB02 MB10 MC01 MC02 MC26 MD53 MD65 ME30
MF03 MF10 MF25 MF27 MF40